



Die Auswirkung der Digitalisierung in der Industrie auf den Gütertransport in Österreich

**Gerhard Streicher, Andreas Reinstaller,
Fabian Gabelberger**

Wissenschaftliche Assistenz: Anna Strauss-Kollin,
Nicole Schmidt-Padickakudy

Oktober 2020

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Die Auswirkung der Digitalisierung in der Industrie auf den Gütertransport in Österreich

Gerhard Streicher, Andreas Reinstaller, Fabian Gabelberger

Oktober 2020

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung
Im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur Bau AG

Begutachtung: Agnes Kügler

Wissenschaftliche Assistenz: Anna Strauss-Kollin, Nicole Schmidt-Padickakudy

Eine hochentwickelte Transport- und Logistikinfrasturktur sowie ein effizienter und technologisch fortschrittlicher Logistiksektor sind zentrale Faktoren für die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft. Sie ermöglichen die Entwicklung internationaler Wertschöpfungsketten und das Fortschreiten der internationalen Arbeitsteilung. Die zunehmende Verbreitung neuer digitaler Technologien im Logistiksektor und in der Industrie stehen mit diesen Prozessen in einer kontinuierlichen Wechselwirkung. Der fortwährende technische Wandel und die Digitalisierung der Produktionsprozesse in der Industrie verändern jedoch laufend die Anforderungen an den Transport und die Logistik. Dies hat in Europa einen Rückgang des Bahntransports zugunsten des Straßenverkehrs zur Folge. Für die Analyse dieses Zusammenhanges für Österreich wurden die Treiber der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen identifiziert und ihre Wechselwirkungen mit dem Transportvolumen und der Entwicklung der Marktanteile zwischen den Verkehrsträgern Bahn und Straße untersucht. Sowohl der Strukturwandel als auch innersektorale Veränderungen waren demnach in der jüngeren Vergangenheit tendenziell bahnavers, wenn auch in Österreich – vor dem Hintergrund der Wirtschaftsstruktur – der Schienenanteil im Modal Split der intermediären Transportnachfrage unerwartet hoch ausfällt. Der Versuch der Einschätzung der künftigen Entwicklungen zeigt weitere Herausforderungen, aber auch Chancen für die Bahn auf – sie muss diese aber auch aktiv nützen.

2020/268-1/S/WIFO-Projektnummer: 8919

© 2020 Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Medieninhaber (Verleger), Herausgeber und Hersteller: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung,
1030 Wien, Arsenal, Objekt 20 • Tel. (+43 1) 798 26 01-0 • <https://www.wifo.ac.at/> • Verlags- und Herstellungsort: Wien

Verkaufspreis: 50 € • Kostenloser Download: <https://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/66463>

Inhalt

Executive Summary	7
1. Einleitung	10
2. Die Bedeutung der Digitalisierung in der globalen Entwicklung von Wertschöpfungsketten und des Warenhandels	13
3. Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen im Kontext der Entwicklungen des globalen Warenhandels seit 2000	16
3.1 <i>Die wirtschaftliche Verflechtung des Logistiksektors</i>	16
3.2 <i>Die Treiber der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht</i>	18
3.3 <i>Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen aus der Sicht von Industrieunternehmen</i>	27
3.4 <i>Die Entwicklung der österreichischen Warenexporte</i>	33
3.4.1 <i>Industriestruktur und Exportspezialisierung</i>	36
3.4.2 <i>Produkteigenschaften</i>	38
3.4.3 <i>Exportdiversifizierung nach Zielmärkten und Produktlinien und Produktdifferenzierung</i>	41
3.4.4 <i>Entwicklung der durchschnittlichen Transportdistanzen der Importe und Exporte</i>	44
3.5 <i>Zusammenfassung und Arbeitshypothesen zur Veränderung des Warenhandels der österreichischen Industrie auf die Nachfrage nach Gütertransportleistungen</i>	46
4. Die Digitalisierung von Fertigung und Logistik in der Industrie	49
4.1 <i>Historischer Abriss der Entwicklung wichtiger Fertigungsparadigmen in der Sachgütererzeugung</i>	49
4.2 <i>Moderne Fertigungsparadigmen im Fokus: Was verbirgt sich hinter dem Schlagwort "Industrie 4.0"</i>	55
4.2.1 <i>Digitale Technologien hinter Industrie 4.0</i>	55
4.2.2 <i>Cloud-Based Manufacturing als idealtypisches Beispiel eines volldigitalisierten Fertigungsparadigmas</i>	63
4.3 <i>Digitalisierungsaffinität und -intensität unterschiedlicher Branchen</i>	67
4.4 <i>Zusammenfassung und Arbeitshypothesen zur Auswirkung der Digitalisierung auf die Nachfrage nach Gütertransportleistungen</i>	73
5. Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen in Österreich: Input-Output-Analyse	78
5.1 <i>Die Transportaffinität der Wirtschaftsbranchen</i>	78
5.1.1 <i>Ein Versuch über sektorale Schienenaffinität – eine IO-Analyse</i>	78
5.1.2 <i>Bahntransportleistungen im Produktionsprozess</i>	81
5.1.3 <i>Bahntransportleistungen im Lieferprozess</i>	99
5.2 <i>Außenhandelsverflechtungen auf Sektor- und Güterebene</i>	101
5.3 <i>Zusammenführung der Ergebnisse</i>	103

6. Zusammenfassung und Stärken-Schwächen Profil	109
Literatur	113
Anhang I: Grundlagen und Überblick über die bereitgestellte Datenbank	116
Anhang II: Berechnung unterschiedlicher außenwirtschaftlicher Indikatoren	122
Anhang III: NACE Wirtschaftssystematik und die WIFO und OECD Taxonomien zur Digitalisierungsintensität	125

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick über die Kapitel der Studie	11
Abbildung 2: Kosten- und Umsatzanteile der vor- und nachgelagerten Sektoren des Logistiksektors in der EU, 2000-2014	17
Abbildung 3: Bestimmungsfaktoren der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen	21
Abbildung 4: Mikroökonomische Bestimmungsfaktoren der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen	28
Abbildung 5: Entwicklung der Handelsvolumen seit 2000	34
Abbildung 6: Zusammensetzung des Warenhandels nach Verarbeitungsstufe, Mrd. US\$.	35
Abbildung 7: Entwicklung des Wertschöpfungsanteils am BIP der Sachgütererzeugung (inkl. und exkl. Bau) im Vergleich zur Europäischen Union	36
Abbildung 8: Exportmengen (in Tonnen) der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation	37
Abbildung 9: Exportwertanteile der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation	38
Abbildung 10: Einheitswerte (Warenwert je Tonne) der Warenexporte in der österreichischen Sachgütererzeugung im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation	38
Abbildung 11: Marktanteile in unterschiedlichen Preissegmenten der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation	39
Abbildung 12: Komplexität der Warenexporte der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation	40
Abbildung 13: Grubel-Lloyd-Index zur Stärke des intraindustriellen Handels der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation	42
Abbildung 14: Herfindahl-Index zur geographischen Dispersion des Warenhandels in den österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation	43
Abbildung 15: Extensiver Rand des Warenhandels nach Hummels-Klenow in den österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation	43

Abbildung 16: Mittlere Import- und Exportdistanzen der österreichischen Wirtschaftssektoren in Kilometer im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.....	44
Abbildung 17: Datennutzung in modernen Fertigungsparadigmen.....	55
Abbildung 18: Informations- und Güterströme in einem linearen Produktionssystem und einem Cloud-basiertem System	64
Abbildung 19: Nutzung Industrie 4.0 relevanter Technologien in der Sachgütererzeugung.....	68
Abbildung 20: Korrelationsmuster in der Nutzung Industrie 4.0 relevanter Technologien in der Sachgütererzeugung	69
Abbildung 21: Nutzung digitaler Technologien in der sachgütererzeugenden Industrie in Österreich 2018 und geplanter Einsatz bis 2021	70
Abbildung 22: Mit sektorialem Output verbundene Transportleistungen	82
Abbildung 23: mit sektorialem Output verbundene Schienen-Transportleistungen	83
Abbildung 24: Direkt und indirekt bezogene Transportdienstleistungen pro Outputeinheit	85
Abbildung 25: Indirekt bezogene Schienen-Transportleistungen pro Outputeinheit.....	86
Abbildung 26: Die sektorale (direkten und indirekten) Nachfrage nach Bahntransportleistungen zwischen 1995 und 2015, als Anteil am Umsatz in [%].....	90
Abbildung 27: Die sektorale (direkten und indirekten) Nachfrage nach Straßentransportleistungen zwischen 1995 und 2015, als Anteil am Umsatz in [%]	91
Abbildung 28: Die sektorale (direkten und indirekten) Nachfrage in der Sachgütererzeugung nach Transportleistungen zwischen 1995 und 2015, als Anteil am Umsatz in [%]	92
Abbildung 29: Modal Split – Anteil Schiene am Güterverkehr in Europa	94
Abbildung 30: Anteil des Sachgüterbereichs C10-C33 an der gesamten Wertschöpfung, 2014	95
Abbildung 31: Durchschnittliche Technologieklasse des Sachgüterbereichs, 2014	96
Abbildung 32: Bahnanteil im Modal Split vs. Wertschöpfungsanteil der Sachgüterbranchen, 2014	97

Übersichtsverzeichnis

Übersicht 1: Einflussfaktoren auf die abgeleitete Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen	48
Übersicht 2: Unterschiedliche Fertigungsparadigmen im Zeitverlauf: Gegenüberstellung der Eigenschaften und treibenden Faktoren	53
Übersicht 3: Mögliche direkte und indirekte Wirkungen der Verbreitung von Industrie 4.0 Technologien in der Sachgütererzeugung auf die abgeleitete Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen	77
Übersicht 4: Kennzahlen der Transportwirtschaft, 2015	80
Übersicht 5: Unternehmen der Güterbeförderung auf Straße und Schiene, 2015 und 2017	81
Übersicht 6: Kennzahlen des Bahntransportgewerbes in Österreich, 1995-2015	87
Übersicht 7 : Kennzahlen des Strassengütertransportgewerbes in Österreich, 1995-2015	87
Übersicht 8: Einfluss des Strukturwandels auf die intermediäre Transportnachfrage	88
Übersicht 9: Fiktive (Bahn)Transportnachfrage bei unterschiedlichen Sektorstrukturen; tatsächliche Struktur in Österreich = 100	98
Übersicht 10: Modal Split nach Gütergruppen und Transportart	101
Übersicht 11: Import- und Exportquoten auf Sektor- und Güterebene 2015	102
Übersicht 12: Zusammenfassung der Indikatoren zu Technologiegehalt, Außenhandel (und die Veränderungen zwischen 2000 und 2017), Transportleistungen und Modal Split	104
Übersicht 13: Korrelationsmatrix der Indikatoren	106

Executive Summary

Ziel der Studie

Eine hochentwickelte Transport- und Logistikinfrastruktur sowie ein effizienter und technologisch fortschrittlicher Logistiksektor sind zentrale Faktoren für die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft. Sie ermöglichen die Entwicklung internationaler Wertschöpfungsketten und das Fortschreiten der internationalen Arbeitsteilung. Die zunehmende Verbreitung neuer digitaler Technologien im Logistiksektor und in der Industrie stehen mit diesen Prozessen in einer kontinuierlichen Wechselwirkung. Nach Schätzungen der WTO werden digitale Technologien zur Senkung der Handelskosten und damit zu einem weiteren Anstieg des globalen Handelsvolumens führen.

Europaweit erzielt der Logistiksektor rund 45% seiner Umsätze mit der Sachgütererzeugung. Der fortwährende technische Wandel und die Digitalisierung der Produktionsprozesse in der Industrie verändern jedoch laufend die Anforderungen an den Transport und die Logistik. Diese haben in Europa zu einem Rückgang des Bahntransports zu Gunsten des Straßentransports geführt. Der vorliegende Bericht untersucht diesen Zusammenhang für Österreich. Dazu wurden die Treiber der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen identifiziert und deren Wechselwirkungen mit dem Transportvolumen und der Entwicklung der Marktanteile zwischen den Verkehrsträgern Bahn und Straße untersucht.

Treiber der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen

Folgende Einflussfaktoren für Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen wurden identifiziert und deren Zusammenhang mit der Entwicklung des Gütertransports in Österreich untersucht:

- Industriestruktur
- Physisches Handelsvolumen
- Komplexität der Produkte
- Produktqualität
- Einheitswerte (Wert je Mengeneinheit) der gehandelten Waren
- Diversifizierung
- Produktvielfalt
- Geographische Verteilung der Warenströme
- Transportkosten

Neben diesen industrie- bzw. güterspezifischen Faktoren wurden auch die Transport- und Telekommunikationsinfrastruktur, die für Infrastruktur und Transport maßgeblichen rechtlichen Rahmenbedingungen und auch der technische Wandel und die Digitalisierung des Logistiksektors selbst als wichtige Einflussfaktoren identifiziert. Sie wurden in der Analyse aber noch nicht berücksichtigt.

Entwicklung des Warenhandels und der Eigenschaften der gehandelten Produkte

Die Analyse der Entwicklung der genannten Einflussfaktoren in Österreich zeigt folgende Ergebnisse:

- Wertschöpfungsketten differenzieren sich zunehmend stärker zwischen Industrien, wodurch sich Warenströme verlagern und auch verlängern.
- Österreich hat im europäischen Vergleich einen überdurchschnittlich hohen Anteil der Industrieproduktion in der nationalen Wertschöpfung; auch ist der Technologiegehalt der Sachgütersektoren überdurchschnittlich.
- Mit wenigen Ausnahmen ist Österreich in Industriebranchen mit relativ geringen physischen Transportvolumina (gemessen in Tonnen), aber einem hohen Wert je Gewichtseinheit spezialisiert.
- Die österreichische Industrie produziert und exportiert vornehmlich hochwertige und komplexe industrielle Güter.
- Der österreichische Warenhandel ist geographisch stark diversifiziert, sowie durch einen intensiven intraindustriellen Handel und eine stark ausdifferenziertes Warenportfolio geprägt.

Digitalisierung in der Industrie

Die Entwicklungen im Warenhandel sind das Ergebnis der Bemühungen der Industrie, durch die Nutzung moderner Fertigungstechnologien ihre Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit auf Veränderungen ihrer Nachfrage zu steigern und im Markt Alleinstellungsmerkmalen durch vollkommene Anpassung ihrer Kunden an Kundenwünsche zu entwickeln. Moderne digitale Fertigungsparadigmen sind in dieser Hinsicht eine inkrementelle Entwicklung bestehender Produktionsverfahren und Fertigungsphilosophien. Sie unterscheiden sich davon aber durch die umfangreiche Erfassung und Auswertung von Daten zur Optimierung von Produktionsabläufen sowie zur Entscheidungsunterstützung und der (angepeilten) Möglichkeit einer beliebigen Skalierbarkeit der Produktion.

Von den modernen Fertigungsverfahren im Industrie 4.0-Paradigma hat der 3-D Druck das Potential, die umfassendsten Auswirkungen auf die Organisation von industriellen Wertschöpfungsketten und den Warentransport zu entfalten, da er ganze Lieferketten obsolet und hin zu regionalen 3-D Druckshops verschieben könnte. Es ist jedoch fraglich, ob und wann diese Technologie auch für Großserien zum Einsatz kommen wird. Eine vollkommen digitalisierte und virtualisierte Fertigung ermöglicht eine starke Dezentralisierung von Fertigungsprozessen und damit eine geographische Streuung der Wertschöpfungsketten oder den Aufbau paralleler regionaler Wertschöpfungsketten.

