

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19186 N / 1

Thema

Entwicklung ökologisch-logistischer Wirkmodelle zur gezielter Einflussnahme auf die Ökologie und Logistikleistung von KMU (ÖkoLogWi)

Berichtszeitraum

01.01.2017-31.12.2019

Forschungsvereinigung

Verkehrsbetriebswirtschaft

Forschungseinrichtung(en)

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Hannover, 17.03.2021

Ort, Datum

Dipl.-Wirtsch.-Ing. J. Richter

Dipl.-Ing. M. Kriwall



Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Thema.....	1
Berichtszeitraum.....	1
Forschungsvereinigung	1
Forschungseinrichtung(en).....	1
1. Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Problemstellung	2
2. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse	3
3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse	4
3.1 Teilziel 1: Wirkmodelle	5
3.2 Teilziel 2: Rechenvorschriften	13
3.3 Teilziel 3: Mathematisches Optimierungsmodell.....	15
3.4 Teilziel 4: Softwaretechnische Umsetzung	17
4. Verwendung der Zuwendung	20
5. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	20
6. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen	21
7. Umsetzung der Forschungsergebnisse und Transfermaßnahmen	21
8. Einschätzung der Realisierbarkeit des Transferkonzepts	22
9. Durchführende Forschungsstelle.....	22
10. Förderhinweis.....	23

1. Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Problemstellung

Ressourceneffizienz stellt neben der hohen Transparenz und der Flexibilisierung eines der wichtigsten Zukunftsthemen der Logistik im produzierenden Gewerbe dar. Höhere Kosten für Energie und Ressourcen zwingen die Unternehmen zum ökologieorientierten Umdenken.

Aber auch durch Kunden und Gesetzgeber wird zunehmend von der Industrie verlangt, Umwelt- und Ökologieaspekte intensiver zu berücksichtigen und Nachhaltigkeit bei der Nutzung von Ressourcen zu gewährleisten [Loh10]. Hintergrund hierfür ist die erhöhte Sensibilität vieler Kunden für ökologische und nachhaltige Produkte und Produktionsprozesse. 64 % aller Kunden verknüpfen ihre Kaufentscheidung mit der gesellschaftlichen Verantwortung, welche ein Unternehmen trägt [Str14]. In einer Umfrage des Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V. (BME) wurde ermittelt, dass das Unternehmensimage, ein steigendes Umweltbewusstsein der Kunden sowie das Risiko steigender Kosten durch CO₂-Emissionen die Hauptbeweggründe für Umweltschutzaktivitäten in Unternehmen sind [BME09]. Dieser Trend wird auch durch den Gesetzgeber forciert, etwa durch das Emissionsschutzgesetz oder Verpflichtungen zur Angabe der CO₂-Emissionen [Hed11]. Hieraus resultiert ein verstärkter

Handlungsdruck für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) nach einer ökologischeren Ausgestaltung ihrer Prozesse, da dies zu einem immer bedeutsameren Wettbewerbsfaktor wird [Hie11].

Die Logistik ist dabei ein Unternehmensbereich, von dem ein Großteil der Umweltwirkungen ausgeht und in dem folglich ein großes ökologisches Optimierungspotential liegt [BME09]. Gleichzeitig sind KMU bestrebt, ihre Logistik wirtschaftlich zu optimieren, um im Wettbewerb bestehen zu können. Jedoch sind ökologische und logistische Kenngrößen teilweise konträr [Sei07, Nag11]. Beispielsweise führen die abnehmende Fertigungstiefe und die Globalisierung der Lieferbeziehungen zu stark erhöhten Transportaufkommen und stehen damit im Konflikt zu ökologischen Zielen [Arn08].

Insgesamt fehlt es oftmals an Transparenz über die Wirksamkeit und die Auswirkungen von Maßnahmen zur Verbesserung der logistischen Leistungsfähigkeit und ökologischen Nachhaltigkeit logistischer Prozesse [Nag11]. Die fehlende Kenntnis über die direkten und indirekten Wirkzusammenhänge zwischen beeinflussbaren logistischen Parametern und den resultierenden logistischen und ökologischen Kenngrößen (z. B. Kosten, Bestände, Emissionen) stellt ein Hindernis bei der Gestaltung ökologisch nachhaltiger Logistikprozesse dar. Wichtige Zusammenhänge und relevante Stellgrößen bleiben so oftmals verborgen und aufgrund unzureichender Kenntnis über die quantitativen Auswirkungen von Maßnahmen werden diese nicht umgesetzt. Gleiches gilt für die fehlende Kenntnis der optimalen Ausprägung der Parameter, sodass bei vielen Unternehmen noch immer große Potentiale für eine integrierte Verbesserung der Logistik und der Ökologie bestehen.

2. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse

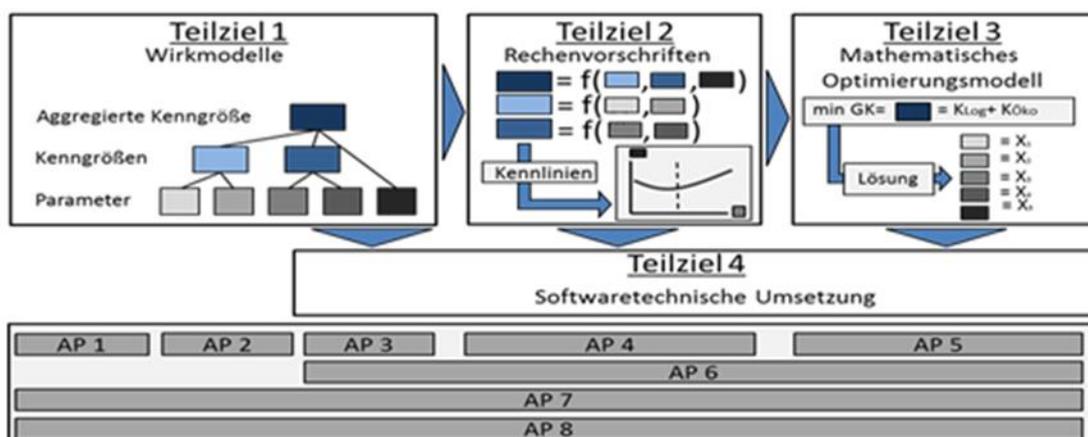


Abbildung 1: Grafische Darstellung der Teilziele

Teilziel 1

Teilziel 1 war die Entwicklung eines ökologisch-logistischen Wirkmodells. Zweck des Wirkmodells ist, implizite und explizite Zusammenhänge zwischen sogenannten systembeschreibenden Parametern und ökologischen und logistischen Kenngrößen zunächst allgemeingültig und qualitativ aufzuzeigen.

Anhand von Literaturrecherche und Befragung von Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) wurde ein Wirkmodell erstellt.

Das Teilziel wurde erreicht.

Teilziel 2

Im Rahmen von Teilziel 2 sollten Rechenvorschriften bestimmt werden, welche die Zusammenhänge des Wirkmodells zwischen systembeschreibenden Parametern und logistischen und ökologischen Kenngrößen analytisch quantifizieren.

Anhand von Literaturrecherche und unter Berücksichtigung verschiedener Normen wurden Rechenvorschriften erarbeitet, die in das Wirkmodell eingearbeitet wurden.

Das Teilziel wurde erreicht.

Teilziel 3

Teilziel 3 war die Entwicklung eines mathematischen Optimierungsmodells zur Bestimmung des ökologisch-logistischen Optimums.

Es wurden Optimierungsmöglichkeiten recherchiert und analysiert. Da der Optimierung seitens des PA eine untergeordnete Rolle zugewiesen wurde und die Datenbasis für eine Optimierung bei KMU nicht ausreichend vorhanden ist, wurde in Absprache mit dem PA eine Darstellungsform erarbeitet, die es erlaubt, verschiedene Alternativen zu vergleichen und die für den Anwendungsfall (Zeit, CO₂, Kosten) günstigste auszuwählen. So kann der Demonstrator aufwandsarm in KMU eingesetzt werden. Vom Demonstrator wird keine optimale Lösung vorgeschlagen, sondern der Demonstrator berechnet verschiedene Lösungsvorschläge und bietet dem Anwender die Möglichkeit, aus diesen zu wählen. Somit konnten die Anforderungen unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Expertenbefragung erfüllt werden.

Das Teilziel wurde teilweise erreicht.

Teilziel 4

Teilziel 4 beinhaltet die Umsetzung des mathematischen Optimierungsmodells in einem softwaretechnischen Demonstrator sowie die Validierung der Projektergebnisse.

Das Wirkmodell und die Rechenvorschriften wurden in einem Softwaredemonstrator umgesetzt. Auch die Berechnung verschiedener Lösungen und die Darstellung der Ergebnisse wurde in dem Softwaredemonstrator umgesetzt. Die Ergebnisse wurden mit Anwendungsbeispielen der Projektpartner validiert.

Das Teilziel wurde erreicht.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Das Projekt gliedert sich in 4 Teilziele mit insgesamt 8 beinhalteten Arbeitspaketen. Im Folgenden werden die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse der einzelnen Teilziele und der zugehörigen Arbeitspakete beschrieben.

3.1 Teilziel 1: Wirkmodelle

Arbeitspaket 1: Situationsanalyse sowie die Aufnahme von Anforderungen an die Projektergebnisse

Durchgeführte Arbeiten

- Recherche der relevanten Literatur, Normen zur Klärung allgemeiner Fragestellung hinsichtlich einer ganzheitlichen ökologisch-logistischen Betrachtung
- Definition von Anforderungen an die Projektergebnisse (Austausch mit PA-Mitgliedern, Normen, Literaturrecherche)
- Ableitung von Anforderungstabellen für Teilbereiche und Gewichtung der einzelnen Anforderungen nach ihrer Bedeutung

Erzielte Ergebnisse

Die Rechercheergebnisse wurden hinsichtlich der Fragestellungen „*Bedeutung einer ökologischen Betrachtung der Logistik*“, „*Betrachtungsrahmen eines ökologisch-logistischen Wirkmodells*“ sowie „*Ansätze zur Erfassung und Berechnung der CO₂-Emissionen in den Logistikprozessen*“ dargestellt.

Bedeutung einer ökologischen Betrachtung der Logistik

Der Transportsektor ist mit ca. 30 % an der Gesamtemissionserzeugung beteiligt. Von entsprechend hoher Relevanz ist eine Reduktion der Treibhausgasemissionen.

Betrachtungsrahmen eines ökologisch-logistischen Wirkmodells

Es finden sich verschiedene Ansätze zur Erfassung der CO₂-Emissionen, die in verbrauchs-, distanz- und kennzahlenbasierte Ansätze klassifiziert werden. Ein anderer Ansatz ist die lebenszyklusorientierte Betrachtung des Carbon Footprints.

Zur Umsetzung und im Hinblick auf die Forderung, dass das im Forschungsprojekt zu entwickelnde Modell Anwendung in KMU finden soll, waren Einschränkungen im Detailgrad nötig. Die VDI 4800 erlaubt eine umfassende Bilanzierung der Ressourceneffizienz auf Basis der Lebenszyklusorientierung. Die sehr detaillierte Betrachtung in der VDI 4800 ist jedoch für KMU häufig aufgrund des Umfangs der benötigten Daten nicht möglich. Zur Gewährleistung valider Ergebnisse wurde die Betrachtung im Rahmen dieses Forschungsprojektes daher auf die Herstellungsphase mit Transporten beschränkt. Dadurch wird die Perspektive zwar eingeschränkt, der betrachtete Ausschnitt bildet dafür aber sehr präzise ab, welche Menge an CO₂-Emissionen in der Logistik während des Nutzungsprozesses angefallen sind. Für diese Betrachtung ist die DIN EN 16258 sowie die Spezifikation (SPEC 91224) von großer Bedeutung.

Ansätze zur Erfassung und Berechnung der CO₂-Emissionen in Logistikprozessen und Anforderungen an die Projektergebnisse

Anhand des Austausches mit dem PA, Literaturrecherche und Normen wurden Anforderungen an die Projektergebnisse abgeleitet. Die Anforderungen an die Projektergebnisse wurden hinsichtlich der verschiedenen Teilbereiche

- „Anforderungen an das Wirkmodell“,
- „Anforderungen an den finalen Softwaredemonstrator“, sowie
- „Anforderungen an die ökologische Bewertung“

unterteilt.

