

Nachhaltigkeitmassiv

AP04

Transportrucksäcke von Bauprodukten



Impressum

Autoren: Passer, A.; Kreiner, H.; Maydl, P.

Mitarbeit: Schulter, D.; Pfeiffer, T.

Technische Universität Graz - Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie

Inffeldgasse 24, 8010 Graz Tel: +43 (316) 873-7151 Email.: office@tvfa.tugraz.at

Web: www.tvfa.tugraz.at

September 2009

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Alle Angaben erfolgen nach dem neuesten Stand der Erkenntnisse sowie nach bestem Wissen und Gewissen, jedoch ohne Gewähr. Jegliche Haftung ist ausgeschlossen.

Soweit in diesem Forschungsprojekt personenbezogene Ausdrücke verwendet werden, umfassen sie Frauen und Männer gleichermaßen.

AP 04

Transportrucksäcke von Bauprodukten

Auftraggeber:

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „ENERGIE DER ZUKUNFT“ durchgeführt. Zusätzlich wird das Projekt aus Mitteln des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie der Wirtschaftskammer Österreich unterstützt.

Autoren:

Autoren: Passer, A.; Kreiner, H.; Maydl, P.

Technische Universität Graz - Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie

Graz, September 2009

Kurzfassung

Mit dem vom Programm „Energie der Zukunft“ geförderten Projekt „Nachhaltigkeit - massiv“ hat sich der Fachverband der Stein- und keramischen Industrie Österreichs entschlossen, die Produkte seiner Mitgliedsbetriebe im Kontext nachhaltigen Bauens auf wissenschaftlich fundierter Grundlage neu zu positionieren, Stärken und Schwächen zu erkennen und die Voraussetzung für die Entwicklung zukunftsfähiger Bauprodukte zu schaffen. 15 Einzelprojekte bearbeiten aktuelle Fragestellungen, wobei alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit eingeschlossen sind. Das gegenständliche Einzelprojekt umfasst die Ermittlung von „Transportrucksäcken von Bauprodukten“.

Ökologische Bewertungen von Bauprodukten beschränkten sich bisher meist auf die Abbildung der Umweltwirkungen durch die Produktion einschließlich der Vorprozessketten und der dazu erforderlichen Transportwege („Cradle to gate“-Bewertungen). Mit den von der künftigen europäischen Normung geforderten lebenszyklusweiten Bewertungen sind die räumlichen und zeitlichen Bilanzgrenzen ökologischer Bewertungen erheblich zu erweitern. Daraus resultieren zahlreiche Wissens- bzw. Datenlücken. Insbesondere die Transportaufwendungen zwischen Werkstor und Baustelle sind bislang nicht systematisch untersucht worden.

Ziel dieses Projekts ist daher die Erstellung eines theoretischen Transportmodells für Bauprodukte, das sowohl die unterschiedlichen Spezifika einzelner Bauprodukte als auch die Eigenschaften des Transportmittel (z.B. LKW-Euro Klassen) sowie produktspezifische charakteristische Transportentfernungen berücksichtigt. Mit dem Projekt sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, die für einzelne Bauprodukte typische Transportwege und deren Umweltwirkungen quantitativ zu erfassen und in künftige Gebäudebewertungen einfließen zu lassen.

Im Projekt werden eingehend jene Faktoren aufgezeigt, die einen Transportprozess beeinflussen, um daraus in weiterer Folge mögliche Eingangparameter für ein Transportmodell ableiten zu können. Dabei wird zwischen allgemeinen Einflussfaktoren und projektrelevanten Einflussfaktoren unterschieden. Aufgrund der multifaktoriellen Einflüsse auf einen Transportprozess wurde eine Abgrenzung zu projektrelevanten Einflussfaktoren vorgenommen. Dabei werden ausschließlich Faktoren berücksichtigt, die nach ökologischen Gesichtspunkten relevant sind, d. h. Umweltwirkungen hervorrufen. Weiters werden die Begriffe „Massengut“ und „Volumsgut“ definiert, um aufzuzeigen, dass ein Transportmittel entweder aufgrund des maximalen Beladegewichtes oder aufgrund des maximalen Beladevolumens ausgelastet sein kann.

Der nächste Arbeitsschritt umfasst die Analyse bestehender Datenbanken in Hinblick auf deren Erfassungsmodus von Transportprozessen. Dazu wird eingangs ein Überblick sowie eine Kurzbeschreibung zu den gängigen Datenbanken gegeben, deren generellen Unterschiede sowie deren Grad und Tiefe der Berücksichtigung von Transportprozessen aufgezeigt.

Für die Festlegung der Systemgrenze wurde zunächst eine Dominanzanalyse zur Abschätzung anteiliger Umweltwirkungen in Anwendung an einem 40 t LKW durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass neben den Umweltwirkungen aus dem Betrieb des LKW, die durch Infrastruktur und Transportmittel hervorgerufenen Umweltwirkungen nicht vernachlässigt werden dürfen. Für die Auswahl einer geeigneten Datenbank werden als Auswahlkriterien „Vollständigkeit“, „Dokumentation“, „Ausgabe von Indikatorergebnissen“ und „Zugänglichkeit“ festgelegt. Die Prüfung der einzelnen Datenbanken ergab, dass die Ecoinvent-Datenbank des Schweizer Zentrum für Ökoinventare als einzige Datenbank eine detaillierte, nachvollziehbare Dokumentation der Indikatorergebnisse liefert und alle sonstigen gestellten Anforderungen erfüllt. Die weiteren Berechnungen sollen daher auf Basis der Datenbank Ecoinvent geführt werden. Die ausgewählte Datenbank soll alle projektrelevanten Einflussfaktoren mit einer ausreichenden Genauigkeit abdecken. Dazu wurden Art und Tiefe der Berücksichtigung der projektrelevanten Einflussfaktoren in der Datenbank Ecoinvent aufgezeigt.

Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen werden die zuvor ermittelten projektrelevanten Einflussfaktoren detailliert untersucht, um aufzuzeigen, welche dieser Einflussfaktoren mit Durchschnittswerten und welche detailliert in einer weiterführenden Berechnung zu berücksichtigen sind.

Zur Berücksichtigung der o.g. Einflussfaktoren und damit zur treffsicheren Berücksichtigung der Umweltwirkungen von Transportprozessen wurde ein neues Transportmodell entwickelt. Eine strukturelle Berechnungsübersicht gibt einen Überblick über einzelne Phasen des Rechenvorgangs, Anforderungen an den Berechnungsalgorithmus, und Systemgrenzen. Abschließender Bearbeitungsschritt des AS 1 ist die Evaluierung des neuen Transportmodells.

Am Beginn des Arbeitsschritt 2 wird für die Ermittlung der Eingangsdaten in das neue Transportmodell ein entsprechender Muster-Fragebogen erarbeitet. Der Fragebogen ist so gestaltet, dass die notwendigen Daten einerseits vom Bauprodukterzeuger erhoben werden können und andererseits mit den Eingabeparametern des Berechnungsalgorithmus kompatibel sind. Da die zu erhebenden Transportprozesseigenschaften von den einzelnen Bauprodukten abhängen, ist es notwendig, bauprodukt-spezifische Fragebögen zu erstellen, welche vom Muster-Fragebogen abgeleitet werden.

Anschließend erfolgt die Auswahl der Bauprodukte und Firmen, für die transportbedingte Umweltwirkungen bestimmt werden sollen. Dabei werden sowohl Bauprodukte, die zu den Massengütern gehören, als auch Bauprodukte, die zu den Volumsgütern zählen, ausgewählt. Dadurch kann der Anteil der Umweltwirkungen in Abhängigkeit von der Art des beförderten Gutes aufgezeigt werden. Weiters wird in diesem Abschnitt für jedes Bauprodukt ein Bauprodukthersteller ausgewählt, von dem die Daten für die weiterführenden Berechnungen herangezogen werden. Dabei wird darauf geachtet, dass ein herstellerspezifischer Durchschnittswert für österreichische Verhältnisse ermittelt werden kann. Auf Basis dieser Datenerhebung erfolgt die

Ermittlung der transportbedingten Umweltwirkungen für ausgewählte Bauprodukte. Dabei wird die Charakteristik der Datenerhebung näher erläutert und anschließend die Auswertung des Fragebogens grafisch dargestellt. Im Anschluss wird für jedes ausgewählte Bauprodukt ein Minimal-, Mittel- und Maximalwert der transportbedingten Umweltwirkungen berechnet. Abschließend erfolgt die Gegenüberstellung der transportbedingten Umweltwirkungen der jeweiligen Bauprodukte.

Im Arbeitsschritt 3 wird der Anteil transportbedingter Umweltwirkungen an den herstellungsbedingten Umweltwirkungen vom Werkstor zur Baustelle auf Bauprodukt- und Gebäudeebene ermittelt. Auf Bauproduktebene erfolgt dabei eine Darstellung des Anteils der transportbedingten Umweltwirkungen der Bauprodukte Transportbeton, Ziegel, Baustahlgitter und Dämmstoff an den herstellungsbedingten Umweltwirkungen der Bauprodukte (Systemgrenze - Werkstor). Die Umweltwirkungen die bei der Herstellung der Bauprodukte entstehen, werden dabei der Ecoinvent-Datenbank entnommen. Als Referenzgebäude zur Bestimmung der transportbedingten bauproduktsspezifischen Umweltwirkungen auf Gebäudeebene wird die Passivhaus-Wohnhausanlage Utendorfgasse herangezogen. Für den Vergleich zwischen herstellungsbedingten und transportbedingten Umweltwirkungen werden abschließend für die herstellungsbedingten Umweltwirkungen der Passivhauswohnanlage „Utendorfgasse“ die vorliegenden Berechnungsergebnisse der Variante 1-Stahlbeton aus dem Arbeitspaket 03 (Erweiterung des OI3-Index), 06 (OI3-Erweiterungen: Bilanzgrenzen, Kennzahlen und Nutzungsdauer) bzw. 15 (Weiterentwicklung TQ) übernommen. Zur Ermittlung des Anteils der transportbedingten Umweltwirkungen an den herstellungsbedingten Umweltwirkungen auf Gebäudeebene werden die zuvor mit dem neuen Transportmodell ermittelten Datensätze zu Transportbeton, Ziegel, Baustahlgitter und Dämmstoff mit den Massenvordersätzen der Variante 1-Stahlbeton sowie mit den durchschnittlichen produktspezifischen Transportdistanzangaben der befragten Hersteller multipliziert.

Die Ergebnisse aus dem AP01¹ legen jedoch nahe, dass die Systemgrenze „BG3“ aus AP03 bzw. AP06 für die Errichtungsphase nicht alle relevanten Bauprodukte sowie deren Umweltwirkungen erfasst.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass der Einfluss des Bauprodukt-Transportes vom Werkstor zur Baustelle sowohl auf Bauproduktebene (Erhöhung der Umweltwirkungen im Vergleich zu den bauproduktherstellungsbedingten Umweltwirkungen zwischen 5 und 20%, bei ODP bis zu 65%!) als auch auf Gebäudeebene (Anteil der transportbedingten Umweltwirkungen an den bauproduktherstellungsbedingten Umweltwirkungen bis rd. 7,6%) nicht zu vernachlässigen ist.

¹Nachhaltigkeit massiv AP01 - Vorprojekt Gebäudebewertung

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
1 Einleitung	14
1.1 Darstellung des behandelten Problems	14
1.2 Ziel des Arbeitspaketes	15
1.3 Struktureller Aufbau des Berichts	15
1.4 Gewählte Vorgangsweise	15
2 Zusammenfassung der Projektergebnisse	18
2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf das definierte Ziel	18
2.2 Ergebnisse für die Bauwirtschaft	22
3 Grundlagen	24
3.1 Transporte während der Lebensdauer eines Gebäudes	30
3.2 Abgrenzung	31
4 Transportwege	33
4.1 Übersicht der Transportmöglichkeiten	33
4.2 Landweg-Straße	33
4.3 Landweg-Schiene	33
4.4 Wasserweg	34
4.5 Luftweg	34

5	Allgemeine und projektspezifische Transporteinflüsse	36
5.1	„Lage Werkstor - Baustelle“	36
5.1.1	Unterkategorie „Entfernung Werkstor - Baustelle“	36
5.1.2	Unterkategorie „Nutzbare Verkehrsinfrastruktur zwischen Werkstor und Baustelle“	37
5.2	„Transportgut“	38
5.2.1	Unterkategorie „Beschaffenheit des Transportgutes“	38
5.2.2	Unterkategorie „Menge des Transportgutes“	38
5.2.3	Unterkategorie „Verfügbare Transportzeit“	40
5.2.4	Unterkategorie „Wert des Transportgutes“	40
5.3	„Transportmittel“	40
5.3.1	„Höchstzulässiges Gesamtgewicht“	41
5.3.2	Auslastung des Transportmittels	41
5.3.3	Auslastung des Transportprozesses	41
5.3.4	EURO-Klassen	43
5.3.5	Herstellung, Betrieb und Wartung sowie Entsorgung des Transportmittels	44
5.4	„Kosten“	46
5.5	„Transportzeitpunkt“	47
5.6	„Soziale Aspekte“	48
5.7	Projektrelevante Transporteinflüsse	49
6	Dokumentation bestehender Datenbanken	51
6.1	Ecoinvent	51
6.2	Gemis (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme)	53
6.3	GaBi 4	54
6.4	TREMODO (Transport Emission Estimation Model)	55
6.5	Eco TransIT (Ecological Transport Information Toll)	55
6.6	Umberto	55
6.7	SimaPro	55

7	Dominanzanalyse und Festlegung der Systemgrenze	57
7.1	Dominanzanalyse - 40 t LKW	57
7.2	Festlegung der Systemgrenze	58
8	Auswahl der Datenbank	59
8.1	Auswahlkriterien	59
8.2	Zusammenfassung	60
9	Sensitivitätsanalysen	62
9.1	Auswahl der Einflussfaktoren	62
9.2	Sensitivitätsanalysen	63
9.3	„Höchstzulässiges Gesamtgewicht“	63
9.3.1	Ausgangslage	63
9.3.2	Vorgangsweise	63
9.3.3	Ergebnis - Höchstzulässiges Gesamtgewicht	64
9.4	„EURO-Klassen“	66
9.4.1	Ausgangslage	66
9.4.2	Vorgangsweise	66
9.4.3	Ergebnis - EURO-Klassen	67
9.5	„Leer- und Vollfahrt“	67
9.5.1	Ausgangslage	67
9.5.2	Vorgangsweise	67
9.5.3	Ergebnis - Leer- und Vollfahrt	69
9.6	„Treibstoffverbrauch“	71
9.6.1	Ausgangslage	71
9.6.2	Vorgangsweise	72
9.6.3	Ergebnis - Treibstoffverbrauch	72

9.7	„Beladegewicht - Auslastung des Transportmittels“	74
9.7.1	Ausgangslage	74
9.7.2	Vorgangsweise	74
9.7.3	Ergebnis - Beladegewicht - Auslastung des Transportmittels	74
9.8	„Auslastung des Transportprozesses“	77
9.8.1	Ausgangslage	77
9.8.2	Vorgangsweise	77
9.8.3	Ergebnis - Auslastung Transportprozess	77
9.9	„Einfluss der Infrastruktur-Allokation“	79
9.9.1	Ausgangslage	79
9.9.2	Vorgangsweise	79
9.9.3	Ergebnisse - Einfluss der Infrastruktur-Allokation	81
9.10	Zusammenfassung	85
10	Transportmodell-Berechnungsalgorithmus	86
10.1	Transportmodell	87
10.2	Berechnungsalgorithmus	89
10.3	Validierung des Berechnungsalgorithmus: Teil 1	94
10.3.1	Ausgangslage	94
10.3.2	Vorgangsweise	94
10.3.3	Ergebnis - Validierung - Teil: 1	95
10.4	Validierung des Berechnungsalgorithmus: Teil 2	97
10.4.1	Vorgangsweise	97
10.4.2	Ergebnis - Validierung Teil: 2	97

11 Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen	100
11.1 Muster-Fragebogen	101
11.1.1 Bestandteile - Muster-Fragebogen	101
11.1.2 Auswertung - Muster-Fragebogen	102
11.1.3 Ausgewählte Bauprodukte und Bauprodukthersteller	103
11.2 Transportbeton	104
11.2.1 Datenerhebung	104
11.2.2 Ergebnis - Transportbeton	105
11.3 Baustahlgitter	107
11.3.1 Datenerhebung	107
11.3.2 Ergebnis - Baustahlgitter	107
11.4 Ziegel	110
11.4.1 Datenerhebung	110
11.4.2 Ergebnis - Ziegel	110
11.5 Dämmstoff - EPS	113
11.5.1 Datenerhebung	113
11.5.2 Ergebnis - Dämmstoff - EPS	113
11.6 Dämmstoff - Steinwolle	116
11.6.1 Datenerhebung	116
11.6.2 Ergebnis - Dämmstoff - Steinwolle	117
11.7 Dämmstoff - Glaswolle	119
11.7.1 Datenerhebung	119
11.7.2 Ergebnis - Dämmstoff - Glaswolle	120
11.8 Zusammenfassung	122

12 Auswirkungen transportbedingter Umweltwirkungen auf Bauprodukt- und Gebäudeebene	124
12.1 Erhöhung der Umweltwirkungen infolge Transport auf Bauproduktebene	124
12.1.1 Ausgangslage	124
12.1.2 Ergebnis	125
12.2 Anteil transportbedingter Umweltwirkungen auf Gebäudeebene	127
12.2.1 Anteil transportbedingter Umweltwirkungen auf Gebäudeebene - Errichtungsphase	127
13 Zusammenfassung und Ausblick	128
Abbildungsverzeichnis	132
Tabellenverzeichnis	133
Literaturverzeichnis	135

1 Einleitung

Das vorliegende Projekt mit dem Titel **Transportrucksäcke von Bauprodukten** ist Teil des Gesamtforschungsvorhabens *Nachhaltigkeit Massiv*, welches im Rahmen des Programms Energie der Zukunft gefördert wird.

Übergeordnetes Gesamtziel des Projektes ist die Neupositionierung der Unternehmen der Stein- und keramischen Industrie zum Thema Energie der Zukunft mit am Gesamtsystem orientierten Konzepten und Lösungen für Nachhaltiges Bauen.

Das Arbeitsprogramm umfasst 15 Arbeitspakete, welche in 3 thematischen Gruppen zu dem Thema Ökologie, Ökonomie und Soziales parallel organisiert sind.

Die im Rahmen des Projektes erarbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen sollen die Basis für die Weiterentwicklung der Produkte und Dienstleistungen im Sinne einer nachhaltigen und energieeffizienten Bauwirtschaft bilden.

1.1 Darstellung des behandelten Problems

Einer der Grundpfeiler der Europäischen Union ist der freie Waren- und Dienstleistungsverkehr, um den Wettbewerb zu fördern und nicht zu behindern. Dies steht teilweise im Widerspruch mit den Grundsätzen der Nachhaltigkeit mit ihren drei Dimensionen als immaterieller Bestandteil der Europäischen Union, ausgedrückt z.B. durch die Thematische Strategie für städtische Umwelt u.a. mit dem Ziel, negative Umweltwirkungen zu reduzieren. Aktuelle Studien zeigen, dass verkehrsbedingte Emissionen zu den Hauptverursachern des anthropogenen Treibhauseffekts zählen und dies mit steigender Tendenz. Das Bauwesen ist aufgrund seiner großen zu transportierenden Massen von großer Bedeutung. Aus der Sicht des Kunden sind die Preise „frei Baustelle“, welche die Preise der Bauprodukte und deren Transport umfassen, der ausschlaggebende Faktor für eine Kaufentscheidung. Die Erfahrung zeigt weiter, dass es aufgrund der aktuellen Kostensituation im Transportsektor dennoch ökonomisch Sinn macht, Bauprodukte über mehrere hundert Kilometer zu transportieren, obwohl diese in geringerer Entfernung in vergleichbarer Qualität verfügbar wären. Trotz derzeit zahlreicher Bemühungen, die komplexen Umweltwirkungen bei der Herstellung von Bauprodukten (z.B.: Umweltdeklaration von Bauprodukten - EPD) abzuschätzen, existieren praktisch keine gesicherten Daten zu transportbedingten Umweltwirkungen zwischen Bauprodukterzeuger und Baustelle, ebenso wenig

wie zwischen Abbruchort und Recyclingbetrieb oder Deponie, welche jedoch als signifikante Eingangsparemeter zukünftiger harmonisierter europäischer Gebäudebewertungsmodelle berücksichtigt werden müssen. Mit den existierenden Gebäudebewertungsmodellen, wie dem OI3-Index oder TQB, ist es derzeit nicht möglich, die tatsächlichen Transportrucksäcke hinreichend genau zu erfassen, da die bisherigen Modelle den Auslastungsgrad (z.B. Leerfahrten, Ladevolumen), den Transportmix, die Transportentfernungen u.a. nicht abbilden.

1.2 Ziel des Arbeitspaketes

Ziel des Arbeitspaketes ist es, ein theoretisches Transportmodell für Bauprodukte zu erstellen und für dieses in weiterer Folge Basisdaten zu den transportbedingten Umweltwirkungen von ausgewählten Bauprodukten, bezeichnet als „Transportrucksack“, in Abhängigkeit des verwendeten Transportmittels, dessen Auslastungsgrad und charakteristischer Transportentfernungen zu erheben. Eine Gegenüberstellung der ermittelten Transportrucksäcke im Vergleich mit den produktionsbedingten Umweltwirkungen soll die Umweltrelevanz des Transports aufzeigen.

1.3 Struktureller Aufbau des Berichts

Der Bericht gliedert sich in die folgenden drei wesentlichen Arbeitsschritte:

- Entwicklung eines Transportmodells zur detaillierten Erfassung transportbedingter Umweltwirkungen
- Erprobung des neuen Modells an einigen gängigen Bauprodukten (Transportbeton, Ziegel, Baustahlgitter und verschiedene Dämmstoffe)
- Auswertung der Berechnungsergebnisse und Darstellung des Anteils der Umweltwirkungen durch den Transport von Bauprodukten auf Bauprodukt- und Gebäudeebene

1.4 Gewählte Vorgangsweise

Einleitend werden Begriffsdefinitionen, die Lebensphasen in denen Transportprozesse auftreten, Besonderheiten bei der Bilanzierung der ökologischen Nachhaltigkeit von Transportprozessen sowie die räumliche Abgrenzung von Transportprozessen in diesem Projekt näher erläutert.

In einem ersten Arbeitsschritt werden dann jene Faktoren aufgezeigt, die einen Transportprozess beeinflussen, um daraus in weiterer Folge mögliche Eingangsparemeter für ein Transportmodell ableiten zu können. Dabei wird zwischen allgemeinen Einflussfaktoren und projektrelevanten Einflussfaktoren unterschieden. Aufgrund der multifaktoriellen Einflüsse auf einen

Transportprozess wird eine Abgrenzung zu projektrelevanten Einflussfaktoren vorgenommen. Dabei werden ausschließlich jene Faktoren berücksichtigt, die nach Gesichtspunkten der ökologischen Nachhaltigkeit relevant sind, d. h. Umweltwirkungen hervorrufen. Im Sinne der Abgrenzung hinsichtlich der Transportmittelwahl werden ausschließlich LKW Transporte gewählt. Weiters erfolgt eine Begriffsdefinition für „Massengut“ und „Volumsgut“, um aufzuzeigen, dass ein Transportmittel entweder aufgrund des maximalen Beladegewichtes oder aufgrund des maximalen Beladevolumens ausgelastet sein kann (z.B.: Gesteinskörnungen oder Dämmstoffe).

Der zweite Arbeitsschritt umfasst die Analyse bestehender Datenbanken in Hinblick auf deren Erfassungsmodus von Transportprozessen. Dazu werden die Qualität der Basisdaten, die Nachvollziehbarkeit der Prozesse sowie die Vollständigkeit und Dokumentation einzelner Datenbanken untersucht. Den abschließenden Schritt bildet die Auswahl einer geeigneten Datenbank nach zuvor festgelegten Evaluierungskriterien. Die ausgewählte Datenbank soll alle projektrelevanten Einflussfaktoren mit einer ausreichenden Genauigkeit abdecken. Weiters werden für die Festlegung der Systemgrenze zur Berücksichtigung von Transportprozessen eine Dominanzanalyse zur Abschätzung anteiliger Umweltwirkungen in Anwendung am Beispiel eines 40 t-LKW durchgeführt.

Im dritten Arbeitsschritt erfolgt die Auswahl einer geeigneten Datenbank, die als Basis für die weiteren Berechnungen herangezogen wird. Die ausgewählte Datenbank soll alle projektrelevanten Einflussfaktoren mit einer ausreichenden Genauigkeit abdecken. Dazu werden Art und Tiefe der Berücksichtigung der projektrelevanten Einflussfaktoren in der ausgewählten Datenbank untersucht.

Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen werden im vierten Projektbearbeitungsschritt die zuvor ermittelten projektrelevanten Einflussfaktoren detailliert untersucht, um aufzuzeigen, welche dieser Einflussfaktoren mit Durchschnittswerten und welche detailliert in einer weiterführenden Berechnung zu berücksichtigen sind.

Der fünfte Bearbeitungsschritt umfasst die Entwicklung einer Grobstruktur für ein Transportmodell sowie eines geeigneten Berechnungsalgorithmus zur detaillierten Berücksichtigung der o. g. Einflussfaktoren. Dazu werden in einer strukturierten Berechnungsübersicht einzelne Phasen des Rechenvorgangs, Anforderungen an den Berechnungsalgorithmus und die Systemgrenzen dargestellt. Mit Hilfe des neuen Berechnungsalgorithmus soll eine treffsichere Berechnung transportbedingter Umweltwirkungen ermöglicht werden. Abschließend erfolgt die Evaluierung des Berechnungsalgorithmus. Angestrebtes Ergebnis ist eine Gegenüberstellung der Erfassungsgenauigkeit der projektrelevanten Einflussfaktoren zwischen der zuvor ausgewählten Datenbank und dem Berechnungsalgorithmus des neuen Transportmodells.

Im sechsten Arbeitsschritt wird für die Ermittlung der Eingangsdaten in das neue Transportmodell ein entsprechender Muster-Fragebogen erarbeitet. Da die zu erhebenden Transport-

prozesseigenschaften von den einzelnen Bauprodukten abhängen, ist es notwendig, bauprodukt-spezifische Fragebögen zu erstellen, welche vom Muster-Fragebogen abgeleitet werden. Anschließend erfolgt die Auswahl der Bauprodukte und Firmen, für die transportbedingte Umweltwirkungen bestimmt werden sollen. Dabei wird darauf geachtet, dass ein herstellere-spezifischer Durchschnittswert für österreichische Verhältnisse ermittelt werden kann. Abschließend erfolgt die Gegenüberstellung der transportbedingten Umweltwirkungen der jeweiligen Bauprodukte.

Im letzten Arbeitsschritt wird der Anteil transportbedingter Umweltwirkungen an den herstellungsbedingten Umweltwirkungen vom Werkstor zur Baustelle auf Bauprodukt- und Gebäudeebene ermittelt.

2 Zusammenfassung der Projektergebnisse

2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf das definierte Ziel

Mit dem im gegenständlichen Arbeitspaket entwickelten Transportmodell wurde gezeigt, dass eine strukturierte Erfassung der Transportrucksäcke von Bauprodukten in Abhängigkeit vom Werksstandort, Baustelle und Bauprodukt grundsätzlich möglich ist. Um den Anteil von transportbedingten Umweltwirkungen im Vergleich zu den derzeitigen „cradle to gate“-Bewertungen darstellen zu können, wurde das neue Modell anhand der Bauprodukte Transportbeton, Baustahlgitter, Ziegel und verschiedenen Dämmstoffen erprobt.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass der Einfluss des Bauprodukt-Transportes vom Werkstor zur Baustelle sowohl auf Bauproduktebene (Erhöhung der Umweltwirkungen im Vergleich zu den bauproduktherstellungsbedingten Umweltwirkungen zwischen 5 und 20%, bei ODP bis zu 65%! - siehe Abbildung 2) als auch auf Gebäudeebene (Anteil der transportbedingten Umweltwirkungen an den bauproduktherstellungsbedingten Umweltwirkungen bis rd. 7,6% - Abbildung 3) nicht zu vernachlässigen ist.

Eine zusammenfassende Gegenüberstellung der transportbedingten Umweltwirkungen je Tonne Bauprodukt (Mittelwerte) ist in Abbildung 1 dargestellt. Es zeigt sich, dass Volumsgüter aufgrund der geringen Masse erheblich höhere transportbedingte Umweltwirkungen² verursachen als Massengüter. Die großen Transportdistanzen von Dämmstofftransporten führen ebenfalls zu signifikanten Umweltwirkungen. Weitere markante Abweichungen der Umweltwirkungen sind auf die großen Bandbreiten betreffend Rohdichte und Komprimierungsgrad zurückzuführen. Die geringsten Unterschiede sind in der Kategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ festzustellen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in dieser Kategorie nicht der Treibstoffverbrauch eingeht, sondern vielmehr die Infrastrukturanteile (Strom für Verkehrsanlagen) maßgebend sind. Die Transporte von EPS verursachen die größten Umweltwirkungen je Tonne Bauprodukt. Dies ist auf die geringe Masse und auf das „Volumsgut“ EPS zurückzuführen.

Abschließend wird der Anteil transportbedingter Umweltwirkungen an den herstellungsbedingten Umweltwirkungen vom Werkstor zur Baustelle auf Bauprodukt- und Gebäudeebene ermittelt. Die Auswirkungen der transportbedingten Umweltwirkungen auf Bauproduktebene sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Umweltwirkungen, die bei der Bauprodukterzeugung (Bilanzgrenze Werkstor) entstehen, werden mit 100% angesetzt. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die jeweilige Erhöhung abhängig von den jeweiligen herstellungsbedingten Umweltwirkungen der Bauprodukte ist. Der größte Einfluss der transportbedingten Umweltwirkungen ist in der Wirkungskategorie „Stratosphärischer Ozonabbau (ODP)“ festzustellen. Dabei erhöhen sich die

²je Masseneinheit

Gegenüberstellung der transportbedingten Umweltwirkungen pro Tonne Bauprodukt Werkstor - Baustelle



Abbildung 1: Bauprodukt-spezifische transportbedingte Umweltwirkungen der untersuchten Bauprodukte

herstellungsbedingten Umweltwirkungen durch den Transport zur Baustelle zwischen 14% und 65%. In der Kategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ haben die transportbedingten Umweltwirkungen mit einer Erhöhung der herstellungsbedingten Umweltwirkungen um 4% nur geringe Auswirkungen. Dies ist wiederum auf der Tatsache begründet, dass der Treibstoffverbrauch der Transporte in dieser Kategorie keinen Beitrag leistet. Die zeitliche Systemgrenze für die Bewertung der transportbedingten Umweltwirkungen auf Gebäudeebene ist die Herstellung des Gebäudes. Zur Ermittlung des Anteils der transportbedingten Umweltwirkungen an den herstellungsbedingten Umweltwirkungen auf Gebäudeebene werden die zuvor mit dem Transportmodell ermittelten produktspezifischen Datensätze mit den Massenvordersätzen eines Referenzgebäudes sowie mit den durchschnittlichen produktspezifischen Transportdistanzangaben der befragten Hersteller multipliziert.

Eine Anwendung des im Zuge des Projekts stichprobenartig erprobten Transportmodells bedarf jedoch weiterer umfassender wissenschaftlicher Untersuchungen, um künftig einen österreichweit gültigen „Referenzdatensatz“ für verschiedene Bauprodukttransporte bereitstellen zu können. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

Die Grafik zeigt, dass der Anteil der transportbedingten Umweltwirkungen in der Errichtungsphase nicht zu vernachlässigen ist. Die größten Auswirkungen ergeben sich in der Wirkungskategorie „Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar (ER n. r.)“ mit 7,6%, die geringsten Auswirkungen mit rd. 0,7% in der Wirkungskategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“.

Von den vorliegenden Massenauszügen aus dem AP03³, AP06⁴ bzw. AP15⁵ (Variante 1 - Stahlbeton) werden bei der Auswertung der Transportrucksäcke der bilanzierten Bauprodukte 81% der Massen erfasst. Die Ergebnisse aus dem AP01⁶ legen jedoch nahe, dass die Systemgrenze „BG3“ aus AP03 bzw. AP06 für die Errichtungsphase nicht alle relevanten Bauprodukte sowie deren Umweltwirkungen erfasst.

Problematisch dabei erscheint in diesem Zusammenhang die Bereitstellung von „brauchbaren Daten“ der Bauprodukteherzeuger, da selbst diese kaum Informationen zu den Transportprozessen ihrer Produkte haben bzw. diese Daten kaum mit vertretbarem Aufwand erheben können. Auf Basis der bisherigen Untersuchungen könnte die Annahme einer mittleren Transportentfernung und eines durchschnittlichen Transportprozesses in Form eines generellen bauproduktspezifischen prozentualen Zuschlages kurzfristig Abhilfe schaffen.

³Nachhaltigkeit massiv AP03 - Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer

⁴Nachhaltigkeit massiv AP06 - OI3-Erweiterungen: Bilanzgrenzen, Kennzahlen und Nutzungsdauer

⁵Nachhaltigkeit massiv AP15 - Weiterentwicklung Nachhaltigkeitsbewertungstools (TQBneu)

⁶Nachhaltigkeit massiv AP01 - Vorprojekt Gebäudebewertung

Auswirkungen der transportbedingten Umweltwirkungen (Werktor - Baustelle) auf Bauproduktebene (Umweltwirkungen pro Tonne Bauprodukt)

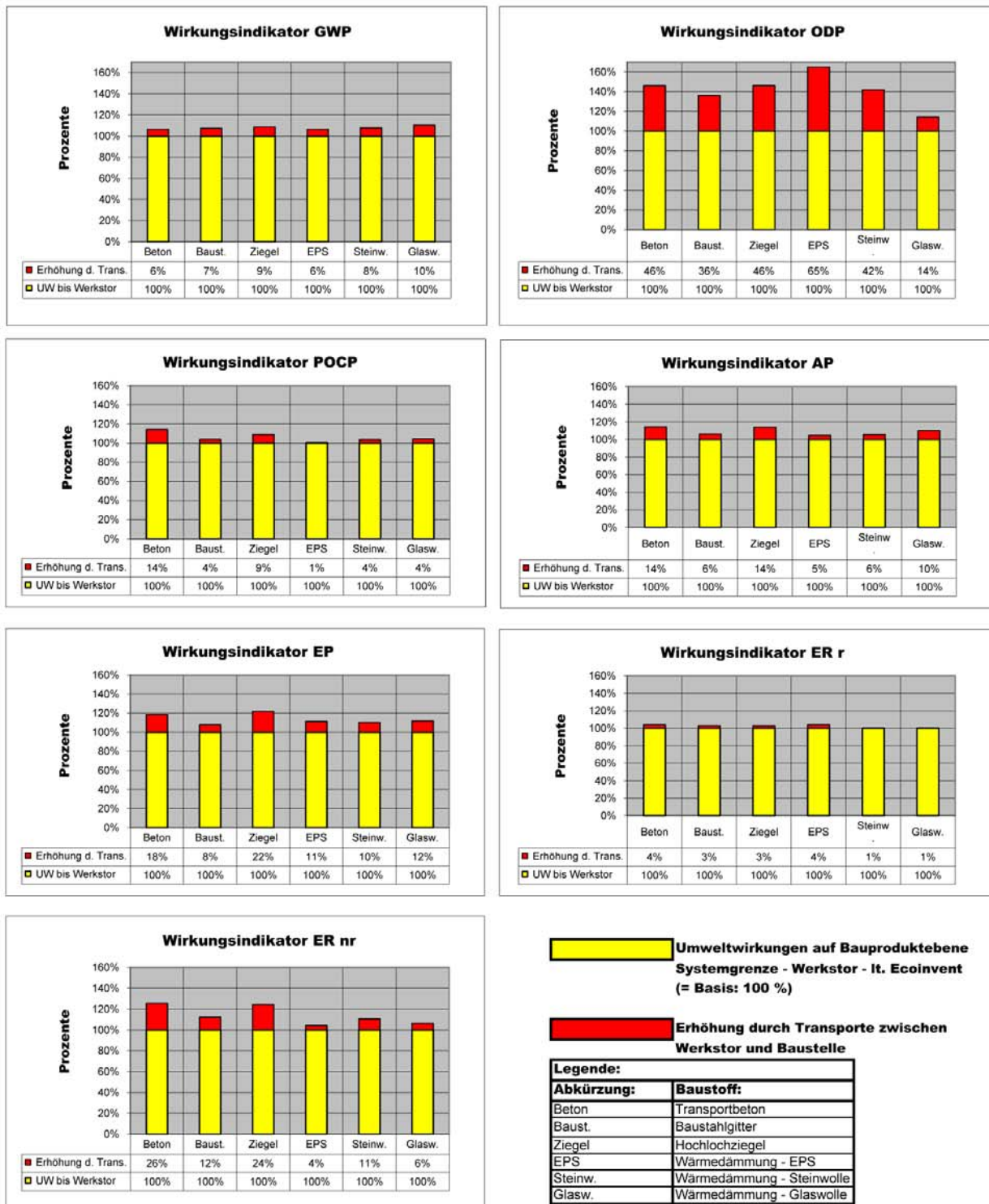


Abbildung 2: Erhöhung der Umweltwirkungen infolge Transport auf Bauproduktebene

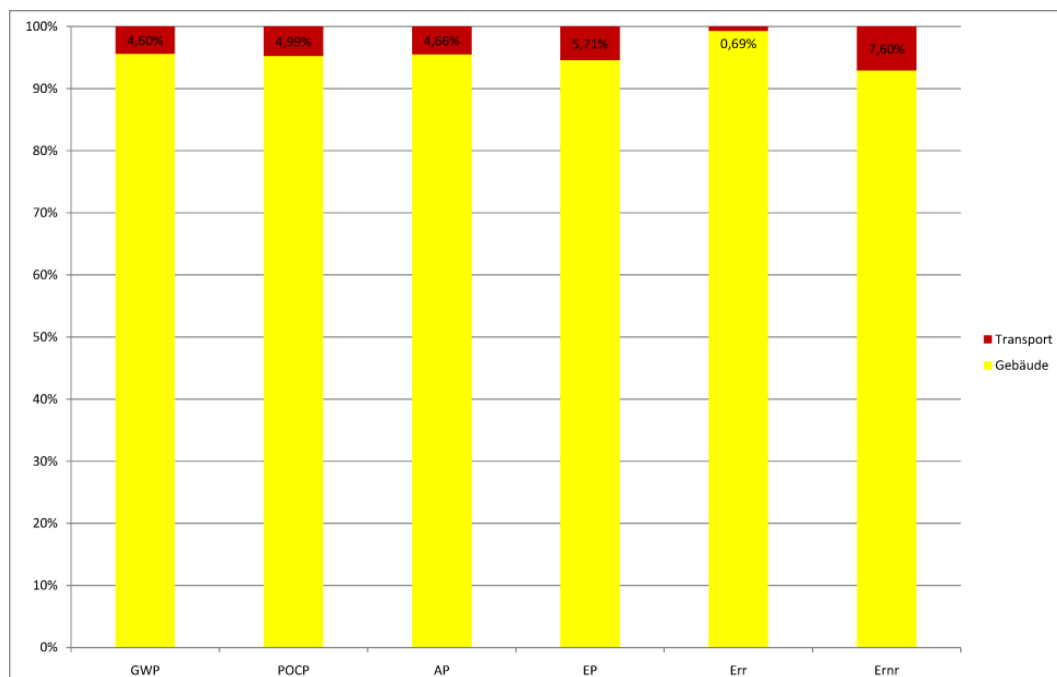


Abbildung 3: Transportbedingte Umweltwirkungen auf Gebäudeebene - Errichtungsphase

2.2 Ergebnisse für die Bauwirtschaft

Aus dem im gegenständlichen Forschungsprojekt entwickelten Muster-Fragebogen zur Erhebung der Eingangsparameter in das theoretische Transportmodell können nun für verschiedene Bauprodukte produktspezifische Fragebögen abgeleitet werden. Die Datenerhebung zu produktspezifischen Transportprozessen zwischen Werkstor und Baustelle kann seitens der Mitgliedsbetriebe des Fachverbandes erfolgen. Auf Basis der Erhebungen erfolgt die Auswertung der Fragebögen wobei für das jeweilige Bauprodukt die dominanten Transportprozesse als Eingangsparameter in das Transportmodell herangezogen werden. Die generelle Vorgehensweise bei der Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen zwischen Werkstor und Baustelle ist in nachstehender Abbildung 4 dargestellt.