Mit Ausnahme der metallerzeugenden und -verarbeitenden Industrien ist der Warenhandel in Österreich besonders stark in Branchen mit einer höheren Digitalisierungsintensität konzentriert. Die Nutzung von Industrie 4.0-affinen Technologien ist in Österreich im europäischen Vergleich überdurchschnittlich hoch, liegt aber nicht im Spitzenfeld.

Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen Gütertransport und den Struktur- und Digitalisierungsindikatoren

- Österreich weist im Modal Split einen überdurchschnittlichen Bahnanteil im Gütertransport auf, auch nach Berücksichtigung seiner überdurchschnittlichen Sachgüterproduktion.
- Die wichtigsten Wirtschaftssektoren für den Bahntransport in Österreich im Sinne direkt und indirekt zugekaufter Dienste sind – in dieser Reihenfolge - Großhandel, Metallherzeugung und -bearbeitung, Chemie, Maschinenbau, Nahrungsmittelherzeugung.
- Betrachtet man den (direkten und indirekten) Konsum von Bahntransportleistungen pro Outputeinheit eines Sektors, so bleibt die Zusammensetzung der wichtigsten nachfragenden Sektoren weitgehend bestehen: Holz, Papier, Steine und Erden, Glas und Baustoffe, Metalle.
- Damit stellen eher Branchen mit geringem Technologiegehalt bzw. Digitalisierungsintensität sowohl mengenmäßig wie auch mit Blick auf die Bahnaffinität den Hauptteil der Nachfrage nach Bahntransport dar. Die österreichische Industrie ist aber, mit Ausnahme der Metallherzeugung und -verarbeitung, in Industrien mit mittel-hohem bis hohem Technologiegehalt spezialisiert.
- Eine Korrelationsanalyse zeigt, dass, je höher der Technologiegehalt oder die Digitalisierungsintensität einer Industrie, umso geringer ist deren Transportgehalt insgesamt. Damit fällt auch der Bahntransportgehalt niedriger aus. Die steigende Produktkomplexität und – qualität, die Diversifizierung und die breitere Streuung der Exportmärkte begünstigen eher den Straßentransport.
- Bei den meisten Sektoren überwiegt der Gehalt an indirekten Bahntransportleistungen ganz deutlich den direkten Vorleistungsbezug (naturgemäß ist dies auch die ganz wesentliche Komponente für den (Bahn)Transportgehalt von Dienstleistungen). Die Bahnaffinität nimmt also tendenziell im Verlauf der Wertschöpfungskette ab. Dies bestätigt, dass grundstofforientierte Branchen den Hauptteil der Nachfrage nach dem (Bahn)Transport ausmachen (Holz, Metall, Papier, Steine, Chemie).
- Zwischen 1995 und 2015 hat der Anteil der Bahn an den Gütertransportleistungen deutlich abgenommen: der Anteil der induzierten Bahntransportleistungen fiel nominell von fast der Hälfte auf unter 30% der Gütertransportleistungen im Landverkehr.
- Grob ist dies zu gleichen Teilen auf den Strukturwandel in der Industrie wie auf die generelle Zunahme der Bedeutung des Straßengüterverkehrs zurückzuführen; der Strukturwandel ist also, wenn auch nicht übermäßig stark ausgeprägt, „bahn-avers“: er bevorzugt weniger bahnaffine gegenüber stärker bahnaffinen Branchen.

1. Einleitung

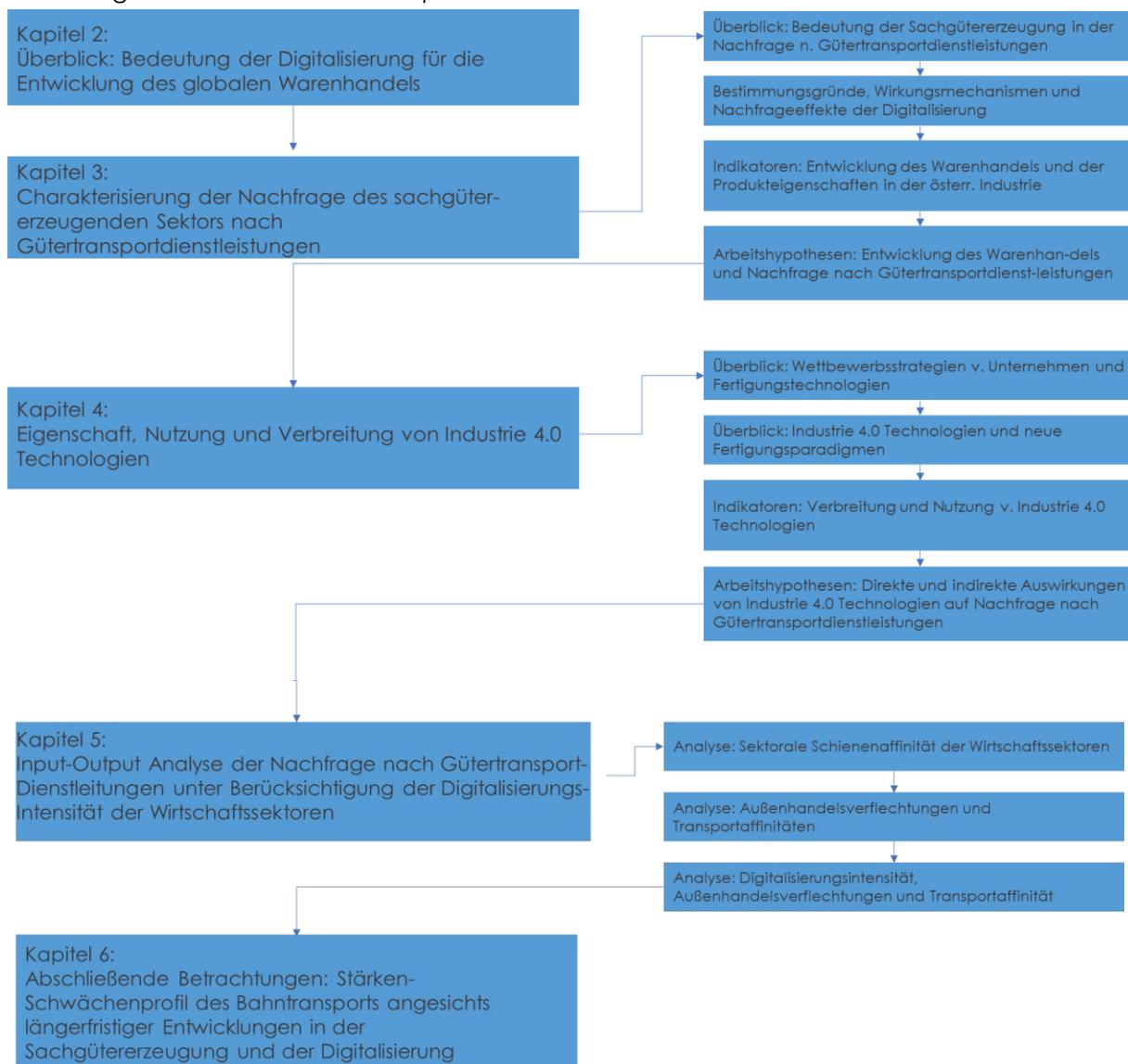
Eine hochentwickelte Transport- und Logistikinfrastruktur sowie ein effizienter und technologisch fortschrittlicher Logistiksektor sind ein zentraler Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft. Diese haben sich über die Zeit in einer stetigen Wechselwirkung mit der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur und Informations- und Kommunikationstechnologien (IKTs) weiterentwickelt. Verbesserte IKTs ermöglichen die Entwicklung internationaler Wertschöpfungsketten, da sie Produktionskosten senken, oder den Wert von Gütern steigern, indem Spezialisierungsvorteilen entlang Zulieferketten ausgenutzt und fortwährend vertieft werden. Dieses Fortschreiten der internationalen Arbeitsteilung erfordert aber auch eine kontinuierliche Verbesserung und Anpassung der Transport- und Logistikinfrastruktur und der zugrundeliegenden Technologien. In dieser Wechselwirkung stellt die Transport- und Logistikinfrastruktur, die IKT Infrastruktur und moderne digitale Fertigungs- und Logistiktechnologien ein sog. cyber-physisches System dar, in dem einerseits über IKT-Systeme Information über den Transport und den Zustand von Gütern und Waren ausgetauscht und diese über das Transport- und Logistiksystem physisch transportiert werden. Die zunehmende Verbreitung neuer digitaler Technologien wirkt sich damit auch auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen aus.

Der vorliegende Bericht ist der Versuch einer Eingrenzung wichtiger Aspekte und Einflussfaktoren in dieser Wechselwirkung. Damit sollen die Voraussetzung für die Ausarbeitung tiefergehender Entwicklungsszenarien geschaffen werden, die in die Abschätzung der Auswirkung der Nutzung neuer digitaler Technologien in der Sachgütererzeugung auf den Bahn-Güterverkehr in Österreich, sowie relevanten Auslandsmärkten, einfließen sollen. Der Fokus der Untersuchung liegt dabei auf der Nutzung moderner digitaler Technologien in der Sachgütererzeugung, die gemeinhin unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ zusammengefasst werden. Es war nicht Ziel der vorliegenden Studie, die Auswirkungen der Nutzung moderner digitaler Technologien im Logistiksektor zu untersuchen.

Abbildung 1 bietet einen Überblick über die unterschiedlichen Teile der Studie und über die methodische Herangehensweise. Die Analyse des internationalen Warenverkehrs und die Einbettung der österreichischen Sachgütererzeugung in globale Wertschöpfungsketten ist dabei der Ausgangspunkt für die vertiefende Analyse der (möglichen) Auswirkungen digitaler Technologien in Fertigung und Logistik in der Sachgütererzeugung. Der Grund für diese Herangehensweise ist, dass die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen eine abgeleitete Nachfrage ist, die maßgeblich von Produktion und Warenhandel bestimmt wird.

Kapitel 2 bietet einen kurzen Überblick über neuere Studien, die sich mit der Auswirkung der Digitalisierung auf den globalen Warenhandel und der Veränderung globaler Wertschöpfungsketten befasst haben. Die Digitalisierung hat sich in einigen Industrien bereits merklich auf den globalen Handel und damit verbundene Warenströme ausgewirkt und Verschiebungen in Wertschöpfungsketten bewirkt.

Abbildung 1: Überblick über die Kapitel der Studie



Kapitel 3 charakterisiert die Nachfrage im Logistiksektor auf europäischer Ebene und zeigt, dass der größte Teil der Umsätze einerseits durch Verflechtungen innerhalb des Logistiksektors und andererseits durch Verflechtungen mit der Sachgütererzeugung erzielt werden. Eine vertiefende Betrachtung der Auswirkungen der Verbreitung von Industrie 4.0 Technologien in der Sachgütererzeugung auf den Warentransport ist daher begründet. Es werden in weiterer Folge die Bestimmungsgründe der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen zunächst aus gesamtwirtschaftlicher Sicht und dann aus Sicht von Industrieunternehmen aufgearbeitet und mögliche Wirkungs- und Transmissionsmechanismen auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen identifiziert. Darauf aufbauend werden dann Indikatoren zur langfristigen Entwicklung des Warenhandels und der Entwicklung der Eigenschaften der gehandelten Waren in der österreichischen Sachgütererzeugung präsentiert und

Arbeitshypothesen ausgearbeitet, welche Auswirkungen die beobachteten Veränderungen den Warenverkehr auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen haben.

Kapitel 4 arbeitet die Entwicklung neuer Fertigungsparadigmen in der Sachgütererzeugung auf der Grundlage neuer digitaler Technologien auf. Dazu wird zunächst ein kurzer historischer Überblick über die langfristige Entwicklung, Verbreitung und Auswirkung neuer Fertigungsparadigmen präsentiert und dann anhand moderner Industrie 4.0 Technologien vertieft, sowie Indikatoren zu systematischen Unterschieden in der Verbreitung unterschiedlicher Industrien dargestellt. Abschließend werden dann Arbeitshypothesen über mögliche direkte und indirekte Wirkungen der Verbreitung digitaler Technologien in der Sachgütererzeugung auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen ausgearbeitet und diskutiert.

Kapitel 5 analysiert anhand einer Input-Output Analyse die Entwicklung der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen und des Modal Split im Gütertransport in Österreich. Es wird anhand des direkten und indirekten Verbrauchs an Schienenverkehrsleistungen die Schienenaffinität unterschiedlicher Sektoren abgebildet. In der weiteren Folge wird diese Analyse mit den Arbeitshypothesen der vorangegangenen Kapitel verschränkt und der Zusammenhang zur Industriestruktur, Veränderungen des Warenverkehrs und der gehandelten Waren, sowie der Digitalisierungsintensität der unterschiedlichen Branchen ausgearbeitet. Die Analyse zeigt, dass die grundsätzliche wirtschaftliche Spezialisierung zwar den Bahngüterverkehr begünstigt, die Entwicklungen in der Industrie im Zuge der Globalisierung und die Digitalisierung aber eher den Straßengüterverkehr begünstigen, der (auch) aus diesem Grund stark an Marktanteilen gewinnen konnte.

Im letzten Abschnitt werden diese Ergebnisse mit Blick auf langfristige Entwicklungspotentiale für den Bahngüterverkehr diskutiert.

2. Die Bedeutung der Digitalisierung in der globalen Entwicklung von Wertschöpfungsketten und des Warenhandels

Nach Berechnungen der Welthandelsorganisation (WTO) sind zwischen 1996 und 2014 die Handelskosten um 15 Prozentpunkte gesunken (WTO 2018). Dafür sind lt. Einschätzung der WTO neben dem Abbau von Handelsbarrieren auch technologische Entwicklungen, wie etwa die verbreitete Nutzung von Container und der Ausbau multimodaler Transportmöglichkeiten (Levinson 2015), auch moderne Informations- und Kommunikationstechnologien verantwortlich. Die WTO geht davon aus, dass neue digitale Technologien verstärkt zur Senkung der Handelskosten beitragen werden, sodass das globale Handelsvolumen bis 2030 um 1,8 bis 2 Prozentpunkte pro Jahr weiterwachsen wird, was einem kumulierten Wachstum von 31 bis 34 Prozentpunkten entspricht.

Nach Schätzungen der WTO werden digitale Technologien zur Senkung der Handelskosten und damit zu einem Anstieg des globalen Handelsvolumens führen. Digitale Technologien haben bereits jetzt zur Verschiebung und strukturellen Veränderung des globalen Handels beigetragen.