Die einzelnen Anforderungen wurden zudem hinsichtlich ihrer Relevanz geordnet. Die Gewichtung erfolgte ebenfalls auf Basis der Literaturrecherche und der Expertengespräche mit dem PA. Abbildung 2 zeigt die Anforderungen der Projektergebnisse an das zu entwickelnde Wirkmodell. Die Abbildung zeigt, dass besonders eine vollständige Erfassung von direkten und indirekten CO₂-Emissionen bedeutend für ein transparentes Wirkmodells ist. Die Darstellung der direkten und indirekten Wirkzusammenhänge nimmt, neben der Ableitung eines Modells zur Entscheidungshilfe zur Etablierung einer ökologischen Logistikstrategie für KMU, ebenfalls einen hohen Stellenwert ein.

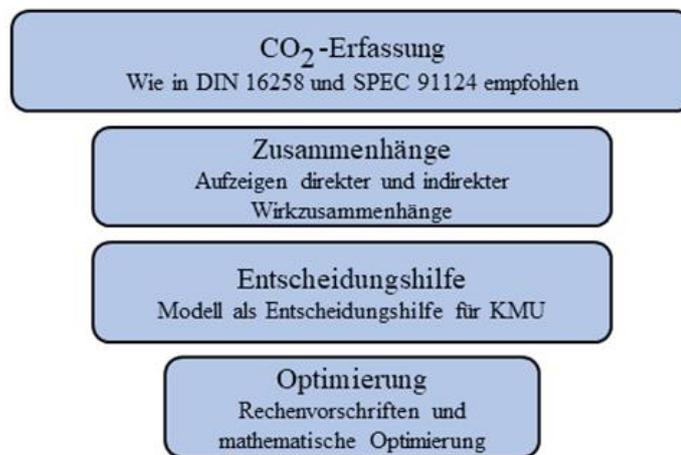


Abbildung 2: Gewichtung der Anforderungen an das Wirkmodell nach Einschätzung des PA

Die Anforderungen der Projektergebnisse an die ökologische Bewertung sind in Abbildung 3 dargestellt. In Abbildung 3 wird deutlich, dass vor allem die Transparenz der Berechnung der zu entwickelnde Methode sowie die Vollständigkeit der Betrachtung von Beschaffung, Intralogistik, Logistikimmobilie sowie Distribution wichtig sind.

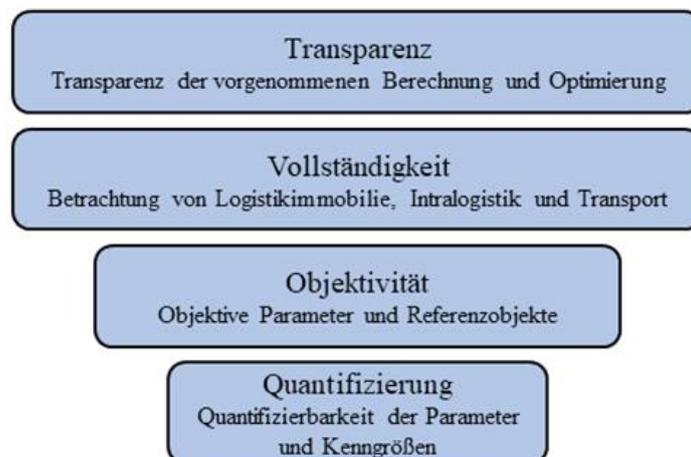


Abbildung 3: Gewichtung der Anforderungen an die ökologische Bewertung nach Einschätzung des PA

Abbildung 4 zeigt die Anforderungen an einen derartigen Softwaredemonstrator. Es wird deutlich, dass die Usability für die Unternehmen, die Kompatibilität zu bestehenden Systemen (z. B. Windows) sowie die Plausibilität der Ein- und Ausgabedaten von herausragender Bedeutung für den zu entwickelnden Softwaredemonstrator sind.

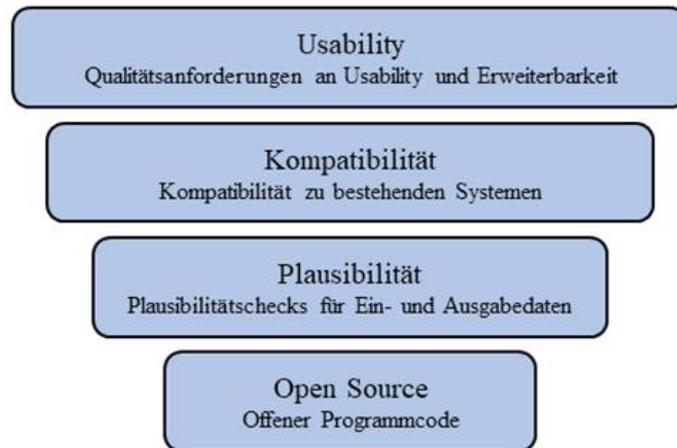


Abbildung 4: Gewichtung der Anforderungen an den Softwaredemonstrator nach Einschätzung des PA

Arbeitspaket 2: Identifikation der systembeschreibenden Parameter sowie der logistischen und ökologischen Kenngrößen

Durchgeführte Arbeiten

- Literaturrecherche und Austausch mit dem PA
- Bestimmung der systembeschreibenden logistischen Parameter
- Bestimmung der relevanten ökologischen Kenngrößen
- Bestimmung der gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen logistischen Parametern und ökologischen Kenngrößen

Erzielte Ergebnisse

Zur Bestimmung der relevanten Parameter und ökologischen Kenngrößen wurden zunächst verschiedene logistische Prozesse in der Herstellungsphase und im Transport hinsichtlich der auftretenden CO₂-Emissionen erfasst. Abbildung 5 zeigt in diesem Zusammenhang die verschiedenen Betrachtungsperspektiven zur Erfassung der CO₂-Emissionen.

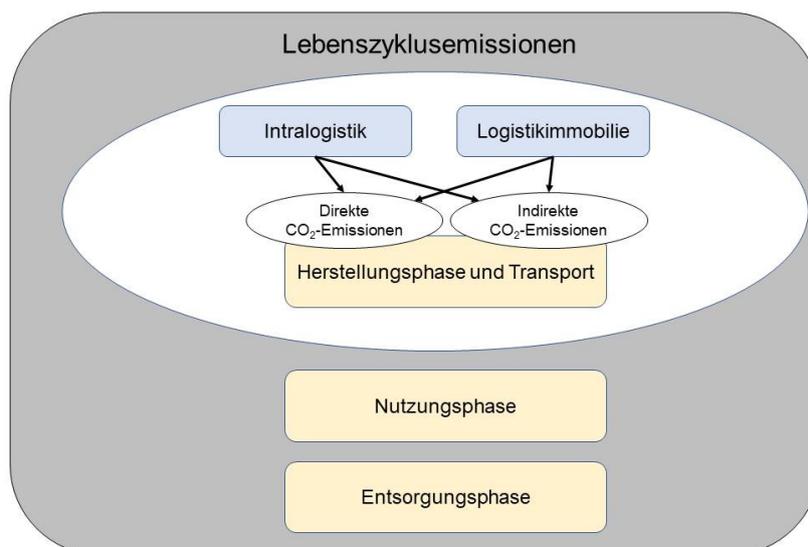


Abbildung 5: Darstellung der verschiedenen Phase die die Lebenszyklusemissionen erzeugen

Bei der Betrachtung von CO₂-Emissionen und anderen Treibhausgasen (CO₂-Äquivalenten) wird zwischen direkten und indirekten Emissionen unterschieden. Direkte Emissionen entstehen durch den Betrieb von Verkehrsträgern (LKW, Flugzeug) oder bei dem Betrieb eigener Feuerungsanlagen zur Produktion oder Erzeugung von Wärme. Die indirekten Emissionen resultieren aus der Bereitstellung von Fernwärme sowie des fremdbezogenen Stroms, etwa zum Betrieb von elektrische Flurförderfahrzeugen in der Intralogistik oder Maschinen zur Produktion.

Auf Basis der Literaturrecherche und relevanter Normen sowie der Diskussion mit den PA-Mitgliedern wurden die folgenden relevanten ökologischen Kenngrößen identifiziert:

- CO₂-Emissionen
- Lärmbelastung
- Energiebedarf (um CO₂-Emissionen bereinigt)
- Flächeninanspruchnahme.

Der um die CO₂-Emissionen bereinigte Energiebedarf war im Projektrahmen nicht darstellbar. Eine direkte Zuordnung der ausschließlich durch die Logistik bedingte Flächeninanspruchnahme ist aufgrund vieler peripherer oder gemeinsam mit der Produktion genutzter Flächen ebenfalls nur schwer objektiv zu messen. Da in den Anforderungen an die Projektergebnisse die Quantifizierbarkeit und Objektivität als sehr wichtige Anforderungen identifiziert wurden, konnten die ökologischen Kenngrößen *Energiebedarf* und *Flächeninanspruchnahme* nicht adäquat abgebildet werden. Im weiteren Projektverlauf lag der Fokus daher vor allem auf die Betrachtung von direkten und indirekten *CO₂-Emissionen* sowie *CO₂-Äquivalenten* (im Folgenden unter dem Sammelbegriff *CO₂-Emissionen* zusammengefasst), da diese im Allgemeinen gut quantifizierbar sind.

Für eine ganzheitliche ökologisch-logistische Optimierung ist letztlich die Gegenüberstellung der logistischen Zielgrößen, die durch die logistischen Parameter beeinflusst werden, zu den ökologischen Kenngrößen, die ebenfalls durch die logistischen Parameter beeinflusst werden, erforderlich. Auf Basis dieser Gegenüberstellung kann geprüft werden, welche Ökologiewirkung eine gezielte Beeinflussung logistischer Zielgrößen, die durch Änderung bestimmter logistischer Parameter bewerkstelligt wurde, hat. So hat etwa das Entscheidungs-Szenario „*Verringerung der*

Lieferzeit durch Wechsel des Transportmittels von LKW auf Flugzeug“ eine andere Wirkung auf ökologische Kenngrößen als bspw. das Entscheidungs-Szenario „*Verringerung der Lieferzeit durch Verringerung der Losgröße in der Beschaffung*“. Tabelle 1 zeigt eine Gegenüberstellung der logistischen Parameter zu den ökologischen Kenngrößen CO₂-Emission und Lärm. Die Beziehungen in Tabelle 1 wurden durch Literaturrecherche sowie der Diskussion mit den PA-Mitgliedern ermittelt. Die Bewertung erfolgte dabei nach der Skala 0 (keine Beeinflussung) bis 5 (für starke positive, steigende Beeinflussung).

Tabelle 1: Gegenüberstellung der logistischen Parameter und der ökologischen Kenngrößen

Stellgrößen	Ökologische Kenngrößen		
	CO ₂ -Emissionen	Lärm	
Logistische Parameter	längere Transportstrecke	5	4
	Transport: Luftverkehr	5	2
	Transport: Straße	3	4
	Transport: Schiff, Bahn	1	2
	niedrige Auslastung/Gesamtkapazität Transportmittel	3	2
	Losgröße in Disposition	4	2
	niedrige Losgröße in der Beschaffung (kann nur bedingt beeinflusst werden)	4	2
	niedrige Bestellhäufigkeit in der Beschaffung (korreliert direkt mit Losgröße und Auslastung)	4	2
	Servicegrad	2	2
	Straßensystemfaktoren	hoher Verkehrsfaktor (Ø Verkehrsaufkommen, Stauwahrscheinlichkeit)	3
schlechter Verkehrswegfaktor (Topografie, Zustand der Straße)		3	2
Umweltwirkung	hohe Umweltwirkungskategorie	5	0
Humanfaktor	niedrige Humanattribute (Geschwindigkeit Transport, Fahrerschulung)	3-4	

Die aufgeführten Beziehungen waren die Grundlage für die Gegenüberstellung der logistischen Parameter und der ökologischen Kenngrößen. Zusätzlich wurde ein Expertenfragebogen ausgewertet, um Praxisinformationen bzw. Einschätzungen von Experten über den Kreis des Projektbegleitenden Ausschusses hinaus zu erhalten. Dieser Fragebogen ist in Abbildung 14 im Anhang zu finden.