Im Rahmen des gegenständlichen Fachverbandsprojekts bzw. des Arbeitspaketes 4 wurde ein theoretisches Transportmodell an ausgewählten Bauprodukten stichprobenartig erprobt wobei zur Erhebung der Eingangsparameter in das Transportmodell je Bauprodukt ein Hersteller befragt wurde. Für die Berücksichtigung von Transportdatensätzen in lebenszyklusorientierten Gebäudebewertungssystemen bedarf es österreichweit gültiger produktspezifischer „Referenzdatensätze“. Diese können nur unter Einbezug von firmen- und produktspezifischen Randbedingungen im Rahmen von Folgeprojekten ermittelt und anschließend in Gebäudezertifizierungssysteme mit lebenszyklusorientiertem Ansatz übernommen werden. Problematisch dabei erscheint in diesem Zusammenhang die Bereitstellung von „brauchbaren“ Daten der Baupro-

dukterzeuger, da selbst diese kaum Informationen zu den Transportprozessen ihrer Produkte haben bzw. diese Daten kaum mit vertretbarem Aufwand erheben können. Auf Basis der bisherigen Untersuchungen erscheint die Annahme einer mittleren Transportentfernung und eines durchschnittlichen Transportprozesses in Form eines generellen bauprodukt-spezifischen prozentualen Zuschlages kurzfristig die beste Lösung.

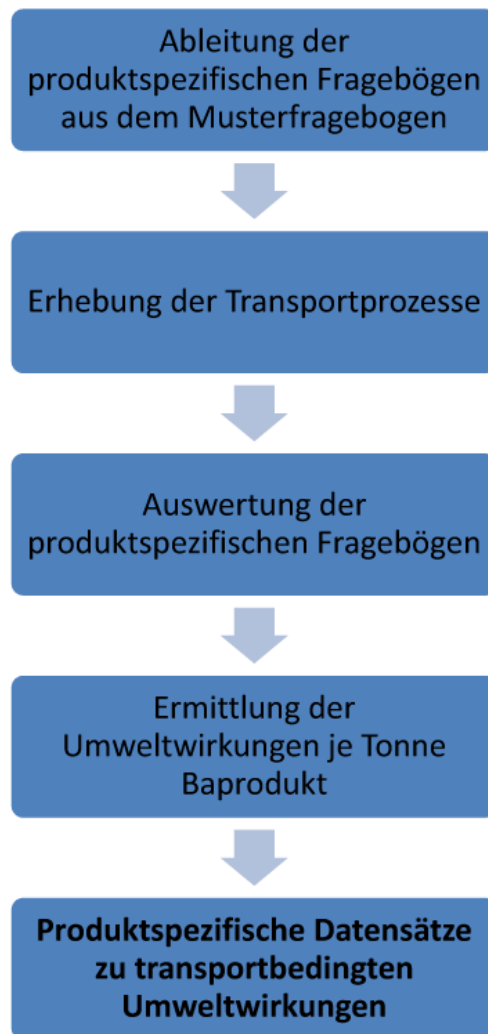


Abbildung 4: Vorgehensweise bei der Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen

3 Grundlagen

Begriffsdefinitionen⁷

Einleitend werden wichtige Begriffe definiert. Dabei werden in erster Linie allgemein gültige Definitionen aus Normen bzw. Lexika verwendet, und um selbstdefinierende Begriffsbestimmungen ergänzt.

Allgemeine Transporteinflüsse: Beschreiben jene Faktoren, die einen Transportprozess beeinflussen, wobei sowohl ökologische, ökonomische und soziale (soziokulturelle) Aspekte berücksichtigt werden.

Allokation: *„Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen“ [9]*

Auslastung des Transportmittels: Darunter wird das Verhältnis der tatsächlichen Beladung zu der maximal möglichen Beladung in Prozent verstanden. Dabei kann die maximal mögliche Beladung des Transportmittel einerseits aufgrund des maximalen Beladegewichtes und andererseits aufgrund des maximalen Volumens bestimmt sein. Eine Auslastung des Transportmittels größer 100% ist nicht möglich.

Auslastung des Transportprozesses: Darunter wird das Verhältnis der tatsächlich gefahrenen Kilometer zu der minimal möglichen Kilometerleistung in Prozent verstanden, um ein Produkt von einem Ort A zu einem Ort B zu befördern. Eine Auslastung des Transportprozesses größer 100% ist nicht möglich.

Auswertung: *„Bestandteil der Ökobilanz, bei dem die Ergebnisse der Sachbilanz oder der Wirkungsabschätzung oder beide bezüglich des festgelegten Ziels und Untersuchungsrahmens beurteilt werden, um Schlussfolgerungen abzuleiten und Empfehlungen zu geben“ [9]*

Bauprodukte: *„Unter „Bauprodukt“ ist jedes Produkt zu verstehen, das hergestellt wird, um dauerhaft in Bauwerke des Hoch- oder Tiefbaus eingebaut zu werden.“ [10]*

⁷ Alle „Kursiv“ dargestellten Begriffsdefinitionen sind unveränderte Zitate aus den angeführten Literaturquellen; alle inhaltlich wiedergegebenen Erklärungen werden nicht „kursiv“ dargestellt

Beladegewicht: Gibt jenes Gewicht an, das auf dem LKW geladen ist.

Berechnungsalgorithmus: Dient zur genauen und treffsicheren Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen.

Charakteristik: *„Charakteristik bezeichnet Verfahren, einen Gegenstand in Fällen zu kennzeichnen, in denen die Definition eines Begriffs unmöglich od. nicht erforderlich ist.“*⁸
Hier wird der Begriff „Charakteristik“ für eine treffende Beschreibung eines Gegenstandes oder eines Verfahrens in Verbindung gebracht.

Cradle to Gate: bezeichnet die Systemgrenze „von der Wiege bis zum Werkstor“
ÖNORM EN ISO 14040:2006(D)

Datenbank: Dient zur Bestimmung transportbedingter Umweltwirkungen in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren.

Datenqualität: *„Eigenschaften von Daten in Bezug auf ihre Eignung festgelegte Anforderungen zu erfüllen“* [9]

Endenergiebedarf: Der Endenergiebedarf umfasst den Heizwärmebedarf, den Kühlbedarf und den Energiebedarf für Belüftung und Beleuchtung inklusive aller Bereitstellungsverluste.

Funktionelle Einheit: *„quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit“* [9]

Großtonnenkilometer: Entspricht der Beladung inklusive Eigengewicht des LKW (in Tonnen) mal dem Weg (in Kilometer) = Brutto-Tonnenkilometer.

Heizenergiebedarf: Der Heizenergiebedarf stellt die Summe aus Heizwärmebedarf, Warmwasserbedarf und dem Heiztechnikenergiebedarf dar. Er ist ein Teil des Endenergiebedarfs. [8]

Höchstzulässiges Gesamtgewicht: Unter „Höchstzulässigem Gesamtgewicht“ versteht man das höchstzulässige Gewicht des fahrbereiten Fahrzeugs einschließlich der Nutzlast [11]. Das höchstzulässige Gesamtgewicht setzt sich aus Eigengewicht und maximalem

⁸<http://www.woxikon.de/> [Stand: 17.12.2008]

Beladegewicht zusammen.

Infrastruktur: Bezeichnet die wirtschaftlichen und organisatorischen Grundlagen, die für das Funktionieren und die Entwicklung einer Volkswirtschaft nötig sind, also beispielsweise Verwaltungs- und Bildungseinrichtungen, Arbeitskräfte, Energiewirtschaft, aber auch das Verkehrssystem. Zum Verkehrssystem zählen Straßen, Wasser-, Schienenwege, Flugplätze etc., die den Waren- und Personenverkehr ermöglichen.⁹

Hier wird unter Infrastruktur ausschließlich das Verkehrssystem verstanden. Die Infrastruktur beinhaltet auch Kunstbauten wie Brücken- und Tunnelbauwerke sowie Leiteinrichtungen und Bodenmarkierungen.

Kombinierte Verkehr: Dabei werden unterschiedliche Verkehrsträger verknüpft, der Schwerpunkt liegt jedoch (bezogen auf die Länge einer Transportstrecke) auf einem Verkehrsträger. [6]

Lebensweg: Der Lebensweg eines Gebäudes beginnt mit der Rohstoffgewinnung und endet mit der Beseitigung einzelner Materialien des abgebrochenen Gebäudes. Er umfasst die Lebenswegphasen:

→ Bauprodukterzeugung → Gebäudeerrichtung → Nutzung → Rückbau - Beseitigung

Lebenszyklus: siehe →Lebensweg.

Unter Lebenszyklus wird im Allgemeinen das mehrfache Durchlaufen der Phasen „Bauprodukterzeugung“, „Gebäudeerrichtung“, „Nutzung“ und „Rückbau - Beseitigung“ verstanden. Nachdem das „Produkt“ Gebäude in den meisten Fällen diese Phasen nur einmal durchläuft, kann der „Zyklus“ hier durch einen linearen „Weg“ ersetzt werden. [5], [8]

Nachhaltige Entwicklung: *„Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“* [7], [16]

Ökobilanz: *„Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges“* [9]

Produkt: *„jede Ware oder Dienstleistung“* [9]

⁹<http://www.quality.de/lexikon/infrastruktur.htm> [Stand: 17.12.2008]

Remontage: Bei einer Remontage werden einzelne Gebäudeteile (Fertigteile, etc.) demontiert und anschließend wieder in neuen Gebäuden integriert.

Rohstoff: „primäres oder sekundäres Material, das zur Herstellung eines Produktes verwendet wird“ [9]

Sachbilanz: „Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktes im Verlauf seines Lebensweges umfasst“ [9]

Schüttgut: Bezeichnet eine Klasse von Gütern, die lose gehandhabt werden. Schüttgut ist keine Flüssigkeit und kein Stückgut. [6]

Sensitivitätsanalyse: „systematisches Verfahren zur Einschätzung der Wirkungen der getroffenen Auswahl an Methoden und Daten auf die Ergebnisse einer Studie“ [9]

Silo: Speicher für Schüttgüter [6]. Silos werden beispielsweise als Transportgefäß für Zement eingesetzt.

Spedition: Ist ein Dienstleister der Transporte von Waren und Gütern durchführt. [6]

Stoffstrom / Stofffluss (Materialfluss): Ist die physische Bewegung von Gütern aller Art zwischen zwei Orten.

Stückgut: Bezeichnet eine Klasse von Gütern, die einzeln gehandhabt werden. [6]

Straße: Straße ist eine für den Fußgänger- oder Fahrzeugverkehr bestimmte Landfläche samt den in ihrem Zuge befindlichen und diesem Verkehr dienenden baulichen Anlagen. [4]

Systemgrenze: „Satz von Kriterien zur Festlegung, welche Prozessmodule Teil eines Produktsystems sind“ [9]

Transport: „Allgemein betrachtet geht es um die physische Raumüberbrückung von Transportgütern mit Hilfe verschiedener Transportmittel“ [2]

Transporteinheit: Ist eine Handhabungseinheit, wie sie als Wareneingang oder auch als Wareneingang beim jeweiligen Transport auftritt. Ist eine aus einem einzelnen oder

mehreren Packstücken bestehendes Transportgut. Dazu zählen auch Ladungsträger (z.B. Paletten) oder Sicherungsmittel. [6]

Transportintensität: „Gibt die Größe eines Transportstroms zwischen zwei Objekten in einer Periode an.“ [6]

Transportkette: „Ist die Folge von technisch und organisatorisch miteinander verknüpften Vorgängen, bei den Personen, Güter oder Daten von einer Quelle zu einem Ziel bewegt werden (DIN 30781).“ [6]

Transportmittel: „Transportmittel dienen gemäß DIN 30781 zur Ortsveränderung von Gütern oder Personen.“ [6]

„Als Grundvoraussetzung des Transportvorganges ist für die Aufnahme von Personen und Gütern ein Transportgefäß notwendig. Dieses kann sich von vornherein nicht selbst bewegen und benötigt einen Transportträger z.B. ein Fahrwerk. Erst durch die Kombination von Transportgefäß und Transportträger entsteht ein Transportmittel, welches bei fester Bindung zwischen Fahrwerk und Transportgefäß oder deren technischen Einheit als Fahrzeug bezeichnet wird.“ [12]

Transportprozess: „Unter Transportprozess wird die Transportorganisation und Transportsteuerung verstanden.“¹⁰

Hier wird unter Transportprozess der gesamte Transportvorgang verstanden, der dafür notwendig ist, um ein Produkt bzw. Bauprodukt von einem Standort A zu einem Ort B zu befördern, einschließlich dem Anteil der Leerfahrten.

Tonnenkilometer: „Ein Tonnenkilometer ist ein Maß für die Beförderungsleistung von Gütern, die so genannte Transportleistung. Sie ist das Produkt aus der Summe der beförderten Tonnen und der transportierten Strecke ($t_{km} = t \times km$).“ [13]

Verkehr: Der Verkehr ist die Summe aller Ortsbewegungen von Personen und Gütern. [4]

Verkehrsträger: Sind Einrichtungen und Organisationen zur Durchführung von Gütertransporten. [6]

¹⁰<http://www.logistikwoerterbuch.or.at/> [Stand: 18.12.2008]

Wirkungsabschätzung: *„Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient“ [9]*

3.1 Transporte während der Lebensdauer eines Gebäudes

Der Lebensweg eines Gebäudes ist mit beträchtlichen Stoff- und Energieflüssen verbunden. Zur eindeutigen Identifizierung werden sämtliche am Lebensweg eines Gebäudes auftretenden Transporte in Anlehnung an die Gliederung nach CEN/TC 350 den einzelnen Lebenswegphasen wie folgt zugeordnet:

Lebenswegphase - Bauprodukterzeugung: Diese Phase beinhaltet die gesamten Transporte der Rohstoffe von der Gewinnung bis zum Bauprodukterzeuger. In dieser Phase sind auch Transporte aufbereiteter Baurestmassen vom Aufbereitungsort zum Bauprodukterzeuger enthalten.

Die Bilanzgrenze bildet das Werkstor des Erzeugers. Diese Transportaufwendungen sind in erster Linie bauproduktabhängig, da je nach Produktgruppe unterschiedliche Transportvorgänge erforderlich sind. Diese Transportprozesse sind in einzelnen Datenbanken bereits erfasst und finden bei der Ökobilanzierung von Bauprodukten Berücksichtigung („cradle to gate“- Bewertung).

Lebenswegphase - Gebäudeerrichtung: Zu dieser Phase des Lebensweges eines Gebäudes zählen sämtliche Transportaufwendungen, die für Bauprodukte zwischen Werkstor des Bauprodukterzeugers und der Baustelle erforderlich sind.

Je nach regionaler Verfügbarkeit der Baustoffe, der zur Verfügung stehenden Infrastruktur und der zur Verfügung stehenden Transportmittel, ergeben sich unterschiedliche Entfernungen beim Antransport der Bauprodukte zur Baustelle wodurch sich Ökobilanzierungen in dieser Phase des Lebensweges von Projekt zu Projekt erheblich unterscheiden. Auch ist der Umstand zu berücksichtigen, dass Bauprodukte vielfach durch Zwischenhändler vertrieben werden.

Transportaufwendungen zwischen Werkstor und Baustelle werden derzeit aufgrund meist mangelhaft vorliegender Daten bei der Ökobilanzierung von Bauprodukten nur unzureichend berücksichtigt.

Auch Baustellentransporte (z.B. Baustellentransporte durch Kräne) sind in dieser Phase des Lebensweges eines Gebäudes zu berücksichtigen. Aufgrund des geringen Anteils dieser Transporte im Vergleich zu Transporten zwischen Werkstor und Baustelle wird auf die in diesem Zusammenhang entstehenden Stoffströme nicht näher eingegangen.

Lebenswegphase - Nutzung: Diese Phase beinhaltet jeweilige Transporte, die mit der Instandhaltung und Instandsetzung verbunden sind.

Diese Transporte werden wie Baustellentransporte in der Errichtungsphase eines Gebäudes gesehen und daher nicht weiter untersucht.

Lebenswegphase - Rückbau - Beseitigung: In dieser Phase des Lebensweges eines Gebäudes sind sämtliche Transporte für den Rückbau des Gebäudes berücksichtigt. Dabei werden sowohl Transporte für Baurestmassen vom Gebäudestandort zum Entsorgungsort als auch Transporte zum Aufbereitungsort berücksichtigt.

Diese Transporte hängen erheblich von der jeweiligen Bauweise ab. Es werden beispielsweise bei einer Fertigteilbauweise des öfteren gesamte Bauteile demontiert, um sie in weiterer Folge wieder bei neuen Gebäuden zu verwenden, wie dies z.B. bei Leimbändern oder Betonfertigteilen der Fall sein kann. Diesen Vorgang bezeichnet man auch als „Remontage“. Den günstigsten Fall stellt eine Remontage unmittelbar im Bereich des demontierten Gebäudes dar. Dabei werden demontierte Bauteile nicht von der Baustelle transportiert sondern gleich wieder in das neu zu errichtende Gebäude integriert.

In anderen Fällen werden sämtliche Materialien entsorgt oder aufbereitet. Diese Vorgänge sind mit Transporten zur jeweiligen Entsorgungsstelle oder zum Aufbereitungsort verbunden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Transporte dieser Phase des Lebensweges eines Gebäudes stark von der jeweiligen Bauweise und dem Gebäudestandort abhängig sind.

Abschließend werden sämtliche Transportaufwendungen einzelner Lebenswegphasen zusammenfassend dargestellt.

Transporte während des Lebensweges eines Gebäudes			
Lebenswegphase → Bauprodukterzeugung	Lebenswegphase → Gebäudeerrichtung	Lebenswegphase → Nutzung	Lebenswegphase → Rückbau - Beseitigung
- Transporte der Rohstoffe von der Gewinnung zum Bauprodukterzeuger - Transporte aufbereiteter Baurestmassen zum Bauprodukterzeuger	- Transporte der Bauprodukte vom Werkstor des Bauprodukterzeugers zur Baustelle - Baustellenbezogene Transporte (Kräne, Dumper, etc.)	- Transporte, die mit der Instandhaltung, Instandsetzung, etc. verbunden sind	- Transporte der Baurestmassen vom Gebäudestandort zum Entsorgungsort - Transporte der Baurestmassen vom Gebäudestandort zum Aufbereitungsort

Abbildung 5: Transporte während des Lebensweges eines Gebäudes

3.2 Abgrenzung

Aufgrund der Komplexität im Zusammenhang mit der Berücksichtigung von Transportprozessen im Zuge der Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Bauprodukten ist eine zwingen-

de Abgrenzung vorzunehmen. Aufgrund der bisherigen Ausführungen ist festzustellen, dass im Besonderen Transportaufwendungen zwischen Werkstor und Baustelle bei der Ökobilanzierung von Bauprodukten derzeit noch unzureichend Berücksichtigung finden. Beispielsweise sind je nach Produkttyp und Art der Fertigung unterschiedliche Transportvorgänge erforderlich. Selbst innerhalb einzelner Produktgruppen sind erhebliche Unterschiede in den Transportwegen und Transportprozeesseigenschaften festzustellen. Als einer der möglichen Gründe kann an dieser Stelle die stark differenzierende regionale Verfügbarkeit einzelner Baustoffe angeführt werden.

4 Transportwege

4.1 Übersicht der Transportmöglichkeiten

Im Folgenden sind die verschiedenen Transportmöglichkeiten, unterteilt nach dem Transportweg, dargestellt.

- Landweg-Transporte: Straße, Schiene
- Wasserweg-Transporte: Binnenschifffahrt, Hochseeschifffahrt
- Luftweg-Transporte: Flugzeug, Hubschrauber

4.2 Landweg-Straße

Transporte von Bauprodukten über den Landweg-Straße werden in erster Linie mittels LKW durchgeführt. Beispielsweise war der Anteil von Gütertransporten - bezogen auf alle Wirtschaftszweige - mittels LKW im Jahr 2006 ca. 10 mal höher als jener der Bahn [14]. Im Bauwesen ist Aufteilung zwischen LKW-Transporten und Bahntransporten noch markanter.

Die Straße bietet infolge ihrer Verästelungsstruktur eine flächendeckende und weitreichende Verkehrsmöglichkeit von hoher Betriebsbereitschaft. Die meisten Baustellen sind über das Strassennetz erreichbar, im Falle von nicht erreichbaren Baustellen kann eine Anbindung mit meist geringem Aufwand hergestellt werden. Aus diesen Gründen können in den meisten Fällen Bauprodukttransporte direkt vom Werkstor zur Baustelle durchgeführt werden. Die direkte Transportmöglichkeit auf die Baustelle ist - mit Ausnahme weniger Bauvorhaben - durch andere Transportmittel nicht möglich. Aus den eben beschriebenen Gründen erfolgen Bauprodukttransporte derzeit in erster Linie über den Landweg-Straße. Der Schwerpunkt in der Projektbearbeitung wird deshalb auf LKW-Transporte gelegt.

4.3 Landweg-Schiene

Die Bahn ist wegen ihrer Spurgebundenheit ein Linienverkehrsmittel. Die damit verbundenen Möglichkeiten der Zugbildung haben den Vorteil, große Massen und Fördermengen (z.Bsp. Transport von Tunnelausbruchsmaterial) mit vergleichsweise wenig Kraft- und Personalaufwand zu transportieren. Je nach Lage der Baustelle kann auch die Straßenbahn für Transporte von Bauprodukten eingesetzt werden.

Der Transport per Bahn kann auf zwei Arten erfolgen:

- **direkter Bahntransport**

Hier wird das Material im Werk auf die Waggonen verladen und bis zur Baustelle mit der Bahn transportiert. Diese Transportmöglichkeit stellt aus den bereits eingangs erwähnten Gründen im Bauwesen derzeit die Ausnahme dar.

- **kombinierter Bahntransport**

Der kombinierte Bahntransport bezeichnet eine Transportkette, die Bahntransporte mit anderen Transportmitteln verbindet. Der Hauptanteil des Transportweges wird mit der Bahn zurückgelegt, der Vor- und/oder Nachlauf über ein weiteres Transportmittel (z.B. LKW) durchgeführt. Meist werden Güter in standardisierten Transporteinheiten (z.B. Container, Wechselbehälter oder Sattelaufleger) befördert, um sie direkt vom Primär- auf das Sekundärtransportmittel (oder umgekehrt) verladen zu können.

4.4 Wasserweg

Bei Transporten auf dem Wasserweg unterscheidet man zwischen Binnenschifffahrt und Hochseeschifffahrt. Die Gegebenheiten für die Schifffahrt sind regional sehr unterschiedlich. In Österreich kommt aufgrund der geographischen Gegebenheiten der Schifffahrt im Zusammenhang mit Bauprodukttransporten zwischen Werkstor und Baustelle eine untergeordnete Rolle zu und wird deshalb in dieser Studie nicht näher behandelt.

4.5 Luftweg

Transporte über dem Luftweg werden mit Flugzeugen oder Hubschraubern durchgeführt. Lufttransporte haben im Vergleich zu Transporten über dem Land- und Wasserweg eine viel geringere Bedeutung [15]. Weiters sind Lufttransporte sehr kostenintensiv und nicht für Volums- und Massengüter geeignet.

Der große Vorteil von Flugzeugtransporten liegt im überregionalen Bereich, wo Produkte innerhalb kurzer Zeit zum jeweiligen Ort transportiert werden können. Da jedoch Bauprodukte in erster Linie regional befördert werden, finden Flugzeugtransporte im Bauwesen keine Anwendung.

Transporte mit dem Hubschrauber werden bei unwegsamem Gelände wie beispielsweise im Gebirge, wo keine Straße vorhanden sind, durchgeführt. Deshalb kommen Hubschraubertransporte in Ausnahmefällen zur Anwendung.

Zusammenfassung der Transportmöglichkeiten:

Die Transportmöglichkeiten für Gütertransporte sind vielfältig, da sie über dem Land-, Wasser- und Luftweg durchgeführt werden können. Für Transporte von Bauprodukten wird im Normalfall der LKW, aufgrund seiner flächendeckenden Infrastruktur und hoher Betriebsbereitschaft verwendet.

5 Allgemeine und projektspezifische Transporteinflüsse

Allgemeine Transporteinflüsse beschreiben jene ökonomischen, ökologischen und sozialen Faktoren, die einen Transportprozess beeinflussen können. Eingangs sollen durch eine Kategorisierung der Transporteinflüsse in sechs Bereiche die multifaktoriellen Einflüsse eines Transportprozesses veranschaulicht werden.

6 Kategorien der Transporteinflüsse:

- Lage Werkstor - Baustelle (Entfernung, nutzbare Verkehrsinfrastruktur)
- Transportgut
- Transportmittel
- Kosten
- Transportzeitpunkt
- Soziale (Soziokulturelle) Aspekte

Da für Bauprodukttransporte in erster Linie der LKW zum Einsatz kommt, werden ökologische Faktoren, die auf LKW-Transporte basieren, nachfolgend detailliert erläutert.

5.1 „Lage Werkstor - Baustelle“

Diese Kategorie der Transporteinflüsse beschreibt jene Faktoren, die vom Standort des Produzenten und vom Standort der jeweiligen Baustelle abhängig sind. Der Einfluss kann sich von Bauvorhaben zu Bauvorhaben erheblich unterscheiden. Ein Überblick über die Vielzahl der Einflüsse ist in Abbildung 6 dargestellt. Dabei wird diese Kategorie in folgende Unterkategorien unterteilt:

- Entfernung Werkstor - Baustelle
- Nutzbare Verkehrsinfrastruktur zwischen Werkstor und Baustelle

5.1.1 Unterkategorie „Entfernung Werkstor - Baustelle“

Die Entfernung zwischen Werkstor und Baustelle hängt in erster Linie von der regionalen Verfügbarkeit der Baustoffe ab. Beispielsweise können Dämmstoff-, oder Ziegelproduzenten in der Nähe eines Bauvorhabens angesiedelt sein, und dadurch die jeweiligen Baustoffe mit verhältnismäßig geringem Transportaufwendungen bezogen werden. Für die Bewertung der

ökologischen Nachhaltigkeit von Transportprozessen hat die Entfernung zwischen Werkstor und Baustelle einen entscheidenden Einfluss, da die transportbedingten Umweltwirkungen annähernd proportional mit den gefahrenen Kilometern steigen.

5.1.2 Unterkategorie „Nutzbare Verkehrsinfrastruktur zwischen Werkstor und Baustelle“

Die nutzbare Verkehrsinfrastruktur ist vom Standort der Baustelle und dem Standort des Baustoffproduzenten abhängig. Die Benützung der Infrastruktur verursacht Aufwendungen für **Herstellung, Wartung und Betrieb sowie Entsorgung bzw. Rückbau der Infrastruktur**. Damit sind verschiedenen Umweltwirkungen verbunden, die sich in den unterschiedlichen Transportmöglichkeiten erheblich unterscheiden können.

Beim Transport über den Landweg-Straße ist zusätzlich eine Unterteilung in die einzelnen **Straßenkategorien** vorzunehmen (z.B.: Berücksichtigung von Unterschieden im Aufbau der Trag-schichten, Flächenbedarf je Kategorie).

Bei der Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Transportprozessen sind die Herstellung, der Betrieb und die Wartung sowie die Entsorgung bzw. der Rückbau der **Verkehrsausrüstung** und der **zugehörigen Infrastruktur** zu berücksichtigen. Zu der „Verkehrsausrüstung“ gehören beispielsweise Bodenmarkierungen, vertikale Leiteinrichtungen und Verkehrslichtsignaleinrichtungen. Unter „zugehörige Infrastruktur“ sind beispielsweise Kunstbauten wie Brücken- oder Tunnelbauwerke zu verstehen. Bei der Bewertung von Transportprozessen ist - im übertragenem Sinn - daher immer auf die topographischen Verhältnisse Rücksicht zu nehmen.

Weiters hängt der Einfluss „Infrastruktur“ bei der Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Transportprozessen vom Verkehrsaufkommen sowie vom jeweiligen Schädigungspotential durch das verwendete Transportmittel ab. Damit wird deutlich, dass der Einfluss der Infrastruktur von zahlreichen Faktoren abhängig ist.

Die nachstehende grafische Darstellung gibt einen Überblick über jene Faktoren, die für die Kategorie „Lage Werkstor - Baustelle“ maßgebend sind (siehe Abbildung 6).

5.2 „Transportgut“

Transporteinflüsse dieser Kategorie beschreiben jene Faktoren, die unmittelbar vom Transportgut abhängig sind, welches unterschiedliche Anforderungen an das Transportmittel stellt. Ein Überblick über die Einflussfaktoren, die dieser Kategorie zugeordnet wurden, wird zum Abschluss dargestellt.

Folgende Unterkategorien wurden für die Kategorie „Transportgut“ definiert:

- Beschaffenheit des Transportgutes
- Menge des Transportgutes
- Verfügbare Transportzeit
- Wert des Transportgutes

5.2.1 Unterkategorie „Beschaffenheit des Transportgutes“

In dieser Unterkategorie werden unter anderem die physischen Eigenschaften des Transportgutes berücksichtigt. Bauprodukte können demnach in fester, flüssiger oder gasförmiger Form vorliegen und damit den Transportprozess auf unterschiedliche Weise beeinflussen.

Weiters zu berücksichtigen ist die Art der Verpackung. Bauprodukte können beispielsweise in Containern, Mulden oder Silos transportiert werden. Weiters können Bauprodukte auf Paletten oder lose auf dem Transportmittel transportiert werden, wobei hier das Verpackungsgewicht von Bedeutung ist. Bauprodukte mit großen Abmessungen wie beispielsweise Leimbinder oder Fertigteile werden wiederum als Stückgut befördert. In diesem Fall hat die Beschaffenheit des Transportgutes einen Einfluss auf die Auslastung des Transportmittels.

5.2.2 Unterkategorie „Menge des Transportgutes“

Hier wird die Gesamtmenge des Transportgutes berücksichtigt, die von einem Bauprodukt und einem Produktionsstandort auf die Baustelle transportiert werden soll. Die Gesamtmenge der Güter ist entscheidend für die Transportmittelwahl. So kann sich bei größeren Transportmengen unter der Voraussetzung von Verfüg- und Erreichbarkeit der Transport per Bahn oder Schiff günstiger als der Transport per LKW erweisen.

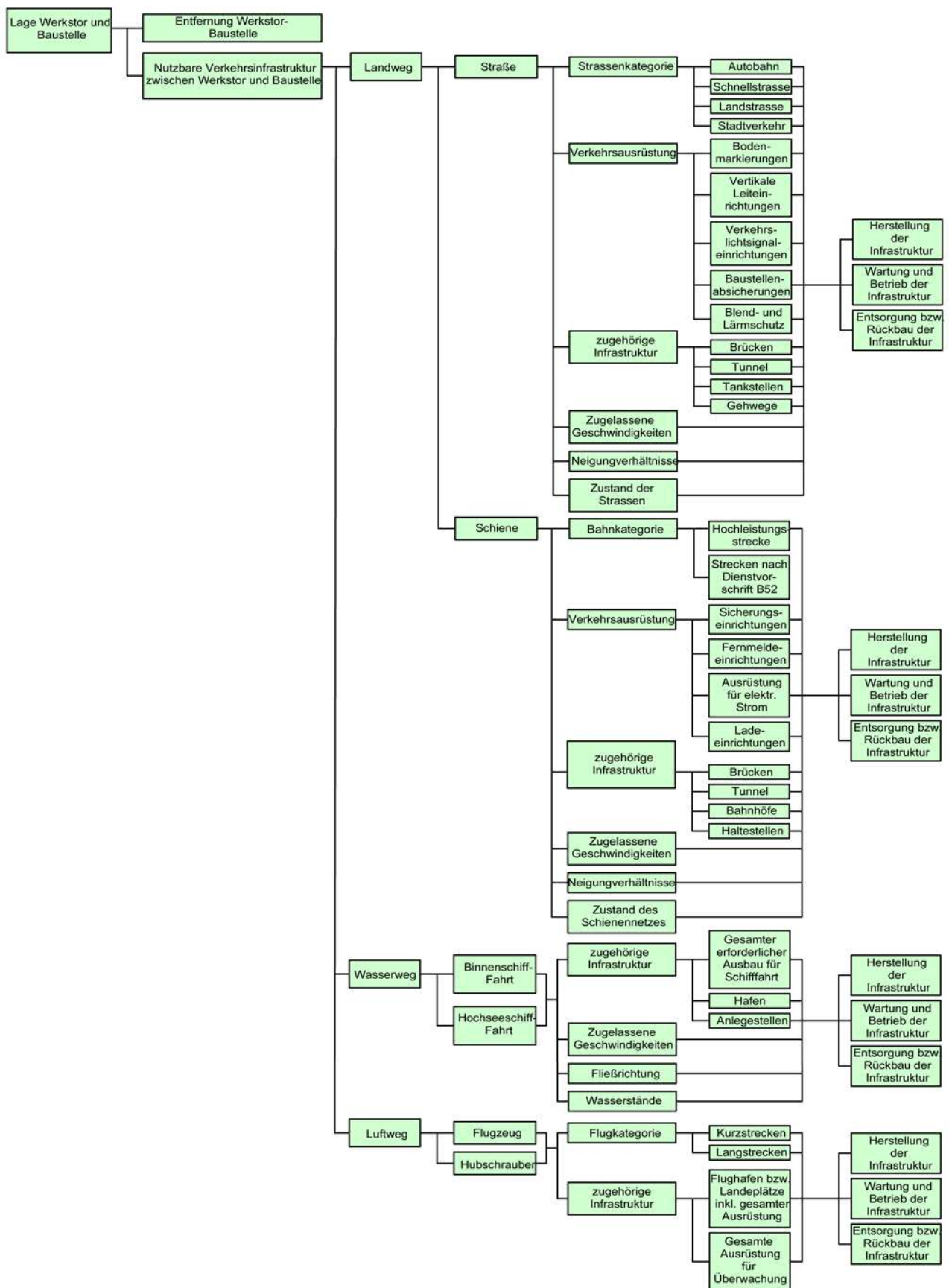


Abbildung 6: Einflussfaktoren der Kategorie „Lage Werkstor - Baustelle“

5.2.3 Unterkategorie „Verfügbare Transportzeit“

Dabei wird die maximal verfügbare Zeit berücksichtigt, die benötigt werden darf, um ein Produkt vom Werk auf die Baustelle zu transportieren. Beispielsweise muss ein Transportbeton innerhalb von 90 Minuten zur Baustelle geliefert und eingebracht werden. Aus diesem Grund erscheinen solche Transporte über Bahntransporte oder kombinierte Transporte im Hochbau in den meisten Fällen ungeeignet.

5.2.4 Unterkategorie „Wert des Transportgutes“

Der Wert des Transportgutes spielt bei der Auswahl des ökonomisch preiswertesten Transportmittels eine wichtige Rolle. Der Anteil der Transportkosten (Werkstor - Baustelle) gegenüber den Herstellungskosten eines Produktes ist für die Transportmittelwahl ausschlaggebend. Wenngleich der Wert eines Transportgutes für ökologische Betrachtungen keinen direkten Einfluss hat, so muss dieser Aspekt aufgrund der hohen Relevanz betreffend Transportmittelwahl berücksichtigt werden.

Die anschließende grafische Darstellung gibt einen Überblick über jene Faktoren, die der Kategorie „Lage Transportgut“ zugeordnet werden.

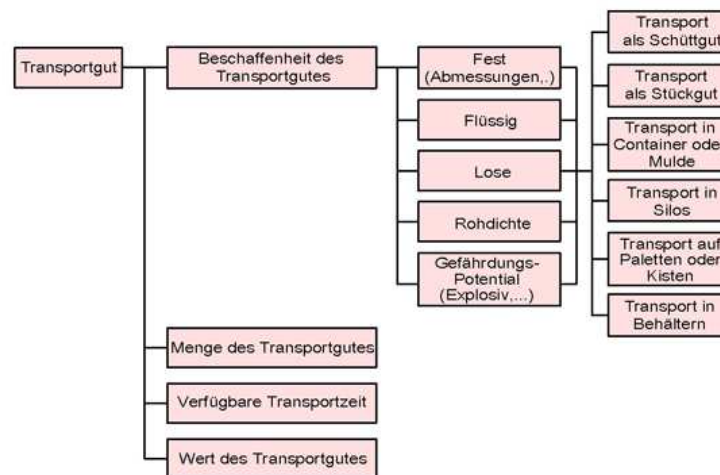


Abbildung 7: Einflussfaktoren der Kategorie „Transportgut“

5.3 „Transportmittel“

Die verschiedenen Transportmittel können sich in Ihren anteiligen Umweltwirkungen zwar erheblich unterscheiden. Dabei wurden für die Kategorie „Transportmittel“ folgende Unterkategorien definiert:

- Landweg
- Wasserweg
- Luftweg

Aufgrund der Dominanz des LKW bei Bauprodukt-Transporten, erfolgt für die weiteren Ausführungen eine Abgrenzung hin zu LKW-Transporten.

5.3.1 „Höchstzulässiges Gesamtgewicht“

Unter „Höchstzulässigem Gesamtgewicht“ versteht man das höchstzulässige Gewicht des fahrbereiten Fahrzeugs einschließlich der Nutzlast [11].

Das höchstzulässige Gesamtgewicht setzt sich aus Eigengewicht und maximalem Beladegewicht zusammen, wobei jedoch das Eigengewicht des LKW von der Art des Aufbaues (z.B. Ladekran) stark abhängt. Ebenso ist die Motorleistung vom höchstzulässigen Gesamtgewicht abhängig. Im Bauwesen werden in der Regel LKWs mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht bis rund 40 Tonnen eingesetzt.

5.3.2 Auslastung des Transportmittels

Definition: Darunter wird das Verhältnis der tatsächlichen Beladung zu der maximal möglichen Beladung in Prozenten verstanden. Wobei die maximal mögliche Beladung des Transportmittel einerseits aufgrund des maximalen Beladegewichtes oder andererseits aufgrund des maximalen Volumens bestimmt sein kann. Eine Auslastung des Transportmittels über 100% ist nicht möglich.

Ein LKW kann einerseits hinsichtlich des maximalen Beladegewichtes (Massengut) oder andererseits aufgrund des maximalen Beladevolumen (Volumsgut) ausgelastet sein. Da der Anteil der transportbedingten Umweltwirkungen pro Tonne Bauprodukt von der tatsächlichen Beladung direkt proportional abhängt, kann dieser Faktor einen maßgebenden Anteil haben. In der nachfolgenden Abbildung werden die Begriffe Massengut und Volumsgut definiert.

5.3.3 Auslastung des Transportprozesses

Definition: Darunter wird das Verhältnis der tatsächlich gefahrenen Kilometer zu der minimal nötigen Kilometerleistung in Prozenten verstanden, um ein Produkt von einem Ort A zu einem Ort B zu befördern. Eine Auslastung des Transportprozesses über 100% ist nicht möglich.

