

Forschungsbericht BWPLUS

Ultraeffizienz4Industriegebiete Ultraeffizienzfabrik – Demonstratoren zur Realisierung ultraeffizienter Industriegebiete

von

Michael Hertwig, Joachim Lentes
Ekrem Köse, Jan-Niklas Gerdes, Lara Waltersmann
Adrian Barwasser
Michael Meier

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO,
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT
Wirtschaftsförderung und Standortentwicklung Rheinfelden (Baden) GmbH

Förderkennzeichen: BWDU 20110
BWDU 20111
BWDU 20112

Laufzeit: 01.12.2019 – 30.11.2022

Finanziert aus Landesmitteln, die der Landtag Baden-Württemberg beschlossen hat.

Februar 2023

Forschungsbericht BWPLUS

Ultraeffizienz4Industriegebiete Ultraeffizienzfabrik – Demonstratoren zur Realisierung ultraeffizienter Industriegebiete

von

Michael Hertwig, Joachim Lentes
Ekrem Köse, Jan-Niklas Gerdes, Lara Waltersmann
Adrian Barwasser
Michael Meier

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO,
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Universität Stuttgart, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT
Wirtschaftsförderung und Standortentwicklung Rheinfelden (Baden) GmbH

Förderkennzeichen: BWDU 20110 | BWDU 20111 | BWDU 20112

Februar 2023

Inhalt

1	Abstract – Kurzbeschreibung.....	4
2	Grundlagen der Ultraeffizienzfabrik.....	5
3	Ziele des Projektes und Motivation.....	7
4	Projektübersicht – Arbeitspakete und Zeitplan	8
5	Wissenschaftlich - fachliche Ergebnisse	10
5.1	Arbeitspaket 1 – Koordination und Projektmanagement	10
5.2	Arbeitspaket 2 - Konzeption und Planung des Demonstrators	10
5.3	Arbeitspaket 3 – Entwicklung eines digitalen Modells	14
5.4	Arbeitspaket 4 – Anwendung der Modellierungsmethode auf den Standort	21
5.5	Arbeitspaket 5 – Realisierung und Erprobung des Demonstrators	22
5.6	Arbeitspaket 6 – Öffentlichkeitsarbeit und Verwertung	25
6	Beschreibung des Demonstrators	29
6.1	Backend – technologische Basis.....	29
6.2	Frontend – technische Umsetzung.....	30
6.3	Anwendbarkeit und Übertragbarkeit	35
7	Resümee, Ausblick und weitergehende Arbeiten.....	37
8	Referenzen	38

1 Abstract – Kurzbeschreibung

Die Kombination aus Bevölkerungswachstum und Ressourcenendlichkeit bedingt einen wirtschaftlichen Paradigmenwechsel mit dem Ziel der Entkopplung von Wachstum und Ressourcenbedarf. Dazu wurde das Konzept der Ultraeffizienz entwickelt. Die ganzheitliche Optimierung innerhalb von Unternehmen wird von einigen Unternehmensführungen in Bezug auf die aktuellen Rahmenbedingungen vorangetrieben. Weitere Herausforderungen entstehen, wenn die Optimierungspotenziale innerhalb eines Unternehmens ausgereizt sind. In diesem Fall müssen Maßnahmen adressiert werden, welche durch eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit geprägt sind. Dies kann bei einzelnen ökonomischen Zielen noch einfach realisierbar sein, jedoch erfordern die aktuellen Rahmenbedingungen auch ökologische und soziale Weiterentwicklungen.

Um unternehmensübergreifend Maßnahmen in ihrer Wirkung diskutieren zu können, müssen sich die involvierten potenziell kooperierenden Organisationen auf einen gemeinsamen Handlungsplan einigen. Um die Schaffung dieses Konsenses zwischen den potenziell kooperierenden Organisationen zu unterstützen, wurde im Rahmen des Projektes Ultraeffizienz4Industriegebiete eine Handreichung entwickelt. Zur Unterstützung bei der Auswahl und Etablierung von Ultraeffizienzmaßnahmen wurde ein Planungs- und Visualisierungswerkzeug als Demonstrator entwickelt, das es ermöglicht, zukünftige Symbioseeffekte zwischen Unternehmen innerhalb eines Industriegebiets sichtbar zu machen. Somit werden die angesiedelten Institutionen am Standort in die Lage versetzt, Maßnahmen zur Weiterentwicklung in Richtung Ultraeffizienz zu planen. Nach der Initialisierung stellt der entwickelte Demonstrator die aktuelle Situation am Standort dar. Durch Auswahl aus den verfügbaren Ultraeffizienzmaßnahmen können deren Auswirkungen auf die fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienz – Energie, Material, Emission, Mensch/Personal und Organisation – durch die Veränderung von Kennwerten für jeden beteiligten Partner visualisiert werden.

Der Demonstrator ist so entwickelt, dass er an andere Industriestandorte angepasst werden kann. Ebenso lässt sich die Auswahl an Ultraeffizienzmaßnahmen, auch gemäß der Anforderungen des jeweiligen Betrachtungsstandortes ergänzen und erweitern. Damit kann der Demonstrator ein Baustein sein, um Klimaziele von Kommunen und Städten zu adressieren, in dem größere „Hebel“ für die Optimierung des Standortes mit angesiedelten Unternehmen analysiert sowie visualisiert und damit diskutiert werden können. Durch die Nutzung von Web-Technologien und Open Source IT-Werkzeugen entstehen durch die Nutzung des Demonstrators auch langfristig keine regelmäßigen Lizenz- und Vertragskosten. Damit wird ein wichtiges Kriterium für Kommunen erfüllt. Darüber hinaus wurde der Demonstrator so entwickelt, dass er auf einem lokalen Gerät aufgespielt und genutzt werden kann. Erfolgt dies bei einem unabhängigen Partner, bspw. der lokalen Wirtschaftsförderung kann eine Anonymisierung der Eingangsdaten entsprochen werden, wodurch Rückschlüsse auf die wirtschaftliche Situation einzelner Unternehmen verhindert werden.

Positives Zusatzergebnis ist, dass während der Entwicklung und Erprobung des Demonstrators am Betrachtungsstandort Diskussionen über die Konkretisierung von Maßnahmen aufgenommen wurden. Ausgehend von den Analysen der beteiligten Forschenden im Projekt wurde eine Handreichung zur Weiterentwicklung der Diskussion gegeben. Mit Projektende war sogar die Entscheidung für die Umsetzung einer Maßnahme mit der entsprechenden Investition positiv ausgefallen. Somit wird bei Erhalt der Genehmigung der baulichen Änderungen auch die benötigte Infrastruktur gemeinsam ausgebaut, um industrielle Abwärme eines Unternehmens als Energie für ein anderes Unternehmen nutzbar zu machen.

2 Grundlagen der Ultraeffizienzfabrik

Das rasante Weltbevölkerungswachstum sowie aktuell verstärkt auftretende Starkwetterereignisse haben die Diskussionen um die „Grenzen des Wachstums“ und einem Entgegenwirken bei den potenziellen Einflüssen für Klimaveränderungen wieder verstärkt auf die Tagesordnung gehoben. Es muss ein Paradigmenwechsel hin zu einem nachhaltigen Wirtschaften auf der Grundlage der Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch erfolgen. Gleichzeitig stehen Unternehmen insbesondere in Deutschland vor der Frage, wie sie dem seit Jahren weiter zunehmenden Fachkräftemangel entgegen können. Dazu müssen Unternehmen das Arbeitsumfeld attraktiv und die Organisation effektiv gestalten und neue Maßstäbe von Effektivität und Effizienz, gepaart mit einer »kompatiblen Produktion« entwickeln. Vor diesem Hintergrund wurde in den vergangenen Jahren das Konzept der Ultraeffizienzfabrik entwickelt. Dieses dient als Ordnungsrahmen zur Umsetzung der erforderlichen Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch. Um das Ziel der angestrebten Entkopplung zu erreichen, ist die Kreislaufführung von Ressourcen ein vielversprechender Ansatz.

Die Vision, die hinter dem Konzept der Ultraeffizienzfabrik steht, ist somit die einer verlust- und belastungsfreien Fabrik, welche darüber hinaus einen symbiotisch-positiven Beitrag zu ihrem direkten Umfeld leistet. Es wird daher „das Richtige mit dem Richtigen“ verbunden. Der Begriff Ultraeffizienz ist die Kombination aus Effektivität und Effizienz. Das Ziel ist es, die Optimierung des Aufwandes, die ökologische Unbedenklichkeit und die soziale Attraktivität in Einklang zu bringen. Kernelemente der Ultraeffizienzfabrik sind hierbei die – soweit möglich – vollständige Vermeidung von Abfall, Emissionen und Verschwendung sowie die Kreislaufführung von Rohstoffen, Materialien und auch Energie (Abbildung 1). Als Befähigung der Vision der Ultraeffizienz kommen der digitalen Transformation bzw. Digitalisierung und der biologischen Transformation eine besondere Bedeutung zu.

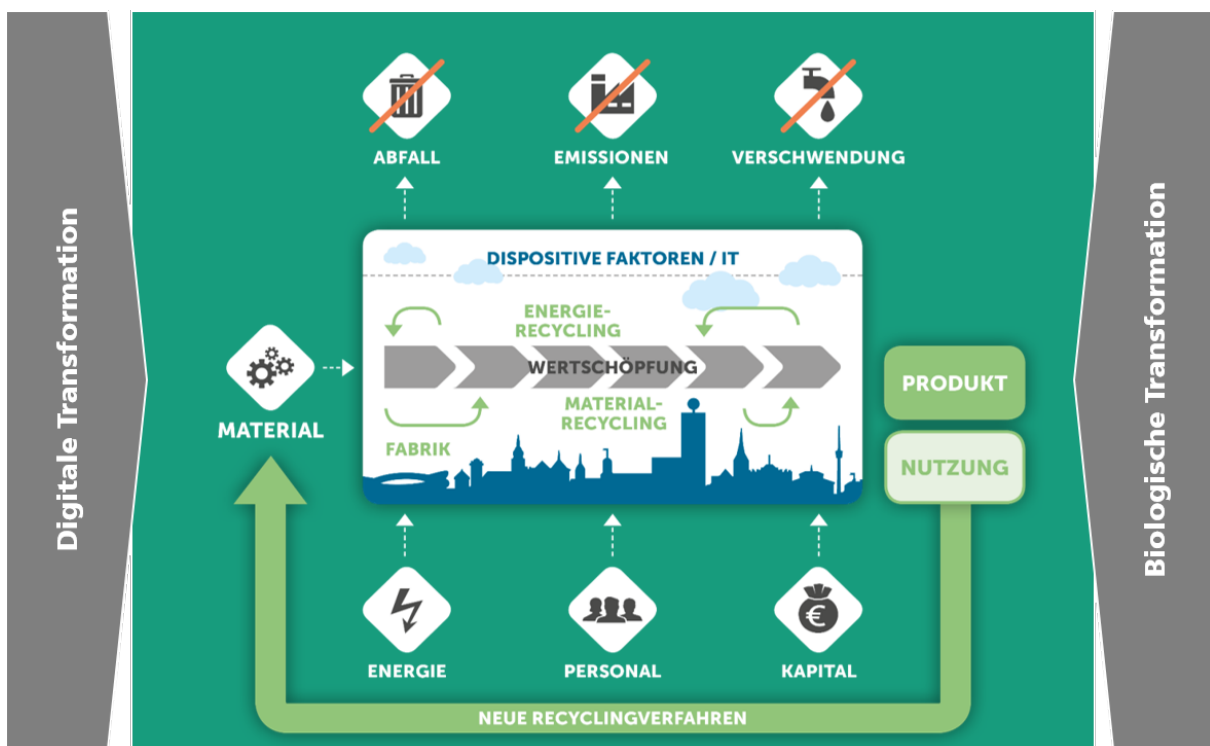


Abbildung 1: Das Wertschöpfungsmodell der Ultraeffizienzfabrik

Eine Kreislaufführung von Ressourcen ist Voraussetzung, um eine Entkopplung des Ressourcenverbrauchs vom Wachstum bei gleichzeitiger Kundenorientierung der Produktion zu erreichen. Die Konzeption und Erprobung des Konzepts haben zunehmend an Bedeutung gewonnen, angeführt von einer kleinen Anzahl von Wissenschaftlern, Denkern und Unternehmen. Die zugrundeliegenden Konzepte, die primär die Schaffung von Materialkreisläufen forcieren, wurden von verschiedenen Denkschulen verfeinert und weiterentwickelt, wie Cradle-to-Cradle [North Point press 2002], Performance Economy [Stahel 2006], Industrial Ecology [Ayres et.al 2002], Natural Capitalism, Blue Economy, Regenerative Design [Lyle 1996] und Circular Economy [Ellen MacArthur Foundation 2015].

Basierend auf dem Wertschöpfungsmodell der Ultraeffizienzfabrik wurden fünf Handlungsfelder identifiziert, die im Rahmen der Umsetzung dieses Leitbilds betrachtet werden müssen (Abbildung 2):

- Material,
- Energie,
- Organisation,
- Mensch/Personal und
- Emissionen.

Durch die ganzheitliche Betrachtung dieser Handlungsfelder werden Zielkonflikte aufgedeckt und können zielgerichtet adressiert werden. Hierdurch wird eine Minimierung bzw. Vermeidung von Umweltbelastungen erreicht und durch den Einbezug aller Handlungsfelder die ganzheitliche Betrachtung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen (ökonomisch, ökologisch, sozial) ermöglicht. Darüber hinaus werden verschiedene Ebenen, in denen die Ultraeffizienz untersucht werden kann, definiert. Diese reichen vom einzelnen Prozess über die Produktion und Fabrik bis zum städtischen und globalen Umfeld. Somit können Synergien einer Fabrik mit seinem Umfeld betrachtet werden:

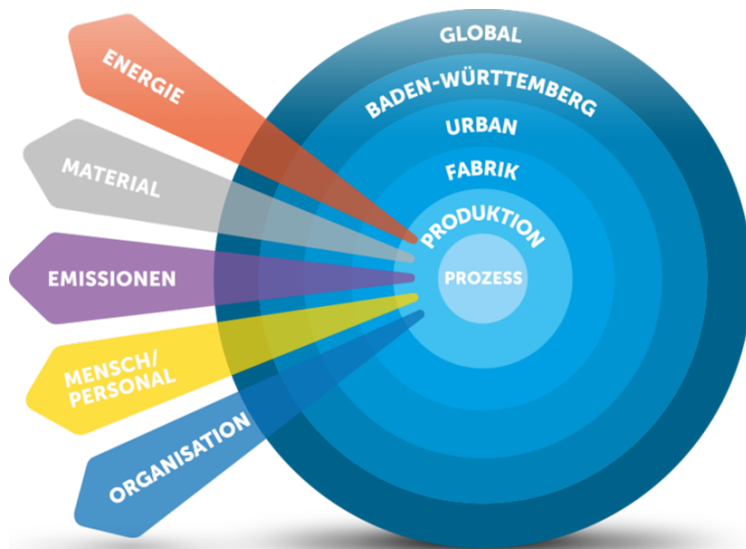


Abbildung 2: Handlungsfelder und Betrachtungsebenen der Ultraeffizienzfabrik

Das durch die Kooperation aus drei Fraunhofer-Instituten am Fraunhofer-Institutszentrum Stuttgart - Fraunhofer IAO, Fraunhofer IGB und Fraunhofer IPA – entwickelte Konzept der Ultraeffizienzfabrik hat in den ersten Projekten insbesondere Einzelaspekte der Prozesse und Produktion im Detail analysiert [Lentes et.al 2017]. Es wurden Methoden zur schnellen Identifikation von Potenzialen für Weiterentwicklungen in Richtung Ultraeffizienz entworfen. Neben diesen Ansätzen sind Leitbilder, Benchmark und Möglichkeiten zur Schulung von Inhalten zur Ultraeffizienz entstanden. Aufgrund der entsprechenden Erkenntnisse und erster Konzeptstudien zeigt sich, dass Ultraeffizienz ausschließlich mit Fokus auf eine Fabrik bzw. Unternehmen sehr begrenzt ist [Spath et.al 2017]. Durch die Schaffung von Symbiosen mit der Nachbarschaft, wie Unternehmen aber auch Wohnbebauung, in Industrie- und Gewerbegebieten ergeben sich zusätzliche Potenziale, die gehoben werden können.

Die Besonderheit des Konzeptes ist die Verknüpfung der ganzheitlichen Perspektive sowie die Berücksichtigung der Rahmenbedingungen in urbanen Zentren. Damit unterscheidet sich das Konzept grundlegend von allen weiteren bestehenden Forschungsansätzen im Rahmen der Themenfelder urbane Produktion bzw. energie- und ressourceneffizienter Produktion. Weitere bekannte Vorhaben sind auf Konzepte für die Umsetzung von Effizienz- oder Effektivitätsmaßnahmen fokussiert. So existiert die Positive-Impact Factory, welche konkrete Maßnahmen zur Effizienzsteigerung innerhalb der Fabrik adressiert [Herrmann et. al 2015]. Die ETA-Fabrik in Darmstadt ist eine Modellfabrik für die Metallverarbeitung und konzentriert sich derzeit auf die Verbesserung von Energieeffizienzpotentialen [Fafflok et. al 2016]. Eine weitere Forschungsfabrik in diesem Kontext ist die Fraunhofer Leitfabrik E3, welche jedoch ebenfalls die Materialeffizienz und Emissionsreduzierung weitestgehend vernachlässigt und darüber hinaus das urbane Umfeld nicht einbezieht [Schneider 2015].

3 Ziele des Projektes und Motivation

Die Entwicklung des Ansatzes der Ultraeffizienz geht bereits einige Jahre zurück. Bereits im Dezember 2015 hat das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg mit einer öffentlichkeitswirksamen Veranstaltung das Konzept in der Industrie zugänglich gemacht. Aufgrund der Komplexität des Themenfelds fehlte insbesondere den industriellen Vertretern der Zugang, die Potenziale einzuschätzen und intern auch für einzelne Maßnahmen Unterstützung zu erhalten. Erste Unternehmen gehen mittlerweile gemeinsam, unterstützt durch die angewandte Forschung, einzelne Handlungsfelder an. Diese Early-Adopter setzen Aspekte der Ultraeffizienz konsequent um, wobei jedoch typischerweise einzelne Handlungsfelder des übergreifenden Ansatzes vernachlässigt werden. Diese Unternehmen haben es jedoch geschafft, Best-Practices zu etablieren und im Betrieb zu nutzen. Doch im Austausch mit den Anwendungsunternehmen zeigt sich, dass die Hebel für die Potenziale begrenzt sind, da die Optimierung ausschließlich innerhalb der Unternehmensgrenzen stattfindet. Diese Optimierung ist jedoch endlich, da Unternehmen der wirtschaftlichen Perspektive aus verständlichen Gründen Priorität geben. Aber insbesondere die organisationsübergreifende Zusammenarbeit zwischen Unternehmen kann zusätzliche, bisher nicht bekannte und ungenutzte Potenziale bieten. Gründe hierfür sind vielfältig, da sich am gleichen Standort befindliche Unternehmen komplementär ergänzen können. Zusätzlich kann die gemeinsame Realisierung von Investitionen besser amortisiert werden, da Skaleneffekte bei einem größeren Nutzungsumfeld einfacher zu erzielen sind.

Die große Herausforderung ist es, die Unternehmen über relevante Handlungsfelder ins Gespräch zu bringen, um gemeinsame organisationsübergreifende Maßnahmen zu konkretisieren und in die Umsetzung zu bringen. Der entwickelte Demonstrator bietet einen Ansatz, um den Austausch der Stakeholder zu befähigen sowie das ganzheitliche Optimierungspotenzial von Ultraeffizienzmaßnahmen sichtbar zu machen.

Der entwickelte Demonstrator ist als Darstellungs- und Kommunikationsplattform für die nachhaltige, ultraeffiziente Entwicklung für Industriegebiete und der darin angesiedelten Unternehmen konzipiert. Als „Digitales Ultraeffizienz-Planungswerkzeug für Industrie- und Gewerbegebiete“ soll es Unternehmen, Betreibergesellschaften, Zweckverbänden, Kommunen, Stadtplanern u.a. ermöglichen, die Potenziale von unterschiedlichen organisationsübergreifenden Ultraeffizienzmaßnahmen mit geeigneter Visualisierung in den Planungsprozess zur Optimierung von Industrie- und Gewerbegebieten im Sinne der Ultraeffizienz zu integrieren. Damit sollen die beteiligten Stakeholder bei der Bewertung von Symbiose-Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags zu ökologischen, sozialen und nicht zuletzt auch ökonomischen Zielsystemen unterstützt werden.

Um den Nutzen für potenzielle Nutzer zu maximieren, sind bei der Umsetzung folgende Aspekte als relevante Zielkriterien verfolgt worden:

- Klarer Prozess zur Datenerhebung und -nutzung
- Sicherstellung der Möglichkeit der Anonymisierung der Datenherkunft – Unterbinden der Rückverfolgbarkeit auf einzelne Unternehmen
- Anwendbarkeit für verschiedene Standorte – generischer Ansatz, der sich durch geeignete Anpassung auf andere Standorte adaptieren lässt
- Nutzbarkeit für verschiedene Nutzungsszenarien – öffentliche Diskussion mit Bürger:innen und Roadmap-Diskussion unter den beteiligten Unternehmen
- Darstellung von virtuellen Symbiosen (organisatorische Zusammenarbeit) sowie physischen Elementen der gemeinsamen Nutzung (Etablierung von gemeinsam genutzter Infrastruktur)
- Erweiterbarkeit um bisher nicht berücksichtigte Maßnahmen – Adaption an lokale Rahmenbedingungen und Stakeholder-Bedarfe
- Einfache Bedienbarkeit der Visualisierung und Ergänzung weiterer Informationen zu Best-Practices, sofern vorhanden

Es soll gelingen, kooperative Strukturen auszuprägen, indem alle potenziell Beteiligten einen Mehrwert aus der Zusammenarbeit erkennen können. Dadurch sollen Entscheidungen für Investitionen befördert und langfristige Zusammenarbeit zu gegenseitigem, auch wirtschaftlichen, Nutzen etabliert werden.