Arbeitspaket 3: Identifikation der Wechselwirkungen zwischen den Parametern und Kenngrößen sowie der Erstellung eines qualitativen Wirkmodells

Durchgeführte Arbeiten

- Identifikation der Wechselwirkungen
- Erstellung eines qualitativen Wirkmodells für die Beziehung eines Logistiksystems zur Ökologiewirkung

Erzielte Ergebnisse

Die Identifikation der Wechselwirkung zwischen den logistischen Parametern und ökologischen Kenngrößen ist bereits unter AP 2 beschrieben. Aus den dort vorgestellten Ergebnissen wurde für die logistischen Teilsysteme **Beschaffung (I)**, **Intralogistik und Logistikimmobilie (II)** sowie **Distribution (III)** ein qualitatives Wirkmodell für die Beziehung eines ganzheitlichen

Logistiksystems zur Ökologiewirkung abgeleitet. Die Darstellung des Wirkmodells ist als dreistufiges Modell zu verstehen, in welchem die anfallenden CO₂-Emissionen innerhalb dieser logistischen Teilsysteme aufgezeigt werden. In Wirkmodellen werden angenommene Kausalbeziehungen zwischen Elementen eines Systems grafisch dargestellt. Dies ermöglicht es, das Systemverhalten zu Erklärung oder Prognose zu treffen.

Das erstellte Wirkmodell, welches die wesentlichen Einflussfaktoren und Wechselwirkungen zwischen einem Logistiksystem und seiner Ökologiewirkung, auf Basis der bis hierhin durchgeführten Arbeiten beinhaltet und durch die Gesamtmenge-CO₂ repräsentiert wird, ist in Abbildung 6 dargestellt. Die beiden Hauptstellgrößen im Transportbereich sind der Verkehrsträger und die Entfernung. Diese sind im Wirkmodell detailliert untergliedert. Der Faktor Verkehrsträger wird wiederum von den jeweiligen Attributen bestimmt. Aus den sechs Attributen Fahrer, Zustand, Kraftstoff, Ladekapazität, Motorentechnik und Antriebstechnik setzt sich entsprechend die Stellgröße Verkehrsträger zusammen. Entsprechend der Wahl des Verkehrsträgers (Flugzeug, Bahn, LKW) können die Attribute verschiedene Ausprägungen annehmen. Der Faktor Entfernung, ebenfalls Einflussgröße auf den CO₂-Verbrauch der Transportteilstrecke, wird durch den Weg und die Geschwindigkeit bestimmt.

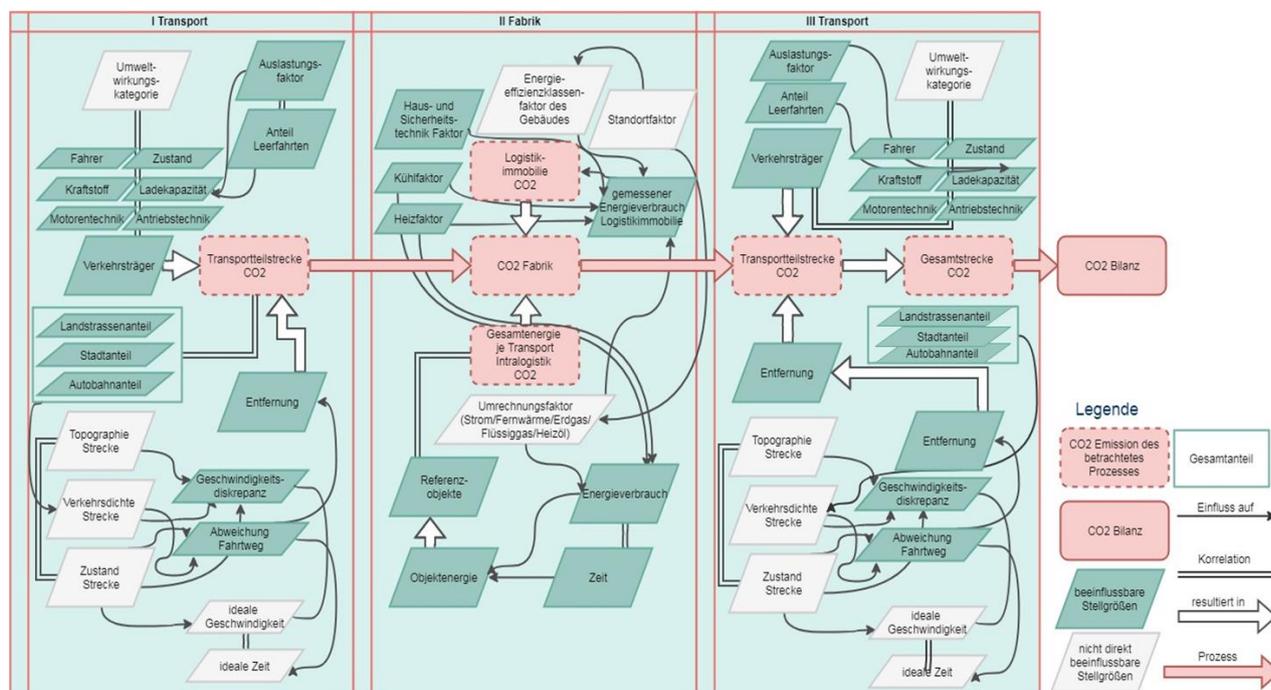


Abbildung 6: Qualitatives Wirkmodell der wesentlichen Einflussfaktoren und Wechselwirkungen zwischen einem Logistiksystem und der Ökologiewirkung

Die im Wirkmodell dargestellten Einflussfaktoren und Wechselwirkungen beziehen sich hauptsächlich auf den Transport und den dadurch verursachten CO₂-Ausstoß. Dies ist damit zu begründen, dass seitens des Projektbegleitenden Ausschusses der Fokus auf diese Thematik gelegt wurde. Durch einen Transfer lassen sich die Einflussfaktoren und Wechselwirkungen auch auf andere Bereiche übertragen, z. B. auf die logistischen Zielgrößen Termineinhaltung, Durchlaufzeit, Leistung und Kosten (Abbildung 7).

Die Wahl des Verkehrsträgers und die damit zurückgelegte Strecke hat nicht nur Auswirkungen auf den CO₂-Ausstoß auf der Transportteilstrecke (vgl. Abbildung 6), sondern ggf. auch auf die gesamte Prozesszeit, da beispielsweise ein Transport per Schiff länger dauert als per Flugzeug

(in Abhängigkeit von der Strecke). Dies kann wiederum die Termintreue bzw. die Termineinhaltung beeinflussen.

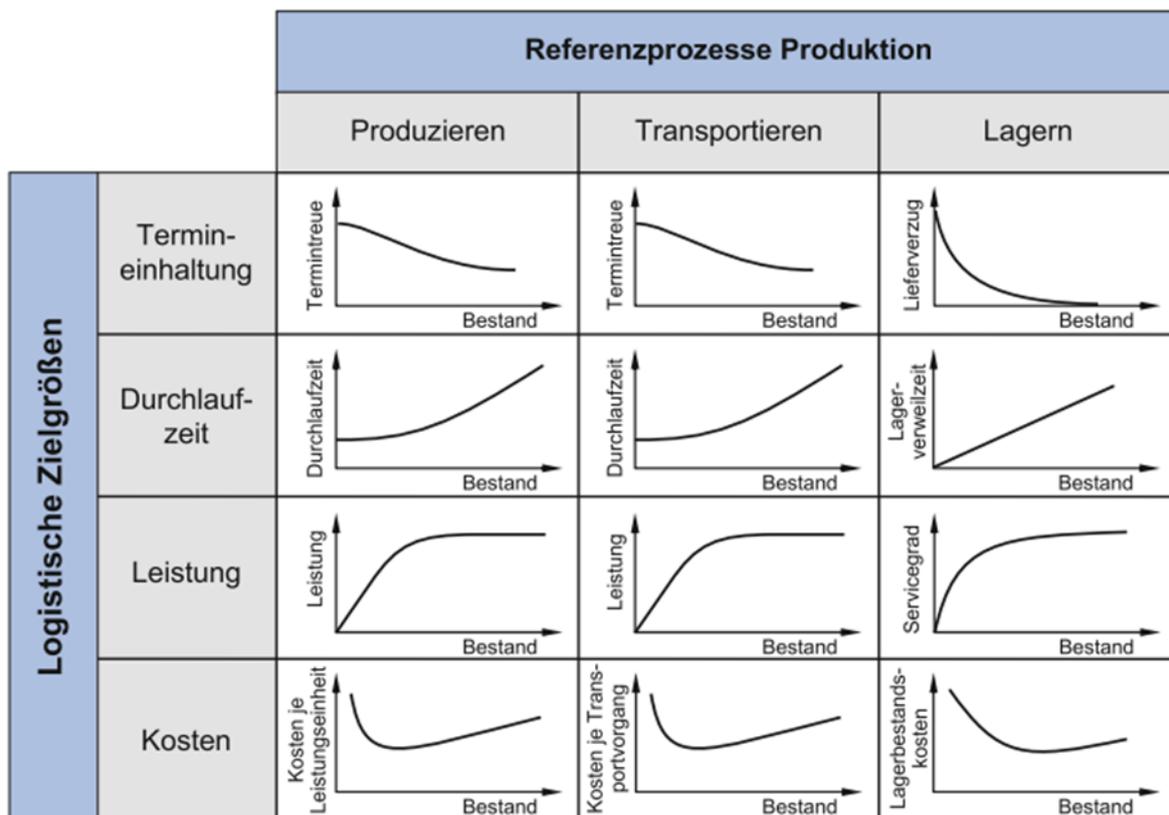


Abbildung 7: Logistische Kennlinien nach Nyhuis und Wiendahl [Nyh12]

Analog zum qualitativen Wirkmodell in Abbildung 6 umfasst der Betrachtungsbereich für die nachfolgenden Ausführungen neben der Produktion (Intralogistik und Logistikimmobilie (II)) auch die logistischen Teilsysteme Beschaffung (I) sowie Distribution (III). Somit werden die außerbetrieblichen Beschaffungs- und Distributionszeiten einbezogen. Die Zeit für den Gesamtprozess kann sich dadurch gegebenenfalls erheblich verlängern, von innerbetrieblich in der Regel maximal mehreren Stunden (je nach Produkt), zu mehreren Tagen bzw. Wochen (je nach Transportmittel und Transportentfernung). Die Zusammenhänge zwischen den logistischen Größen Transportstrecke, Durchlaufzeit, Kosten und Termintreue werden in den nachfolgenden Abbildungen qualitativ für unterschiedliche Verkehrsträger (Schiff, Lkw, Zug, Flugzeug) dargestellt.

Die Höhe der Transportkosten sowie die ökologischen Auswirkungen je Verkehrsträger sind von einer Vielzahl überwiegend relationsspezifischer Parameter abhängig, weswegen Durchschnittswerte mit hohen Unsicherheiten behaftet sein können. Zu diesen Parametern zählen die Länge der Transportstrecke, die Abmessungen und das Gewicht der Fracht (entscheidend für Verkehrsmittelwahl), die Dringlichkeit, eventueller Vor- und Nachlauf sowie sonstige Besonderheiten (z. B. Gefahrgut, Werttransport etc.). Abbildung 8 stellt die

Transportkosten (in Cent je tkm) in Abhängigkeit von der Transportentfernung (in km) für Lkw, Zug und Binnenschifffahrt graphisch dar.

