

## Abschlussbericht

Digitaler Energiepfad für die Planung und den Betrieb von nachhaltigen Netzen, Produkten und der Gesellschaft

Digital Energy Path for Planning and Operation of sustainable grids, products and society

Teilvorhaben: Entwicklung und Erprobung des DIEGO-Energy-Planning-Toolsets

Zuwendungsempfänger:

LS Software & Engineering GmbH (LSE)

Förderkennzeichen: 03EI4049B

Forschungsprojekt in Kooperation mit:

Hochschule Magdeburg-Stendal (H2)

Erdgas Mittelsachsen GmbH (EMS)

**Projektlaufzeit:** 01.05.2022 – 31.10.2024

**Berichtszeitraum:** 01.05.2022 – 31.10.2024

**Autor:** Bernhard Schekatz

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Hinweis: Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor  
(Dieser Hinweis ist zwingend bei jeder Veröffentlichung mit anzugeben)



## Inhaltsverzeichnis

<b>ABSCHLUSSBERICHT</b>	<b>1</b>
<b>KURZDARSTELLUNG</b>	<b>5</b>
<b>Aufgabenstellung</b>	<b>5</b>
<b>Voraussetzungen</b>	<b>6</b>
<b>Planung und Ablauf des Vorhabens:</b>	<b>7</b>
Analyse- und Planungsphase (AP1)	7
Entwicklung und Entwurf von Konzepten, Modulen und Algorithmen (AP2, AP3)	8
Implementierung (AP4)	8
Testphase, Bewertung und iterative Weiterentwicklung (AP5)	9
Projektdurchführung und Abstimmung (AP6)	9
Fazit der Projektabwicklung	10
<b>Ist-Stand:</b>	<b>10</b>
<b>Literatur:</b>	<b>10</b>
<b>EINGEHENDE DARSTELLUNG</b>	<b>12</b>
<b>AP1: Anforderungsanalyse und Ist-Stand-Erfassung</b>	<b>12</b>
<b>Dokumentation der Ergebnisse</b>	<b>13</b>
<b>AP2 und AP3: Entwicklung von Planungs- und Betriebsalgorithmen/ -methoden sowie Entwicklung eines IKT- und Elektroarchitekturkonzepts</b>	<b>13</b>
<b>Entwicklung und Validierung von Kundendaten</b>	<b>14</b>
<b>Flexibilitätpotenziale und Optimierungsmodelle</b>	<b>15</b>
<b>Entscheidungsunterstützung</b>	<b>15</b>
<b>Integration in das Gesamtsystem</b>	<b>17</b>
<b>Ergebnisse</b>	<b>17</b>

<b>AP3: Entwicklung von IKT- und Elektroarchitekturkonzepten für Diego-Lösungen als Gesamtsystem und einzelne Demonstratoren</b>	<b>18</b>
<b>AP4: Implementierung von Diego-Lösungen und Feldtests von Demonstratoren</b>	
<b>Entwicklung der gekoppelten Infrastrukturen und potenzieller Energiesynergien</b>	<b>19</b>
<b>Feldtests und Validierung der Implementierung</b>	<b>25</b>
<b>AP5: Bewertung der Projektergebnisse und entwickelten Lösungen unter rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen</b>	<b>27</b>
<b>Technische Bewertung</b>	<b>27</b>
Erfassung und Verarbeitung der Energiedaten	27
Analyse- und Entscheidungsalgorithmen	28
<b>Rechtliche Bewertung</b>	<b>28</b>
<b>Wirtschaftliche Bewertung</b>	<b>28</b>
Identifizierte wirtschaftliche Vorteile für Unternehmen	29
<b>Fazit und Optimierungspotenziale</b>	<b>29</b>
<b>AP6: Projektmanagement &amp; Organisation</b>	<b>30</b>
<b>DANKSAGUNG</b>	<b>31</b>

## Kurzdarstellung

### Aufgabenstellung

Die digitalen Lösungen von DIEGO umfassen Datenmodelle, Schnittstellen und Pilotanwendungen, die in fünf Demonstratoren in verschiedenen Ländern umgesetzt werden sollten, um Szenarien nachhaltiger Energiepfade zu testen. In Deutschland sollte in einem Demonstrator ein Multigrid Campus mit Sektorkopplung entworfen werden und in einem weiteren Demonstrator ein Energiemanagementsystem ausgerichtet auf Industrieparks zur Erhebung von Synergiepotenzialen und Entscheidungsunterstützung für die Ansiedlung neuer Unternehmen entwickelt werden. In Polen lag der Fokus auf der Kopplung von Energie- und Elektronikkomponenten im Produktionsbereich, während in Österreich zeitabhängige Netzwerke industrielle Prozesse und Haushalte in einem Micro Grid verknüpft werden sollten. In Israel sollte die Nutzung mehrschichtiger PV-Zellen optimiert werden und mit Geschäftsmodellen für Anbieter und Kunden ergänzt werden.

Das zentrale Ziel des DIEGO-Projekts in Deutschland bestand darin, Lösungen zur Beschleunigung der Dekarbonisierung in der Planung und im Betrieb nachhaltiger, intelligenter und komplexer Systeme zu entwickeln. In Deutschland sollte die Planung und der Betrieb industrieller Systeme, einschließlich grüner und brauner Industriefelder, sowie heterogener und intelligenter MicroGrid-Systeme umgesetzt werden.

Hierfür wurden digitale Technologien eingesetzt, um entsprechende Lösungen zu entwickeln. Für industrielle Systeme kamen Technologien wie virtuelle Realität und Cloudsysteme zum Einsatz, um eine Plattform zu schaffen, die mithilfe digitaler Zwillinge, GIS-Daten und Cloud-Technologien eine umfassende Darstellung industrieller Systeme ermöglicht hätte. Diese Plattform sollte Industrieparkverantwortliche und ansässige Unternehmen bei fundierten Entscheidungen unterstützen, indem sie energetische Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit bzgl. des Energiemanagements als Kriterien berücksichtigte. In der Planungs- und Betriebsphase war vorgesehen, Energieflüsse zu analysieren, um Synergien zwischen Unternehmen für die Wiederverwendung von Energie und im weiteren Ausblick die Anwendung zirkulärer Wirtschaftskonzepte und Synergien zwischen der gesamten Ressourcenzirkulation im Industriepark zu identifizieren.

Die Plattform sollte auch Szenarien zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen untersuchen, beispielsweise durch die lokale Erzeugung und Speicherung regenerativer Energieformen wie Strom, Wärme und Gas. Eine digitale Plattform, die Informations- und Kommunikationstechnologien zur Ressourcenfluss- und Synergieanalyse sowie Speicherparameteranalyse kombiniert, sollte gewährleisten, dass der volatile regenerative Strom effizient integriert wird.

Die der LS Software & Engineering GmbH (im weiteren LSE) hat die softwareseitige Umsetzung des Energiemanagementsystem im Demonstrator Brumby übernommen

und damit ein System zur Entscheidungsfindung und Energieverwaltung zwischen verschiedenen Unternehmen mit Filtermöglichkeit und Energiespeichersegmentierung geschaffen. Wir möchten uns bereits im offiziellen Teil des Reports ausdrücklich für die unschätzbare Unterstützung unserer Projektpartner Erdgas Mittelsachsen (EMS) und der Hochschule Magdeburg Stendal (H2) bedanken, mit deren fachlicher sowie organisatorischer Unterstützung LSE sein Teilvorhaben verwirklichen konnte.

## Voraussetzungen

Das Vorhaben der LS Software & Engineering GmbH (LSE) wurde unter festgelegten Rahmenbedingungen durchgeführt, die sich insbesondere durch die Entwicklungsarbeiten am Demonstrator im Industriepark Brumby in Sachsen-Anhalt auszeichneten. Der Demonstrator diente als Arbeitsumgebung zur Erstellung und Erprobung der digitalen Planungs- und Analysewerkzeuge, auch unter Nutzung von IoT-basierten Systemen. Besonderer Fokus lag auf der Berücksichtigung von Energiesynergien zwischen Unternehmen sowie dem Erheben von Erzeugungspotentialen und – Notwendigkeiten von regenerativen Energien neben der energetischen Analyse von Prozessen und Energiespeicherkonfigurationen.

Die Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Energie Mittelsachsen (EMS) zusammen mit der Abteilung Wirtschaftsförderung der Stadt Staßfurt bildete die Grundlage für die Entwicklungsarbeiten. EMS übernahm die Datenerhebung der industriellen Prozesse und Energieflüsse im Industriepark Brumby, deren Ergebnisse als Basis für die zu entwickelnde Lösung genutzt wurden. EMS stellte dafür Sensorik und Infrastruktur bereit und übernahm die Kommunikation zu den Unternehmen vor Ort zusammen mit der Wirtschaftsförderung der Stadt Staßfurt.

Der Schwerpunkt lag auf einer umfänglichen (Vor)Verarbeitung von großen Datenmengen an Zeitreihen welche einerseits schnell und einfach durch die Unternehmen bereitgestellt werden können mussten und dem performanten Verarbeiten dieser Mengen. Die Werkzeuge wurden darauf ausgelegt, eine Übersicht über alle Energieverbräuche und Erzeugung innerhalb des Energieparks zu erlangen und die Energieflüsse nachzuverfolgen. Das Energiemanagementsystem wurde im Hinblick auf kommende Anforderungen in einem generischeren Framework zur geteilten Ressourcenverwaltung von Unternehmen eingebettet.

Das Erzeugen der Modelle auf deren Grundlage die Berechnungen erfolgten, wurde gestützt durch Erkenntnisse aus vorangegangenen Projekten und an die spezifischen Bedingungen im Industriepark Brumby angepasst.

Die Abstimmung zwischen den Partnern erfolgte in regelmäßigen Arbeitstreffen, die teils physisch, teils virtuell durchgeführt wurden. Der Austausch zwischen den Beteiligten stellte die fachliche, technische und wissenschaftliche Verzahnung der unterschiedlichen Arbeitsbereiche sicher und ermöglichte in seiner Frequenz eine iterative Arbeitsweise sowie Verbesserung der Entwicklung. Die Ergebnisse der Arbeit wurden

in regelmäßigen Treffen mit den Unternehmen besprochen und die Rückmeldung floss in das Anpassen der Werkzeuge ein.

Die Arbeiten am Demonstrator in Brumby standen zudem in Verbindung mit anderen internationalen Demonstratoren des DIEGO-Projekts. So wurden Schnittstellen zwischen den einzelnen Projekten geschaffen, um die Übertragbarkeit der Lösungen zu prüfen. Der spezialisierte Prototyp wurde aus dem abstrakten Gerüst heraus so entwickelt, dass der Prototyp selbst, aber auch die erzielten Ergebnisse in anderen Kontexten anwendbar sind. Der Demonstrator war auf reale industrielle Rahmenbedingungen ausgelegt, wodurch die Erprobung nicht unter praxisnahen Voraussetzungen sondern direkt in der Praxis erfolgen konnte.