4 Projektübersicht – Arbeitspakete und Zeitplan

Das Projekt Ultraeffizienz4Industriegebiete bestand aus vier technischen und zwei organisatorischen Arbeitspaketen. Die folgende Abbildung 3 zeigt den Projektstrukturplan und weist damit die Abhängigkeiten der Arbeiten aus.

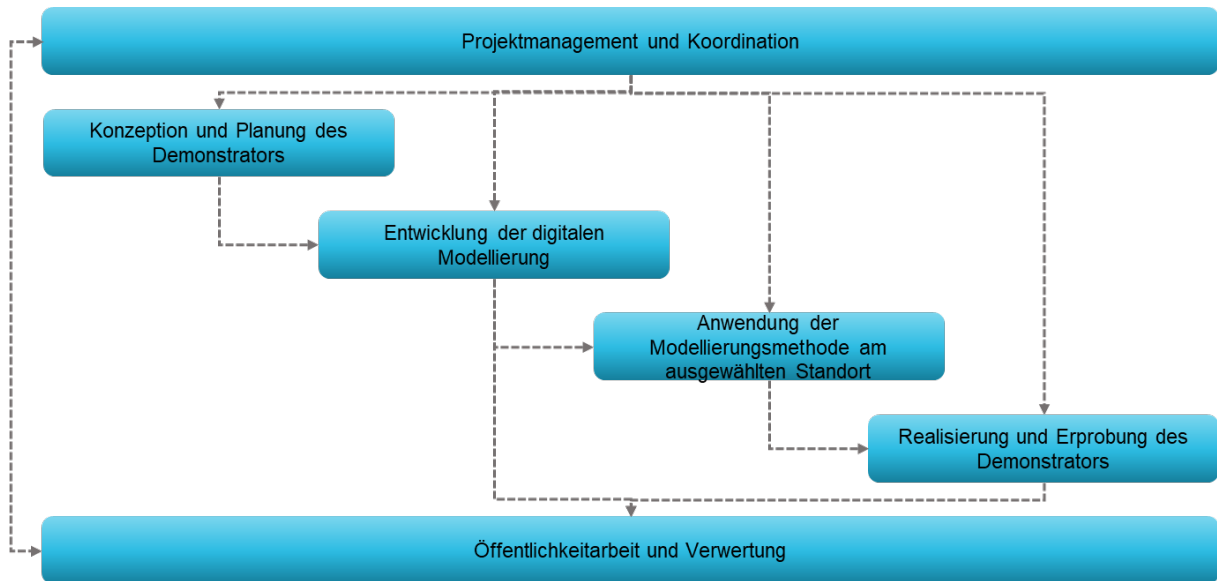


Abbildung 3: Projektstrukturplan

Das Projekt begann im Dezember 2019 und wurde am 30. November 2022 erfolgreich abgeschlossen. Besonderheit im Verlauf des Projektes war die Corona-Situation (SARS-CoV2), welche das Projekt kurz nach Aufnahme der inhaltlichen Arbeit Anfang des Jahres 2020 ereilte. Damit waren im Projekt immer wieder Anpassungen der Planung nötig, um den Rahmenbedingungen zu entsprechen und die Einbindung von externen Stakeholdern sicherzustellen, da diese sich über den Projektverlauf sehr volatil gestaltet hat.

Diese Besonderheit zeigt sich besonders in der zeitlichen Planung der Arbeitspakete, da der Abschluss sowie der Start einzelner Arbeiten angepasst werden musste. Die Auswirkungen der Pandemie mit Einschränkungen bei Begegnungen und wirtschaftlichen Einflüssen sind Abbildung 4 zu entnehmen. Die schnelle Adaption von technischen Werkzeugen zur virtuellen Zusammenarbeit war für das Projekt ein wichtiger Erfolgsfaktor, um insbesondere in Zeiten von Kontaktverboten bzw. Einschränkungen zum Treffen größerer Gruppen die verschiedenen Beteiligten (Unternehmen am Pilot-Standort, projektunabhängige Experten und auch interessierte Dritte) zu erreichen und einzubinden.

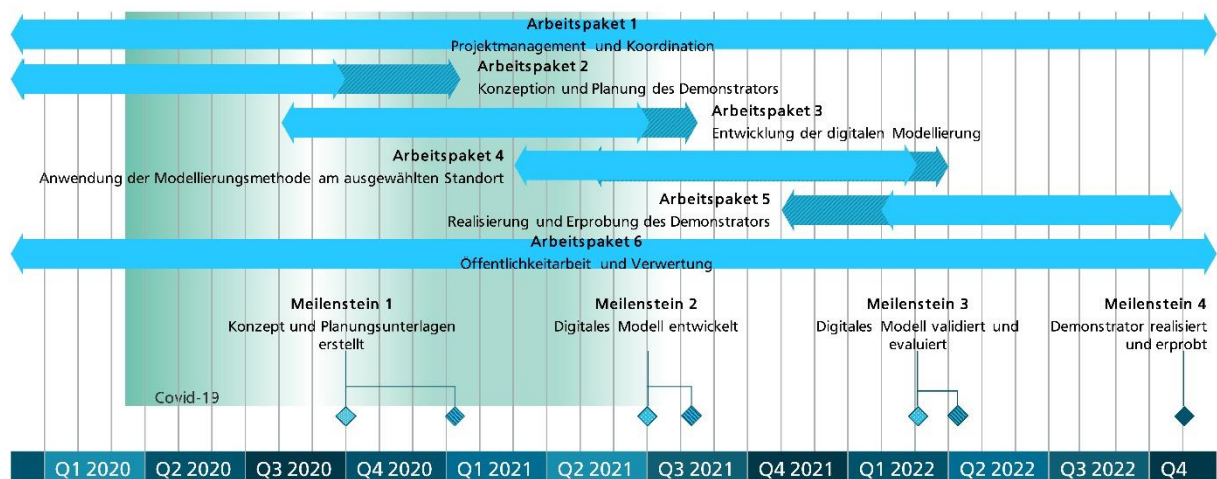


Abbildung 4: Projektplan inkl. Abweichungen induziert durch Covid-19 (hellblau = ursprüngliche Planung, dunkelblau = realisierte Projektbearbeitung)

Unabhängig von den Herausforderungen durch externe Effekte lag der Fokus auf der zielführenden Erarbeitung der Arbeitsinhalte, wobei die definierten Ziele der Arbeitspakete (Tabelle 1) die Bearbeitung und Strukturierung der Zusammenarbeit unterstützten.

Arbeitspaket 1 – Koordination und Projektmanagement	
Ziel	Eine strukturierte, effiziente Projektbearbeitung ist das Ziel von Arbeitspaket 1. Dabei soll die Kommunikation über alle Arbeitspakete hinweg organisiert werden, um eine stringente Zielerreichung sicherzustellen.
Arbeitspaket 2 - Konzeption und Planung des Demonstrators	
Ziel	Im Rahmen dieses Arbeitspakets wird der angestrebte Demonstrator konzipiert und detailliert geplant. Ziel dabei ist, eine entsprechende Grundlage zu schaffen, um darauf basierend den Demonstrator in den darauffolgenden Arbeitspaketen reibungslos realisieren bzw. erproben zu können.
Arbeitspaket 3 – Entwicklung eines digitalen Modells	
Ziel	Der angestrebte Demonstrator soll anhand eines digitalen Modells eines Industriegebietes die Darstellung von Wechselwirkungs- und Symbiose-Beziehungen zwischen Unternehmen bzw. mit deren Siedlungsumfeld in den Ultraeffizienz-Handlungsfeldern ermöglichen. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes soll ein digitales Modell entwickelt werden, das sowohl für bestehende als auch für geplante Industriegebiete in den darauffolgenden Arbeitspaketen zur ultraeffizienten Optimierung verwendet werden kann.
Arbeitspaket 4 – Anwendung der Modellierungsmethode auf den ausgewählten Standort	
Ziel	Zur Sicherstellung der Anwendbarkeit des entwickelten digitalen Modells zur Darstellung von ultraeffizienten Industriegebieten bedarf es anschließend einer Validierung mittels realer Standortdaten. Dazu soll im Rahmen dieses Arbeitspaketes die entwickelte digitale Modellierungsmethode als Pilotanwendung am ausgewählten Standort Rheinfelden (Baden) angewendet und evaluiert werden.
Arbeitspaket 5 – Realisierung und Erprobung des Demonstrators	
Ziel	Aufbau und Erprobung des gesamten Demonstrators (inkl. Hardware- und Software-Komponente) als digitales Optimierungs- und Planungswerkzeug zur Visualisierung und Bewertung von Symbiose-Beziehungen und -Maßnahmen im Sinne der Ultraeffizienz in Industrie- und Gewerbegebieten, basierend auf digitalen Interaktionsmöglichkeiten
Arbeitspaket 6 – Öffentlichkeitsarbeit und Verwertung	
Ziel	Einbindung aller Stakeholder (Projektpartner, assoziierte Partner und interessierte Öffentlichkeit) im Rahmen von Veranstaltungen, Präsentationen der Ergebnisse im Außenraum, Entwicklung der Integration in Baden-Württemberg und Nutzungskonzept nach dem Projekt

Tabelle 1: Zielstellung der Arbeitspakete im Projekt

5 Wissenschaftlich - fachliche Ergebnisse

In diesem Kapitel erfolgt die detaillierte Betrachtung der Arbeitsinhalte und erzielten Ergebnisse der Entwicklungsarbeiten im Projekt »Ultraeffizienz4Industriegebiete, Ultraeffizienzfabrik – Demonstratoren zur Realisierung ultraeffizienter Industriegebiete«

5.1 Arbeitspaket 1 – Koordination und Projektmanagement

Da wenige Wochen nach Start des Projektes die Corona-Pandemie das Zusammenarbeiten vor Herausforderungen stellte, erfolgte die Umstellung auf virtuelle Zusammenarbeitswerkzeuge. Die ursprünglich bedarfsorientierten Abstimmungen wurden zu kurzzyklischen Regelabstimmungen, insbesondere im Expertenteam. Im Abstand von 3 Wochen erfolgte ein kurzes virtuelles Treffen, welches dazu diente, den aktuellen Ergebnisstand zu reflektieren, Bedarfe der Unterstützung zu formulieren bzw. auch Abweichungen vom geplanten Projektablauf abzustimmen. Rückblickend waren die einzigen physischen Treffen unter Beteiligung des gesamten Projektteams das Kick-Off Treffen und die Abschlussveranstaltung. Für die Zusammenarbeit konnte auf gemeinsame Ablagen auf SharePoint-Basis zurückgegriffen werden. Damit konnte auch die virtuelle Zusammenarbeit über Organisationsgrenzen hinweg effizient gestaltet werden.

Zusätzlich zur effektiven projektinternen Zusammenarbeit erfolgte die Koordination der Termine mit externen Dritten. Hierzu lassen sich zwei Stakeholdergruppen unterscheiden:

Eine wichtige Stakeholdergruppe waren die Unternehmen am Pilotstandort Rheinfelden. Da sie keine direkten Partner im Projekt waren, war es eine wichtige Aufgabe, diese regelmäßig über den Projektverlauf zu informieren und den Austausch zu aktuellen Themen zu führen. Dazu erfolgten insbesondere im ersten Drittel und dritten Drittel des Projekts viele virtuelle Workshops sowie Austauschtermine. Bedeutsam für diese Austausche war die signifikante Verlagerung der Prioritäten aufgrund der globalen Wirtschaftslage durch Corona-Pandemie und Kriegshandlung in der Ukraine.

Die zweite wichtige Stakeholdergruppe waren projektunabhängige Expert:innen, die immer wieder über den Projektfortschritt unterrichtet wurden. Durch die damit angestoßenen Diskussionen erfolgte ein Rückfluss über zu berücksichtigende Aspekte ins Projekt, um sowohl die Übertragbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen als auch aktuelle Themen und Trends ggf. mit aufnehmen zu können.

Weitere administrative Aspekte waren die Erstellung von jährlichen Berichten und die Dokumentation der Fortschritte, die dem Projektträger und dem Fördermittelgeber bereitgestellt wurden.

5.2 Arbeitspaket 2 - Konzeption und Planung des Demonstrators Erhebung von Anforderungen

Um bei der Entwicklung des Demonstrators die Stakeholder-Bedarfe zu berücksichtigen, erfolgte eine Planung von geeigneten Interaktionsformaten. Die adressierten Stakeholder waren einerseits Verantwortliche für Industrie- und Gewerbegebiete in Baden-Württemberg andererseits die Bürger, Unternehmen und Einrichtungen. Im Fokus standen selbstverständlich die Stakeholder-Gruppen am Erprobungsort in Rheinfelden, da sie direkten Nutzen aus dem Demonstrator ziehen sollten. Für das Projekt war es wichtig, die Perspektiven und Anforderungen aus Sicht der potenziellen Nutzer zu erheben, um diese in die Konzeption einzuflechten.

Begonnen werden sollte damit beim Kolloquium Umweltforschung im März 2020 (vgl. Abbildung 5), doch aufgrund der Corona-Pandemie musste dieses öffentliche Event ausfallen.

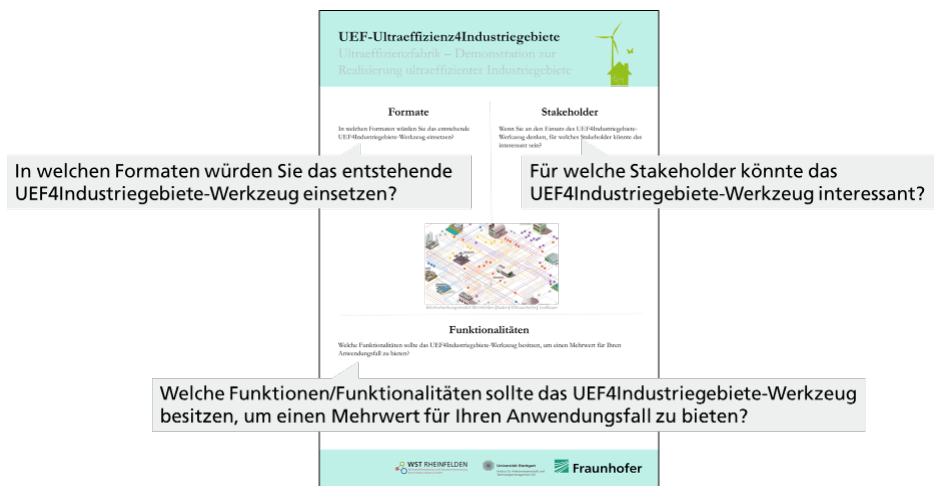


Abbildung 5: Entworfenere Workshop-Unterlage für das Kolloquium Umweltforschung 30.-31.03.2020

Deshalb erfolgte zügig eine Übertragung in ein virtuelles Format. Dafür war eine Anpassung des ursprünglichen Vorgehens von Nöten. Dabei fiel die Wahl auf einen zwei-stufigen Ansatz. Dem interaktiven Format wurde ein digitaler Fragebogen (Abbildung 6, links) vorgeschaltet, um eine Zuspitzung der Themen für den virtuellen Workshops vornehmen zu können. Aufbauend auf den Ergebnissen der Auswertung des Fragebogens erfolgte die Konzeption des Workshops. Im Workshop wurden Perspektiven zu sieben identifizierten Hauptkategorien (Abbildung 6, rechts) erhoben und diskutiert. Daraus erfolgte die Ableitung einer strukturierten Anforderungsliste (Abbildung 7), die als Basis für die Konzeption des Demonstrators die Leitlinie darstellte. Um etwaige Zielkonflikte bei den Anforderungen auflösen zu können, erfolgte eine Gewichtung der Aspekte. Hinweise und Impulse aus der Stakeholder-Interaktion wurden als Bemerkungen ebenfalls festgehalten.

**Vorbereitungsfragebogen - virtueller Anforderungsworkshop
"Ultraeffizienz4Industriegebiete"**

Herzlich Willkommen beim Vorbereitungsfragebogen

für das virtuelle Meeting zur Erhebung von Anforderungen für ein digitales Planungswerkzeug zur Darstellung von Symbosebeziehungen und -maßnahmen.

Im Projekt Ultraeffizienz4Industriegebiete soll das Konzept der Ultraeffizienzfabrik in ein praktikables Werkzeug zur (Weiter-) Entwicklung von Industriegebieten überführt werden. Ultraeffizienz stellt dabei eine ganzheitliche Entwicklung eines Industriegebietes und der angesiedelten Unternehmen in den 5 Handlungsfeldern – Energie, Material, Emission, Mensch/Personal und Organisation – dar. Ultraeffizienz ist ein ganzheitlicher Ansatz, der unternehmensübergreifend Anwendung finden sollte. Insbesondere die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit stellt die Unternehmen vor Herausforderungen. Vielfach fehlt das Verständnis weiche Maßnahmen wodurch Mehrwerte erzeugen und wie diese Mehrwerte sich darstellen. Mit dem Werkzeug sollen Maßnahmen der Ultraeffizienz, z.B. Energieaustausch zwischen am Standort etablierten Unternehmen, für alle Stakeholder verständlich und bewertbar machen. Das angestrebte Werkzeug soll es erlauben, einen Standort langfristig weiter zu entwickeln und strategisch gemäß Ultraeffizienz-Kriterien auszurichten.

Warum dieser Online-Fragebogen? Aufgrund der aktuellen Herausforderungen durch das Corona-Virus kann ein physischer Workshop derzeit nicht durchgeführt werden. Um im Rahmen eines 90 minütigen virtuellen Workshops alle wichtigen Informationen diskutieren zu können und zu vertiefen, möchten wir den Workshop optimal vorbereiten und dafür die Informationen und den Input von Ihnen aufbereiten.

Nachfolgend erwarten sie folgende Seiten, die **Beantwortung dauert weniger als 10 min:**

- Anwendungsumfeld
- Herausforderungen / Pain Points
- Funktionen
- Themenfelder
- Allgemeines

Vielen Dank im Voraus für Ihre Unterstützung und Ihre Bereitschaft unser Projekt „Ultraeffizienz4Industriegebiete“ zu unterstützen.

stellvertretend für das Projektteam
 Michael Hertwig - Fraunhofer IAD
 Ivan Bogdanov - Fraunhofer IPA
 Elmar Wendland - WST Rheinfelden
 Adrian Barwasser - Universität Stuttgart, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT

OK

Weiter

Powered by
 SurveyMonkey
 Es ist ganz einfach, alles Online zu erstellen.

Datenschutz- und Cookie-Richtlinie

0 von 10 beantwortet

Datensicherheit / Datenschutz	Schutz der Daten vor Manipulation, Verlust oder unberechtigtem Zugriff durch Dritte, sachgerechter Umgang mit sensiblen Daten und Klassifizierung von Daten
Austausch und Zusammenarbeit	Gleichwertigen, gleichberechtigten Zugang und Zugriff auf Funktionen, Unterstützte Nutzung für alle interessierten Nutzergruppen, Auswahl und Einsatz in geeigneten Szenarien
Einsetzbarkeit / Usability	Bedienbarkeit für relevante User-Gruppen möglich und nachvollziehbar, Angepasst an präferiertes Einsatzszenario
Umsetzbarkeit / Anwendbarkeit / Vermittlung der Ergebnisse	Sicherstellung der Nutzbarkeit der Ergebnisse, Ausgabe und Weiterverwendung der Ergebnisse
Leistung und Effizienz	Angepasste Verfügbarkeit von Rechengeschwindigkeit und Passende Aufbereitung
Bewertbarkeit / Zuverlässigkeit / Qualitätssicherung der Ergebnisse	Qualität der ausgegebenen Informationen, Basis für mögliche Bewertungen und Entscheidungen
Fachlicher Inhalt	Inhaltliche Aspekte

Abbildung 6: Online-Fragebogen über Survey-Monkey¹, sowie grafische Auswertung der Befragungsergebnisse

¹ Kommerzielle Umfragesoftware, <https://www.surveymonkey.de/>

Anforderungen an den zu entwickelnden Demonstrator		Bewertung					Ausprägung (Details)	
Themenbereiche	Anforderungen	1	2	3	4	5	a	b
Umsetzbarkeit / Anwendbarkeit / Vermittlung der Ergebnisse	Klarheit der Vermittlung und der Ausgabe sowie Umsetzbarkeit und Anwendbarkeit der Ergebnisse			X			klare Form der Ergebnisse	bspw. Handlungsempfehlungen
	Möglichkeit der Diskussion der Ergebnisse zur Findung weiterer Schritte; Alle Stakeholder in Diskussion zur Umsetzbarkeit einbinden	x	x				Ergebnisse als allgemein verständliche Diskussionsgrundlage bspw. für Reporting	
	Standardisierter Export von Ergebnisdaten						Ergebnisse in Echtzeit; hohe Genauigkeit der Untersuchungen	Echtzeit: Minuten / max. Stunden
	Prüfung der Anwendbarkeit auf andere Kommunen / Anwendungsgruppen				X		---> Übertragbarkeit	erfolgt seitens Projektteam und Partner
Leistung und Effizienz	Hohe Leistung des Tools			X			Ergebnisse in Echtzeit; hohe Genauigkeit der Untersuchungen	Echtzeit: Minuten / max. Stunden
	Agilität gegenüber volatilen Änderungen (Nutzer, deren Kunden, Märkte, Partner, etc.)		X				---> Usability (Skalierung und Erweiterbarkeit)	
	Änderungen (z.B. Maßnahmenführung) direkt nach Interaktion sichtbar - Echtzeitänderung	x	X	X			schnelle Anpassung der Standort-Modelle	Echtzeit: Minuten / max. Stunden
	Match-Making in der ersten Nutzungsphase des Demonstrators (Projektlaufzeit) über menschliche Erfahrung/intelligenz			X			Endergebnisse von Projektteam erstellt	Kopplung von Tool-Ergebnissen mit Projekterfahrung
Bewertbarkeit / Zuverlässigkeit / Qualitätssicherung der Ergebnisse	Match-Making langfristig über KI-Komponenten; Einsatz möglichst (halb-) automatisierter Methoden und Komponenten				X		(halb-) automatisierte Endergebnisse	Routineaufgaben beschleunigen (über Hard- und Software)
	Zuverlässigkeit, Qualität und Bewertbarkeit der Ergebnisse		X				Plausibilität, Kausalität / Korrelation sichergestellt	Backup- und Restore-Möglichkeit evtl. bei Bedarf, nach Projektlaufzeit
	Robuste Datenablage		X				hohe Datenverfügbarkeit	
	Automatisierung der Bewertung von Ergebnissen			X	X		automatisierte Endergebnisse	seitens Datenlieferanten (Unternehmen) und des Tools / Projektteams
Anforderungen zum fachlichen Inhalt	Check der Eingabedaten (Fantasiezahlen vermeiden) - Sicherstellung der Qualität der Ergebnisse		X				Plausibilität, Kausalität / Korrelation Eingabedaten sichergestellt	Übertragbarkeit des Kennzahlengerüsts auf Industriegebietsebene
	Darstellbarkeit von handlungsfeldspezifischen KPIs			X			Verknüpfung mit Kennzahlengerüst aus Leitbildern / Benchmark	Aufstellung eines Kennzahlengerüsts zu Wirtschaftlichkeit
	Darstellbarkeit wirtschaftlicher Aspekte der Effizienz-Maßnahmen				X		Bewertung erfolgt in den Unternehmen	Vor-Ort-Workshop in RHF mit Stakeholdern
	Darstellbarkeit einzelner Maßnahmen aus der Kurzstudie (UEff.-Fabrik #3, AP 3.4)			X			Noch im separaten Workshop zu klären, welche Maßnahmen ---> Identifikation / Ableitung von innovativen UEff.-Maßnahmen	
	Weitere Aspekte und weiterführende Maßnahmen (ggf. Aktuell noch nicht im Fokus) sollten aufgezeigt werden		X					
	Maßnahmenkatalog mit Angaben zu Erfahrungen			X			Integration eines Katalogs zu Effizienz-Maßnahmen	Erfahrungen einzelner Unternehmen/Nutzer bei Maßnahmeneinführung

Abbildung 7: Auszug aus der Anforderungsliste (inkl. Priorisierung) für den Ultraeffizienz4Industriegebiete-Demonstrator

Konzeption des Demonstrators

Ausgehend von der Anforderungsliste wurden im Rahmen der Konzeption des Demonstrators verschiedene Aspekte untersucht. Eine Eingangsinformation stellte dabei u.a. die vorliegende Konzeptstudie (Ergebnis des Projektes Ultraeffizienzfabrik – Phase 3 [Bogdanov et.al 2020]) dar. Einige Inhalte konnten aufgrund der bereits erfolgten Spezifizierung auf das Anwendungsgebiet direkt übertragen werden (Abbildung 8). Die Zielstellung war daher, die verfügbaren Informationen weitestmöglich in den Demonstrator zu integrieren, ohne dabei die Anforderungen außer Acht zu lassen.