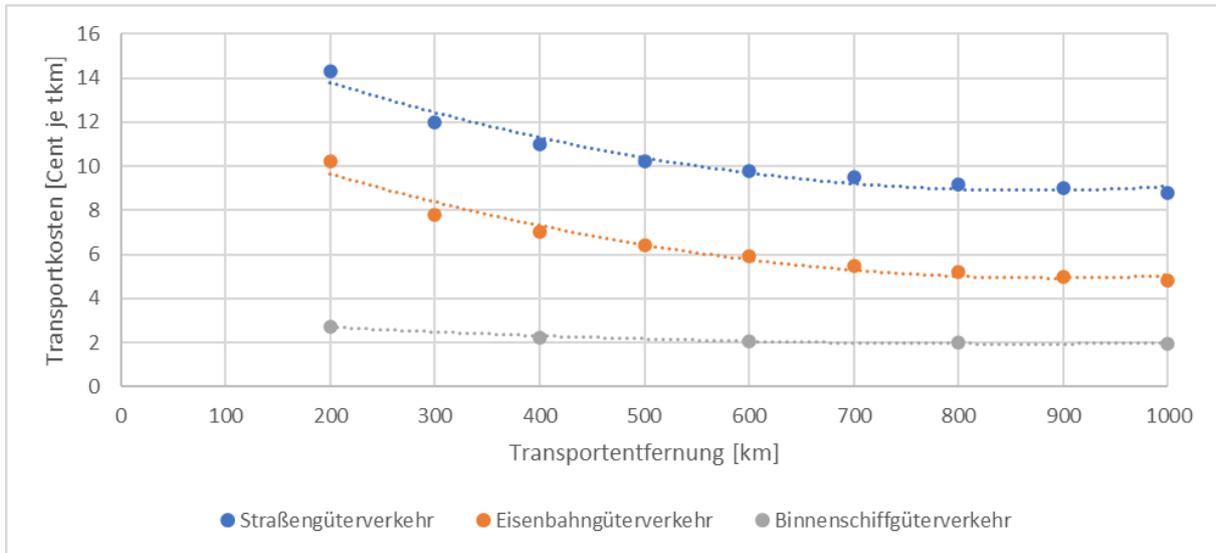


Abbildung 8: Transportkosten in Abhängigkeit von der Transportentfernung für verschiedene Verkehrsträger in Anlehnung an [Bun07]

Die Wahl des Verkehrsträgers hat nicht nur Auswirkungen auf die Transportkosten und den CO₂-Ausstoß auf der Transportteilstrecke, sondern auch auf die für die Beschaffung benötigte Zeit. Beispielsweise dauert im Regelfall ein Transport per Schiff wesentlich länger als per Flugzeug, Lkw oder Zug. Verlängerte Beschaffungs- oder Distributionszeiten könnten sich negativ auf die Termintreue des Unternehmens auswirken, was wiederum zusätzliche Kosten nach sich ziehen kann. Abbildung 9 stellt diese Zeiten (erweiterte Durchlaufzeit) in Abhängigkeit von der Transportentfernung für verschiedene Verkehrsträger qualitativ graphisch dar.

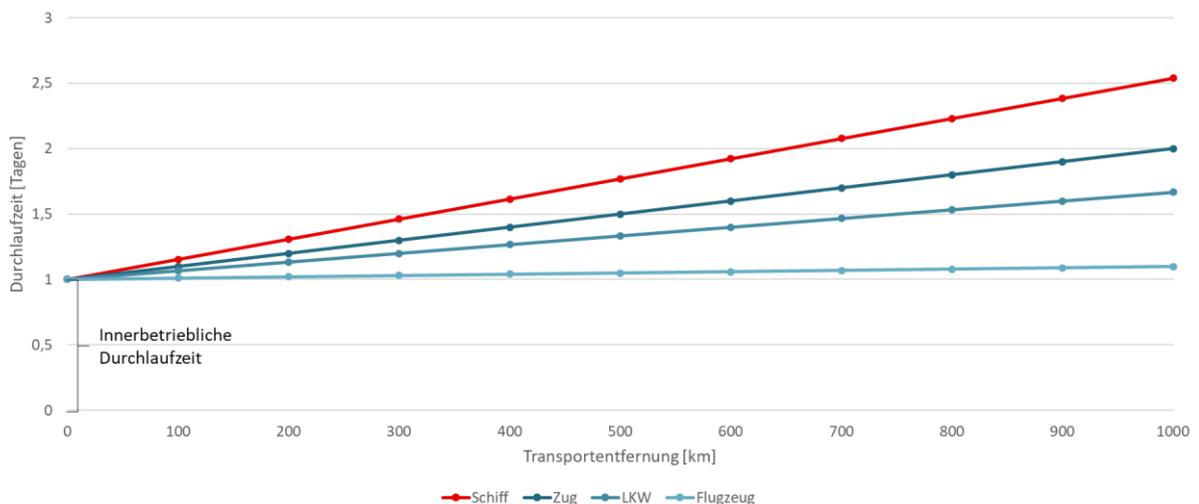


Abbildung 9: Erweiterte Durchlaufzeit (inner- und außerbetrieblich) in Abhängigkeit von der Transportentfernung für verschiedene Verkehrsträger

Für die Darstellung wurde zur Vereinfachung die Annahme getroffen, dass die innerbetriebliche Durchlaufzeit (Belegungs- und Übergangszeiten) genau einen Tag in Anspruch nimmt. Der Vergleich zeigt die Potenziale der verschiedenen Verkehrsträger auf. Ein Unternehmen des PA nutzte die hier dargestellten und im später erstellten Softwaredemonstrator bereitgestellten

Informationen, um die Bestellvorgänge zu optimieren. Die Informationen wurden genutzt, um transparent darzulegen, welche Auswirkungen eine verspätete Bestellung und somit ein notwendiger Wechsel auf den Verkehrsträger Flugzeug sowohl bezüglich der CO₂-Bilanz als auch der Kosten mit sich bringt.

3.2 Teilziel 2: Rechenvorschriften

Arbeitspaket 4: Herleitung von Rechenvorschriften und Referenzwerten zur Quantifizierung der Kenngrößen

Durchgeführte Arbeiten

- Erarbeitung der grundlegenden Rechenzusammenhänge
- Darstellung der Wirkfunktion des erarbeiteten Modells in den verschiedenen Szenarien in Bezugnahme auf eine konkrete Veränderung in den Logistikprozessen

Erzielte Ergebnisse

In den einzelnen logistischen Teilsystemen konnten unterschiedliche Kennzahlen und Indikatoren erfasst werden. Diese sollten eine CO₂-Bilanz von Intralogistik, Logistikimmobilie und Transport (Beschaffung und Distribution) ermöglichen und in ihrer Summe die Gesamt-CO₂-Emissionen abbilden. Im Folgenden (*Abbildung 10*) sind grundlegende Einflussfaktoren in elementaren mathematischen Beziehungen zusammengefasst, um die prinzipiellen Zusammenhänge zu verdeutlichen.

$$\text{CO}_2\text{-Gesamtemissionen} = \text{CO}_2\text{-Intralogistik} + \text{CO}_2\text{-Logistikimmobilie} + \text{CO}_2\text{-Transport (Beschaffung und Distribution)}$$

$$\text{CO}_2\text{-Intralogistik} = \text{Referenzobjekt} * \text{Energiebedarf des Referenzobjekts}$$

$$\text{CO}_2\text{-Logistikimmobilie} = \text{gemessener Energieverbrauch} * \text{CO}_2\text{-Umrechnungsfaktor (Strom/Femwärme/Erdgas/Flüssiggas/Heizöl)}$$

$$\text{CO}_2\text{-Transport}_{\text{gesamt}} = \text{CO}_2\text{-Einzelstrecke}_1 + \text{CO}_2\text{-Einzelstrecke}_2 + \dots + \text{CO}_2\text{-Einzelstrecke}_n$$

$$\text{Einzelstrecke} = (\text{Verkehrsträger (gCO}_2\text{/tkm)} * \text{Entfernung}) / \text{Strecke}$$

Abbildung 10: Grundlegende Rechenzusammenhänge zur Ermittlung der CO₂-Emissionen

Als Grundlage für die zu entwickelnden Rechenvorschriften und einen folgenden Softwaredemonstrator diene das Wirkmodell aus Abbildung 6.

Das weitere Vorgehen in AP4 war die Erarbeitung der detaillierten Berechnungsmethoden der einzelnen CO₂-emittierenden Prozesse und ihrer wirtschaftlichen Analyse. Die mathematischen Modelle zur Bilanzierung der gesamten Emissionen einer Prozess- und Transportkette wurden der DIN16258, der SPEC zur DIN und der Standardsammlung „CO₂-Berechnung in der Logistik“ entnommen [Kra11]. Die Beschränkung auf wenige, aber allgemein anerkannte und in der Praxis gängige Berechnungsmethoden soll die Übersichtlichkeit, Anwendbarkeit und Vergleichbarkeit des Verfahrens erhöhen.

Als Grundlage für die zu entwickelnden Rechenvorschriften und einen folgenden Softwaredemonstrator muss zunächst die Struktur des zu Grunde liegenden Algorithmus des

späteren Modells festgelegt werden. Diese Struktur wurde auf Basis des Wirkmodells aus Abbildung 6 entwickelt.

Abbildung 15 im Anhang zeigt die Wirkfunktion des erarbeiteten Modells in den verschiedenen Szenarien in Bezugnahme auf eine konkrete Veränderung in den Logistikprozessen. Diese Wirkfunktionen stellen die Grundlage für die spätere Verknüpfung der einzelnen Rechenvorschriften zu einem ganzheitlichen Berechnungsmodell dar. Im Folgenden wird die Logik der Abfolge aus Abbildung 15 beschrieben.

Zu Beginn jedes Falls steht eine unternehmerische Entscheidung, in der Abbildung durch „Entscheidung“ visualisiert. Eine solche Entscheidung kann beispielsweise die Umleitung einer Logistikroute sein oder das Hinzunehmen eines neuen Logistikpartners. Damit das Unternehmen vor der Umsetzung dieser Entscheidung die ökologischen Parameter und ihre Wechselwirkungen prüfen kann, wird die Entscheidung in eine der vier dargestellten Kategorien eingeordnet und dieser Pfad von oben nach unten durch das Modell berechnet und abgeschätzt. Für das genannte Beispiel, dass eine andere Route für die Logistik geplant ist, wird entsprechend in den Abschnitt „Veränderung: Transportweg“ gewechselt. Die erste Abfrage des Modells fragt nach der Wegstrecke der aktuellen und der neu geplanten Route. Entsprechend werden zwei Zahlen, die Anzahl an zurückgelegten Kilometer per Strecke, vom Modell entgegengenommen. Diese beiden Zahlen werden geordnet und gewichtet. Für die Stellgröße Transportstrecke sind die logistischen Zielgrößen Zeit und Kosten und die ökologischen Kenngrößen CO₂-Emissionen betroffen. Die Differenz der Strecken untereinander ist der Faktor, mit dem die längere der beiden Transportstrecken belastet wird. Wenn kein Abbruch seitens des Nutzers stattfindet, kann das Modell diese Daten weiter präzisieren. In einem nächsten Schritt wird der Verkehrsfaktor abgefragt. Das Verkehrsaufkommen modifiziert den bereits berechneten Wert und wirkt sich ebenfalls auf Zeit und Kosten aus. Somit kann eine zunächst deutlich längere Strecke mit wenig Verkehrsaufkommen einen besseren Wert haben als eine kürzere Strecke mit hohem Verkehrsaufkommen. Sind die Differenzen nicht oder kaum ausgeprägt, ist der Verkehrsfaktor entsprechend niedrig und resultiert voraussichtlich nicht in einer anderen Entscheidung als der zuvor erhobenen.

In einem letzten Schritt für dieses Szenario wird der Verkehrswegfaktor abgefragt. Dieser lässt sich aus der konkreten Route ableiten und wird durch die Topografie, also den Höhenunterschied des Geländes, sowie dem Zustand und der Beschaffenheit des Weges beschrieben. Das Modell errechnet diesen, wieder unter Einbezug der ökologischen Kenngrößen und deren qualitativer Gewichtung und konkretisiert den Wert noch weiter. Mit diesen Daten kann ein Unternehmen mit relativ geringem Aufwand nicht nur die ökologische Verbesserung, sondern gleichzeitig auch die gesamtwirtschaftliche Tragweite der Entscheidung für das Unternehmen erfassen, und sich auf dieser Grundlage für oder gegen das Vorhaben entscheiden. Das beschriebene Vorgehen unter Verwendung des Entscheidungsbaumes aus Abbildung 15 funktioniert für beliebige logistische Entscheidungen, die sich in die vier Hauptkategorien (Veränderung Transportweg, Transportmittel, Logistikpartner, Personal) einordnen lassen. Damit ein Unternehmen bereits nach dem ersten Durchführungsschritt eines der Szenarien einen groben Anhaltspunkt hat, wurden die Abfragen nach Priorität angeordnet. Die Aussage über das Transportmittel, die erste Frage dieses Pfades, liefert bereits grundlegende Abschätzungen der ökologischen Kenngrößen und der logistischen Zielgrößen, während die anderen Pfade diesen erhobenen Wert modifizieren und präzisieren. Dadurch erlaubt das Modell auch bei frühem Abbruch seitens des Nutzers eine bereits grobe Abschätzung genannter Größen für die zu analysierende Entscheidung.

Weiterhin wurde der Gesamtverbrauch einer Transportkette in den Rechenvorschriften berücksichtigt. Dieser setzt sich aus den Einzelverbräuchen der Teile der Transportkette zusammen. Die Verbräuche der einzelnen Transportmittel werden auch in den Rechenvorschriften im Modell berücksichtigt.

$$C_{Transport} = C_{Transport\ LKW} + C_{Transport\ Bahn} + C_{Transport\ Flugzeug} + \dots$$

Hierbei ist der Verbrauch des LKW beispielsweise abhängig von dem geladenen Gewicht, der maximalen Nutzlast und der Distanz. Auch der Leerfahrtanteil kann im Modell berücksichtigt werden.