## Planung und Ablauf des Vorhabens:

Das Vorhaben wurde in sechs Arbeitspaketen geplant wobei AP6 das fortlaufende Projektmanagement und die Kommunikation im Allgemeinen betraf.

Die APs teilten sich auf in:

- 1. Anforderungsanalyse und Ist-Stand-Erfassung**
- 2. Entwicklung von Planungs- und Betriebsalgorithmen und Methoden**
- 3. Entwicklung eines IKT- und Elektroarchitekturkonzepts für DIEGO-Lösungen**
- 4. Implementierung von DIEGO-Lösungen und Feldtests von Demonstratoren**
- 5. Bewertung von Projektergebnissen**
- 6. Projektmanagement und Kommunikation**

Insgesamt war der Ablauf geprägt durch regelmäßiges Reporting an die Projektkoordination, ausgeübt durch den Partner Hochschule Magdeburg-Stendal (im weiteren H2) und weiteren Jour fixes in enger Zusammenarbeit mit dem Partner EMS und der Stadt Staßfurt, in deren Gebiet der Demonstrator angesiedelt ist.

### Analyse- und Planungsphase (AP1)

Zu Beginn des Projekts wurde die bestehende Energie- und IKT-Infrastruktur im Industriepark Brumby analysiert, um Anforderungen für das System und die dazugehörigen digitalen Komponenten zu spezifizieren. Diese Analyse der Datenerhebungsmöglichkeiten und die Unterstützung bei der Datenerhebung wurden von EMS durchgeführt.

Dazu wurden mehrere Treffen mit den ansässigen Unternehmen durchgeführt, um die Anforderungen der Unternehmen an eine tiefere Einsicht in ihre Energiedaten festhalten zu können. Auch wurden die Anforderungen der Wirtschaftsförderung Staßfurt festgehalten, welche Unternehmen energetisch bewerten möchte, besonders im Hinblick auf Synergieeffekte mit bereits angesiedelten Unternehmen.

## Entwicklung und Entwurf von Konzepten, Modulen und Algorithmen (AP2, AP3)

In dieser Entwicklungsphase wurden die zentralen Module der Analyseplattform konzipiert. Hierbei standen folgende Aspekte im Mittelpunkt:

**Entwurf der Architektur:** Die grundlegenden Systemkomponenten wurden erhoben und das Zusammenspiel der Komponenten entwickelt. Die daraus entstehende Architektur wurde festgehalten und weiter entwickelt bis die qualitativen Anforderungen an das Gesamtsystem befriedet waren.

**Entwurf von Algorithmen:** LSE entwickelte spezialisierte Algorithmen zur Analyse der Energieflüsse im Park basierend auf dem fachlichen Input von EMS. Diese Algorithmen erlaubten es, Synergien zwischen Unternehmen aufzuzeigen, beispielsweise durch gemeinsame Nutzung von Abwärme oder auch Einblicke in das energetische Gesamtverhalten des Industrieparks zu bekommen, wodurch zum Beispiel Lastspitzen Prävention betrieben werden könnte durch ein feineres Abstimmen der Unternehmen.

Hauptziel war die Analyse der Lastaufnahme über das Jahr um die Parameter für einen optimalen Energiespeicher aus den Lastprofilen zu extrahieren, wenn man jeweils einer Untergruppe von Unternehmen bzw. den angesiedelten Unternehmen in Kombination mit einem neuen Bewerber, einen Energiespeicher bereitstellen würde.

**Entscheidungsunterstützung:** Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Systems war die Integration des Analytischen Hierarchie Prozesses(AHP) in seiner erweiterten Variante innerhalb einer WebApp mit einer sich dynamisch erweiternden Benutzeroberfläche, um zukünftige Szenarien und Anforderungen an das System abdecken zu können.

Dieses System erlaubte allgemein eine Gewichtung verschiedener Kriterien wie Energieeffizienz, Kosten und Nachhaltigkeit und lieferte priorisierte Einordnungen der Unternehmen in Hinsicht auf die Aspekt-Menge, wodurch eine eindeutige hierarchische Abfolge der besten Eignung für die Unterauswahl an Kriterien entsteht.

Spezialisiert gewichtet wurde der AHP mit der Priorisierung welche Energiespeichereigenschaften teurer bzw. günstiger sind im Hinblick auf Kosten des Speichers. Dadurch konnten in Kombination mit den errechneten, optimalen Speichereigenschaften diese analysiert werden, um auszuwerten, welche Kombination von Unternehmen die größte Energiespeicherung zum besten Preis ermöglichen würde und welche Kombination den Industriepark zur größten Energieautarkie führen würde.

## Implementierung und Testphase (AP4)

In dieser Entwicklungsphase wurden die zentralen Module und Algorithmen umgesetzt und erstes Feedback verwertet.

Die in AP 2,3 entwickelten und prototypisch betriebenen Systeme zur Datenerfassung über Sensorik wurden bei den Unternehmen implementiert und es wurden MQTT Clients/Server implementiert/aufgesetzt und miteinander verbunden.

Die Energieanalyseplattform wurde mit Docker und Asp.Net aufgesetzt und die Bereinigung der hochladbaren Nutzerdaten wurde entwickelt. Die Benutzeroberfläche wurde entwickelt und die Algorithmen wurden über Testdriven Development implementiert.

Es wurden Szenarien entwickelt und über die Analysetestplattform getestet mit einer Validierung des Ergebnisses. Die komplexeren Algorithmen wurden weiter aufgeteilt um über Unit-Tests Unklarheiten zielgerichtet aufklären zu können.

Das Datenbankmodell wurde refaktorisiert und das zugrundeliegende Datenmodell besser hinter der Benutzeroberfläche verborgen, so dass die vom Benutzer zu wartende Dateninfrastruktur möglichst einfach wurde.

Diese Tests erfolgten in enger Zusammenarbeit mit EMS, der Wirtschaftsförderung Staßfurt und den Unternehmen. Regelmäßige Treffen und Feedbackschleifen stellten sicher, dass die entwickelten Werkzeuge praxistauglich waren und den Anforderungen der Nutzer entsprachen.

#### **Bewertung und iterative Weiterentwicklung (AP5)**

Die Ergebnisse aus den Feldtests flossen in die geplante Weiterentwicklung ein und die Implementierten Features wurden mit dem Nutzerfeedback ausgewertet. Bei der Bewertung flossen die Vorgaben aus dem Projektentwurf mit ein und somit wurden die Ergebnisse ebenfalls unter wirtschaftlichen und rechtlichen Gesichtspunkten bewertet.

Ein Fokus welcher bei der anfänglichen Anforderungserhebung noch nicht zutage trat war das Auswerten potentieller regenerativer Energieerzeugungspotentiale. Sowohl die zusätzlich benötigte Energie im Park betreffend als auch die Ergänzung der Analyse mit vorhandenen Potentialen, welche noch auszuschöpfen wären (So gesehen Szenarien, welche über künstliche Lastprofile, entstanden durch Berechnung und Analyse real vorhandener, ungenutzter Energie, erzeugt werden).

Über die bereits erhobenen Parameter für die Energiespeicherung und die Möglichkeit, benutzerdefinierte Daten hochladen zu können, konnte dieses Szenario leicht abgebildet werden, mit nur kleinsten Anpassungen und einem detaillierten Handbuch zum durchzuführenden Workflow.

#### **Projektdurchführung und Abstimmung (AP6)**

Die Projektabwicklung war durch eine gute, übergreifende Koordinierung des Partners H2 und engen Abstimmung mit EMS und den Unternehmen im Park gekennzeichnet. Mehrere, regelmäßige, monatliche Treffen dienten dem Austausch von Fortschritten und Herausforderungen. Die Zusammenarbeit wurde durch regelmäßiges Reporting strukturiert, das den Stand der einzelnen Arbeitspakete dokumentierte und die Transparenz im Projekt gewährleistete.

Neben den internen Treffen innerhalb des deutschen Teilprojekts fanden auch Abstimmungen mit dem übergreifenden Konsortium statt, um die Integration der entwickelten Technologien in das Gesamtprojekt DIEGO sicherzustellen.

### Fazit der Projektabwicklung

Der strukturierte Arbeitsplan und die iterative Herangehensweise ermöglichten eine zielgerichtete Entwicklung des Analysesystems für den Demonstrator Brumby. Die enge Zusammenarbeit mit den beteiligten Unternehmen und Partnern war ein wesentlicher Faktor, um die Anforderungen in praxisorientierte Lösungen umzusetzen. Die entwickelten Technologien und Erkenntnisse aus dem Teilprojekt liefern eine Grundlage für die Anwendung in weiteren Industrieparks und vergleichbaren Umgebungen auch mit vollkommen anderen Ressourcen als energieerzeugende/ -transportierende Ressourcen und mit anderen Speichern.

### Ist-Stand:

Wissenschaftlicher und technischer Stand:

LSE orientierte sich an Erkenntnissen aus der In-House Entwicklung „Urban Planner“ und nutzte speziell die Erfahrung in Kombination mit einer 3D-Engine dritt-Dienste bereitzustellen deren Ausgangsdaten über eine VR-Umgebung visualisiert werden.

Um die Portabilität der Lösung sicherzustellen wurde ein Docker<sup>1</sup> Container entwickelt in welchem die mit freien Lizenzen kommerziell nutzbare ASP.Net Technologie<sup>2</sup> von Microsoft eingesetzt wurde in Kombination mit dem AutoMapper<sup>3</sup> Projekt.

Für die Implementierung der Entscheidungsunterstützung wurde mit Herrn Andreas Höpfner vom Fraunhofer-Institut IFF zusammengearbeitet, Frau Annabel Knabe stellte mit ihrer Masterarbeit, welche im Rahmen dieses Projektes entstand, einen unschätzbaren theoretischen Rahmen bereit.

### Literatur:

Hoepfner, Andreas, et al. "A virtual reality platform that supports integrated design of energy and land-use plans in Brownfield Industrial Parks." *Journal of Energy Challenges and Mechanics* 4 (2017).

Lässig, Jörg, Tino Schütte, and Wilhelm Riesner, eds. "Energieeffizienz-Benchmark Industrie: Energieeffizienzkennzahlen 2015". *Springer-Verlag*, 2017.