Digitale Technologien spielen schon heute eine wichtige Rolle im internationalen Warenhandel:

- Einerseits haben sie zu Veränderungen der Verbrauchergewohnheiten und Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen geführt: durch die weit verbreitete Nutzung internetfähiger Geräte haben Endverbraucher und Unternehmen einen direkten Zugang zu Online-Märkten. Schätzungen der United States International Trade Commission zufolge belief sich der weltweite Wert der inländischer und grenzüberschreitender E-Commerce-Transaktionen im Jahr 2016 auf ca. 27,7 Billionen US-Dollar, davon entfielen 23,9 Billionen US-Dollar im Business-to-Business-E-Commerce (die weltweiten Warenexporte beliefen sich im selben Jahr auf 15,46 Billionen US-Dollar; USITC 2017). Durch die Geschäftsmodelle moderner, global agierender Online-Händler haben sich die Verbrauchergewohnheiten dahin verschoben, dass jede gewünschte Varietät eines Produktes in kurzer Zeit von jedem geographisch noch so weit entfernten Standort bezogen werden kann. Angebotsseitig ermöglichen digitale Technologien hingegen einen leichteren Zugang zu internationalen Märkten und die Bereitstellung eine größere Produktvielfalt. Für Unternehmen wird es einfacher, eine größere Anzahl von Produktvarianten zu geringeren Kosten zu produzieren, zu bewerben und zu vertreiben.
- Andererseits verändert sich durch digitale Technologien die Zusammensetzung der internationalen Warenströme. So hat sich der WTO zufolge der Handel mit Produkten der Informationstechnologie in den letzten zwei Jahrzehnten verdreifacht (1,6 Billionen

US-Dollar in 2016), während der Handels mit digitalisierbaren Gütern (z.B. CDs, Bücher und Zeitungen) stark zurückgegangen ist (von 2,7 Prozent des gesamten Warenhandels im Jahr 2000 auf 0,8 Prozent im Jahr 2016). Sollte sich 3D-Drucktechnologien mittelfristig in der industriellen Fertigung durchsetzen, so ist davon auszugehen, dass etliche industrielle Waren, die durch 3D-Druck gefertigt werden können, einer ähnlichen Entwicklung unterliegen werden.

- Zuletzt hat mit der Digitalisierung auch die Bedeutung des Dienstleistungshandels zugenommen. Konsolidierte globale Zahlungsbilanzdaten zeigen, dass der Anteil des Dienstleistungshandels global von 18 auf 23% im Jahr 2016 gestiegen. Die WTO prognostiziert hier einen weiteren Anstieg auf 25% bis 2030. Vor allem Dienstleistungen, die digital bereitgestellt werden können, sind von dieser Ausweitung betroffen. Blinder und Krueger (2013) zufolge würde dies v.a. auf Arbeitsplätze im Finanz-, Versicherungs- und Informationsdienstleistungssektor sowie bei technischen und professionellen Dienstleistungen zutreffen. Es hat jedoch auch der Dienstleistungshandel in der Industrie zugenommen, indem Dienstleistungen, wie etwa die Wartung von Geräten oder Ausbildung, komplementär zu verkauften Waren angeboten werden, die vor allem durch Technologien des Internet der Dinge und die Möglichkeit der präventiven Überwachung und Wartung von kostspieligen Industriegütern eine massive Ausweitung erfahren könnten. Die Bedeutung von Leasingverträgen für industrielle Waren nimmt auch zu. Dabei werden diese nicht mehr an Nutzer verkauft, sondern in einem Gesamtpaket, das Wartung und Überwachung und andere Dienste umfasst, ohne formalen Besitzübergang bereitgestellt und nach Ablauf des Vertrages vom Hersteller wieder übernommen. Wie im nächsten Abschnitt ausgeführt wird, nimmt auch die Bedeutung und die Möglichkeiten der Ausweitung von dienstleistungsgetriebenen Geschäftsmodellen in der Industrie aufgrund digitaler Technologien zu.

Globale Wertschöpfungsketten haben sich in den vergangenen Jahren verändert. Nach einer Phase der Expansion ist eine verstärkte Regionalisierung, Steigerung der Technologieintensität und die zunehmende Bedeutung des Dienstleistungshandels zu beobachten.

Auch globale Wertschöpfungsketten erfahren seit einigen Jahren umfangreiche Veränderungen, die mit Verschiebungen und Verlagerungen globaler Warenströme einhergehen und zumindest teilweise auch auf die zunehmende Digitalisierung zurückgeführt werden. Eine umfassende Studie des McKinsey Global Institutes (Lund et al 2019) beobachtet, dass die Handelsintensität von Wertschöpfungsketten in der Warenproduktion abgenommen hat. Das bedeutet, dass Wertschöpfungsketten, nach einer weltweiten Tendenz zur globalen Verbreiterung und Streuung der Lieferbeziehungen, wie sie in den 1990er und 2000er Jahren zu beobachten war, nun wieder vermehrt innerhalb der Grenzen eines Landes stattfinden. MGI

bezieht die Veränderung global von 28,1 auf 22,5 Prozent der Bruttoproduktion in den Waren-Wertschöpfungsketten zwischen 2007 und 2017. Auch in Österreich ist eine Rückverlagerung von ausgelagerten Aktivitäten wieder vermehrt zu beobachten (Hölzl et al 2017).

Eine weitere Veränderung, die von MGI beobachtet wird, ist die zunehmende Bedeutung von grenzüberschreitenden Dienstleistungen. Anders als die WTO berechnet MGI diese aber auf einer breiteren Basis (Mehrwertdienste zu exportierten Gütern, immaterielle Güter, die Unternehmen an ausländische Tochtergesellschaften gesendet werden, kostenlose digitale Dienstleistungen, die globalen Nutzern zur Verfügung gestellt werden) und kommt damit auf über 50% Anteil des Dienstleistungshandel am gesamten Handel (gegenüber den zuvor angeführten 23% der Zahlungsbilanzdaten).

Globale Wertschöpfungsketten sind auch insgesamt wissens- und technologieintensiver geworden. Dadurch nimmt die Bedeutung von Produktionsverlagerungen in Billiglohnländer stetig ab. Der Anteil von Investitionen in immaterielle Vermögenswerte entlang der Wertschöpfungsketten hat sich einer Berechnung von MGI zufolge zwischen 2000 und 2018 als Anteil am Umsatz in den Wertschöpfungsketten mehr als verdoppelt.

Zuletzt ist auch in einigen Industrien, wie etwa der Automobilindustrie, eine Verlagerung der Produktion an Standorte in der Nähe wichtiger regionaler Absatzmärkte und damit der Aufbau regionaler Wertschöpfungsketten zu beobachten.

MGI führt diese Entwicklungen neben der wirtschaftlichen Entwicklung wichtiger Schwellenländer wie China, die vermehrt Exportanteile reduzieren, um ihre heimischen Märkte zu bedienen (und um sich von Importen unabhängiger zu machen), auch auf grenzüberschreitende Datenströme und neue digitale Technologien zurück. Digitale Plattformen, das Internet der Dinge und andere fortschrittliche digitale Technologien führen, aus den weiter oben angeführten Gründen, zu einer relativen Abschwächung des Warenhandels bei einer gleichzeitig stetig zunehmenden Bedeutung des Dienstleistungshandels.

Aufgrund der starken wechselseitigen Abhängigkeit von Warenhandel und Frachtaufkommen werden sich diese Entwicklungen auf die Nachfrage nach Transportdienstleistungen auswirken. In den folgenden beiden Kapiteln wird diese Wechselwirkung untersucht, mit einem Fokus auf die Entwicklungen im Kontext von Entwicklungen rund um die Verbreitung von Industrie 4.0-Technologien.

3. Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen im Kontext der Entwicklungen des globalen Warenhandels seit 2000

Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen ergibt sich immer aus den Notwendigkeiten des Warentransportes in Bergbau, der Landwirtschaft, der Sachgütererzeugung und dem Handel. Sie ist damit als abgeleitete Nachfrage zu verstehen. Das Kapitel bietet zunächst einen Überblick über die wichtigsten Faktoren, die darauf Einfluss nehmen.

Für eine kleine offene Volkswirtschaft, wie Österreich, spielt die Entwicklungen des globalen Warenhandels eine bedeutende Rolle. Sie bestimmt maßgeblich den Güterverkehr in und durch Österreich. Die Entwicklung des Warenhandels in Österreich ist Ausdruck der langfristigen Wettbewerbsstrategien österreichischer Unternehmen, die wiederum ihren Niederschlag in den Eigenschaften der gehandelten Produkte finden. Handelsvolumen und die Eigenschaften der gehandelten Produkte sind wichtige Determinanten der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen. Aus diesem Grund ist der zweite Teil dieses Kapitels der Darstellung dieser Entwicklungen gewidmet, um Arbeitshypothese hinsichtlich der Auswirkungen von Veränderungen des Warenhandels auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen zu entwickeln.

3.1 Die wirtschaftliche Verflechtung des Logistiksektors

Die Rolle des Logistiksektors in Wertschöpfungsketten wurde unlängst in einer umfassenden Studie der Europäischen Kommission untersucht.¹ Abbildung 2 verwendet die Daten dieser Studie und zeigt, wie der Sektor mit vor- und nachgelagerten Sektoren verflochten ist.

Die Daten zeigen eine starke Verschränkung der unterschiedlichen Teilbereiche der Logistiksektor untereinander. Auf der Seite der Vorleistungen entfielen 2014 rund 42,8% der Kosten für Vorleistungen vor allem auf die Lagerhaltung und den Landtransport. Die Nachfrageseite des Logistiksektors reflektiert dies, mit rund 45% der Umsätze, die 2014 innerhalb des Logistiksektors entstanden sind.

Die Hauptmärkte des europäischen Logistiksektors sind mit jeweils rund 45% der Umsätze im Jahr 2014 der Logistiksektor selbst und die Sachgütererzeugung, sowie der Großhandel (13,5%).

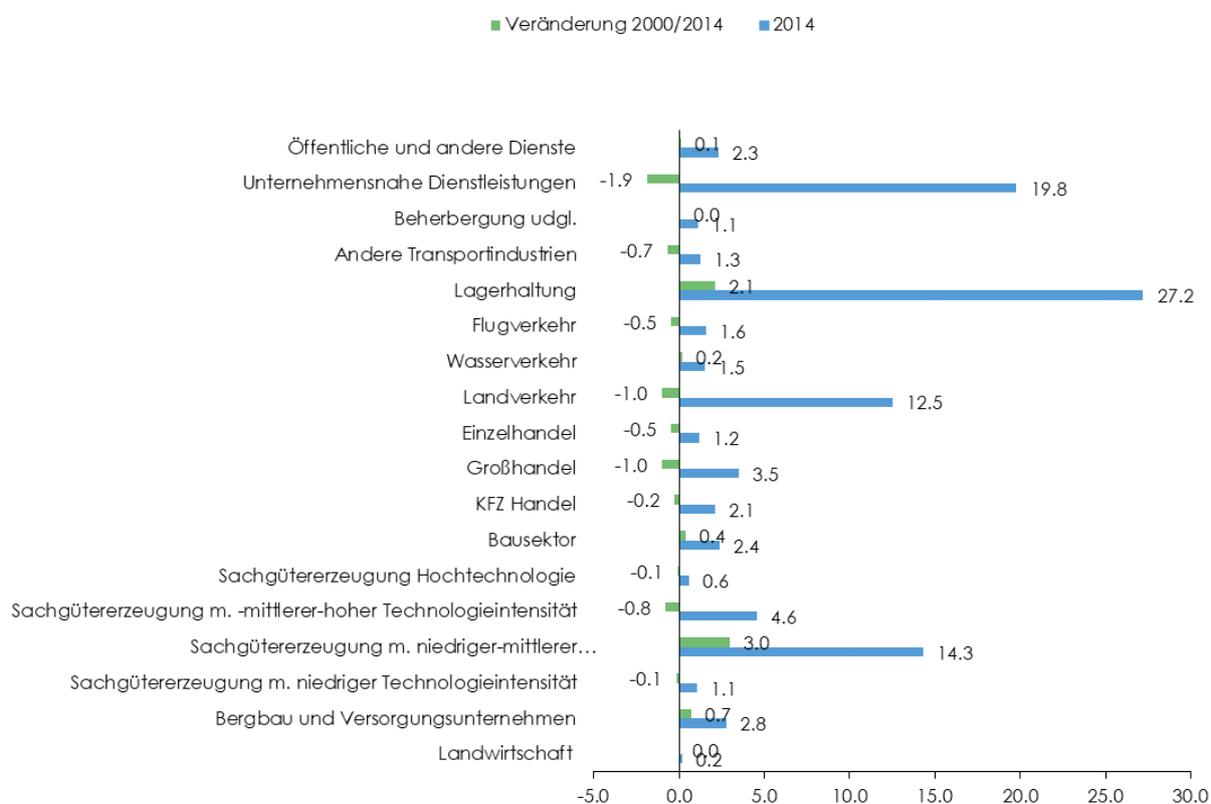
Diese starken Komplementaritäten zwischen unterschiedlichen Teilen des Sektors unterstreichen, dass die Kostenstruktur eines jeden Verkehrsträgers stark von sektorinternen Verflechtungen bestimmt ist. Technischer Wandel innerhalb des Sektors wirkt sich damit rasch

¹ Der Logistiksektor umfasst in dieser Studie die Sektoren Landverkehr und Transport in Rohrleitungen (NACE H49), Schifffahrt (NACE H50), Luftfahrt (NACE H51) und Lagerei sowie Erbringung von Dienstleistungen für den Verkehr (NACE H52). Siehe Europäische Kommission (2019).

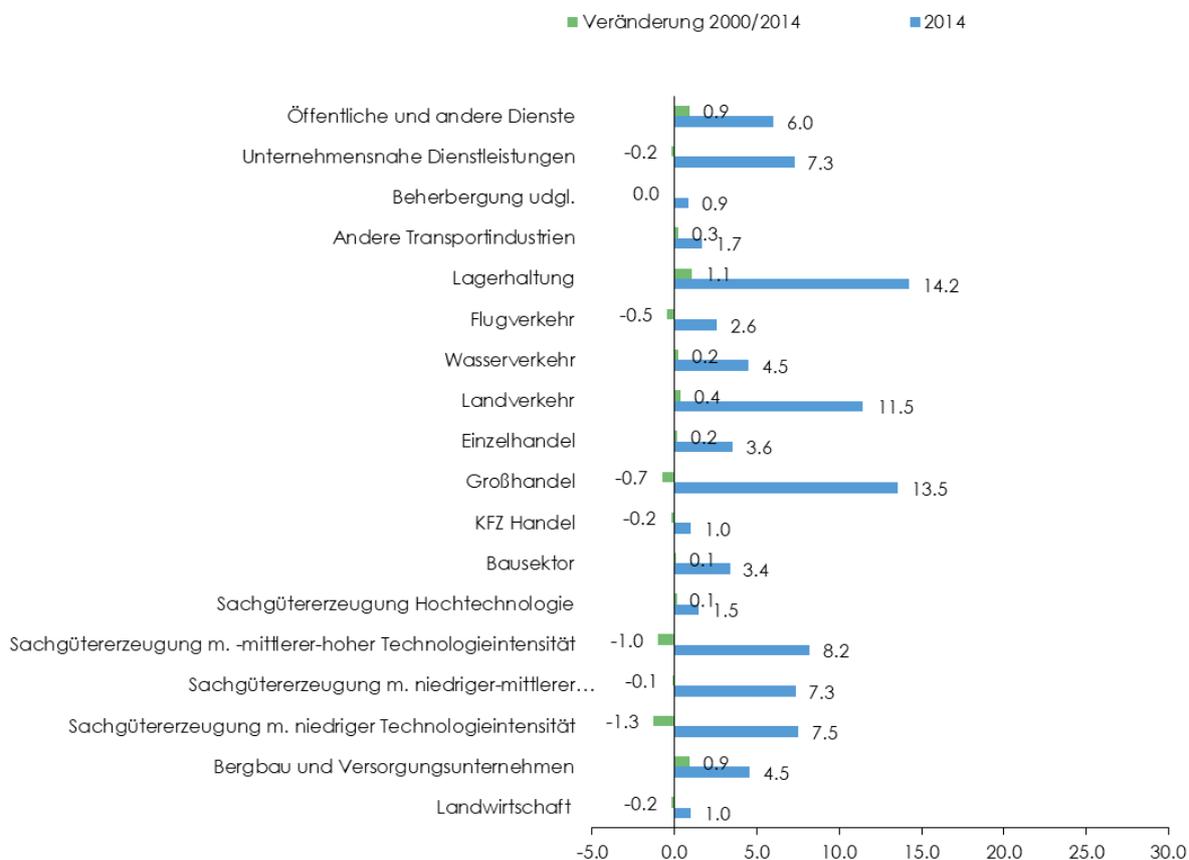
auf andere Bereiche des Sektors aus. Andererseits werden auf der Nachfrageseite rund 45% der gesamten Umsätze in der Sachgütererzeugung und weitere 13,5% im Großhandel erzielt. Damit können Entwicklungen in der Sachgütererzeugung, vor allem was den internationalen Warenhandel aber auch Auswirkungen des technischen Wandels und der Digitalisierung in der Sachgütererzeugung anbelangt, maßgeblich auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen durchschlagen.