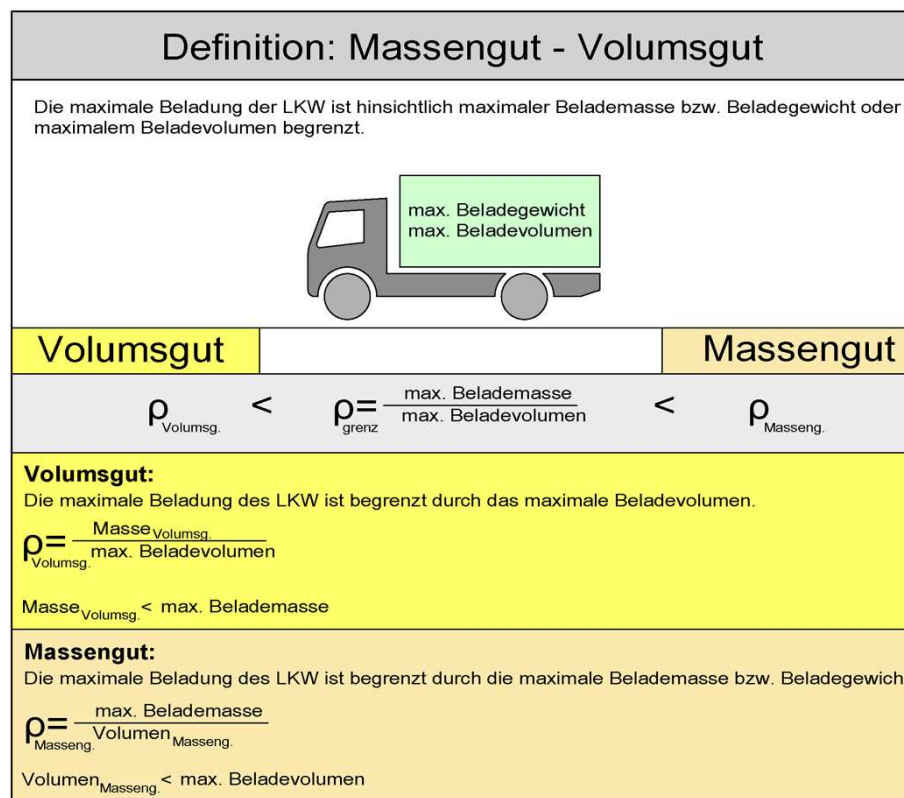


Abbildung 8: Definition: Massengut - Volumsgut

Die Auslastung des Transportprozesses gibt die anteiligen Leerfahrten an. Der Auslastungsgrad des Transportprozesses ist bei der Ökobilanzierung von Transportprozessen unbedingt zu berücksichtigen. Üblicherweise ist mit einer Spedition ein höherer Auslastungsfaktor des Transportprozesses als mit einem eigenen Fuhrpark zu erreichen. Speditionen haben die Möglichkeit, ein Produkt zu befördern und anschließend gleich zur nächstgelegenen Firma weiter zu fahren. Bei einem eigenen Fuhrpark fahren die LKW in der Regel wieder leer retour, dadurch ist der Anteil der Leerfahrten erheblich höher.

Weiters ist eine Vielzahl von Transportmitteln für bauproduktspezifische Anforderungen ausgelegt und diese können deshalb keine anderen Bauprodukte befördern. Dies hat eine schlechtere Auslastung des Transportprozesses zur Folge. Beispielsweise fährt ein Betonmischer in der Regel immer leer zum Werk zurück, da er ausschließlich für Transportbeton ausgelegt ist.

Eine nähere Erläuterung bezüglich der Auslastung des Transportprozesses erfolgt anhand der nachfolgenden Abbildung.

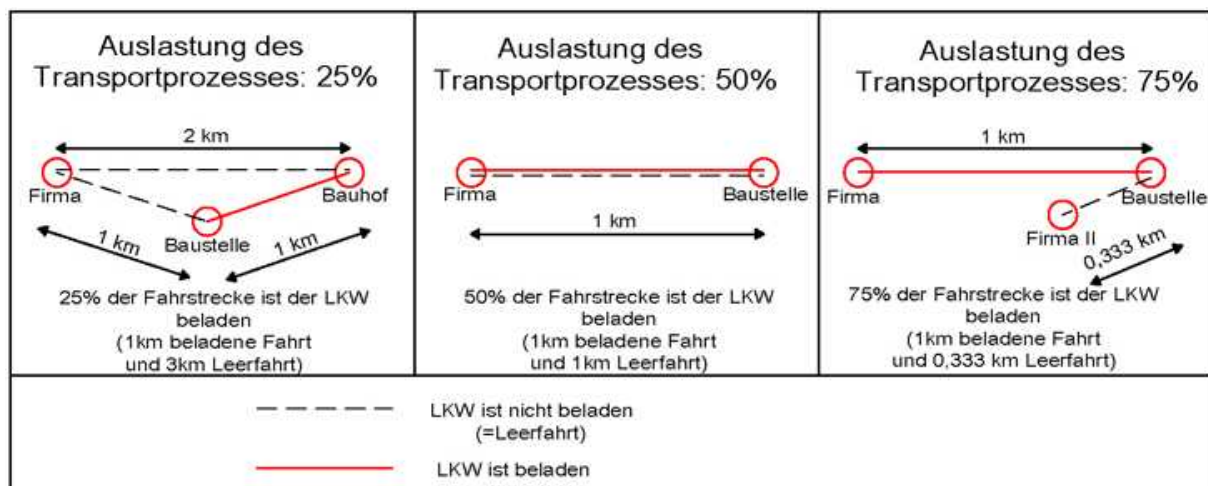


Abbildung 9: Erläuterung „Auslastung Transportprozesse“

5.3.4 EURO-Klassen

Die jeweilige EURO-Klasse des LKW beschreibt die Emissionsgrenzwerte und ist bei der Berechnung der transportbedingten Umweltwirkungen zu berücksichtigen.

Die Emissionsgrenzwerte sind in den europäischen Abgasnormen „EURO 1 bis 5“ geregelt und klassifizieren die Fahrzeuge in Schadstoffklassen.

In Tabelle 1 sind die Grenzwerte einzelner Klassen dargestellt. Die Charakteristika einzelner EURO-Klassen lassen sich aus dieser Tabelle ableiten.¹¹

	1990	1993	1996	2001	2006	2009	2014*
	EURO 0	EURO I	EURO II	EURO III	EURO IV	EURO V	EURO VI
HC	2,60	1,23	1,10	0,66	0,46	0,46	0,13
CO	12,30	4,90	4,00	2,10	1,50	1,50	1,50
NO _x	15,80	9,00	7,00	5,00	3,50	2,00	0,40
Ruß	-	0,40	0,15	0,10	0,03	0,03	0,01

Tabelle 1: Emissionsgrenzwerte für Dieselmotoren (Straße) in g/kwh[1]

¹¹<http://www.dietransporteure.at> [Stand: 09.12.2008]

5.3.5 Herstellung, Betrieb und Wartung sowie Entsorgung des Transportmittels

Die Herstellung, der Betrieb und die Wartung sowie die Entsorgung des Transportmittels sind mit erheblichen Stoff- und Energieflüssen verbunden. Besonders der Treibstoffverbrauch für den Betrieb des LKW stellt einen signifikanten Einfluss dar. Die Umweltwirkungen infolge Betrieb sind vom jeweiligen Transportmittel abhängig, und können sich erheblich unterscheiden.

Die folgenden grafischen Darstellungen geben einen Überblick über jene Faktoren, die der Kategorie „Transportmittel“ zugewiesen wurden. (siehe Abbildung 10 und 11)

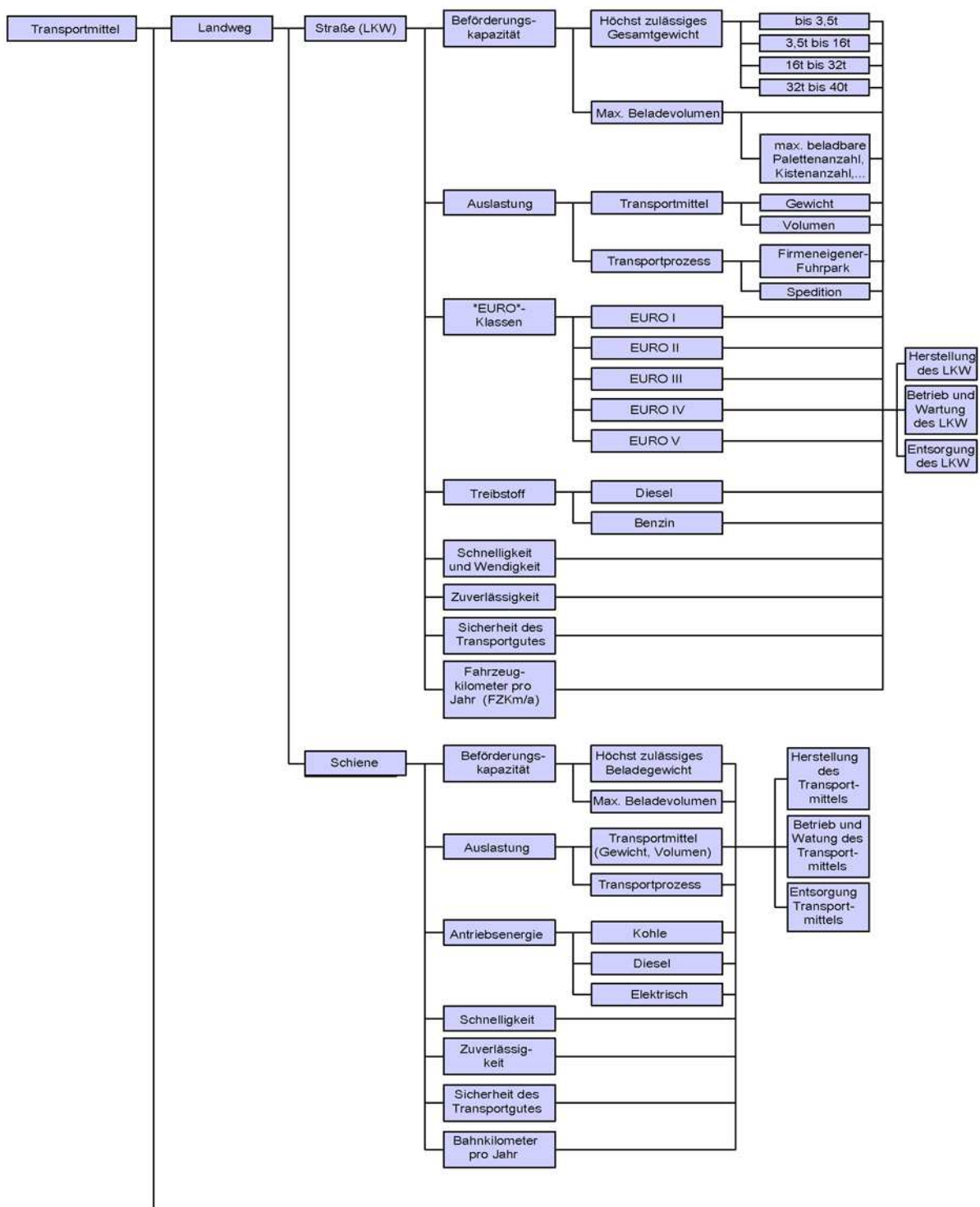


Abbildung 10: Einflussfaktoren der Kategorie „Transportmittel“ Teil: 1

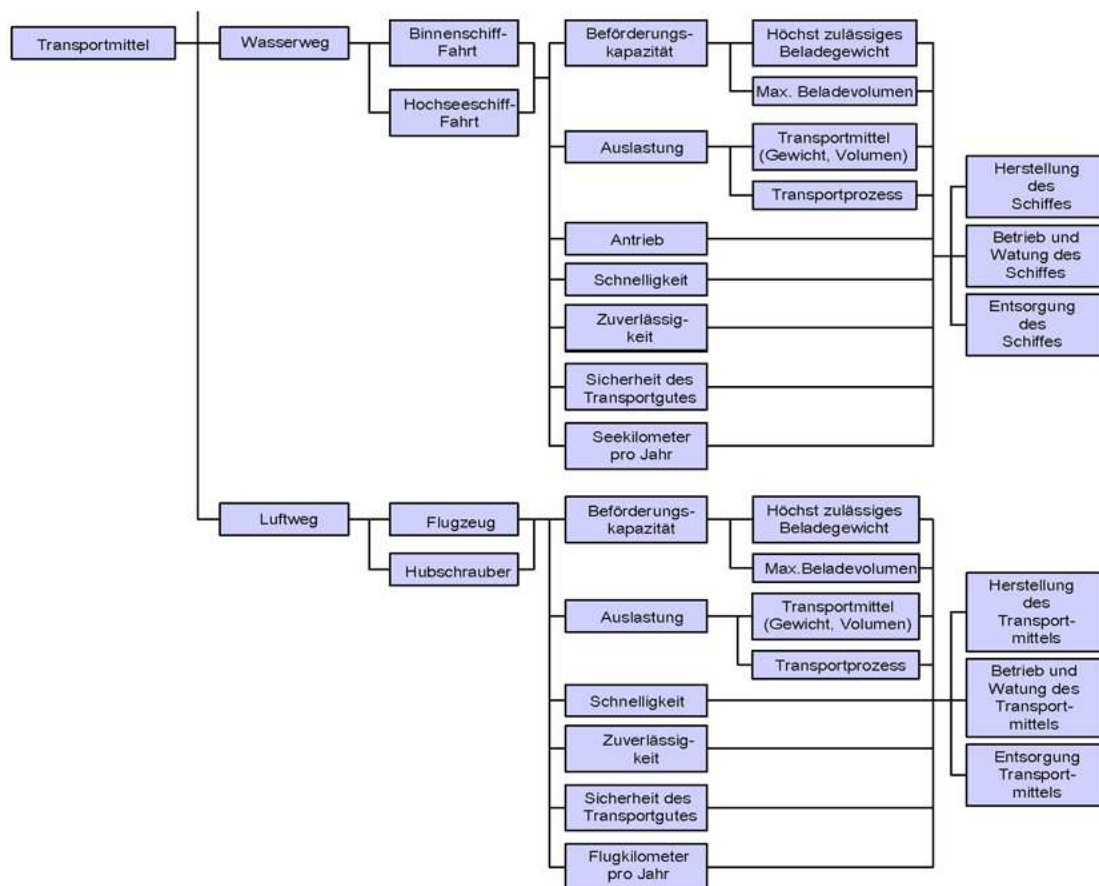


Abbildung 11: Einflussfaktoren der Kategorie „Transportmittel“ Teil: 2

5.4 „Kosten“

Kosten bzw. wirtschaftliche Aspekte sind oft mitentscheidend, von welchem Hersteller ein Produkt bezogen wird. Wirtschaftlicher Aspekte beeinflussen den Transportweg und damit das Ausmaß der Umweltwirkungen, da sich oft weit entfernte Hersteller gesamtwirtschaftlich günstiger darstellen als die Hersteller vor Ort. Auch die Transportmittelwahl wird von wirtschaftlichen Faktoren beeinflusst. Dazu wurden nachstehende Unterkategorien definiert:

Unterkategorien der Kategorie „Kosten“:

- Kosten des Transportmittels
- Kosten der notwendigen Infrastruktur
- Kosten durch Transportprozesse
- Kosten für Sondertransporte
- Maut, Zoll

Die nachstehende grafische Darstellung gibt einen Überblick über die Faktoren der Kategorie „Kosten“.

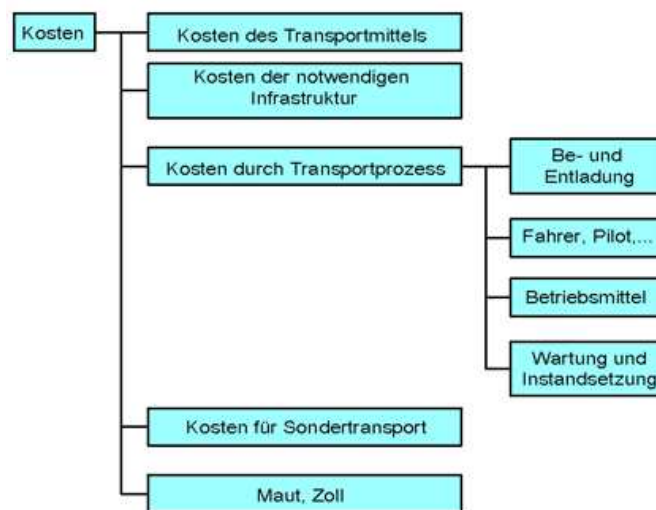


Abbildung 12: Einflussfaktoren der Kategorie „Kosten“

5.5 „Transportzeitpunkt“

Auch der Zeitpunkt, zu dem Transportprozesse durchgeführt werden, ist für eine ganzheitliche Berücksichtigung von Umweltwirkungen bei Transportprozessen von Bedeutung.

Folgende Unterkategorien wurden für die Kategorie „Transportzeitpunkt“ definiert:

- Verkehr
- Jahreszeitliche Saison
- Witterungsverhältnisse

Transporte können beispielsweise durch Verkehrsstaus, Baustellen oder zu den verkehrsinintensiven Morgen- und Abendstunden beeinflusst werden. Auch unvorhersehbare Einflüsse wie Verkehrsunfälle oder schwierige Fahrverhältnisse infolge sich ändernder Witterungsverhältnisse können Transportprozesse und damit die Umweltwirkungen, die durch den Transportprozess hervorgerufen werden, beeinflussen. In der Praxis scheint Bewertung der Kategorie „Transportzeitpunkt“ aufgrund der multifaktoriellen und wohl zumeist auf Prognosen beruhenden Daten eher unwahrscheinlich.

Abschließend sind die Einflussfaktoren der Kategorie „Transportzeitpunkt“ dargestellt.

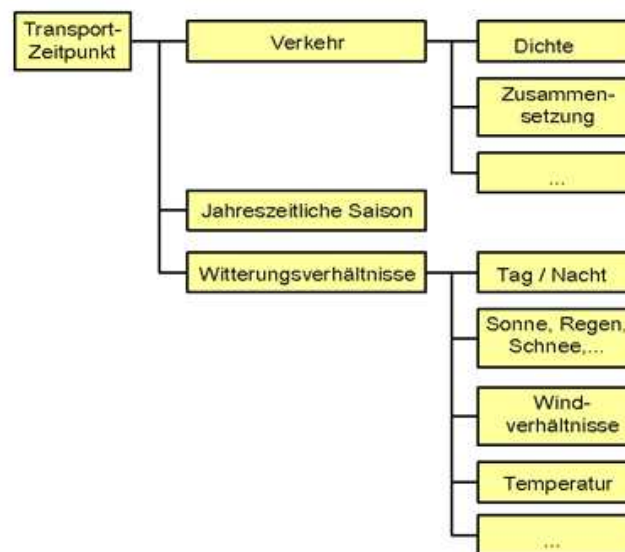


Abbildung 13: Einflussfaktoren der Kategorie „Transportzeitpunkt“

5.6 „Soziale Aspekte“

Auch der Mensch selbst kann den Transportprozess von Bauprodukten beeinflussen, wobei hier folgende Unterkategorien definiert werden:

- Fahrverhalten
- Unfallhäufigkeit
- Diverse Kontrolltätigkeiten (Reifendruck, Ölstand, etc.)

Transportbedingte Umweltwirkungen können durch das Fahrverhalten des LKW-Fahrers beeinflusst werden, da sich das Fahrverhalten auf den Treibstoffverbrauch und folglich auf die Umweltwirkungen des Transportprozesses auswirkt.

Werden die laufend durchzuführenden Kontrolltätigkeiten am Transportmittel vernachlässigt, kann sich dieser Umstand nachteilig auf die Umweltbelastung eines Transportprozesses auswirken. Beispielsweise beeinflusst der Reifendruck den Fahrwiderstand. Bei falschem Reifendruck entstehen neben dem negativen Primäreffekt des höheren Treibstoffverbrauchs auch größere transportbedingte Umweltwirkungen.

Nachfolgend werden jene Faktoren aufgezeigt, die der Kategorie „Soziale Aspekte“ zugeteilt werden.

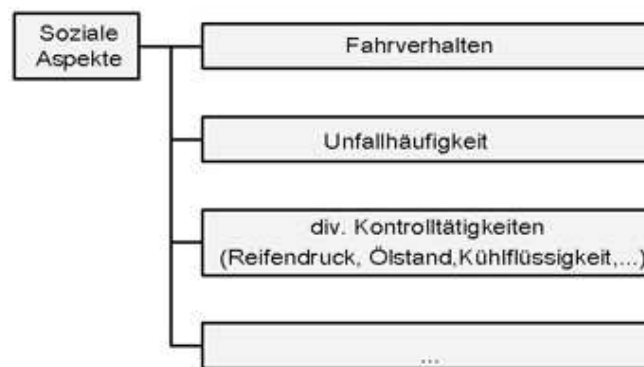


Abbildung 14: Einflussfaktoren der Kategorie „Soziale Aspekte“

Zusammenfassung:

Die eben beschriebenen vielfältigen Einflussfaktoren von Transportprozessen lassen den Bearbeitungs-/Bewertungsaufwand erahnen, der mit einer umfangreichen und ganzheitlichen Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit eines Transportprozesses verbunden ist. Daher soll im nächsten Arbeitsschritt eine Abgrenzung von den eben beschriebenen allgemeinen Einflussfaktoren hin zu sogenannten „projektrelevanten“ Einflussfaktoren vorgenommen werden.

5.7 Projektrelevante Transporteinflüsse

Mit der Abgrenzung zu projektrelevanten Transporteinflüssen werden nunmehr jene Einflussfaktoren berücksichtigt, die Umweltwirkungen hervorrufen können. Dabei werden ausschließlich Faktoren berücksichtigt, die nach ökologischen Gesichtspunkten relevant sind. Da im gegenständlichen Projekt vorwiegend Transportprozesse zwischen Werkstor und Baustelle untersucht werden sollen, erfolgt eine weitere Abgrenzung des Transportmittels hin zu LKW-Transporten. Alle im Projekt berücksichtigten Faktoren werden jedenfalls unter dem Begriff „projektrelevante Transporteinflüsse“ geführt und sind in der nachfolgenden Abbildung 15 dargestellt.

Übersicht über projektrelevante Transporteinflüsse		
Kategorien	projektrelevante Transporteinflüsse	inkludierte Einflüsse
Kategorie → Lage Werkstor - Baustelle	▶ Entfernung Werkstor - Baustelle (km)	
	▶ Herstellung der Straßen	abhängig von: - Straßenkategorie - Verkehrsausrüstung - zugehörige Infrastruktur - Neigungsverhältnisse
	▶ Wartung und Betrieb der Straßen	
	▶ Entsorgung bzw. Rückbau der Straßen	
Kategorie → Transportgut	Aus dieser Kategorie werden keine Transporteinflüsse gesondert betrachtet, da diese indirekt mit der Kategorie „Transportmittel“ abgedeckt werden.	
Kategorie → Transportmittel	▶ Herstellung des LKW	abhängig von: - höchstzulässiges Gesamtgewicht
	▶ Entsorgung des LKW	
	▶ Wartung und Betrieb des LKW	
	■ höchstzulässiges Gesamtgewicht	
	■ Auslastung Transportmittel - Volumen	
	■ Auslastung Transportmittel - Gewicht	
	■ Auslastung Transportprozess	
	■ EURO - Klasse	
■ Dieserverbrauch		

Abbildung 15: Übersicht über projektrelevanter Transporteinflüsse

6 Dokumentation bestehender Datenbanken

Transportprozesse stellen aufgrund der massenintensiven Stoffflüsse im Bauwesen eine wesentliche Umweltbelastung dar. Die Berechnung von Umweltwirkungen erfordert das Vorliegen von ökologischen Kennwerten. Die Berechnung dieser Kennwerte erfordert wiederum eine genaue Festlegung der Systemgrenzen und der jeweiligen Einflussfaktoren eines Transportprozesses. Aus diesem Grund ist es bei der Verwendung von Sachbilanzdaten unterschiedlicher Herkunft zwingend erforderlich, die Bilanzierungs- und Rechenmodi jener Transportmodelle zu hinterfragen, die bei der Ermittlung der Sachbilanzdaten zu Grunde gelegt wurden. Im Folgenden erfolgt eine Kurzbeschreibung dieser Datenbanken, um in weiterer Folge die Eignung der einzelnen Datenbanken für die Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Transportprozessen zu untersuchen.

6.1 Ecoinvent

Das Ecoinvent Zentrum (Schweizer Zentrum für Ökoinventare) hat verschiedene Datenbanken zusammengeführt und überarbeitet. Diese Datenbank wurde 2003 erstmals veröffentlicht. Insgesamt sind in dieser Datenbank rund 4000 Datensätze aus folgenden Bereichen abrufbar.

Bereiche von Ecoinvent:

- Energie
- Transport
- Entsorgung
- Bauwesen
- Material- und Chemikalienherstellung
- Biotreibstoffe und -materialien
- Informations- und Kommunikationstechnologie
- Elektronik
- Maschinenindustrie
- Papierindustrie
- Landwirtschaft

Die Ecoinvent-Datensätze sind untereinander verknüpft. Jeder Datensatz besteht wiederum aus verschiedenen Unterdatensätzen. Die Zusammensetzung bzw. der Aufbau der Datensätze ist in Ecoinvent übersichtlich dokumentiert. Auf die Genauigkeit der in Ecoinvent bilanzierten Transportprozesse wird später noch näher eingegangen.

Folgende Transporteinflüsse werden in der Ecoinvent-Datenbank bei LKW-Transporten berücksichtigt [13]:

Fahrzeugklassen: Für die Berücksichtigung des höchstzulässigen Gesamtgewichtes erfolgt hier eine Einteilung aller LKW-Transporte nach dem höchstzulässigen Gesamtgewicht in vier Gruppen. Eine genaue Berücksichtigung des höchstzulässigen Gesamtgewichts ist jedoch nicht möglich.

EURO- Klassen: Ecoinvent stellt hier Datensätze für die Klassen EURO 3 bis EURO 5 bereit. Ein weiterer Datensatz beinhaltet einen Mix aller EURO-Klassen, der einen Durchschnittswert für europäische Verhältnisse widerspiegelt. Datensätze zu Euro-Klassen 1 und 2 sind in Ecoinvent nicht erfasst.

Kraftstoffverbrauch: Hier wird der Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit der jeweiligen Fahrzeugklasse berücksichtigt. Für die Berechnung werden hier Datensätze mit Angaben durchschnittlicher Treibstoffverbräuche bereitgestellt.

Auslastung des Transportmittels: Ecoinvent berücksichtigt ein durchschnittliches Beladegewicht in der jeweiligen Fahrzeugklasse. Dabei erfolgt keine Unterscheidung zwischen Volums- und Massengut.

Auslastung des Transportprozesses: Hier wird eine durchschnittliche Transportprozessauslastung berücksichtigt, wobei sich die Transportprozessauslastung zwischen den jeweiligen Fahrzeugklassen unterscheiden kann. Eine davon abweichende Auslastung kann mit Ecoinvent nicht berücksichtigt werden.

Infrastruktur: Ecoinvent berücksichtigt die Herstellung, Betrieb, Wartung und Entsorgung bzw. Rückbau der Infrastruktur. Es wird ein Durchschnittswert für europäische Verhältnisse herangezogen. Die Allokation der Infrastruktur erfolgt nach Verkehrskilometer (vkm) oder nach Großtonnenkilometer (Gtkm).

Transportmittel: In der Ecoinvent-Datenbank werden weitere Prozesse, wie die Herstellung und Entsorgung des Transportmittels mitbilanziert. Die dafür notwendigen Daten wurden von der Firma MAN übernommen.

6.2 Gemis (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme)

Die Basisversion von GEMIS wurde als Instrument zur vergleichenden Analyse von Umwelteffekten der Energiebereitstellung und -nutzung vom Öko-Institut und der Gesamthochschule Kassel (GhK) in den Jahren 1987-1989 entwickelt und bis heute kontinuierlich weiterentwickelt. GEMIS berechnet für alle Prozesse und Szenarien sogenannte Lebenszyklen, wobei von der Primärenergie (Rohstoffgewinnung) bis zu der Nutzenergie (Stoffbereitstellung) alle wesentlichen Prozessschritte bei der Erfassung der einzelnen Umweltwirkungen berücksichtigt werden. Weiters werden auch Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen sowie Transportsysteme berücksichtigt.

Die GEMIS-Datenbasis enthält Informationen zu ¹²:

- Bereitstellung von Energieträgern,
- Bereitstellung von Wärme und Strom,
- Bereitstellung von Stoffen,
- Transportprozessen: Personenkraftwagen (für Benzin, Diesel, Strom, Biokraftstoffe), Öffentliche Verkehrsmittel (Bus, Bahn) und Flugzeuge sowie Gütertransport (Lastkraftwagen, Bahn, Schiffe und Pipelines)
- Kenndaten zu Nutzungsgrad, Leistung, Auslastung, Lebensdauer
- direkte Luftschadstoffemissionen (SO₂, NO_x, Halogene, etc.)
- Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄, N₂O, etc.)
- feste Reststoffe (Asche, Entschwefelungsprodukte, Klärschlamm, Produktionsabfall, Abraum)
- flüssige Reststoffe
- Flächenbedarf

6.3 GaBi 4

Das Softwaresystem GaBi 4 ist ein Werkzeug zur Erstellung von Lebenszyklusbilanzen und bietet Lösungen für ökologische, ökonomische, soziale und technische Fragestellungen.

Anwendungsbereiche von GaBi 4 ¹³:

- Treibhausgasbilanzen
- Ökobilanzen nach DIN ISO 14040
- Design for Environment (DfE)
- Untersuchungen zur Energieeffizienz
- Stoffstromanalysen
- Firmenökobilanzen
- Umweltreporting
- Entwicklung nachhaltiger Produktsysteme
- Risikomanagement
- Total Cost Accounting

¹²<http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm> [Stand: 08.10.2008]

¹³<http://www.gabi-software.com> [Stand: 08.10.2008]

6.4 TREMOD (Transport Emission Estimation Model)

TREMOD dient zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr. In dieser Datenbank werden Personenverkehrsträger wie PKW, motorisierte Zweiräder, Busse, Bahn und Flugzeuge erfasst. Weiters werden für den Güterverkehr LKW, Bahn und Schiffe erfasst. Die Basisdaten reichen von Fahr-, Verkehrsleistungen und Auslastungsgraden bis zu den spezifischen Energieverbräuchen und den Emissionsfaktoren.

Als Emissionen werden Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe (differenziert nach Methan und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen) sowie Benzol, Kohlenmonoxid, Partikel, Ammoniak, Distickstoffoxid, Kohlendioxid und Schwefeldioxid erfasst. Bilanziert werden die direkten Emissionen einschließlich der Verdunstungsemissionen und Emissionen aus Vorprozessketten.¹⁴

6.5 Eco TransIT (Ecological Transport Information Toll)

Die Online-Anwendung Eco TransIT berechnet die Umweltauswirkungen von Transporten. Dabei werden die direkten Emissionen, wie Kohlendioxid, Energieverbrauch, Stickoxide, Kohlenwasserstoff, Russpartikel und Schwefeldioxid pro Transport ermittelt. Dieses Ergebnis kann dann mit anderen Verkehrsträgern verglichen werden. In dieser Datenbank werden Straßen-, Bahn-, Schiffs-, und Lufttransporte angeführt. Mit berücksichtigt werden unter anderem die Topographie eines Landes und die Art des Treibstoffs. Nicht bilanziert werden die Herstellung, Wartung und Entsorgung des Transportmittels sowie Infrastrukturanteile.¹⁵

6.6 Umberto

Umberto dient zur Modellierung, Berechnung und Visualisierung von Stoff- und Energieflüssen. Die Datenbank wird u.a. eingesetzt um Prozesssysteme zu analysieren und zu optimieren. Die Ergebnisse können nach ökologischen und ökonomischen Kriterien ausgewertet werden. Dadurch können Vergleiche zwischen Technologievarianten durchgeführt werden.

6.7 SimaPro

Die LCA-Software SimaPro dient zur Ermittlung von Umweltwirkungen von verschiedenen Prozessen und verwendet neben Standard-Bewertungsmethoden wie Ecopoints oder Eco-Indicator auch selbstdefinierte Bewertungsmethoden. Mit dieser Software können Produkte

¹⁴<http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/index.htm> [Stand: 08.10.2008]

¹⁵<http://www.ecotransit.org/> [Stand: 08.10.2008]

analysiert und verglichen werden, weshalb SimaPro in erster Linie für die Produktentwicklung und für die Produktbewertung eingesetzt wird.¹⁶

¹⁶<http://www.ecodesign.at/methodik/software/index.de.html> [Stand: 08.10.2008]

7 Dominanzanalyse und Festlegung der Systemgrenze

Die Systemgrenze dient zur Festlegung, welche Prozessmodule bei der Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen berücksichtigt werden sollen. Für die Festlegung der Systemgrenzen werden zunächst die anteiligen Umweltwirkungen aus Betrieb, Infrastruktur und Transportmittel identifiziert. Dabei stellt sich die Frage, ob sämtliche Umweltwirkungen aus Infrastruktur und Transportmittel (Herstellung und Entsorgung) berücksichtigt werden müssen, oder ob bereits die Berücksichtigung der Umweltwirkungen aus dem Betrieb des LKW eine ausreichende Genauigkeit und damit aussagekräftige Ergebnisse liefert. Dafür werden die anteiligen Umweltwirkungen mittels einer Dominanzanalyse anhand der Datenbank von Ecoinvent abgeschätzt und anschließend die Systemgrenze festgelegt.

7.1 Dominanzanalyse - 40 t LKW

Die Dominanzanalyse dient zur Abschätzung anteiliger Umweltwirkungen. Dabei folgt eine Zuordnung der Umweltwirkungen zu folgenden Bereichen:

- Betrieb und Wartung des LKW
- Infrastrukturanteile
- Herstellung und Entsorgung des LKW

In Abbildung 16 werden die prozentualen Anteile von Betrieb und Wartung des LKW, Infrastrukturanteile sowie Herstellung und Entsorgung des LKW anhand ausgewählter Wirkungskategorien dargestellt. Für die Bezugseinheit der Darstellung wird die Einheit Tonnenkilometer (tkm) gewählt.

Der LKW (Herstellung und Entsorgung) und die gesamte Infrastruktur haben in den Wirkungskategorien „Klimaänderung (GWP), Versauerung (AP)“ und „Eutrophierung (EP)“ einen Anteil von rund 10% am jeweiligen Indikatorergebnis. In den Wirkungskategorien „Stratosphärischer Ozonabbau (ODP), Sommersmog (POCP)“ und „Kumulierter Energieaufwand¹⁷ nicht erneuerbar (ER nr)“ beträgt der Anteil von Infrastruktur und Transportmittel rund 20%. In der Wirkungskategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ ist der Anteil von Infrastruktur und Transportmittel noch erheblich höher. Die Infrastruktur hat ungefähr einen Anteil von rund 60% und das Transportmittel rund 15% vom Indikatorwert. Dies ist auf den großen Stromverbrauch bei Ampeln, Lüftungen (Tunnel), etc. zurückzuführen.

¹⁷Die Bezeichnung *Wirkungskategorie* ist für den Kumulierten Energieaufwand (e, ne), auch als Primär Energie (PE e, ne) bezeichnet, streng genommen nicht ganz korrekt, da es sich bei diesen Indikatoren um einen Bestandteil der Sachbilanz und nicht der Wirkungsabschätzung nach ÖNORM EN ISO 14040 handelt.

Die Dominanzanalyse zeigt, daß anteilige Umweltwirkungen, die durch die Infrastruktur und durch die Herstellung bzw. Entsorgung des Transportmittels entstehen, nicht vernachlässigt werden dürfen.

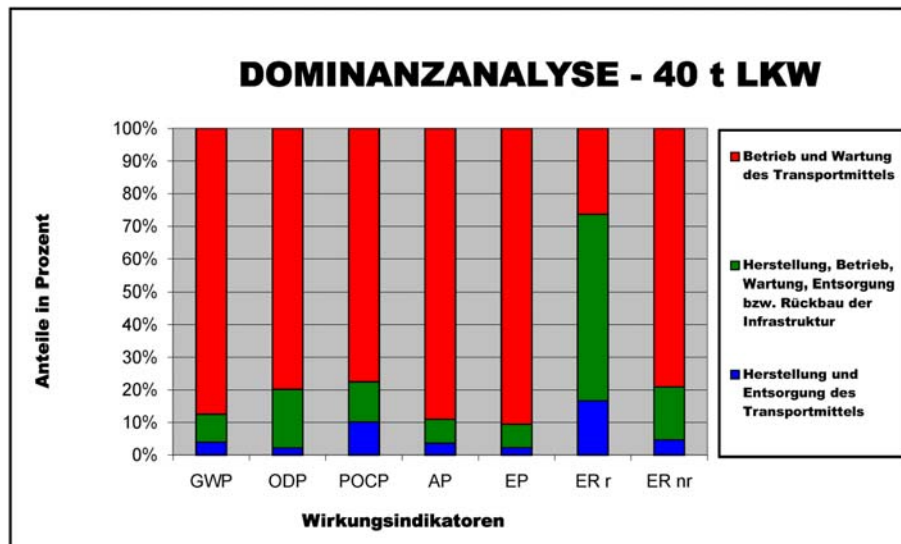


Abbildung 16: Dominanzanalyse - 40 t LKW

7.2 Festlegung der Systemgrenze

Aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten Dominanzanalyse wird der Anteil der Umweltwirkungen aus Infrastruktur und Transportmittel nicht abgegrenzt. Die Systemgrenze umfasst somit folgende Prozesse:

- Betrieb: Betrieb und Wartung des LKW
- Infrastruktur: Herstellung, Betrieb, Wartung, Entsorgung bzw. Rückbau der Straßen
- Transportmittel: Herstellung und Entsorgung des LKW

8 Auswahl der Datenbank

8.1 Auswahlkriterien

Zur Auswahl einer geeigneten Datenbank werden folgende Kriterien festgelegt:

Vollständigkeit: Dabei wird überprüft, ob bei der Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen auch die Bereiche von Infrastruktur und Transportmittel mitbilanziert werden. Dadurch wird eine Übereinstimmung der jeweiligen Datenbank mit der vorher definierten Systemgrenze überprüft.

Dokumentation: Weiters wird bei der Auswahl der Datenbank überprüft, ob die Datenbank für weitere Untersuchungen eine getrennte Betrachtung der Anteile von Infrastruktur, Transportmittel und Betrieb zulässt.

Ausgabe von Indikatorergebnissen gemäß ÖNORM EN ISO 14040: Dabei wird überprüft, ob direkte Umweltwirkungen oder Indikatorwerte gemäß ÖNORM EN ISO 14040:2006 ausgegeben werden. Für eine Ökobilanzierung können ausschließlich Indikatorwerte herangezogen werden.

Zugänglichkeit: Abschließendes Kriterium bilden die anfallenden Kosten bei Verwendung der jeweiligen Datenbank.

Anhand der angeführten Auswahlkriterien wird in der folgenden Abbildung die Auswahl der Datenbank dargestellt:

		ECOINVENT	GEMIS	GABI 4	TREMOD	ECOTRANSIT	UMBERTO	SIMA PRO
Auswahl- Kriterien	Vollständigkeit	ja	nein	ja	nein	nein	ja	ja
	Dokumentation	detailliert	allgemein	allgemein	allgemein	allgemein	allgemein	allgemein
	Ausgabe von Indikatorerg.	ja	teilweise	ja	nein	nein	ja	ja
	Zugänglichkeit	kostenpflichtig	frei	kostenpflichtig	frei	frei	kostenpflichtig	kostenpflichtig
	Auswahl	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein

Abbildung 17: Auswahl der Datenbank

Es wird die Ecoinvent-Datenbank ausgewählt, da diese einerseits als einzige Datenbank eine detaillierte Dokumentation der Indikatorergebnisse liefert und andererseits alle sonstigen gestellten Anforderungen erfüllt.