---

<sup>1</sup> [Docker: Accelerated Container Application Development](#)

<sup>2</sup> [ASP.NET Core | Open-source web framework for .NET](#)

<sup>3</sup> [AutoMapper/AutoMapper: A convention-based object-object mapper in .NET.](#)

Knabe, Annabel. "Die Entwicklung eines optimierten Informations-, Kommunikations- und Energiekonzeptes im Rahmen des Forschungsprojektes DIEGO als Grundlage für ein neues Geschäftsfeld der Energie Mittelsachsen GmbH". *Masterarbeit, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, 17. Sept. 2023.*

## Eingehende Darstellung

### AP1: Anforderungsanalyse und Ist-Stand-Erfassung

Das Arbeitspaket 1 umfasste die Erfassung des Ist-Zustands und die Analyse der Anforderungen für die Umsetzung des Energieanalyzesystems im Demonstrator „Industriepark Brumby“. Ziel war die systematische Dokumentation der bestehenden Energie- und IKT-Infrastruktur sowie die Erstellung einer Grundlage für die folgenden Arbeitspakete.

#### Erfassung von Energieverbrauch und -erzeugung

Im Rahmen von AP1 wurden die Energieverbrauchs- und Erzeugungsprofile der im Industriepark ansässigen Unternehmen aufgenommen. Hierfür wurden Datenerhebungsprozesse eingerichtet, die sowohl manuelle Eingaben durch die Unternehmen als auch automatisierte Datenerfassung über IoT-Sensorik ermöglichten. Für die manuelle Datenübermittlung wurde ein Uploadportal entwickelt, das Unternehmen die Bereitstellung ihrer Energieverbrauchsdaten ermöglichte. Ergänzend dazu wurde Sensorik installiert, welche die Echtzeiterfassung von Lastprofilen und Energieflüssen vor Ort über das Protokoll MQTT erlaubte.

Auf Basis der erhobenen Daten wurden die Anforderungen für die Analyseplattform spezifiziert im Rahmen einer Tabelle, welche die wichtigsten Kennzahlen über Formeln beschreibt, welche aus den akkumulierten Lastprofilen extrahiert werden sollten. Zusätzlich wurden allgemein Anforderungen an die Architektur und Benutzeroberfläche definiert, welche unabhängig vom fachlichen Kontext die Bedürfnisse der Nutzergruppe und des Einsatzkontexts des Systems berücksichtigten.

Dazu gehörten die funktionalen Anforderungen an das System, wie die Fähigkeit die benutzerdefinierten Daten zu bereinigen, eine breite Varianz an Daten in Tabellenform zu „verstehen“ Fehler/Unstimmigkeiten in den benutzergenerierten Daten zu identifizieren sowie eine effiziente Verarbeitung der großen Datenmengen in angemessener Zeit durchzuführen.

Ergänzt wurde dies mit nicht-funktionalen Anforderungen wie eine nicht-blockierende Benutzeroberfläche gerade wenn rechenintensive Aufgaben ausgeführt werden und eine klare Strukturierung sowie einfaches Interface der WebApp, um dem nicht-fachlichen Kontext der Anwender in den Unternehmen entgegen zu kommen.

Schließlich wurden die qualitativen Anforderungen an das Gesamtsystem festgehalten wie Erweiterbarkeit, Anpassbarkeit an andere Industrieparks, Plattformunabhängigkeit und Modularität, um die Plattform sukzessive über kleinste Änderungen um neue Funktionen erweitern zu können, ohne die zugrundeliegende Struktur ändern zu müssen.

Die Anforderungen wurden durch Workshops und direkte Abstimmungen mit den Unternehmen im Industriepark ergänzt. In diesen Sitzungen wurden konkrete Anwendungsfälle erörtert, sowie die konkreten Interessen der ansässigen Unternehmen an ihren bereitgestellten Daten identifiziert.

### **Dokumentation der Ergebnisse**

Die Ergebnisse von AP1 wurden in einem Bericht zusammengefasst welcher sowohl als Lastenheft diente als auch die Marketingbedingungen und das Gesamtkonzept umreißt

Dazu wurde ein energiereicher Prozess bei einem Unternehmen dokumentiert und die Methodik zum Erheben des energetischen Potentials und Synthetisieren dieses Potentials in einen künstlichen Erzeugungslastgang wurden festgehalten.

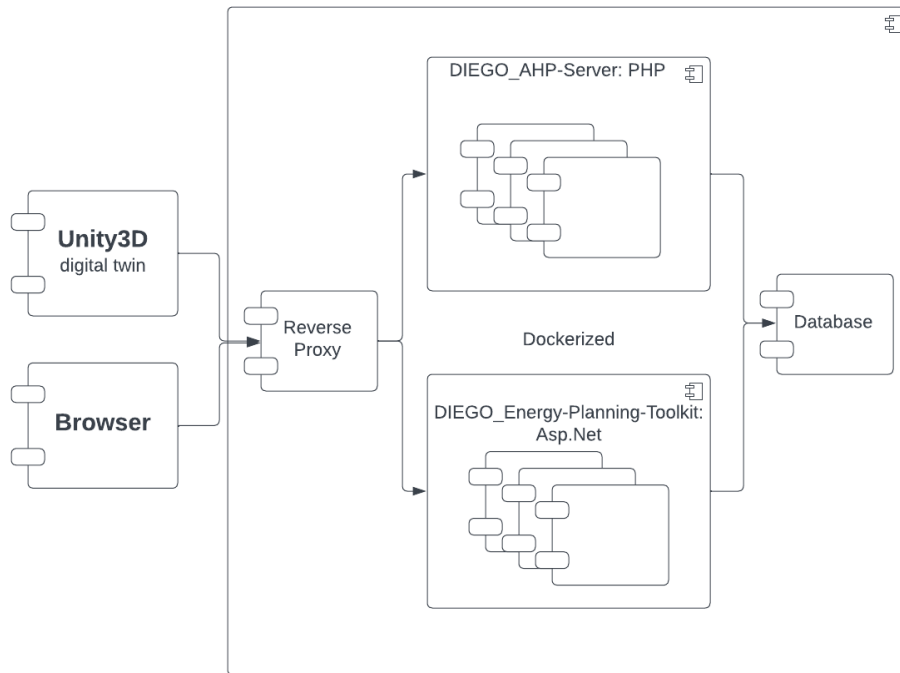
### **Probleme und Anpassungen**

Während der Datenerhebung traten Probleme bei der Harmonisierung der von den Unternehmen bereitgestellten Daten auf. Unterschiedliche Datenstrukturierung und Formate machten eine umfangreiche Vorverarbeitung erforderlich. Zur Lösung wurden spezifische Validierungs- und Bereinigungskripte entwickelt, welche die Konsistenz der Daten sicherstellten.

Die Erkenntnisse und Ergebnisse aus AP1 ermöglichten eine strukturierte Planung und die gezielte Entwicklung der Werkzeuge im Rahmen der folgenden Arbeitspakete. Alle relevanten Daten und Spezifikationen wurden rechtzeitig bereitgestellt und in die technische Umsetzung eingebunden.

## **AP2 Entwicklung von Planungs- und Betriebsalgorithmen und Methoden**

Im Rahmen des Entwurfs und der Entwicklung der Methodik und Algorithmik wurden aus den Anforderungen der Entwurf der Architektur der Energieanalyseplattform abgeleitet, was die Module, Interoperabilität und Umsetzung der qualitativen Anforderungen betrifft.



**Abbildung 1: Architektur der Systemkomponenten**

Das Arbeitspaket 2 konzentrierte sich auf die Entwicklung spezifischer Methoden und Algorithmen zur Unterstützung der Planung und des Betriebs von Energiesystemen im Demonstrator „Industriepark Brumby“. Ziel war die Erstellung einer fundierten Algorithmus-Sammlung, welche das Flexibilitätspotenziale identifiziert, Lastprofile analysiert und Entscheidungsgrundlagen für Energiesynthesen bereitstellt.

### Entwicklung und Validierung von Kundendaten

Im Rahmen von AP2 wurden Analysemethoden entwickelt, die den Abgleich verschiedener Lastprofile ermöglichen. Dazu wurden die von den Unternehmen im Industriepark Brumby erhobenen Verbrauchs- und Erzeugungsdaten analysiert. Eine Kernaufgabe bestand darin, Algorithmen zu implementieren, die diese Profile miteinander vergleichen und potenzielle Synergien aufzeigen. Beispielsweise wurden Modelle erstellt, um überschüssige Energie eines Hydroformingunternehmens auszuwerten. Dazu wurde als Produkt der Analyse ein künstlicher Erzeugungslastgang erstellt, welcher diese potentiellen Energiequelle über den Wochen- und Jahresverlauf spezifiziert.

Die Algorithmen wurden mit einem Fokus auf Effizienz und Flexibilität entwickelt. Durch die Einführung einer einheitlichen Datenstruktur und definierter Messstandards konnten Herausforderungen, wie unterschiedliche Sampleraten oder fehlende Werte in den bereitgestellten Daten, überwunden werden. Ergänzend wurden Validierungs- und Bereinigungsmethoden entwickelt, um die Konsistenz und Qualität der Daten sicherzustellen.

Um eine gewisse Fehlertoleranz und Flexibilität beim hochladen der manuellen Daten zu ermöglichen, wurde sich des OpenSource Frameworks „Automapper“<sup>4</sup> bedient zusammen mit dem Framework „CsvHelper“<sup>5</sup>

## Flexibilitätspotenziale und Optimierungsmodelle

Ein weiterer Schwerpunkt von AP2 war die Identifikation und Modellierung von Flexibilitätspotenzialen innerhalb des Energieverbrauchs und der Erzeugung. Hierfür wurden spezifische Parameter definiert, die Aufschluss über steuerbare Lasten und verfügbare Erzeugungskapazitäten gaben. Basierend auf diesen Parametern wurden Energieoptimierungsmodelle entwickelt, die das Verhalten von Energiesystemen in verschiedenen Szenarien simulierten.

Um die Flexibilitätspotenziale zu erfassen, wurde ein technischer Leitfaden erstellt, der die notwendigen Messmethoden sowie die Anforderungen an die Datenerhebung und -verarbeitung beschreibt. Diese Maßnahmen dienten der Definition von Anwendungsfällen, die als Szenarien für die Optimierung genutzt wurden.

Zusammen mit dem Partner EMS wurden die Parameter erhoben welche notwendig sind um mit Hilfe eines Energiespeichers und/oder weiterer Energieerzeugung der Energieautarkie im Industriepark möglichst nahe zu kommen.