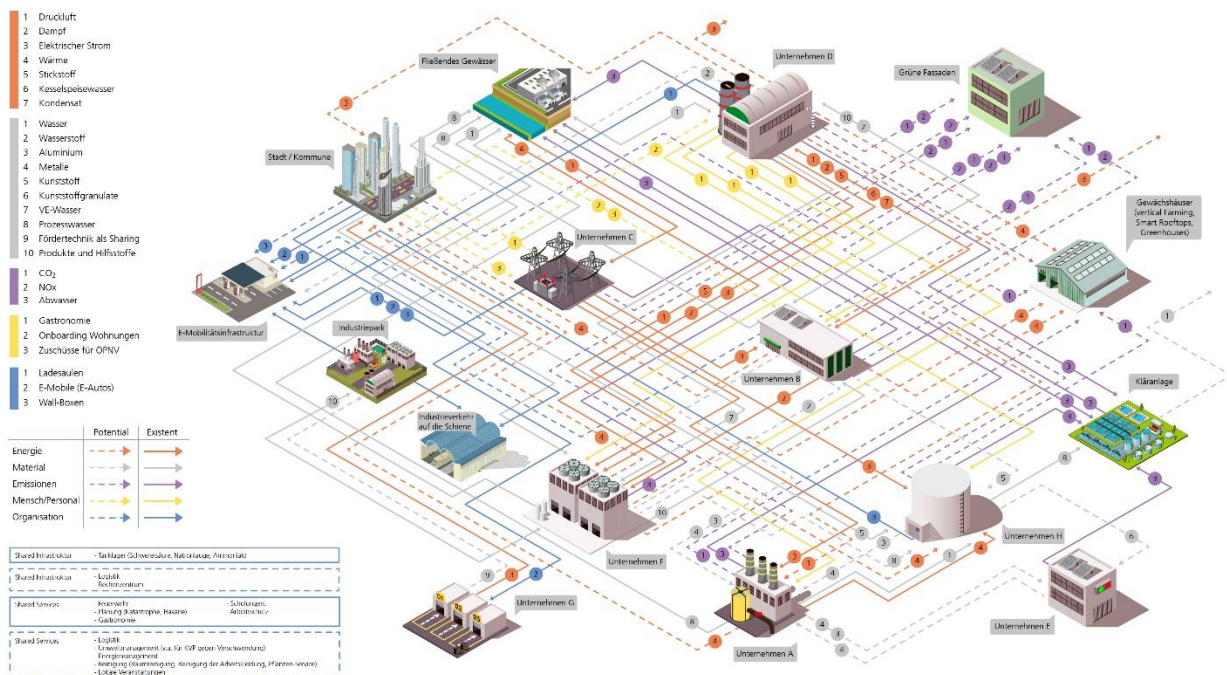


Abbildung 8: Kerninhalte der Kurzstudie aus dem Projekt „Ultraeffizienzfabrik – Phase 3“ [Bogdanov et.al 2020]

Für die Konzeption erfolgte eine Betrachtung des Anwendungsbereichs bzw. Anwendungsszenario, in dem beschrieben wurde, wie das Werkzeug eingesetzt werden könnte. Durch die Detailanalyse der verfügbaren Informationen konnten auch geeignete Modellierungsansätze diskutiert und ausgewählt werden. Ausgeleitet aus den Anwendungsfällen konnten geeignete Visualisierungstechnologien und -methoden strukturiert untersucht und bewertet werden. Damit konnte ein Abgleich mit möglichen Hardware-Konfigurationen erfolgen, um die Konzeptentwicklung weiter zu fokussieren (Abbildung 9).

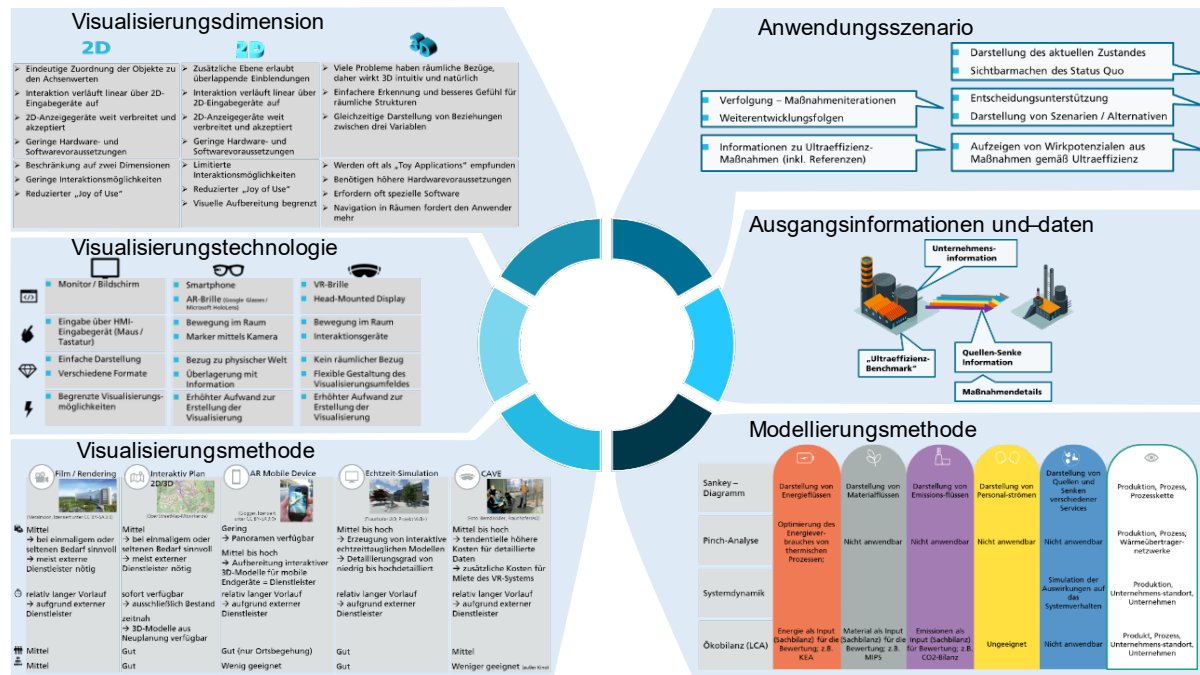


Abbildung 9: Analytierte und diskutierte Inhalte bei der Konzeption des Demonstrators

Die Diskussion möglicher Ausprägungen von Lösungsszenarien war aus Sicht der beteiligten Stakeholder im Fokus. Denn das Ziel war es, einen Konsens über die lokale Strategie des jeweiligen Unternehmens sowie anzugehende organisationsübergreifende Maßnahmen herzustellen. Die Anwendungsgruppe bestand aus Fach- und Führungskräften, welche in ihrer Diskussion geleitet wurden. Das priorisierte Diskurs-Szenario wirkt sich auf die Visualisierungsmethode aus, da eine Interaktion mit der Visualisierung möglich sein muss, jedoch nicht im Fokus steht. So war eine Priorisierung auf 2D/3D-Karten bzw. CAVE ersichtlich. Die höhere Flexibilität und geringere benötigte Spezialkompetenz ließ die 2D/3D-Karte als geeignete Darstellung erscheinen.

Die Analyseergebnisse legten die Grundlage dafür, den Demonstrator in zwei Ebenen zu unterteilen. Im ursprünglichen Konzept wurde eine Visualisierungsebene und eine Modellierungsebene definiert (Abbildung 10). Die Visualisierungsebene soll insbesondere die Interaktion im Anwendungsszenario unterstützen. Demnach müssen die Darstellung sowie Interaktionsmöglichkeiten selbsterklärend und einfach nutzbar sein. Auch wenn ein moderierter Prozess im Fokus der Bedarfsträger steht, soll die Bedienung kein zusätzliches technisches Wissen voraussetzen. Die Modellierungsebene dient dazu, die Wirkbeziehungen zwischen den modellierten Entitäten abzubilden und den Datenaustausch zu realisieren.

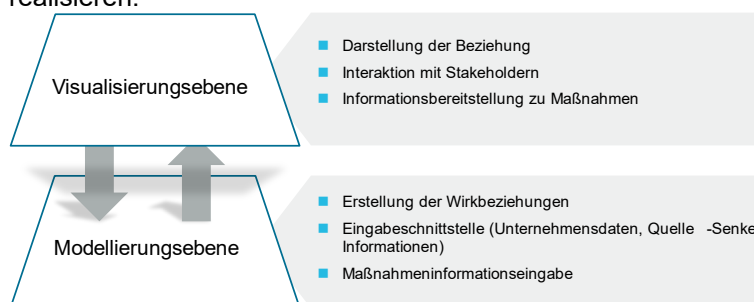


Abbildung 10: generischer Entwurf der Funktionsstruktur

Für die Modellierung wurden verschiedene etablierte Modellierungsverfahren untersucht. Eine Modellerstellung (Kapitel 5.3) bedeutet immer auch eine Annäherung an die reale Situation, wobei bewusst Abstraktionen und Vereinfachungen vorgenommen werden, um den Fokus auf relevante

Inhalte zu legen. Bei der Analyse existierender Modellierungsmethoden zeigte sich, dass keine sich für alle Handlungsfelder gleichermaßen eignet. Es wurde deshalb eine Kombination verschiedener Ansätze ausgewählt. Im Laufe der Modellierung wurde dieser Ansatz weiterentwickelt, wobei versucht wurde, in den Modellen die Kernaspekte der gut passenden Ansätze zu repräsentieren.

Diese detaillierte Analyse legte den Rahmen des Demonstrators fest. Eine 2 ½ D-Darstellung erlaubt einerseits eine räumliche Darstellung inkl. der räumlichen Nähebeziehungen, andererseits ist die Darstellung in 2 ½ D für alle Beteiligten gut verständlich. Die Visualisierungsebene hatte direkte Auswirkungen auf die Realisierungstechnologie, die nach Rücksprache mit den Stakeholdern und Betrachtung der potenziellen Anwendungsszenarien display-basiert ist.

5.3 Arbeitspaket 3 – Entwicklung eines digitalen Modells

Die Entwicklung eines digitalen Modells war ein zentraler Bestandteil des Projektes. Denn mittels des digitalen Wechselwirkungsmodells erfolgt die Ermittlung der definierten Kennzahlen, die als Maßgabe für Veränderungsentscheidungen herangezogen werden können. Entsprechend dem Ultraeffizienzansatz steht bei der Modellentwicklung die Mehrdimensionalität der Maßnahmen im Fokus. Um der Besonderheit der Ultraeffizienz Rechnung zu tragen, erfolgt die Optimierung ganzheitlich in mehreren Handlungsfeldern.

Um Weiterentwicklungspotenziale der Unternehmen zu heben, wurden Maßnahmen für eine organisationsübergreifende Optimierung identifiziert. In erster Näherung sind alle Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienz – Energie, Material, Emission, Mensch/Personal und Organisation – hin untersucht worden. 30 dieser Maßnahmen sind für den Pilotstandort zusammengetragen worden. In der Konzeptstudie »Ultraeffizienz – Symbiotisch-verlustfreie Produktion im urbanen Umfeld« zur Ausweitung der Ultraeffizienz auf ein Industriegebiet² sind sie für den Standort beschrieben und die entsprechenden Potenziale herausgearbeitet. Zusammen mit den Stakeholdern am Standort erfolgte eine Annäherung an relevante Maßnahmen. Dabei wurden in verschiedenen Interaktionsformaten Technologien und Potenziale diskutiert und in ihrem Mehrwert für die beteiligten Unternehmen priorisiert. Aus der Vielzahl möglicher Maßnahmen konnte eine Auswahl abgeleitet werden, die aufgrund der aktuellen geopolitischen Diskussionen dem Handlungsfeld Energie besondere Bedeutung gibt.

5.3.1 Nutzung von Abwärme durch Einkopplung ins Nah-/Fernwärmenetz

Im Handlungsfeld Energie wird die unternehmensübergreifende Nutzung von Abwärme betrachtet, sowie die daraus resultierenden Einsparungen in Kosten und CO₂. Auf Basis von zeitaufgelösten Wärmebedarfs- und Abwärme-Daten wird ein Abwärme-Verbund mit mehreren Wärmesenken simulativ bewertet. Dadurch kann eine Potenzialabschätzung eines Abwärme-Verbundes zwischen individuell auswählbaren Unternehmen am Standort durchgeführt werden. Der Ablauf der Anwendung des Simulationstools ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Sie zeigt schematisch, wie die Verschaltung von mehreren Senken mit einer Abwärmequelle iterativ simuliert und Wirtschaftlichkeit und ökologische Mehrwerte berechnet werden. Zusätzlich werden Wärmeverluste und die Verläufe der Bedarfs- und Abwärme-Profile ausgegeben, damit der betrachtete Abwärme-Nutzungspfad bewertet werden kann.

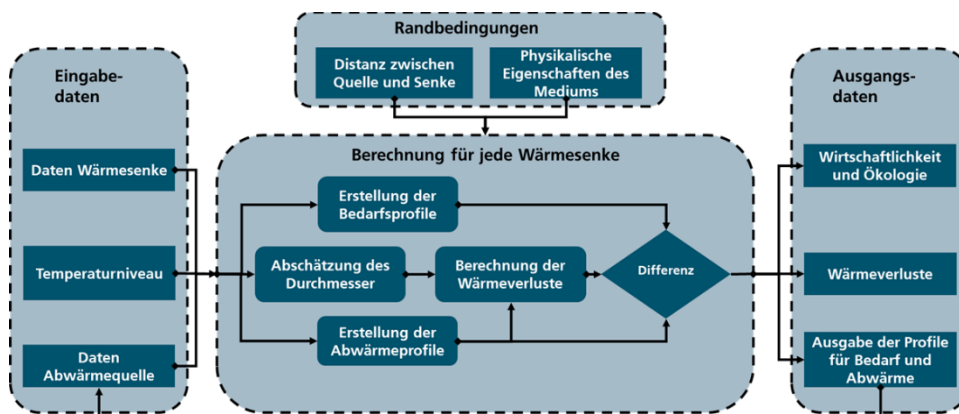


Abbildung 11: Schematische Darstellung des Simulationstool

² https://www.engineering-produktion.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/tim/Dokumente/UEF4Industriegebiete/Konzeptstudie_UEF4IG.pdf

Im Anschluss an die Simulation des Abwärme-Verbundes wird eine Auslegung und Kostenrechnung des Abwärmenetzes durchgeführt, um mögliche Kosten- und CO₂-Einsparungen zu berechnen. Diese Einsparungsberechnung erfolgt anhand eines Vergleichs mit einer konventionellen Wärmebereitstellung.

Die Implementierung der Analyse von kooperativ genutzten Blockheizkraftwerken (BHKW) wurde nach Rücksprache mit den Konsortialpartnern zurückgestellt. Unter Berücksichtigung von zeitabhängigen Wärme- und Strombedarfen soll die Auslegung eines optimal ausgelasteten BHKWs durchgeführt und Vorteile gegenüber der separaten Erzeugung von Strom und Wärme aufgezeigt werden. Die Implementierung der Auslegung von gemeinschaftlichen BHKWs wurde aufgrund des Entwicklungsaufwandes der Abwärme-Verbundsimulation zurückgestellt und nicht im Rahmen des Projektes implementiert.

5.3.2 Ergänzung der Abwärmenutzung durch Temperaturniveaueinstellung mittels Wärmepumpe

In einigen Fällen ist die thermische Energie der Restwärme ausreichend, um in anderen Prozessen genutzt zu werden. Jedoch ist die das vorliegende Temperaturniveau zu niedrig. In diesem Fall soll die Integration einer Wärmepumpe berücksichtigt werden, um die Temperatur auf das benötigte Niveau anzuheben. Dazu muss eine grobe Dimensionierung der Wärmepumpe erfolgen. Im Anschluss an diese Betrachtungen werden verschiedenen Kenngrößen berechnet. So erfolgt die Ermittlung der Investitionskosten für die benötigte Infrastruktur. Es werden die realisierten CO₂-Einsparungen ermittelt sowie die Leistung der jeweiligen Verschaltungen des Abwärme-Verbundes durchgeführt. Bei diesen Berechnungen werden ggf. zusätzlich erhobene Messdaten und Literaturdaten genutzt.

5.3.3 Veränderung des Energiemix im Bezug

Ausgehend vom aktuellen Mix der elektrischen Energie erzeugt allein der Bezug der Elektrizität einen negativen Beitrag zur CO₂-Bilanz (vgl. Abbildung 12). Auch wenn diese Maßnahme nicht direkt als Ultraeffizienzmaßnahme zu führen ist, kann sie für den Standort und die Bemühungen klimaneutral zu werden, ein Baustein sein. Die Ultraeffizienzwirkung ist gering im Verhältnis zu anderen Ultraeffizienzmaßnahmen, da nur die Emissionen des Strombezuges eliminiert werden. Wird die Maßnahme allerdings auf alle Energieträger ausgeweitet kann der Effekt bereits größer sein, da keine Emissionen aus fossilen Brennstoffen mehr direkt erzeugt würden. Dies setzt in letzter Konsequenz auch die Verfügbarkeit von erneuerbar erzeugtem Strom als Substitution für fossile Rohstoffe voraus.