Im Bereich Intralogistik werden folgende Förderer berücksichtigt:

- Stetigförderer:
 - Bandförderer
 - Gliederbandförderer
 - Rutschen
- Unstetigförderer:
 - Hebezeuge
 - Hängebahnen
 - Krane
 - Flurfördermittel.

Die Emissionen strombetriebener Förderer werden über die Nutzungsdauer und den Stromverbrauch abgebildet. Diese verursacht 0,589 kg CO₂ je kWh ohne Ökostrom und 0,295 kg CO₂ je kWh mit Ökostrom [Kra11].

Werden Materialien oder Rohstoffe verbraucht, so sind diese mit ihrem Emissionsfaktor zu verrechnen. Dieser wurde für das Modell nach EN 16258 ermittelt. Die CO₂-Emissionen von Verpackungsmaterialien können anhand des zugeordneten Emissionsfaktors und der verbrauchten Menge berechnet werden. Dabei ist zu berücksichtigen ob recycelte Materialien genutzt werden.

Das Modell wurde um die einzelnen Rechenvorschriften ergänzt. Daraus wird das Gesamtberechnungsmodell abgeleitet.

3.3 Teilziel 3: Mathematisches Optimierungsmodell

Arbeitspaket 5: Entwicklung und Implementierung eines mathematischen Optimierungsmodells

Durchgeführte Arbeiten

- Prüfung der Möglichkeit einer Zielkostenfunktion
- Methodenentwicklung und Schaffung von Datengrundlage
- Abstimmung mit dem PA

Erzielte Ergebnisse

Die Umfragen zu den Anforderungen des Modells und des Softwaredemonstrators haben ergeben, dass die Erfassung des CO₂-Verbrauchs und die Hilfe bei der Entscheidungsfindung beim PA eindeutigen Vorrang gegenüber einer alleinigen Optimierung haben. Zusätzlich wurde die Transparenz und Vollständigkeit stärker gewichtet als die Quantifizierbarkeit. Es zeigt sich

zusätzlich, dass es für KMU häufig keine durchgängig optimale Strategie gibt, sondern Präferenzen anwendungsspezifisch gewichtet werden müssen. Eine Wahl der Gewichtungen im Demonstrator mit einhergehender Optimierung wäre umsetzbar, jedoch sind Optimierungsmöglichkeiten der Unternehmen bzw. Unternehmer stets subjektiv. Beispielsweise ist die Umsetzung einer kompletten Optimierung aus Kostengründen oder aufgrund innerbetrieblicher Präferenzen und der Firmenpolitik für KMU unter Umständen gar nicht realisierbar. Es bietet sich daher an, den Nutzer Strategien vergleichen zu lassen. Die gleichzeitige Darstellung der Kosten, Emissionen und Dauer der Transportoptionen ist hierbei unterstützend. Aufgrund dessen wurde die reine Optimierung im Sinne des Operations Research, in Absprache mit dem PA zugunsten einer übersichtlichen Visualisierung und detaillierten Erfassung zur Entscheidungsunterstützung verworfen. Dafür wurden detaillierte und Standortabhängige Werte für die CO₂-Berechnung im Demonstrator berücksichtigt. Die Visualisierung wurde mit dem PA abgestimmt und entsprechend umgesetzt.

Methodenentwicklung und Schaffung von Datengrundlage

Die Emissions- und Kraftstoffdaten von Nutzfahrzeugen wurden dem Programm HBEFA (<https://www.hbefa.net/d>) in der Version 3.3 entnommen [Umw17].

Zur Bereinigung des Standortfaktors der Wärmeerzeugung wurden die Klimafaktoren des Deutschen Wetterdienstes verwendet [Deu18]. Preise der Strom-, Gas-, Heizöl- und Kohleversorgung stammen aus dem aktuellen Energiepreisbericht des Statistischen Bundesamts [Sta18]. Aktuelle Diesel- und Benzinpreise werden beim Starten des Demonstrators aus dem Internet bezogen. Dadurch wird die Aktualität der Datengrundlage zur Erhebung der Fahrtkosten gewährleistet und Schwankungen des Ölpreises können sich nicht auf die Gültigkeit der Berechnungen im Softwaredemonstrator auswirken.

Transportkosten für Schiffscontainer und Flugfrachten sind sehr variabel, da sie nicht linear von der zurückgelegten Strecke abhängig sind und die Umschlagskosten der Häfen variieren. Deshalb wurden mit unterschiedlichen Frachtgrößen Angebote für die Verbindungen zwischen den 50 größten See- und Flughäfen bei den Anbietern *icontainers*, *transporteca* und *searates* eingeholt. Die Kosten wurden entfernungsabhängig miteinander verrechnet und so näherungsweise eine Kilometerpauschale für die Transportmittel erstellt. Die Distanzmatrix internationaler Seehäfen ist der „*CERDI-seadistance database*“ der Clermont Université entnommen (<https://zenodo.org/record/46822#.YEeU6Hkxn-i>). In Korrespondenz mit der „*Sustainable Transport Division - Transport Networks & Logistics Section, United Nations Economic Commission for Europe*“ wurde Zugriff auf eine Geodatenbank von Europas Flüssen erlangt (<https://apps.unece.org/AGN/1Default.aspx>). Aus dieser konnte mit AutoCAD eine Entfernungsmatrix für die Binnenschifffahrt erstellt werden. Die Entfernungen der Flughäfen sind mit der Großkreismethode des Anbieters *luftlinie.org* errechnet.

Im Modell werden zusätzlich Aspekte der Logistikimmobilie berücksichtigt.

- Stromerzeugung
- Wärmeerzeugung
- Flächennutzung
- Gebäudebau
- Kühlmittel

Flächen, die sonst der CO₂-Bindung zur Verfügung stünden, wird ein Emissionswert von 1 kg CO₂/m² pro Jahr zugeschrieben [Thu06]. Der Energieverbrauch für Wärmeerzeugung ist gemäß § 19 der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2013 um einen Standortfaktor zu bereinigen.

3.4 Teilziel 4: Softwaretechnische Umsetzung

Arbeitspaket 6: Umsetzung in einem vorwettbewerblichen Softwaredemonstrator

Durchgeführte Arbeiten

- Festlegen der Systemgrenzen
- Erstellen eines Ablaufdiagramms
- Ordnen der Datengrundlage aus AP 5
- Erweiterung der Datengrundlage
- Entwurf der Benutzeroberfläche
- Programmierung des Softwaredemonstrators in Excel
- Debugging
- Anwendungsleitfaden in Form eines Beispielszenarios

Erzielte Ergebnisse

Umsetzung der Anforderungen

Für den Softwaredemonstrator wurden zum einen in AP3 Rechenvorschriften erarbeitet und implementiert. Sie wurden einschlägigen Quellen entnommen und in Datenquellen in Excel Tabellen hinterlegt. Das Auslesen aus Tabellen ist deshalb eine wichtige Eigenschaft, die der Softwaredemonstrator erfüllen muss. Ein anderer Bereich, der zeitlich aufwändig war, ist die visuelle Darstellung und das Gestalten des User Interface.

Für jede Berechnung gibt es eine zugehörige Tabelle mit Daten, die für die Berechnung benötigt werden. Beim Schiffsverkehr beispielsweise spielen die Entfernungs- und Treibhausgasdaten eine Rolle, bei der Wärmeversorgung die Kennwerte der Brennstoffe und die Standortfaktoren. Die relevanten Werte sind direkt von der Eingabe des Nutzers abhängig. Die folgende Funktion (*Abbildung 11*) ermöglicht, auf Basis von drei eingegebenen Werten, die Zeile einer Tabelle auszulesen, in der alle drei Werte vorhanden sind und den Zeilenwert zu übergeben.

```
Public Function FindMatchPlane(X As String, Y As String, Z As String)
ThisWorkbook.Worksheets("Flughaeafen").Activate
Dim LastRow As Long
LastRow = Columns("A:C").Find("*", , xlValues, , xlRows, xlPrevious).Row
FindMatchPlane = Application.Min(Evaluate(Replace("IF(A1:A#&"/" & B1:B#&"/" & C1
:C#="" & X & "/" & Y & "/" & Z & "" ,ROW(A1:A#),""""), "#", LastRow)))
End Function
```

Abbildung 11: Funktion zur Durchsuchung beliebiger Tabellen nach mehreren Variablen

Die an die Funktion „FindMatchPlane“ übergebenen Werte sind in diesem Fall der Start- und Zielflughafen des Transports und der Flugzeugtyp. Bis zur letzten Zeile der Tabelle „Flughaeafen“ sucht die Funktion die erste Zeile, in der X, Y und Z gleichzeitig vorhanden sind. Dieser Wert wird in ein Objekt umgewandelt, der Funktion übergeben und ist an der Stelle des Programms verfügbar, an dem die Funktion aufgerufen wurde. Die Werte in der Zeile können anschließend

ausgelesen und weiterverwendet werden. Weitere Auszüge des Codes des Softwaredemonstrators sind im Anhang in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt.

Die Ergebnisse der eingegebenen Szenarien können direkt im Programm grafisch ausgewertet, oder als PDF exportiert werden. Zugunsten der Benutzerfreundlichkeit erfolgt die Darstellung des Demonstrators nicht in der Excel-Oberfläche, sondern in einer eigenen graphischen Fensteranwendung. Beim Öffnen des Programms gelangt man auf die Startseite des Demonstrators (*Abbildung 12*).

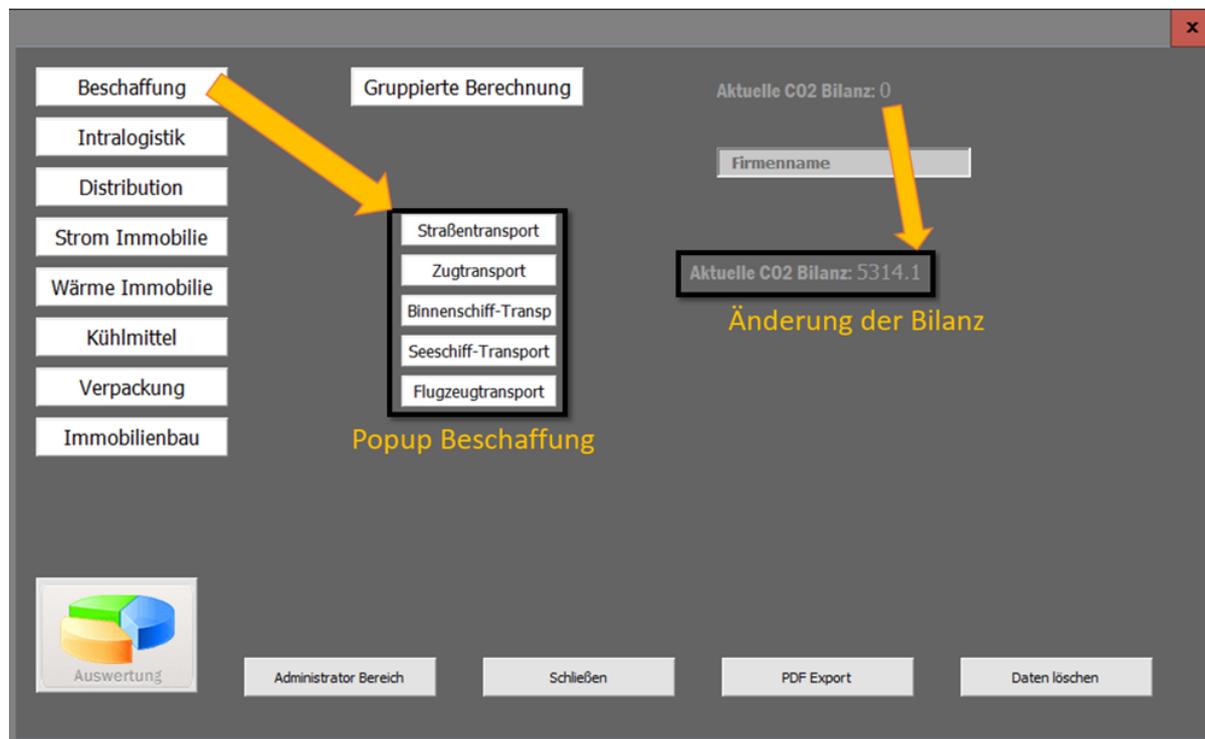


Abbildung 12: Startseite des Softwaredemonstrators

In dieser Fensteranwendung kann der Firmenname eingegeben werden, zwischen den Emissionserzeugern gewählt und in die Unterprogramme des Softwaretools gewechselt werden. Zusätzlich können kumulierte Berechnungen für kombinierte Transporte oder Immobilien durchgeführt werden (weitere Abbildungen Andere Ebene der Eingabemaske ist im Anhang in Abbildung 18 dargestellt). Die Werte der Ergebnisse werden als Bilanz dargestellt. Bisherige Berechnungen lassen sich auf der Startseite löschen. Über den Knopf „Administrator Bereich“ gelangt man nach Eingabe des Passworts zum Quellcode des Programms und zu den Excel-Tabellen. Die Auswertung der Daten erfolgt über eine, als PDF exportierbare, Tabelle oder graphisch auf der Auswertungsseite (*Abbildung 13*). Dort können beliebig viele Prozesse ausgewählt werden. Einzelne Auflistungen werden als Kreise angezeigt. Verglichen werden die Kosten und Emissionswerte auf der Ordinate und Abszisse. Die Dauer eines Transports wird durch die Fläche des Kreises visualisiert. Je größer der Kreis, desto länger dauert der Transport. Es können verschiedene Transportmittel derselben Lieferbeziehung verglichen werden, aber auch verschiedene Lieferbeziehungen verglichen werden, um beispielsweise unterschiedliche Bezugsorte hinsichtlich der CO₂-Emissionen zu vergleichen. Die exakten Werte können zusätzlich in einer Tabelle abgelesen und verglichen werden. Die grafische Darstellung gibt eine schnelle Übersicht. Ein detaillierter Vergleich der Werte ist über die tabellarische Auswertung möglich.