Schließlich wurden die Anforderungen auf folgende Parameter abgebildet:

- Maximal notwendige Speicherkapazität (MWh)
- Maximal notwendige Erzeugungskapazität mit Speicher
- Maximal notwendige Erzeugungskapazität ohne Speicher
- Maximale Ein- und Ausspeiseleistung (MW)
- Maximale Änderung der Leistung pro Zeiteinheit (MWh/t).
- Anzahl Lastwechsel

## Entscheidungsunterstützung

Die in AP1 identifizierten Anforderungen an die Entscheidungsunterstützung wurden in AP2 konkretisiert. Der analytischen Hierarchie Prozesses (AHP) wurde implementiert, um Kriterien wie Energieeffizienz, Kosten und Nachhaltigkeit systematisch zu bewerten. Die Entscheidungsunterstützung wurde so konzipiert, dass sie Unternehmen im Industriepark bei der Planung von Maßnahmen, wie der gemeinsamen Nutzung von Energiespeichern oder der Abstimmung von Produktionszeiten, unterstützt.

---

<sup>4</sup> [AutoMapper](#)

<sup>5</sup> [A .NET library for reading and writing CSV files. Extremely fast, flexible, and easy to use. | CsvHelper](#)

Es wurde die grafische Oberfläche prozedural entworfen um die Oberfläche an die Anzahl der zu gewichtenden Parameter anzupassen und das Datenbankschema wurde überarbeitet, um Analyseergebnisse des Gesamtprozesses zu cachieren und bereits bestehende Analysen nutzen zu können, sofern die letzte Analyse nicht zu lange zurück liegt und die Änderungen im Datenbestand nicht erheblich sind.

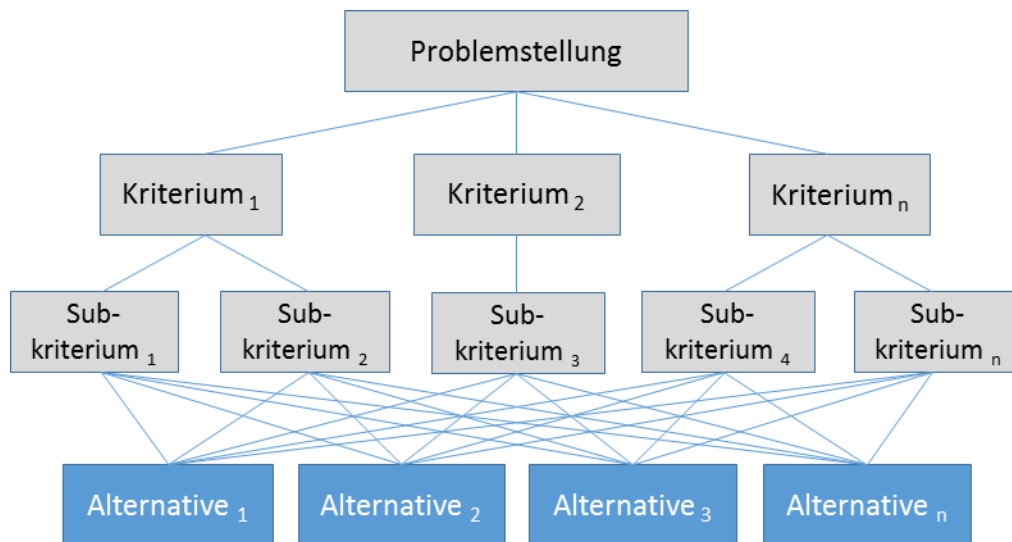
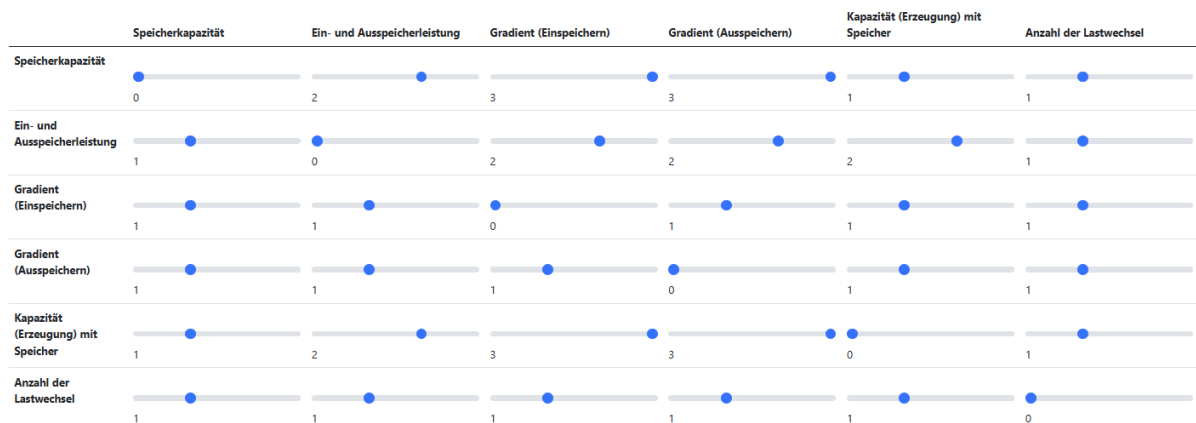


Abbildung 2: Grobes Schaubild der Unterteilung einer Problemstellung in differenzierte Unterkriterien und Erzeugung mehrerer, problemlösender Alternativen im AHP. Die Alternativen werden schließlich mit einem Wert versehen, der ihre Eignung hinsichtlich der Lösung der Problemstellung beschreibt.

### Präzedenzbeispiel:

Das Feststellen der Unternehmenskombination welche im Sinne der Energieautarkie den geringsten Aufwand erzeugt hinsichtlich Speicherinstallation und Erzeugung

[Create New](#)



<b>Salzgitter Hydroforming</b> Salzgitter Hydroforming GmbH & Co. KG <input type="checkbox"/> Hydroforming artificial Production and Consumption <a href="#">Edit   Details  </a>	<b>Weckenmann</b> Weckenmann GmbH & Co. KG <input type="checkbox"/> Weckenmann_S_V_2019 <a href="#">Edit   Details  </a>	<b>EMS</b> Energie Mittelsachsen GmbH (EMS) <input type="checkbox"/> EMS_S_V_2023 <input type="checkbox"/> Simulation_S_PV_2024 <a href="#">Edit   Details  </a>
<b>SELECTRIC</b> SELECTRIC Telekommunikations- und Sicherheitssysteme GMBH <input type="checkbox"/> Selectric_S_V_2019 <a href="#">Edit   Details  </a>	<b>Company Example</b> Company Example Description <input type="checkbox"/> Förderstedt_S_WE_2018 <a href="#">Edit   Details  </a>	

[Submit](#)

**Abbildung 3: Prozedural erstellte Gewichtungsmatrix je nach Anzahl der Eigenschaften. Parametrisiert mit den Nenngößen von Energiespeichern und gewichtet mit den Einflüssen auf die Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit zu den anderen Parametern**

In Abbildung 3 finden die Ergebnisse eines Workshops mit dem Fraunhofer IFF Anwendung, in welchem die Gewichtung der Parameter erhoben wurde mit dem Ziel, den wirtschaftlichsten Energiespeicher zu erhalten sobald die Analyseergebnisse aus der Lastprofilanalyse auf den AHP Prozess angewandt werden.

### Integration in das Gesamtsystem

Die entwickelten Algorithmen und Modelle wurden so gestaltet, dass sie modular und flexibel in das Gesamtsystem integriert werden konnten. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die Lösungen plattformunabhängig und skalierbar sind. Die Nutzung von Service-Containern mittels dependency Injection ermöglicht es, die Algorithmen an veränderte Anforderungen anzupassen und neue Analyseverfahren effizient zu implementieren sowie insgesamt einen zentralen Erweiterungspunkt für beliebige Erweiterungen zu bilden.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse aus AP2 umfassten:

- Algorithmen zur Analyse und zum Vergleich von Lastprofilen, einschließlich der Identifikation von Synergien und Optimierungsmöglichkeiten.
- Energieoptimierungsmodelle, die spezifische Szenarien und Anwendungsfälle abbilden.
- Die Theorie, Architektur und das GUI-Layout für eine Entscheidungsunterstützung, die mit zwei Szenarien vorparametrisiert wurde:
  - Das Auswählen des geeignetsten Kandidaten um größtmögliche Synergieeffekte zu erhalten
  - Das potentielle Analysieren verschiedener Energiespeicher und finden des ökonomisch am besten geeignetsten Speicher, sofern die fachliche Gewichtungen der Parameter die Wirtschaftlichkeit betreffend vorliegt

Letzteres Szenario würde ebenfalls außerordentlich von der generischen Ressourcenverwaltungsbasis der Anwendung profitieren, da das nachpflegen der im Park vorhandenen Ressourcenflüsse abseits von Energie nochmal als Kriterium in den AHP Prozess und die Auswahl der besten Energiespeichermethode einfließen könnte.

Dazu wurden mehrere, technische Leitfäden/ein Handbuch für die Messung und Bewertung von Flexibilitätpotenzialen mit dem gewählten Ansatz erstellt.

Die in AP2 entwickelten Methoden und Modelle wurden im weiteren Verlauf des Projekts als Basis für die Implementierung und Tests in AP4 und Bewertung in AP5 genutzt. Alle relevanten Arbeiten wurden termingerecht abgeschlossen, wobei notwendige Anpassungen und Verbesserungen in Zusammenarbeit mit den Unternehmen im Demonstrator vorgenommen wurden.

### **AP3: Entwicklung eines IKT- und Elektroarchitekturkonzepts für DIEGO-Lösungen**

Das für den Demonstrator Brumby notwendige Elektroarchitekturkonzept wurde von Projektpartner EMS realisiert um die Verbrauchslastgänge kleinerer Unternehmen detailliert zu erfassen.

Genutzt wurde hierzu eine Kombination aus Durchlaufzähler direkt am Stromzähler, Minicomputer mit MQTT-Client und mobiler Datenverbindung um die Ergebnisse erst an Partner EMS zu übertragen und von dort aus an den MQTT Server bei Partner H2 von wo aus LSE ebenfalls Zugriff auf die Daten hat. Die erhobenen Daten wurden zentral in einer Datenbank gespeichert, die im weiteren Projektverlauf als Grundlage für die Modellierung und Simulation diente.

Zusätzlich zu diesen automatisch eingespeisten Realdaten wurde ein Uploadportal mit der WebApp ausgeliefert, welches die Unternehmen nutzen konnten um beliebig reale/alte/künstliche Lastgänge hochzuladen und damit historische Auswertungen betreiben zu können oder auch errechnete Energiepotentiale von PV-Flächen wesentlich detaillierter über das Jahr zu spezifizieren und hochzuladen und damit den Synergieeffekt im Park detailliert zu verfolgen, so dass im Idealfall durch die richtige

Kombination von Erzeugungspotentialen der notwendige Energiespeicher zur Autarkie möglichst günstig ausfällt.