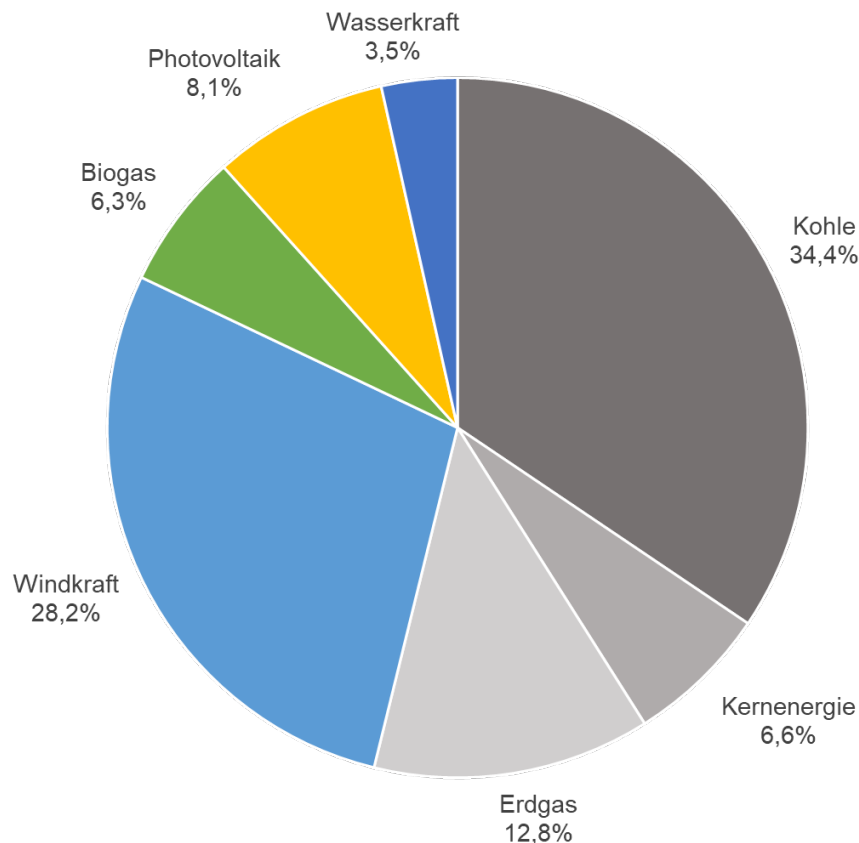


Abbildung 12: Erzeugungsmix für elektrische Energie [Destatis 2022]

Für die Modellierung der Maßnahme, den Bezugs- bzw. Erzeugungsmix des Stroms zu optimieren, wird der aktuelle Energiemix als Grundlage der Ermittlung der Scope 2 Emissionen genutzt. Durch die Reduktion des Anteils fossiler Brennstoffe, im Extremum auf ausschließlich erneuerbare Energieträger verändert sich die Emissionsbilanz positiv, da die Scope 2 Emissionen reduziert werden, um den Anteil der fossilen Energieerzeugung. Die Maßnahme wirkt sich außer in potenziell höheren Bezugskosten auf keine weiteren Handlungsfelder aus. Demnach ist dies keine Ultraeffizienz-Maßnahme im engeren Sinne, da aber die Klimaneutralität aktuell ein angestrebtes Ziel in Baden-Württemberg ist, kann sie eine tiefere Betrachtung wert sein.

5.3.4 Überbauung von Fabrikhallendächern mit Photovoltaik

Durch das entsprechende Gesetz der Landesregierung ist die Bebauung von Fabrikdächern mit Photovoltaik-Anlagen (PV) bei Neubauten bereits verpflichtend vorgeschrieben. Für bestehende Fabrikgebäude besteht Bestandsschutz, auch weil vielfach die Traglasten der Dächer eine Überbauung erschweren [Krinke 2021]. Doch neben diesen gesetzlichen Rahmenbedingungen stehen Unternehmen zusätzlichen Herausforderungen gegenüber, wenn sie ihre Dächer mit Photovoltaik überbauen. Denn aufgrund der volatilen Energieerzeugung erschweren die resultierenden Rahmenbedingungen lukrative langfristige Verträge [Bachmann et.al 2021]. Da der Eigenverbrauch des PV-Stroms wirtschaftlicher ist, als dessen Einspeisung fehlt den Unternehmen die Motivation hier ein zusätzliches Ertragsmodell zu generieren [Hirzel et.al 2011]. Darüber hinaus ist die Elektrizitätserzeugung keine Kernkompetenz eines produzierenden Unternehmens, demnach müssen für Wartungsarbeiten Unternehmensfremde eingesetzt werden, was Kosten und Haftungsfragen für das produzierende Unternehmen unüberschaubar gestaltet.

Alternativ ist der Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung erklärtes Ziel, und so auch im Klimaschutzgesetz verankert. Daraus resultierend werden demnach Flächen für die Bebauung von Photovoltaik ausgeschrieben. Meist sind dies Grünflächen, die von Weideland umgewidmet werden. Auch wenn die Errichtung von Photovoltaikanlagen in Ständerbauweise keine direkte Versiegelung erzeugt, so führt der Einsatz schwerer Maschinen zu irreversiblen Verdichtungen des Untergrunds [Quaschnig 2019]. Hier könnten freie Dachflächen eine sinnvolle Alternative darstellen. Dazu muss es jedoch zu einer Übereinkunft zwischen produzierendem Unternehmen (Grundeigentümer) und Investor für solare Energieerzeugung gefunden werden [Davé et.al 2016].

Durch die Realisierung der Überbauung werden der lokale Energiemix positiv beeinflusst und Emissionen gesenkt. Auch wird das Potenzial der Elektrifizierung weiter erhöht [Lunge et.al 2019].

Außerdem kann die Maßnahme bei entsprechender Kommunikation einen positiven Einfluss auf die anwohnende Bevölkerung haben. Dieser Beitrag ist jedoch ungewiss und wird deshalb konservativ angenommen [Tukulis et.al 2018].

5.3.5 Verlagerung von Verkehrsströmen auf die Bahnlogistik

Aufgrund historischer Rahmenbedingungen befindet sich das betrachtete Industriegebiet direkt an der am Rhein entlang verlaufenden Bahninfrastruktur. Außerdem liegen auf einigen Teilen des Industriegeländes noch funktionale Bahnschienen, die mit der lokalen Bahninfrastruktur verbunden sind. Demnach bietet sich eine Nutzung dieser verfügbaren Güterbahn-Infrastruktur an.

Bei dieser Maßnahme werden Anteile der aktuell mittels LKW transportierten Güter zentralisiert gesammelt und mittels passender Güterwägen auf der Rheinschienenverbindung transportiert. Dies funktioniert einerseits für die Anlieferung, andererseits auch für die Abholung. Da die Grundinfrastruktur bereits vorhanden ist, sind die nötigen Investitionen überschaubar. Durch den Einsatz eines lokal emissionsfreien Transportmittels (E-LKW) zwischen Be-/Entladeort am Bahnhof und Anlieferungs-/Abholort an der Fabrik kann ein Beitrag zur Reduktion lokaler Emissionen geleistet werden. Ebenso wird die Verkehrslast in der Stadt reduziert, da weniger LKW die Stadt passieren müssen. Durch die Fahrten des lokalen Transports wird die Verkehrslast nicht eliminiert, sondern nur reduziert.

Um die Wirkungen der Maßnahme zu modellieren, erfolgte eine Betrachtung, auf welche Aspekte die Maßnahme sich konkret auswirkt. Der Wirkungsbereich wird auf Organisation, Mensch/Personal und Emission eingegrenzt. Die Maßnahme wirkt sich auf das Handlungsfeld Organisation aus, da das Unternehmen zukünftig stärker in die Transportkette eingebunden ist. Es muss die Verfügbarkeit von Frachtfenstern (im Zeitplan der DB-Cargo) und passender Transportbehältnisse (Güterwagen) berücksichtigen. Demnach steigt für das Unternehmen der organisatorische Aufwand. Da LKW-Fahrten reduziert werden, kann die lokale Emissionserzeugung im Verkehr reduziert werden. Die reduzierte innerstädtische Belegung von Straße wirkt sich positiv im Handlungsfeld Mensch/Personal aus.

5.3.6 Etablierung eines urbanen Logistikhubs zur Reduktion von innerstädtischem Transportverkehr

Die Aggregation von Logistikströmen ist eine organisatorische Herausforderung. Diese lässt sich ausschließlich durch die Zusammenarbeit mehrerer Unternehmen, im besten Falle aller entsprechenden Unternehmen, geeignet adressieren. Nur mit einer größeren Anzahl beteiligter Unternehmen kann ein signifikanter Mehrwert für das urbane Umfeld generiert werden. Denn eine zweckmäßige Zusammenführung der Anlieferungs- und Abholverkehre ist nur mittels eines gemeinsamen Logistik-Hubs realisierbar, an dem der Güter- bzw. Materialumschlag erfolgt. Da diese Art der Infrastruktur meist nicht in passender Form am Standort verfügbar ist, muss diese erstellt werden. Dafür entstehen Investitionsbedarfe und laufende Betriebskosten. Organisatorisch wirkt sich dies Änderung im Ablauf nur geringfügig auf die Unternehmen aus.

Die Anlieferung und Abholung der Güter erfolgen an das Logistik-Hub. Hier erfolgt der Umschlag bzw. die Kommissionierung, um die Materialien, Güter und Stoffe anschließend abgestimmt auf den Unternehmensbedarf auszuliefern. Die Auslieferung erfolgt nach dem Milk-Run Prinzip, wobei möglichst optimale Lieferwege gewählt werden. Durch den Einsatz eines elektrisch betriebenen LKWs gelingt es so lokal auftretenden Emissionen zu eliminieren [DSLVL 2013]. Zubringerfahrten zu Logistik-Hubs können nur bedingt reduziert werden, da diese nur partiell in der Entscheidung der lokal angesiedelten Unternehmen liegen.

Für die Modellierung der Maßnahme wird gemäß Abbildung 13 vorgegangen. Aufgrund der aktuellen Bebauungssituation existieren nur limitierte Möglichkeiten für die Platzierung eines Logistik-Hubs. Für die Maßnahme sind im Kern die Betrachtungsgrenzen (ab wann werden die Einflüsse lokal berücksichtigt) relevant, die Lokalisation der Unternehmen sowie mögliche Platzierung des Logistik-Hubs. Zusätzlich bedarf es verschiedener Hilfskenngrößen, wie bspw. Emissionen je transportiertem Gütergewicht [Umweltbundesamt 2022]. Die zugrunde liegende Modellierung bietet über einen Optimierungsalgorithmus eine möglichst geeignete Streckenverbindung an und ermittelt daraus auch entstehende Emissionen, falls kein elektrisch angetriebenes Transportmittel genutzt wird. Die Maßnahme entwickelt einen positiven Effekt im Handlungsfeld „Mensch/Personal“ da die Verkehrslast im städtischen Umfeld signifikant reduziert wird.

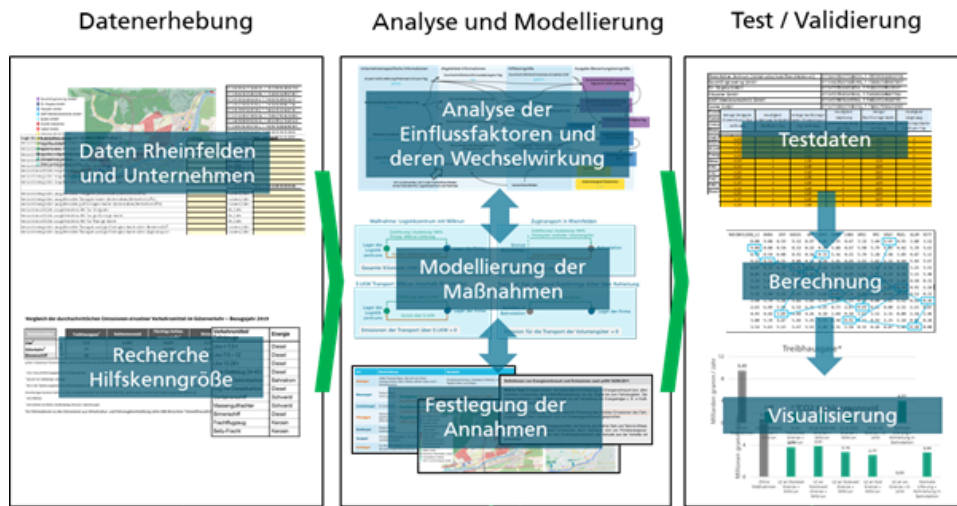


Abbildung 13: Vorgehen bei der Modellierung der Maßnahmen bzgl. der Organisation

5.3.7 Grüne Fassaden

Die Begrünung von Fassaden kann eine Wirkung in verschiedenen Handlungsfeldern entfalten. Die Bepflanzung kann Schadstoffe der lokalen Umgebungsluft aufnehmen und zum Teil auch filtern. Auch wenn diese Wirkung als ungeordnet zu betrachten ist, so können Begrünungen einen Einfluss auf das lokale Mikroklima haben. Ähnlich einer Verkleidung trägt die Begrünung auch zur ästhetischen Aufwertung bei, wenn diese gepflegt ist [Mann 2017, Linke 2017]. Damit kann auch im Handlungsfeld „Mensch/Personal“ ein geringer Beitrag erfolgen. Je nach Anbringung der Begrünung – bodengebundene Begrünung oder wandgebundene Begrünung – sind unterschiedliche Ausprägungen der Klimatisierungswirkung zu erreichen [Dettmar et.al 2016]. Denn die Begrünung kann dazu beitragen die Aufheizung des Gebäudes durch direkte Sonneneinstrahlung zu reduzieren und durch Verdunstung sogar kühlende Effekte haben. Sie kann aber auch dämmend wirken, so dass beispielsweise Heizenergie eingespart werden kann [Mann 2013, Mann et.al 2019].

Die Maßnahme hat deshalb Einfluss auf die benötigte Raumheizenergie und wirkt sich positiv auf den Raumkühlbedarf aus. Lokal werden Emissionen insbesondere durch Verkehr reduziert. Die Maßnahme unterlegt bauartspezifischen Investitions- und Pflegekosten, die in der Maßnahme abhängig von der begrünten Fläche berücksichtigt sind. Die Maßnahme besitzt wenig Interdependenzen und kann singulär betrachtet werden. Wird die Maßnahme ausgewählt, sind die Vorteile wirksam, werden in der Stärke jedoch nicht beeinflusst.

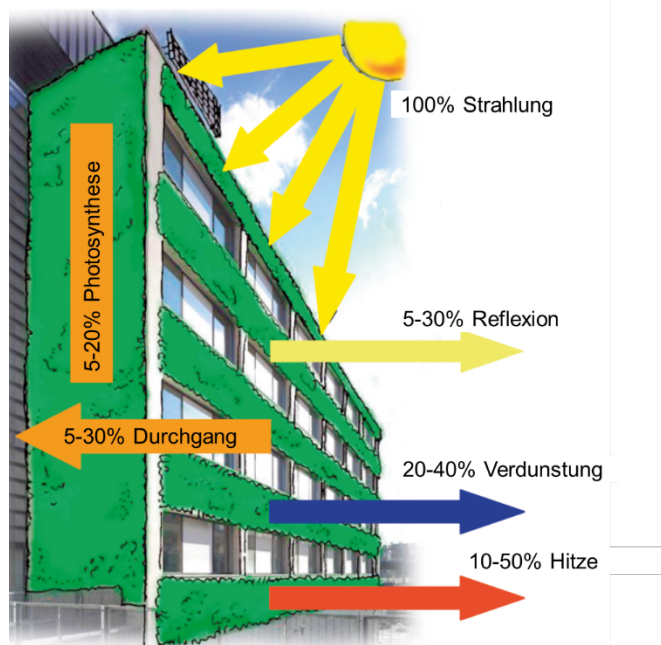


Abbildung 14: schematische Darstellung der Energiebilanz einer begrünten Fassade [Mann 2013]

5.3.8 ÖPNV-Optimierung

Der Individualverkehr ist neben den Emissionen durch Industrie und Transportverkehr ein bedeutendes Element im urbanen Umfeld. Insbesondere in Innenstädten überwiegt die Wirkung der Individualmobilität [Blome 2018]. In verkehrsintensiven Städten sind schon vermehrt luftbezogene Grenzwerte überschritten worden. Die Reduktion des Individualverkehrs muss aus verschiedentlicher Hinsicht signifikant reduziert werden [Kuss et.al 2022]. Einerseits werden vom Individualverkehr Schadstoffe durch Verbrennung emittiert, andererseits entsteht eine Lärmbelastung und eine schlechte Raumeffizienz [Lamker et.al 2017]. Eine Alternative zum Individualverkehr bietet die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV).

Um die Attraktivität des ÖPNV weiter zu erhöhen, müsste dieser konkret auf die Bedarfe der Mitarbeitenden abgestimmt werden [Hoppe et.al 2018]. So sollte eine möglichst optimierte Route zwischen Wohnarealen und Industriegebiet etabliert werden, die zu Kernarbeitszeiten der Mitarbeitenden passt [Schubert et.al 2021]. Dies kann beispielsweise durch kleinere Transportgrößen mit erhöhter Frequenz erfolgen. Es gilt ein für den regionalen Raum passendes Konzept mit Unterstützung durch Unternehmen und deren Mitarbeitenden zu entwickeln und einzuführen [Gies et.al 2021].

Hinsichtlich der Modellierung der Wirkungsbeziehung im Demonstrator wird der Fokus auf das Resultat des adaptierten ÖPNV-Konzepts gelegt. Dabei wird eine Verringerung der Individualverkehrsquote angenommen. Damit reduziert sich die erzeugte Emission je Mitarbeitenden [Schmied 2013]. Durch den geringfügig reduzierten Individualverkehr als Ganzes trägt dies zu einer minimalen Verbesserung im Handlungsfeld „Mensch/Personal“ bei.

5.3.9 Ausbau der elektrifizierten Individualmobilität

Für einen nachhaltigen Umbau der Personenmobilität können Verbote und Anreize hilfreich sein. Ausgehend von der heutigen Situation, in der mehr als 50 % der Mitarbeitenden den motorisierten Individualverkehr bevorzugen, gilt es passende Ansätze zu schaffen [Blome 2018]. Anreize können insbesondere, wenn sie preislich attraktiv sind und in der Leistungsfähigkeit nicht signifikant anders sind, einen starken Veränderungswillen freisetzen [Schubert et.al 2021]. Neben dem Ausbau des ÖPNV-Angebots kann eine Emissionsreduktion durch lokal emissionsfreie Mobilität erreicht werden. Dazu können einerseits elektrifizierte PKW zählen, wie auch weitere elektrische Mobilitätsansätze (z.B. Pedelecs, Elektrofahrräder, Elektroscooter und Elektroroller) [Kuss et.al 2022]. Um aber Anreize für die Nutzung zu steigern, müssen auch passende Infrastrukturen für Lagerung/Parkieren sowie Aufladen verfügbar sein [ABB Group 2020]. Diese Lösungen können auch als multimodale Ansätze in bestehende Angebote integriert werden, um keine reinen Alternativen zu schaffen [Wölfel et.al 2014].

Die Elektrifizierung der Mobilität trägt zur Reduktion der Emissionen bei, ohne negative Effekte im Handlungsfeld „Mensch/Personal“ als Folge zu erzeugen [ACTiv fürs Klima 2012]. Zusätzlich positiv ist die Reduktion von Lärmemissionen, die bei elektrifizierten Mobilitätslösungen meist ausschließlich aus dem Abrollgeräuschen besteht. Dies hat insbesondere in urbanen Bereichen große Effekte, da aufgrund der geringen Geschwindigkeiten die Geräuschemissionen des Motors gegenüber den Abrollgeräuschen überwiegen [Forum Wohnen und Stadtentwicklung 2021].

Für die Modellierung erfolgt einzig eine Verschiebung der Verteilung des genutzten Mobilitätskonzeptes, wodurch sich die pendelbewegungsbezogenen Emissionen reduzieren. Der Effekt ist gegenüber industriellen Emissionen deutlich kleiner, kann aber einen positiven Einfluss haben, da durch die Mitarbeitenden durch Vorbildwirkung evtl. weitere über einen Umstieg nachdenken. Außerdem wird so ein wesentlicher Beitrag zu einer lebenswerten Stadt geleistet, was sich im Kennwert des Handlungsfeldes „Mensch/Personal“ widerspiegelt.

5.3.10 Gemeinsame Kantinennutzung

Am betrachteten Standort öffnete ein großes Unternehmen bereits die verfügbare Verpflegungsinfrastruktur für die benachbarten Unternehmen. Dieses Angebot besteht nur für die Unternehmen in direkter Umgebung. Da die Unternehmen aber neben der lokalen Konzentration auch verteilt lokalisiert sind, ist dieser Ansatz noch erweiterbar mit Mehrwert für die Mitarbeitenden dieser weiteren Unternehmen [Snook et.al 1980]. Dies ist durch unterschiedliche Ansätze möglich. Einerseits können abseits lokalisierte Unternehmen von der bestehenden Kantine mit Speisen beliefert werden, andererseits können Partnerschaften mit benachbarten Restaurants geschlossen werden [Friedrich 2016]. So kann ein vielfältiges Speisenangebot geschaffen werden, welches kostengünstig und möglicherweise sogar als gesund einzustufen ist [Monk 2020]. Diese Maßnahme kann nicht als große Ultraeffizienz-Maßnahme gewertet werden, da eine ganzheitliche Optimierung über mehrere Handlungsfelder nicht im Fokus steht. Sie trägt aber zur positiven Wahrnehmung bei Mitarbeitenden

und dem lokalen Umfeld bei, denn es werden lokale Wertschöpfungsbeziehungen gestärkt [Otterbein 2018].

Im Wechselwirkungsmodell wirkt sich die Schaffung eines entsprechenden Speisenangebots positiv auf das Handlungsfeld „Mensch/Personal“ aus. Da diese Maßnahme nur für die beteiligten Institutionen interessant ist, wenn verschiedene Unternehmen aktiv sind, ist eine gemeinsame organisatorische Komponente Voraussetzung. Auch entstehen hauptsächlich laufende Kosten, indem die Speisen beispielsweise subventioniert werden oder eine Mindestabnahme-Menge garantiert wird.

5.3.11 OnBoard Housing oder Kurzzeitwohnflächen

Die Lage des Pilotstandorts ist besonders. Einerseits grenzt die Region direkt an die Bundesgrenze und liegt damit benachbart zu einem Nicht-EU Staat. Andererseits ist die Region sehr bergig, da sie in den Ausläufern des Schwarzwaldes liegt. Damit ist die bebaubare Fläche für Wohnbebauung begrenzt. Dies führt zu einer besonderen Situation, die nicht mit allen Mittelzentren vergleichbar ist. Aber vergleichbar, wie in anderen Städten ist der Wohnungsmarkt angespannt und freie Wohnungen sind nur vereinzelt verfügbar. Damit tun sich neue Mitarbeitende, die aus entfernteren Regionen angeworben werden, schwer vor Ort Fuß zu fassen und ggf. ihre Familie nachzuholen. Im Kontext des zunehmenden Arbeitskräftemangels ist die Gewinnung und Bindung von Mitarbeitenden durch regionale, attraktive Wohn- und Lebensangebote zunehmend wichtiger [Gerth 2021]. Hier kann die Schaffung einer attraktiven Wohnsituation, insbesondere für die Anfangszeit bis eine passende, permanente Unterkunft gefunden ist, positive Effekte in der Anwerbung und Bindung von benötigten Fachkräften und neuen Mitarbeitenden erzielen [DGfM 2016].