Abbildung 2: Kosten- und Umsatzanteile der vor- und nachgelagerten Sektoren des Logistiksektors in der EU, 2000-2014

Kostenanteile der Leistungen vorgelagerten Sektoren an den Logistiksektor EU 27



Kostenanteile der Leistungen nachgelagerter Sektoren an den Logistiksektor EU 27



Q: Europäische Kommission 2019.

3.2 Die Treiber der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht

Die Nachfrage nach Gütertransportleistungen wird aus gesamtwirtschaftlicher Sicht von einer Vielzahl von Parametern bestimmt.² Viele dieser Faktoren sind durch nationale und internationale Rahmenbedingungen vorgegeben, wie etwa der wirtschaftliche Entwicklungsstand (gemessen am **BIP pro Kopf**), die verfügbare Transportinfrastruktur, Regulierungen, Steuern, die geographische Lage aber auch die Ressourcenausstattung eines Landes. Andere Faktoren spiegeln hingegen Entscheidungen von Unternehmen und Konsumenten wider, aus denen sich dann eine Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen ableitet.

² Für eine formale Behandlung und Darstellung des analytischen Rahmens der Studie siehe Textkasten 1.

Die gesamtwirtschaftliche Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen hängt einerseits von einer Vielzahl strukturellen Faktoren ab ...

Betrachtet man die Faktoren, die für Unternehmen und Konsumenten in der kurzen Frist vorgegeben sind, so ist zunächst das **Logistiksystem** bzw. **die Logistikinfrastruktur** jener Teil des Wirtschaftssystems eines Landes, der Gütertransportdienstleistungen bereitstellt und damit die Angebotsseite abbildet. Die **Netzdichte** (z.B. Schienen oder Autobahnkilometer) und die **Kapazität der Infrastruktur** der unterschiedlichen Verkehrsträger (z.B. Anzahl der Fahrspuren oder verfügbare Transporteinheiten) sind auf der Angebotsseite zentrale Kenngrößen, die das Angebot räumlich und von der Kapazität her abbilden. Der Versorgungsgrad durch Frachter bzw. oder Eisenbahn (inkl. Anschlussstellen) sind ein wichtiges Entscheidungskriterium auf der Nachfrageseite, die auf die Wahl des Verkehrsträgers Einfluss nimmt.

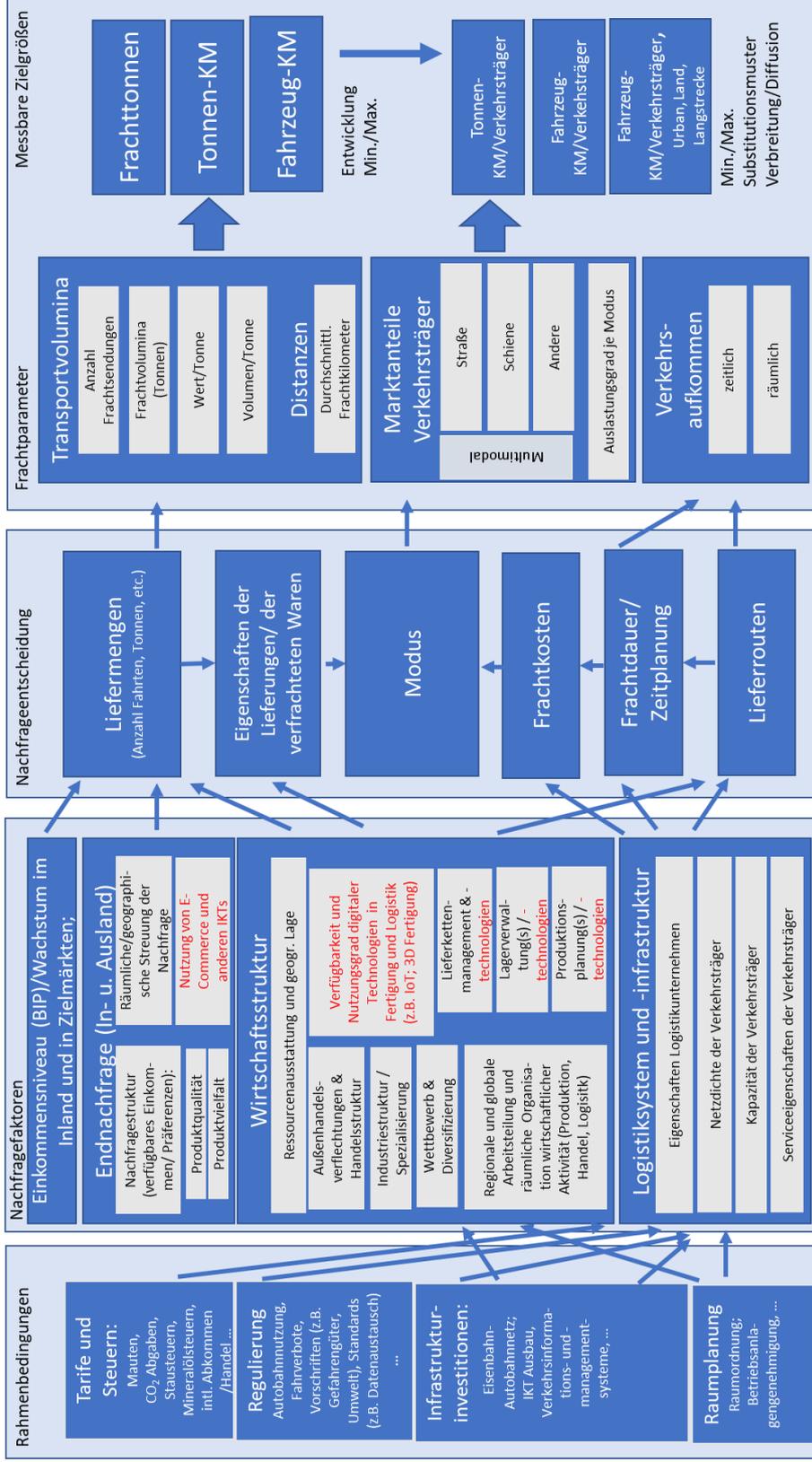
Die **Serviceeigenschaften** der unterschiedlichen Elemente des Logistiksystems bilden hingegen die qualitativen Aspekte des Angebots ab. Zu den Qualitätsmerkmalen unterschiedlicher Verkehrsträger, die wiederum wichtige Entscheidungsparameter auf der Nachfrageseite darstellen sind, u.a. die Kontrolle über den Transportverlauf für Sender und Empfänger einer Ladung, Lieferzuverlässigkeit bzw. Unsicherheit durch erratische Faktoren (z.B. Nichteinhaltung von Lieferfristen; Streiks), bereitgestellte Dienstleistungen an den verfügbaren Logistikterminalen oder die Flexibilität eines Verkehrsträgers hinsichtlich der Erfordernisse der Unternehmen, die Fracht versenden. Viele dieser Serviceeigenschaften hängen wiederum von unterschiedlichen **Eigenschaften der Unternehmen des Logistiksektors** ab. Dazu gehört einerseits der Spezialisierungsgrad der Unternehmen in dieser Branche, der es erlaubt in ausdifferenzierter Weise auf Kundenerfordernisse einzugehen. Andererseits ist der Wettbewerb in dieser Branche ein wichtiger Aspekt, der sich in Frachtkosten niederschlägt.

Diese Angebotsfaktoren schlagen sich in zwei zentralen Entscheidungsgrößen für die Transportnachfrage wieder. Die sind einerseits die **Frachtkosten**, andererseits die **Frachtzeit**. Diese können wiederum von unterschiedlichen **institutionellen Rahmenbedingungen** und **politischen Maßnahmen**, wie Tarifen und Steuern sowie Regulierungen, direkt, oder über Infrastrukturinvestitionen sowie Raumplanung, indirekt beeinflusst werden. Diese Rahmenbedingungen beeinflussen vor allem die Verkehrsmittelwahl (Modus) in der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen.

Die **Ressourcenausstattung und die geographische Lage** einer Volkswirtschaft spielen eine wichtige Rolle, da diese maßgeblich die **industrielle Spezialisierung** und damit die Struktur des Sachgüter erzeugenden Sektors beeinflusst. Dies wirkt sich wiederum auf die Eigenschaften der zu verfrachtenden Güter und Waren aus. Die Förderung oder der Abbau bestimmter Rohstoffe sowie die Produkte, die der Nutzung land- oder forstwirtschaftlicher Ressourcen entspringen, erfordern spezifische logistische Lösungen für deren Abtransport und Verteilung und stehen damit in einer Wechselwirkung mit Entwicklungen der Logistikinfrastruktur und führen auch zur Entwicklung eines spezifischen Angebots an Logistikdienstleistungen.

Die technologische Spezialisierung einer Volkswirtschaft spiegelt sich in deren **Industriestruktur** und damit in der relativen wirtschaftlichen Bedeutung unterschiedlicher Branchen und deren Beitrag zur Wertschöpfung wider. Die Industriestruktur wirkt sich durch die Eigenschaften der erzeugten Waren auf die Transportnachfrage aus. Unterschiedliche Branchen unterscheiden sich sehr in ihrer (potentiellen) Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen und vor allem auch in Ihrer Affinität zum Bahn-Güterverkehr.

Abbildung 3: Bestimmungsfaktoren der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen



Q: Darstellung der Autoren auf der Grundlage von Van de Riet - De Jong- Walker (2004), S. 3.

In Ländern mit einem höheren Anteil des primären und sekundären Sektors (Bergbau und Landwirtschaft sowie Sachgütererzeugung) an der nationalen Wertschöpfung entsteht eine höhere Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen (gemessen in Frachttonnen je € des Bruttoinlandsproduktes) als in Ländern mit einem großen tertiären Sektor (Dienstleistungen). Langfristige Verschiebungen in der wirtschaftlichen Bedeutung unterschiedlicher Sektoren, wie, z.B., die zunehmende Bedeutung des Dienstleistungssektors in hochentwickelten Volkswirtschaften, können damit zu Veränderungen in der Gesamtnachfrage nach Gütertransportdienstleistungen führen, aber auch den Charakter der verfrachteten Güter und Waren und damit die Anforderungen an das Logistiksystem und -infrastruktur eines Landes verändern.

... doch beeinflussen die Entscheidungen von Unternehmen über ihre Einbettung in internationale Wertschöpfungsketten, die Eigenschaften Ihrer Produkte und Leistungen und ihre Zielmärkte, ebenso die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen. Digitale Technologien spielen vor allem in diesem Kontext eine wichtige Rolle.

Zu den Faktoren, die zwar von der Spezialisierung und dem wirtschaftlichen Entwicklungsstand eines Landes abhängen, aber kurz bis mittelfristig durch bewusste (strategische) Entscheidungen von Unternehmen und Konsumenten beeinflusst werden, gehören Aspekte, die die **internationalen Arbeitsteilung und die Einbettung in globale Wertschöpfungsketten** und damit die **räumlichen Organisation wirtschaftlicher Aktivitäten** innerhalb wie auch zwischen Ländern, die **Eigenschaften der gehandelten Produkte**, wie die **Produktvielfalt** (Diversifizierung) und **Produktqualität**, die **Komplexität** der gehandelten (industriellen) Produkte, und zuletzt die **Struktur** sowie die **räumliche bzw. geographische Verteilung der Nachfrage** und damit der Zielmärkte. Die Einbettung in internationale Wertschöpfungsketten, die Eigenschaften der erzeugten Produkte und die geographische Streuung der Nachfrage sind auf strategische Entscheidungen von Unternehmen zurückzuführen, die sich in weiterer Folge auf deren Unternehmensorganisation, der Organisation und dem Management von Kunden- und Lieferantenbeziehungen, Produktion und Logistik auswirken und damit direkt die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen beeinflussen. Produktion, Logistik und die Organisation der vor- und nachgelagerten Lieferketten sind auch die Punkte in Unternehmen, wo der technische Wandel und die Verbreitung neuer digitaler Technologien ansetzen und kurz bis mittelfristig wichtige Veränderungen im Warenverkehr und damit in Änderungen in der Nachfrage nach Güterdienstleistungen bewirken. Der folgende Abschnitt befasst sich daher mit diesem Aspekt genauer.

Textkasten 1: Formaler Rahmen zur Analyse des Einflusses der Digitalisierung auf die abgeleitete Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen

Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen ist im Unterschied zum Personenverkehr immer eine Nachfrage, die sich aus der Notwendigkeit des Warentransportes in Bergbau, Landwirtschaft, Sachgütererzeugung und des Handels ergibt und sich daraus ableitet (vgl. Abbildung 2, S.17) Zum Zweck der besseren Einordnung und Interpretation der qualitativen und quantitativen Befunde in dieser Studie bietet sich eine einfache formale Betrachtung der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen an, auf die in weiterer Folge auch immer wieder in der Interpretation von Befunden zurückgegriffen wird. Da der Fokus der Analyse auf der Auswirkung technischen Wandels in der Sachgütererzeugung auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen liegt, wird die Darstellung auf die Nachfrage dieses Sektors beschränkt.

Die Nachfrage, NF_t , nach Gütertransportdienstleistungen des sachgütererzeugenden Sektors (ausgedrückt in Tonnen-KM) zu einem Zeitpunkt t kann vereinfacht wie folgt dargestellt werden:

$$NF_t = (a_t^B p_t^B + a_t^S p_t^S) q_t,$$

wobei a_t^B, a_t^S den Anteilen der Nachfrage nach Bahntransport, B , und Straße, S , mit $(a_t^B + a_t^S) = 1$, und p_t^B, p_t^S den durchschnittlichen Preisen dieser Verkehrsträger je Tonnen-KM entsprechen. Der Einfachheit halber werden andere Verkehrsträger ignoriert, wenngleich sich die Analyse auf beliebig viele Verkehrsträger ausdehnen lässt. Variable q_t entspricht den nachgefragten Transportleistungen in Tonnen-KM. Die beiden Anteilsgrößen a_t^B, a_t^S bilden somit den Modal Split zwischen den Verkehrsträgern ab und der Koeffizient aus den beiden Anteilsgrößen, $\frac{a_t^B}{(1-a_t^B)}$, bildet über die Zeit das Substitutionsverhältnis und damit die Austauschrate zwischen diesen beiden Verkehrsträgern ab.