Das Entwerfen, Entwickeln, Implementieren und verfeinern/debuggen der benutzerdefinierten Sensorik hat den Großteil des APs in Anspruch genommen. Abseits davon wurde keine dedizierte IKT-Infrastruktur benötigt als die schon vorhandene, um eine WebApp über Server/Reverse Proxys und Lastverteilung einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

#### AP4: Implementierung von Diego-Lösungen und Feldtests von Demonstratoren

Die Implementierung geschah anhand der in AP2, 3 entwickelten Architektur, erhobenen Formeln und Modelle mit Nutzung der bereitgestellten Konzepte für den AHP.

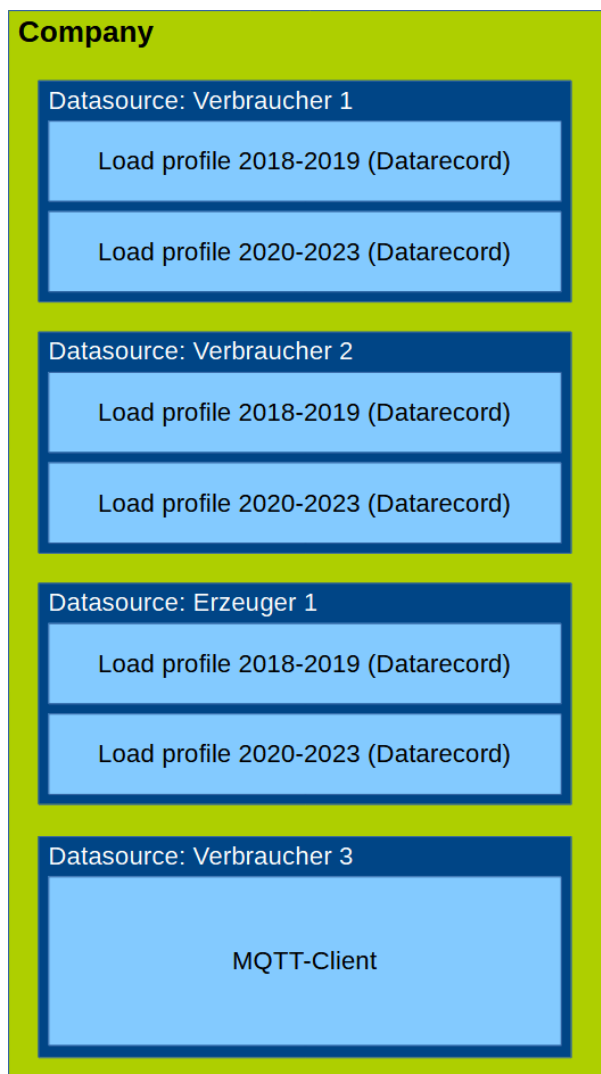


Abbildung 4: Datenorganisation innerhalb der Anwendung

Es wurde eine standardisierte Ressourcenmanagementplattform aufgesetzt und hierfür das CRUD Template von ASP.Net genutzt in Verbindung mit dem Razor Page Modell welches sich an das MVVM Modell anlehnt.

Als erstes wurde ein Datenbankschema modelliert, was die generische Ressourcenverwaltung möglichst effizient abbildet (aus Sicherheitsgründen nur im Erfolgskontrollbericht enthalten), eine schematische Darstellung findet sich in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.:**

Einer Company können beliebig viele DataSources hinzugefügt werden, die Datenquellen beschreiben eine Quelle oder Senke von Einheiten, im Falle dieser Anwendung von Energie.

Erfasste Zeiträume bzw. Aufzeichnungen können der Anwendung manuell oder über einen MQTT-Client hinzugefügt werden.

Es wurde eine In-Memory Testdatenbank aufgesetzt nachdem die Anbindung von MariaDB über Dockercontainer sichergestellt wurde und als Produktivsetup zurückgestellt wurde. Als Primärschlüssel

der Daten wurde die Kombination von Zeitstempel und Datenquelle gewählt, um für jeden Zeitpunkt pro Datenquelle nur einen Wert im System zu haben und Dopplungen beim Hochladen von Messdaten einfach über die implizite Primärschlüsselvalidierung behandeln zu können.

Darauf erfolgte das Mapping der Benutzerdaten in die Anwendungsinterne Repräsentation und schließlich über EF Core das Mapping auf das Datenbankschema.

Um eine gewisse Fehlertoleranz zu ermöglichen wurden die korrekten Daten anhand der Spaltennamen identifiziert, wobei diese den Unternehmen auch vorgegeben wurden mit einer präferierten Reihenfolge.

Es wurden Synonyme über AutoMapper konfiguriert so dass anstatt „kWh“ auch Bezeichner wie „Kilowattstunde“, „kwh“, „Energie in kWh“ und weitere, vorkommende Abweichungen richtig gemapped wurden.

Schwierigkeiten bereiteten Symbole, welche Messfehler identifizierten und daher nicht in den korrekten Datentyp geparsed werden konnten.

Aufgrund der großen Menge an Daten können diese Symbole bzw. Bezeichner nicht vorher aussortiert werden sondern müssen beim Lesen behandelt werden.

Aufgrund der großen Varianz und Komplexität beim korrekten behandeln solcher Fehlstellen wurde ein eigener Handler geschrieben der sukzessive um Ausnahmebehandlungen ergänzt werden kann.

Die Ersetzung solcher Messfehler oder anderer Indikatoren stellt kein triviales Problem dar. In anderen Anwendungskontexten könnte man die Messfehler einfach durch 0 oder eine Interpolation mit dem nächsten, korrekt gemessenen Wert ersetzen.

Beim einem Messfehler in der Sensorik welche den gesamten Energieverbrauch eines Unternehmens erfasst wäre dies aber unter Umständen eine schwerwiegende Korrumpierung der Daten.

z.B.: angenommen ein schwerwiegender Fehler im Unternehmen führt ebenfalls zu einem Ausfall der Messsensorik. Alle Anlagen werden abgeschaltet und nach 5 Stunden wieder in Betrieb genommen. Die Inbetriebnahme verursacht einen starken Peak im Stromverbrauch.

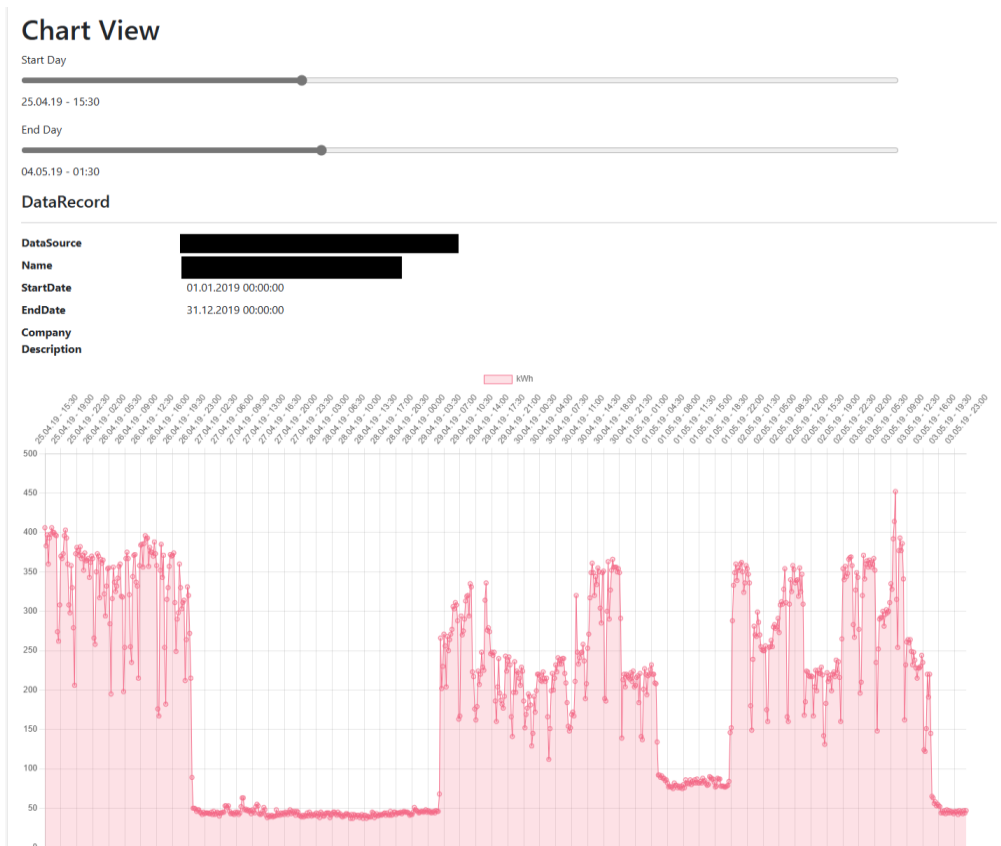
Real war der Stromverbrauch nahe 0 über x Messfehler, bei der Interpolation würde sich aber an dem letzten Verbrauch und dem Peak beim wieder einschalten orientiert werden, was einen wesentlich höheren Stromverbrauch erzeugen würde.

Ähnlich verhält es sich mit 0-Ersetzungen während der Betrieb im Prinzip normal weiter lief und nur die Übertragungswege des Messsensorik nur gestört waren.

Das Beispiel macht deutlich, dass eine zu erweiternde Szenariobehandlung von längeren Messfehlerstellen notwendig ist, was mit dem Ansatz über einen extra Fehlerhandler abgedeckt werden kann.

Es wurden Webseiten für die Verwaltung der Firmen, Datenquellen und Datenaufzeichnungen (in diesem Projekt Lastprofile als Zeitstempel mit Werten) implementiert und darauf folgend die Oberflächen zum Überwachen des Analyseprozesses und die prozedurale Oberfläche des AHP implementiert.