Für die weiteren Berechnungen wird nun ausschließlich diese Datenbank herangezogen. In Ecoinvent werden alle Prozesse ausführlich dokumentiert und im XML-basierten Austauschformat EcoSpold bereitgestellt. Sie können in Microsoft Excel betrachtet, weiterverarbeitet und für die Ökobilanzierung eingesetzt werden.

8.2 Zusammenfassung

Für die Festlegung der Systemgrenze zur Berücksichtigung von Transportprozessen wurde zunächst eine Dominanzanalyse zur Abschätzung anteiliger Umweltwirkungen in Anwendung an einem 40 t-LKW durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass neben den Umweltwirkungen aus dem Betrieb des LKW, die durch Infrastruktur und Transportmittel hervorgerufenen Umweltwirkungen nicht vernachlässigt werden dürfen. Die Prüfung der einzelnen Datenbanken ergab, dass die Ecoinvent-Datenbank des Schweizer Zentrums für Ökoinventare als einzige Datenbank eine detaillierte, nachvollziehbare Dokumentation der Indikatorergebnisse liefert und alle sonstigen gestellten Anforderungen erfüllt. Die weiteren Berechnungen werden daher auf Basis der Datenbank Ecoinvent geführt. Die ausgewählte Datenbank soll alle projektrelevanten Einflussfaktoren mit einer ausreichenden Genauigkeit abdecken. Dazu wurden Art und Tiefe der Berücksichtigung der projektrelevanten Einflussfaktoren in der Datenbank Ecoinvent untersucht.

Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen werden in einem nächsten Projektbearbeitungsschritt die zuvor ermittelten projektrelevanten Einflussfaktoren detailliert untersucht, um aufzuzeigen, welche dieser Einflussfaktoren mit Durchschnittswerten und welche detailliert in einer weiterführenden Berechnung zu berücksichtigen sind.

Übersicht über projektrelevante Transporteinflüsse		
Kategorien	projektrelevante Transporteinflüsse	inkludierte Einflüsse
Kategorie → Lage Werkstor - Baustelle	▶ Entfernung Werkstor - Baustelle (km)	
	▶ Herstellung der Straßen	abhängig von: - Straßenkategorie - Verkehrsausrüstung - zugehörige Infrastruktur - Neigungsverhältnisse
	▶ Wartung und Betrieb der Straßen	
	▶ Entsorgung bzw. Rückbau der Straßen	
Kategorie → Transportgut	Aus dieser Kategorie werden keine Transporteinflüsse gesondert betrachtet, da diese indirekt mit der Kategorie „Transportmittel“ abgedeckt werden.	
Kategorie → Transportmittel	▶ Herstellung des LKW	abhängig von: - höchstzulässiges Gesamtgewicht
	▶ Entsorgung des LKW	
	▶ Wartung und Betrieb des LKW	
	■ höchstzulässiges Gesamtgewicht	
	■ Auslastung Transportmittel - Volumen	
	■ Auslastung Transportmittel - Gewicht	
	■ Auslastung Transportprozess	
	■ EURO - Klasse	
■ Dieselverbrauch		

Abbildung 18: Berücksichtigung projektrelevanter Einflussfaktoren in Ecoinvent

9 Sensitivitätsanalysen

Anhand der nachfolgenden Sensitivitätsanalysen wird durch Variation einzelner Einflussfaktoren die Sensitivität des Ergebnisses bezüglich transportbedingter Umweltwirkungen näher analysiert, da die Ecoinvent-Datenbank für die Bestimmung transportbedingter Umweltwirkungen die meisten Einflussfaktoren lediglich mit Durchschnittswerten abdeckt. Ziel der nachfolgenden Sensitivitätsanalysen ist die Identifizierung jener Faktoren, die künftig detailliert und jener Faktoren die lediglich mit Durchschnittswerten bei einer Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Transportprozessen berücksichtigt werden müssen.

Anfangs wird ein Überblick über jene Einflussfaktoren gegeben, welche näher analysiert werden. Dabei werden in erster Linie jene Faktoren ausgewählt, die den Betrieb beeinflussen, da dieser den Hauptanteil der transportbedingten Umweltwirkungen verursacht.

Anschließend wird am Beginn jeder Analyse kurz die derzeitige Struktur der Ecoinvent-Datenbank dargestellt. Weiters werden die Vorgangsweise und die Bezugseinheit der Analyse sowie die verwendeten Ecoinvent-Basisdatensätze erläutert. Darauf aufbauend werden die jeweiligen Faktoren näher analysiert und die Auswirkungen auf das Ergebnis der transportbedingten Umweltwirkungen geschildert.

Abschließend folgt eine Übersicht über die Erfassungsgenauigkeit der in der Ecoinvent-Datenbank berücksichtigten projektrelevanten Transporteinflüsse. Dabei wird festgelegt, welche Faktoren ausreichend und welche nicht ausreichend genau von der Ecoinvent-Datenbank abgedeckt werden können.

9.1 Auswahl der Einflussfaktoren

Der Betrieb des Transportmittels hat je nach Wirkungskategorie einen Anteil von rund 90% an den transportbedingten Umweltwirkungen. Dazu sollen in erster Linie folgende Einflussfaktoren näher untersucht werden, die den Betrieb beeinträchtigen:

- Höchstzulässiges Gesamtgewicht
- EURO-Klassen
- Leer- und Vollfahrt
- Treibstoffverbrauch
- Beladegewicht - Auslastung des Transportmittels
- Auslastung des Transportprozesses
- Infrastruktur-Allokation

9.2 Sensitivitätsanalysen

Die nachfolgenden Analysen werden auf Basis der Ecoinvent-Datenbank durchgeführt. Bei einzelnen Einflussfaktoren ist es notwendig neben der Analyse des Basisdatensatzes auch die zugehörigen Unterdatensätze des Basis-Datensatzes näher zu untersuchen.

9.3 „Höchstzulässiges Gesamtgewicht“

9.3.1 Ausgangslage

In Ecoinvent wird das höchstzulässige Gesamtgewicht in die folgenden Fahrzeugklassen untergliedert:

- Fahrzeugklasse 1: 3,5-7,5 Tonnen höchstzulässiges Gesamtgewicht
- Fahrzeugklasse 2: 7,5-16,0 Tonnen höchstzulässiges Gesamtgewicht
- Fahrzeugklasse 3: 16,0-32,0 Tonnen höchstzulässiges Gesamtgewicht
- Fahrzeugklasse 4: >32,0 Tonnen höchstzulässiges Gesamtgewicht

Das höchstzulässige Gesamtgewicht setzt sich aus dem Eigengewicht des LKW und dem maximalen Beladegewicht zusammen. Dadurch können zwischen den einzelnen Fahrzeugklassen Unterschiede in den anteiligen Umweltwirkungen pro Tonnenkilometer Transportgut entstehen. Anhand der nachfolgenden Analyse soll aufgezeigt werden, ob und welchen Einfluss das höchstzulässige Gesamtgewicht auf das Ergebnis transportbedingter Umweltwirkungen bei Bauprodukttransporten hat.

9.3.2 Vorgangsweise

In Abbildung 19 werden die transportbedingten Umweltwirkungen in Abhängigkeit der unterschiedlichen Fahrzeugklassen aufgezeigt. Die Fahrzeugklasse 1 (3,5-7,5 Tonnen höchstzulässiges Gesamtgewicht) wird dabei als Basis mit 100% angesetzt. Nachfolgend werden jene Basisdatensätze angeführt, die zur Analyse herangezogen wurden:

- Transport, Lkw 3.5-7.5t, EURO 3, RER, V2.01 (2007)
- Transport, Lkw 7.5-16t, EURO 3, V2.01 (2007)
- Transport, Lkw 16-32t, EURO 3, V2.01 (2007)
- Transport, Lkw >32t, EURO 3, V2.01 (2007)

Anteilige Umweltwirkungen aus Infrastruktur und Transportmittel (Herstellung und Entsorgung) werden bei dieser Untersuchung mitberücksichtigt. Die Bezugseinheit der Analyse ist Tonnenkilometer (tkm).

9.3.3 Ergebnis - Höchstzulässiges Gesamtgewicht

Das höchstzulässige Gesamtgewicht des jeweiligen LKW hat einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis transportbedingter Umweltwirkungen. So betragen die anteiligen Umweltwirkungen der Fahrzeugklasse 4 (>32,0 Tonnen höchstzulässiges Gesamtgewicht) nur maximal rd. 20% von jenen der Fahrzeugklasse 1 (3,5-7,5 Tonnen höchstzulässiges Gesamtgewicht). Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass Ecoinvent bei Transportprozessen der Fahrzeugklasse 1 (3,5-7,5 Tonnen höchstzulässiges Gesamtgewicht) ein durchschnittliches Beladegewicht von rund 0,98 t berücksichtigt, demgegenüber ein Beladegewicht in der Fahrzeugklasse 4 (>32,0 Tonnen höchstzulässiges Gesamtgewicht) von 11,68 t herangezogen wird.

Folglich hat die jeweilige Fahrzeugklasse bzw. das höchstzulässige Gesamtgewicht einen maßgeblichen Einfluss und darf nicht vernachlässigt werden.

Einfluss des "höchstzulässigen Gesamtgewichts" Wirkungsindikatoren pro tkm LKW (EURO 3 - Klasse)

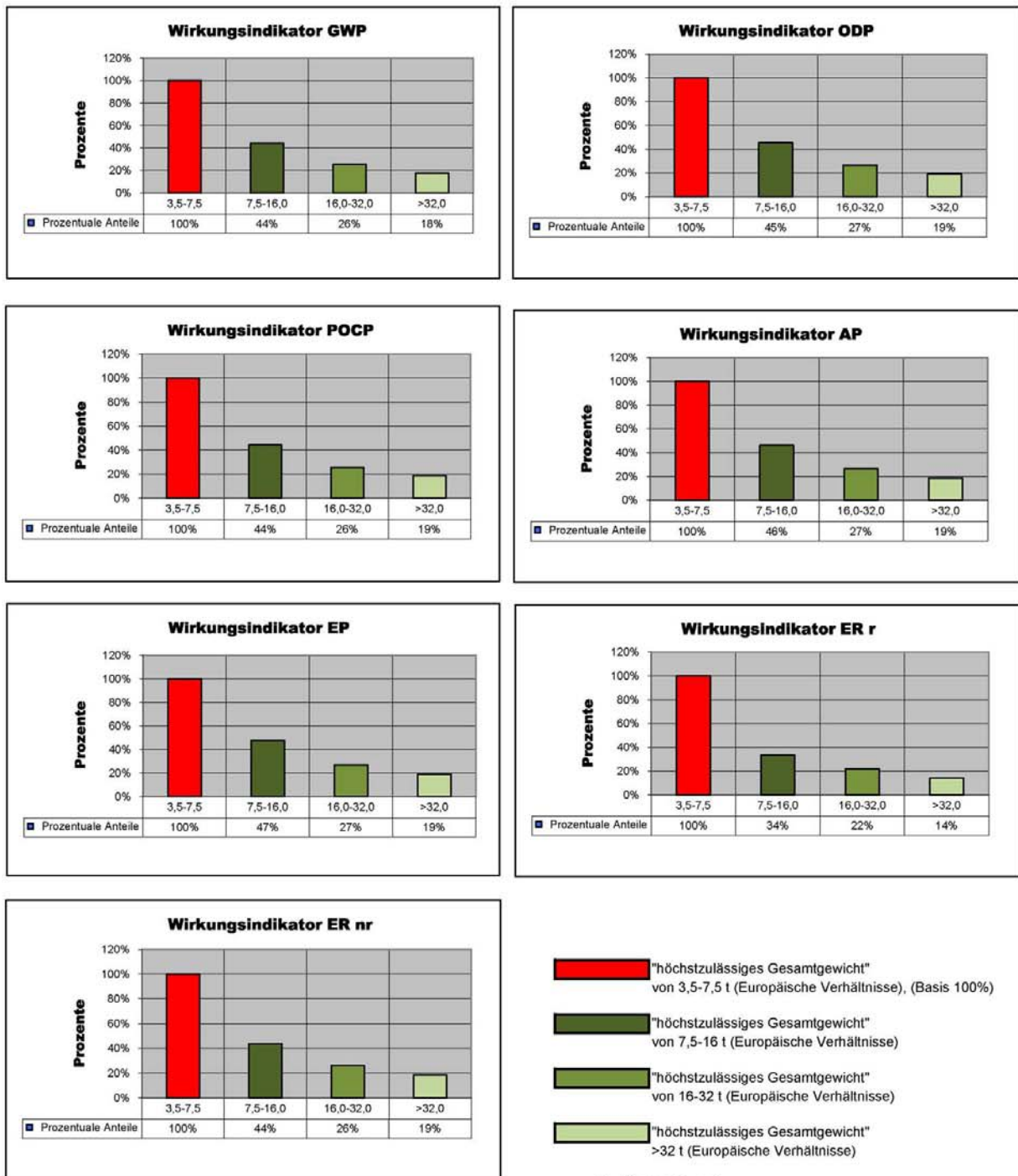


Abbildung 19: Sensitivitätsanalyse - Höchstzulässiges Gesamtgewicht

9.4 „EURO-Klassen“

9.4.1 Ausgangslage

Mit der Ecoinvent-Datenbank können bei der Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen die Klassen EURO 3 bis EURO 5 bzw. ein Mix (Durchschnittswert für europäische Verhältnisse) der EURO-Klassen berücksichtigt werden. Die Klassen EURO 1 und EURO 2 können aufgrund unzureichender Daten nicht berücksichtigt werden.

Offizielle Erhebungen der Statistik Austria betreffend der Anteile einzelner EURO-Klassen in Österreich gibt es keine. Die prozentuale Aufteilung des LKW-Bestandes nach EURO-Klassen in der nachstehende Tabelle, beruht auf Schätzungen diverser Institutionen (UBA, Eurotax, WKÖ, BSTV):

LKW	Jahr	EURO 0,1,2	EURO 3	EURO 4	EURO 5
UBA	2006	43%	47%	11%	0%
WKÖ, BSTV	2007	40%	40%	12%	8%
Eurotax	2007	37%	35%	25%	3%

Tabelle 2: Zuordnung des LKW-Bestandes nach EURO-Klassen in%

Anhand der nachfolgenden Analyse soll aufgezeigt werden, welchen Einfluss die EURO-Klassen auf das Ergebnis transportbedingter Umweltwirkungen haben.

9.4.2 Vorgangsweise

In Abbildung 20 folgt eine prozentuale Gegenüberstellung der transportbedingten Umweltwirkungen unter Berücksichtigung der einzelnen EURO-Klassen. Die Klasse EURO 3 wurde als Basis mit 100% definiert. Für diese Untersuchung werden folgende Basis-Datensätze verwendet:

- Transport, Lkw 16-32 t, EURO 3, RER, V2.01 (2007)
- Transport, Lkw 16-32 t, EURO 4, RER, V2.01 (2007)
- Transport, Lkw 16-32 t, EURO 5, RER, V2.01 (2007)
- Transport, Lkw 20-28 t, Flottendurchschnitt, CH, V2.01 (2007)

Weiters werden die anteiligen Umweltwirkungen aus Infrastruktur und Transportmittel (Herstellung und Entsorgung) mitberücksichtigt. Die Bezugseinheit für den Vergleich ist Tonnenkilometer (tkm).

9.4.3 Ergebnis - EURO-Klassen

Während die Wirkungskategorien „Klimaänderung (GWP), Stratosphärischer Ozonabbau (ODP), Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ und „Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar (ER nr)“ lediglich marginale Unterschiede in den Umweltwirkungen der EURO-Klassen 3 bis 5 aufweisen, sind bei den Wirkungskategorien „Sommersmog (POCP), Versauerung (AP)“ und „Eutrophierung (EP)“ erhebliche Unterschiede bemerkbar. Die prozentuale größte Abweichung ist der Wirkungskategorie „Eutrophierung (EP)“ zuzuordnen. Die Umweltwirkungen der Klasse EURO 5 betragen hier lediglich rd. 50% von jenen der Klasse EURO 3, was die Notwendigkeit einer genauen Berücksichtigung der jeweiligen EURO-Klasse unterstreicht.

9.5 „Leer- und Vollfahrt“

9.5.1 Ausgangslage

Ecoinvent legt bei der Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen für jede Fahrzeugklasse ein **durchschnittliches Beladegewicht** zugrunde. Deshalb wird nun der Frage nachgegangen, ob bzw. wie sich die Umweltwirkungen einer Leerfahrt und einer voll beladenen Fahrt (Vollfahrt) im Zuge einer detaillierten Bilanzierung unterscheiden.

9.5.2 Vorgangsweise

In Abbildung 21 sind die Umweltwirkungen einer Leer- und Vollfahrt in prozentualer Abhängigkeit gegenübergestellt. Dabei werden die Umweltwirkungen der Leerfahrt als Basis mit 100% angesetzt. Die Analyse wird auf Basis folgender Ecoinvent-Datensätze durchgeführt:

- Betrieb, Lkw >28t, leer, Flottendurchschnitt, CH, V2.01 (2007)
- Betrieb, Lkw >28t, voll, Flottendurchschnitt, CH, V2.01 (2007)

Die anteiligen Umweltwirkungen aus Infrastruktur und Transportmittel (Herstellung und Entsorgung) bleiben bei dieser Untersuchung unberücksichtigt. Die Bezugseinheit für die Darstellung ist Verkehrskilometer (vkm).

Einfluss der "EURO-Klassen" Wirkungsindikatoren pro tkm LKW (16-32t)

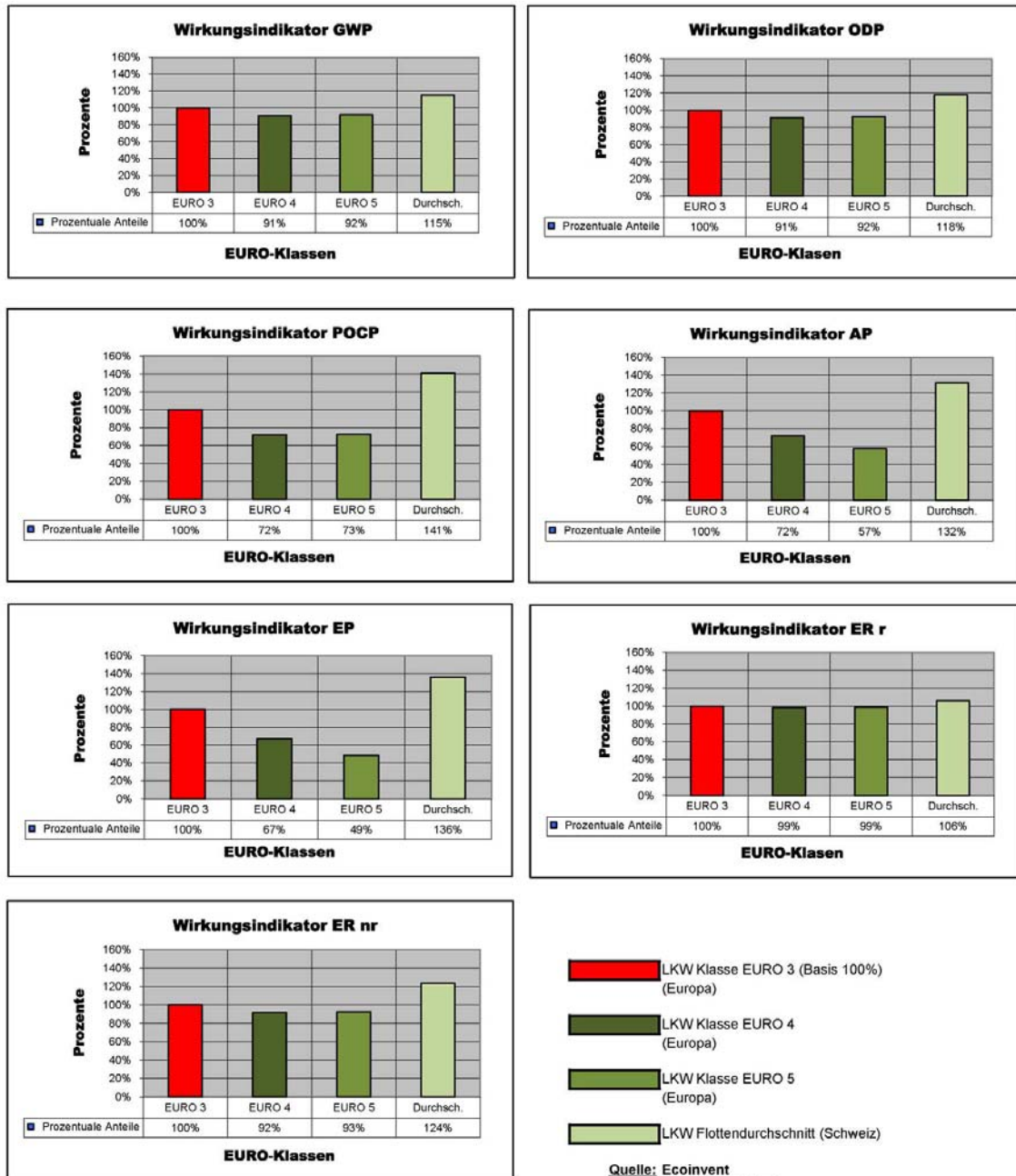


Abbildung 20: Sensitivitätsanalyse - EURO-Klassen

9.5.3 Ergebnis - Leer- und Vollfahrt

Die Indikatorergebnisse einer Vollfahrt sind im Vergleich zu einer Leerfahrt zwischen 44% und 64% höher. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die beiden zugrundegelegten Ecoinvent-Datensätze ausschließlich in der Höhe des Treibstoffverbrauchs unterscheiden. Es stellt sich nun die Frage, ob der Treibstoffverbrauch ausschließlich vom Beladegewicht oder von zusätzlichen Faktoren beeinflusst wird.

Gegenüberstellung Leer- und Vollfahrt Wirkungsindikatoren pro km

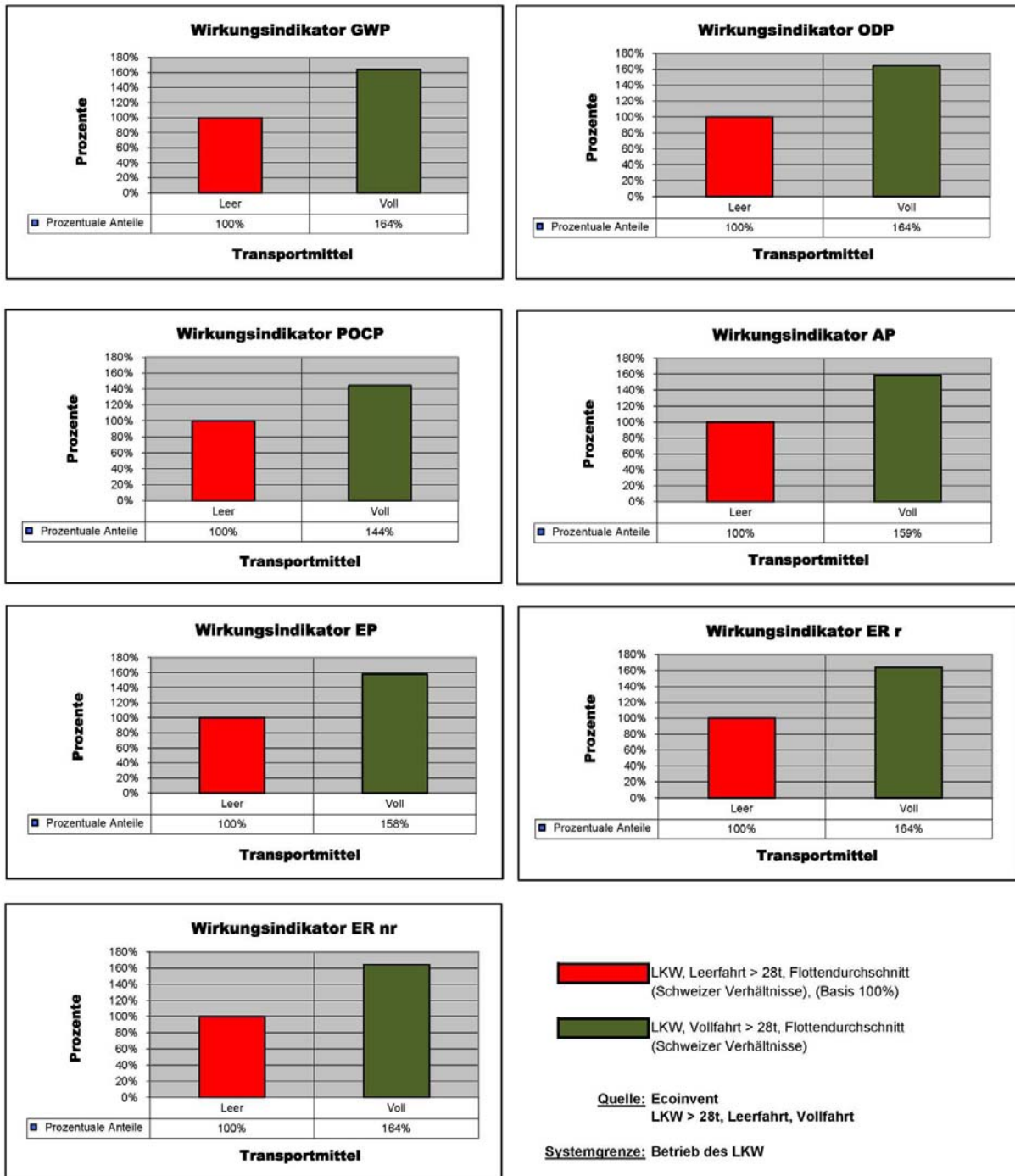


Abbildung 21: Sensitivitätsanalyse - Vollfahrt bzw. Leerfahrt

9.6 „Treibstoffverbrauch“

9.6.1 Ausgangslage

In Ecoinvent wird für jede Fahrzeugklasse ein **durchschnittlicher Dieserverbrauch** festgelegt. Wie anhand der vorigen Analyse aufgezeigt wurde, hängt der Dieserverbrauch vom Beladegewicht ab. Zur Abklärung möglicher zusätzlicher Einflussfaktoren wurden verschiedene LKW-Herstellerfirmen befragt. Das Ergebnis dieser Befragung ist in nachstehender Tabelle zusammengefasst:

Dieserverbrauch - Zusammenfassende Informationen von LKW-Herstellerfirmen		
LKW-Herstellerfirma	Verbrauch ist unter anderem abhängig von:	Richtwert für Verbrauch:
Fa. VOLVO	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fahrzeuggewicht ▶ Fahrzyklus ▶ Topographie ▶ Fahrweise ▶ Nebenantriebszeiten 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fernverkehr 40t: 31-35 l/100km ▶ Kipperbereich 26t: 34-40 l/100km ▶ Kipperbereich 32t: 39-45 l/100km ▶ Holztransport 40 (50)t: 50-70 l/100km
Fa. MAN	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Luftdruck im Reifen ▶ Einstellung des Dachspoilers ▶ Wetter ▶ Art der Strasse (befestigt oder lockerer Untergrund) ▶ Art des Fahrzeuges (Aufbau) ▶ Individueller Fahrstil 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 35-45 l/100km
Fa. IVECO	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Dieserverbrauch ist von der LKW-Herstellerfirma abhängig. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fernverkehr 40t: 29-35 l/100km ▶ Verteilerverkehr 26t: 24-32 l/100km ▶ Verteilerverkehr 12t: 18-25 l/100km ▶ LKW mit Aufbau 3,5t: 11-18 l/100km ▶ Kastenwagen 3,5t: 10-14 l/100km
Fa. MERCEDES - BENZ	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Beladung ▶ Einsatzgebiet ▶ Einsatzart ▶ Fahrzeugzusammenstellung ▶ Hinterachsübersetzung 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ lt. Vollastdiagramm ca. 60l/h
Fa. SCANIA	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Gesamtgewicht ▶ Reifen ▶ Fahrer ▶ Einsatzzweck ▶ Getriebe ▶ Innerstädtischer Verkehr, Fernverkehr 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fernverkehr 40t: Leerfahrt 25l/100km plus 0,4l/100km pro t Beladung ▶ Rundholztransport: ca. 50l/100km

Tabelle 3: Dieserverbrauch - Erhobene Informationen von LKW-Herstellerfirmen

Der Treibstoffverbrauch ist laut den Auskünften der LKW-Herstellerfirmen kaum mit Durchschnittswerten zu erfassen. Die Schwankungsbreite des Verbrauchs ist bei Transporten von Bauprodukten aufgrund der vielfältigen Beeinträchtigungen erheblich höher als bei sonstigen

Gütertransporten. In der nachfolgenden Analyse wird deshalb der Einfluss des Treibstoffverbrauchs auf das Ergebnis der transportbedingten Umweltwirkungen aufgezeigt.

9.6.2 Vorgangsweise

Es werden die Unterdatensätze des Basis-Datensatzes „Transport, Lkw >32t, V1.3 (2006)“ näher analysiert. Dabei wird der Dieserverbrauch verändert um daraus die resultierenden prozentualen Veränderungen der Umweltwirkungen abbilden zu können (siehe Abbildung 22). Die Vergleichsbasis bilden die von einem 40 t-LKW bei einem gemäß Ecoinvent-Datenbank durchschnittlichen Dieserverbrauch von 32l/100km verursachten Umweltwirkungen.

Anteilige Umweltwirkungen aus Infrastruktur und Transportmittel (Herstellung und Entsorgung) werden bei der Analyse mitberücksichtigt. Die Bezugseinheit für die Darstellung ist Tonnenkilometer (tkm).

9.6.3 Ergebnis - Treibstoffverbrauch

Die Indikatorergebnisse der jeweiligen Wirkungskategorien sind mit Ausnahme der Wirkungskategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ vom Treibstoffverbrauch linear abhängig. Eine Erhöhung des Treibstoffverbrauchs um 30% führt zu einer Zunahme der Umweltwirkungen um rund 20 bis 25%. Weiters führt eine Senkung des Treibstoffverbrauchs um ca. 20% zu einer Reduzierung der Umweltwirkungen um ungefähr 15 bis 20%.

In der Wirkungskategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ sind keine nennenswerten Unterschiede bei einer Variation des Dieserverbrauchs festzustellen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in dieser Wirkungskategorie der Strom für die Infrastruktur und für die Herstellung des LKW den dominierenden Faktor darstellt.

Abschließend kann festgehalten werden, dass der Einfluss des Dieserverbrauchs bedeutend und im Zuge der Bewertung detailliert zu berücksichtigen sein wird.

Einfluss des "Dieselverbrauchs" Wirkungsindikatoren pro tkm LKW 40t

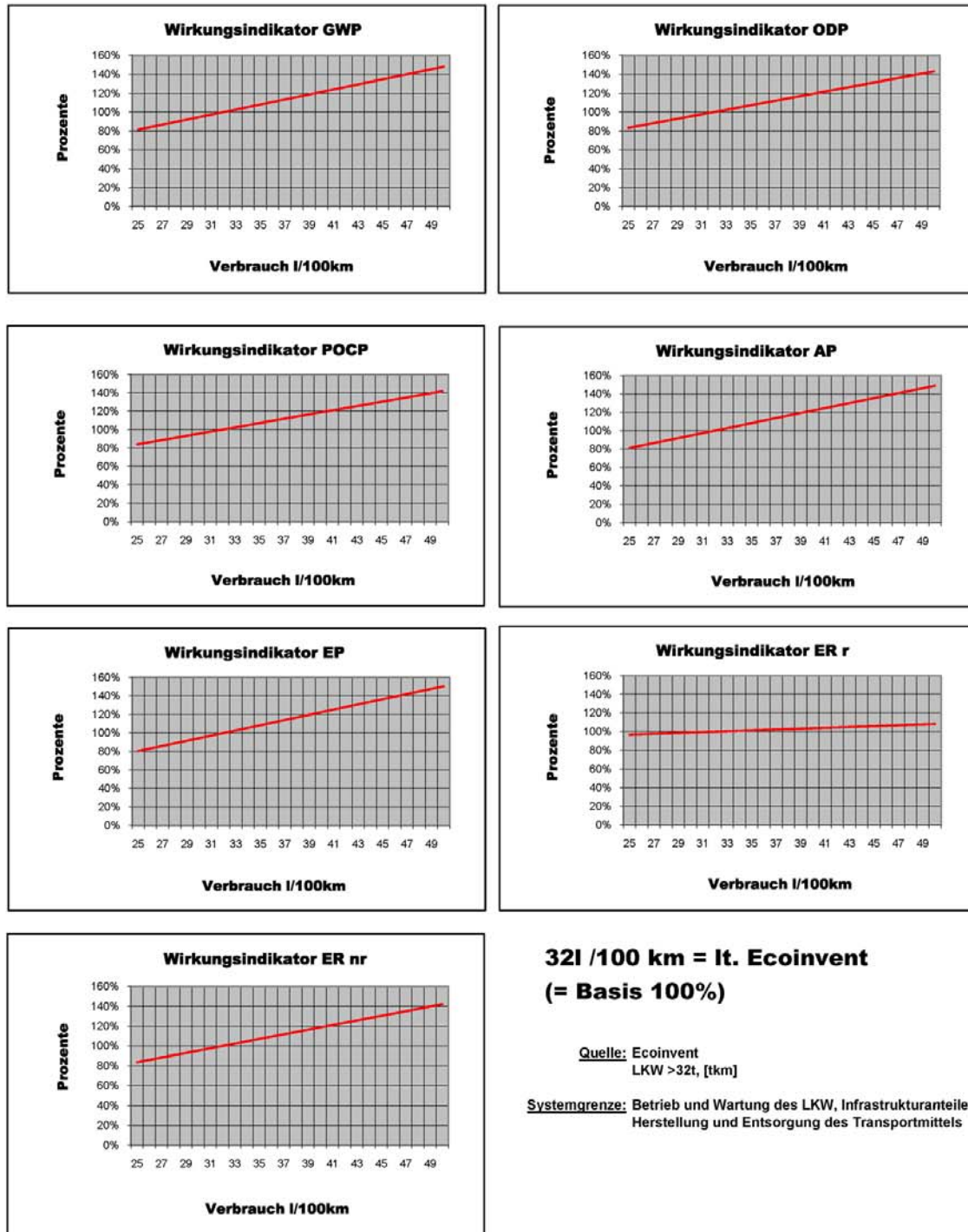


Abbildung 22: Sensitivitätsanalyse - Treibstoffverbrauch

9.7 „Beladegewicht - Auslastung des Transportmittels“

9.7.1 Ausgangslage

Die Ecoinvent-Datenbank legt für jede Fahrzeugklasse ein **durchschnittliches Beladegewicht** zugrunde. Zwischen Volums- und Massengütern wird dabei nicht unterschieden. Da im Bauwesen sowohl Transporte von Volumsgütern (z.B. Dämmstoffe) als auch Transporte von Massengütern (z.B. Beton) durchgeführt werden, erfolgt diesbezüglich eine nähere Analyse um den Einfluss des Beladegewichtes aufzuzeigen.

9.7.2 Vorgangsweise

Für diese Untersuchung ist es notwendig das maximale Beladegewicht zu definieren. Hier wird für einen LKW mit einem **höchstzulässigen Gesamtgewicht** von **40t** das **maximale Beladegewicht** mit **26t** (Richtwert lt. LKW-Herstellerfirmen) **definiert**. An dieser Stelle wird jedoch darauf hingewiesen, dass sich dieser Wert in der Praxis je nach LKW-Typ in Abhängigkeit vom Eigengewicht deutlich unterscheiden kann. Anschließend wird mittels Interpolation für jedes beliebige Beladegewicht der zugehörige Dieserverbrauch ermittelt. Weiters werden die transportbedingten Umweltwirkungen pro Kilometer in Abhängigkeit des zugehörigen Dieserverbrauchs berechnet.

Abschließend werden die Umweltwirkungen (für den Betrieb) berechnet, dies erfolgt durch die Division der Umweltwirkungen pro Kilometer durch das tatsächliche Beladegewicht. Prozentuale Änderungen der Umweltwirkungen werden auf jene Umweltwirkungen bezogen, die bei einem maximalen Beladegewicht (**26t**) verursacht werden. (siehe Abbildung 23)

Anteilige Umweltwirkungen aus Infrastruktur und Transportmittel (Herstellung und Entsorgung) werden in dieser Untersuchung **nicht berücksichtigt**.

Folgende Basis-Datensätze werden für diese Analyse herangezogen:

- Betrieb, Lkw >28t, leer, Flottendurchschnitt, CH, V2.01 (2007)
- Betrieb, Lkw >28t, voll, Flottendurchschnitt, CH, V2.01 (2007)

9.7.3 Ergebnis - Beladegewicht - Auslastung des Transportmittels

Die Auswirkungen des unterschiedlichen Beladegewichtes auf die anteiligen Umweltwirkungen pro Tonnenkilometer sind beachtlich. Dies zeigt sich bei einer Reduzierung des Beladegewichtes von 26 auf 2 Tonnen, wodurch die Umweltwirkungen je Tonnenkilometer auf das

rund **10 fache** ansteigen. Folglich erscheint die Berücksichtigung des Beladegewichtes lediglich durch eine Trennung zwischen Volums- und Massengüter nicht zielführend. Vielmehr muss das tatsächliche Beladegewicht im Bewertungsprozess berücksichtigt werden.

Einfluss des "Beladegewichts" Wirkungsindikatoren pro tkm LKW 40t, max. 26t Beladung 50% Auslastung des Transportprozesses

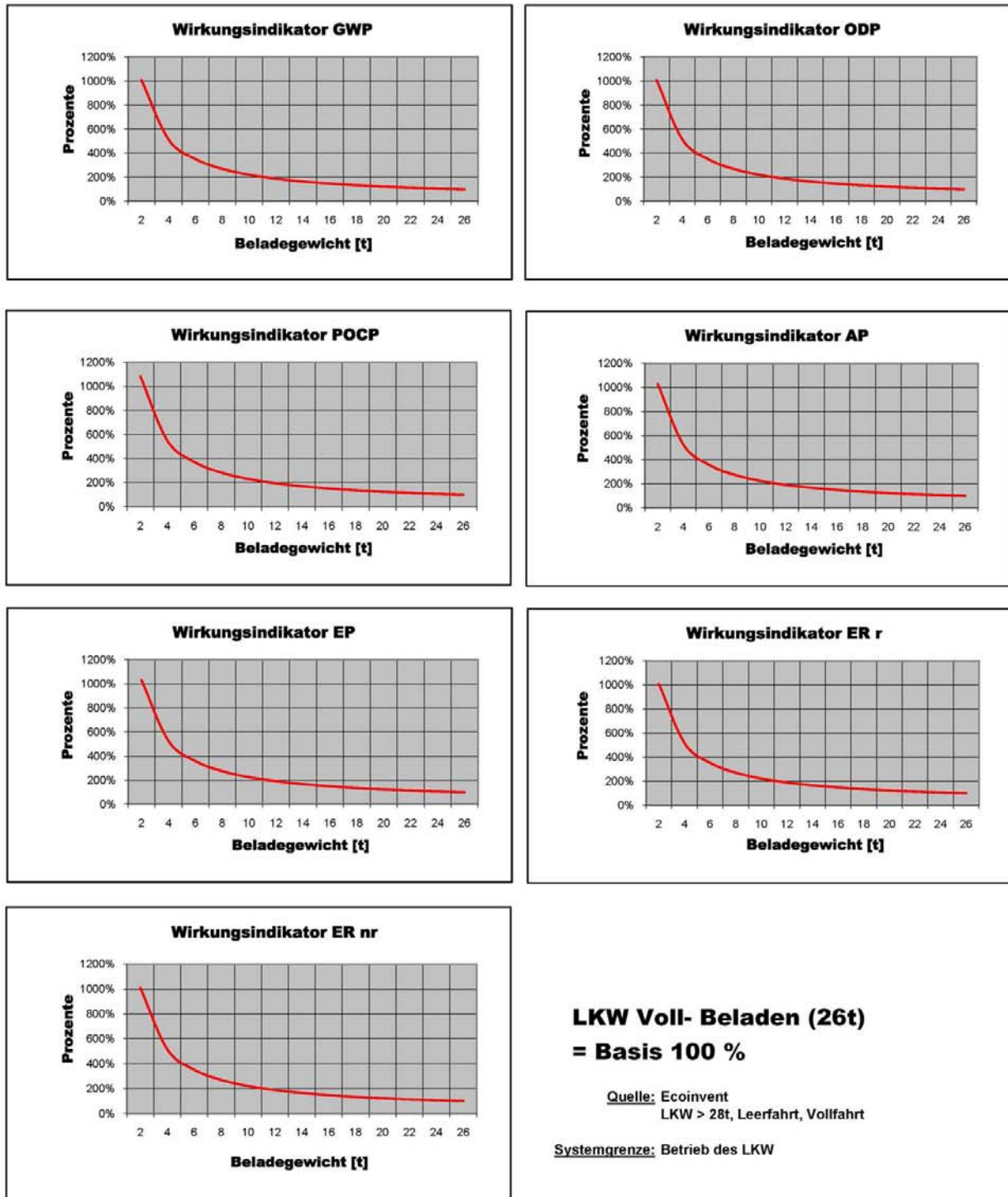


Abbildung 23: Sensitivitätsanalyse - Beladegewicht - Auslastung des Transportmittels

9.8 „Auslastung des Transportprozesses“

9.8.1 Ausgangslage

In der Ecoinvent-Datenbank wird für jede Fahrzeugklasse eine **fixe Auslastung des Transportprozesses** definiert. Beispielsweise ist bei der Fahrzeugklasse >32t höchstzulässiges Gesamtgewicht eine Transportprozessauslastung von 50% ausgewiesen. Im Allgemeinen kann bei Transporten von Bauprodukten jedoch nicht generell von einer konstanten Auslastung des Transportprozesses ausgegangen werden.