Betrachtet man nun die Auswirkung des technischen Wandels in der Sachgütererzeugung auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen und auf den Modal Split zwischen zwei Zeitpunkten, so lässt sich die Veränderung der Nachfrage zwischen Zeitpunkten t_0 und t wie folgt darstellen:

$$NF_t - NF_{t_0} = (a_t^B p_t^B + a_t^S p_t^S) q_t - (a_{t_0}^B p_{t_0}^B + a_{t_0}^S p_{t_0}^S) q_{t_0}$$

Die Nachfrageveränderungen sind für jeden Verkehrsträger einerseits durch Veränderungen der nachgefragten Transportleistungen q_t und andererseits durch Veränderungen im Modal Split und damit auf die Substitution zwischen Verkehrsträgern zurückzuführen. Diese sind ihrerseits wiederum durch Preisänderungen je Tonnen-KM und Änderungen der Präferenzen für jeden Verkehrsträger, die in den Anteilen, a_t^B, a_t^S , zum Ausdruck kommt, bestimmt. Durch Lösung der Gleichung können diese Effekte identifiziert werden.

Nachfrageveränderungen durch Veränderung der Präferenzen (Modal Split):

$$\begin{aligned} \Delta NF_t^{MS} = & a_{t_0}^B p_{t_0}^B q_{t_0} + \dots \quad \text{Nachfrage in Jahr } t_0 \\ & + [\Delta a^B p_{t_0}^B q_{t_0} + a_{t_0}^B \Delta p^B q_{t_0} + \Delta a^B \Delta p^B q_{t_0}] \\ & \dots \text{ induzierte Präferenzänderung } t - t_0, \end{aligned}$$

und Nachfrageveränderungen durch Veränderungen der nachgefragten Transportleistung:

$$\begin{aligned} \Delta NF_t^{\Delta q} = & a_{t_0}^B p_{t_0}^B \Delta q + \dots \quad \text{autonome Veränderung der Nachfrage } t - t_0 \\ & + [\Delta a^B p_{t_0}^B \Delta q + a_{t_0}^B \Delta p^B \Delta q + \Delta a^B \Delta p^B \Delta q] \\ & \dots \text{ induzierte Veränderung der nachgefragten Transportvolumen } t - t_0. \end{aligned}$$

Die gesamte Nachfrageveränderung ergibt sich dann aus den beiden Teilsommen:

$$NF_t - NF_{t_0} = \Delta NF_t = \Delta NF_t^{MS} + \Delta NF_t^{\Delta q}.$$

Bei diesen Gleichungen handelt es sich grundsätzlich um einfache buchhalterische Identitäten. Für eine Verhaltensinterpretation sind Annahmen zum Zusammenwirken der unterschiedlichen Änderungen notwendig. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass im Fall von Preiswettbewerb bei einem vollkommen homogenen Transportangebot die Annahme $\Delta p^B > 0$ und $\Delta a^B < 0$ gilt. Ein Preisanstieg führt also bei einem gegebenen nachgefragten Transportvolumen zu einer Verschiebung der Präferenz zum alternativen Verkehrsträger. Im Fall von Qualitätswettbewerb bei einem differenzierten Transportangebot kann hingegen $\Delta p^B > 0$ und $\Delta a^B \geq 0$ gelten, wenn die Preisänderung auch eine Veränderung der Servicequalität oder einer Verbesserung des PreisLeistungsverhältnisses widerspiegelt. Unter Servicequalität wird hierbei verstanden, in welchem Ausmaß eine Transportdienstleistungen den unterschiedlichen Anforderungen der nachfragenden Unternehmen entspricht.

Wie aus den beiden Berechnungen ersichtlich ist, können Nachfrageveränderungen folgendermaßen zerlegt und drei getrennte Transmissionsmechanismen identifiziert werden:

**Veränderung der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen über die Zeit =
autonome Veränderung der nachgefragten Transportleistung +
induzierte Veränderung der Präferenzen für einen Verkehrsträger +
induzierte Veränderungen der nachgefragten Transportleistung.**

Autonome Veränderungen stellen dabei Veränderungen dar, die bei gegebenen Transportpreisen und einem gegebenem Modal-Mix zu einer Veränderung des nachgefragten Transportleistung führen. Derartige autonome Anstiege können durch exogene Entwicklungen hervorgerufen werden, wie etwa dem globalen Anstieg des Warenverkehrs im Zuge der Globalisierung, die zu einer Ausweitung der Produktion von Industrieunternehmen und des Handels führen. Derartige Produktionsausweitungen können auch das Ergebnis von technischem Wandel in Unternehmen, die Transportdienstleistungen nachfragen, sein. Dies ist, z.B., dann der Fall, wenn ein Unternehmen neue Produkte am Markt einführt, die zu einem Anstieg der Nachfrage nach dessen Produkten führen.

Induzierte Veränderungen der Präferenzen sind ebenso wie Veränderungen der nachgefragten Transportleistungen hingegen das Ergebnis von spezifischen Bedürfnissen seitens der Unternehmen, die Güter verfrachten wollen (Nachfrage), wie auch der Eigenschaften des von Logistikunternehmen (Angebot) bereitgestellten Serviceangebots. Diese induzierten Veränderungen sind einerseits durch **Preiseffekte** und andererseits durch **Veränderungen der Nachfrageintensitäten** nach den Verkehrsträgern getrieben, die Veränderungen der Präferenzen und des Serviceangebots abbilden. Betrachtet man Abbildung 3, so können unterschiedliche Einflussfaktoren diesen beiden Effekten zugeordnet werden.

Einflussfaktoren auf die *Preiseffekte (Frachtkosten)* für die Verkehrsträger sind:

- Die Eigenschaften des Logistiksystems und der Logistikinfrastruktur (Netzdichte, Kapazität, Serviceeigenschaften, Frachtzeiten u.dgl.),
- die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen, und
- technischer Wandel in Transport- und Logistiktechnologien mit Rückwirkungen auf die Serviceeigenschaften der Verkehrsträger.

Die Rahmenbedingungen und die Eigenschaften des Logistiksystems und der Logistikinfrastruktur stehen in Wechselwirkung, denn letztere sind maßgeblich von Regulierungen, Tarifen und Infrastrukturinvestitionen und damit von verkehrs- und wirtschaftspolitischen Entscheidungen, aber auch von exogenen Faktoren, wie der Entwicklung von Energiepreisen, bestimmt. Zusammen bestimmen sie die Kostenstruktur, sowie Größen- oder Verbundvorteile in der Logistikindustrie. Der technische Wandel in der Transport-

und Logistikindustrie verändert wiederum die Serviceeigenschaften der Dienstleistungen der unterschiedlichen Verkehrsträger, wie etwa die Kontrolle über und Eingriffsmöglichkeiten bei Lieferungen, Zuverlässigkeit u.dgl., sowie die Frachtzeiten, die wiederum als PreisLeistungsverhältnis in die Bewertung der Verkehrsträger durch nachfragende Unternehmen einfließen. Preiseffekte hängen natürlich auch vom Wettbewerb und der relativen Marktmacht sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite, ab.

Einflussfaktoren für *Veränderungen der Nachfrageintensitäten* sind durch die Wirtschaftsstruktur und daraus abgeleitete Faktoren bzw. sich daraus ergebende Anforderungen an unterschiedliche Verkehrsträger bestimmt:

- Produkteigenschaften,
- Eigenschaften der Zielmärkte im In- und Ausland (Außenhandelsverflechtungen),
- die räumliche Organisation der Produktion (Organisation von globalen oder regionalen Wertschöpfungs- und Lieferketten; industrielle Agglomerationen),
- Serviceeigenschaften der Verkehrsträger,
- Unternehmenseigenschaften der nachfragenden Unternehmen (wie Unternehmensgröße udgl.),
- im Einsatz befindliche Produktions- und Logistiktechnologien der nachfragenden Unternehmen, und
- technischer Wandel in den Produktions-, Logistik-, Lagerhaltungs-, Ressourcen- und Kundenbeziehungsmanagementtechnologien der nachfragenden Unternehmen.

All diese Faktoren bestimmen und verändern die Anforderungen und damit die Präferenzen der Unternehmen, die Gütertransportdienstleistungen nachfragen, für den einen oder anderen Verkehrsträger, bzw. für unterschiedliche modale Mischungen. Diese werden ausführlicher in Abschnitt 3.2 diskutiert.

Wie bereits erwähnt, verändern sich die Serviceeigenschaften der Verkehrsträger durch technischen Wandel in den Transport- und Logistiktechnologien und dies kann sowohl Preiseffekte als auch Effekte auf die nachgefragten Intensitäten der Verkehrsträger induzieren. Preiseffekte stellen sich ein, wenn neue Transport- und Logistiktechnologien Logistikunternehmen produktiver machen und diese die Kostenvorteile an Kunden weitergeben, oder aber wenn sie zu einer Verbesserung der Qualität der Dienstleistungen führen, sodass Logistikunternehmen bei einer verbesserten Servicequalität höhere Preise verlangen, indem sie darauf achten, das PreisLeistungsverhältnis konstant zu halten, oder dies auch zu verbessern. Verschiebungen in den Präferenzen, bzw. in den nachgefragten Intensitäten der Verkehrsträger stellen sich ein, wenn der technische Wandel in Transport- und Logistiktechnologien erlaubt, vollkommen neue Serviceangebote, die für Kunden große Vorteile bringen, anzubieten. Dies kann zur Verschiebung der Nachfrage zu einem spezifischen Verkehrsträger führen.

Der technische Wandel bei den nachfragenden Unternehmen wirkt sich hingegen direkt und indirekt auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen aus. Indirekte Effekte entstehen über die Auswirkungen des technischen Wandels oder der Digitalisierung auf die Produktionsvolumen und die Produkteigenschaften aus. Einerseits kann, wie bereits erwähnt, der technische Wandel zu einer Steigerung der Nachfrage oder Ausweitung der Exporte bewirken und sich damit in der autonomen Nachfragekomponente nach Gütertransportdienstleistungen niederschlagen. Andererseits kann technischer Wandel bei den nachfragenden Unternehmen zu einer Veränderung der Produkteigenschaften, der Produktvielfalt, oder der Zielmärkte führen. Dadurch verändern sich auch die Serviceeigenschaften der nachgefragten Transportdienstleistungen. Der technische Wandel oder die Digitalisierung in der Industrie induzieren damit Veränderung der nachgefragten Intensitäten der Verkehrsträger (Modal Split) und der Gesamtnachfrage. Veränderungen der Transportpreise spielen in der Bewertung des PreisLeistungsverhältnisses der angebotenen

Transportdienstleistungen eine Rolle. Diese Effekte werden in Abschnitt 3.5, S. 46 unter „**indirekte Effekte**“ zusammengefasst. Direkte Effekte entstehen wenn die durch den technischen Wandel oder die Digitalisierung zum Einsatz kommenden Technologien oder damit verbundene Produktions-, Ressourcen- oder Lagerplanung in deren Betrieb zu einem erhöhten Transportvolumen führen, oder aber zu einer Veränderung der Anforderungen an Logistikdienstleister führen, sodass diese ihr Serviceangebot entweder anpassen müssen, oder eine Verschiebung der Nachfrage zu Anbietern hin stattfindet, die eher den neuen Anforderungen entsprechen. Diese Effekte werden in Abschnitt 3.5, S. 46, unter „**direkte Effekte**“ zusammengefasst. Folgende tabellarische Übersicht stellt den Zusammenhang zwischen den ausgearbeiteten Transmissionsmechanismen und den direkten und indirekten Effekten her:

Technischer Wandel, IT_S , in der nachfragenden Industrie (z.B. durch Industrie 4.0)		
Transmissionsmechanismus	Effekt auf Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen	
	direkt	indirekt
autonome Veränderung der nachgefragten Transportleistung	$\Delta q (IT_S)$	$\Delta q (O_S(IT_S))$
Induzierte Veränderung der Präferenzen für Verkehrsträger	$\Delta a(S(IT_S))$	$\Delta a (O_S(IT_S))$
Induzierte Veränderung der nachgefragten Transportleistung	$\Delta q(S(IT_S))$	$\Delta q(O_S(IT_S))$

Legende: IT_S : Technischer Wandel in nachfragender Industrie; $O_S(IT_S)$ durch technischen Wandel bedingte Veränderungen des Outputs in der nachfragenden Industrie (z.B. neue/andere Produkteigenschaften, Änderung Produktions- oder Exportvolumen); $S(IT_S)$: durch technischen Wandel bedingte Veränderung der Anforderungen an Logistikdienstleister durch nachfragenden Industrie.

Technischer Wandel und die Digitalisierung sowohl im Logistiksektor und also auch in den Sektoren, die Gütertransportdienstleistungen nachfragen, stehen damit in Wechselwirkung. Die vorliegende Untersuchung fokussiert aber auf den technischen Wandel und Digitalisierung bei nachfragenden Unternehmen. Der Analyse von Veränderung der Produkteigenschaften, der Produktvielfalt, oder der Zielmärkte in diesen Sektoren, sowie Einschätzungen, wie sich die Digitalisierung auf diese Aspekte auswirken wird, wird damit in weiterer Folge besonderes Augenmerk geschenkt. In der Formulierung von Annahmen zur Wirkung spezifischer Entwicklungen auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen wird daher von einer „konstanten“ Transporttechnologie, als fixen relativen Transportpreisen der unterschiedlichen Verkehrsträger ausgegangen, um Effekte des technischen Wandels und der Digitalisierung auf der Nachfrageseite in ihrer Wirkung auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen zu isolieren.

3.3 Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen aus der Sicht von Industrieunternehmen

Bei den im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Einflussfaktoren spielt das Verhalten von Unternehmen im globalen Warenhandel eine wichtige Rolle. Die Studie wird sich im weiteren Verlauf auf die Auswirkungen von Entscheidungen von Unternehmen vor allem mit Blick auf die Verwendung digitaler Technologien in Fertigung und Logistik konzentrieren.

Veränderungen in globalen Wertschöpfungsketten und internationalen Warenhandelsmustern spiegeln das strategische Verhalten von Unternehmen im globalen Wettbewerb wider und wirken sich direkt auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen aus. Diese Nachfrage ist damit eine abgeleitete Nachfrage, die sich auf der mikroökonomischen Ebene, also der Ebene der Entscheidungen einzelner Unternehmen und Haushalte, vornehmlich aus der Unternehmensstrategie ableitet.