Um die Lastprofile zu analysieren wurde neben der vordefinierten Parameterberechnung eine Möglichkeit zur manuellen Analyse über zwei Slider über den gesamten gewählten Zeitraum implementiert:



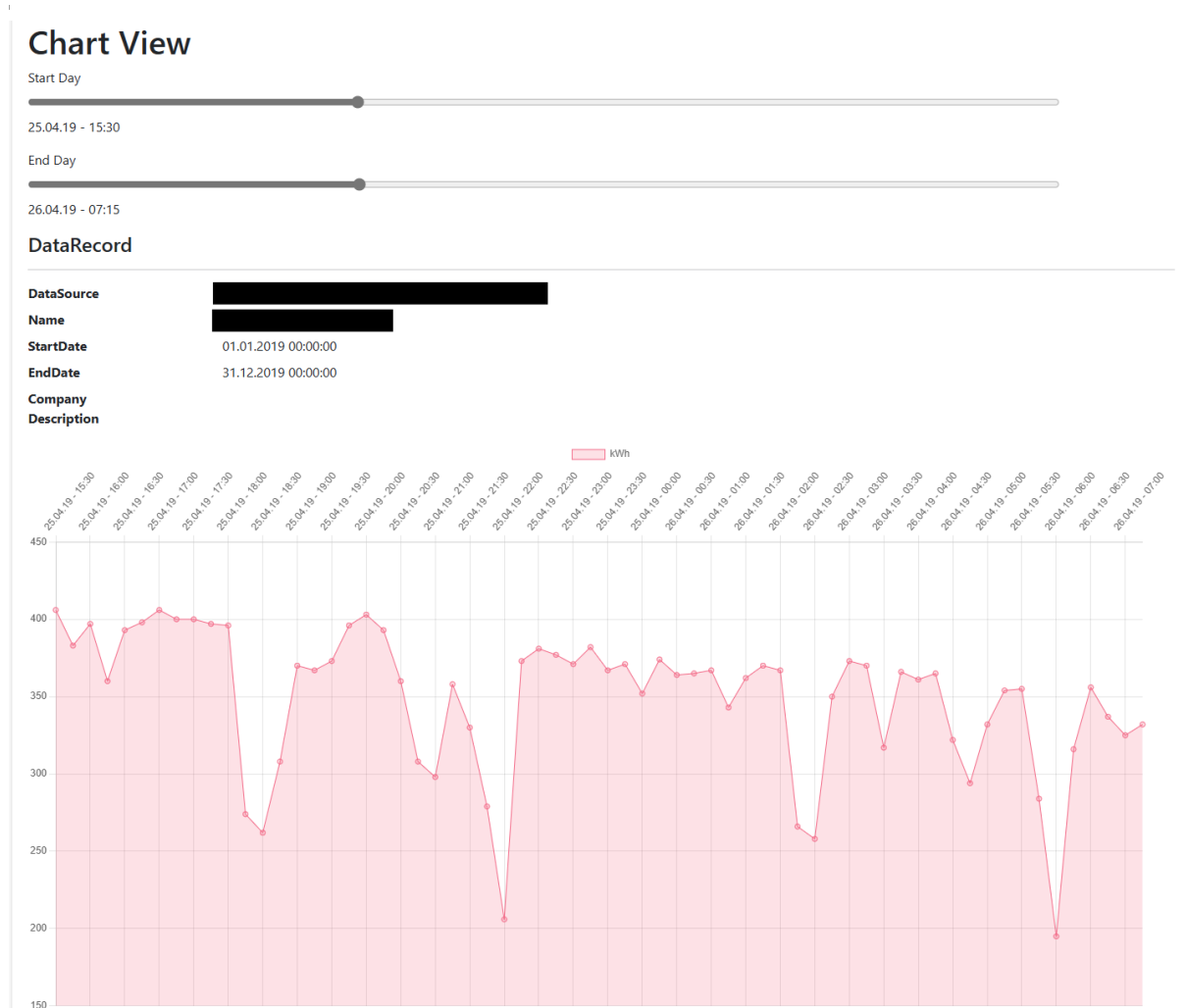


Abbildung 5: Dynamische Auflösung der Daten intuitiv steuerbar über zwei Slider

Ein Großteil der Zeit im AP4 verbrauchte die möglichst performante Implementierung der Berechnung der Formeln welche vom Partner EMS bereitgestellt wurden.

Da in einigen Fällen mehrere hunderttausend Werte miteinander verrechnet werden müssen und dies konsekutiv für verschiedene Szenarien mehrmals hintereinander, wurde ein Ergebnis-Caching notwendig um den Nutzer nicht zu lange warten zu lassen.

Dazu wurde dem Datenmodell eine neue Klasse hinzugefügt welche alle Parameter hält welche vom Partner EMS ausgewählt wurden. Im Gegensatz zu der ansonsten strikten Trennung von Datenmodell und Algorithmus wurde diese Klasse mit den Parametern einerseits als Entität für die Datenbank genutzt und andererseits um die komplexen Algorithmen zu halten, welche diese Parameter errechnen.

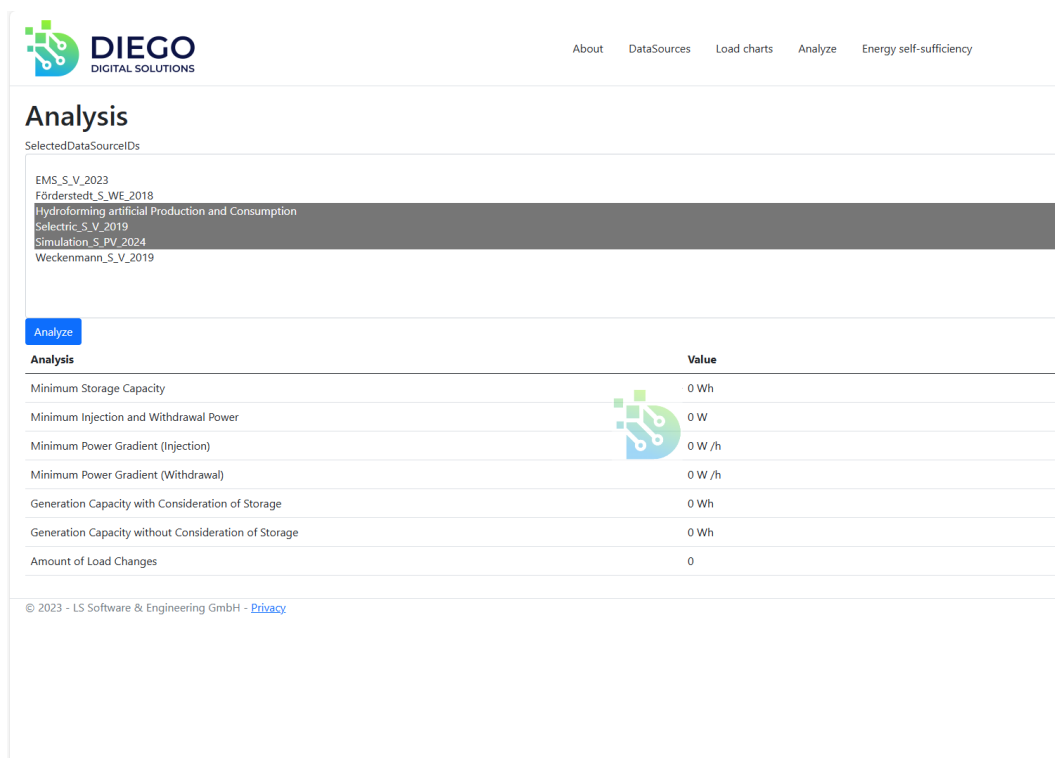
Dies hat den Kern der Business-Logik auf besondere Art und Weise gekapselt, so dass die Grundlegende Funktionalität der Plattform bzw. die Berechnung und Zwischenspeicherung mit Austausch dieser Klasse ausgetauscht werden kann.

Sofern sich die verwendete Datenbasis nicht geändert hat wurden diese Ergebnisse bei gleichen Analyseanfragen aus der Datenbank angefordert.

Zusätzlich zum Caching der Endergebnis wurde bei der Berechnung darauf geachtet, die zu errechnenden Parametern nach nützlichen Teilergebnissen zu strukturieren.

So konnten Teilergebnisse aus den Algorithmen in nachfolgenden Berechnung wiederverwendet werden, was den Rechenaufwand reduzierte.

Gerade bei der Verrechnung mehrerer Lastprofile über mehrere Unternehmen dauert die Analyse je nach gewähltem Zeitraum schon etwas länger, so dass nicht sämtliche Parameter berechnet werden bis die Seite dargestellt wird sondern das Hinterlegende Modell nach und nach mit den asynchronen Berechnungen gefüllt wird und zwischendurch immer wieder dem Nutzer dargestellt wird, um den Arbeitsfortschritt anzuzeigen. Zusätzlich wurde ein Spinner angezeigt um dem Nutzer deutlich zu signalisieren, dass der Berechnungsprozess läuft (vgl. Abbildung 6).



**DIEGO**  
DIGITAL SOLUTIONS

About DataSources Load charts Analyze Energy self-sufficiency

## Analysis

SelectedDataSourceIDs

- EMS\_S\_V\_2023
- Förderstedt\_S\_WE\_2018
- Hydroforming artificial Production and Consumption
- Selectric\_S\_V\_2019
- Simulation\_S\_PV\_2024
- Weckenmann\_S\_V\_2019

Analyze

Analysis	Value
Minimum Storage Capacity	0 Wh
Minimum Injection and Withdrawal Power	0 W
Minimum Power Gradient (Injection)	0 W /h
Minimum Power Gradient (Withdrawal)	0 W /h
Generation Capacity with Consideration of Storage	0 Wh
Generation Capacity without Consideration of Storage	0 Wh
Amount of Load Changes	0

© 2023 - LS Software & Engineering GmbH - [Privacy](#)

## Analysis

SelectedDataSourceIds

EMS\_S\_V\_2023  
 Förderstedt\_S\_WE\_2018  
 Hydroforming artificial Production and Consumption  
 Selectric\_S\_V\_2019  
 Simulation\_S\_PV\_2024  
 Weckenmann\_S\_V\_2019

Analyze

Analysis	Value
Minimum Storage Capacity	0 Wh
Minimum Injection and Withdrawal Power	0 W
Minimum Power Gradient (Injection)	0 W /h
Minimum Power Gradient (Withdrawal)	0 W /h
Generation Capacity with Consideration of Storage	0 Wh
Generation Capacity without Consideration of Storage	0 Wh
Amount of Load Changes	0

© 2023 - LS Software & Engineering GmbH - [Privacy](#)

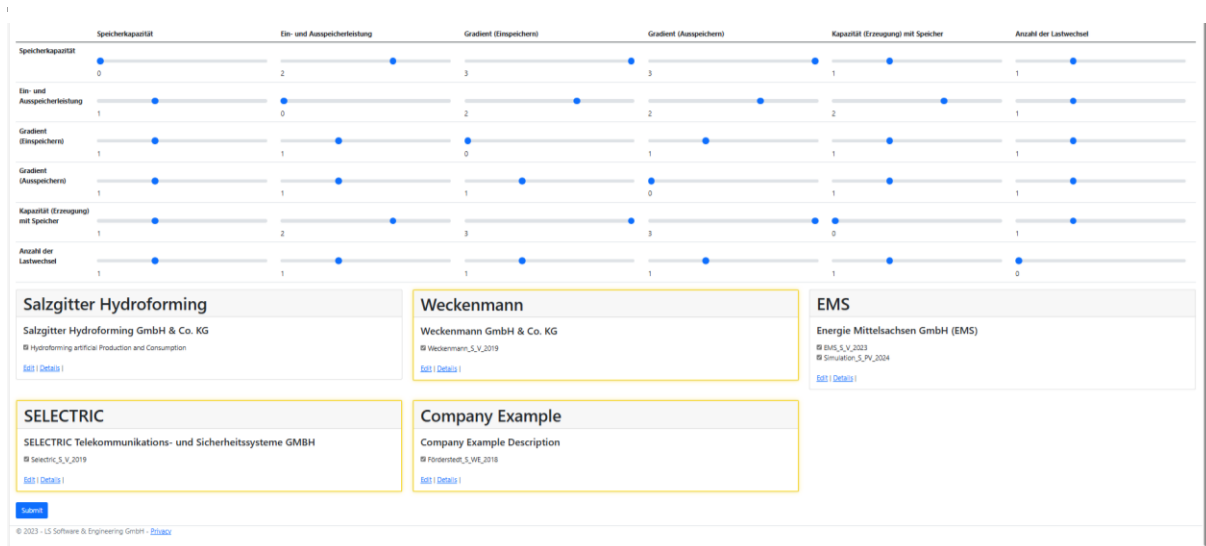
**Abbildung 6: Grow-spinner zur Indikation des Berechnungsprozesses**

Schließlich wurde der AHP anhand der eingangs erwähnten Literatur implementiert und dem Datenmodell eine Parameter- und Gewichtungsklasse hinzugefügt, mit dem der Prozess extern für beliebige Entscheidungen parametrisiert werden kann.