9.8.2 Vorgangsweise

Der Transportprozess setzt sich aus einer beladenen Fahrt und einer Leerfahrt zusammen. Für die Analyse wird die beladene Fahrt als Vollfahrt (mit maximalem Beladegewicht von 26t) angesetzt. Der Dieserverbrauch wird in Abhängigkeit von der Beladung berücksichtigt. In Abbildung 24 sind die prozentualen Abweichungen der transportbedingten Umweltwirkungen durch Variation der Leerfahrten im Vergleich zu einer 50%igen Transportprozessauslastung dargestellt.

Anteilige Umweltwirkungen aus Infrastruktur und Transportmittel (Herstellung und Entsorgung) werden in dieser Analyse **nicht berücksichtigt**. Für die Darstellung dieser Analyse dient Tonnenkilometer (tkm) als Bezugseinheit.

Folgende Datensätze bilden die Grundlage für diese Analyse:

- Betrieb, Lkw >28t, leer, Flottendurchschnitt, CH, V2.01 (2007)
- Betrieb, Lkw >28t, voll, Flottendurchschnitt, CH, V2.01 (2007)

9.8.3 Ergebnis - Auslastung Transportprozess

Da diese Analyse nur vom Anteil der Leerfahrten abhängt, sind keine Unterschiede zwischen den einzelnen Wirkungskategorien vorhanden.

Eine Erhöhung der Transportprozessauslastung von 50% auf 80% bedeutet eine Senkung der anteiligen transportbedingten Umweltwirkungen um rund 25%. Eine Senkung der Transportprozessauslastung von 50% auf 20% bedeutet einen Anstieg der Umweltwirkungen um ungefähr 120%. Dieses Ergebnis bestätigt, dass die Auslastung des Transportprozesses nicht vernachlässigt werden darf.

Einfluss der Transportprozessauslastung Wirkungsindikatoren pro km Gütertransport

LKW 40 t

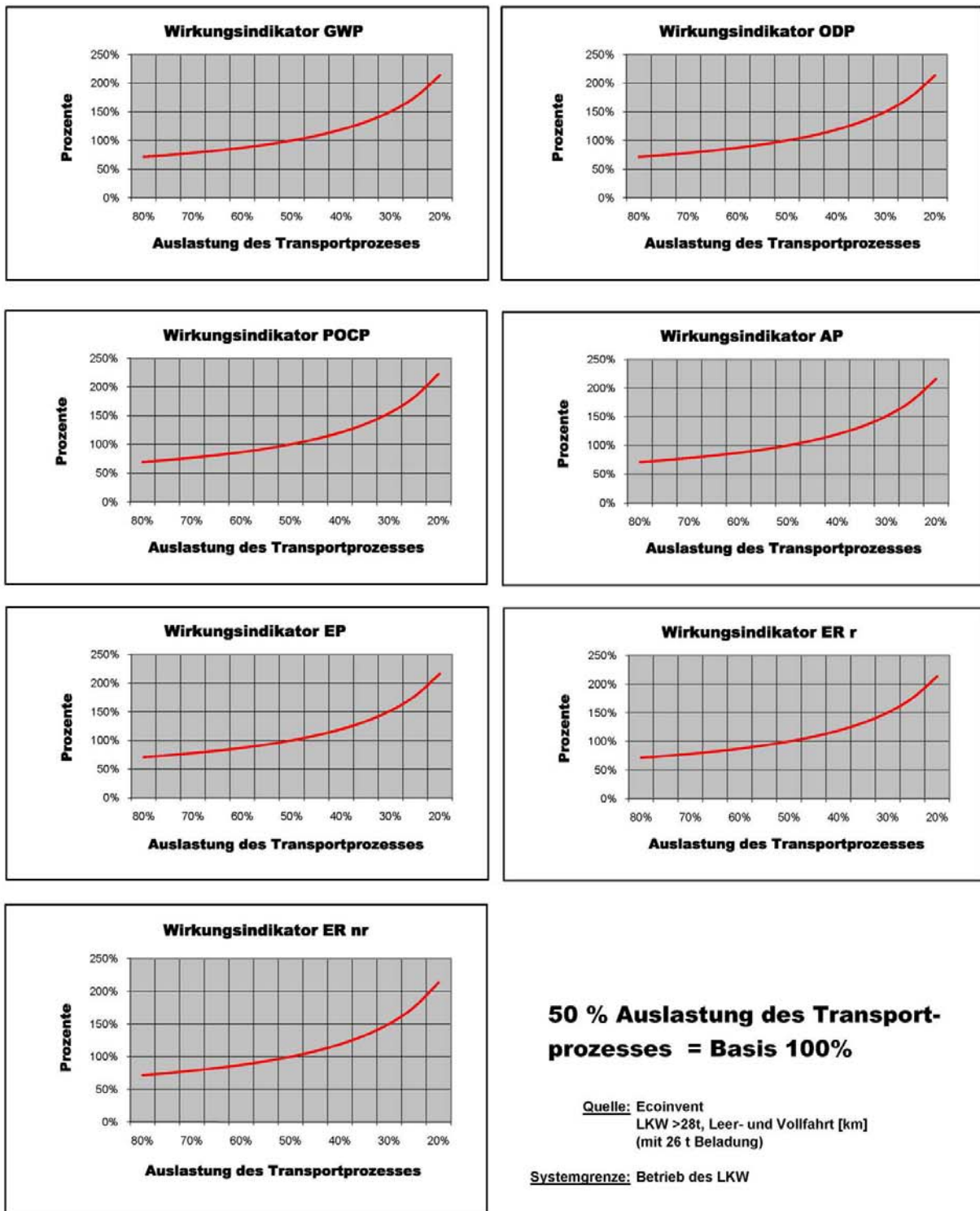


Abbildung 24: Sensitivitätsanalyse - Transportprozessauslastung

9.9 „Einfluss der Infrastruktur-Allokation“

9.9.1 Ausgangslage

Die Infrastruktur-Allokation bei der Herstellung und Entsorgung der Straße erfolgt in der Ecoinvent-Datenbank nach Großtonnenkilometer (Gtkm). Die Abweichungen in den Schädigungsgraden aufgrund unterschiedlicher Achslasten von LKW bzw. PKW bleiben hier unberücksichtigt.

9.9.2 Vorgangsweise

Zur Analyse wird der Ecoinvent-Datensatz „road, CH, V2.01 (2007)“ mit folgenden Unterdatensätzen herangezogen:

- concrete, exacting, with de-icing salt contact, at plant
- bitumen, at refinery
- gravel, crushed, at mine
- electricity, medium voltage, at grid
- diesel, burned in building machine
- excavation, skid-steer loader
- transport, lorry 20-28t, fleet average
- steel, low-alloyed, at plant
- reinforcing steel, at plant
- disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill

Der Einfluss verschiedener Achslasten soll nur für die Allokation des Oberbaus der Straße berücksichtigt werden, da diese auf den Unterbau keine näheren Auswirkungen haben. Die Allokation für den Unterbau der Straße erfolgt gem. Ecoinvent-Datenbank und wird auf Basis von Großtonnenkilometer (Gtkm) berücksichtigt.

In Ecoinvent erfolgt keine eindeutige Gliederung der Unterdatensätze, welche zum Oberbau und welche zum Unterbau der Straße gehören. Deshalb erfolgt anschließend die Auswahl jener Unterdatensätze, welche näherungsweise den Oberbau der Straße abbilden.

Für den Oberbau der Straße werden näherungsweise folgende Unterdatensätze herangezogen:

- concrete, exacting, with de-icing salt contact, at plant
- bitumen, at refinery
- gravel, crushed, at mine

Die Berücksichtigung der Achslasten erfolgt anhand der Achslastäquivalenzfaktoren nach AASHO. Dabei wird die Zahl der äquivalenten Normlastwechsel (NLW) pro Übergang ermittelt. **Die Achslast wird dabei mit der vierten Potenz berücksichtigt**, wodurch sich die transportbedingten Umweltwirkungen aus der Infrastruktur beim LKW im Vergleich zum PKW erhöhen.

Eine kurze Beschreibung dieses Verfahrens ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen:

Achslastäquivalenzfaktoren nach AASHO	
k_i ...Achslastäquivalenzfaktor bezogen auf 10 t Bezugslast (Normlast) (=Zahl der äquivalenten Normlastwechsel NLW pro Übergang von L_i) L_i ...gegebene Achslast (t)	
Einzelachse:	$k_i = \left(\frac{L_i}{10}\right)^4$
Doppelachse:	$k_i = \left(\frac{L_i}{18,35}\right)^4$
BEISPIELE:	
PKW: 0,6 t + 0,6 t	$\rightarrow 2 \cdot 0,000013 = \sim 0$ NLW
LKW: 2-achsig (16 t) 6 t + 10 t	$\rightarrow 0,13 + 1,00 = 1,13$ NLW
LKW: 3-achsig (26 t) 7 t + 19 t (Doppelachse)	$\rightarrow 0,24 + 1,15 = 1,39$ NLW

Abbildung 25: Achslastäquivalenzfaktoren nach AASHO [3]

Hier wird deutlich, dass der PKW nahezu keine Schädigung am Oberbau der Straße verursacht. Diese Schädigung wird hier auch als „Verlust der Funktionsfähigkeit“ bezeichnet. Da in erster Linie der LKW für den Verlust der Funktionsfähigkeit des Oberbaus verantwortlich ist, erfolgt näherungsweise eine Aufteilung der mit der Herstellung und Entsorgung des Oberbaus zusammenhängenden Umweltwirkungen zu 5% an den PKW und zu 95% an den LKW.

In weiterer Folge ist es erforderlich, für die unterschiedlichen Fahrzeugklassen der Ecoinvent-Datenbank die dazugehörigen NLW für eine Leer- und eine Vollfahrt zu bestimmen. Dazu mussten die in der Tabelle 4 dargestellten Annahmen getroffen werden.

Fahrzeugklassen bzw. höchstzulässiges Gesamtgewicht	Anzahl der Achsen (Annahme)	Achslast bei Vollfahrt (Annahme)	Achslast bei Leerfahrt (Annahme)	NLW Leerfahrt	NLW Vollfahrt	Art der Achsen (Annahme)
3,5-7,5	2	3+4 (7)	2+3 (5)	0,0097	0,0337	Einzelachsen
7,5-16	2	6+8 (14,1)	3,5+4 (7,5)	0,0406	0,5392	Einzelachsen
16-32	3	6+7,76+7,76 (21,4)	4+3+3 (10)	0,0370	0,6413	Einzelachse + Doppelachse
über 32	5	6+8+8+9,5+9,5 (41)	4+4+3,33+3,33+3,33 (18)	0,0684	1,8570	Einzelachse + 2 Doppelachsen

Tabelle 4: Übersicht der NLW einzelner Fahrzeugklassen

Die Berechnung stellt sich wie folgt dar: Die Normlastwechsel der jeweiligen Fahrzeugklassen werden mit der nach Ecoinvent jährlich durchschnittlichen Kilometerleistung multipliziert. Im Anschluss wird die Summe aus den Produkten (NLW x km) der einzelnen Fahrzeugklassen gebildet um abschließend den Quotienten aus jährlicher Straßenleistung und Summe von NLW x km zu erhalten. Das Ergebnis stellt den Anteil der Straßenleistung je Normlastwechsel und Kilometer dar (siehe Tabelle 5).

Achslastäquivalenzfaktoren nach AASHO								
Fahrzeugklassen lt. Eoinvent	NLW (Vollfahrt)	NLW (Leerfahrt)	Summe Fahrkilometer pro Jahr (lt. Eoinvent)	Fahrkilometer Vollfahrt Annahme: 50% Auslastung (lt. Eoinvent)	Fahrkilometer Leerfahrt Annahme: 50% Auslastung (lt. Eoinvent)	NLW x km bei Vollfahrt	NLW x km bei Leerfahrt	Summe (NLW x km) Leerfahrt + Vollfahrt
3,5-7,5	0,0337	0,0097	5,88E+10	2,94E+10	2,94E+10	9,91E+08	2,85E+08	1,28E+09
7,5-16	0,5392	0,0406	2,27E+10	1,14E+10	1,14E+10	6,12E+09	4,61E+08	6,58E+09
16-32	0,6413	0,0370	1,09E+11	5,45E+10	5,45E+10	3,50E+10	2,02E+09	3,70E+10
über 32	1,8570	0,0684	9,33E+10	4,67E+10	4,67E+10	8,66E+10	3,19E+09	8,98E+10
Gesamtsumme (NLW x km)								1,35E+11
Straßenleistung (m x a) =								4,80E+09
(m x a) / (NLW x km)								3,56E-02

Tabelle 5: Aufteilung des Oberbaus der Straße nach NLW

9.9.3 Ergebnisse - Einfluss der Infrastruktur-Allokation

Der Einfluss der Allokation des Oberbaus der Straße nach NLW auf die transportbedingten Umweltwirkungen ist in Abbildung 26 dargestellt. Dabei werden ausschließlich transportbedingte Umweltwirkungen, die mit der Herstellung, dem Betrieb, der Wartung und der Entsorgung der Infrastruktur in Zusammenhang stehen, näher betrachtet. Der Einfluss der Infrastruktur-Allokation unterscheidet sich zwischen den jeweiligen Wirkungskategorien erheblich. In den Wirkungskategorien „Klimaänderung (GWP), Sommersmog (POCP), Versauerung (AP), Eutrophierung (EP)“ und „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ erfolgt aufgrund der Infrastruktur-Allokation eine Erhöhung der Indikatorergebnisse zwischen 23 bis 46%. In den Wirkungskategorien „Stratosphärischer Ozonabbau (ODP)“ und „Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar (ER nr)“ betragen die Erhöhungen der Indikatorergebnisse zwischen 76 und 103%.

In Abbildung 27 ist der Anstieg der Umweltwirkungen durch die Allokation des Oberbaus der

Straße nach NLW bei Zugrundelegung der gesamten transportbedingten Umweltwirkungen (Betrieb, Transportmittel und Infrastruktur) dargestellt. In den Wirkungskategorien „Klimaänderung (GWP), Sommersmog (POCP), Versauerung (AP), Eutrophierung (EP)“ und „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ kommt es zu einer Erhöhung der Indikatorergebnisse um rund 5 bis 15%. In den Wirkungskategorien „Stratosphärischer Ozonabbau (ODP)“ und „Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar (ER nr)“ ist ein Anstieg der Indikatorergebnisse um rund 20% zu erkennen.

Einfluss der Infrastruktur-Allokation (Gtkm - NLW)

**Basis: Umweltwirkungen aus Infrastruktur
Wirkungsindikatoren pro tkm**

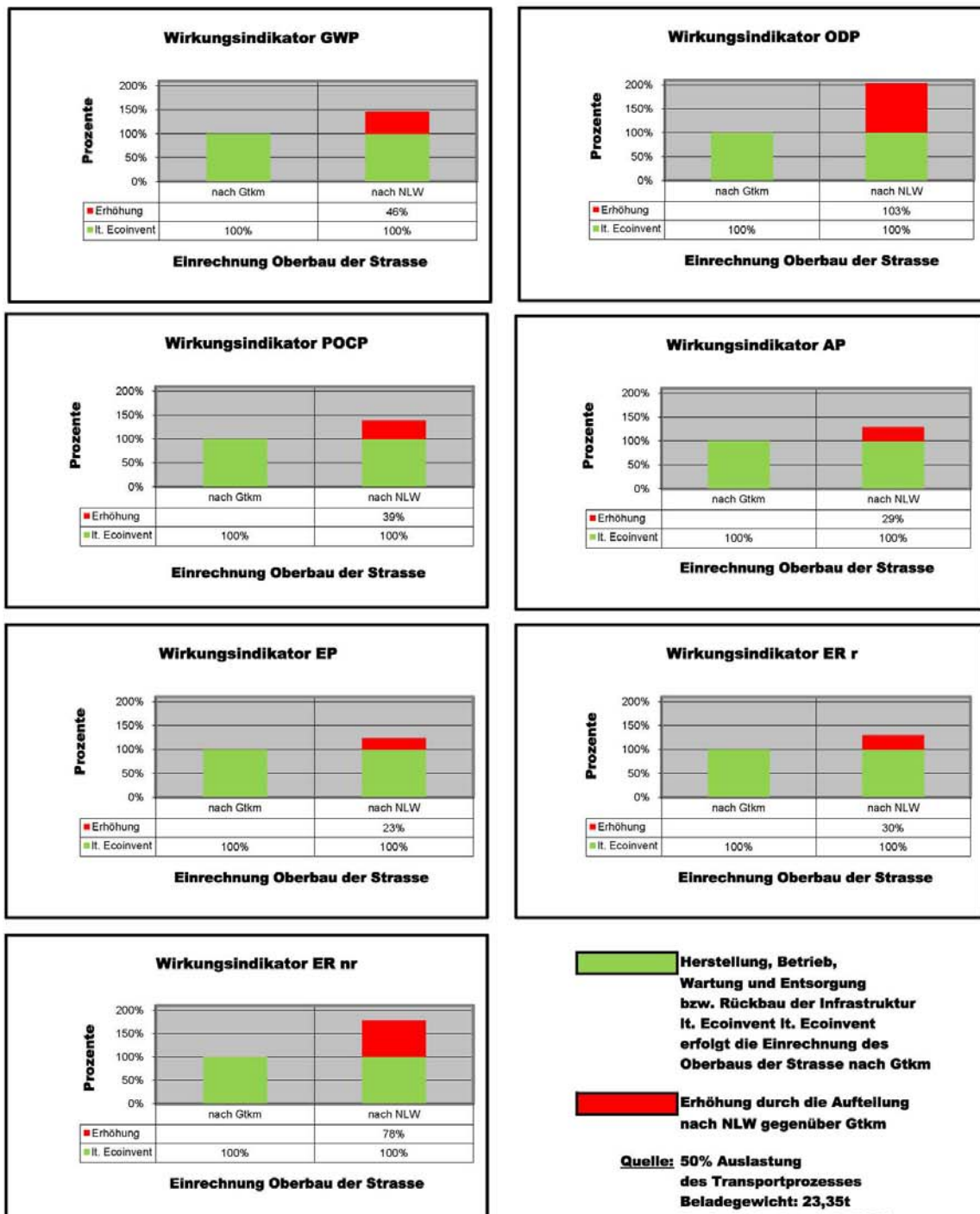


Abbildung 26: Einfluss der Infrastruktur-Allokation: Infrastrukturanteile

Einfluss der Infrastruktur- Allokation (Gtkm- NLW)

Umweltwirkungen aus Betrieb, Infrastruktur, Transportmittel Wirkungsindikatoren pro tkm

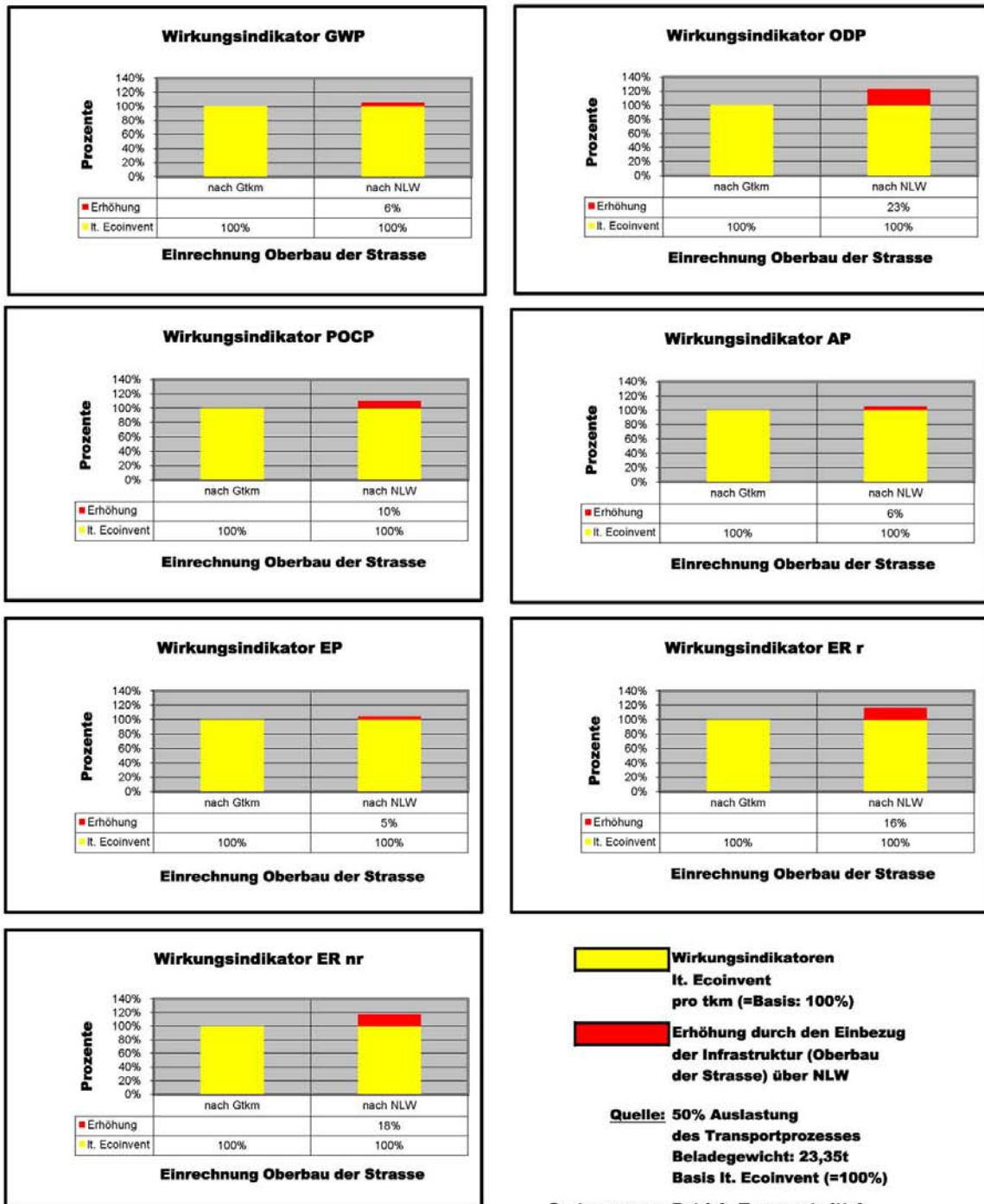


Abbildung 27: Einfluss der Infrastruktur-Allokation: Gesamter Transportprozess

9.10 Zusammenfassung

Nach Auswahl der maßgebenden Einflussfaktoren wurden einzelne Faktoren genauer analysiert. Den größten Einfluss hat das tatsächliche Beladegewicht, wo beispielsweise bei einer Reduzierung des Beladegewichts von 26t auf 2t die anteiligen transportbedingten Umweltwirkungen je Tonnenkilometer auf das rund 10-fache ansteigen.

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass die zuvor analysierten Einflussfaktoren mit der Ecoinvent-Datenbank in der derzeitigen Form nicht ausreichend genau bei einer Ökobilanzierung von Transporten berücksichtigt werden können. Die zuvor gestellten Anforderungen an die Genauigkeit einzelner projektrelevanter Faktoren sowie den Umfang und die Erfassungsgenauigkeit der Ecoinvent-Datenbank sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Übersicht über die Genauigkeit projektrelevanter Transporteinflüsse die in Ecoinvent berücksichtigt werden				
Kategorien	projektrelevante Transporteinflüsse	inkludierte Einflüsse	Art der Berücksichtigung	Genauigkeit
Kategorie → Lage Werkstor - Baustelle	▶ Entfernung Werkstor - Baustelle (km)		nicht berücksichtigt	nicht ausreichend
	▶ Herstellung der Straßen	abhängig von: - Straßenkategorie - Verkehrsausrüstung - zugehörige Infrastruktur - Neigungsverhältnisse	mit Durchschnittswerten	nicht ausreichend
	▶ Wartung und Betrieb der Straßen		mit Durchschnittswerten	nicht ausreichend
	▶ Entsorgung bzw. Rückbau der Straßen		mit Durchschnittswerten	nicht ausreichend
Kategorie → Transportgut	Aus dieser Kategorie werden keine Transporteinflüsse gesondert betrachtet, da diese indirekt mit der Kategorie „Transportmittel“ abgedeckt werden.		indirekt berücksichtigt	indirekt berücksichtigt
Kategorie → Transportmittel	▶ Herstellung des LKW	abhängig von: - höchstzulässiges Gesamtgewicht	mit Durchschnittswerten	nicht ausreichend
	▶ Entsorgung des LKW		mit Durchschnittswerten	nicht ausreichend
	▶ Wartung und Betrieb des LKW		mit Durchschnittswerten	nicht ausreichend
	■ höchstzulässiges Gesamtgewicht		in 4 Gruppen unterteilt	nicht ausreichend
	■ Auslastung Transportmittel - Volumen		nicht berücksichtigt	nicht ausreichend
	■ Auslastung Transportmittel - Gewicht		mit Durchschnittswerten	nicht ausreichend
	■ Auslastung Transportprozess		mit Durchschnittswerten	nicht ausreichend
	■ EURO - Klasse		(Klasse 3 - 5) berücksichtigt	ausreichend
■ Dieserverbrauch		mit Durchschnittswerten	nicht ausreichend	

Abbildung 28: Übersicht über die Genauigkeit projektrelevanter Transporteinflüsse, und die Art der Berücksichtigung in Ecoinvent

10 Transportmodell-Berechnungsalgorithmus

Auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Analysen wird im folgenden ein neues Transportmodell vorgestellt, mit welchem durch variable Eingangsparameter eine detaillierte Erfassung von transportbedingten Umweltwirkungen je Bauprodukt und Tonnenkilometer ermöglicht wird. Das Transportmodell beinhaltet eine strukturelle Berechnungsübersicht, in welcher die einzelnen Phasen des Rechenvorgangs, Anforderungen an den Berechnungsalgorithmus und die Systemgrenze dargestellt sind.

Weiters wird die grundsätzliche Struktur des Berechnungsalgorithmus erläutert. Dabei werden die wesentlichen Rahmenbedingungen und Inhalte abschnittsweise detailliert beschrieben. Anhand des neuen Berechnungsalgorithmus wird damit eine treffsichere Berechnung transportbedingter Umweltwirkungen ermöglicht.

Abschließend folgt die Validierung des Berechnungsalgorithmus. Dabei werden im ersten Teil der Validierung die Umweltwirkungen eines Massengut-Transportprozesses im Fernverkehrsbereich mit jenen eines Volumsgut-Transportprozesses im Nahverkehrsbereich gegenübergestellt. Im zweiten Teil der Validierung wird ein durchschnittlicher Transportprozess angenommen und die Einflussfaktoren geringfügig verändert. Die anteiligen Umweltwirkungen werden wiederum prozentual gegenübergestellt und mit den vorangegangenen Sensitivitätsanalysen auf Plausibilität überprüft.

10.1 Transportmodell

Das Transportmodell dient als Rechenmodell zur genauen Bestimmung transportbedingter Umweltwirkungen. In Abbildung 29 ist die grundsätzliche Struktur des Transportmodells dargestellt. Dieses Modell beinhaltet sämtliche Einflussfaktoren, die für eine treffsichere Bestimmung transportbedingter Umweltwirkungen herangezogen werden müssen. Folgende Gliederung der einzelnen Rechenschritte wurde gewählt:

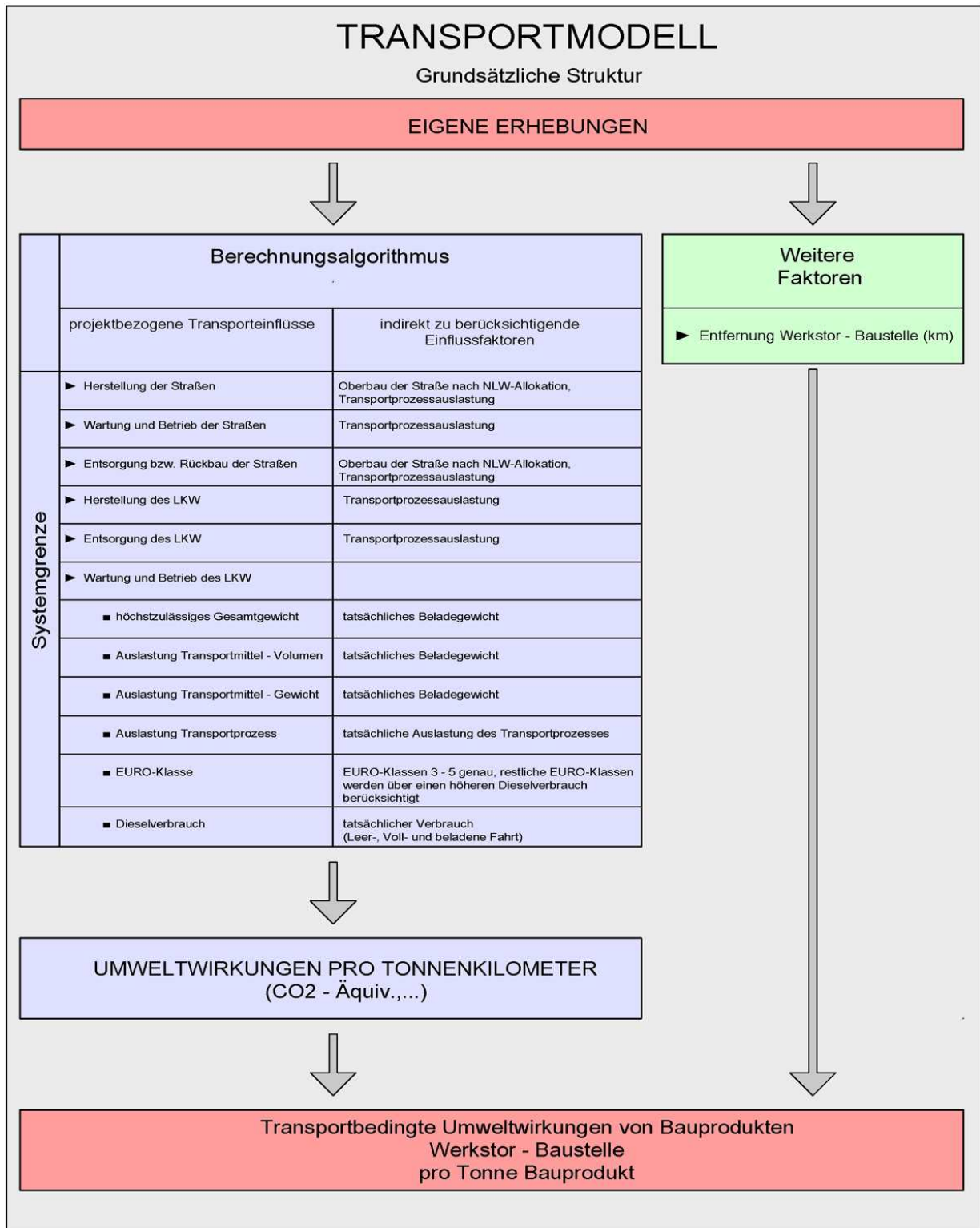
Eigene Erhebungen: In diesem Arbeitsschritt werden die charakteristischen Transport-Prozesseigenschaften wie beispielsweise Transportmittel, Dieserverbrauch, etc. für die Berechnung ermittelt. Für die Datenerhebung werden ausgewählte Baustoff-Produzenten kontaktiert und sämtliche Transportprozesseigenschaften erhoben.

Berechnungsalgorithmus: Der Berechnungsalgorithmus, der auf Basis von Ecoinvent-Datensätzen erstellt wird, ermöglicht eine treffsichere Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen pro Tonnenkilometer.

Weitere Faktoren: Dabei wird neben dem Berechnungsalgorithmus, die Entfernung zwischen Werkstor und Baustelle berücksichtigt.

Transportbedingte Umweltwirkungen: In diesem Arbeitsschritt werden die Umweltwirkungen je Tonnenkilometer mit der Entfernung multipliziert. Daraus ergeben sich die transportbedingten Umweltwirkungen je Tonne Bauprodukt (Werkstor - Baustelle).

Nachfolgend werden die einzelnen Abschnitte des Transportmodells erläutert, wobei zunächst auf den Berechnungsalgorithmus näher eingegangen wird. Anhand des Berechnungsalgorithmus werden darauffolgend die notwendigen Eingangsdaten festgelegt und der Fragebogen für die Datenerhebung erarbeitet.



UMWELTWIRKUNGEN PRO TONNENKILOMETER
(CO₂ - Äquiv.,...)

Transportbedingte Umweltwirkungen von Bauprodukten
Werkstor - Baustelle
pro Tonne Bauprodukt

Abbildung 29: Transportmodell - Grundsätzliche Struktur

10.2 Berechnungsalgorithmus

Zur treffsicheren Berechnung der Umweltwirkungen mussten wesentlich mehr Einflussfaktoren erfasst und genauer berücksichtigt werden als es mit der Datenbank von Ecoinvent möglich ist. Die grundsätzliche Struktur des Berechnungsalgorithmus ist in Abbildung 30 dargestellt. Dabei erfolgt eine Einteilung in folgende fünf Abschnitte:

Abschnitt I: Betrieb und Wartung des LKW

Abschnitt II: Herstellung und Entsorgung des LKW

Abschnitt III: Herstellung und Entsorgung der Infrastruktur (außer Oberbau der Straße)

Abschnitt IV: Herstellung und Entsorgung des Oberbaus der Straße

Abschnitt V: Betrieb und Wartung der Infrastruktur

Die transportbedingten Umweltwirkungen je Tonnenkilometer ergeben sich aus der Summe der anteiligen Umweltwirkungen aus den fünf Abschnitten.

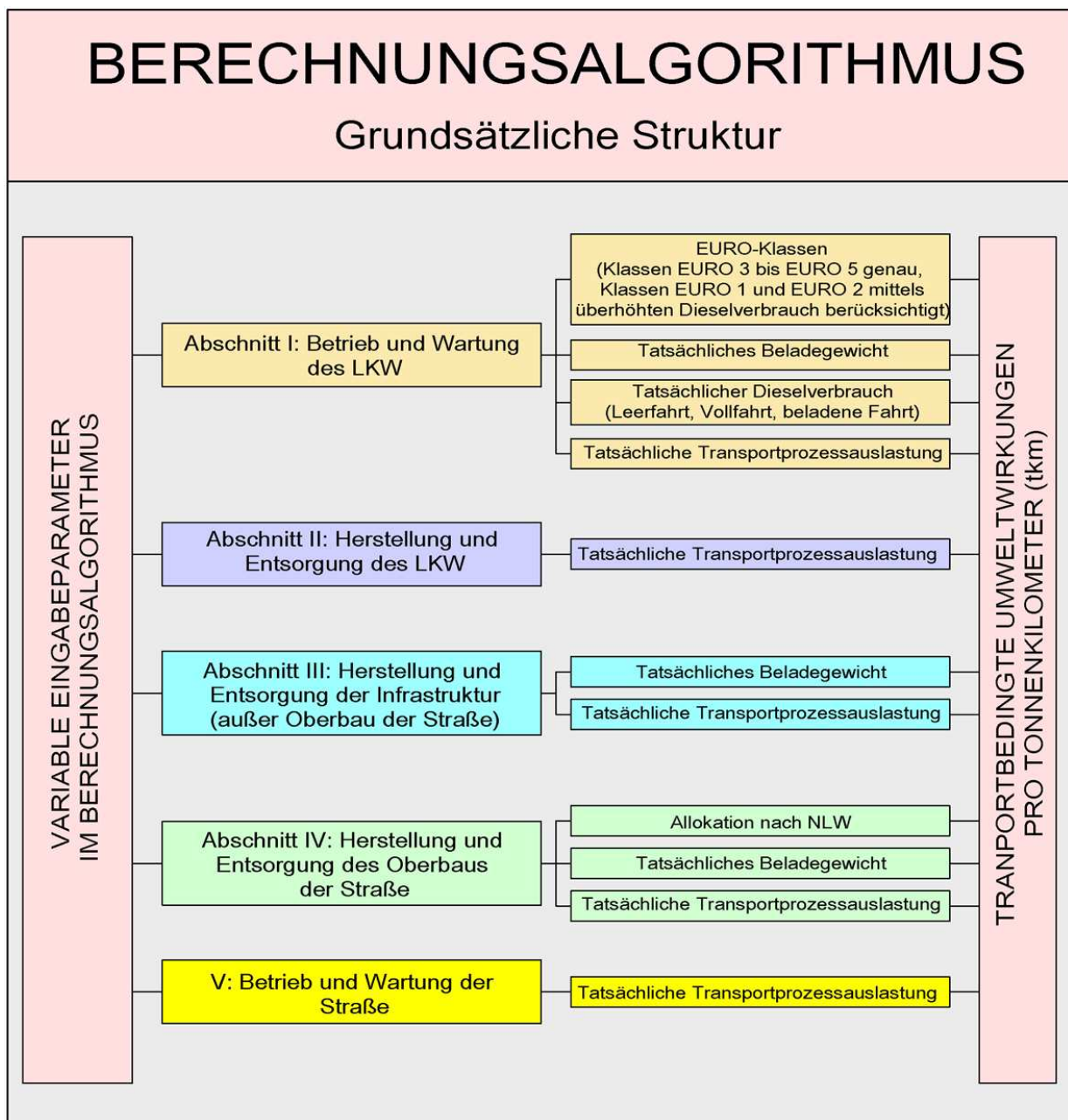


Abbildung 30: Berechnungsalgorithmus - Grundsätzliche Struktur

Nachfolgend sind die einzelnen Abschnitte in den Abbildungen 31 bis 36 des Berechnungsalgorithmus dargestellt. Die Basis bilden, wie in den vorangegangenen Sensitivitätsanalysen der Einflussfaktoren, ein oder mehrere Ecoinvent Basis-Datensätze.