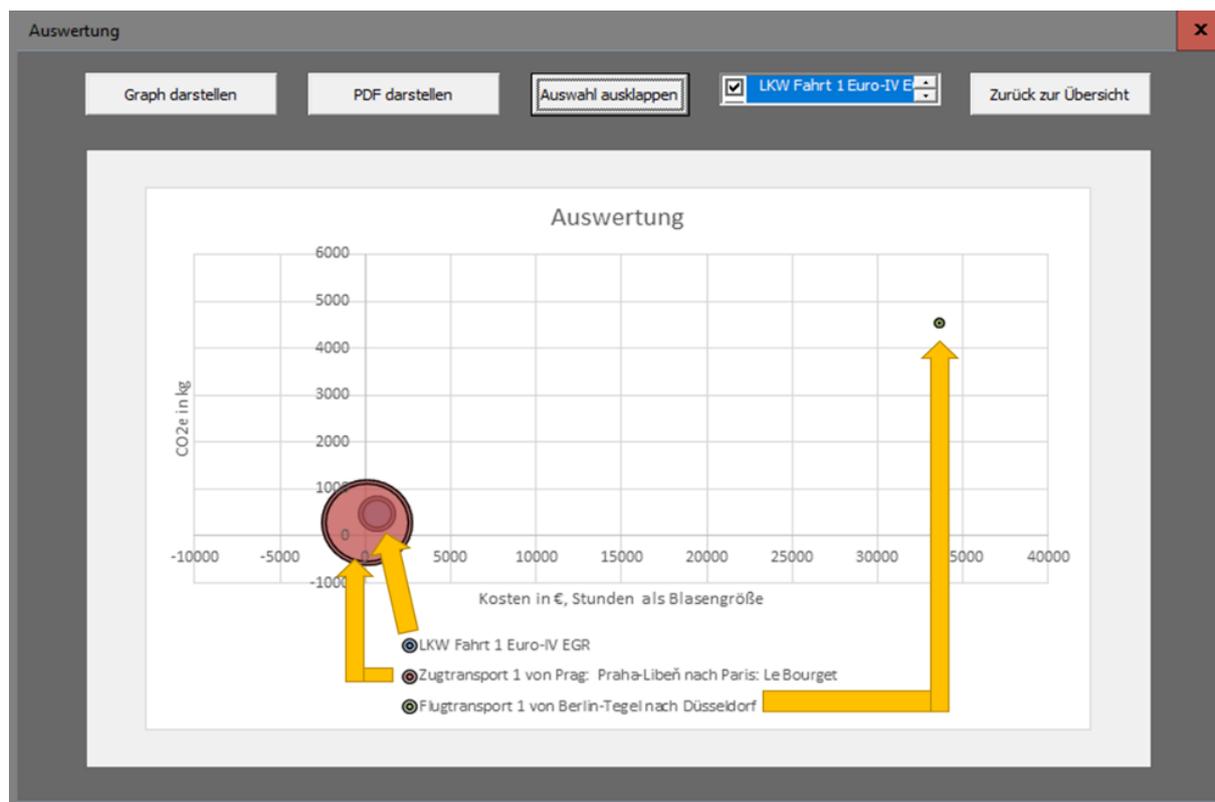


Abbildung 13: Graphische Auswertung der Ergebnisse

Arbeitspaket 7: Validierung der Ergebnisse durch Projektpartner und Wirtschaft

Durchgeführte Arbeiten

- Erstellung eines Beispielszenarios
- Erstellung eines Bewertungsbogens zur Verfügungstellung auf Projekthomepage
- Diskussion zu den Erfahrungen und Ergebnissen
- Debugging
- Anpassungen am Demonstrator

Erzielte Ergebnisse

Der Softwaredemonstrator wurde dem PA zur Verfügung gestellt. Die Validierung seitens des PA erfolgte durch Einpflegen von realen und fiktiven Prozessen. Beispielsweise wurde der Umgang mit dem Demonstrator über ein Beispielszenario (Abbildung 19 und Abbildung 20 im Anhang) vermittelt. Die Validierung seitens des PA lieferte weiteres Verbesserungspotential. Sie konnten ihre unternehmensspezifischen Vorgänge im Softwaredemonstrator einpflegen und berechnen lassen. Über Fragebögen, E-Mails und Gespräche wurde zu den Ergebnissen Feedback eingeholt. Der Feedbackbogen ist in Abbildung 21 im Anhang dargestellt. Kleinere Änderungen und Anmerkungen konnten direkt im Demonstrator umgesetzt werden. Bei der Befragung wurden von den Unternehmen die berechneten Ergebnisse und Werte als hilfreich bewertet. Defizite sahen einige Unternehmen in den Möglichkeiten den Softwaredemonstrator für eine Gesamtbilanzierung von Unternehmen zu nutzen. Dafür sind nach Ansicht des PA die Möglichkeiten der Dateneingabe zu umständlich. Ein wichtiger Aspekt, der von verschiedenen Unternehmen als wichtig erachtet wurde, war die Möglichkeit der Anbindung an ein ERP-System, sodass die Daten automatisiert aus dem ERP-System ausgelesen werden können. Die händische

Eingabe war im Rahmen des Forschungsprojekts und zur Erprobung ausreichend. Für eine Nutzung in der Industrie müsste eine automatisierte Dateneingabe ermöglicht werden.

Weiter zeigte sich, dass der Softwaredemonstrator nicht die gesamte Vielzahl verschiedener Verpackungsmöglichkeiten abbilden kann. Die CO₂-Bilanz von Plastikpaletten, Verpackungspapier, Folie und Dämmstoffen wurde nicht vollständig abgebildet. Die große Menge an unterschiedlichen Verpackungsmaterialien und die lückenhaften Informationen zu der jeweiligen CO₂-Bilanz machte eine Darstellung im Rahmen dieses Forschungsprojekts unmöglich. Für den Verpackungsmaterial „Pappe“ war die Datengrundlage vorhanden, der Demonstrator zeigt an diesem Beispiel, wie die CO₂-Bilanzierung der Verpackung erfolgen kann. Insgesamt wurde bestätigt, dass der Softwaredemonstrator die Transparenz bezüglich der CO₂-Emissionen deutlich erhöht und somit eine Grundlage für gezielte Verbesserungen legt.

Arbeitspaket 8: Dokumentation und Verbreitung der Projektergebnisse

Zu dem Projekt wurden Veröffentlichungen und Zwischenberichte, sowie ein Anwendungsleitfaden in Form eines Beispielszenarios erstellt. Der Softwaredemonstrator ist auf der Projekthomepage (oekologwi.iph-hannover.de) abrufbar.

4. Verwendung der Zuwendung

Wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)

- Wissenschaftlicher Mitarbeiter (TV-L13) mit besonderen Kenntnissen im Bereich Logistik für insgesamt 28 Personenmonate. Während der Projektlaufzeit wurde der wiss. Mitarbeiter durch studentische Hilfskräfte unterstützt.
- Wissenschaftliche Hilfskräfte als Unterstützung bei der Projektbearbeitung in Summe von 30 Monaten.

Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans)

- Keine Geräte

Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans)

- Keine Leistungen Dritter in Anspruch genommen

5. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die in den Haushaltsjahren 2017, 2018 und 2019 durchgeführten Arbeiten weichen leicht vom bewilligten Arbeitsplan ab und waren für die Erreichung der im Projekt angestrebten Ziele notwendig und angemessen.

Inhaltlich wurde das Projekt ausführlich bearbeitet und die umfangreichen Ergebnisse, wie bspw. ein Demonstrator zur CO₂-Berechnung, stehen den Projektpartnern sowie weiteren interessierten Unternehmen zur Verfügung.

6. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen

Im Rahmen des Projekts wurden ökologisch-logistische Wirkzusammenhänge identifiziert und übersichtlich dargestellt. Die Ergebnisse des Projekts wurden in einem Softwaredemonstrator umgesetzt. Sie stehen den beteiligten Projektpartnern und weiteren interessierten Firmen zur Verfügung.

Der Demonstrator ermöglicht es, verschiedene logistische Prozesse hinsichtlich der CO₂-Bilanz zu bewerten und zu vergleichen. Weiterhin werden zeitliche und wirtschaftliche Faktoren dargestellt, sodass auch diese in die Entscheidungsfindung einbezogen werden können. Für den Anwender erhöht der Softwaredemonstrator die Transparenz über die ökologischen Auswirkungen logistischer Prozesse.

Eine Rückmeldung seitens des PA war, dass die Anwendung von CO₂-Bilanzierungstools und somit des Softwaredemonstrators erst eingesetzt werden würde, wenn Verpflichtungen zur Erfassung der CO₂-Bilanz existieren. Dann kann der Demonstrator einen Beitrag leisten. Jedoch wären für die industrielle Nutzung weitere Entwicklungsschritte wie eine mögliche Anbindung an ERP-Systeme oder ein automatisiertes Einlesen von Daten notwendig.

7. Umsetzung der Forschungsergebnisse und Transfermaßnahmen

Tabelle 2: Veröffentlichungen

Medium	Inhalt	Zeitpunkt
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb	Entwicklung ökologisch-logistischen Wirkmodells	05/2018
Logistics Journal	der Ökologie und Logistikleistung von KMU	11/2018
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen	Ökologische Betrachtung logistischer Prozesse von KMU	06/2019
Pressemitteilungen	Mitteilungen über wichtige Projektfortschritte sowie Einladungen zu Projekttreffen	Während der gesamten Projektlaufzeit

Tabelle 3: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Zeitraum
Projektbegleitender Ausschuss	Fortlaufende Beratung über die geplanten und erzielten Projektergebnisse	Vorstellung des Projekts, der geplanten Ergebnisse und Diskussion der geplanten Arbeiten	1. Projekttreffen (03/2018)
		Vorstellung Ergebnisse	2. Projekttreffen (08/2018)
		Vorstellung Ergebnisse	3. Projekttreffen (05/2019)
		Abschlusspräsentation	4. Projekttreffen (06/2019)
Versorgung der interessierten Fachöffentlichkeit mit Informationen, insbesondere KMU	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	Informationen auf der Internetseite des Instituts	Während der gesamten Projektlaufzeit
		Veröffentlichung der Zwischenberichte auf der GVB-Homepage (www.gvb-ev.de) und auf dem GVB-Blog (www.logistik.expert)	Während der gesamten Projektlaufzeit
		Einrichtung einer Projekthomepage und permanente Aktualisierung	Nach Projektstart und während der gesamten Projektlaufzeit
		Pressemitteilung	Während der gesamten Projektlaufzeit
Weiterbildung	Akademische Ausbildung	Betreuung projektbezogener Diplom-, Studien-, Bachelor- und Masterarbeiten	Während der gesamten Projektlaufzeit

8. Einschätzung der Realisierbarkeit des Transferkonzepts

Nach Aussagen der Mitglieder des PA bieten die Projektergebnisse eine Grundlage, um die ökologischen Auswirkungen logistischer Prozesse abzuschätzen. Für die industrielle Umsetzung müssten die Eingaben automatisiert erfolgen oder die Daten aus einem ERP-System abrufbar sein können. Die aufwändige händische Eingabe hindert die Unternehmen an der industriellen Nutzung. Weiterhin sind die Entscheidungen in der Industrie meist von wirtschaftlichen Überlegungen geprägt. Die Ökologie bekäme ein größeres Gewicht, wenn diese auch direkte wirtschaftliche Auswirkungen nach sich zöge.