Zusätzlich dazu wurde auch Benutzern die Möglichkeit gegeben, für folgende Erweiterungen des Systems eine neue Parametrisierung mitsamt Gewichtung über Slider vorzunehmen bzw. die Gewichtung zu ändern sobald z.B. neue Erkenntnisse manche Parameter betreffend vorliegen.

Vorbereitet wurde von EMS in Verbindung mit einem Workshop im IFF die Parametrisierung mit der Gewichtung von Energiespeichereigenschaften nach Wirtschaftlichkeit.

Über sogenannte „Cards“ welche als HTML-Teil im System hinterlegt sind, kann überall im System auf die Firmen zugegriffen werden (sofern die Rolle „Industrieparkverwalter“ zugewiesen ist) sobald diese angezeigt werden bzw. eine Auswahl von Firmen selektiert und an einen Prozess übergeben werden. Diese Modularisierung hilft im System eine flache Interaktionshierarchie zu behalten und zentrale Steuerelemente bzgl. Funktionalität und Layout zentral zu verwalten.



**Abbildung 7: Die Oberfläche zur Auswertung mittels AHP, die geladene Gewichtung ist diejenige, welche EMS mit dem Fraunhofer IFF erhoben hat**

Nach bestätigen des „Submit“ Buttons werden die Selektierten Datenquellen der selektierten Unternehmen miteinander verrechnet um die Energiespeicherparameter aus den Residuallastgängen zu erheben und die Ergebnisse entsprechend des AHP ausgewertet.

Dieser Prozess wird in mehreren Stufen mit den alternativen Ansiedlern durchgeführt wobei als Ergebnis eine prozentuale Kennzahl ausgegeben wird, welche unter Beachtung der Gewichtung die beste Eignung hinsichtlich Energieautarkie und in zweiter Instanz hinsichtlich wirtschaftlichster Speicherkonfiguration darstellt.

## Feldtests und Validierung der Implementierung

Nach der Implementierung der Algorithmen und Datenverarbeitungs-komponenten erfolgte die Validierung der Plattform im realen Betrieb des Demonstrators „Industriepark Brumby“. Ziel der Feldtests war die Überprüfung der technischen Funktionalität, der Berechnungsgenauigkeit und der Systemperformance sowie die Einbindung von Nutzerfeedback zur Optimierung der Plattform.

### Durchführung der Tests

Die Tests wurden in mehreren Stufen durchgeführt. Generell wurden alle entwickelten Algorithmen über Unit-Tests validiert, um sicherzustellen, dass die Berechnungen mit Testdaten erwartungsgemäße Ergebnisse liefern. Nach dieser Phase erfolgten Integrationstests mit Echtzeitdaten aus der IoT-Sensorik sowie mit manuell hochgeladenen Lastprofilen der Unternehmen im Industriepark.

Während der Entwicklung wurde hauptsächlich gegen die In-Memory DB entwickelt um Integrationstests und auch API Tests bzw. Tests mit Echtzeiten der Unternehmen zugänglich vornehmen zu können.

Dies kam auch der Evolution des Datenbankschemas zugute bis es seinen endgültigen Zustand nach einigen Optimierungen erreicht hatte.

Zu ausgewählten Zeitpunkten in der Entwicklung wurden die Schemaänderungen in die MariaDB migriert und Integrationstests im Dockernetzwerk vorgenommen

Die Algorithmen wurden in zwei Hauptsysteme unterteilt:

Synergieerkennung: Berechnung der Synergien über einen Residuallastgänge zwischen verschiedenen Unternehmen innerhalb derselben Energieform.

- Minimierung des Integrals über die Residuallastgänge zur Maximierung der energetischen Synergien.
- Identifikation der erzeugten Synergien zwischen verschiedenen Unternehmenskombinationen unter Beachtung der selben Energieform

Entscheidungsunterstützung: Analyse von Energiespeicherparametern spezifischer Energiespeicher und notwendiger regenerativer Energieproduktion zum Erreichen der bestmöglich Energieautarkie im Park.

Während der Testphase wurden verschiedene technische Engpässe identifiziert. Bei der Berechnung der Residuallastgänge ergaben sich erhebliche Rechenzeiten bei der Analyse mehrerer Unternehmen über lange Zeiträume. Um dies zu optimieren, wurde ein intelligentes Ergebnis-Caching eingeführt, das bereits berechnete Werte speichert und wiederverwendet. Zusätzlich wurde die Parallelisierung der Berechnungen verbessert, um die Verarbeitungsgeschwindigkeit zu erhöhen.

Zusätzlich wurden Fehlerkorrekturmechanismen implementiert, um mit fehlerhaften Sensormessungen oder unvollständigen Unternehmensdaten umzugehen.

#### **Abschlusstreffen und Nutzereinbindung**

Zum Abschluss der Feldtests wurde ein Treffen mit EMS, der Wirtschaftsförderung Staßfurt und den Unternehmen im Industriepark Brumby durchgeführt. Dabei wurden die Testergebnisse aus Sicht der Industrieparkleitung vorgestellt und das Nutzerfeedback aus Sicht der Unternehmen zur Plattform eingeholt.

Die Rückmeldungen der Unternehmen betrafen mehrere Bereiche. Die statische und dynamische Visualisierung der Daten bzw. eines Zeitabschnitts in den Daten wurde als hilfreich bewertet, allerdings wurde angeregt, weitere Detailansichten und Filtermöglichkeiten zu integrieren. Unternehmen äußerten den Wunsch nach individuellen Konfigurationsmöglichkeiten für die Entscheidungsunterstützung, insbesondere für die Integration weiterer wirtschaftlicher Faktoren bei der Auswahl von Speichern.

Die Analysegeschwindigkeit der Algorithmen wurde grundsätzlich akzeptabel bewertet, allerdings gab es Verzögerungen bei umfangreichen Simulationsläufen.

## AP5: Bewertung der Projektergebnisse und entwickelten Lösungen unter rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen

Grundlage der Bewertung waren die in den vorherigen Arbeitspaketen entwickelten Anforderungen und Systeme zusammen mit den rechtlichen Rahmenbedingungen einerseits Datenschutz und andererseits IT-Sicherheit betreffend aber auch die Rahmenbedingungen die Energiebranche betreffend.

### Technische Bewertung

#### Erfassung und Verarbeitung der Energiedaten

Die Datenerfassung wurde über zwei Hauptquellen realisiert:

- Automatisierte Sensorik – Verbrauchs- und Erzeugungsdaten der Unternehmen wurden über eine Kombination aus Durchlaufzählern, Minicomputern mit MQTT-Client und mobiler Datenübertragung an eine zentrale Infrastruktur gesendet. EMS sammelte diese Daten zunächst und H2 stellte sie dann über den MQTT-Server für die Verarbeitung bereit.
- Manuelle Dateneingabe – Unternehmen konnten über eine Webanwendung CSV-Dateien hochladen, um historische oder berechnete Lastgänge bereitzustellen. Zur Fehlerkorrektur und Formatvalidierung wurde die Kombination der Open-Source-Frameworks CsvHelper und Automapper verwendet.

Während der Implementierung traten folgende technische Herausforderungen auf:

- Fehlerhafte oder unvollständige Messwerte wurden durch ein eigens entwickeltes Fehlerhandling-System bearbeitet. Statt fehlerhafte Werte pauschal zu interpolieren, wurde eine differenzierte Strategie implementiert, die unterschiedliche Messausfälle separat behandelt. Beispielsweise wurden längere Messlücken, die auf eine Produktionsunterbrechung hinweisen, nicht linear interpoliert, um Fehlschlüsse in der Lastprofilanalyse zu vermeiden.
- Unterschiedliche Sampleraten der Sensoren führten zu Inkonsistenzen in den Lastprofilen. Dieses Problem wurde durch eine automatische Zeitstempel-Skalierung und Normalisierung behoben indem das kleinste gemeinsame Vielfache gefunden und dadurch bei gröberer Auflösung eine höhere Datenkonsistenz erhalten wurde, als wenn die Sampleraten beliebig interpoliert worden wären.

Die zentralen Berechnungen wurden mit ASP.Net Core und EF Core durchgeführt. Die hohe Anzahl von Messwerten machte eine Optimierung der Berechnungsprozesse erforderlich:

- Ergebnis-Caching reduziert redundante Analysen, indem Ergebnisse für wiederholte Abfragen zwischengespeichert werden.
- Asynchrone Berechnungsprozesse ermöglichen, dass Nutzer erste Ergebnisse in Echtzeit sehen können, während komplexe Analysen weiterlaufen.

## Analyse- und Entscheidungsalgorithmen

Die Algorithmen zur Lastprofilanalyse und Identifikation von Synergiepotenzialen wurden iterativ verfeinert, die Möglichkeit, künstliche Erzeugungslastgänge zur Simulation von potentieller, aber noch nicht genutzter Energie zu evaluieren, war äußerst wertvoll, z. B. für die Abwärme eines Hydroforming-Unternehmens.

Zur Bewertung der Plattformperformance wurden folgende Tests durchgeführt:

- Simulationen mit synthetischen Daten, um die Skalierbarkeit bei großen Datenmengen zu testen.
- Integrationstests mit den Live-Daten aus den Sensoren, um die Echtzeitverarbeitung sicherzustellen.