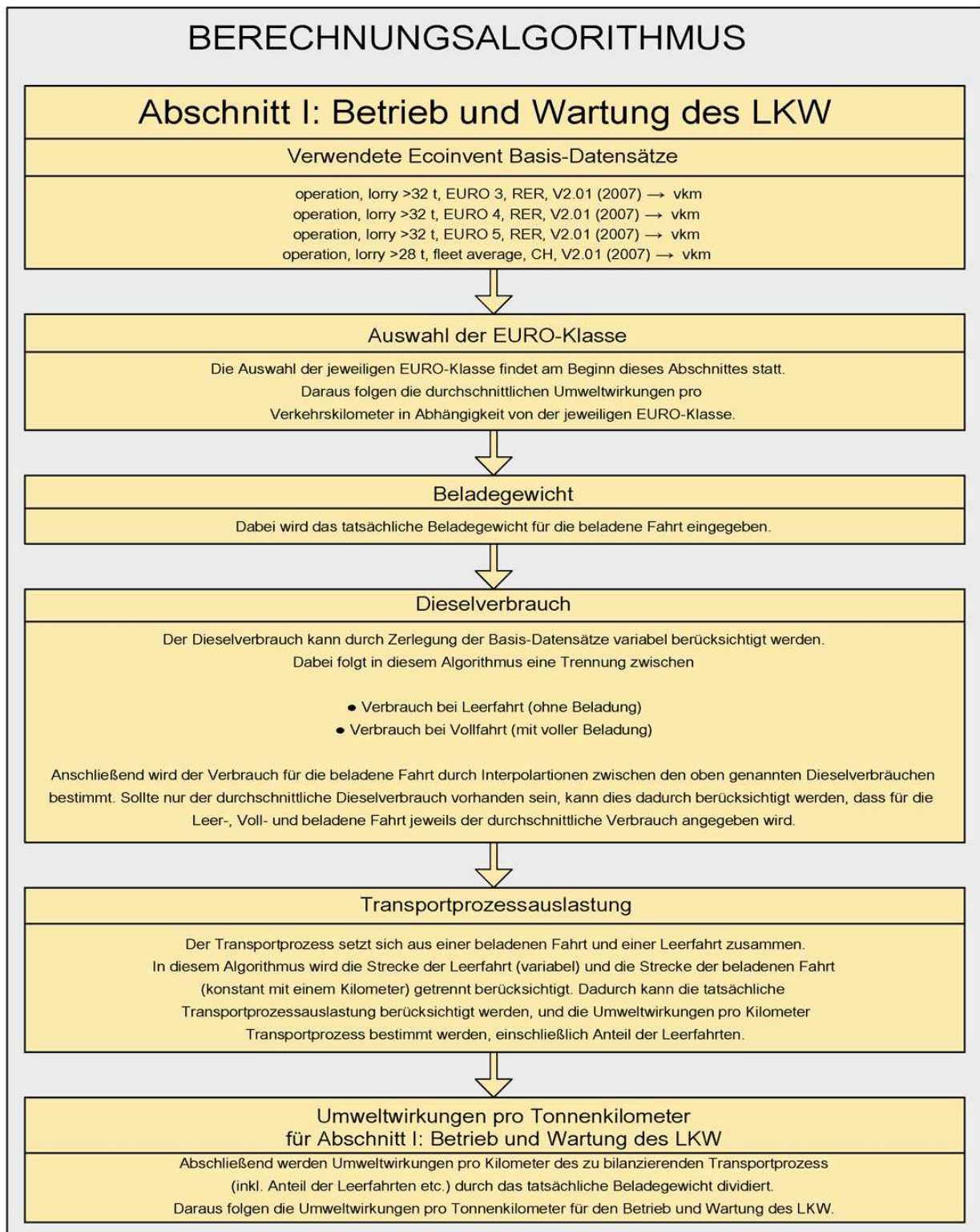


Abbildung 31: Berechnungsalgorithmus - Abschnitt I

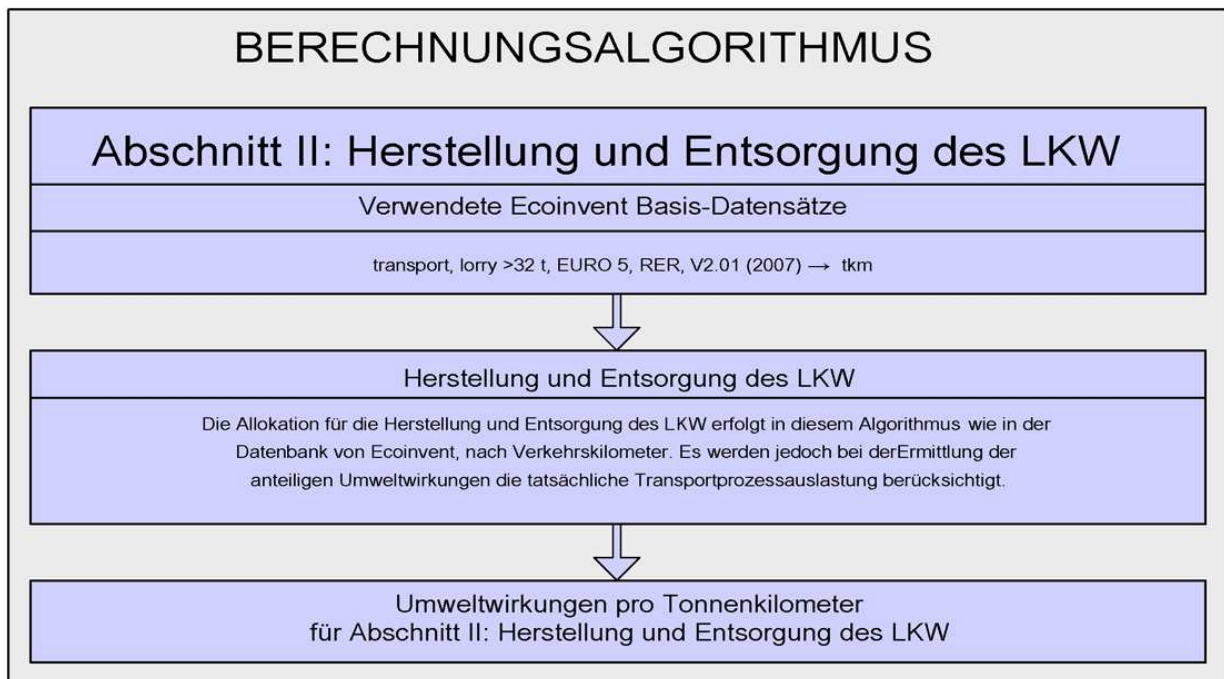


Abbildung 32: Berechnungsalgorithmus - Abschnitt II

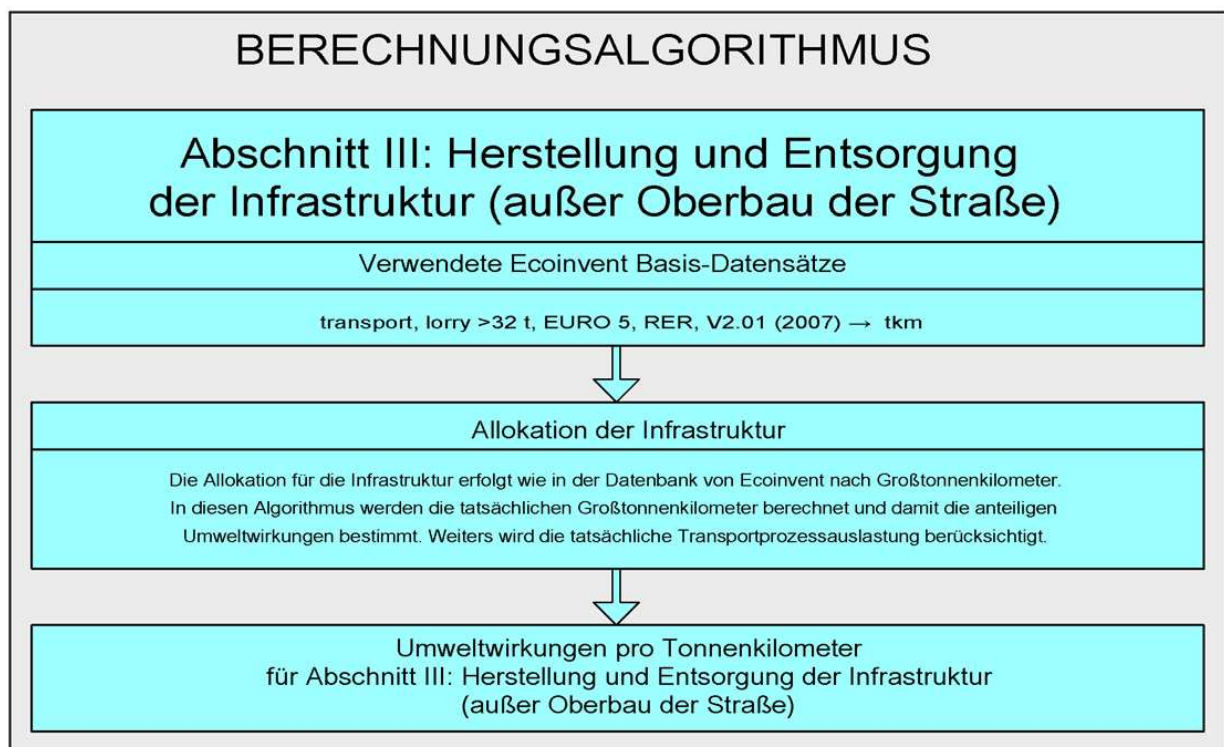


Abbildung 33: Berechnungsalgorithmus - Abschnitt III

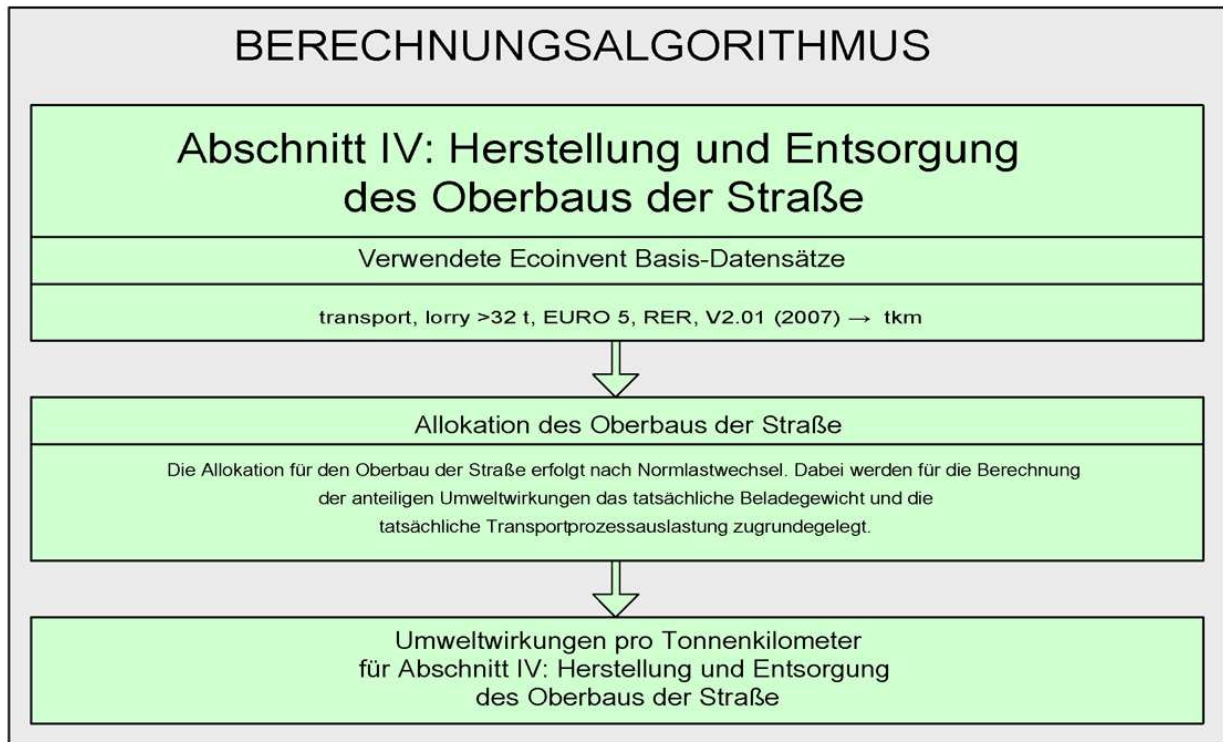


Abbildung 34: Berechnungsalgorithmus - Abschnitt IV

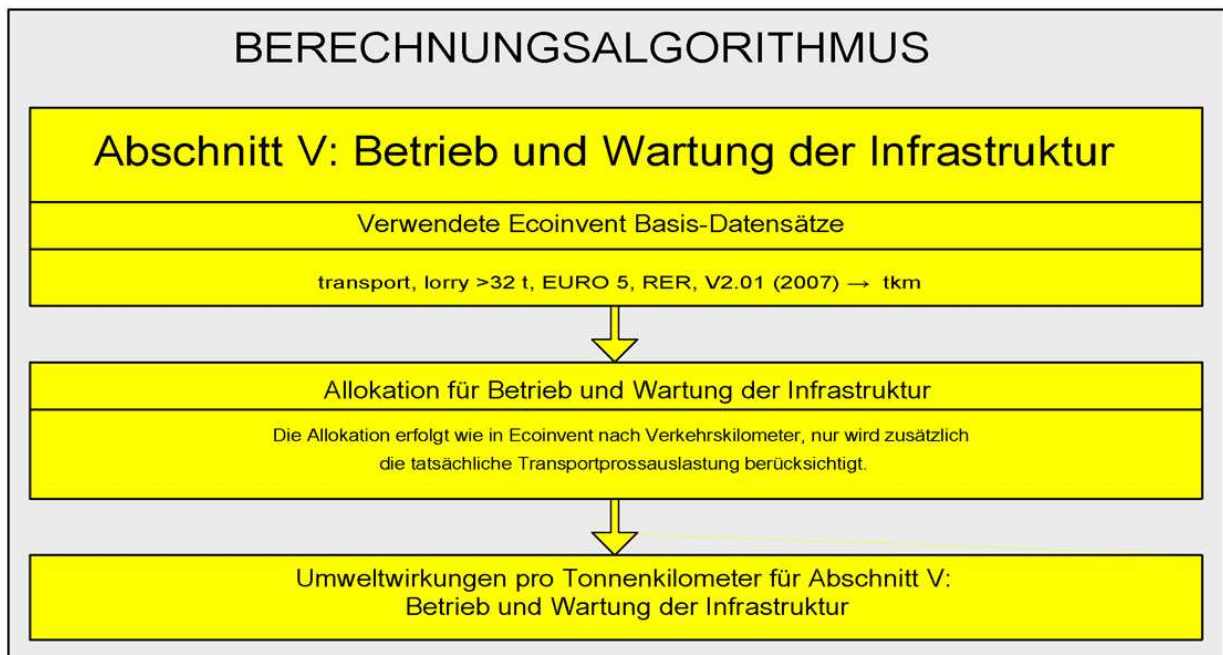


Abbildung 35: Berechnungsalgorithmus - Abschnitt V

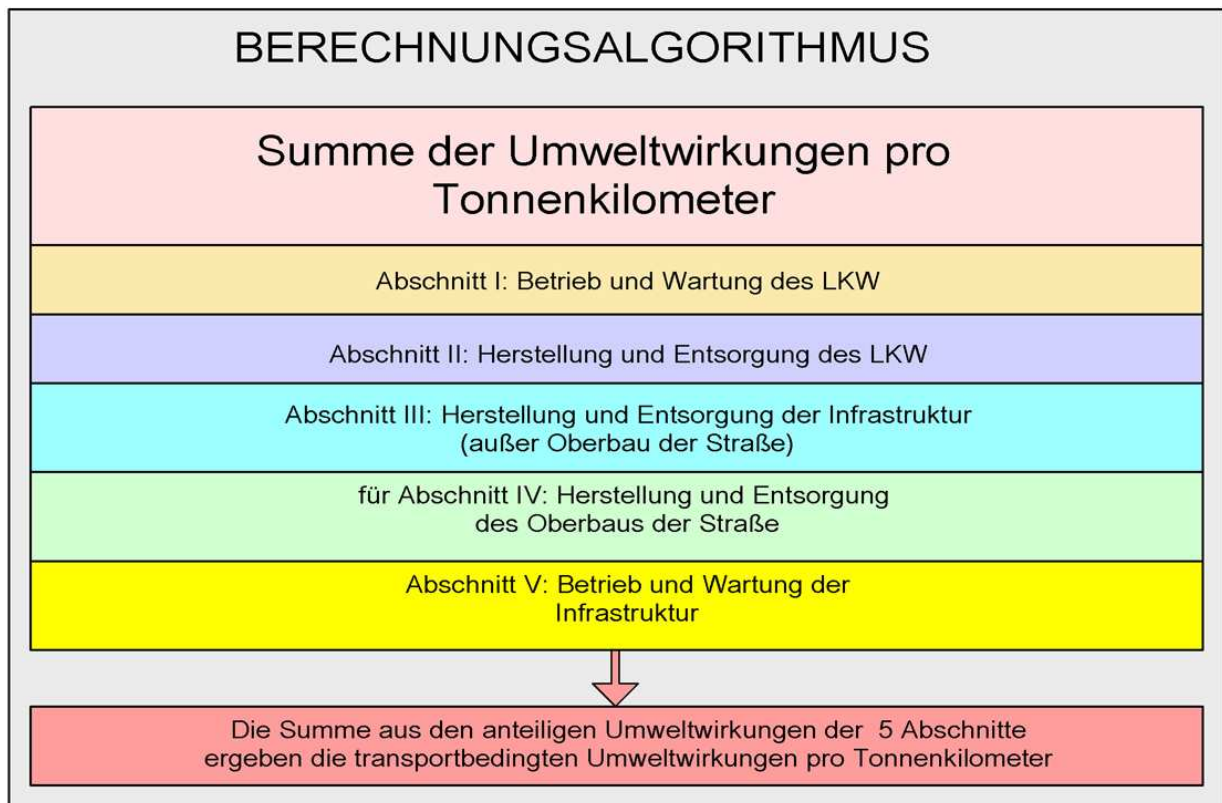


Abbildung 36: Berechnungsalgorithmus - Summe transportbedingter Umweltwirkungen

10.3 Validierung des Berechnungsalgorithmus: Teil 1

10.3.1 Ausgangslage

Der neu entwickelte Berechnungsalgorithmus wird im folgenden auf Plausibilität und Zuverlässigkeit der Ausgabewerte durch Vergleich mit Durchschnittswerten basierend auf Ecoinvent in zwei Teilen validiert, um mögliche Fehlerquellen erkennen und ausschließen zu können.

10.3.2 Vorgangsweise

Die variablen Eingabefaktoren des Berechnungsalgorithmus werden verändert und die daraus resultierenden Umweltwirkungen gegenübergestellt. Anschließend folgt eine Kontrolle mit den vorangegangenen Sensitivitätsanalysen der Einflussfaktoren. Folgende Annahmen wurden für den ersten Teil der Validierung getroffen:

Annahme I: Die erste Annahme ist ein LKW der EURO 5 Klasse, der ein Massengut beladen hat, und einen Ferntransport durchführt. Das Beladegewicht wird mit 26 Tonnen angenommen, das heißt, der LKW ist hinsichtlich des Beladegewichts zur Gänze ausgelastet. Für die Leerfahrt

wird ein niedriger Dieserverbrauch von 29 l/100km angesetzt. Der Verbrauch für die Vollfahrt wird mit 39,4 l/100km angenommen, da dieser vom Beladegewicht abhängt und daher höher angesetzt wird. Weiters wird davon ausgegangen, dass die Auslastung des Transportprozesses 70% beträgt. Dies bedeutet einen relativ geringen Anteil von Leerfahrten.

Annahme II: Die zweite Annahme ist ein im Nahverkehrsbereich fahrender LKW, der einer durchschnittlichen EURO Klasse auf europäischen Straßen entspricht und ein Volumsgut geladen hat. Das Beladegewicht wird mit zwei Tonnen angenommen. Für die Leerfahrt wird ein hoher Dieserverbrauch von 35 l/100km angesetzt. Der Verbrauch für die Vollfahrt wird mit 38 l/100km angenommen, dieser ist deshalb niedriger als bei der ersten Annahme, da die Beladung nur zwei Tonnen beträgt. Weiters wird von einem hohen Anteil an Leerfahrten ausgegangen (Transportprozessauslastung: 35%).

Die prozentuale Gegenüberstellung der Umweltwirkungen von beiden Annahmen ist in Abbildung 37 dargestellt.

10.3.3 Ergebnis - Validierung - Teil: 1

In den Wirkungskategorien „Klimaänderung (GWP), Stratosphärischer Ozonabbau (ODP), Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER_r)“ und „Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar (ER_{nr})“ unterscheiden sich die transportbedingten Umweltwirkungen näherungsweise um das rund 25-fache. Dies stimmt überschlagsmäßig mit den vorangegangenen Sensitivitätsanalysen überein. In den Wirkungskategorien „Sommersmog (POCP), Versauerung (AP)“ und „Eutrophierung (EP)“ sind noch größere Unterschiede zwischen den beiden Fällen festzustellen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in diesen Kategorien der Einfluss der EURO-Klassen höher ist. Den größten Unterschied weist die Wirkungskategorie „Eutrophierung (EP)“ auf. Hier sind die Umweltwirkungen um das 55-fache höher als bei der ersten Annahme. Dies ist ebenfalls auf den Einfluss der EURO-Klassen zurückzuführen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die anteiligen Umweltwirkungen mit den vorangegangenen Sensitivitätsanalysen aufgrund der unterschiedlichen Systemgrenzen näherungsweise übereinstimmen.

Validierung des Berechnungsalgorithmus-Teil 1

Wirkungsindikatoren pro tkm

LKW 40t, max. 26t Beladegewicht

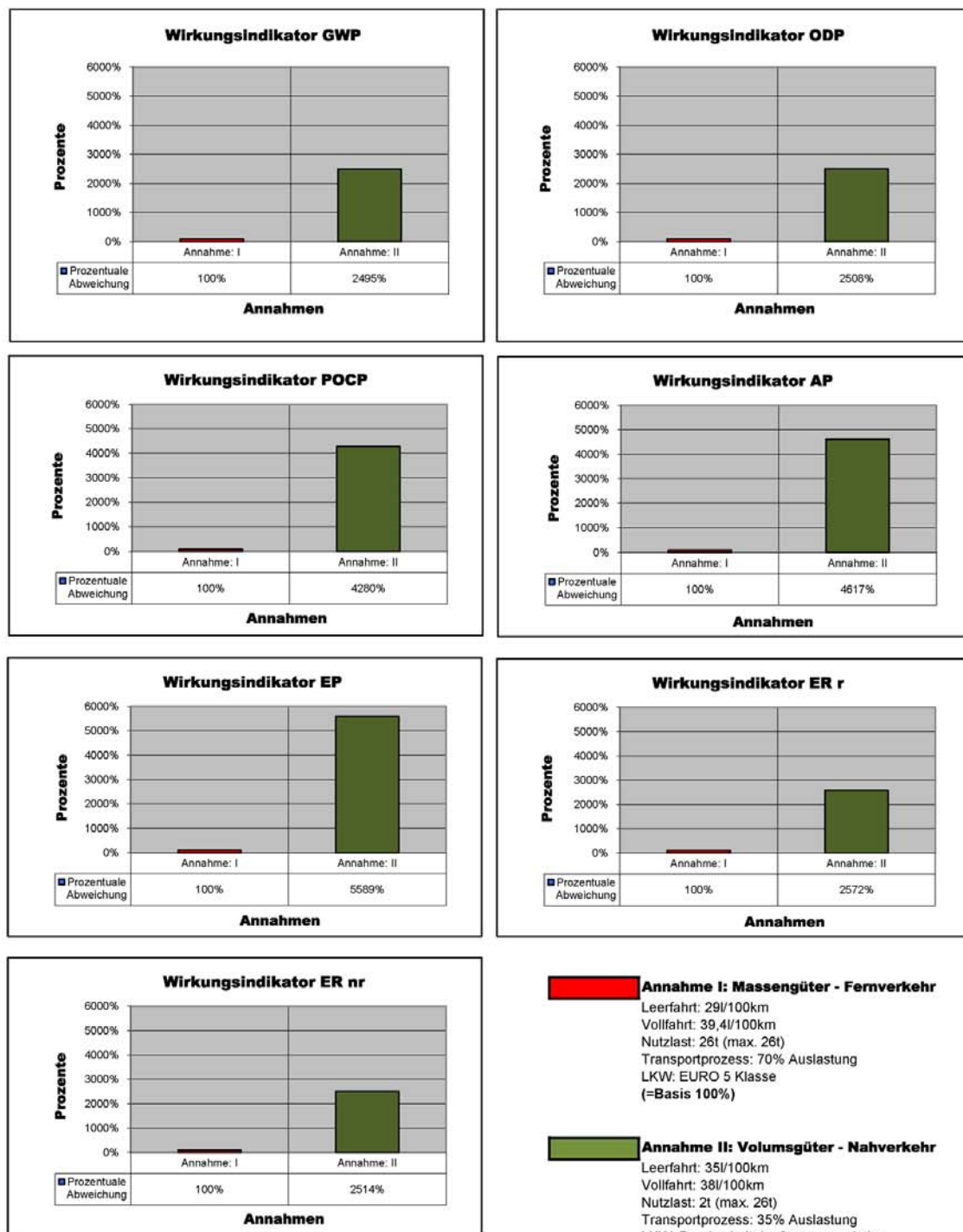


Abbildung 37: Validierung des Berechnungsalgorithmus Teil 1

10.4 Validierung des Berechnungsalgorithmus: Teil 2

Im zweiten Teil der Validierung werden die gesamten Einflussfaktoren nur geringfügig verändert und mit den Sensitivitätsanalysen der Einflussfaktoren verglichen.

10.4.1 Vorgangsweise

Es wird ein durchschnittlicher Transportprozess angenommen wobei einzelne Faktoren jeweils um 10% erhöht bzw. vermindert werden. Abweichend davon wird für die Kategorie EURO-Klassen, für eine Senkung der Umweltwirkungen, die EURO-Klasse 5 verwendet, und für eine Erhöhung der Umweltwirkungen die für europäische Verhältnisse durchschnittliche EURO-Klasse herangezogen. Detaillierte Angaben dieser Validierung sind in der nachfolgenden Abbildung 38 dargestellt.

10.4.2 Ergebnis - Validierung Teil: 2

In den Wirkungskategorien „Klimaänderung (GWP), Stratosphärischer Ozonabbau (ODP), kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ und „kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar (ER nr)“ ändern sich die anteiligen Umweltwirkungen durch eine 10 prozentige Erhöhung bzw. Senkung der Einflussfaktoren um rund 20 bis 30%. In den Wirkungskategorien „Sommersmog (POCP), Versauerung (AP) und Eutrophierung (EP)“ sind ebenso wie in der vorangegangenen Validierung größere Unterschiede festzustellen, was auf den Einfluss der EURO-Klassen zurückzuführen ist.

Abschließend kann festgehalten werden, dass beide Validierungsergebnisse mit den vorangegangenen Ergebnissen der Sensitivitätsanalysen hinsichtlich Plausibilität und Zuverlässigkeit übereinstimmen.

Validierung des Berechnungsalgorithmus: Teil 2

Wirkungsindikatoren pro tkm

LKW 40t, max. 26t Beladegewicht

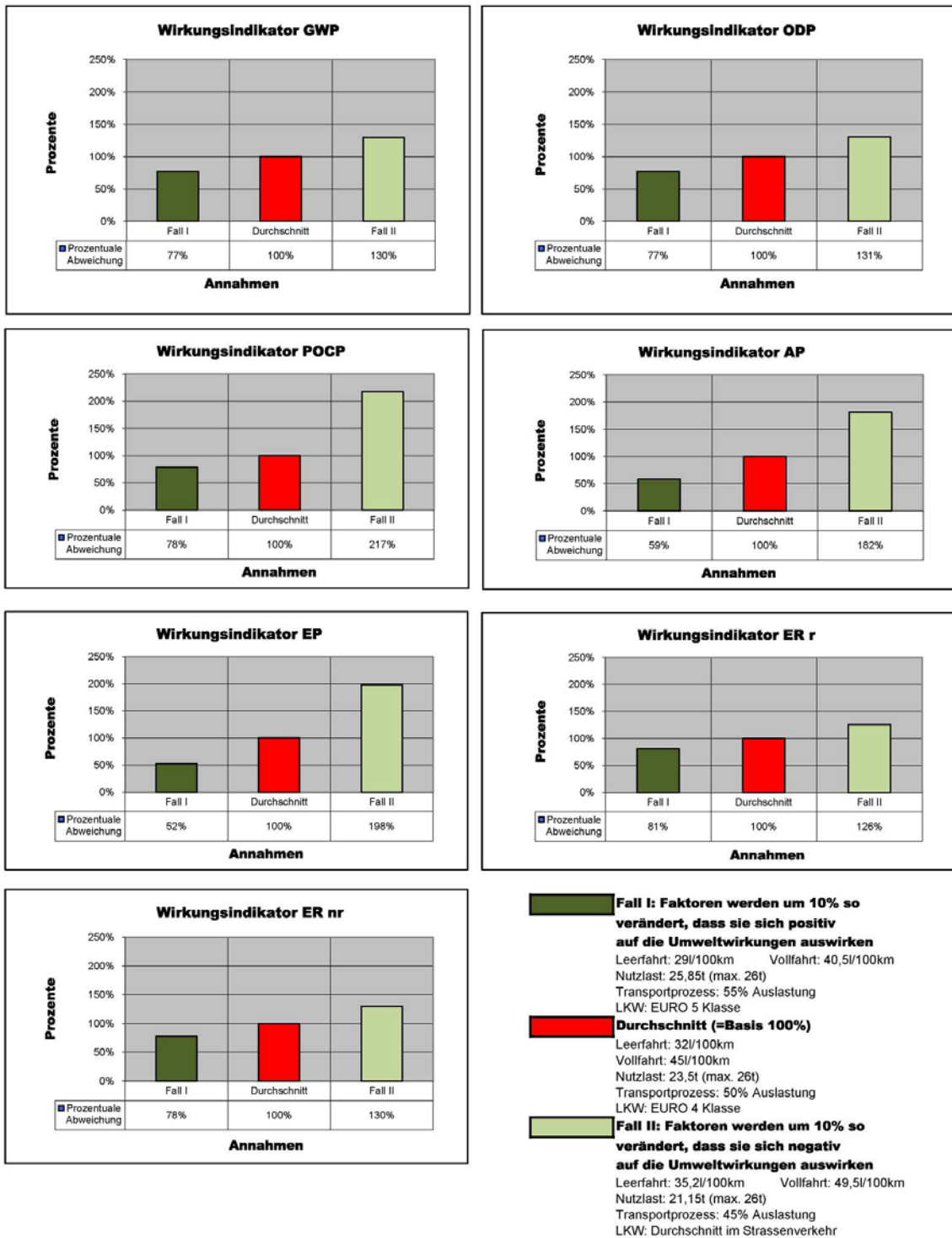


Abbildung 38: Validierung des Berechnungsalgorithmus Teil 2

Zusammenfassung

Das neu entwickelte Transportmodell ist ein Rechenmodell, welches zur genauen Bestimmung von transportbedingten Umweltwirkungen dient. Dafür wurde ein Berechnungsalgorithmus entwickelt, der eine treffsichere Berechnung von transportbedingten Umweltwirkungen ermöglicht. Abschließend erfolgte die Validierung des Berechnungsalgorithmus auf Basis eigener Annahmen.

Die anschließende Abbildung zeigt zusammenfassend, welche Faktoren - im Vergleich zur Datenbank von Ecoinvent - vom neu entwickelten Berechnungsalgorithmus genauer berücksichtigt werden können.

Gegenüberstellung Ecoinvent - Berechnungsalgorithmus				
Kategorien	projektrelevante Transporteinflüsse	inkludierte Einflüsse	Berücksichtigung in Ecoinvent	Berücksichtigung im Berechnungs- algorithmus
Kategorie → Lage Werkstor - Baustelle	▶ Entfernung Werkstor - Baustelle (km)		nicht berücksichtigt	im Transportmodell berücksichtigt
	▶ Herstellung der Straßen	abhängig von: - Straßenkategorie - Verkehrsausrüstung - zugehörige Infrastruktur - Neigungsverhältnisse	mit Durchschnittswerten	an Transportprozess ange- passt (NLW-Allokation)
	▶ Wartung und Betrieb der Straßen		mit Durchschnittswerten	an Transportprozess angepasst
	▶ Entsorgung bzw. Rückbau der Straßen		mit Durchschnittswerten	an Transportprozess ange- passt (NLW-Allokation)
Kategorie → Transportgut	Aus dieser Kategorie werden keine Transporteinflüsse gesondert betrachtet, da diese indirekt mit der Kategorie „Transportmittel“ abgedeckt werden.		indirekt berücksichtigt	indirekt berücksichtigt
Kategorie → Transportmittel	▶ Herstellung des LKW	abhängig von: - höchstzulässiges Gesamtgewicht	mit Durchschnittswerten	an Transportprozess angepasst
	▶ Entsorgung des LKW		mit Durchschnittswerten	an Transportprozess angepasst
	▶ Wartung und Betrieb des LKW		mit Durchschnittswerten	an Transportprozess angepasst
	■ höchstzulässiges Gesamtgewicht		in 4 Gruppen unterteilt	genau laut Datenerhebung
	■ Auslastung Transportmittel - Volumen		nicht berücksichtigt	genau laut Datenerhebung
	■ Auslastung Transportmittel - Gewicht		mit Durchschnittswerten	genau laut Datenerhebung
	■ Auslastung Transportprozess		mit Durchschnittswerten	genau laut Datenerhebung
	■ EURO - Klasse		(Klasse 3 - 5) berücksichtigt	(Klassen 3 - 5) genau berücksichtigt; Restl. mit überhöhten Dieselverbr.
	■ Dieselverbrauch		mit Durchschnittswerten	genau laut Datenerhebung

Abbildung 39: Gegenüberstellung Ecoinvent - Berechnungsalgorithmus

11 Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen

Für die Erhebung der Eingangsdaten in das neue Transportmodell wird ein entsprechender Muster-Fragebogen erarbeitet. Der Fragebogen ist so gestaltet, dass die notwendigen Daten einerseits vom Bauprodukterzeuger erhoben werden können und andererseits mit den Eingabeparametern des Berechnungsalgorithmus kompatibel sind. Da die zu erhebenden Transportprozeesseigenschaften von den einzelnen Bauprodukten abhängen, ist es notwendig, bauprodukt-spezifische Fragebögen zu erstellen, welche vom Muster-Fragebogen abgeleitet werden.

Anschließend erfolgt die Auswahl der Bauprodukte und Firmen, für die transportbedingte Umweltwirkungen bestimmt werden sollen. Dabei werden sowohl Bauprodukte, die zu den Massengütern gehören, als auch Bauprodukte, die zu den Volumsgütern zählen, ausgewählt. Dadurch kann der Anteil der Umweltwirkungen in Abhängigkeit von der Art des Guts aufgezeigt werden. Weiters wird in diesem Abschnitt für jedes Bauprodukt ein Bauprodukthersteller ausgewählt, von dem die Daten für die weiterführenden Berechnungen herangezogen werden können. Dabei wird darauf geachtet, dass ein Durchschnittswert für österreichische Verhältnisse ermittelt werden kann.

Auf Basis dieser Datenerhebung erfolgt die Ermittlung der transportbedingten Umweltwirkungen für ausgewählte Bauprodukte. Dabei wird die Charakteristik der Datenerhebung näher erläutert und anschließend die Auswertung des Fragebogens grafisch dargestellt. Im Anschluss wird für jedes ausgewählte Bauprodukt ein Minimal-, Mittel- und Maximalwert der transportbedingten Umweltwirkungen berechnet.

Abschließend erfolgt die Gegenüberstellung der transportbedingten Umweltwirkungen der jeweiligen Bauprodukten.

11.1 Muster-Fragebogen

Der Muster-Fragebogen dient als Vorlage für die Erstellung der bauprodukt-spezifischen Fragebögen. Die Bestandteile sind in erster Linie die projektrelevanten Einflussfaktoren. Jedoch müssen diese Faktoren so ausgearbeitet werden, dass sie einerseits von den befragten Bauproduktherstellern beantwortet werden können und andererseits den Eingabeparametern des Berechnungsalgorithmus entsprechen.

11.1.1 Bestandteile - Muster-Fragebogen

Einzelne Bestandteile des Muster-Fragebogens werden nachfolgend näher erläutert:

Firmendaten: Hier wird der Bauprodukthersteller und der Standort des Werkes erhoben.

Entfernung: In diesem Abschnitt wird die minimale, maximale und durchschnittliche Entfernung zwischen Bauprodukthersteller und Baustelle und die prozentualen Anteile erhoben.

Auslastung des Transportprozesses: Dabei wird die durchschnittliche prozentuale Auslastung des Transportprozesses ermittelt.

Beladung: Neben dem Beladegewicht bei einer vollen Auslastung wird auch das Beladegewicht bei einer teilweisen Auslastung des Transportmittels einschließlich deren prozentualen Anteile erhoben.

Transportmittel: Sollte außer dem LKW ein anderes Transportmittel zum Einsatz kommen wird dies im Fragebogen festgehalten. Weiters werden für die jeweiligen LKW-Typen das höchstzulässige Gesamtgewicht, die prozentualen Anteile einzelner EURO-Klassen und der Dieserverbrauch für eine Leerfahrt und eine Vollfahrt getrennt erhoben. Sollte der Verbrauch nicht getrennt ermittelt werden können, wird ein Durchschnittswert herangezogen.

Zusatz: Abschließend werden weitere relevante Angaben des befragten Bauproduktherstellers, die in den restlichen Abschnitten des Fragebogens nicht abgedeckt werden können, dokumentiert und in der darauf folgenden Auswertung des Fragebogens berücksichtigt.

In der nachfolgenden Abbildung 40 erfolgt die grafische Darstellung des Muster-Fragebogens.

MUSTER-FRAGEBOGEN															
Firma: <u>Firma Muster GesmbH.</u>						Datum: _____									
Ort des Werkes: <u>8888 Musterland</u>						Auskunft- Person: <u>DI Muster Alfred</u>									
[km]	Entfernung [km]			Auslastung des Transportprozesses	durchschnittliches Beladegewicht bei voller Auslastung des Transportmittels [t]	durchschnittliches Beladegewicht bei teilweiser Auslastung des Transportmittels [t]	Anzahl der Transportprozesse bei denen das Transportmittel voll ausgelastet ist [%]	Anzahl der Transportprozesse bei denen das Transportmittel teilweise ausgelastet ist [%]	Transportmittel	Höchstzulässiges Gesamtgewicht des LKW's [t]	"EURO"- Klasse des LKW's bzw. Anteil in %	Dieselverbrauch des LKW [l/100km]			
	MIN	Durchschnitt	MAX									Leerfahrt	Vollfahrt		
	5	30	50	50%	20,0	12,0	95%	5%	<input type="checkbox"/> bis 3,5 t <input type="checkbox"/> 3,5 t bis 16,0 t <input type="checkbox"/> 16,0 t - 20,0 t <input type="checkbox"/> 20,0 t bis 24,0 t <input type="checkbox"/> 24,0 t bis 28,0 t <input type="checkbox"/> 28,0 t bis 32,0 t <input type="checkbox"/> 32,0 t bis 36,0 t <input type="checkbox"/> 36,0 t bis 40,0 t <input type="checkbox"/> über 40 t	0%	0%	0%	0%	28,0	42,0
Anteil	5%	90%	5%							<input type="checkbox"/> LKW	0%	40%	50%	10%	Ø - Verbrauch 35,00
Jahresleistung															
	km	Anz. Fahrten	Tonnen [t]												
	-	-	-												
										<input type="checkbox"/> BAHN					
										<input type="checkbox"/> SCHIFF					
<small>Zusatz: Es wurden keine sonstigen relevante Angaben gemacht werden.</small>															

Abbildung 40: Musterfragebogen

11.1.2 Auswertung - Muster-Fragebogen

In diesem Abschnitt bzw. in Abbildung 41 wird die Auswertung des Muster-Fragebogens beschrieben. Dabei werden die möglichen Kombinationen der erhobenen Transportprozesse in einer Baumstruktur dargestellt. Für die Bildung des Mittelwertes werden mindestens 90% der Transportprozesse berücksichtigt.