9. Durchführende Forschungsstelle

Das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung, die eng mit der Leibniz Universität Hannover kooperiert. Die Gesellschafter des IPH, Prof. Behrens, Prof. Overmeyer und Prof. Nyhuis, sind gleichermaßen Inhaber produktionstechnischer Lehrstühle an der Universität Hannover. Die Gliederung des IPH in die drei Abteilungen „Prozesstechnik“, „Produktionsautomatisierung“ und „Logistik“ spiegelt die Ausrichtung dieser Lehrstühle wider.

Das IPH ist hauptsächlich in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung aktiv und wurde 1988 mit Unterstützung des niedersächsischen Wirtschaftsministeriums gegründet. Das

IPH ist besonders der technologischen Förderung mittelständischer Industriebetriebe verpflichtet. Der Technologietransfer aus der Forschung in die Industrie erfolgt dabei hauptsächlich über gemeinsam mit der Industrie durchgeführte, öffentlich geförderte Verbundforschungsprojekte sowie über Fortbildungsseminare und Arbeitskreise für spezielle Zielgruppen aus Industrie und Handel. Darüber hinaus stellt das IPH laufend in einer Vielzahl ausschließlich industriefinanzierter Beratungsprojekte seine Praxisorientierung und Wettbewerbsfähigkeit unter Beweis.

Leiter der Forschungsstelle

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens
Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Geschäftsführende Gesellschafter des IPH

Dr.-Ing. Malte Stonis

Koordinierender Geschäftsführer des IPH

Projektleiter

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Johannes Richter
Dipl.-Ing. Mareile Kriwall

Wissenschaftliche Mitarbeiter der Abteilung Prozesstechnik des IPH

Anschrift

IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH
Hollerithallee 6
30419 Hannover
Telefon: +49 511 27976-0
Telefax: +49 511 27976-888
E-Mail: info@iph-hannover.de
Internet: www.iph-hannover.de

10. Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 19186 N / 1 der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e. V. (BVL) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Für die Förderung sei an dieser Stelle gedankt.

11. Literatur

- [Arn08] Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.: Handbuch Logistik. 3. Aufl. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2008. – ISBN 978-3-540-72929-7
- [BME09] Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V. (BME): BME-Umfrage: Green-Logistics – hohe Bedeutung auch in Krisenzeiten. 2009. Online verfügbar:

- <https://www.competence-site.de/bme-umfrage-green-logistics-hohe-bedeutung-auch-in-krisezeiten/> am 24.09.2018
- [Bun07] Bundesanstalt für Gewässerkunde: Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße. Auftraggeber Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes vertreten durch die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost, Schlussbericht, vorgelegt von PLANCO Consulting GmbH, Essen in Zusammenarbeit mit Bundesanstalt für Gewässerkunde November 2007 https://www.bafg.de/DE/08_Ref/U1/02_Projekte/05_Verkehrstraeger/verkehrstraeger_lang.pdf?__blob=publicationFile
- [Deu18] Deutscher Wetterdienst. Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsabweise. <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html>, 10.09.2018
- [Hed11] Hedegaard, C.: Transport emissions and infrastructure. Redeprotokoll. European Parliament Transport Committee meeting Brussels, 10 November 2011. Online verfügbar: http://europa.eu/rapid/press-release_SPEECH-11-746_en.htm?locale=en am 24.09.2018
- [Hie11] Hiemer, K.: Green Logistics: Top-Thema auf allen Ebenen. In: Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie. Verlag Moderne Industrie GmbH 2011
- [Kra11] Kranke, Andre und Schmied, Martin und Schön, Andrea Dorothea. CO₂ Berechnung in der Logistik. Datenquellen, Formeln, Standards. Vogel, 1 edition, 2011.
- [Loh10] Lohre, D.; Herschlein, S.: Grüne Logistik- Studie zu Begriffsverständnis, Bedeutung und Verbreitung „Grüner Logistik“ in der Speditions- und Logistikbranche. Studie, Bonn 2010.
- [Nag11] Nagel, A.: Logistik im Kontext der Nachhaltigkeit.: Ökologische Nachhaltigkeit als Zielgröße bei der Gestaltung logistischer Netzwerke. Dissertation TU Berlin. 2011. – ISBN-13: 978-3798323834
- [Nyh12] Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien - Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen, 3. Auflage, Springer Vieweg, Heidelberg 2012. ISBN 978-3-540-92838-6
- [Sei07] Seidel, T.; Wolff, S.: Ökologie & Logistik – umweltgerechte Lösungen. Auf dem Weg zu Green Logistics – Messbarkeit ist der Schlüssel. In: 24. Deutscher Logistik Kongress Berlin – Kongressband 2007, Hamburg, – ISBN-13: 978-3798328167
- [Sta18] Statistisches Bundesamt. Preise - Daten zur Energiepreisentwicklung. Technical report, 27.07.2018
- [Thu06] Thuille, A. und Schulze, D.-E. Carbon dynamics in successional and afforested spruce stands in Thuringia and the Alps. Global Change Biology, 12, 2006.
- [Umw17] Umweltbundesamt: Hintergrundinformationen zum Handbuch für Emissionsfaktoren für Straßenverkehr (HBEFA): https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/faqs_hbefa.pdf 10.09.2018

Anhang



Im Rahmen eines Forschungsprojektes der Industriellen Gemeinschaftsforschung erstellen wir am IPH ein ökologisch-logistisches Wirkmodell zur ganzheitlichen Betrachtung der Logistikleistung. Dadurch sollen die **CO2-Emissionen in der Logistik** transparent erfasst werden können. Anschließend werden wir Methoden zur **ganzheitlichen ökologisch-logistische Optimierung** entwickeln, die Ihr Unternehmen zur nachhaltigen Wettbewerbssicherung befähigen kann. Hierfür benötigen wir zunächst einige Daten und Ihre Einschätzungen, damit das Wirkmodell schlussendlich möglichst präzise verschiedene Szenarien abbilden und berechnen kann. Gerne stellen wir Ihnen unsere Forschungsergebnisse nach der Auswertung aller Daten zur Verfügung.

Liegt der Jahresumsatz Ihres Unternehmens unter 125 Millionen Euro?

Ja Nein

Ist Ihr Unternehmen Teil eines Konzerns?

Ja Nein

Allgemeine Daten

Branche Ihres Unternehmens: _____

Art der Produkte, die Ihr Unternehmen herstellt: _____

Anzahl an verschiedenen Produkten/Teilenummern: < 150, 150-500, > 500

(Geschätzte) Fertigungstiefe in ihrem Unternehmen in %: _____

Logistik

Wie hoch ist die Anzahl Ihrer Lieferanten? < 10, 10 - 30, 30 - 100, 100 - 300, > 300.

Wie hoch ist die Anzahl der beteiligten Mitarbeiter in der Logistik im Vergleich zur Gesamtbelegschaft? *Bitte wählen Sie aus.*

Wie hoch ist Ihre geschätzte Lagerauslastung? *Bitte wählen Sie aus.*



Logistikfaktoren

Im Folgenden präsentieren wir Ihnen relevante Logistikfaktoren. Bitte bewerten Sie diese hinsichtlich ihrer CO2 Emissionen und der ökologischen Kenngröße, die Sie in der vorherigen Frage am höchsten gewertet haben. Sollte CO2 am höchsten von Ihnen bewertet worden sein, nehmen Sie bitte die zweitwichtigste Kenngröße. Fallen immer noch mehrere Kenngrößen in die Auswahl, entscheiden Sie sich bitte für die, die Ihnen am wichtigsten erscheint [ausgenommen CO2]. Wenn Sie sich unsicher sind, schätzen Sie den Auswirkungsgrad bitte.

Keine Auswirkung = 0, gravierende Auswirkung = 10. Bewerten Sie bitte einzeln. Die selbstgewählte Kenngröße ergibt sich, wie oben beschrieben, aus der vorangegangenen Frage und Ihrer Antwort.

- längere Transportstrecke* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- Transportmittel: Luftverkehr* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- Transportmittel: Straße, LKW* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- Transportmittel: Schiff, Bahn* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- niedrige Kapazität/Auslastung* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- niedrige Losgröße (Disposition)* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- niedrige Losgröße (Beschaffung)* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- niedrige Häufigkeit Bestellungen* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- Servicegrad* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- hoher Verkehrsfaktor* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- schlechter Verkehrswegfaktor* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- hohe Umweltwirkung* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*
- niedrige Humanattribute* *CO2 Emissionen* *Selbstgewählte Kenngröße*

Wie schätzen Sie Ihre Expertise zu der Bewertung ein?

Nicht vorhanden=0, Experte=10 *Einschätzung bitte auswählen*

Wie transportieren Sie Ihre Produkte zu welchem Anteil?

- Straßenverkehr *Wählen Sie ein Element aus.*
- Schienenverkehr *Wählen Sie ein Element aus.*
- Wasserverkehr *Wählen Sie ein Element aus.*
- Luftverkehr *Wählen Sie ein Element aus.*
- Sonstige *Wählen Sie ein Element aus.*

Welche Transportmittel kommen für die internen Transporte zum Einsatz?

- Deckenkran *Wählen Sie ein Element aus.*
- Handwagen *Wählen Sie ein Element aus.*
- Gabelhubwagen oder -stapler *Wählen Sie ein Element aus.*
- FTS oder ~~Milkrum~~-Schlepper *Wählen Sie ein Element aus.*
- Stationäre Förderer *Wählen Sie ein Element aus.*
- Sonstige *Wählen Sie ein Element aus.*

Wo sehen Sie das größte Optimierungspotential für Ihre Logistik?

Wie hoch schätzen Sie die Wichtigkeit der Logistik für Ihr Unternehmen ein?

[0=belanglos, 10=unverzichtbar]

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>										

Ökologische Kenngrößen

Welche Ökologischen Kenngrößen sind für Sie und Ihr Unternehmen von Relevanz? Bitte priorisieren Sie (0=belanglos, 10=höchste Relevanz).

CO2-Emissionen	
Andere Treibhausgas-Emissionen (ohne CO2)	
Lärm	
Verschmutzung	
Inanspruchnahme von Raum	
Luftverschmutzung durch Feinpartikel	
Sonstiges:	

Bitte beachten Sie auch die nächste Seite.

Ökologie

Wie hoch würden Sie Ihr Interesse für die Thematik ökologischer Nachhaltigkeit in der Logistik beschreiben? (0 = nicht vorhanden, 10 = sehr hoch) *Bitte hier auswählen.*

Wie würden Sie Ihr Wissen über die Thematik ökologischer Nachhaltigkeit in der Logistik generell einschätzen? (0 = nicht vorhanden, 10 = sehr hoch) *Bitte hier auswählen.*

Wie wichtig ist ökologische Nachhaltigkeit für ihr Unternehmen? *Bitte hier auswählen.*

Würden sie Ihre Logistik als ökologisch optimal bezeichnen? *Bitte hier auswählen.*

Würden Sie Ihre Logistik hinsichtlich ökologischer Aspekte optimieren? (Ja + Entscheidungsfunktion, Ja + keine Entscheidungsfunktion, Nein) *Bitte hier auswählen.*

Welche Anreize müssen für eine ökologischere Gestaltung der Prozesse gegeben sein? Mehrfachantworten sind möglich.

- Keine externen Anreize notwendig
- Steueranreize
- Strafe bei Nichteinhaltung
- Subventionen für Implementierung ökologisch-logistischer Maßnahmen
- Label/Zertifikat
- realer Wettbewerbsvorteil
- attraktiverer Arbeitgeber sein

Wir danken Ihnen sehr herzlich für das Ausfüllen unserer Umfrage. Sie tragen durch Ihre Einblicke und Bewertungen zu der Verbesserung unseres Projekts bei. Bitte senden Sie uns das ausgefüllte Dokument an die E-Mailadresse richter@iph-hannover.de zurück, oder gehen Sie einfach auf die Option „Antworten“ in Ihrem E-Mailpostfach.