In der Literatur wird eine Reihe von Schlüsselkriterien und Leistungsparametern angeführt, die die Nachfrage nach Gütertransportleistungen durch Unternehmen beeinflussen. Die **nachgefragte Transportleistung [in tkm]** hängt in erster Linie vom **Produktions- oder Umschlagsvolumen [in t]** der Güter an einem Standort und den **Produkteigenschaften** sowie den **Streckenlängen [in km]** der Sendungen ab, andere Kriterien haben vor allem auch einen Einfluss auf die **Verkehrsträgerwahl** (z.B. Vierth et al 2017; Jeffs – Hills 1990):

- **Unternehmenseigenschaften:** Unternehmensgröße und Produktions- oder Warenumschlagsvolumen, Anzahl der Beschäftigten in Transport- und Logistikfunktionen, Bedeutung der Transportfunktion für die Erzielung spezifischer Liefer- und Serviceeigenschaften, eigene Frachtflotte und deren Aktionsradius.
- **Produkteigenschaften:** Wert, Volumen/Gewicht-Quotient, Produkttyp, Handhabungseigenschaften, Verderblichkeit.
- **Kundenwünsche:** Größe und Häufigkeit der Lieferung, Terminisierung der Lieferung, Dringlichkeit der Lieferung, Kundenspezifikationen.
- **Kontrolle über den Transportverlauf:** Kontrolle über Versand und Versandzeiten; Vorhersagbarkeit der Lieferdauer und Zuverlässigkeit beim Zustelltermin, kontinuierliche Überprüfbarkeit von geographischer Position und Zustand der versandten Waren.
- **Zuverlässigkeit eines Verkehrsträgers:** Vermeidung von Beschädigung der Lieferung, Minimierung des Umschlages, Sicherheit der Lieferung, Lieferdauer, Verfügbarkeit auf kurzen Abruf.
- **Andere Rahmenbedingungen:** Verfügbarkeit öffentlich bereitgestellter Transportinfrastruktur, Regulierungen (z.B. Fahrzeitbeschränkungen, Maut), Treibstoffkosten udgl.

Diese Einflussfaktoren der Nachfrage nach Transportdienstleistungen stehen jedoch in Wechselwirkung mit der Unternehmensstrategie. In deren Umsetzung spielen neben Produktionsentscheidungen auch die Logistik und das Management der Wertschöpfungsketten des nachfragenden Unternehmens eine zentrale Rolle (Abbildung 4).³

Das grundsätzliche Ziel der Logistik eines Unternehmens ist, einen Abgleich zwischen den strategischen Unternehmenszielen und den Transport- und Lagerhaltungskosten herbeizuführen

³ Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Entscheidungen auf der Ebene einzelner produzierender Unternehmen teilweise an Güterspediteure ausgelagert werden, die dem Anforderungsprofil entsprechende Logistiklösungen für Beförderung, Umschlag und Lagerung von Gütern ausarbeiten und deren Durchführung in weiterer Folge auch organisieren und durchführen. Derartige Lösungen umfassen Leistungen, die durch Verkehrsträger, Lagerhäuser, Terminalbetreiber, Güterspediteure, Zollmakler, Banken und Frachtversicherungen erbracht werden.

und einen effizienten Ablauf der Produktion sicherzustellen: Die richtigen Waren sollen dabei am erforderlichen Ort zum vereinbarten Zeitpunkt in der erforderlichen Qualität zu den geringst möglichen Kosten bereitgestellt werden. Aus der allgemeinen Unternehmensstrategie und spezifischen Strategieelementen eines Unternehmens ergeben sich dann entsprechende Gewichtungen der genannten Kriterien und entsprechende Anforderungen an Produktionsplanung und Logistik.

Abbildung 4: Mikroökonomische Bestimmungsfaktoren der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen



Q: Vierth et al (2017); S.25; Anpassungen und Ergänzungen durch die Autoren.

Das zentrale Anliegen von Unternehmen im Wettbewerb, dem strategische Entscheidungen zugrunde liegen, ist die Entwicklung und Sicherung eines Wettbewerbsvorteils gegenüber Mitbewerbern aufgrund von Alleinstellungsmerkmalen (Nelson 1991). Diese können durch Faktoren, wie etwa Preis-, Qualitäts-, oder Servicevorteile, Produktdesign, Netzwerkeffekte in der Nutzung durch Produktplattformen, Markennamen u.dgl. realisiert werden. Ob und wie dieses Ziel erreicht werden kann, hängt einerseits von technologischen und institutionellen Faktoren sowie den spezifischen technologischen und kommerziellen Fähigkeiten eines Unternehmens ab, die dessen Handlungsspielraum bestimmen, von den Eigenschaften der Kunden bzw. der Märkte, sowie dem Wettbewerbsverhalten in der Industrie, in dem das Unternehmen aktiv ist.

Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen durch Industrieunternehmen lässt sich aus deren Wettbewerbsstrategie ableiten.

Daraus leiten sich dann Entscheidungen über die Positionierung des Unternehmens in globalen Wertschöpfungsketten und die Exportstrategie, die Gestaltung des Produktportfolios, der Grad der Anpassung der Produkte an Kundenwünsche (Customisierung/Personalisierung), oder der angestrebte Servicegrad für die eigenen Kunden ab. Diese Entscheidungen bestimmen die Qualität, den Preis, die Diversifizierung des Produktportfolios und die Zielmärkte, die das Unternehmen anstrebt. Sie finden dann ihren Niederschlag in der Ausgestaltung des Kundenbeziehungsmanagement, in der Organisation, der Ressourcen- und Produktionsplanung, sowie der Logistik und schließlich in den daraus resultierenden Kriterien und Leistungsparametern der Nachfrage nach Gütertransportleistungen.

Ist die Nachfrage nach Produkten eines Unternehmens relativ unsicher und volatil, so wird dieses Unternehmen versuchen, durch entsprechende Produktionsplanung und Logistik sowie durch geeignete Fertigungstechnologien diesem Umstand zu begegnen. Bei hoher Unsicherheit ist es vorteilhaft, ein sog. Pull-System (nachfragegetrieben) zu implementieren. Im Unterschied zu sog. Push-Systemen wird hier nicht auf Grundlage von Einschätzungen zur Entwicklung der Nachfrage auf Lager produziert, sondern auf Abruf. Mit der Fertigung wird erst begonnen, wenn eine konkrete Kundennachfrage vorliegt. Dadurch hat aus volkswirtschaftlicher Sicht über die Zeit die Bedeutung von Lagern als Unsicherheitspuffer stark abgenommen. In einem Pull-System werden einerseits kleinere oder gar keine Lager geführt, andererseits aber häufiger und zuweilen sehr kurzfristig (Just-in-time) Vorleistungen und Komponenten von Zulieferern abgerufen. Lagerführung wird also durch kurzfristige Produktion und Transport ersetzt. Dadurch steigt die Nachfrage nach Gütertransportleistungen; es sinken jedoch durch teils hochfrequente Abrufe die Sendungsgrößen bzw. Transportvolumina. Diese Entwicklungen werden im historischen Kontext im folgenden Abschnitt etwas ausführlicher diskutiert.

Unsicherheit der Nachfrage begünstigt die Einführung nachfragegetriebener Logistiksysteme, die mit hochfrequenten Abrufen und kleinen Transportlosen einhergehen.

Inwieweit Push- oder Pull-Systeme für Unternehmen von Bedeutung sind, hängt auch von deren Einbettung in Wertschöpfungsketten ab. In Abhängigkeit davon, ob ein Unternehmen Konsum-, Intermediär- oder Investitionsgüter erzeugt, wird auch dessen Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen variieren. Veränderungen und Unsicherheiten in der Nachfrage nach Konsumgütern werden an Zulieferer von Intermediär- und Investitionsgütern weitergegeben. Dies kann durch eine unzureichende Kontrolle von Lagerbeständen, Lieferfristen und Produktionszeiten zu sog. Lagerhaltungszyklen führen, in denen die Lagerbestände und die Nachfrage nach vorgelagerten Leistungen auf den unterschiedlichen Ebenen der Wertschöpfungskette unterschiedlich stark schwanken, was zu einer Instabilität der gesamten Lieferkette führen kann.⁴ Die Eigenschaften spezifischer Lagerhaltungs- und Logistiksysteme und daraus abgeleitete Gütertransportintensitäten werden daher auch in Abhängigkeit von der Position in Wertschöpfungsketten variieren.

Unternehmen, die am Ende langer Wertschöpfungsketten vor allem in Konsum- und Investitionsgüterindustrien aktiv sind, produzieren i.d.R. auch **komplexere Artefakte und Produkte**. Das bedeutet, dass die Erzeugnisse dieser Erstausrüster aus einer größeren Anzahl von Subsystemen und Komponenten bestehen. Je weiter die Arbeitsteilung und damit die Spezialisierung zwischen den Unternehmen in einer Industrie fortgeschritten ist, umso häufiger wird es notwendig sein, Werkstücke oder Komponenten zwischen unterschiedlichen Unternehmen zu verfrachten, damit diese weiterverarbeitet oder zu komplexeren Einheiten zusammengebaut werden können. Entsprechend länger sind tendenziell die Wertschöpfungsketten, die zu deren Fertigung notwendig sind. Dies kann mit einem Anstieg der Frachtnachfrage und dem globalen Handelsvolumen einhergehen, sofern die Wertschöpfungskette aus geographisch verstreuten Zulieferunternehmen besteht. Dies ist jedoch zumeist der Fall, da die Fertigung komplexer Produkte auch ein breites Spektrum differenzierter, technologischer Kompetenzen erfordert, die selten gemeinsam in einer hohen

⁴ Vgl. Sterman (1989).

räumlichen Konzentration vorliegen. Dies geht einerseits mit einem Anstieg des inter-, wie auch intraindustriellen Handels, aber auch mit einem Anstieg in der Produktvielfalt der gehandelten Waren sowie der geographischen Streuung der Lieferbeziehungen einher.

Je komplexer ein Produkt umso häufiger wird es notwendig sein, diese Komponenten zu montieren oder zu integrieren und damit zwischen spezialisierten Produktionseinheiten zu verschiffen. Inter- und intraindustrieller Handel nehmen zu.

Da gleichzeitig Unternehmen aber auch bestrebt sind, Lagerhaltungs- und Transport- sowie Wartungskosten zu minimieren, werden Produkte immer häufiger dahingehend überarbeitet, dass diese aus kleineren und leichteren, andererseits aber auch aus einer geringeren Gesamtzahl von Komponenten bestehen. Hier kommen vermehrt moderne Technologien der additiven Fertigung (3- und 4D Druck) zu Einsatz. Die möglichen Auswirkungen der additiven Fertigung werden im Abschnitt 4.2 genauer ausgeführt.

Unternehmensstrategien hinsichtlich der Gestaltung des Produktportfolios umfassen einerseits die Entscheidungen, ob für Massen- oder Nischenmärkte produziert wird, und andererseits, wie diese in weiterer Folge bedient werden sollen. Massenmärkte gehen mit relativ standardisierten Produkten und großen Fertigungslosen einher. Nischenmärkte zeichnen sich durch sehr spezifische Kundenbedürfnisse aus, die durch kleinere Serien oder vollkommen personalisierte Produkte bedient werden müssen. In beiden Märkten können Unternehmen ihre Nachfrage durch **vertikale** (Produkte für unterschiedliche Preissegmente einer Zielgruppe) oder **horizontale Diversifizierung** (Produkte für unterschiedliche Zielgruppen innerhalb eines breiteren Marktes) segmentieren. Customisierung, d.h. die Anpassung von Produkten auch innerhalb einzelner Markt- und Qualitätssegmente auf spezifische Kundenbedürfnisse, bis hin zur vollständigen Personalisierung, ist eine Weiterentwicklung derartiger Marktsegmentierungsstrategien, die das Ziel verfolgen, eine möglichst hohe Zahlungsbereitschaft bei Kunde abzuschöpfen und sie an das eigene Unternehmen zu binden. Auch die Wahl einer spezifischen Serviceintensität und eines spezifischen Grades der Kundennähe oder -betreuung spielen hierbei eine zentrale Rolle.

Unternehmen in fortgeschrittenen Volkswirtschaften, wie Österreich, versuchen auch, durch verstärkte Innovationstätigkeit, den Aufbau spezifischer Nischenmärkte und die Entwicklung von Alleinstellungsmerkmalen **Preiswettbewerb** aus Niedriglohnländern zu vermeiden. Ein verstärkter Wettbewerbsdruck, aber auch die insgesamt ausdifferenziertere Nachfrage in Ländern mit einem höheren BIP pro Kopf führen daher zu stärker ausdifferenzierten Märkten. Gleichzeitig wird auch vermehrt in geographisch weiter entfernte Märkte exportiert. Bei gegebener Nachfragemenge führt dies zu höherer Streuung der Lieferbeziehungen aufgrund vielfältiger Produktvariationen sowie vielfältiger Lieferdestinationen. Dies legt den Schluss nahe, dass dies zu geringeren Losgrößen in der Fracht führen kann. Moderne digitale Technologien, wie 3-D Druck, aber auch mit dem Internet der Dinge verbundene Technologien, können diese Tendenz verstärken und im Prinzip vollkommen personalisierte Produkte bei minimaler Losgröße erzeugen (vgl. Ryan et al 2017).

Die Diversifizierung industrieller Produkte durch höhere Qualität, technologische Komplexität und durch Personalisierung führen bei einem gegebenen Produktionsvolumen zu einer stärkeren Streuung der Lieferdestinationen.

Komplexere und höherwertige Produkte zeichnen in der Regel höhere **Einheitswerte** (monetärer Wert je Gewichtseinheit) aus. Dies impliziert wiederum, dass die Kapitalbindung und damit das finanzielle Risiko hier höher ist, als bei Gütern mit geringeren Einheitswerten. Transportkosten stellen bei diesen Gütern zudem einen insgesamt geringeren Anteil an den Produktionskosten dar. Zuliefernde und abnehmende Unternehmen haben damit den Anreiz deren Umschlagsdauer (und auch die Anzahl der Umschläge) zu minimieren und anhand schneller Transportmittel zu transportieren.⁵ Der hohe Warenwert relativ zum Warengewicht führt damit zu einer Transportkostendegression je verschiffter Einheit, die wirkt sich damit auf die Wahl der Transportmittel aus. Über weite Strecken begünstigt dies multimodalen Transport in Containern, über kurze Strecken begünstigt dies eher die Nachfrage nach Fracht durch Lastwagen.⁶

Aufgrund des höheren Preises je Gewicht bei komplexeren und höherwertigen Produkten werden schneller Umschlagzeiten und rascher Transport nachgefragt.

Produktportfoliostrategien sind eng mit Entscheidungen hinsichtlich der **Gliederung und Optimierung der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette** eines Unternehmens und der Organisation der Produktion eines Unternehmens verbunden.⁷ Ein wichtiger Aspekt bei der Gestaltung der nachgelagerten Wertschöpfungskette ist die Exportstrategie. Sie beeinflusst die Nachfrage nach Transportdienstleistungen vor allem durch die Wahl der Verkehrsträger, die je nach Distanz und Eigenschaft der versendeten Waren stark variieren wird. Bei sehr exportintensiven Unternehmen, die auf einer großen Anzahl von internationalen Märkten präsent sind, führt die geographische Streuung bei einer gegebener Produktion zu geringeren Sendegrößen, durch die Exportorientierung und die damit einhergehenden größeren Märkte kann die Produktion insgesamt und damit die Nachfrage nach Transportdienstleistungen aber steigen.