Um ein angemessenes Angebot zu schaffen, müssen die lokal angesiedelten Unternehmen gemeinsam prüfen, welche Art von Mitarbeitenden sollen die größte Gruppe der Nutzenden darstellen. Denn die Anforderungen der möglichen Nutzergruppen – Nachwuchsgewinnung, spezifische Fachkräfte, ausländische Personen mit Expertise oder Führungskräfte – sind teilweise aufgrund von Lebensphase und Arbeitssituation sehr unterschiedlich [Wieland et.al 2017].

Um die Maßnahme im Demonstrator hinsichtlich der Wirksamkeit darzustellen, erfolgte eine Analyse der Wirkungen. Hinsichtlich der Emissionen kann der Anteil neuer Mitarbeitender aufgrund von größeren Pendelbewegungen gesenkt werden, was die ausgestoßenen lokalen Emissionen eliminiert. Die Pendelbewegungen in und aus dem Betrachtungsgebiet werden vermieden, obwohl dieser Effekt aufgrund des definierten Betrachtungsraums klein ist. In der Außenwahrnehmung haben diese „Werkwohnungen 2.0“ einen positiven Effekt, insbesondere im Handlungsfeld „Mensch/Personal“ [Kitzmann et.al 2021]. Die Mitarbeiterbindung wird erhöht und die Fluktuation innerhalb der Einarbeitungszeit wird signifikant reduziert, zumindest aufgrund familiärer geografischer Rahmenbedingungen. Organisatorisch muss die Ausrichtung geklärt und die Belegung koordiniert werden, weshalb Abstimmungsaufwände entstehen. Da diese Art der Wohnungen bisher noch nicht verfügbar ist, müssen bestehende Gebäude umgebaut oder Neubauten errichtet werden, wozu ein Investitionsbetrag von jedem beteiligten Unternehmen aufzubringen ist.

5.3.12 Ausbau der Materialkreisläufe

Im Handlungsfeld Material sollen Materialkreisläufe geschlossen werden. Zur Identifikation der potenziell geeigneten Kreisläufe ist ein standardisiertes Vorgehen erforderlich. Abbildung 15 beschreibt dieses Vorgehen und zeigt auf, welche Schritte im Demonstrator integriert werden und welche Schritte durch bilaterale Gespräche zwischen den beteiligten Unternehmen und Detailanalysen abgedeckt werden müssen. So wird deutlich, dass eine erste Identifikation von potenziellen Kreislaufschließungen durch eine Datenaufnahme, -analyse und die Visualisierung der Ergebnisse durch den Demonstrator unterstützt wird. Hierbei wird auf eine möglichst einheitliche Datenerfassung bezüglich der Materialart, -menge, und -qualität geachtet, sodass eine Vergleichbarkeit der Daten und Übertragbarkeit des Konzepts auf weitere Standorte sichergestellt werden kann. Die Datenanalyse konzentriert sich im Anschluss auf die Identifikation und Bewertung der erhobenen Quellen und Senken von Material und Abfallströmen. In diesem Schritt wird sowohl auf Kosten, Einsatz bzw. Einsparungen von Primärmaterial, Energie, CO₂-Emissionen und Wasser geachtet. Zur Bewertung werden externe Datenbanken, wie ecoinvent, herangezogen. Die anschließende Ergebnisvisualisierung ermöglicht einen Überblick über die potenziellen Kreislaufschließungen, sodass dieses einen Ansatzpunkt für die folgenden Detailanalysen und Unternehmensabsprachen bildet. In den folgenden Schritten müssen technische und juristische Aspekte (z.B. Reicht die Qualität des Materials/Abfallstoffs für die Anwendung aus? Können die benötigten Mengen sichergestellt werden?) geklärt werden, um langfristig und nachhaltig Materialkreisläufe schließen zu können.

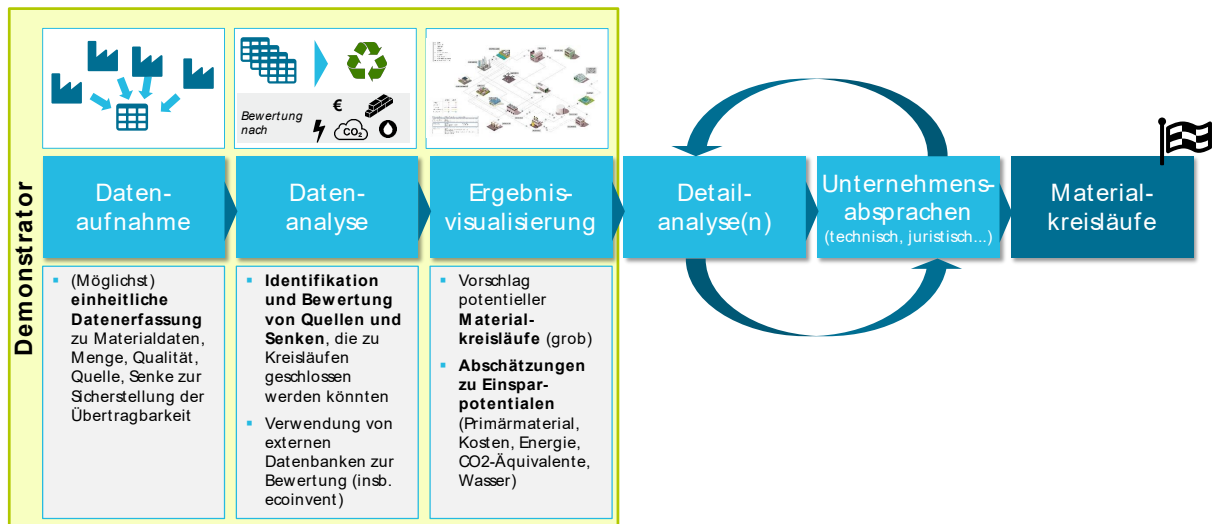


Abbildung 15: Vorgehen zur Identifikation von Materialkreisläufen

5.4 Arbeitspaket 4 – Anwendung der Modellierungsmethode auf den Standort

Als Pilotanwender war die Stadt Rheinfelden (Baden) durch ihre Wirtschaftsförderung vertreten. Ziel war es, den Demonstrator hinsichtlich seiner Anwendbarkeit auf den Pilotstandort hin zu untersuchen. Um die Validierung des Ansatzes sicherzustellen, erfolgen im Projekt regelmäßig Austauschformate mit den Stakeholdern. In diesen Formaten erfolgte die Erarbeitung der holistischen Weiterentwicklung des Standortes in verschiedenen Schritten, immer mit dem Ziel den größten Mehrwert für den Standort sowie die beteiligten Unternehmen bei der Umsetzung zu erreichen. Durch dieses Vorgehen gelang es, aus der Vielzahl potenzieller Maßnahmen eine Priorisierung auf wesentliche Maßnahmen zu realisieren. Damit konnten die Modellierungsaufwände zielgerichtet auf die Maßnahmen mit hoher Relevanz für den Standort Rheinfelden (Baden) fokussiert werden.

Weiteres Ziel dieser Interaktionen mit den Stakeholdern am Standort war, die Verfügbarkeit der benötigten Daten abzuklären. Um die Anwendbarkeit des Modells und des Demonstrators zu validieren, ist es nötig die Maßnahmen und deren Wirkung mit unternehmensspezifischen Datensätzen zu erproben. Dazu bedarf es, aktueller IST-Daten der beteiligten Unternehmen in den fünf Handlungsfeldern. Nur so können die Kennwertveränderungen berechnet und mit vor Ort angesiedelten Unternehmen abgeglichen und deren Bereitschaft zur Veränderung im Handeln und Investierten diskutiert werden. Die Konkretisierung der benötigten Datensätze erfolgte projektteamintern. Zur Abstimmung mit den Unternehmen wurden alle relevanten Kennwerte in einer geeigneten Form aufbereitet, um anhand der entstandenen Liste die Unternehmen um Bereitstellung der benötigten Daten zu bitten.

Auf dem Konsortialmeeting 2021 wurde die Verfügbarkeit dieser Daten durch die anwesenden Stakeholder bestätigt. Die Erhebung der Daten erfolgte Anfang 2022, dabei kam die aufbereitete Datensatzliste auf Excel-Basis zum Einsatz. Diese wurde an die Unternehmen versendet. Abbildung 16 zeigt den Rahmen für die standardisierte Erhebung der Unternehmensdaten für die Kategorie Material.

individuell

Überkategorie	Art	Bezeichnung	Menge	Einheit	Qualität	Form	
Rohmaterial	Eisenwerkstoffe	Stahl					
		Gusseisen					
	Nichteisenwerkstoffe						
	Halbleiter						
	anorganische nichtmetallische Werkstoffe (Keramik, Glas)						
	Kunststoff - Erdölbasiert						
	Kunststoff - biobasiert						
	Naturstoffe (Mineralien, Holz, Grafit)						
	Industriegase	Stickstoff					
		Sauerstoff					
		Argon					
		Wasserstoff					
		Helium					
		Ethen					
		Ethin					
		Kohlendioxid					
		Kohlenmonoxid					
		Edelgase					
		sonstige					
	Wasser						
Sonstige							
Hilfs- und Betriebsstoffe	Kühl- & Schmierstoffe						
	Reinigungsmittel						
	Verpackung						
Sonstige							

rein
 rein (X%)
 etwas verunreinigt
 verunreinigt
 stark verunreinigt

Form von Metallen
 egal
 Folie
 Späne/Schrott
 Bramme
 Blech
 sonstiges

Form von Kunststoffen
 egal
 Bruch
 Folie
 Granulat
 Fasern
 Halbzeuge

Form von Industriegasen
 gasförmig
 flüssig

Abbildung 16: Standardisierte Unternehmensabfrage für Materialinputs und -outputs

Neben allgemeinen Unternehmensdaten (Adresse, Anzahl Mitarbeiter, etc.) und einfach zu erhebenden Daten (z.B. jährlicher Gesamtbedarf für Gas und Strom) wurden auch spezifischere Daten abgefragt. Um hier entsprechende Unterstützung zu leisten, boten die Forschungspartner den Unternehmensvertretern zwei Detaildiskussions-Termine (Frequent Asked Questions – FAQ) an, um auf eventuelle Fragen einzugehen und die Datenerhebung zu führen.

Entgegen den Erwartungen stellte sich die Erhebung der Unternehmensdaten als schwierig heraus. Trotz der initial signalisierten Zusage der Unternehmen, die entsprechenden Daten zu liefern, wurden diese nur von einzelnen Industriepartnern bereitgestellt. Auf Nachfrage wurden Aussagen getroffen, die eine Sorgen um die Herausgabe von kritischen Unternehmensdaten sowie mit aktueller Auslastung der Mitarbeiter mit anderen Tätigkeiten als Begründungen darstellten. Die Bereitstellung einer zusätzlichen Geheimhaltungsvereinbarung durch das Fraunhofer IAO reichte nicht aus, um diese Sorgen zu adressieren.

Personelle Änderungen während der Projektlaufzeit, sowohl in den Unternehmen als auch bei der Wirtschaftsförderung Rheinfelden, führten dazu, dass der direkte Kontakt zwischen Unternehmensvertretern und den Projektteilnehmern schwieriger wurde. Letztendlich blieb den Forschungspartnern in vielen Fällen keine andere Wahl, als auf die bereits 2019 erhobenen Unternehmensdaten zurückzugreifen und diese zu extrapolieren und – wo nötig – mit generischen Daten zu ergänzen. Dieser Schritt wurde mit dem Expertenbeirat und dem Projektträger abgestimmt, da sich daraus Konsequenzen für die erzielten Projektergebnisse ergeben. Dieses Vorgehen ermöglicht zwar die Funktionsfähigkeit und Wirkweise des Demonstrators darzustellen, trotz unvollständiger oder veralteter Datensätze. Die gezeigten Ergebnisse sind jedoch nicht vergleichbar belastbar. Dies betrifft insbesondere die Resultate von Maßnahmen, welche Synergieeffekte und Wechselwirkungen zwischen mehreren Unternehmen berücksichtigen.

Dabei wurden die hinterlegten Daten durch die jeweiligen Modelle verarbeitet und individuell für die gewählten Simulationsmodifikationen aufbereitet. Dazu mussten sowohl die individuellen erhobenen Daten als auch die fallspezifischen Informationen, wie der Abstand zwischen den jeweiligen Unternehmen, berechnet werden. Auf Basis dieser Grundlage konnten mit den jeweiligen Modellen der Mehrwert der Maßnahmen simulativ bestimmt werden, der anhand von spezifischen Indikatoren für jedes Handlungsfeld ausgegeben wurde. Dadurch konnten Unternehmen mit Hilfe des Demonstrators direkt die relevanten Mehrwerte durch die jeweiligen Maßnahmen einsehen und bekamen somit eine Diskussionsgrundlage für die zukünftige Ausweitung von Kooperationen zwischen Unternehmen am Standort.

5.5 Arbeitspaket 5 – Realisierung und Erprobung des Demonstrators

Aufgrund der erhobenen Anforderungen und des erstellten Konzepts konnte die Entwicklung von Frontend- und Backend des Demonstrators unabhängig voneinander erfolgen. So konnten die Bearbeitungsstränge maximal parallelisiert werden. Dazu galt es nur, bei der Entwicklung den

Datenaustausch zwischen beiden zu berücksichtigen, indem Anforderungen an Datenimport/-export über die etwaigen Schnittstellen immer wieder abgeglichen wurden.

Frontend-Entwicklung

Für die Umsetzung des Frontend erfolgte eine Analyse passender Software-Frameworks, mit dem Ziel eine bereits verfügbare Lösung zu finden, mit welcher die Visualisierung und Interaktion durch bestehende Funktionen umsetzbar ist. Wichtig bei der Visualisierung war die Möglichkeit, die vom Backend bereitgestellten Daten unterschiedlich darzustellen. Dazu wurden die Vor- und Nachteile verschiedener Open-Source-Lösungen untersucht und miteinander verglichen. Entsprechend des in AP2 entwickelten Konzepts wurde mit Vue.js, ein clientseitiges Webframework, die Visualisierung realisiert [Roden 2020]. Für die Verwendung von Vue.js sind ausreichend Dokumentationsinhalte verfügbar [You 2023]. Aufgrund des geringen Bedarfs an Vorkenntnissen eignet sich das Framework gut für Anwender mit geringer Programmiererfahrung. Es verwendet die Programmiersprache JavaScript und ermöglicht dem Anwender ohne große Vorkenntnisse sogenannte „single-page Applikation“ (kurz SPA) zu erstellen [Roden 2020]. Eine SPA besteht aus einem html-Dokument. Die Inhalte werden, zum Beispiel nach einer Interaktion, dynamisch auf der Clientseite geladen. Das führt zu einer Entlastung des Servers und bietet zusätzlich die Möglichkeit eine Applikation offline zu nutzen.

Die Ausführung der Applikation wurde mit Node.js, einer Open-Source-JavaScript-Laufzeitumgebung umgesetzt. Diese kann den JavaScript-Code auch außerhalb eines Webbrowsers ausführen. Node.js verwendet Single-Threading, das bedingt, dass nur ein Kommando „gleichzeitig“ ausgeführt werden. Diese Architektur senkt die Komplexität für den Entwickler und vereinfacht eine mögliche Fehlersuche. Node.js lagert dabei Schreib- und Leseoperationen aus und führt diese asynchron durch, um die Anwendung nicht durch eine Anfrage zu blockieren.

Die Verwaltung der verwendeten Module führt der Paketmanager npm durch. Zum Beispiel können einzelne Module über Befehle im Windows-Command installiert, aktualisiert und entfernt werden. Der Anwender kann dabei aus einer Bibliothek von über 750.000 Modulen auswählen.

Die Visualisierung selbst wurde mit einer isometrischen Vektorgrafik des Standorts Rheinfelden abgebildet. Diese beinhaltet zum einen die Lageinformationen mit den relevanten Entitäten am Standort. Dazu gehören wichtige Verkehrswege wie die B34 und B316, Zuggleise und der Fluss Rhein sowie die Standorte der beteiligten Industrieunternehmen und die ungefähren Umrisse des Wohngebiets. Abbildung 17 zeigt diese isometrische Darstellung der benannten Elemente im ausgewählten Ausschnitt.

Weiterhin unterstützt die Visualisierung eine Darstellung der Wechselwirkungen, welche durch die Implementation von Ultraeffizienzmaßnahmen entstehen. Abbildung 18 stellt den Standort mit allen Maßnahmen und Beziehungen zwischen den Stakeholdern dar.

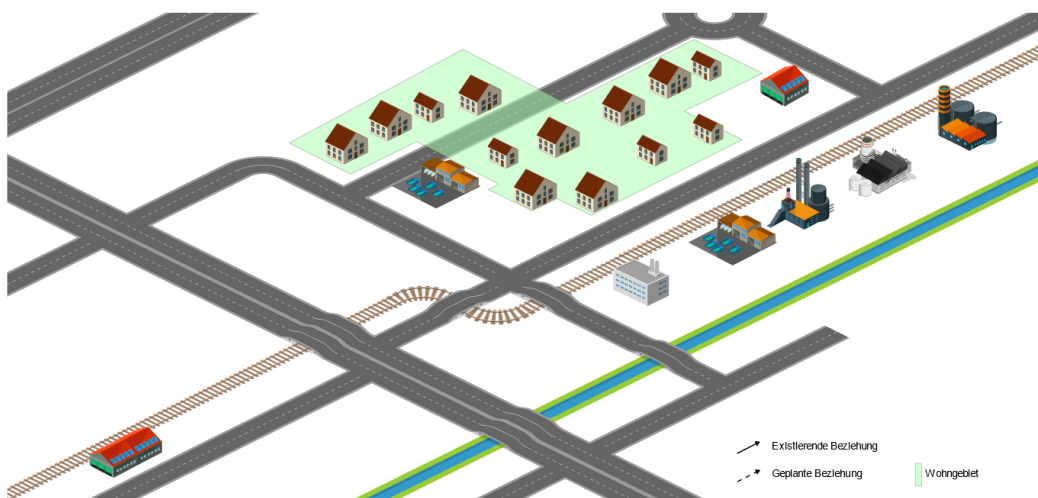


Abbildung 17: Vektorgrafik Rheinfelden ohne Maßnahmen und Beziehungen

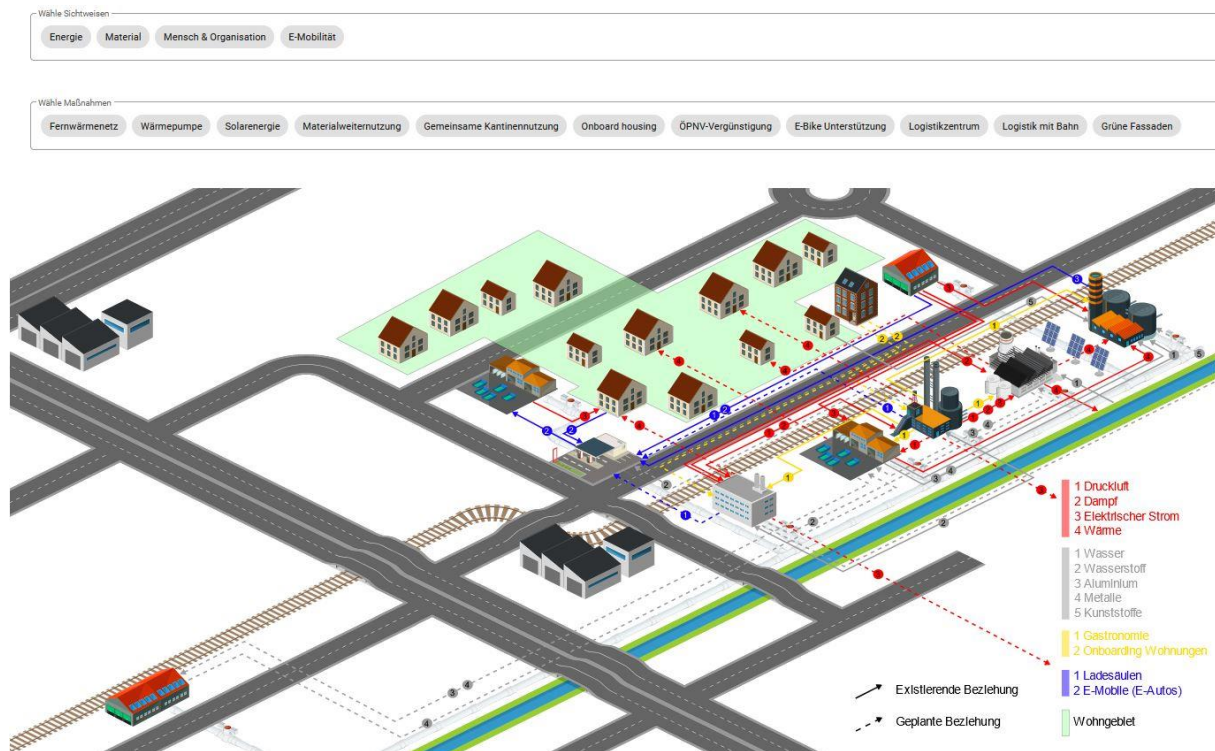


Abbildung 18: Darstellung des Standorts Rheinfelden mit eingeblendeten Maßnahmen und Beziehungen

Die Sichtbarkeit der visualisierbaren Elemente kann gesteuert werden. Dazu sind auf der Seite zwei Drop-down-Menüs im oberen Bereich vorgesehen (Abbildung 18). Das erste (obere) Drop-down Menü ermöglicht die Darstellung folgender Handlungsfelder:

- Energie,
- Material,
- Mensch & Organisation sowie
- E-Mobilität.