Wir bieten Ihnen außerdem an, mit uns zusammenzuarbeiten und Ihre individuellen Kennzahlen durch unser Modell erfassen zu lassen, um Ihnen eine Optimierungsstrategie zu unterbreiten. Wenn Sie Interesse an der Verfolgung unseres Projekts, oder der individuellen ökologischen Optimierung Ihres Unternehmens haben, kreuzen Sie bitte eines der Felder an.

- Ich möchte kostenlos eine ökologische Optimierungsstrategie für die Logistik des Unternehmens vorgeschlagen bekommen.
- Ich möchte über wichtige Meilensteine des Projekts im Fortlauf informiert werden.
- Ich möchte zunächst weiterführende, vertiefende Informationen zum Projekt erhalten.

Abbildung 14: Expertenfragebogen zur Erfassung allgemeiner Kennzahlen sowie logistischer Parameter und ökologischer Kenngrößen

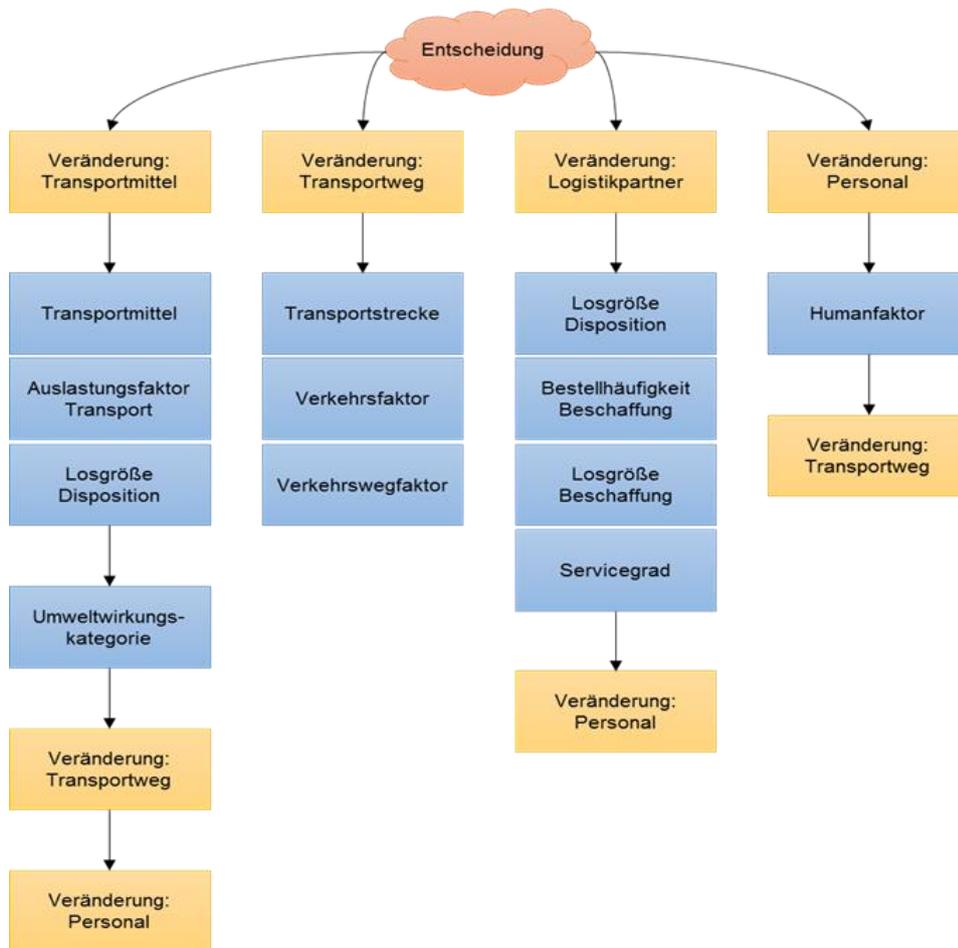


Abbildung 15: Entscheidungsbaum zur Darstellung der Wirkfunktion des erarbeiteten Modells in den verschiedenen Szenarien in Bezugnahme auf eine konkrete Veränderung in den Logistikprozessen

```

Public Function GetDistance(Start As String, dest As String)
Dim ApiKey As String 'Google ApiKey
Dim objHTTP As Object, regex As Object, matches As Object 'Deklaration von Objekten
Dim firstVal As String, secondVal As String, lastVal As String, URL As String, tmpVal As String 'Deklaration von Anfragen
    
```

Abbildung 16: Deklaration der Funktion und benötigter Variablen zur API-Nutzung

```

ApiKey = "AIzaSyCu3r9BiWKjriMHZDDBmo0VnnPJ1R0-VJM"
firstVal = "https://maps.googleapis.com/maps/api/distancematrix/json?origins=" 'Anfrage auf Distanz bei GoogleApi
secondVal = "&destinations=" 'Entfernung
lastVal = "&mode=car&language=de" 'Mit dem Auto und Sprache auf Deutsch

Set objHTTP = CreateObject("MSXML2.ServerXMLHTTP") 'HTTP Anfrage

URL = firstVal & Replace(Start, " ", "+") & secondVal & Replace(dest, " ", "+") & lastVal & "&key=" & ApiKey 'Verbinden der Anfrageelemente
    
```

Abbildung 17: Generierung der Distanzanfrage als URL-Zeichenkette und Einstellung der Fahrtparameter für den Straßenverkehr

NFZ Transport

Berechnung der CO₂ Bilanz

 Institut für Integrierte Produktion Hannover
 Mitglied der  ZUSE-GEMEINSCHAFT

Empfohlen wird die Streckenlänge anhand der Adressen bzw. Koordinaten berechnen zu lassen. So kann auch die Topographie untersucht werden.

Wählen Sie die Fahrzeugklasse
 Fahrzeugklassen
 SoloLkw 7,5t
 Lastzug/Sattelzug 7,5t
SoloLkw 7,5-12
 SoloLkw 12-14t
 SoloLkw 14-20t
 Lastzug/Sattelzug 14-20t
 SoloLkw 20-26t

Verbrauch bekannt?
 ja
nein

Schadstoffklasse
 Schadstoffklasse
 80er Jahre
 Euro-I
 Euro-II
 Euro-III
Euro-IV EGR
 Euro-IV SCR
 Euro-V EGR
 Euro-V SCR
 Euro-VI

Streckenlänge bekannt?
 ja
nein

Startpunkt

 Hamburg

Zielpunkt
 Wien

Entfernung (Straße) Berechnen
 970,301

Auslastung
 80

Anteil Autobahn
 80

Anteil Außerorts
 18

Anteil innerorts
 2

Auslastung unbekannt
 Streckenprofil unbekannt

Überwiegende Topographie?
 flach
 hügelig
bergig
 unbekannt

Anteil Leerfahrten
 5

Angabe in Tonnen
 Angabe in Prozent
 Angabe in Kilometer
Angabe in Prozent

CO₂e Berechnung

Zurück zur Übersicht

Abbildung 18: Beispiel der Dateneingabe Anhand des Straßentransports mit Berechnung der Entfernung durch Städteingabe

SOFTWAREDEMONSTRATOR

BEISPIELSZENARIEN

Bremen Shanghai, Flugtransport

Führen Sie eine Einzelberechnung in Form einer Beschaffung durch. Wählen Sie ein beliebiges Flugzeug und ein repräsentatives Transportgewicht. Als Strecke wird die Verbindung *Bremen – Shanghai* festgelegt. (Beschaffung -> Flugtransport -> Internationaler Flug)

Bremen Shanghai, Seetransport

Führen Sie eine Einzelberechnung in Form einer Beschaffung durch. Wählen Sie ein beliebiges Seeschiff und dasselbe Transportgewicht. Als Strecke wird die Verbindung *Bremen – Shanghai* gewählt. (Beschaffung -> Seeschiff-Transport)

GRUPPIERTE BERECHNUNG

LKW und Flugzeug

Führen Sie eine gruppierte Berechnung durch. Wählen Sie als erstes Transportmittel einen Straßentransport mit Sattelzug und als Strecke *Passau – Frankfurt Flughafen*. Als zweiten Abschnitt wählen Sie einen Flugtransport von *Frankfurt* nach *Shanghai*. Lassen Sie den Verbrauch berechnen. Das Transportgewicht bleibt gleich. (Gruppierte Berechnung -> Straßenverkehr -> Gruppierte Berechnung -> Flugfracht -> Verbrauch)

Binnenschiff und Seetransport

Führen Sie eine gruppierte Berechnung durch. Wählen Sie als Transportmittel ein Binnenschiff. Als Strecke *Passau – Hamburg*. Das Transportgewicht bleibt gleich. Als zweiten Abschnitt wählen Sie einen Seetransport von *Hamburg* nach *Shanghai*. Lassen Sie den Verbrauch berechnen. (Gruppierte Berechnung -> Binnenschifffahrt -> Gruppierte Berechnung -> Seeschifffahrt -> Verbrauch)

PROBIEREN SIE EIGENE VARIANTEN NACH WAHL!

WEITER AUF SEITE 2

TOUR 1



TOUR 2



VARIANTE I



VARIANTE II



SEITE 1

SOFTWAREDEMONSTRATOR

AUSWERTUNG BEISPIELSZENARIEN

Die durchgeführten Szenarien können nun ausgewertet werden. Gehen Sie hierfür von der Startseite aus über den Button „Auswertung“ auf die Analyseseite.

Mittels des Knopfes „Auswahl ausklappen“ können Sie sich die durchgeführten Fahrten und Positionen auflisten lassen. Wählen Sie die zu analysierenden aus (im vorliegenden Beispiel die auf Seite 1 durchgeführten 4 Fahrten). Klicken Sie auf „Auswahl zuklappen“ und auf „Graph darstellen“. Nun können Sie die Positionen miteinander vergleichen. Auf der X-Achse werden die Kosten und auf der Y-Achse die CO₂e-Werte dargestellt. Die Dauer einer Position wird durch die Größe der Blasen abgebildet.

WEITERE BERECHNUNGEN

Über die Startseite sind weitere Analysen möglich. Sie können verschiedene Verpackungsarten miteinander vergleichen und über denselben Weg auswerten lassen wie vorher. Verschiedene Strom- Wärme- und Kühlmittelkombinationen können verglichen werden. Der Punkt Immobilienbau ist leider noch nicht verfügbar.



AUSWERTUNG



STROM

HEIZWERTE

SEITE 2

Abbildung 20: Beispielszenario Seite 2

Feedback zum Softwaredemonstrator

Das IGF-Vorhaben 19186 N/1 der Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. (GVBL) wird über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Vorname:

Firma:

Nachname:

Email:

<p>Bitte bewerten Sie die Nutzerfreundlichkeit</p> <p>unbefriedigend <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> hervorragend</p> <p>Sind die berechneten Werte und Kennzahlen für Sie von Nutzen</p> <p>gar nicht <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> sehr</p> <p>Wie bewerten Sie die Genauigkeit der Ergebnisse im Vergleich zu anderen Tools</p> <p>schlechter <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> besser</p> <p>Bewerten Sie die graphische Darstellung der Ergebnisse</p> <p>ungenügend <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> sehr hilfreich</p> <p>Bewerten Sie die optische Darstellung des Demonstrators im allgemeinen</p> <p>ungenügend <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ansprechend</p> <p>Würden Sie den Demonstrator zur Entscheidungsfindung nutzen?</p> <p>sicher nicht <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> unbedingt</p>	<p>Würden Sie den Demonstrator zur Unternehmens-Bilanzierung nutzen?</p> <p>sicher nicht <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> unbedingt</p> <p>In welchem Bereich / welcher Abteilung Ihrer Firma würden Sie den Demonstrator einsetzen.</p> <input type="text"/> <p>Für welche Zwecke würden Sie den Demonstrator einsetzen? Bspw. zur Entscheidungsfindung oder Bilanzierung.</p> <input type="text"/> <p>Was würden Sie uns noch gerne mitteilen? Was würden Sie im Demonstrator ergänzen? Allgemeine Kommentare</p> <input type="text"/>
--	---

Das IPH dankt für Ihre Zeit!

Abbildung 21: Feedbackbogen für die Evaluation