Die Organisation der Wertschöpfungskette und der Produktion geht einerseits mit einer Zerlegung der eigenen Fertigung in einzelne Produktionsschritte einher (tasks), für die dann jeweils entschieden wird, ob sie durch das Unternehmen oder durch vorgelagerte Zulieferer

⁵ Solange der Gefahrenübergang nicht stattgefunden hat, ist rollende oder schwimmende Ware Teil des (auswärtigen) Lagerbestandes des versendenden Unternehmens. Mit dem Gefahrenübergang geht sie hingegen in den Lagerbestand des abnehmenden Unternehmens über. In beiden Fällen steigt damit im Falle hochwertiger Waren die Kapitalbindung, der Kapitalbedarf und letztendlich die damit verbundenen Zinsaufwendungen. Mit der Anzahl der Umschläge steigt auch das Risiko der Beschädigung oder des Verlusts von Waren.

⁶ Die Nachfrage nach hochwertigen Gütern mit Alleinstellungsmerkmalen ist i.d.R. weniger preiselastisch und höhere Transportkosten können leichter auf den Konsumenten übergewälzt werden.

⁷ Die vorgelagerte Wertschöpfungskette umfasst dabei Zulieferer von Komponenten, Modulen oder Rohmaterialien und die nachgelagerte Wertschöpfungskette Erstausrüster, Zwischenhändler und Endabnehmer. All diese Akteure sind die durch Frachtverkehr und Informationsaustausch miteinander verbunden.

erzeugt werden soll. Dem liegen Bestrebungen von Unternehmen zugrunde, Produktionskosten entweder durch die Ausnutzung komparativer Kosten- oder technologischer Spezialisierungsvorteile anderer Unternehmen im In- und Ausland (outsourcing) oder durch die Verlagerung eigener Produktionsaktivitäten in spezialisierte Tochterunternehmen im Ausland (offshoring) zu senken. Sofern die Erträge über den daraus entstehenden Kosten liegen, haben Unternehmen einen Anreiz, derartige Produktionsverlagerungen und -reorganisationen durchzuführen, da sich dies vorteilhaft auf deren Profitabilität und Wettbewerbsfähigkeit auswirken kann. Da sich diese Logik auf immer kleinere und isoliertere Arbeits- und Fertigungsschritte anwenden lässt (Handel in Aufgaben), werden Wertschöpfungsketten zunehmend fragmentierter und durchlaufen eine größere Anzahl von Stufen.

Die Optimierung von Wertschöpfungsketten durch Outsourcing und Offshoring hat in der Vergangenheit zu einem Anstieg des globalen Warenhandelsvolumens bei einer gleichzeitig starken Fragmentierung und Spezialisierung der Lieferketten geführt. Damit haben der intraindustrielle Handel und die geographische Streuung der Lieferbeziehungen zugenommen.

Diese Entwicklungen führen damit zu einem Anstieg des globalen Handelsvolumens und davon abgeleitet des Frachtvolumens, da Produkte und Komponenten zwischen verteilten Produktionseinheiten häufiger verschifft werden müssen. Zudem steigen auch der intraindustrielle Handel und somit geographisch wie auch auf der Ebene der gehandelten Waren die Dispersion der Lieferbeziehungen. Diese optimierten Wertschöpfungsketten gehen damit mit teils stark fragmentierten Zulieferketten und damit mit einem Anstieg der Dispersion der Nachfrage nach Gütertransportleistungen sowohl im geographischen Sinne als auch im Sinne der bei jeder Sendung nachgefragten Liefervolumina einher, wenngleich das gesamte Handelsvolumen steigt.

Wertschöpfungsketten differenzieren sich zunehmend stärker zwischen Industrien, die vermehrt regionale Wertschöpfungsketten ausbauen, wodurch sich Warenströme verlagern.

Exportstrategien können aber auch zu einer Senkung der Nachfrage nach Gütertransportleistungen führen, wenn ein Unternehmen nicht von einem Produktionsstandort aus mehrere oder alle Zielmärkte bedient, sondern Produktionsstandorte in wichtigen Zielmärkten (und damit regionale Wertschöpfungsketten) aufbaut und von dort den Markt bedient. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn dadurch hohe Export- oder Transportkosten vermieden werden, die sich negativ auf die preisliche Wettbewerbsfähigkeit auswirken, oder die Nähe zu Kunden von herausragender Bedeutung für die erfolgreiche Bedienung der Nachfrage auf einem Zielmarkt ist. Dies ist in einigen Industrien, wie etwa der Automobilindustrie, stärker der Fall (vgl. Lund et al 2019). Globale und regionale Wertschöpfung bilden sich auch vermehrt aus, um regionale oder globale Bedürfnisse zu befriedigen (vgl. Friesenbichler et al 2018).

3.4 Die Entwicklung der österreichischen Warenexporte

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, hängt die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen maßgeblich von Entwicklungen des internationalen Warenhandels und der Einbettung der Industrie eines Landes in globale Wertschöpfungsketten ab. Das Handelsvolumen steht in einem direkten Zusammenhang mit den nachgefragten Transportvolumen, und die Eigenschaften der gehandelten Produkte beeinflussen die Präferenzen der Unternehmen für spezifische Verkehrsträger.

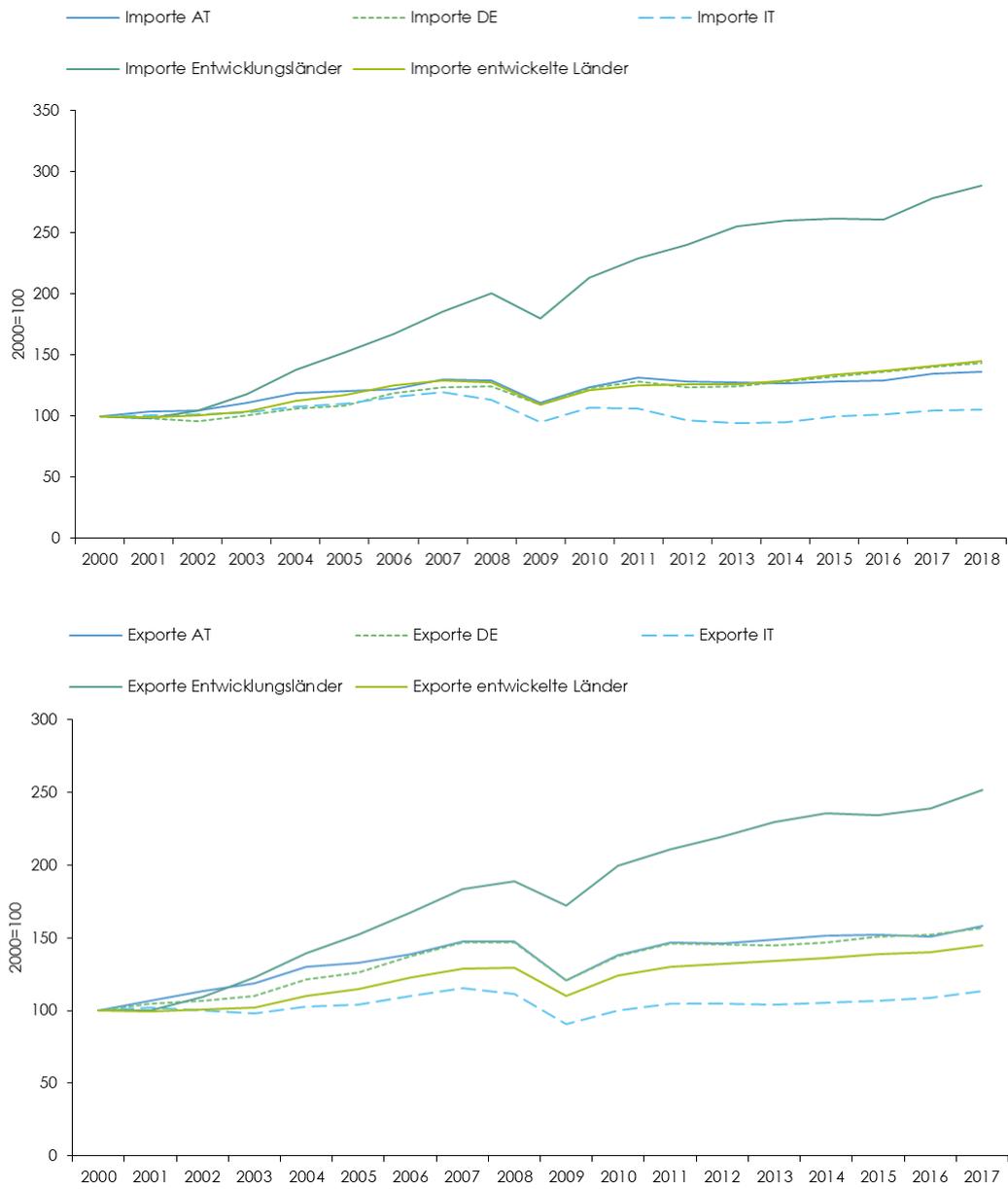
Seit den 1990er Jahren und besonders seit dem Beitritt Chinas zur WTO im Jahr 2001 hat sich der Welthandel stark ausgeweitet, wenngleich mit starken regionalen Unterschieden. Abbildung 5 zeigt, dass der Warenhandel in den entwickelten Ländern seit dem Jahr 2000 um ca. 50 Prozentpunkte zugenommen hat. In Österreich sind die Import- und Exportvolumen im gleichen Zeitraum um 37 bzw. 58 Prozentpunkte angestiegen. Wesentlich stärker waren die Veränderungen in den Schwellenländern und hier vor allem in China, wo die Importe um 189 und die Exporte um 158 Prozentpunkte gestiegen sind. Diese Ausweitung des Welthandels hat einen starken Anstieg des globalen Frachtverkehrs nach sich gezogen.⁸

Klassifiziert man den Warenverkehr nach der Verarbeitungsstufe der gehandelten Güter, so zeigen die Daten, dass in der EU und in Österreich dem Export von Kapital- und Konsumgütern die größte Bedeutung zukommt. Diese Exporte haben seit 2005 auch noch weiter an Bedeutung gewonnen (Abbildung 6). Dies unterscheidet den Handel der EU und Österreichs im vergangenen Jahrzehnt von der globalen Entwicklung (vgl. UNCTAD 2019, S.12) und hier vor allem von der Entwicklung der Exporte aus den Schwellenländern (v.a. China): Hier stellten intermediäre Güter den größten Anteil der exportierten Waren dar. Die Bedeutung des Warenverkehrs von Rohstoffen war hingegen in Österreich und der EU gering.

Die österreichischen Warenexporte haben sich somit in den vergangenen zwanzig Jahren stark ausgeweitet und sind vor allem am in hochwertigen industriellen Gütern am Ende globaler Wertschöpfungsketten angesiedelt. Dieses Warenportfolio ist ein erster wichtiger Indikator für die Eigenschaft der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen in Österreich.

⁸ OECD Daten für den Inlandfrachtverkehr (gemessen in Tonnen-KM) in 35 OECD und 25 weiteren Ländern zeigen seit dem Jahr 2000 einen Anstieg um 80 Prozentpunkte. Siehe https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=ITF_INV-MTN_DATA (Zugriff 20.01.2020).

Abbildung 5: Entwicklung der Handelsvolumen seit 2000



Q: UNCTADStat Daten, WIFO-Berechnungen.

Abbildung 6: Zusammensetzung des Warenhandels nach Verarbeitungsstufe, Mrd. US\$.

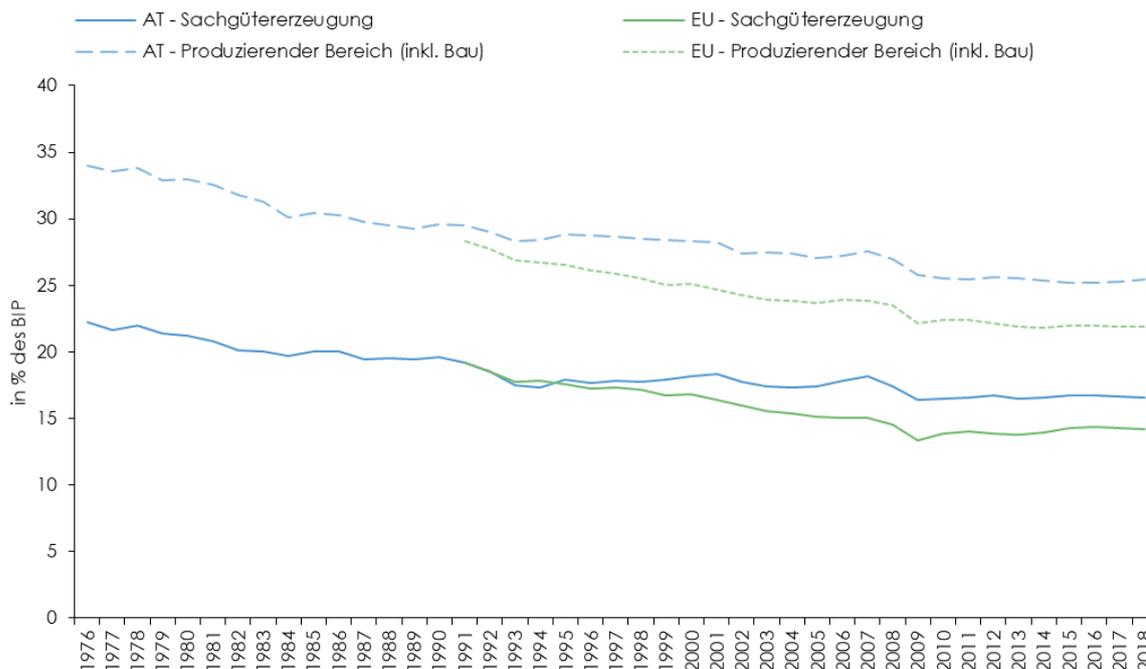


Q: Weltbank, WIFO-Berechnungen.

3.4.1 Industriestruktur und Exportspezialisierung

Ein wichtiger Indikator für die Entwicklung der Industriestruktur und hier vor allem jener Sektoren, von denen eine direkte Wirkung auf den Güterverkehr ausgeht ist der Anteil der Sachgütererzeugung an der realen Wertschöpfung der österreichischen Wirtschaft (Abbildung 7). Der Beitrag der Sachgütererzeugung hat über die Zeit stetig abgenommen. Doch ist festzuhalten, dass die reale Wertschöpfung nicht zurückgegangen, sondern über die Zeit stetig angestiegen ist, und sich seit 1990 praktisch verdoppelt hat.

Abbildung 7: Entwicklung des Wertschöpfungsanteils am BIP der Sachgütererzeugung (inkl. und exkl. Bau) im Vergleich zur Europäischen Union



Q: Weltbank, WIFO-Berechnungen.

Diese Entwicklung ist auch mit einem stetigen Anstieg des physischen Handelsvolumens (Abbildung 8) einhergegangen. Die physischen Handelsvolumina sind in der metallverarbeitenden und -verarbeitenden und in der chemischen Industrie (ÖNACE 24 und 20) sowie in der Papier- und Holzverarbeitenden Industrie (ÖNACE 17 und 16) am höchsten und haben dort auch stetige Zuwächse erfahren. Bezogen auf das Handelsvolumen 2017 waren die relativen Anstiege in der Automobil- und Maschinenbauindustrie (ÖNACE 29 und 28) und der Kunststoffindustrie (ÖNACE 22) am höchsten.