Die bauproduktsspezifischen Fragebögen werden vom Muster-Fragebogen abgeleitet und dem jeweiligen Bauprodukttransport angepasst. Diese werden hier nicht näher beschrieben, da diese nur marginale Änderungen zum Muster-Fragebogen aufweisen.

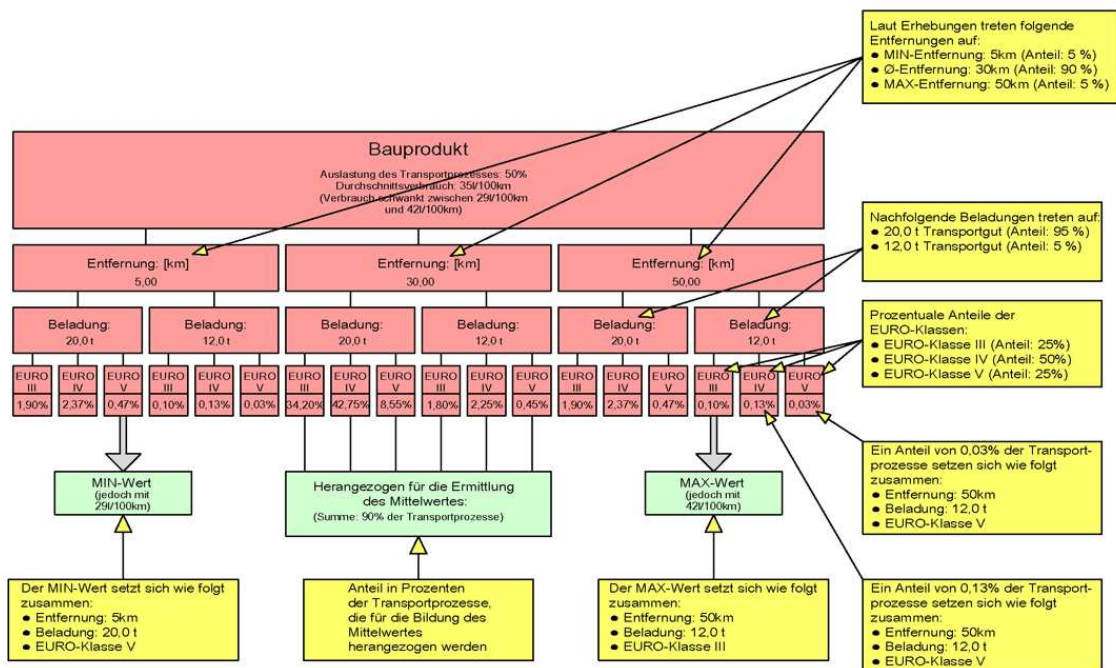


Abbildung 41: Auswertung Muster-Fragebogen

11.1.3 Ausgewählte Bauprodukte und Bauprodukthersteller

Auf Basis der ausgewählten Bauprodukte (Massen- und Volumsgüter) werden die befragten Bauprodukthersteller bezüglich Datenerhebung kontaktiert. Dabei wird darauf geachtet, dass anhand dieser Firma näherungsweise ein Durchschnittswert für ganz Österreich gebildet werden kann.

Hinweis: Bei Transporten von Holz bzw. Holzprodukten war es nicht möglich, anhand von Firmenangaben einen Durchschnittswert für ganz Österreich zu ermitteln. Holz und Holzprodukte können aus diesem Grund in der gegenständlichen Studie nicht behandelt werden.

Die Firmenangaben können aus Gründen des Datenschutzes im gegenständlichen Bericht nur in anonymisierter Form zur Verfügung gestellt werden. Des weiteren ist zu beachten, dass diese punktuellen Erhebungen nur bedingt einen Rückschluss auf einen, auf österreichische Verhältnisse generell anwendbaren Transportrucksack, zulassen. Ziel war vielmehr erste Erfahrungen hinsichtlich der möglichen Umweltauswirkung unterschiedlicher Transportprozesse auf Bauproduktebene zu gewinnen.

Ausgewählte Bauprodukte	
Massengüter	Volumsgüter
Transportbeton	EPS
Baustahlgitter	Steinwolle
Ziegel (HLZ38)	Glaswolle

Abbildung 42: Übersicht über die ausgewählten Bauprodukte

11.2 Transportbeton

11.2.1 Datenerhebung

Die Transportentfernung von Transportbeton ist dadurch begrenzt, da der Beton innerhalb von 105 Minuten ab der Wasserzugabe im Werk, auf die Baustelle geliefert und eingebracht werden muss. Die Transportprozessauslastung beträgt maximal 50%, da Betonmischer ausschließlich für Transportbeton ausgelegt sind und dadurch keine anderen Güter transportiert werden können. Wie es bei Betonwerken üblich ist, hat auch die befragte Firma einen eigenen Fuhrpark.

Über die Füllmenge bzw. die Auslastung des Transportmittels und den EURO-Klassen konnten relativ genaue Angaben gemacht werden. Der Dieserverbrauch wird anhand eines aus Firmenaufzeichnungen ermittelten Durchschnittswertes berücksichtigt, da keine Angaben des Verbrauchs für eine Leer- und Vollfahrt getrennt zur Verfügung standen.

Die Auswertung des Fragebogens ist in Abbildung 43 dargestellt. Zur Bildung des Mittelwertes wurden 90% der Transportprozesse berücksichtigt.

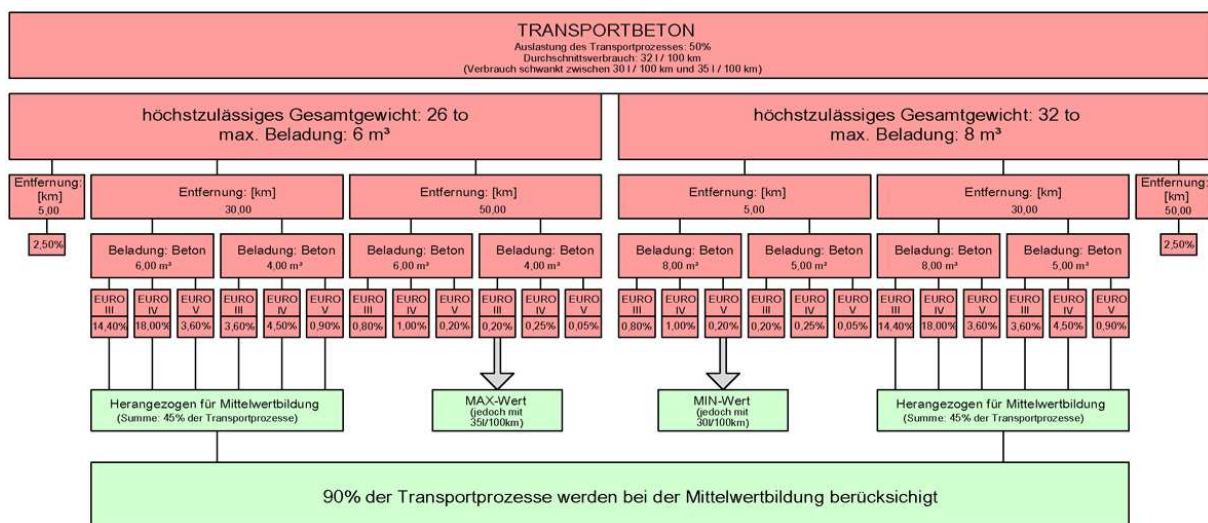


Abbildung 43: Auswertung Fragebogen - Beton

11.2.2 Ergebnis - Transportbeton

Die Ergebnisse der transportbedingten Umweltwirkungen von Beton sind in der Abbildung 44 dargestellt. Die größten Unterschiede sind in der Wirkungskategorie „Eutrophierung (EP)“ festzustellen. Dabei beträgt der Maximalwert 308% des Mittelwertes. Die minimalen transportbedingten Umweltwirkungen betragen in dieser Wirkungskategorie nur 10% des Mittelwertes.

Die vergleichsweise geringsten Unterschiede sind in der Wirkungskategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ festzustellen. Dabei beträgt der Minimalwert rd. 18% und der Maximalwert rd. 157% vom Mittelwert.

Transportbedingte Umweltwirkungen pro Tonne Beton Werkstor - Baustelle

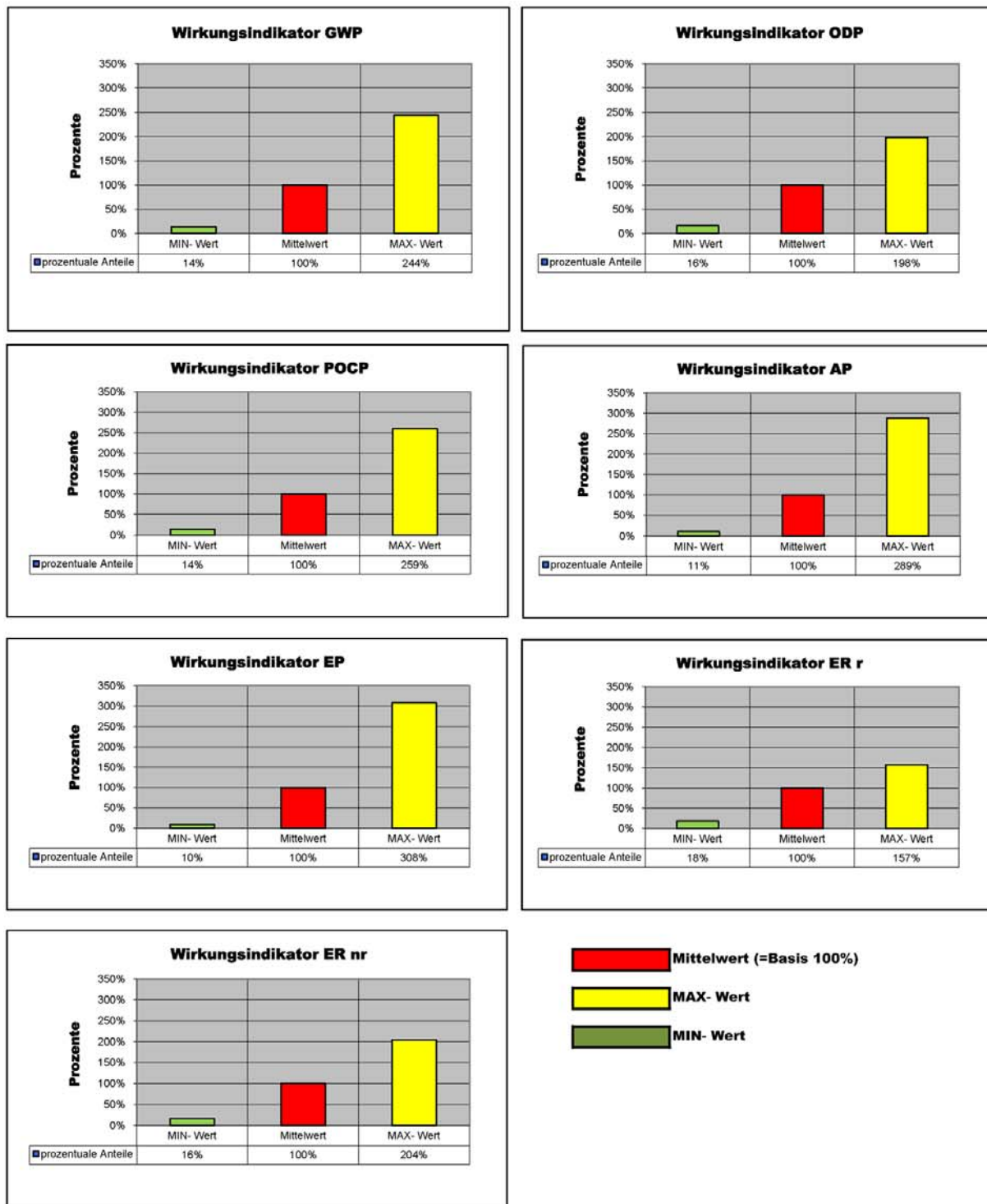


Abbildung 44: Transportbedingte Umweltwirkungen - Beton

11.3 Baustahlgitter

11.3.1 Datenerhebung

Die Auslieferung des befragten Herstellers erfolgt im Inland sowie im Ausland über LKW bzw. Speditionen. Es wurden ausschließlich Daten für österreichische Verhältnisse herangezogen. Von der Hauptspedition wurden weitere Daten bezüglich Auslastung des Transportprozesses, Dieserverbrauch, etc. erhoben.

Da die Auslieferung nach ganz Österreich erfolgt, schwankt die Entfernung zwischen Werkstor und Baustelle erheblich, nämlich zwischen 20 und 550 Kilometer. Die Auslastung des Transportprozesses ist von der Entfernung abhängig, es konnten aber diesbezüglich nur grobe Angaben gemacht werden.

Die aufbereiteten Daten der Erhebung sind in der Abbildung 45 dargestellt.

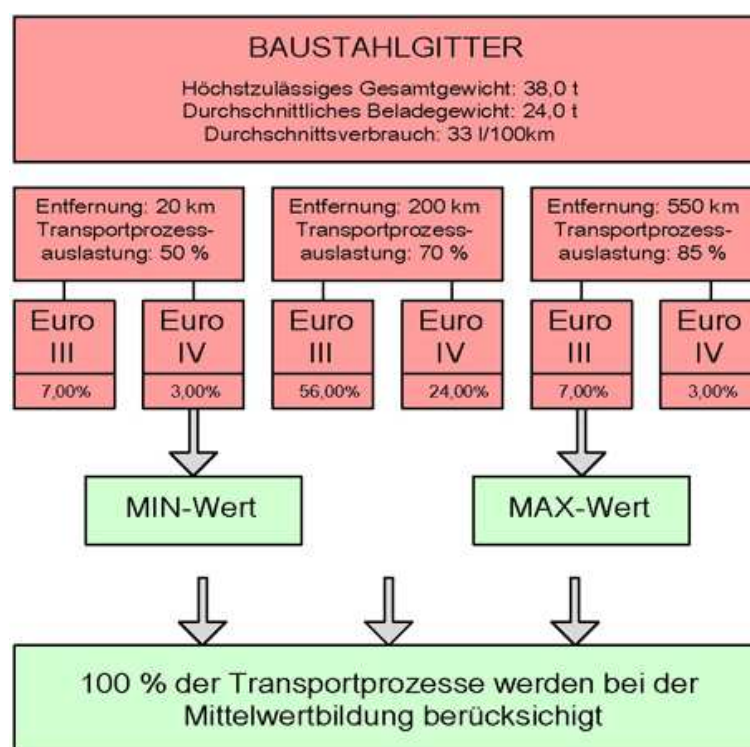


Abbildung 45: Auswertung Fragebogen - Baustahlgitter

11.3.2 Ergebnis - Baustahlgitter

Die Umweltwirkungen durch Transportprozesse von Baustahlgitter zwischen Werkstor und Baustelle sind in der Abbildung 46 dargestellt. Der Maximalwert beträgt dabei zwischen 235%

und 246% des Mittelwertes, hingegen der Minimalwert zwischen 10% und 11% des Mittelwertes. Im Allgemeinen bestehen keine großen Unterschiede zwischen den einzelnen Wirkungskategorien.

Transportbedingte Umweltwirkungen pro Tonne Baustahlgitter Werkstor - Baustelle

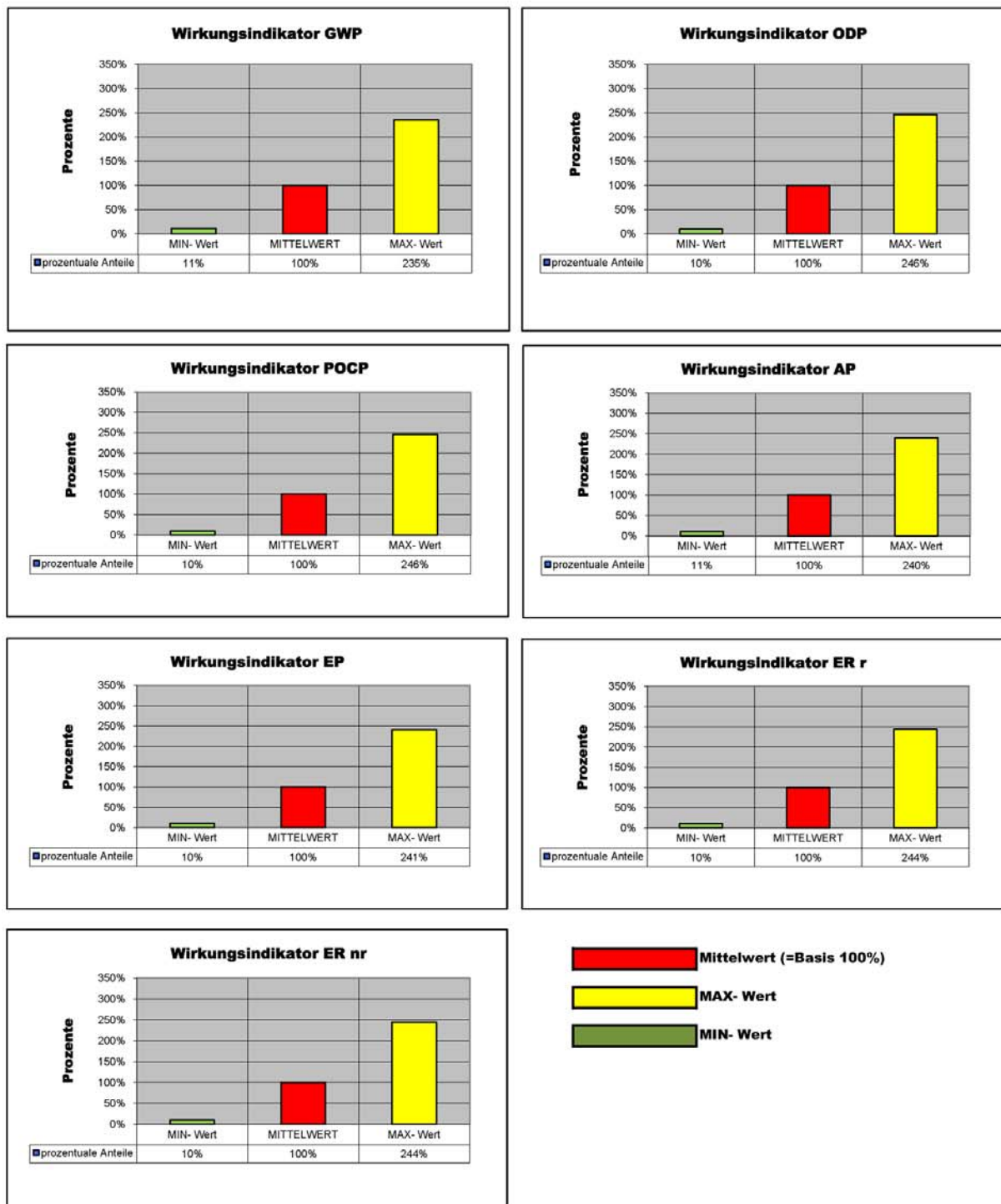


Abbildung 46: Transportbedingte Umweltwirkungen - Baustahlgitter

11.4 Ziegel

11.4.1 Datenerhebung

Die Ziegel (HLZ 38 N+F) werden von diesem Werk hauptsächlich über eine Spedition ausgeliefert, deshalb wurden notwendige Informationen wie Durchschnittsverbrauch, Transportprozessauslastung und EURO-Klassen der LKW von dieser Spedition erhoben. Die Entfernung für die Auslieferung der Ziegel liegt in etwa zwischen 40 und 250 km. Über die Transportprozessauslastung konnten wiederum nur annähernde Aussagen gemacht werden.

Die Auswertung des Fragebogens bzw. die Zusammensetzung des Minimal-, Mittel- und Maximalwertes ist in der nachfolgenden Abbildung 47 dargestellt.

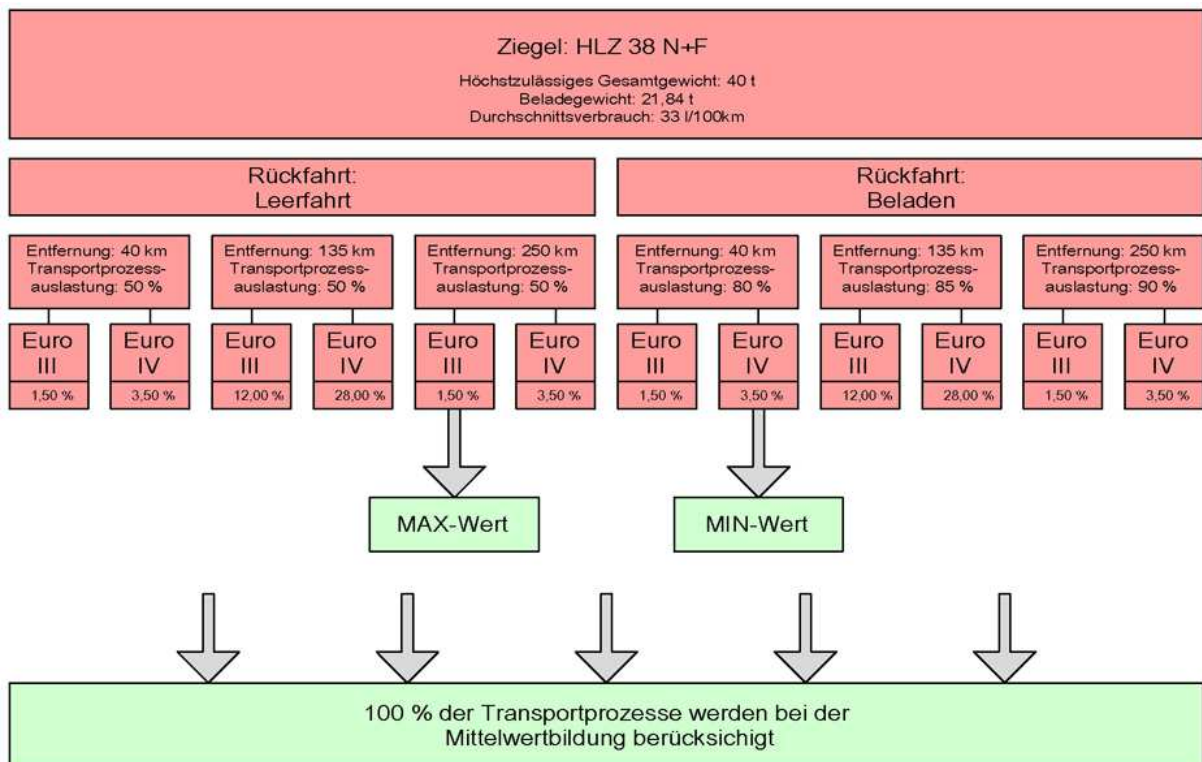


Abbildung 47: Auswertung Fragebogen-Ziegel

11.4.2 Ergebnis - Ziegel

Die transportbedingten Umweltwirkungen von Hochlochziegel (HLZ 38) sind in der Abbildung 48 dargestellt.

Die größten Unterschiede sind in der Wirkungskategorie „Eutrophierung (EP)“ festzustellen. Dabei beträgt der Maximalwert rd. 252% vom Mittelwert. Die minimalen transportbedingten

Umweltwirkungen betragen in dieser Wirkungskategorie nur 23% des Mittelwertes.

Die geringsten Unterschiede weist die Wirkungskategorie „Stratosphärischer Ozonabbau (ODP)“ auf, dabei beträgt der Minimalwert rund 28% des Mittelwertes und der Maximalwert 197% des Mittelwertes.

Transportbedingte Umweltwirkungen pro Tonne Ziegel Werkstor - Baustelle

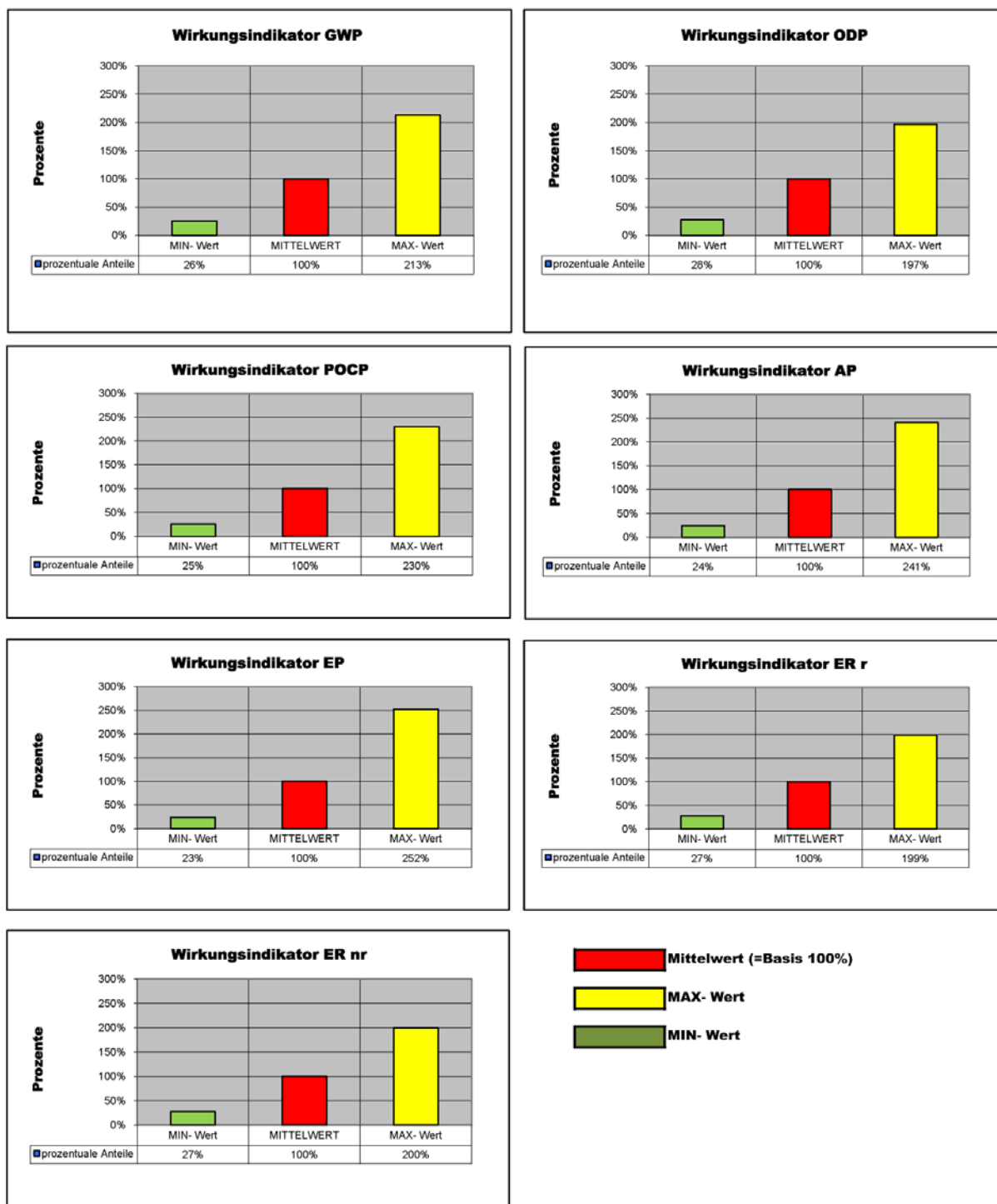


Abbildung 48: Transportbedingte Umweltwirkungen - Ziegel

11.5 Dämmstoff - EPS

11.5.1 Datenerhebung

Die Auslieferung des Bauproduktes wird vom befragten Bauprodukthersteller durch einen eigenen Fuhrpark sowie mittels verschiedener Speditionen durchgeführt. Der Fuhrpark besteht aus fünf LKW. Zwei der fünf LKW haben eine Transportprozessauslastung von rund 75%, die restlichen drei LKW haben eine 50%-ige Auslastung.

Je nach Auftragslage werden weiters bis zu 30 LKW von Speditionen benötigt. Die Hauptspedition liefert rund 40% der gesamten Aufträge aus. Über die prozentualen Anteile der weiteren Speditionen konnten keine näheren Angaben gemacht werden.

Die Auswertung des Fragebogens für die Bestimmung transportbedingter Umweltwirkungen ist in der Abbildung 49 dargestellt.

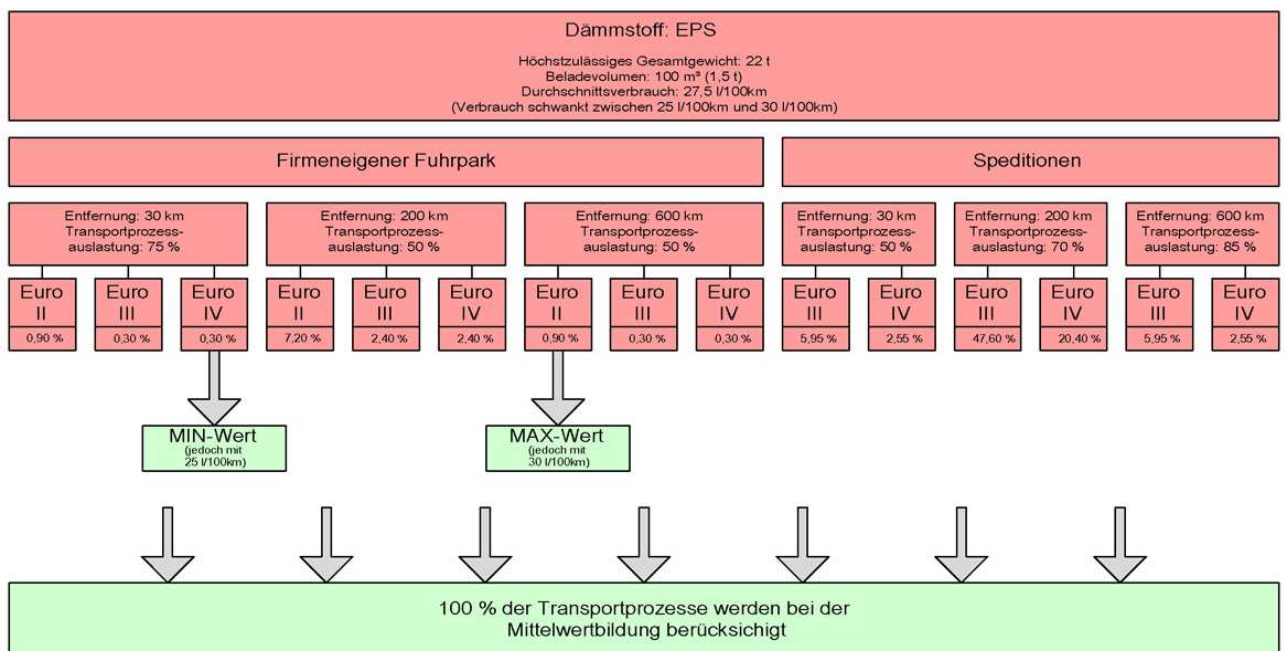


Abbildung 49: Auswertung Fragebogen - Dämmstoff - EPS

11.5.2 Ergebnis - Dämmstoff - EPS

Die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgt in der Abbildung 50. Dabei sind die Unterschiede zwischen Minimal-, Mittel- und Maximalwert erheblich höher, als das bei den untersuchten Massengütern der Fall war. Dies ist in erster Linie auf die große Streuung der Entfernungen zurückzuführen.

Die größten Unterschiede sind in den Wirkungskategorien „Sommermog (POCP)“ und „Eutrophierung (EP)“ festzustellen. Dabei betragen die Umweltwirkungen für den Minimalwert rund 10% des Mittelwertes und für den Maximalwert rund 430% des Mittelwertes.

Die Wirkungskategorie „Stratosphärischer Ozonabbau (ODP)“ weist die geringsten Unterschiede zwischen Minimal-, Mittel- und Maximalwert auf. Der Minimalwert beträgt in dieser Kategorie 12% des Mittelwertes, demgegenüber der Maximalwert rund 365% des Mittelwertes beträgt.

Transportbedingte Umweltwirkungen pro Tonne Dämmstoff (EPS) Werkstor - Baustelle

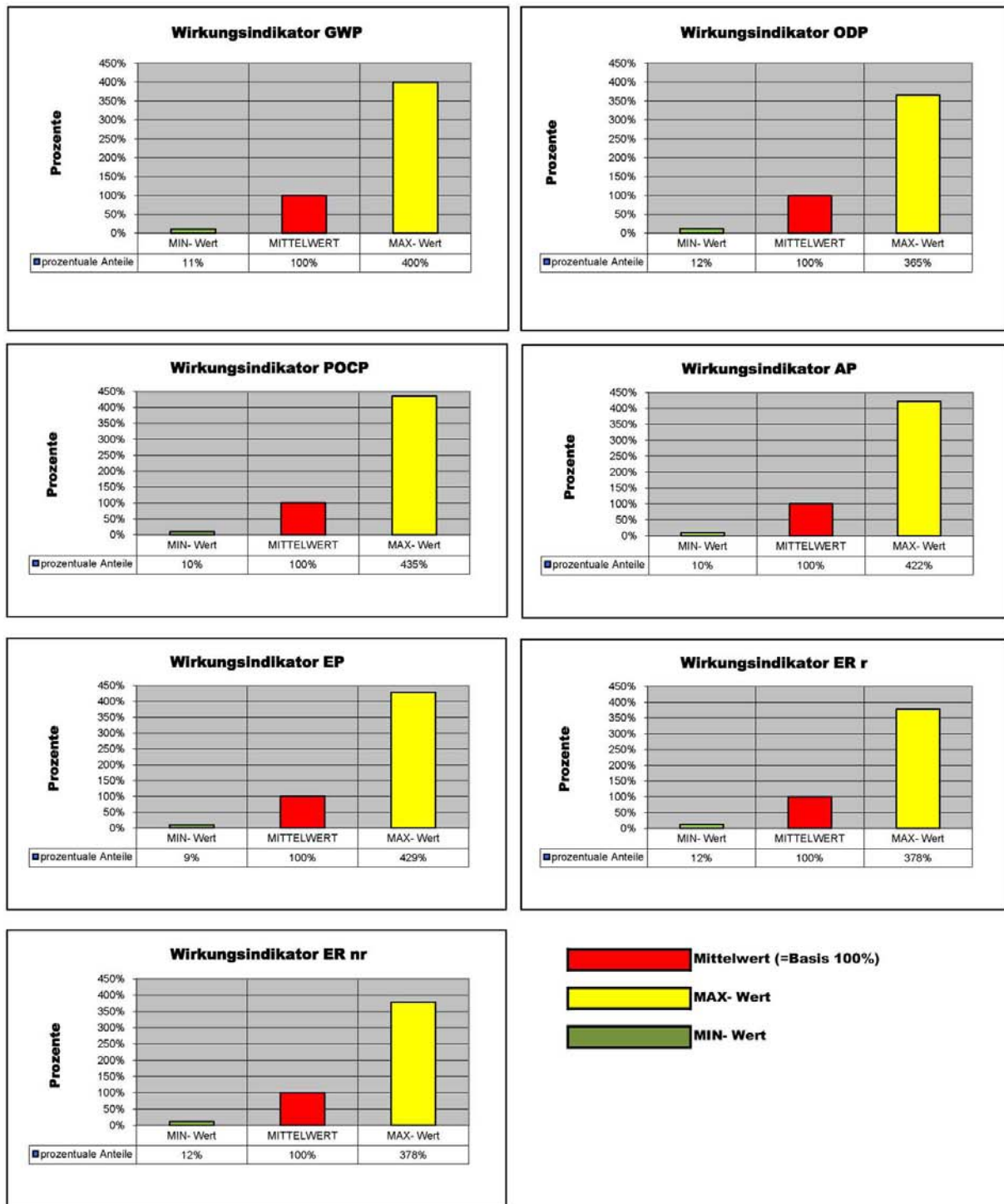


Abbildung 50: Transportbedingte Umweltwirkungen - Dämmstoff EPS

11.6 Dämmstoff - Steinwolle

11.6.1 Datenerhebung

Nach Angabe des befragten Bauproduktherstellers erfolgt die Auslieferung in ganz Österreich mittels Speditionen. Für die Auswertung des Transportprozesses wurde für das gegenständliche Projekt ausschließlich Daten der Hauptspedition des Bauproduktherstellers herangezogen, saisonal bedingt zusätzliche notwendige Speditionen werden nicht berücksichtigt.

Dabei wurde festgestellt, dass Direktlieferungen auf die Baustelle immer lose erfolgen und Lieferungen zu Zwischenhändler immer auf Paletten durchgeführt werden. Der Anteil der Direktlieferungen beträgt rund 60%. Die verbleibenden 40% der Lieferungen, die mittels Zwischenhändler auf die Baustelle geliefert werden, sind nicht separat berücksichtigt. Es werden sowohl Volumsgüter als auch Massengüter mit gleichen LKW's transportiert, wobei für Dämmstoff-Transporte meist LKW's mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von 40 t eingesetzt werden. Diese LKW's haben jedoch einen geringeren Durchschnittsverbrauch von rund 28 l/100km.

Die Auswertung des Fragebogens für die Bestimmung transportbedingter Umweltwirkungen ist in der Abbildung 53 dargestellt.

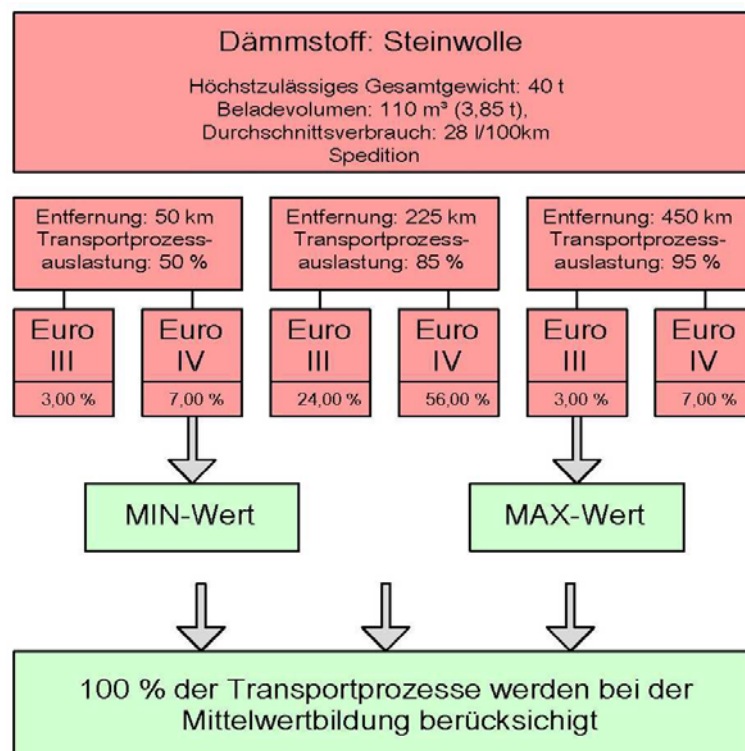


Abbildung 51: Auswertung Fragebogen - Dämmstoff Steinwolle

11.6.2 Ergebnis - Dämmstoff - Steinwolle

Die Ergebnisse der transportbedingten Umweltwirkungen von Dämmstoff - Steinwolle sind in der Abbildung 52 dargestellt.