Dadurch kann die Menge an dargestellten Informationen begrenzt bzw. auf das jeweilige Handlungsfeld beschränkt werden. Damit kann auch die Diskussion zwischen anwesenden Stakeholdern zielführend fokussiert werden. Im zweiten (unteren) Drop-down Menü lassen sich die verschiedenen Maßnahmen einzeln oder kombiniert einblenden. Im Hintergrund erfolgt eine Abstimmung der Kennwerte auch bei kombinierter Anwendung von Maßnahmen. Durch Maus-Click auf den Elementen können diese Informationen bereitgestellt und visuell dargestellt werden. Die Darstellung erfolgt Stakeholder-spezifisch.

In Abbildung 19 wird eine beispielhafte Darstellung für das Handlungsfeld „Energie“ präzisiert. Es wird die Maßnahme Fernwärmenetz für ein ausgewähltes Unternehmen, in diesem Fall AluRheinfelden Alloys GmbH, dargestellt. Ebenfalls darstellbar sind die mit der Maßnahme verbundenen Auswirkungen und baulichen Erweiterungen. Für die unterschiedlichen Handlungsfelder der Ultraeffizienz wurde für den Demonstrator ein spezifischer Kennwert definiert. Für diesen lassen sich sowohl die Ausprägung im Ausgangszustand (ohne implementierte Maßnahmen) bzw. dessen Veränderung nach Anwendung der Maßnahme in einem Pop-up-Fenster darstellen. Damit wird für die beteiligten Stakeholder der Mehrwert der Maßnahme individuell sichtbar. Damit wird eine Diskussionsfähigkeit zwischen den beteiligten Stakeholdern geschaffen.

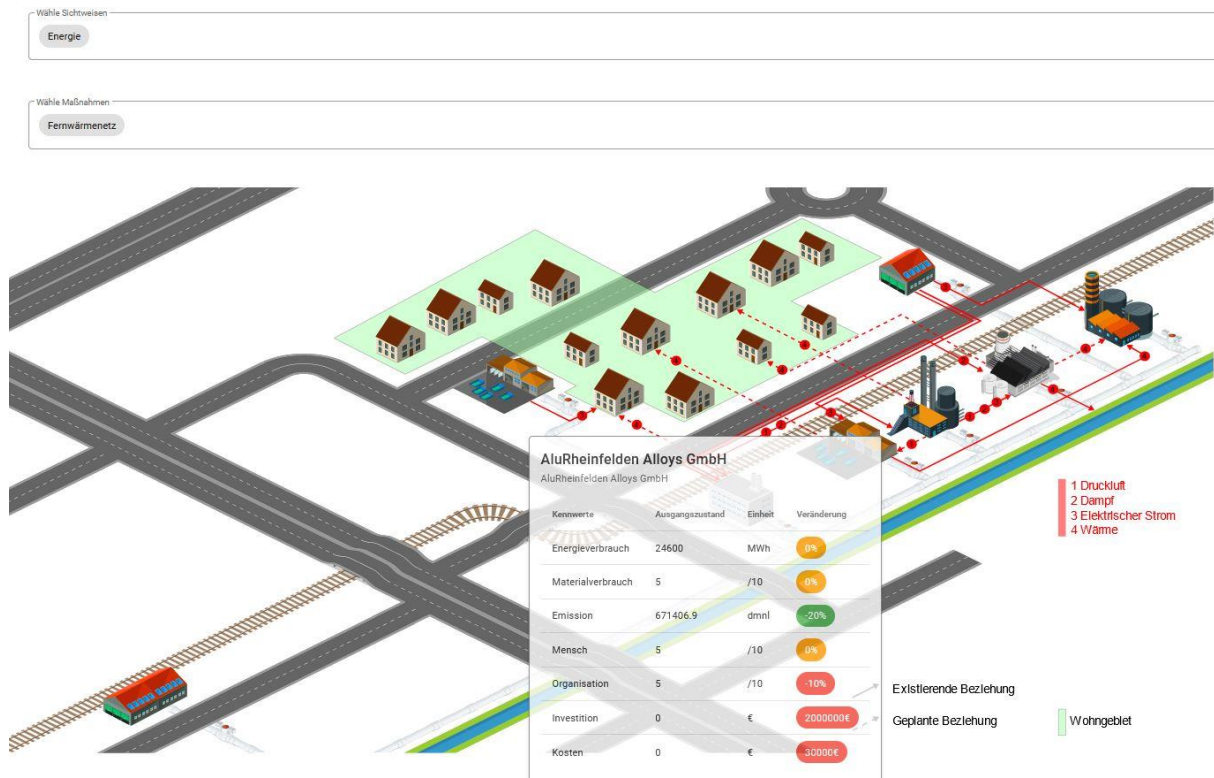


Abbildung 19: Visualisierung der Maßnahmen am Beispiel Fernwärmenetz

Backend-Entwicklung

Das Backend erstellt die Basis der visualisierten Daten. Dafür erfolgt basierend auf den vorliegenden Eingangsdaten (erhobene unternehmensspezifischen Daten) eine Berechnung der ausgewählten Kennwerte, die im Frontend (Abbildung 19) dargestellt werden können, in der Ausgangszustand oder mit Auswahl von Maßnahmen. Für die Berechnung der Kennwerte erfolgt eine Verknüpfung der erstellten Teilmodelle der priorisierten und in Kapitel 5.3 beschriebenen Maßnahmen.

Beim Backend wird auf verfügbare und erprobte Technologie gesetzt. Die Programmierung erfolgt in Form von m-Files, die sowohl mit MatLab von MathWorks als auch der Open Source Software Octave genutzt werden können. Die Daten werden für die erleichterte Interaktion mit den Unternehmen in Form Excel-basierter Tabellen aufbereitet. Damit ist eine größtmögliche Offenheit und Interoperabilität realisiert.

5.6 Arbeitspaket 6 – Öffentlichkeitsarbeit und Verwertung

Allgemeine Öffentlichkeitsarbeit

Da die Projektinhalte insbesondere einen hohen praktischen Bezug aufweisen, steht die Kommunikation mit der interessierten Öffentlichkeit im Fokus der Öffentlichkeitsarbeit. Ziel ist es hierbei, das Projekt allgemein sichtbar zu machen. Zusätzlich wird auch angestrebt, dass Projektteile von Dritten aufgegriffen und weiterverfolgt werden. Die Erkenntnisse aus dem Vorhaben sollen dazu dienen, multiplizierenden Effekt zu haben.

Für die Wiedererkennbarkeit der Darstellung des Projekts im Außenraum erfolgte eine Entwicklung von Vorlagen und eines Projekt-Logo (Abbildung 20). Die Folien-Vorlage wurde durchgehend im Projekt genutzt, um Inhalte aufzubereiten und öffentlich bereitzustellen. Das Projekt-Logo wurde bewusst an das Projekt-Logo der »Ultraeffizienzfabrik« angelehnt, da die Aktivitäten stringent im Kontext der Verbreitung des Ultraeffizienzfabrik-Projektes eingeordnet werden.

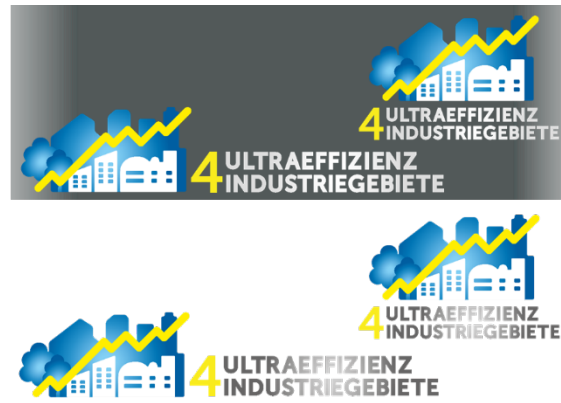


Abbildung 20: Projektkommunikationselemente Präsentationsfolien und Projektlogo für verschiedene Nutzungen

Neben der Wiedererkennung spielte die Bereitstellung von Projekthinhalten eine wesentliche Rolle. Da eine Social Media-Instanz als zu aufwändig gegenüber dem potenziellen Nutzen eingestuft wurde, war das Augenmerk auf den Projektinternetauftritt (Abbildung 21) gelegt. Neben der Projektvorstellung auf den Webseiten der Projektpartner, erfolgte die Etablierung einer spezifischen Projektpage, die unter: www.ultraeffizienz4industrieregiete.de auch über das Projektende hinaus erreichbar bleibt.

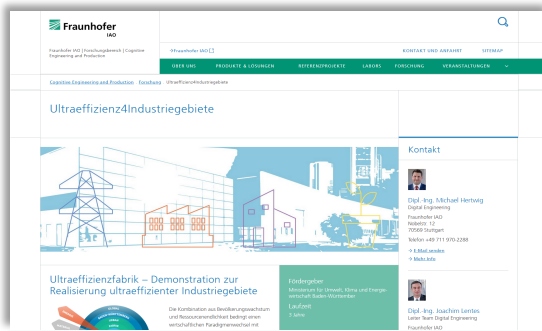


Abbildung 21: Webseiten mit Projekthinhalten, um für externe relevante Informationen anzubieten

Die Website wurde durch ein zusätzliches Medium ergänzt. Das Fraunhofer IAO hat seit einiger Zeit einen renommierten Wissenschafts-Blog etabliert, der einen leichtgewichtigen Zugang zu den Forschungsthemen schafft. In diesem hochfrequentierten Medium konnte das Projekt und die Relevanz für weitere Zielgruppe zugänglich gemacht werden (Abbildung 22).

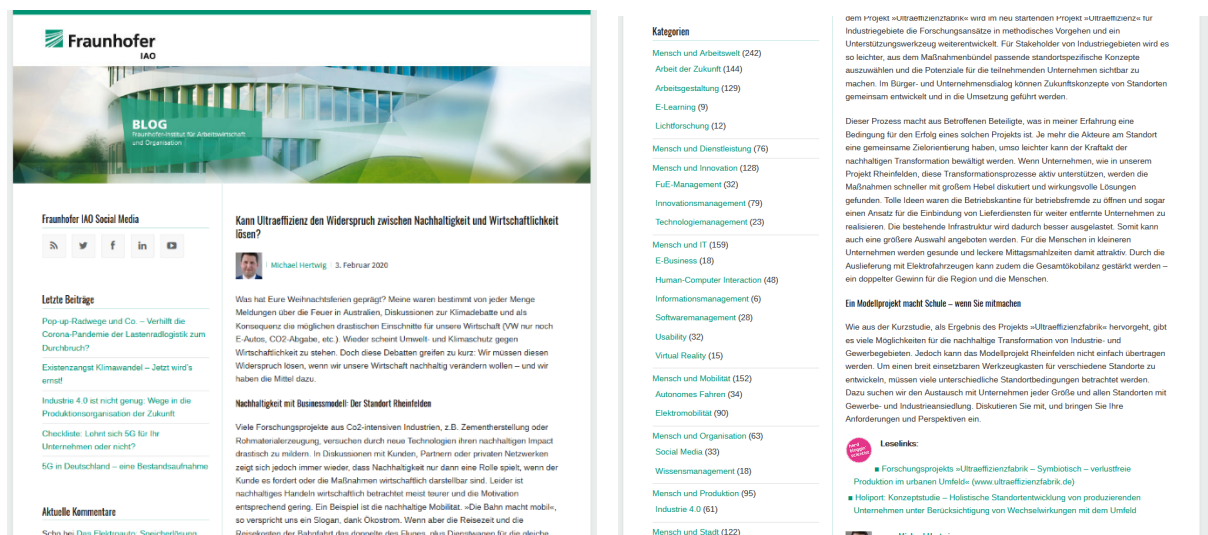


Abbildung 22: Beitrag auf Fraunhofer IAO Blog zur Ultraeffizienz

Neben den Pull-Medien wurde im Rahmen des Projektes ein konkretes Push-Medium realisiert. Mit einem html-basierten Newsletter (Abbildung 23) wurden aus dem Projekt auf regelmäßiger Basis (einmal pro Quartal) Informationen verteilt. Im Newsletter wurde verschiedene Informationen aufgegriffen, so wurden Zwischenergebnisse aus dem Projekt vorgestellt. Weiterhin wurden relevante und interessante Veranstaltungen adressiert. Durch das Aufgreifen von Artikeln mit Bezug zum Projekt wurden auch Aspekte, die über die Projektinhalte hinaus gingen, vorgestellt. Für eine ansprechende Darstellung wurde ein passenden html-Template dahingehend erstellt, dass es in Erscheinungsbild und Farbwelt zum Projekt passte.

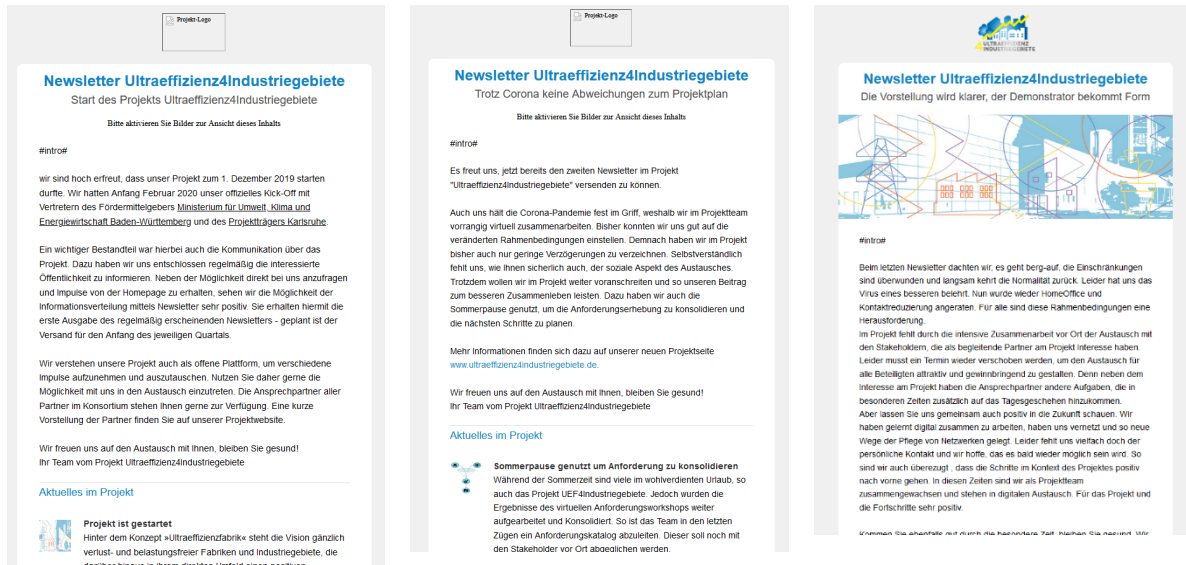


Abbildung 23: Newsletter 02/2020, 03/2020 und 04/2020 zur Information interessierter Stakeholder

Beiträge zum fachlichen Diskurs

Im Rahmen des Projektes erfolgten Beiträge in der fachlichen Community. Dabei waren Vorträge durch Projektbeteiligte ein passender Ansatz zur Anregung des Austausches untereinander (Tabelle 2). Zusätzlich wurden bei passenden wissenschaftlichen Konferenzen Artikel platziert, die damit Anknüpfungspunkte für die Wissenschaftscommunity bilden (Tabelle 3).

Vortragender	Datum	Titel	Veranstaltung
Bogdanov, I.	13.02.2020	Energy related considerations of Ultraefficient Urban Industrial Parks	16. Symposiums Energieinnovation, Graz
Hertwig, M.	6.10.2020	URBAN PRODUCTION – value adding in urban environments	Urbane Daten, Stuttgart & online
Sauer, A.	7.10.2020	Ultraeffizienz und Digitalisierung – Was bedeutet dies für Unternehmen und Industriegebiete?	Ressourcenkreislaufkongress BW, Karlsruhe & online
Hertwig, M.	06.07.2021	Mit Symbiose zu Ultraeffizienz im Industrie- oder Gewerbegebiet	Kolloquium Umweltforschung Impulse für die Umweltpolitik, online
Hertwig, M.	26.11.2021	Upgrading of industrial parks Symbiotic loss-free industrial production in ultra-efficient urban industrial parks	TRENT virtual roundtable, online
Sauer, A.	24.05.2022	Die Ultra-Effizienz Fabrik – Verlustfrei produzieren	Forum Produktion 2022 Schlüsseltechnologien für die „Twin Transition“
Hertwig, M.	22.10.2022	Ultraeffizienz4Industriegebiet – Impuls	Auftakt zum Klimabeirat in Rheinfelden (Baden)

Tabelle 2: Vorträge in der fachlich interessierten Community

Autoren	Jahr	Titel	Konferenz / Zeitschrift
Hertwig, M.; Barwasser, A.; Bogdanov, I.; Hu, X.; Lentjes, J.; Waltersmann, L.; Wendland, E.	2020	Urban Production – Value adding in urban environments	NFDI4City, Stuttgart & online
Hertwig, M.; Bogdanov, I.; Beckett, M.; Waltersmann, W.; Lentjes, J.	2021	Symbiotic loss-free industrial production in ultra-efficient urban industrial parks	28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Jaipur & online
Hertwig, M.; Lentjes, J.	2022	Smart Eco-factory – Aspects for next generation facilities supporting sustainable and high-tech production	26th International Conference of Production Research, online
Gerdes, J.; Munder, M.; Sauer, A.	2022	Evaluation of Technical and Economic Potential of Waste Heat Distribution Networks in Industrial Sites	3rd International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering, online

Tabelle 3: Wissenschaftliche Beiträge

Verwertung und potenziellen Folgeaktivitäten

Für die Weiternutzung von Projektergebnissen sind im laufenden Projekt verschiedene Kontakte aufgenommen worden. Aus dem Expertenbeirat wurde der Kontakt zu den Projektleitern bei der Umwelttechnik BW und Klimaschutz- und Energieagentur BW für die Themen industrielle und kommunale Abwärmenutzung (KEA) hergestellt. In den Gesprächen wurden Bedarfe und Ziele abgeglichen. Daraus konnten potenziellen Synergieeffekte abgeleitet werden. Die Berechnungen der Maßnahme Abwärmenutzung könnten aus Sicht der KEA den Kommunen helfen, kommunale Abwärme-Planungen durchzuführen, indem Potenziale aufgezeigt würden. Die Gespräche sind noch nicht in einen konkreten Handlungsansatz gemündet, und werden daher fortgesetzt.

Am Standort Rheinfelden fließen die Erkenntnisse aus dem Vorhaben in eine Anschlussanwendung. Da die Stadt Rheinfelden (Baden) aktuell bereits eine silberne Zertifizierung gemäß des *European Energy Awards*³ besitzt, strebt sie eine goldene Zertifizierung an. Für die Erreichung dieses ambitionierten Ziels hat der Oberbürgermeister Klaus Eberhardt einen Klimabeirat ins Leben gerufen, der die Verwaltung und Politik dabei unterstützen und beraten soll. Es ist angestrebt gemeinsam zu definieren, wie die Roadmap zur klimaneutralen Kommune/Stadt bis 2040 aussehen soll. In den Aktivitätsfeldern des Klimabeirats kann das Projekt »Ultraeffizienz4Industriegebiete« einen Beitrag leisten, insbesondere im Bereich »Nachhaltig Arbeiten und Wirtschaften« sehen die handelnden Personen großes Potenzial. Viele der diskutierten Maßnahmen tragen zur Reduktion von Emissionen bei und tragen anderen Aspekten, wie Kreislaufführung und sozialverträglicher Entwicklung, Rechnung. Durch die Aufbereitung der Projektergebnisse kann der Klimabeirat auf diese zurückgreifen. Auch bei der Auftaktveranstaltung am 22.10.2022 war das Projekt vor Ort vertreten. Durch einen Einführungsimpuls und die Moderation des anschließenden Workshops gelang es, auch bei den Beteiligten des Klimabeirates die Ergebnisse aus dem Projekt bekannt zu machen.

Abschlussveranstaltung

In Abstimmung mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg erfolgte im Schulterschluss mit dem Projekt »Ultraeffizienzfabrik-Zentrum« die öffentliche Abschlussveranstaltung des Projekts. Ziel dieses Formates war es, die Ergebnisse beider Projekte vorzustellen und zu demonstrieren, um die Leistungsfähigkeit und Potenziale für Folgeaktivitäten mit den anwesenden Vertretern aus Industrie und kommunaler Verwaltung zu diskutieren. Am 22.11.2022 erfolgte die hybride Veranstaltung am Fraunhofer-Institutszentrum Stuttgart, bei der auch Stimmen aus der Industrie eingeladen waren. So berichtete Katharina Fraune von Evonik Rheinfelden von den Mehrwerten, die durch das Projekt am Standort identifiziert und gehoben werden konnten. Im Rahmen eines Workshops wurden Anknüpfungspotenziale für die Verbreitung diskutiert. Außerdem erfolgte der Ausblick auf potenzielle Folgevorhaben, die dazu beitragen können, die Ergebnisse noch weiter in die Anwendung zu bringen.

³ <https://www.european-energy-award.de/>

6 Beschreibung des Demonstrators

Gemäß dem abgeleiteten Konzept des Demonstrators (5.2) besteht dieser aus Backend (6.1) und Frontend (6.2). Das Backend übernimmt die Funktion des Datenimports, Berechnung von Kennwerten und strukturierte Bereitstellung der Kennwerte. Im Frontend erfolgt die visuelle Darstellung, mit der interagiert werden kann. Durch Visualisierung und Interaktion soll der Austausch der lokalen Stakeholder befähigt werden.

6.1 Backend – technologische Basis

Die Entwicklung des Demonstrators erfolgte modular, in Anlehnung an das abgeleitete Konzept des Demonstrators. Das Backend repräsentiert damit die Modellierungsebene (siehe Abbildung 10), die maßgeblich für die Berechnung der relevanten Kennwerte zuständig ist. Bei der Entwicklung des Backend wurde bewusst Wert auf Erweiterbarkeit und einfache Verständlichkeit gelegt, um die Anwendbarkeit des resultierenden Werkzeugs für unterschiedliche Standorte und Rahmenbedingungen durch Anpassbarkeit sicherzustellen. Die Umsetzung erfolgte deshalb in *MatLab*⁴ bzw. der Open Source Alternative *Octave*⁵.