Ergebnis: Die Plattform erfüllt die Anforderungen an Flexibilität, Modularität und Skalierbarkeit. Optimierungspotenzial besteht in der Erweiterung der Sensorik für spezifische Produktionsprozesse sowie der Verknüpfung mit existierenden ERP-Systemen in den Unternehmen sowie Ausbau der Features und GUI des Analytischen Hierarchie Prozesses.

## Rechtliche Bewertung

Die Verarbeitung von Energiedaten unterliegt den Datenschutz- und Netzregulierungsanforderungen. Dies wurde durch folgende Maßnahmen sichergestellt:

- Einführen einer Benutzerverwaltung über Microsoft Identity mit verschiedenen Rollen für Unternehmen und Industrieparkbetreiber
- Datenzugriffsrechte nach dem Prinzip der minimalen Berechtigung – Unternehmen haben nur Zugriff auf ihre eigenen Daten
- Datenübertragung über verschlüsselte Kanäle (HTTPS, MQTT-TLS) zur Sicherstellung der Datensicherheit.
- Opt-in-Verfahren – Unternehmen können entscheiden, ob ihre Daten in aggregierte Analysen einfließen.

Für regulatorische Fragen kann in Fortentwicklungen des AHP sichergestellt werden, dass EEG-Umlagen, Netzentgelte und Fördermechanismen in die Entscheidungsunterstützung integriert werden, sodass Unternehmen wirtschaftlich tragfähige Entscheidungen treffen können.

## Wirtschaftliche Bewertung

Die entwickelte Plattform bietet Unternehmen im Industriepark Brumby wirtschaftliche Vorteile durch die Möglichkeit nicht genutzte Energiequellen zu simulieren und deren Effekt auf den eigenen Energieverbrauch auszuwerten oder Synergien mit den Energiequellen und benachbarter Unternehmen zu bilden und sich diese vergüten zu lassen oder die Möglichkeit zu evaluieren, einen gemeinsamen Speicher mit mehreren Unternehmen zu betreiben und über verschiedenste Absprachen ökonomisch davon zu profitieren.

### Identifizierte wirtschaftliche Vorteile für Unternehmen

- Optimierte Produktionszeiten durch Analyse der Verbrauchs- und Erzeugungsmuster.
- Identifikation von Einsparpotenzialen durch simulierte Energieaustausch-Szenarien.
- Bewertung von Speichertechnologien unter Berücksichtigung von Kosten, und Amortisation.

Ein weiteres wirtschaftliches Potenzial liegt in der Übertragbarkeit der Plattform auf andere Industrieparks. Mögliche kommerzielle Verwertungsstrategien:

- Software-as-a-Service-Modell (SaaS) für Industrieparks und Energiedienstleister.
- Beratungsdienstleistungen für Industrieunternehmen auf Basis der entwickelten Analysemethoden.

### Fazit und Optimierungspotenziale

Die entwickelte Plattform erfüllt die technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Anforderungen. Die Bewertungsmodelle und Optimierungsalgorithmen liefern belastbare Ergebnisse für die effiziente Synergieanalyse und Auswertung neuer Anwerber für den Industriepark unter Gesichtspunkten der Energiesynergien und der wirtschaftlich besten Speicherauslegung für alle, bzw. einer Untermenge der Unternehmen im Industriepark.

### Mögliche Optimierungsmaßnahmen:

Erweiterung der Sensorik für spezifische Produktionsprozesse.

- Größere Automatisierung der Fehlerkorrektur in Messdaten evtl. unter Nutzung von KI zur Reduzierung manueller Eingriffe.
- Integration mit bestehenden ERP-Systemen zur direkten betrieblichen Anwendung.
- Erweiterung um weiteres Ressourcenmanagement und Bildung von Synergien über alle Ressourcenflüsse hinweg
- Erheben alternativer Energiequellen über die Auswertung von allen Ressourcenflüssen im Industriepark
- Erweiterung der Entscheidungsunterstützung und GUI der Entscheidungsunterstützung um den AHP auch aus Anwendersicht komplett selbst parametrisieren zu können und dadurch nach und nach komplexeste Entscheidungen über viele kleine, gewichtete Unterkriterien und –Entscheidungen abbilden zu können.

Insgesamt hat das Arbeitspaket 5 gezeigt, dass die DIEGO-Plattform in der Praxis einsetzbar ist, sich wirtschaftlich lohnt und rechtlichen Anforderungen entspricht.

## AP6: Projektmanagement & Organisation

Im Rahmen des Arbeitspakets 6 wurde sich eng und systematisch mit den beteiligten Partnern abgesprochen. Der regelmäßige Austausch diente dazu, den Fortschritt der Arbeitspakete zu überwachen, offene Fragen zu klären und Anpassungen koordiniert umzusetzen. Besonders durch die enge Zusammenarbeit mit EMS und der Wirtschaftsförderung Staßfurt konnte eine strukturierte Kommunikation gewährleistet werden. Dazu wurden regelmäßige Jour-Fixe durchgeführt, die eine kontinuierliche Bewertung der bisherigen Entwicklungen ermöglichten.

Das Reporting erfolgte in standardisierten Formaten und festen Intervallen gegenüber der auch konsortialen Projektkoordination durch Partner H2. Die Arbeitspakete wurden regelmäßig überprüft, sodass Verzögerungen oder Abweichungen frühzeitig erkannt und notwendige Maßnahmen ergriffen wurden. Dies stellte sicher, dass die geplanten Meilensteine erreicht wurden und der Zeitplan entweder eingehalten werden konnte oder andere Arbeiten vorgezogen wurden, sodass es insgesamt zu keiner Verlängerung kam. Neben der organisatorischen Steuerung wurden von H2 auch fachliche Hilfestellungen geleistet, wodurch eine gezielte Unterstützung der beteiligten Partner ermöglicht wurde.

Zur Förderung des Informationsaustauschs wurden monatliche Online-Meetings abgehalten, in denen aktuelle Entwicklungen der Arbeitspakete besprochen wurden. Ergänzend dazu fanden vier persönliche Projekttreffen in Deutschland, Österreich, Israel und Polen statt. Diese Treffen dienten nicht nur der detaillierten Diskussion über den Projektfortschritt, sondern ermöglichten es auch, infrastrukturelle und technologische Gegebenheiten an den jeweiligen Standorten besser zu verstehen. Dadurch konnten Rahmenbedingungen, die sich auf die Projektergebnisse auswirkten, direkt vor Ort analysiert werden.

Zur strukturierten Dokumentation wurde ein Projektstatusbericht erstellt und regelmäßig aktualisiert. Dieser beinhaltete eine klare Übersicht zu den jeweiligen Aufgaben, Verantwortlichkeiten, Terminen und dem aktuellen Bearbeitungsstand. Durch diese Form der Statusüberprüfung konnten potenzielle Risiken frühzeitig erkannt und Steuerungsmaßnahmen eingeleitet werden.

Die enge Abstimmung zwischen den Partnern und die regelmäßige Fortschrittsüberprüfung führten zu einer hohen Transparenz im gesamten Projektverlauf. Herausforderungen wurden frühzeitig identifiziert und gemeinsam gelöst. Durch diese Maßnahmen konnte sichergestellt werden, dass das Projekt effizient verlief und eine zielführende Umsetzung der Arbeitspakete erfolgte.

## **Danksagung**

LSE möchte sich für die gute Zusammenarbeit bei allen Projektpartnern bedanken, insbesondere bei EMS für den Kontakt zu den Unternehmen und die fachliche Unterstützung, bei der Hochschule Magdeburg Stendal für die Hilfsbereitschaft während der Projektphasen und das sehr gute und strukturierte organisatorische Management und der Abteilung Wirtschaftsförderung der Stadt Staßfurt ebenfalls für die ausgezeichnete PR-Arbeit und Kommunikation zu den Unternehmen und ein unschätzbar wertvoller Blick von außen auf das Gesamtsystem.

Informationen und Unterstützung waren zu jedem Zeitpunkt im Projekt nur einen Anruf weit entfernt.

# Anhang

Tabelle 1: Anforderungen an die Informationen aus dem Analysetool zu Beginn der Entwicklung

Input Unternehmen	Daten-Darstellung / Einheit	Bemerkungen
Name Unternehmen		genaue Unternehmensbezeichnung inkl. Anschrift
Branche		
Flächenplan		ausschließlich äußerer Zuschnitt der <b>gesamten</b> (Freiflächen, Verwaltung, Produktion, Lager, ...) benötigten Fläche notwendig; mit Angabe Maßstab
Lageplan	Angabe Maßstab + möglichst genaue Koordinaten	Lokalisierung Produktion/DL-Erbringung / Energienutzung/-erzeugung (mit Angabe "Lastgang-ID") / „Potential regenerative Erzeugung" (mit Angabe "Projekt-ID")
Art der Produkte		
Menge der Produkte	Einheiten: kg, m, m2, m3, St., ... / Menge abgebildet über die Zeit (12 Monate)	als Jahres-Produktionslastgang
typische Produktionszyklen	Monats-, Wochen-, Tages-Werte / Relativ-Angaben "Anteil an Jahresproduktion" (in %) abgebildet über die Zeit (12 Monate)	
spezifische Energieverbräuche	Einheiten: kWh pro kg / m / m2 / m3 / St. / ...	
energetische Wirkungsgrade von Anlagen		Produktion, Lager/Logistik, Heizung, ...
Zeitpunkt Start/Ende Produktion	tageweise für <b>alle</b> Wochentage (Mo-So)	
geplante Arten Energieträger		Strom, Gas, Wärme, sonstige
zu erwartende Lastgänge / anzuwendende SLP	vorab bekannte anlagenbedingte RLM-Lastgänge / Name SLP	spartenscharf
zu erwartende Jahresverbräuche	MWh/a	
Eigenerzeugung geplant?	falls ja: Angaben s. Datei "Unternehmensdaten_Muster"	Angaben gem. Tabellenblatt "Potential regenerErzeugung"
Speicher geplant?		Angaben spartenscharf gem. Zellen unterhalb "falls Speicher" im jeweiligen Tabellenblatt
<b>Output nach Anwendung Tool</b>		<b>Bemerkungen</b>
optimale Auswahl + Anordnung der Unternehmen innerhalb eines Gewerbeparks		ausschließlich aus <b>energiesynergetischer</b> Sicht; Ziel: Auswahl + Anordnung der Unternehmen so, dass Wert "Integral über RL" (= Delta Nutzung/Erzeugung im betrachteten Zeitraum) minimal wird
technische Parameter für <b>zusätzliche</b> Speicher- und regenerativer Erzeugungskapazitäten		Ziel: Bestimmung technische Parameter so, dass Wert "Integral über RL" (= Delta Nutzung/Erzeugung im betrachteten Zeitraum) minimal wird