Dabei beträgt der Minimalwert zwischen 32% und 36% des Mittelwertes, demgegenüber der Maximalwert zwischen 177% und 210% des Mittelwertes beträgt.

Transportbedingte Umweltwirkungen pro Tonne Dämmstoff (Steinwolle) Werkstor - Baustelle

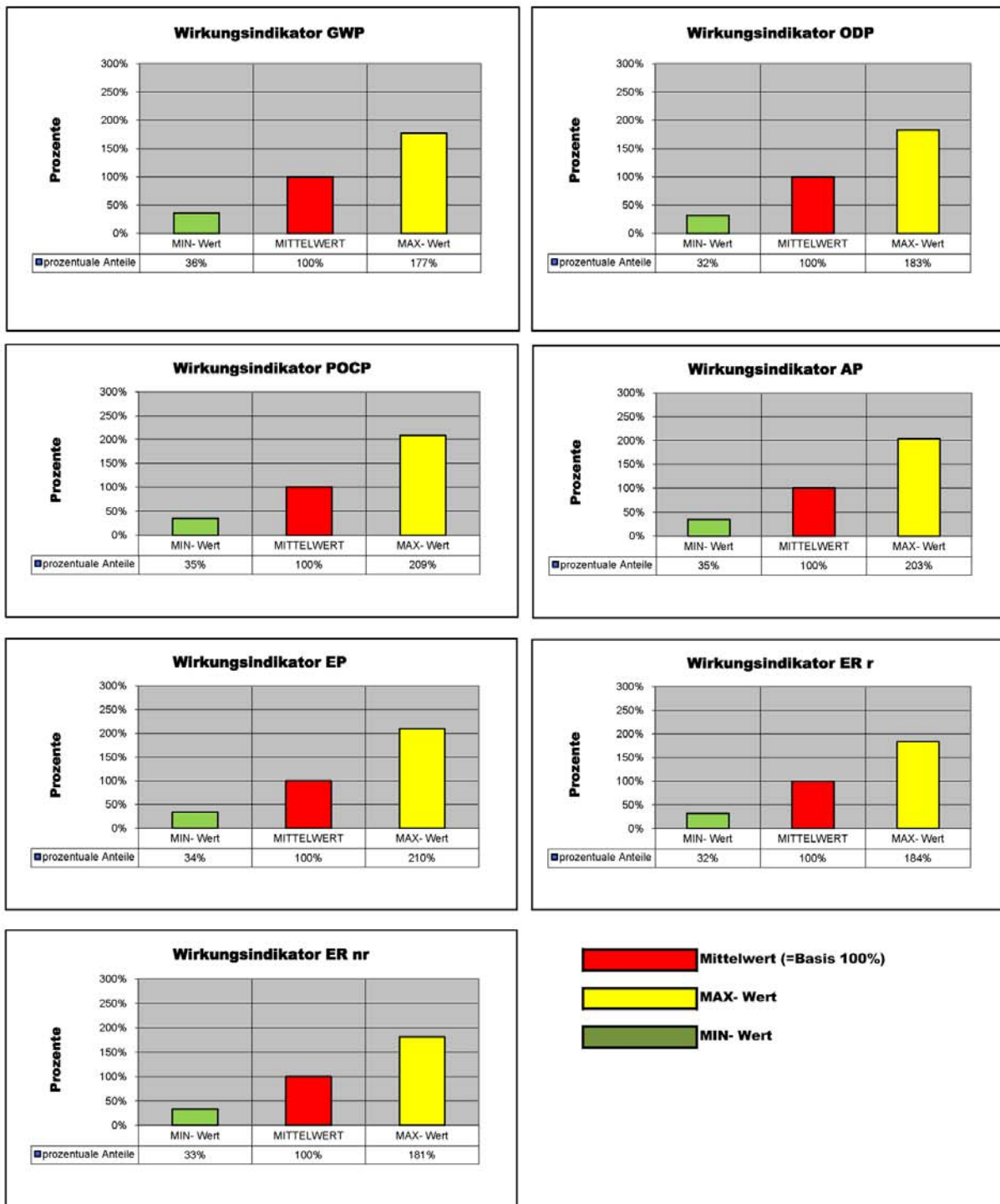


Abbildung 52: Transportbedingte Umweltwirkungen - Dämmstoff Steinwolle

11.7 Dämmstoff - Glaswolle

11.7.1 Datenerhebung

Die Auslieferung des Bauproduktes des befragten Herstellers erfolgt mit drei bis vier Speditionen und ist von der jeweiligen Auftragslage abhängig. Die Hauptspedition liefert rund 40% aller Aufträge aus und hat eine Transportprozessauslastung von rd. 50%. Andere Speditionen fahren Strecken als der Hauptspediteur und können dadurch auch eine höhere Transportprozessauslastung erreichen. Beachtlich ist die Schwankungsbreite der Transportentfernung, die zwischen 30 und 550 Kilometer liegt. Das durchschnittliche Beladevolumen beträgt ca. 100 bis 120 m³. Der Dämmstoff - Glaswolle wird im komprimierten Zustand transportiert. Der Komprimierungsgrad ist vom jeweiligen Bauprodukt abhängig und schwankt zwischen 1,6 und 6,0. Man erkennt, dass eine detaillierte Aussage über die Umweltwirkungen daher erst nach einer detaillierten Untersuchung der verschiedenen Glaswolle-Produkte möglich ist. Die Auswertung des Fragebogens für die Bestimmung transportbedingter Umweltwirkungen ist in der Abbildung 53 dargestellt.

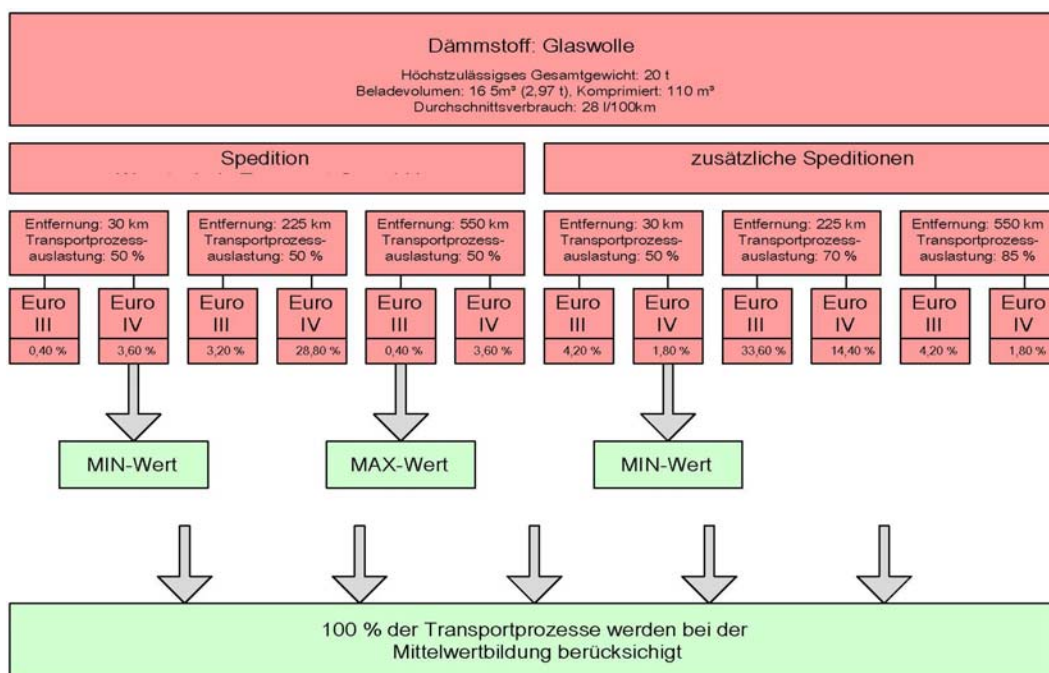


Abbildung 53: Auswertung Fragebogen - Dämmstoff - Glaswolle

11.7.2 Ergebnis - Dämmstoff - Glaswolle

Die transportbedingten Umweltwirkungen sind in der Abbildung 54 dargestellt. Dabei sind die größten Abweichungen in der Wirkungskategorie „Versauerung (AP)“ festzustellen. Der Minimalwert beträgt in dieser Wirkungskategorie rund 14% des Mittelwertes, der Maximalwert 320% des Mittelwertes.

Der geringste Unterschied des Minimalwertes ist in der Wirkungskategorie „Klimaänderung (GWP)“ festzustellen und beträgt rd. 16% des Mittelwertes. Demgegenüber weist der Maximalwert in der Wirkungskategorie „Stratosphärischer Ozonabbau (ODP)“ den geringsten Unterschied auf. Dieser beträgt 183% des Mittelwertes.

Die erhebliche Abweichungen sind auf die Unterschiede der Entfernungen zurückzuführen, die sich zwischen 30 und 550 Kilometer bewegen.

Transportbedingte Umweltwirkungen pro Tonne Dämmstoff (Glaswolle) Werkstor - Baustelle

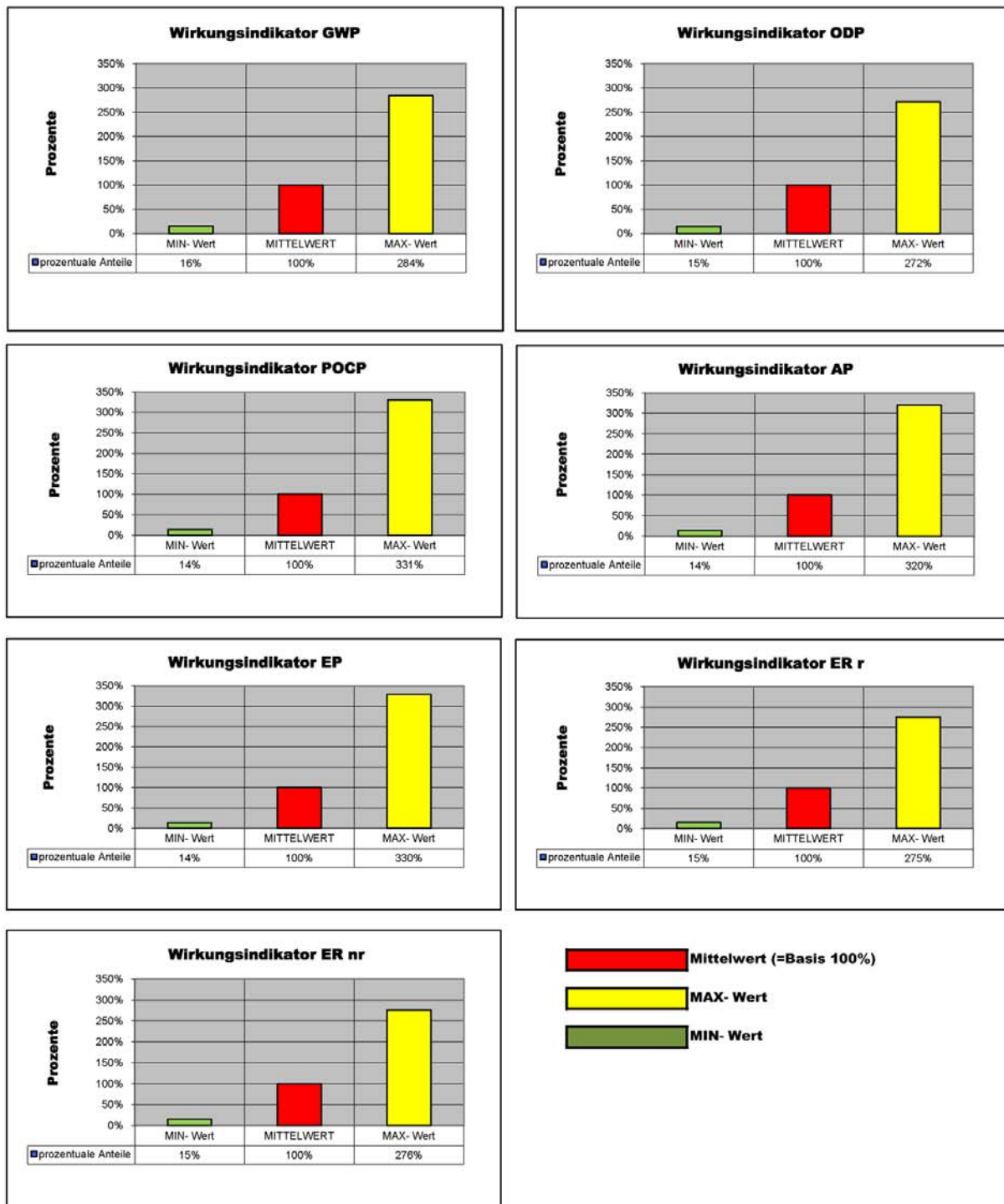


Abbildung 54: Transportbedingte Umweltwirkungen - Dämmstoff Glaswolle

11.8 Zusammenfassung

Eine zusammenfassende Gegenüberstellung der transportbedingten Umweltwirkungen je Tonne Bauprodukt (Mittelwerte) ist in Abbildung 55 dargestellt. Es zeigt sich, dass Volumsgüter aufgrund der geringen Masse erheblich höhere transportbedingte Umweltwirkungen verursachen als Massengüter. Die großen Transportdistanzen von Dämmstofftransporten führen ebenfalls zu signifikanten Umweltwirkungen. Weitere markante Abweichungen der Umweltwirkungen sind auf die großen Bandbreiten betreffend Rohdichte und Komprimierungsgrad zurückzuführen.

Die geringsten Unterschiede sind in der Kategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ festzustellen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in dieser Kategorie nicht der Treibstoffverbrauch eingeht, sondern vielmehr die Infrastrukturanteile (Strom für Verkehrsanlagen) maßgebend sind.

Die Transporte von EPS verursachen die größten Umweltwirkungen je Tonne Bauprodukt. Dies ist auf die geringe Masse und auf das „Volumsgut“ - EPS zurückzuführen.

Gegenüberstellung der transportbedingten Umweltwirkungen pro Tonne Bauprodukt Werkstor - Baustelle



Abbildung 55: Bauproduktsspezifische transportbedingte Umweltwirkungen der untersuchten Bauprodukte

12 Auswirkungen transportbedingter Umweltwirkungen auf Bauprodukt- und Gebäudeebene

Abschließend wird der Anteil transportbedingter Umweltwirkungen an den herstellungsbedingten Umweltwirkungen vom Werkstor zur Baustelle auf Bauprodukt- und Gebäudeebene ermittelt. Auf Bauproduktebene erfolgt dabei eine Darstellung des Anteils der transportbedingten Umweltwirkungen der Bauprodukte Transportbeton, Ziegel, Baustahlgitter und Dämmstoff an den herstellungsbedingten Umweltwirkungen der Bauprodukte (Systemgrenze - Werkstor). Die Umweltwirkungen die bei der Herstellung der Bauprodukte entstehen, werden dabei der Ecoinvent-Datenbank entnommen.

Als Referenzgebäude zur Bestimmung der transportbedingten bauproduktspezifischen Umweltwirkungen auf Gebäudeebene wird die Passivhaus-Wohnhausanlage „Utendorfgasse“ (Variante 1-Stahlbeton) herangezogen.

12.1 Erhöhung der Umweltwirkungen infolge Transport auf Bauproduktebene

12.1.1 Ausgangslage

Bei der Bilanzierung von Bauprodukten in Ecoinvent ist das Werkstor die Systemgrenze („cradle to gate“-Bewertung). Aus diesem Grund werden nachfolgend die Auswirkungen der transportbedingten Umweltwirkungen vom Werkstor zur Baustelle auf Bauproduktebene aufgezeigt. Die bei der Herstellung des Bauprodukts verursachten Umweltwirkungen, werden dabei als Basis mit 100% angesetzt.

In weiterer Folge werden auch die Vorprozessketten von Beton näher betrachtet. Dabei werden die in dieser Arbeit ermittelten Umweltwirkungen von Zement-Transporten mit den Daten der Ecoinvent-Datenbank verglichen. Da Ecoinvent nicht für alle Bauprodukte geeignete Datensätze zur Verfügung stellt, werden u.a. eigene Annahmen getroffen.

Beispielsweise wurde bei der Betrachtung der Unterdatensätze von Transportbeton festgestellt, dass erhebliche Unterschiede zwischen den erhobenen Zement-Transporten und den Transporten in der Ecoinvent-Datenbank bestehen. Eine detaillierte Untersuchung konnte jedoch nicht vorgenommen werden, da bei den Unterdatensätzen die gesamten Transporte für Zement und Zuschlagstoffe gemeinsam dokumentiert werden. Die prozentuale Verteilung der Transporte konnte nicht ermittelt werden. Laut Ecoinvent werden Zement-Transporte mit LKW, Bahn und Schiff durchgeführt. Die hier erhobenen Transporte werden hingegen ausschließlich mittels LKW durchgeführt. Die resultierenden transportbedingten Umweltwirkungen von Zement werden daher direkt vom Ecoinvent-Datensatz übernommen und nicht verändert. Das

heißt, die weiteren LCA-Berechnungen für Zement basieren auf den Transportkennwerten von Ecoinvent. Weiters wird keine Trennung zwischen Normalformatziegel und Hochlochziegel vorgenommen. (entsprechende Datensätze lagen zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht vor).

12.1.2 Ergebnis

Die Auswirkungen der transportbedingten Umweltwirkungen auf Bauproduktebene sind in der Abbildung 56 dargestellt. Die Umweltwirkungen, die bei der Bauprodukterzeugung (Bilanzgrenze - Werkstor) entstehen werden mit 100% angesetzt. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die jeweilige Erhöhung abhängig von den jeweiligen herstellungsbedingten Umweltwirkungen der Bauprodukte ist.

Der größte Einfluss der transportbedingten Umweltwirkungen ist in der Wirkungskategorie „Stratosphärischer Ozonabbau (ODP)“ festzustellen. Dabei erhöhen sich die herstellungsbedingten Umweltwirkungen durch den Transport zur Baustelle zwischen 14% und 65%. In der Kategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“ haben die transportbedingten Umweltwirkungen mit einer Erhöhung der herstellungsbedingten Umweltwirkungen um 4% nur marginale Auswirkungen. Dies ist wiederum auf der Tatsache begründet, dass der Treibstoffverbrauch der Transporte in dieser Kategorie keinen Beitrag leistet.

Hinweis: Im Rahmen des gegenständlichen Fachverbandprojekts wird ein theoretisches Transportmodell an einigen gängigen Bauprodukten stichprobenartig (ein Transportdatensatz je Bauprodukt) erprobt. Österreichweit gültige produktspezifische Referenzdatensätze können nur unter Einbezug von firmen- und produktspezifischen Randbedingungen auf Unternehmensebene ermittelt werden.

Die auf Basis der Befragungen (ein Bauprodukthersteller je Bauprodukt) errechneten Transportdatensätze (in der funktionalen Einheit kg-Umweltwirkung/t*km) sind in nachstehender Tabelle 6 dargestellt:

Tabelle 6: Absolute bauproduktspezifische Transportdatensätze (kg-UW/tkm)

	GWP	POCP	AP	EP	Err	Ernr
	kg CO2 eq.	kg C2H2 eq.	kg SO2 eq.	kg PO4- eq	MJ	MJ
Baustahl	1,57E-01	2,96E-05	5,95E-04	1,12E-04	6,40E-02	5,25E+00
Ziegel	4,14E-01	7,08E-05	1,55E-03	2,92E-05	1,49E-01	1,25E+01
Beton	2,01E-01	3,04E-05	7,97E-04	1,59E-04	4,63E-02	4,63E+00
Glaswolle	6,84E-01	1,06E-04	2,85E-03	5,91E-04	9,69E-02	1,29E+01
Steinwolle	3,67E-01	5,24E-05	1,48E-03	3,05E-04	5,64E-02	7,42E+00
EPS	1,36E+00	2,50E-04	6,00E-03	1,26E-03	2,09E-01	2,56E+01

Auswirkungen der transportbedingten Umweltwirkungen (Werktor - Baustelle) auf Bauproduktebene (Umweltwirkungen pro Tonne Bauprodukt)

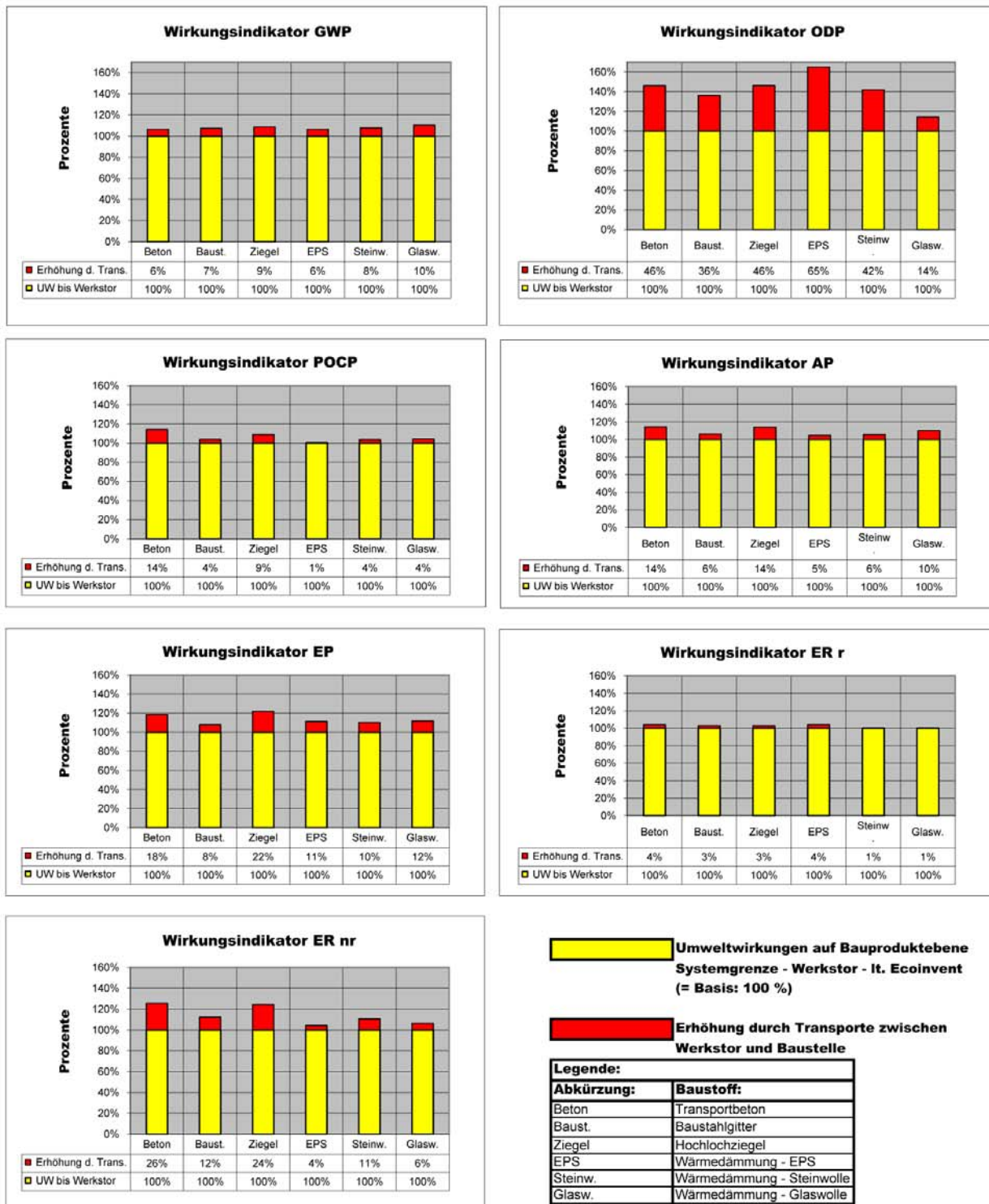


Abbildung 56: Erhöhung der Umweltwirkungen infolge Transport auf Bauproduktebene

12.2 Anteil transportbedingter Umweltwirkungen auf Gebäudeebene

Als Referenzgebäude für die Berechnung der transportbedingten Umweltwirkungen auf Gebäudeebene wird die Passivhauswohnanlage-Utendorfgasse herangezogen.

12.2.1 Anteil transportbedingter Umweltwirkungen auf Gebäudeebene - Errichtungsphase

Die zeitliche Systemgrenze für die Bewertung ist die Herstellung des Gebäudes. Für den Vergleich zwischen herstellungsbedingten und transportbedingten Umweltwirkungen werden für die herstellungsbedingten Umweltwirkungen der Passivhauswohnanlage Utendorfgasse die vorliegenden Berechnungsergebnisse der Variante 1-Stahlbeton aus dem Arbeitspaket 03 (Erweiterung des OI3-Index), AP06 (OI3-Erweiterungen: Bilanzgrenzen, Kennzahlen und Nutzungsdauer) bzw. AP15 (Weiterentwicklung TQ) übernommen. Zur Ermittlung des Anteils der transportbedingten Umweltwirkungen an den herstellungsbedingten Umweltwirkungen auf Gebäudeebene werden die zuvor mit dem Transportmodell ermittelten Datensätze zu Transportbeton, Ziegel, Baustahlgitter und Dämmstoff mit den Massenvordersätzen der Variante 1-Stahlbeton sowie mit den durchschnittlichen produktspezifischen Transportdistanzangaben der befragten Hersteller multipliziert. Die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

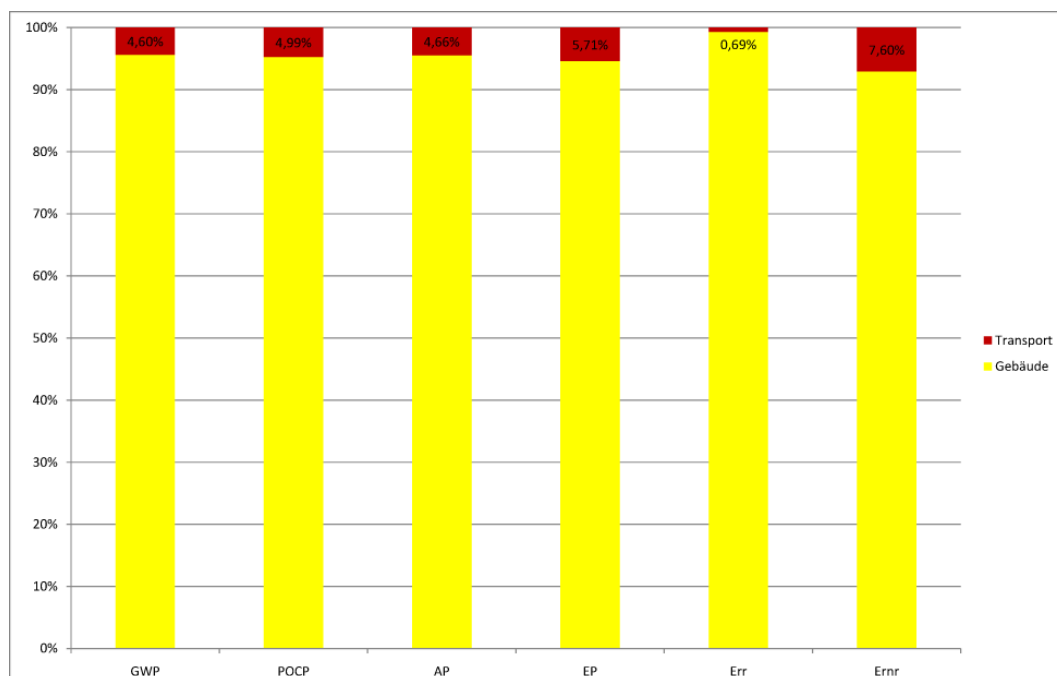


Abbildung 57: Transportbedingte Umweltwirkungen auf Gebäudeebene - Errichtungsphase

Die Grafik zeigt, dass der Anteil der transportbedingten Umweltwirkungen in der Errichtungsphase nicht zu vernachlässigen ist. Die größten Auswirkungen ergeben sich in der Wirkungs-

kategorie „Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar (ER n. r.)“ mit 7,6%, die geringsten Auswirkungen mit rd. 0,7% in der Wirkungskategorie „Kumulierter Energieaufwand erneuerbar (ER r)“.

Hinweis: Der Anteil der transportbedingten Umweltwirkungen der Wirkungskategorie „Stratosphärischer Ozonabbau (ODP)“ ist nicht dargestellt, da für die gegenständliche Variante 1 - Stahlbeton keine diesbezüglichen Berechnungsergebnisse aus dem AP03, 06 bzw. 15 vorliegen.

Von den vorliegenden Massenauszügen aus dem AP03¹⁸, AP06¹⁹ bzw. AP15²⁰ (Variante 1 - Stahlbeton) werden bei der Auswertung der Transportrucksäcke der bilanzierten Bauprodukte 81% der Massen erfasst. Die Ergebnisse aus dem AP01²¹ legen jedoch nahe, dass die Systemgrenze „BG3“ aus AP03 bzw. AP06 für die Errichtungsphase nicht alle relevanten Bauprodukte sowie deren Umweltwirkungen erfasst.

Wie bereits am Beispiel von Volumsgütern gezeigt wurde, gilt, dass auch Bauprodukte mit geringen Brutto-Transportvolumen große Transportrucksäcke verursachen können. Das heißt ein Abschneidekriterium auf Basis der Bauprodukt-Masse alleine ist nicht aussagekräftig. EPS, welches im gegenständlichen Beispiel einen Masseanteil von 0,35% der berücksichtigten Gebäudemasse einnimmt, verursacht ca. 8 bis 14% der Umweltwirkungen.

13 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem im gegenständlichen Arbeitspaket entwickelten neuem Transportmodell wurde gezeigt, dass eine strukturierte Erfassung der Transportrucksäcke von Bauprodukten in Abhängigkeit vom Werksstandort, Baustelle und Bauprodukt grundsätzlich möglich ist. Um den Anteil von transportbedingten Umweltwirkungen im Vergleich zu den derzeitigen „gradle to gate“ - Bewertungen darstellen zu können, wurde das neue Modell anhand der Bauprodukte Transportbeton, Baustahlgitter, Ziegel und verschiedenen Dämmstoffen erprobt. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass der Einfluss des Bauprodukt-Transportes vom Werkstor zur Baustelle sowohl auf Bauproduktebene (Erhöhung der Umweltwirkungen im Vergleich zu den bauproduktherstellungsbedingten Umweltwirkungen zwischen 5 und 20%, bei ODP bis zu 65%!) als auch auf Gebäudeebene (Anteil der transportbedingten Umweltwirkungen an den bauproduktherstellungsbedingten Umweltwirkungen bis rd. 7,6%) nicht zu vernachlässigen ist.

¹⁸Nachhaltigkeit massiv AP03 - Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer

¹⁹Nachhaltigkeit massiv AP06 - OI3-Erweiterungen: Bilanzgrenzen, Kennzahlen und Nutzungsdauer

²⁰Nachhaltigkeit massiv AP15 - Weiterentwicklung Nachhaltigkeitsbewertungstools (TQBneu)

²¹Nachhaltigkeit massiv AP01 - Vorprojekt Gebäudebewertung

Eine Anwendung des im Zuge des Projekts stichprobenartig erprobten Transportmodells bedarf jedoch weiterer umfassender wissenschaftlicher Untersuchungen, um künftig einen österreichweit gültigen Referenzdatensatz für verschiedene Bauprodukttransporte bereitstellen zu können.

Problematisch dabei erscheint in diesem Zusammenhang die Bereitstellung von „brauchbaren“ Daten der Bauprodukteerzeuger, da selbst diese kaum Informationen zu den Transportprozessen ihrer Produkte haben. bzw. diese Daten kaum mit vertretbarem Aufwand erheben können. Auf Basis der bisherigen Untersuchungen erscheint die Annahme einer mittleren Transportentfernung und eines durchschnittlichen Transportprozesses in Form eines generellen bauprodukt-spezifischen prozentualen Zuschlages kurzfristig die beste Lösung.

Aus dem gegenständlichen Arbeitspaket lässt sich in Hinblick auf das Gesamtprojekt folgender Forschungsbedarf ableiten:

- Erarbeitung von Standort- und Bauprodukt-spezifischen Transportdatensätzen für Regelfernungen zur Baustelle;
- Erhebung ergänzender Informationen zu Transportrucksäcken zur Ergänzung der EPDs;
- Berücksichtigung der Ergebnisse bei der Wahl der Bewertungsindikatoren für künftige ökologische Bewertungen;
- Berücksichtigung von Transportrucksäcken bei Gebäudezertifizierungsinstrumenten.

Abbildungsverzeichnis

1	Bauproduktspezifische transportbedingte Umweltwirkungen der untersuchten Bauprodukte	19
2	Erhöhung der Umweltwirkungen infolge Transport auf Bauproduktenebene	21
3	Transportbedingte Umweltwirkungen auf Gebäudeebene - Errichtungsphase	22
4	Vorgehensweise bei der Ermittlung transportbedingter Umweltwirkungen	23
5	Transporte während des Lebensweges eines Gebäudes	31
6	Einflussfaktoren der Kategorie „Lage Werkstor - Baustelle“	39
7	Einflussfaktoren der Kategorie „Transportgut“	40
8	Definition: Massengut - Volumsgut	42
9	Erläuterung „Auslastung Transportprozesse“	43
10	Einflussfaktoren der Kategorie „Transportmittel“ Teil: 1	45
11	Einflussfaktoren der Kategorie „Transportmittel“ Teil: 2	46
12	Einflussfaktoren der Kategorie „Kosten“	47
13	Einflussfaktoren der Kategorie „Transportzeitpunkt“	48
14	Einflussfaktoren der Kategorie „Soziale Aspekte“	49
15	Übersicht über projektrelevanter Transporteinflüsse	50
16	Dominanzanalyse - 40 t LKW	58
17	Auswahl der Datenbank	59
18	Berücksichtigung projektrelevanter Einflussfaktoren in Ecoinvent	61
19	Sensitivitätsanalyse - Höchstzulässiges Gesamtgewicht	65
20	Sensitivitätsanalyse - EURO-Klassen	68
21	Sensitivitätsanalyse - Vollenfahrt bzw. Leerfahrt	70
22	Sensitivitätsanalyse - Treibstoffverbrauch	73
23	Sensitivitätsanalyse - Beladegewicht - Auslastung des Transportmittels	76
24	Sensitivitätsanalyse - Transportprozessauslastung	78

25	Achslastäquivalenzfaktoren nach AASHO [3]	80
26	Einfluss der Infrastruktur-Allokation: Infrastrukturanteile	83
27	Einfluss der Infrastruktur-Allokation: Gesamter Transportprozess	84
28	Übersicht über die Genauigkeit projektrelevanter Transporteinflüsse, und die Art der Berücksichtigung in Ecoinvent	85
29	Transportmodell - Grundsätzliche Struktur	88
30	Berechnungsalgorithmus - Grundsätzliche Struktur	90
31	Berechnungsalgorithmus - Abschnitt I	91
32	Berechnungsalgorithmus - Abschnitt II	92
33	Berechnungsalgorithmus - Abschnitt III	92
34	Berechnungsalgorithmus - Abschnitt IV	93
35	Berechnungsalgorithmus - Abschnitt V	93
36	Berechnungsalgorithmus - Summe transportbedingter Umweltwirkungen	94
37	Validierung des Berechnungsalgorithmus Teil 1	96
38	Validierung des Berechnungsalgorithmus Teil 2	98
39	Gegenüberstellung Ecoinvent - Berechnungsalgorithmus	99
40	Musterfragebogen	102
41	Auswertung Muster-Fragebogen	103
42	Übersicht über die ausgewählten Bauprodukte	104
43	Auswertung Fragebogen - Beton	105
44	Transportbedingte Umweltwirkungen - Beton	106
45	Auswertung Fragebogen - Baustahlgitter	107
46	Transportbedingte Umweltwirkungen - Baustahlgitter	109
47	Auswertung Fragebogen-Ziegel	110
48	Transportbedingte Umweltwirkungen - Ziegel	112
49	Auswertung Fragebogen - Dämmstoff - EPS	113

50	Transportbedingte Umweltwirkungen - Dämmstoff EPS	115
51	Auswertung Fragebogen - Dämmstoff Steinwolle	116
52	Transportbedingte Umweltwirkungen - Dämmstoff Steinwolle	118
53	Auswertung Fragebogen - Dämmstoff - Glaswolle	119
54	Transportbedingte Umweltwirkungen - Dämmstoff Glaswolle	121
55	Bauproduktspezifische transportbedingte Umweltwirkungen der untersuchten Bauprodukte	123
56	Erhöhung der Umweltwirkungen infolge Transport auf Bauprodukteebene	126
57	Transportbedingte Umweltwirkungen auf Gebäudeebene - Errichtungsphase . .	127

Tabellenverzeichnis

1	Emissionsgrenzwerte für Dieselmotoren (Straße) in g/kwh[1]	43
2	Zuordnung des LKW-Bestandes nach EURO-Klassen in%	66
3	Dieserverbrauch - Erhobene Informationen von LKW-Herstellerfirmen	71
4	Übersicht der NLW einzelner Fahrzeugklassen	81
5	Aufteilung des Oberbaus der Straße nach NLW	81
6	Absolute bauproduktspezifische Transportdatensätze (kg-UW/tkm)	125

Literatur

- [1] ÖAF - GRÄF & STIFT: *Emissionsgrenzwerte unterschiedlicher EURO-Klassen*. Österreichische Automobilfabrik ÖAF - Gräf & Stift AG. Wien-Liesing
- [2] BÜTER, C.: *Physika - Lehrbuch, Aussenhandel - Grundlagen globaler und innergemeinschaftlicher Handelsbeziehungen*. Physica Verlag. 2007
- [3] GESTRATA - GESELLSCHAFT ZUR PFLEGE DER STRASSENBAUTECHNIK MIT ASPHALT: *Asphalt Handbuch*. Wien, 2002.
- [4] GOBIET, W.; FREWEIN, M.; KRIEBERNEGG, G.: *Vorlesungsskriptum Straßenwesen*. Technische Universität Graz, Institut für Straßen- und Verkehrswesen. Graz, 2003
- [5] GRAUBNER, C.-A.; HÜSKE, K.: *Nachhaltigkeit im Bauwesen, Grundlagen - Instrumente - Beispiele*. Berlin: Ernst & Sohn, 2003
- [6] HOMPEL, M.; HEIDENBLUT, V.: *Taschenlexikon Logistik - Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik*. Berlin Heidelberg, 2008.
- [7] MAYDL, P.; ET AL.: *Vorstudie - Nachhaltiger Massivbau*. Technische Universität Graz, Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA. Graz, 2005. - Forschungsbericht (nicht veröffentlicht)
- [8] MICHLMAIR, M.: *Ökobilanzierung von Wohnhausanlagen*. Technische Universität Graz, Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA. Graz, 2008. - Diplomarbeit (nicht veröffentlicht)
- [9] ÖNORM EN ISO 14040:2006: *Umweltmanagement - Ökobilanz. Grundsätze und Rahmenbedingungen*.
- [10] RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT: *Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 - zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG)*. 1988
- [11] RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT: *Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates über die Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr*. 1985
- [12] RIESSBERGER, K.: *Vorlesungsskriptum Eisenbahnwesen*. Technische Universität Graz, Institut für Eisenbahnwesen. Graz, 1993
- [13] SPIELMANN, M.; ET AL.: *Ecoinvent Report No. 14, Transport Services*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf, 2007.

- [14] STATISTIK AUSTRIA: *Verkehrsstatistik 2006 - Güterverkehr - Verkehrsleistungen*. Bundesanstalt Statistik Österreich, Guglgasse 13 . Wien, 2006.
- [15] VAHRENKAMP, R.: *Der Güterverkehr im internationalen Luftverkehr*. Universität Kassel, 2003
- [16] VOLKER, H. (HRSG), FORSCHUNGSMINISTER: *Unsere gemeinsame Zukunft / Der Brundtland - Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*. Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen, 1987