Um die Modularität sicherzustellen, wird im Backend mit Funktionen gearbeitet. Es existiert ein Hauptprogrammkorpus. Dieser stellt den Rahmen, in dem globale Variablen definiert werden und der Import der unternehmensspezifischen Werte erfolgt. Damit liegen in diesem Teil des Backend alle relevanten Informationen vor, die benötigt sind, um die Subroutinen für die Einzelmaßnahmen aufzurufen und mit den relevanten Variablen zu bestücken. Jede Maßnahme nimmt im Hauptprogrammkorpus eine Sektion ein, in der die Aufbereitung der benötigten Informationen erfolgt, die maßnahmenspezifische Subroutine aufgerufen wird und die Ergebnisse der Subroutine für die Weiterverarbeitung aufbereitet werden. Die Programmstruktur lässt Abbildung 24 entnehmen.

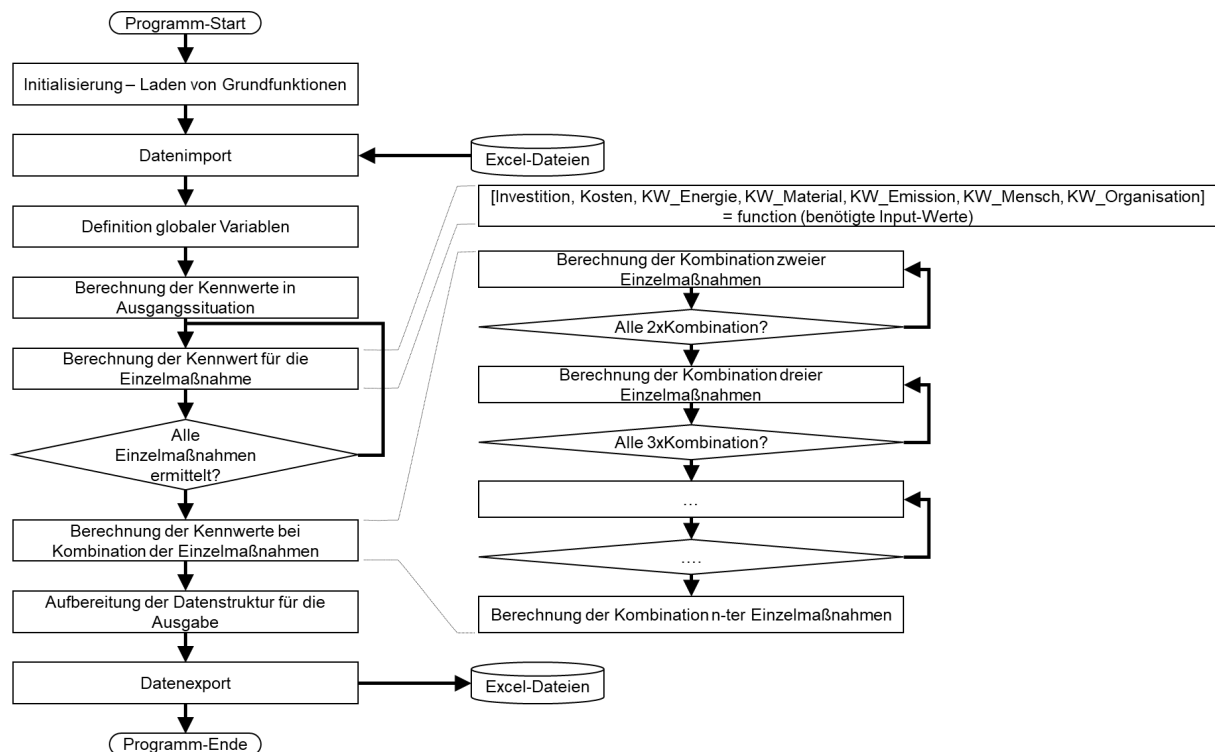


Abbildung 24: Programmstruktur des Backend im Demonstrator

Im Hauptmodul werden die unternehmensspezifischen Daten eingelesen. Dazu dient eine klar strukturierte Excel-basierte Datei, in welcher die erhobenen unternehmensspezifischen Daten abgelegt sind. Dieses Excel enthält Kennwerte zu Energiebedarf, sozial-technischen Inhalten, Emissionen und unterstützenden Inhalten. Zusätzlich finden sich in dieser Datei Informationen zu Materialbedarfen und Reststoffen. Weitere Daten für die Bewertung von Maßnahmen werden ebenfalls mittels Imports aus Excel-basierten Dateien ausgelesen. Diese Daten sind beispielsweise Entfernungen von Wohngebieten, potenzielle Lokationen für neue Infrastrukturen oder weitere unterstützende

⁴ www.mathworks.com.

⁵ <https://octave.org/>

Informationen. Daten, die auf Literaturquellen beruhen und statisch sind, sind mehrheitlich direkt im Programm hinterlegt. Damit wird die Verarbeitungsgeschwindigkeit erhöht.

Nach Berechnung der Kennwerte, gemäß der Subroutinen, werden die Ergebnisse der Kennwertberechnung zusammengeführt. In einer Datenmatrize werden alle Ergebnisse des gleichen Kennwerts zusammengefasst, wobei pro Zeile die Ergebnisse je Maßnahme (aus Subroutine) und pro Spalte die Kennwerte je betrachteten Unternehmen vor Ort kombiniert sind. So entstehen 7 Datenmatrizen, die beliebig groß (in Spalten und Zeilen) sein können, für die Kennwerte:

- Primärenergiebedarf = Handlungsfeld Energie;
- Materialweaternutzungspotenzial = Handlungsfeld Material;
- Emissionen in CO₂-Äquivalent = Handlungsfeld Emission;
- Sozialer Beitrag = Handlungsfeld Mensch/Personal;
- Organisatorischer Beitrag = Handlungsfeld Organisation;
- Geschätzte laufende Kosten p.a. = wirtschaftliche Dimension und
- Voraussichtliches Investitionsvolumen = wirtschaftliche Dimension.

Nach der Ermittlung der Auswirkungen auf die Kennwerte durch die Einzelmaßnahmen, erfolgt die Kombination der Auswirkungen. Denn im Demonstrator können auch verschiedene Maßnahmen gleichzeitig angewählt werden. Damit kann eine gegenseitige Beeinflussung der Maßnahmen erfolgen, was sich auf die Kennwerte auswirkt.

Im letzten Schritt werden die Kennwerte formatiert und exportiert. Dabei wird für jedes untersuchte Unternehmen eine individuelle Excel-basierte Datei erzeugt (siehe Abbildung 25). Damit wird sichergestellt, dass keine wettbewerbsrelevanten Informationen unabsichtlich an andere Unternehmen übergeben werden. Somit bleiben die bereitgestellten Informationen anonym.

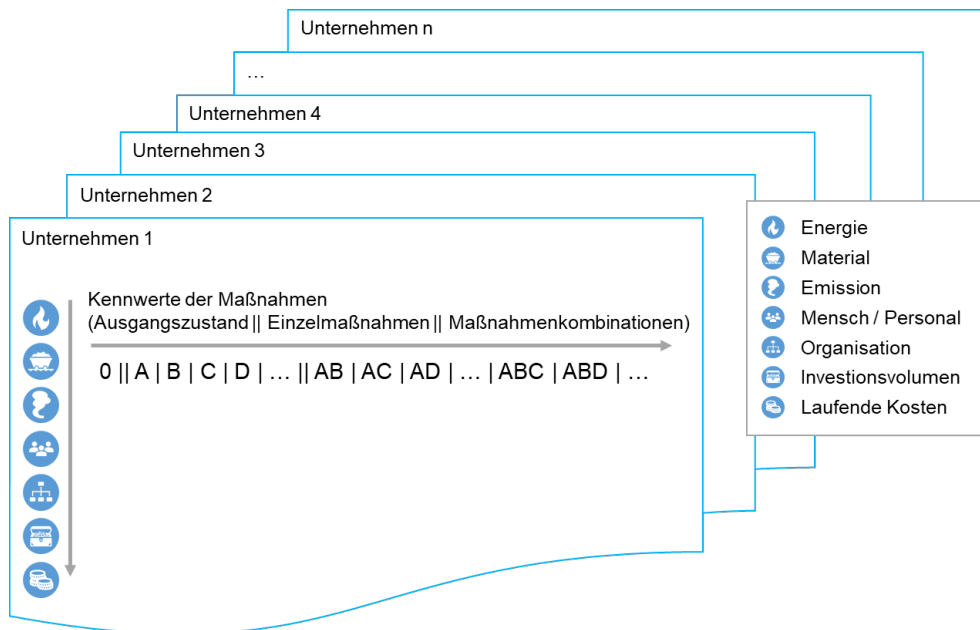


Abbildung 25: Struktur der in Excel-Format exportierten Datensätze des Backend

Jede Maßnahme ist in einer Subroutine zusammengefasst. Damit wird sichergestellt, dass die Maßnahmen in ihrer Komplexität alle relevanten Informationen unabhängig vom Hauptprogramm verarbeiten können. So lassen sich auch unterschiedlich komplexe Berechnungen durchführen und als Ergebnis vergleichbare Effekte sichtbar machen. Für weitere bisher noch nicht berücksichtigte Maßnahmen können einfach weitere Subroutinen ergänzt werden. Sollten die benötigten Daten für die zusätzliche Subroutine nicht vorhanden sein, lassen sich auch zusätzliche Datenquellen nutzen. In Subroutinen können auch bestehende veröffentlichte Funktionen genutzt werden, wodurch die Stabilität der Berechnung erhöht wird, da diese Funktionen meist geprüft sind.

6.2 Frontend – technische Umsetzung

Die Umsetzung des Frontend ist in Vue.js erfolgt. Vue.js ist ein leichtgewichtiges Framework auf Basis von JavaScript [Roden 2020]. Es eignet sich besonders für dynamische visuelle Aufbereitungen und web-basierte Darstellungen. Damit ist die Programmierung für alle Programmierer mit JavaScript-Kenntnissen möglich [Müller-Brinkum 2022].

Der Import der Datensätze erfolgt über ein einfaches JavaScript, welches mit Node.js ausgeführt wird. Dafür wurde zusätzlich das Paket „xlsx“ über npm⁶ installiert. Das Paket ermöglicht das systematische Auslesen und die Bearbeitung von Excel-Dateien. Auf diese Weise wurden alle spezifischen Unternehmensdaten in JSON-Datensätze überführt (siehe Abbildung 26). Diese JSON-Datensätze lassen sich in die VUE-Applikation integrieren und werden nach dem Start der Applikation in eine Datenbank geladen [You 2023]. Innerhalb der Datenbank ist jede JSON-Datei dem zugehörigen Unternehmen über eine „ID“ zugeordnet. Die JSON-Dateien weisen die in Abbildung 27 dargestellte Struktur auf, damit einzelne Werte auswahlabhängig ausgelesen werden können.

```

JS importjs > ...
1  const fs = require("fs");
2  const XLSX = require("xlsx");
3  // TASK 1 - Read data from Excel and store into JSON file
4  // STEP 1 - READ EXCEL FILE
5  const workbook = XLSX.readFile("./Datensätze/Neu/KPI-Unternehmen_Energiedienst.xlsx");
6  // STEP 2 - READ SHEET FROM THE WORKBOOK
7  const worksheets = workbook.Sheets['Kennwerte'];
8  console.log(workbook.SheetNames);
9  console.log(worksheets);
10 //STEP 3 - READ SHEET DATA AND CONVERT IT INTO JSON
11 const data = XLSX.utils.sheet_to_json(worksheets);
12 console.log(data);
13 //STEP 4 - WRITE JSON DATA INTO JSON FILE BY STRINGIFY DATA
14 let newData = {};
15 newData = data.map(d => {
16   return d;
17 })
18 fs.writeFileSync('./Datensätze/JSONneu/building55.json', JSON.stringify(newData, null, 2));

```

Abbildung 26: JavaScript ExcelToJson

```

src > components > icons > {} building0.json > ...
1  {
2    "name": "Cabot",
3    "energy": {
4      "_EMPTY": "Energie",
5      "": 174267,
6      "A": 174267,
7      "B": 174267,
8      "C": 174267
9    },
10 > "material": { ...
28   },
29 > "emission": { ...
47   },
48 > "human": { ...
66   },
67 > "organisation": { ...
85   },
86 > "investment": { ...
104  },
105 > "costs": { ...
123  }
124 }

```

Abbildung 27: Beispiel Struktur JSON-Datensatz

In der grafischen Benutzeroberfläche wurden 2 Dropdown-Menüs erstellt. Dabei wurde je eines für die Handlungsfelder und je eines für die Maßnahmen erzeugt. Dazu wurde die VUE-Komponente „v-select“ genutzt (Abbildung 28). Im Ausgangszustand hat jede Menü-Komponente den Wert „-1“. Wird die Komponente angewählt, wird der hinterlegte Wert positiv. Diese Werte werden über eine Update-Funktion „v-if“ überwacht und bei Veränderungen werden die verknüpften Inhalte ein- bzw. ausgeblendet, was in der Oberfläche die Darstellung entsprechend ändert (Abbildung 29). Darüber wird

⁶ npm ist ein Paketmanager für die JavaScript-Laufzeitumgebung Node.js.

die Darstellung der einzelnen SVG-Element gesteuert. Dadurch erfolgt auch die Steuerung der Elemente in der Legende. Erfolgt die Auswahl, wird die Darstellung um ein zusätzliches String-Element ergänzt. Diese Ausgabe erfolgt mittels eines „v-card“. So gelingt es die zusammengehörenden Informationen in geeigneter Kombination darzustellen [You 2023].

```
<v-select
  v-model="value"
  :items="items"
  chips
  label="Wähle Maßnahmen"
  multiple
  outlined
>>/v-select>
```

Abbildung 28: Vue-Komponente „v-select“

```
if (mas_bahn >= 0 && this.ifBahn == false){
  this.ifBahn = true
  code=code + 'A'
}
else if(mas_bahn >= 0 && this.ifBahn == true){
  this.ifBahn = true
  code=code + 'A'
}
else{
  this.ifBahn = false
}
```

Abbildung 29: „v-if“-Direktive und Codeveränderung bei Auswahl einzelner Maßnahmen

Da die grafische Darstellung als SVG-Element modelliert ist, konnte sie vollständig als XML-Code integriert werden. Damit sind Teilbestandteile des ViewModels steuerbar. Für die Steuerung wurde das SVG-Element entsprechend gruppiert. Bei der Gruppierung erfolgte eine Einordnung nach

- Unternehmen,
- Maßnahme und
- Handlungsfeld.

Jede dieser Gruppierungen wurde mit einer „v-if“ Direktive versehen. Damit kann die Darstellung entsprechend gesteuert werden, so dass nur die Gruppen angezeigt werden, für welche die „v-if“ Direktive wahr bzw. mit einem positiven Wert (ausgewählt) ist (Abbildung 29).

```
<g
  inkscape:groupmode="layer"
  id="layer8"
  v-if="ifE"
  inkscape:label="Beziehungen Energie"
  style="display:inline">
  <path
    style="fill:none;stroke:#ff0000;stroke-width:1.42937;stroke-linecap:butt;stroke-linejoin:miter
    d="M 936.22292,253.09869 880.40215,223.5106 738.74071,293.33999 761.0518,304.47695"
    id="path68924"
    sodipodi:nodetypes="cccc" />
  <path ...
    sodipodi:nodetypes="cccc" />
  <path ...
    sodipodi:nodetypes="cccc" />
  <path ...
    sodipodi:nodetypes="cccc" />
  <path ...
    sodipodi:nodetypes="cccc" />
  <ellipse ...
    ry="5.1731791" />
  <text ...
    style="font-size:8.8244px;stroke:#000000;stroke-width:0.0630315;stroke-miterlimit:4;stroke-d
```

Abbildung 30: Beispielcode für XML-Code mit Implementierung der „v-if“-Direktive

Zusätzlich sind die Gruppen „Unternehmen“ mit sogenannten „click-events“ versehen (Abbildung 31). Mit diesem Ansatz wird es möglich, zusätzliche Informationen als Overlay-Fenster bereit zu stellen.

Erfolgt ein Maus-Click wird die entsprechend Gruppen-ID identifiziert. Die zu dieser Gruppe gehörenden Informationen werden in der vorformatierten Form angezeigt. Dazu öffnet sich eine Info-Karte an der Position der Interaktion. In Abbildung 32 ist diese Umsetzung beispielhaft dargestellt.

```
<g
  id="g45471"
  transform="matrix(1.7960137,0,0,1.7774703,3.2258055e-7,-111.03794)">
  <g
    id="building1"
    @click="getMousePosition"
    inkscape:label="g45073">
    <polygon
      fill="#6f7070"
      points="65.002,107.557 129,70.608 65.002,33.652 1,70.608 "
      id="polygon17563"
      transform="matrix(0.47625,0,0,0.42962137,465.36029,190.7042)" />
    <polygon
      fill="#575959"
      points="126.26,69.025 80.602,42.661 49.4,42.661 42.957,46.38 42.957,94.83 65.002,107.557 "
      id="polygon17565"
      transform="matrix(0.47625,0,0,0.42962137,465.36029,190.7042)" />
    <polygon
      fill="#938b7c"
      points="64.443,47.113 64.443,59.518 42.957,47.113 42.957,34.707 "
      id="polygon17567"
      transform="matrix(0.47625,0,0,0.42962137,465.36029,190.7042)" />
```

Abbildung 31: Beispielcode für XML-Code mit Implementierung des „click-events“

```
methods:{
  getMousePosition(event){
    let x = event.pageX
    let y = event.pageY
    console.log(x)
    console.log(y)

    let click_id = event.target.parentElement.id
    this.company_info = JSON.parse(JSON.stringify(this.company[click_id]))
    console.log(click_id)

    if (x >= 1200){
      x = x - 470
      this.styleObject.left = (x) + 'px'
      console.log(this.styleObject.left)
    }
    else{
      this.styleObject.left = (x) + 'px'
      console.log(this.styleObject.left)
    }

    this.styleObject.top = (y) + 'px'
    this.showInfo = ! this.showInfo
  },
```

Abbildung 32: Programmcode Methode „click-event“

Die dargestellte Info-Karte ist als „v-card“ realisiert (Abbildung 33). Mit diesem Ansatz wird ermöglicht, Inhalte in einem definierten Bereich strukturiert darzustellen. Für die angestrebte Darstellung werden die zu dem ID-Element zugehörigen Informationen in einer Tabelle strukturiert. Als Tabelle wird eine „v-simple-table“ genutzt, um die Informationen nach Interaktion in den Kategorien:

- Kennwertname,
- Kennwert,
- Einheit und
- Veränderungswert aufzubereiten.

Um die Veränderungswerte grafisch hervorzuheben, wird eine zusätzliche Funktion genutzt. Mittels der Funktion „v-chip“ können Farbgebungen definiert werden (Abbildung 34 & Abbildung 35). Je nach Ausprägung des Veränderungswertes kann der Wert „grün“, „gelb“ oder „rot“ eingefärbt werden. Damit soll auf den ersten Blick sichtbar werden, ob eine Verbesserung, Verschlechterung oder keine Veränderung vorliegt. Damit soll dem Nutzer diese, als relevant bewertete, Information neben dem Veränderungswert auch farblich angeboten werden.

```

<v-card v-model='code' :name="code" max-width="500" v-if="showInfo" :style="styleObject"
  <v-card-title> {{company_info.name}} </v-card-title>
  <v-card-subtitle> {{company_info.name}} </v-card-subtitle>
  <v-card-text>
    <v-simple-table> ...
  </v-simple-table>
  </v-card-text>
</v-card>

```

Abbildung 33: Infokarte „v-card“ mit Tabelle „v-simple-table“

```

<td>Energieverbrauch</td>
<td>{{parseFloat(company_info.energy['']/1000).toFixed(0)}}</td>
<td>MWh</td>
<td>
  <v-chip
    :color="getColorEnergy()"
    dark
  >
    {{ Math.round((((company_info.energy[code]/company_info.energy[''])-1)*100) )}%
  </v-chip>
</td>

```

Abbildung 34: Inhalt der Tabelle mit Farbfeature „v-chip“ am Beispiel Energieverbrauch (1/2)

```

getColorEnergy () {
  var x = this.company_info.energy[this.code];
  var y = this.company_info.energy[''];

  if (x > y) return 'red'
  else if (x == y) return 'orange'
  else return 'green'
},

```

Abbildung 35: Inhalt der Tabelle mit Farbfeature „v-chip“ am Beispiel Energieverbrauch (2/2)

Um das programmierte Frontend zu starten, wird die Applikation im Windows-Command-Fenster ausgeführt. Dies erfolgt ebenfalls über den npm Paketmanager. Durch den Aufruf des Pfads des Programmordners mit dem Befehl „npm run serve“ im Terminal wird der lokale Server gestartet (Abbildung 36). Dies ist nötig, da aus Datenschutzgründen eine lokal lauffähige Version erstellt wurde. Nachdem der lokale Server läuft, kann diese Adresse im Browser aufgerufen werden. Die aktuelle Version ist auf Google Chrome⁷ optimiert. Eine vollständige Kompatibilität bei Browsern anderer Hersteller ist im Rahmen des Projektes nicht im Vordergrund gestanden.

⁷ Google Chrome ist der Webbrowser des Unternehmens Alphabet Inc.

```

C:\Users\leo96>npm run serve
Microsoft Windows [Version 10.0.19044.2486]
(c) Microsoft Corporation. Alle Rechte vorbehalten.

C:\Users\leo96\Downloads\Visualisierung\Visualisierung\uef_demo_v02\uef_demo>npm run serve
npm WARN config global `--global`, `--local` are deprecated. Use `--location=global` instead.

> uef_demo@0.1.0 serve
> vue-cli-service serve

Browserslist: caniuse-lite is outdated. Please run:
  npx browserslist@latest --update-db
  Why you should do it regularly: https://github.com/browserslist/browserslist#browsers-data-updating
INFO Starting development server...
98% after emitting CopyPlugin

DONE Compiled successfully in 15992ms

App running at:
- Local: http://localhost:8080/
- Network: http://192.168.2.103:8080/

Note that the development build is not optimized.
To create a production build, run npm run build.

```

Abbildung 36: Ausführung der Applikation im Windows-Command-Fenster

6.3 Anwendbarkeit und Übertragbarkeit

Wichtiges Kriterium für den Erfolg ist die Nutzbarkeit der Funktionalität für verschiedene Standorte, damit soll eine Übertragbarkeit der Projektergebnisse sichergestellt sein. Das Design erfordert einen geringen Initialeinsatz zur Individualisierung des Demonstrators auf einen anderen Betrachtungsraum (anderer Standort). Es muss insbesondere die grafische Visualisierung gemäß den lokalen Gegebenheiten angepasst werden, um neben den Symbiose-Beziehungen auch geografische Bezüge ableiten zu können, die u.U. einen Einfluss die Umsetzung haben können. Außerdem kann die Anzahl der berücksichtigten Entitäten (z.B. abhängig von Standort) gewählt werden. Auch die Verwendung von etablierter Webtechnologien sowie Open Source Ansätzen unterstützen eine Übertragung in andere Anwendungsgebiete. Dabei spielt auch die Erweiterbarkeit des Software-Werkzeugs eine gewichtige Rolle. Denn durch die Erweiterung um weitere Maßnahmen, können in den angestrebten Diskussionen unterschiedliche Prioritäten bei den Maßnahmen berücksichtigt werden.

Die typische Anwendung des entwickelten Werkzeugs lässt sich in zwei konkrete Anwendungsfälle unterteilen.

- 1) Im ersten Anwendungsfall, für welchen der Demonstrator primär entwickelt wurde, sollen Diskussionen zwischen Unternehmen befähigt werden, um so die Konzeption organisationsübergreifender Zusammenarbeit zu unterstützen. Durch die Sammlung definierter Kennwerte wird der Ausgangszustand des betrachteten Industrie- oder Gewerbegebiets erhoben. Ausgehend von diesen Werten werden die Einflüsse der Einzelmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen ermittelt und stehen dann für die Ausgabe auf der visualisierten Oberfläche bereit. In der Diskussion können verschiedene Maßnahmen auf den Standort aktiv geschaltet werden, wodurch die Auswirkungen der Maßnahmen sichtbar werden, auch hinsichtlich nötiger baulicher Veränderungen. Ebenfalls können für die beteiligten Unternehmen relevante Kennwertveränderungen visualisiert werden. Damit wird es für die Unternehmen möglich, den Nutzen die Maßnahmen hinsichtlich der Wirkung im Kontext der Unternehmensziele zu bewerten. Damit sollen für alle Stakeholder relevante und attraktive Maßnahmen identifiziert werden. Aus den geführten Diskussionen sollen die Unternehmen, ggf. unterstützt durch Moderation, eine Roadmap für die Umsetzung der Maßnahmen ableiten können.
- 2) Der zweite Anwendungsfall ist die Diskussion mit der interessierten Öffentlichkeit. So kann der Demonstrator genutzt werden, die aktuelle Situation darzustellen. Außerdem lassen sich somit Ziele für die zukunftsorientierte Entwicklung des Standorts gemeinsam ableiten, z.B. im Sinne eines Entwicklungsplans. Dieser kann in eine Roadmap für die Transformation zum Zielzustand, beispielsweise für nachhaltiges Arbeiten und Wirtschaften überführt werden und so Handlungsleitlinien für die kommunale Verwaltung geben. Auch können Maßnahmen mit dem Fokus auf Mitarbeitende und Bevölkerung (Handlungsfelder Emission, Mensch/Personal und teilweise Organisation) diskutiert und priorisiert werden.

Da der Hauptanwendungsbereich des Demonstrators die Identifikation und Auslegung organisationsübergreifender Maßnahmen ist, kann die Anwendung auch für ausgewählte Fragestellung erfolgen. So könnte auch unter Berücksichtigung der aktuellen Situation mit steigenden Energiekosten die Funktionalitäten nutzen, um Abwärme-Potenziale zu identifizieren und durch geeignete technologische Lösungen besser auszunutzen. Insgesamt kann der Demonstrator Ansätze der gemeinschaftlichen Energieerzeugung und -nutzung in der Diskussion unterstützen.

7 Resümee, Ausblick und weitergehende Arbeiten

Im Rahmen des Projektes wurde ein Werkzeug entwickelt, dass Unternehmen und kommunale Träger eines Industrie- oder Gewerbegebiets dabei unterstützt, eine Weiterentwicklung im Sinne der Ultraeffizienz zu planen und zu realisieren. Das zu entwickelnde Werkzeug wurde als Demonstrator für den Standort Rheinfelden (Baden) erstellt. Damit wurde gezeigt, dass durch eine geeignete Aufbereitung der teils komplexen Zusammenhänge eine Transformation inkl. Zusammenarbeit der lokal angesiedelten Einzelentitäten befähigt werden kann.

Ausgehend von der bereits veröffentlichten Konzeptstudie konnten die Bedarfe für ein solches Werkzeug abgeleitet werden. Basierend auf den Erkenntnissen konnte ein geeigneter Funktionsumfang konzipiert werden. Durch den regelmäßigen Austausch mit den lokalen Stakeholdern und weiteren Experten wurde immer auch die Übertragbarkeit auf andere Standorte in den Fokus gerückt. Trotzdem gelang eine Fokussierung auf für den Standort Rheinfelden (Baden) relevante Aspekte. So sind bereits 13 Weiterentwicklungsmaßnahmen im Demonstrator integriert. Unter Berücksichtigung der aktuellen Herausforderungen, mit dem Energieengpass durch die Ukraine-Krise seit Februar 2022 und dem Bedarf zur signifikanten Reduktion der klimaschädlichen Emissionen, wurde eine Priorität auf Maßnahmen mit Wirkung in Handlungsfeldern Energie und Emission gelegt. Hinsichtlich der Ganzheitlichkeit im Sinne der Ultraeffizienzfabrik wurden jedoch auch Maßnahmen in den Handlungsfeldern Material, Mensch/Personal und Organisation betrachtet und im Demonstrator berücksichtigt. So konnte ein Grundstein gelegt werden, um dieses Werkzeug auf weitere Standorte zu übertragen.

Als zusätzlicher Erfolg des Projektes kann die Unterstützung der Konkretisierung einer Maßnahme verbucht werden. Es gelang durch die Modellierung der Maßnahmen insbesondere die Mehrwerte der Maßnahme „industrielle Abwärmenutzung“ für die Unternehmen aufzuzeigen. Die herausgearbeiteten Mehrwerte waren ausreichend groß, dass eine Umsetzung konkretisiert und geplant wird. Es ist angestrebt, nach der Projektlaufzeit in die Umsetzung zu kommen; zuvor müssen noch Genehmigungsverfahren erfolgreich abgeschlossen werden. Somit gelang es, den Mehrwert des Werkzeuges zur Unterstützung der Diskussion für die Etablierung langfristiger Zusammenarbeit bei gegenseitigem Nutzen darzustellen. Damit wurde mehr erreicht, als bei Beginn des Projektes angestrebt wurde. Im Gegenzug zeigt es deutlich die Notwendigkeit der benötigten Transparenz auf, um Entscheidungen für langfristige Entwicklungen im Kontext der Ultraeffizienz, gerade im firmenübergreifenden Fall, zu befähigen.

Nach dem Projekt wird die Weiterentwicklung des Werkzeuges angestrebt, indem weitere Maßnahmen ergänzt werden. Dazu geht das Projektteam auf Kommunen und Unternehmen zu, um ihre Bedürfnisse in Rahmen von Folgeprojekten im Demonstrator abzubilden, um so weiteren Standorten bei der Transformation eine Hilfestellung zu bieten.

Zusätzlich wird der Ansatz im Rahmen des Projektes »Ultraeffizienz in Fellbach« für ein Quartier mit unterschiedlichen Nutzungsarten erweitert. Dabei ist das Ziel, die Zusammenarbeit nicht ausschließlich im Industriegebiet zu ermöglichen, sondern Synergien und Symbiose-Maßnahmen zwischen den Nutzungsarten Produktion, Landwirtschaft und Wohnen zu realisieren. Die Zielsetzung ist hierbei, die Anforderungen aus dem Projekt ebenfalls in den Demonstrator einfließen zu lassen. Das Projekt strebt in der ersten Phase (Laufzeit 11/2022 bis 06/2023) eine Potenzialerhebung sowie Umsetzungsempfehlungen an. Jedoch soll in Phase 2 (voraussichtlich ab 07/2023) die Umsetzung unterstützt werden.

8 Referenzen

- ABB Group 2020 ABB Group (2020): ABB stellt kompakte Schnellladestation für den Einsatz in der Stadt vor. Online. Online verfügbar unter <https://go.insideplus.abb.com/news/de/details/64754/abb-stellt-kompakte-schnellades...>, zuletzt geprüft am 07.07.2020.
- ACTiv fürs Klima 2012 ACTiv fürs Klima (2012): CO2-Emissionen im Individualverkehr. Stadt Aachen. Online verfügbar unter www.activfuersklima.de.
- Ayres et.al 2002 Ayres, R.U. & Ayres, L.W. (2002): A Handbook of Industrial Ecology. Edward Elgar: Cheltenham.
- Bachmann et.al 2021 Bachmann, A., Bank, L., Bauer, D., Bark, C., Blöchl, B., Brugger, M. et al. (2021): Energieflexibel in die Zukunft – Wie Fabriken zum Gelingen der Energiewende beitragen können. Hrsg. VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik. Düsseldorf.
- Blome 2018 Blome, A. (2018): Auswertungen der MiD 2017 auf Basis des Regionalstatistischen Raumtyps des BMVI. MiD-Abschlussveranstaltung. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin, 15.11.2018.
- Bogdanov et.al 2020 Bogdanov, I.; Hertwig, M.; Beckett, M.; Waltersmann, L. (2020): Ultraeffizienzfabrik symbiotisch-verlustfreie Produktion im urbanen Umfeld – Ausarbeitung von Anforderungsprofilen an Ultraeffizienzfabriken zum Aufbau stadtnaher Industriegebiete, Fraunhofer, Stuttgart, S.27
- Davé et.al 2016 Davé, A., Salonitis, K., Ball, P. D.; Adams, M., Morgan, D. (2016): Factory Eco-Efficiency Modelling: Framework Application and Analysis. In: Procedia CIRP 40, S. 214–219. DOI: 10.1016/j.procir.2016.01.105.
- Destatis 2022 Stromerzeugung im 1. Halbjahr 2022: 17,2 % mehr Kohlestrom als im Vorjahreszeitraum, Pressemitteilung Nr. 374 vom 7. September 2022, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_374_43312.html, abgerufen 14.12.2022, 11:59
- Dettmar et.al 2016 Dettmar, J., Pfoser, N., Sieber, S. (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Vorschlag für Zweck, Umfang und Gebietskulisse einer finanziellen Förderung von quartiersorientierten Unterstützungsansätzen von Fassadenbegrünungen.
- DGfM 2016 Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau (02.05.2016): „Job plus Wohnung“ als neuen Trend in der Wohnungskrise nutzen. Studie „Wirtschaft macht Wohnen“ sieht „Comeback der Werkswohnung“. Berlin. Linda Bidner, wohnungsbau@presse-themen.de. Online verfügbar unter www.impulse-fuer-den-wohnungsbau.de.
- DSLVL 2013 DSLVL Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V. (Hrsg.) (2013): Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik – Begriffe, Methoden, Beispiele.
- Ellen MacArthur Foundation 2015 Ellen MacArthur Foundation (2015): Towards a Circular Economy: Business rationale for an accelerated transition. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation_9-Dec-2015.pdf
- Fafflok et.al 2016 Fafflok, C., Henrich, J., Repp, N. (2016) „nCampus–Nachhaltige und energieeffiziente Weiterentwicklung auf dem Campus Lichtwiese der Technischen Universität Darmstadt.“ Forschung für Nachhaltigkeit an deutschen Hochschulen. Springer Spektrum, Wiesbaden. 43-56
- Forum Wohnen und Stadtentwicklung 2021 Forum Wohnen und Stadtentwicklung (Hrsg.) (2021): Verkehrswende: Chancen und Hemmnisse. 3.000. Aufl. Berlin: Hirnbrand (Forum Wohnen und Stadtentwicklung, 3).
- Friedrich 2016 Friedrich, S. (2016): ENTWICKLUNG, ERPROBUNG UND VERBREITUNG VON KONZEPTEN ZUM NACHHALTIGEN PRODUZIEREN UND KONSUMIEREN IN DER AUSSER-HAUS-GASTRONOMIE. Hrsg. Petra Teitscheid, Holger Rohn, Nina Langen und Melanie Speck. Fachhochschule Münster. Wuppertal (Nachhaltiges Wirtschaften). Online verfügbar unter www.nahgast.de.
- Gerth 2021 Gerth, M. (2021): Comeback der Werkswohnung. Konzerne ködern Mitarbeiter mit günstigen Wohnungen. Hrsg. WirtschaftsWoche. Online. Online verfügbar unter <https://www.wiwo.de/finanzen/immobilien/comeback-der-werkswohnung-konzerne-koedern-mitarbeiter-mit-guenstigen-wohnungen/26880600.html>, zuletzt aktualisiert am 10.02.2021, zuletzt geprüft am 17.07.2021.

- Gies et.al 2021 Gies, J., Langer, V. (2021): Mit On-Demand-Angeboten ÖPNV-Bedarfsverkehre modernisieren. Werkstattbericht zu Chancen und Herausforderungen. Hrsg. Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu). Berlin.
- Green Factory Bavaria 2019 Herrmann et.al 2015 http://greenfactorybavaria.de/gf/cms/front_content.php?idcat=2&lang=1, zuletzt aufgerufen 11.02.2019
Herrmann, C, Blume, S., Kurle, D., Schmidt, C., Thiede, S. (2015). The Positive Impact Factory–Transition from Eco-efficiency to Eco-effectiveness Strategies in Manufacturing, Procedia CIRP, Volume 29, 2015, pp. 19-27, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.066>.
- Hirzel et.al 2011 Hirzel, S., Sontag, B., Rohde, C. (2011): Betriebliches Energiemanagement in der industriellen Produktion. Kurzstudie. Hrsg. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Karlsruhe.
- Hoppe et.al 2018 Hoppe, M., Hörler, R., Härrli, F. (2018): Nachhaltiges und zeitgemäßes Pendeln. Möglichkeiten für einen Wandel in der Mobilität. Hrsg. Bundesamt für Energie BFE. Bern (SI/501403-02/SI/402394-01).
- Kitzmann et.al 2021 Kitzmann, R., Lange, M., Michelczak, G. (2021): Werkswohnen 2.0: die Wiederbelebung unternehmerischer Wohnungsversorgung. In: Forum Wohnen und Stadtentwicklung 13 (2 / März-April), S. 105–110.
- Krinke 2021 Krinke, S., Khare, S. (2021): "Sustainability Strategy of Volkswagen Group and Decarbonization" & "Sustainability Strategy Region India". 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering. Volkswagen. College International pour la Recherche en Productique; Technische Universität Braunschweig. virtual, Jaipur, 10.03.2021. Online verfügbar unter <https://lce2021.in>.
- Kuss et.al 2022 Kuss, P., Nicholas, K. A. (2022): A dozen effective interventions to reduce car use in European cities. Lessons learned from a meta-analysis and Transition Management. In: Case Studies on Transport Policy. DOI: 10.1016/j.cstp.2022.02.001.
- Lamker et.al 2017 Lamker, C., Rüdiger, A., Schoppengerd, J. (2017): Gewerbelärm contra Nutzungsmischung. Zur Praxistauglichkeit des Urbanen Gebietes. In: RaumPlanung 2 (190), S. 14–20.
- Lentes et.al 2017 Lentes, J., Mandel, J., Schliessmann, U., Blach, R., Hertwig, M., & Kuhlmann, T. (2017). Competitive and sustainable manufacturing by means of ultra-efficient factories in urban surroundings. International Journal of Production Research, 55(2), 480-491.
- Linke 2017 Linke, T. (2017): Gebäudebegrünung als Lärmschutzmaßnahme im innerstädtischen Raum - Welchen Beitrag können Dach- und Fassadenbegrünungen zum Lärmschutz leisten? Masterarbeit. HafenCity Universität Hamburg, Hamburg. Studiengang Stadtplanung.
- Lunge et.al 2019 Lunge, J., Große-Kreul, F., Best, B., Espert, V., Witte, K. (2019): Ergebnisse der Gemeindestudie zum Thema "Energiewende und globale Megatrends in NRW". Hrsg. Virtuelles Institut „Transformation – Energiewende NRW“. Wuppertal Institut. Wuppertal.
- Lyle 1996 Lyle, J.T. (1996): Regenerative Design for Sustainable Development. Wiley: New York
- Mann 2013 Mann, G. (2013): Dach- und Fassadenbegrünungen. Schützen, dämmen, kühlen – Grüner Alleskönner? In: EnEV im Bestand 0 EnEV im Bestand (03), S. 22–25. Online verfügbar unter www.enev-im-bestand.de.
- Mann 2017 Mann et.al 2019 Mann, G. (2017): GebäudeGrün. Berlin: Patzer Verlag.
Mann, G., Mollenhauer, F. (2019): „Positive Wirkungen von Gebäudebegrünungen (Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung)“. Zusammenstellung von Zahlen, Daten, Fakten aus verschiedenen Untersuchungen. Hrsg. Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG). Berlin (BuGG-Fachinformation).
- Monk 2020 Monk, K. (2020): Why bother offering food in the workplace? Hrsg. Raconteur. Online. Online verfügbar unter <https://www.raconteur.net/workplace/food-workplace-culture/>, zuletzt aktualisiert am 20.03.2020, zuletzt geprüft am 09.04.2022.
- Müller-Brinkum 2022 Müller-Brinkum, C. (2022): Vue.js - Das »simple« Framework für komplexe Aufgaben. Blog-Beitrag auf Schumacher Design. Online. Online verfügbar unter <https://schumacher-design.de/blog/vue-js-das-simple-framework-fuer-komplexe-aufgaben/>, zuletzt aktualisiert am 18.08.2022, zuletzt geprüft am 30.01.2023
- North Point press 2002 Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. North Point Press: New York. 2002

- Otterbein 2018 Otterbein, M. (2018): Betriebsverpflegung: Motivieren mit Genuss. Hrsg. Revier Manager. Online. Online verfügbar unter <https://www.regiomanager.de/ruhrgebiet/themen/buero-und-arbeitswelt/motivieren-mit-genuss>, zuletzt aktualisiert am 01.10.2018, zuletzt geprüft am 09.04.2022.
- Quaschning 2019 Quaschning, V. (2019): Regenerative Energiesysteme. Technologie – Berechnung – Klimaschutz. 10., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Hanser.
- Roden 2020 Roden, G. (2020): Was man über Vue.js wissen sollte, Blog-Beitrag auf Heise online. Online. Online verfügbar unter <https://www.heise.de/blog/Was-man-ueber-Vue-js-wissen-sollte-4969211.html>, zuletzt aktualisiert am 30.11.2020, zuletzt geprüft am 30.01.2023
- Schmied et.al 2013 Schmied, M., Mottschall, M. (2013): Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des ÖPNV. Leitfaden zur Anwendung der europäischen Norm EN 16258. Hrsg. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. INFRAS – Forschung und Beratung. Berlin.
- Schneider 2015 Schneider, H. (2015) „E3-Forschungsfabrik Ressourceneffiziente Produktion.“ ZWF-Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 110.4, 225-226.
- Schubert et.al 2021 Schubert, S., Büttner, A., Lindmaier, J., Schröder, A., Dross, M., Reißmann, J., Daniel, et al. (2021): UMLANDSTADT umweltschonend. Nachhaltige Verflechtung von Wohnen, Arbeiten, Erholung und Mobilität. Hrsg. Umweltbundesamt. Forum, U. B.A. Dessau-Roßlau.
- Snook et.al 1980 Snook, I. D.; Levitsky, S. E. (1980): Redesign of employee cafeteria increases efficiency, satisfaction. In: Hospitals 54 (23), S. 73–74.
- Spath et.al 2017 Spath, D., Hertwig, M. (2017). Holistische Standortentwicklung von produzierenden Unternehmen unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit dem Umfeld: Konzeptstudie. Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Stahel 2006 Stahel, W. R. (2006): The Performance Economy. Palgrave Macmillan: Hampshire.
- Tukulis et.al 2018 Tukulis, A., Pakere, I., Gravelins, A., Blumberg, D. (2018): Methodology of system dynamic approach for solar energy integration in district heating. In: Energy Procedia 147, S. 130–136. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.07.042. <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen>, abgerufen 20.04.2022, 11:34
- Umweltbundesamt 2022
- Wieland et.al 2017 Wieland, S., Strobel, P., Bodelschwingh, A. v. (2017): Mitarbeiterwohnen. MEHR ALS EIN INSTRUMENT AKTIVER PERSONALPOLITIK. Hrsg. RegioKontext GmbH. Berlin.
- Wölfel et.al 2014 Wölfel, R., Hörmann, C., Seidel, M., Dorsch, S. (2014): Innerstädtischer Verkehr und Handel in bayerischen Klein- und Mittelstädten. Hrsg. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie. CIMA Beratung + Management GmbH. München.
- You 2023 You, E. (2023): The Progressive JavaScript Framework, An approachable, performant and versatile framework for building web user interfaces. Online verfügbar unter <https://vuejs.org/guide/introduction.html>, zuletzt aktualisiert am 18.01.2023, zuletzt geprüft am 30.01.2023