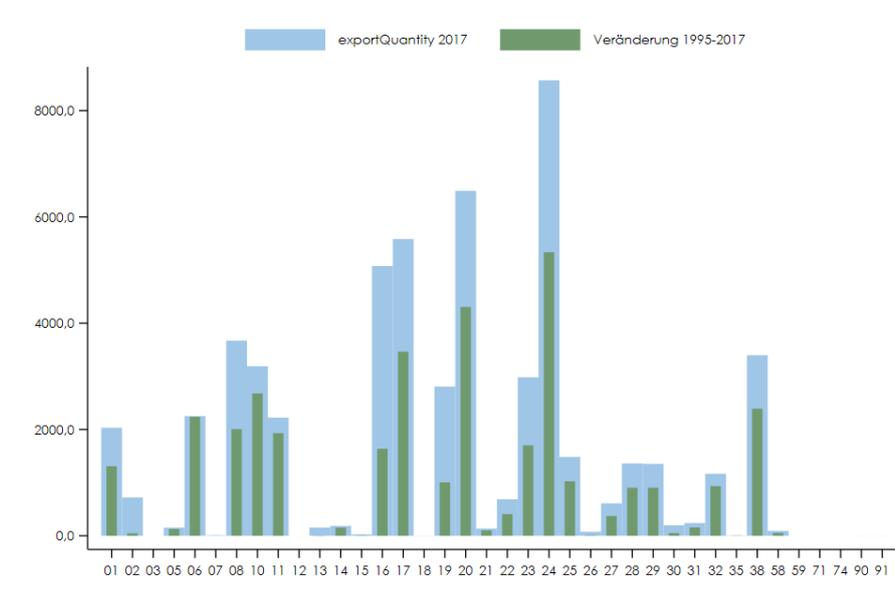
Dies impliziert, dass der entsprechende Güterverkehr und damit auch die Nachfrage nach Gütertransportleistungen über die Zeit fortwährend zugenommen haben, doch sind die Zuwächse aufgrund der sinkenden wirtschaftlichen Bedeutung der Sachgütererzeugung womöglich geringer ausgefallen, als wenn der Wertschöpfungsanteil bei der gegebenen gesamtwirtschaftlichen Wachstumsrate konstant geblieben wäre.

Österreich hat im europäischen Vergleich einen überdurchschnittlich hohen Anteil der Industrieproduktion in der nationalen Wertschöpfung.

Abbildung 9 zeigt die Diskrepanz zwischen dem physischen Handelsvolumen und den Exportwerten der unterschiedlichen Industrien. Jene Branchen, die für die höchsten physischen Transportvolumina verantwortlich sind, haben am Exportwert gemessen eine relativ geringe Bedeutung. Sieht man von der Fahrzeug- und Maschinenbauindustrie (ÖNACE 28 und 29) ab, so ist dennoch eine Spezialisierung der österreichische Sachgütererzeugung im Export im Bereich von Massenwaren zu beobachten, die grundsätzlich eine relativ hohe Affinität für den Bahn-Güterverkehr haben.

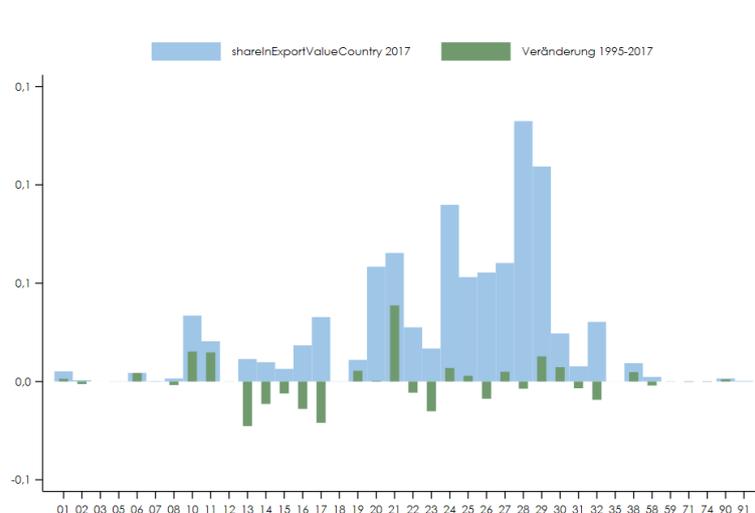
Mit wenigen Ausnahmen ist Österreich in Industriebranchen mit relativ geringen physischen Transportvolumina (gemessen in Tonnen) aber einem hohen Wert je Gewichtseinheit spezialisiert.

Abbildung 8: Exportmengen (in Tonnen) der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.



Q: UN-Comtrade, BACI Daten. WIFO-Berechnungen.

Abbildung 9: Exportwertanteile der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchen Kürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.

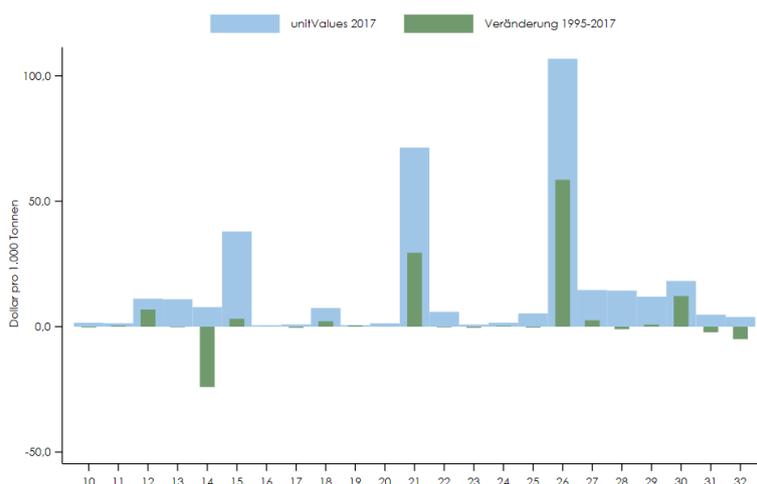


Q: UN-Comtrade, BACI Daten. WIFO-Berechnungen.

3.4.2 Produkteigenschaften

Wie in der Diskussion in Abschnitt 3.2 argumentiert wurde (s.a. Übersicht 1), stellen Transportkosten bei höherwertigen Waren einen geringeren Kostenfaktor dar. Andererseits gehen sie tendenziell mit weiteren Lieferdistanzen und kürzeren Lagerumschlagzeiten einher, die ihrerseits wiederum mit kleineren Losgrößen einhergehen. Der Einheitswert, das heißt der Warenwert der exportierten Waren je Tonne, wird häufig als eine gute Näherung für den Preis und damit die Qualität der gehandelten Waren angesehen.

Abbildung 10: Einheitswerte (Warenwert je Tonne) der Warenexporte in der österreichischen Sachgütererzeugung im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchen Kürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.



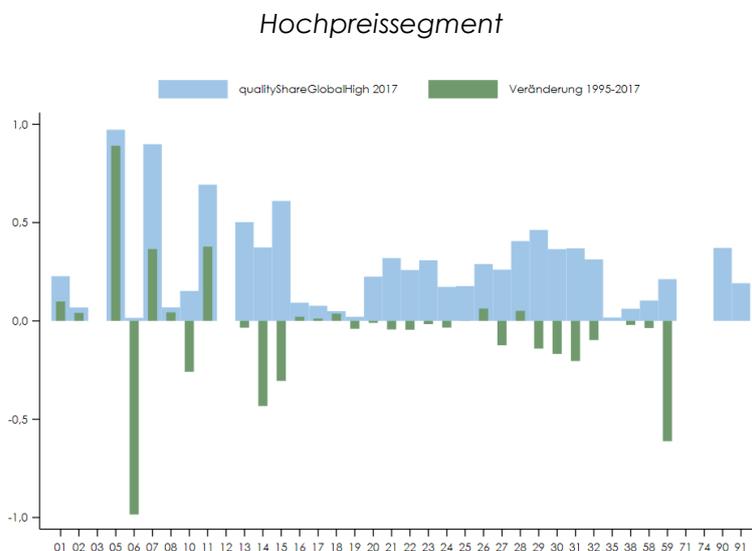
Q: UN-Comtrade, BACI Daten. WIFO-Berechnungen.

Österreich exportiert vornehmlich hochwertige und komplexe industrielle Güter.

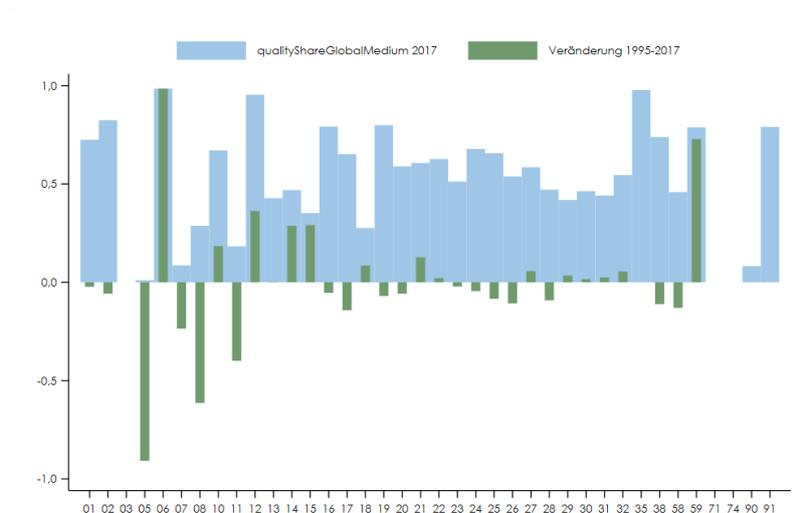
In der Sachgütererzeugung sind die höchsten Einheitswerte in der Elektronikindustrie (ÖNACE 26), der pharmazeutischen Industrie (ÖNACE 21). In diese beiden Industrien, wie auch im sonstigen Fahrzeugbau (ÖNACE 30 u.a. Schienen- u. Luftfahrzeuge, Krafträder etc.) waren die größten Zuwächse im Einheitswert zu beobachten. Einen hohen Einheitswert haben auch die Erzeugnisse der Lederwaren und Schuhindustrie (ÖNACE 15). Die Einheitswerte sind wiederum in der Holzverarbeitenden Industrie (ÖNACE 16), in der Papierindustrie (ÖNACE 17), der Erdölindustrie (ÖNACE 19), der chemischen und metallherstellenden Industrie (ÖNACE 20 u. 24), sowie in der Herstellung von Metallherzeugnissen (ÖNACE 25) niedrig. Diese Industrien produzieren überwiegend homogene Massenwaren (Abbildung 10).

Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigt, dass unabhängig von den beobachteten Einheitswerten die österreichischen Exporte sehr stark in hochwertigen Preissegmenten sowie in der Produktion relativ komplexer Waren angesiedelt sind. Wie aus der Diskussion in Abschnitt hervorgeht, gehen beide Aspekte tendenziell mit geringeren Losgrößen und längeren Transportdistanzen einher. Der erste Aspekt favorisiert im Güterverkehr eher Lastwagen als Verkehrsträgern, während der zweite Aspekt eher die Schiene oder multimodalen Containerverkehr begünstigt.

Abbildung 11: Marktanteile in unterschiedlichen Preissegmenten der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.



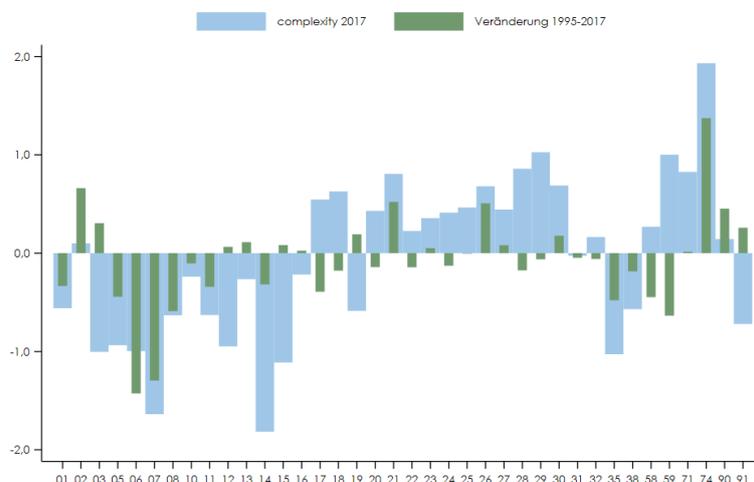
Mittleres Preissegment



Q: UN-Comtrade, BACI Daten. WIFO-Berechnungen.

Abbildung 11 zeigt die Marktanteile einzelner Branchen im Hoch- und Mittelpreissegment. Dazu wurde für jeden Exportmarkt mit österreichischer Exportaktivität die Verteilung der Einheitswerte der dort gehandelten Waren in drei Terzile geteilt und ermittelt, welchen Marktanteil österreichischen Exporte in jedem Terzil haben (siehe *Anhang* für technische Details der Berechnung). Dabei ist als Referenzwert der Weltmarktanteil österreichischer Exporte heranzuziehen, der im Beobachtungszeitraum zwischen 0,7 und 1,2% der weltweit gehandelten Warenwertes ausmachte. Es zeigt sich, dass die österreichischen Exporte vornehmlich im mittleren und oberen Preissegment angesiedelt sind. Dies wird gemeinhin als Näherungswert für eine hohe Produktqualität der gehandelten Waren interpretiert. Hohe Produktqualität zeigt tendenziell ähnliche Wirkungen auf den Güterverkehr gleich wie hohe Einheitswerte aus: Transportdistanzen steigen und die Umschlagszeit verkürzt sich.

Abbildung 12: Komplexität der Warenexporte der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.



Q: UN-Comtrade, BACI Daten. WIFO-Berechnungen.

Abbildung 12 zeigt überdies, dass das exportierte Warenportfolio der österreichischen Sektoren durchwegs als überdurchschnittlich komplex einzustufen ist (siehe Anhang zur Berechnungsmethode des Indikators). Die Abbildung zeigt Standardabweichungen vom globalen Durchschnittswert des berechneten (indirekten) Indikators. In der österreichischen Sachgütererzeugung liegen diese Werte zwischen einer halben und ganzen Standardabweichung vom Mittelwert (auf null normiert). Die Ausnahme bilden die Lebensmittel-, Getränke-, Textil- und Bekleidungsindustrien, die, wie Abbildung 11 zeigt, zwar hochwertige aber technologische einfache Produkte herstellen. Ein Vergleich mit Abbildung 9 zeigt wiederum, dass für die Exporte Österreichs eine Spezialisierung in komplexeren Produkten vorliegt.

3.4.3 Exportdiversifizierung nach Zielmärkten und Produktlinien und Produktdifferenzierung

Wie die Diskussion in Abschnitt 3.2 gezeigt hat, begünstigen komplexere Produkte längere Wertschöpfungsketten, größere Transportdistanzen, kleinere Losgrößen, sowie eine Intensivierung des intra-industriellen Handels und damit der Spezialisierung innerhalb einzelner Industrien, der geographischen Dispersion der Zielmärkte und der Vielfalt der gehandelten Produkte. Die letzten drei Aspekte können anhand außenwirtschaftlicher Indikatoren untersucht werden.

Der österreichische Warenhandel ist geographisch stark diversifiziert, sowie durch einen intensiven intraindustriellen Handel und eine stark ausdifferenziertes Warenportfolio geprägt.

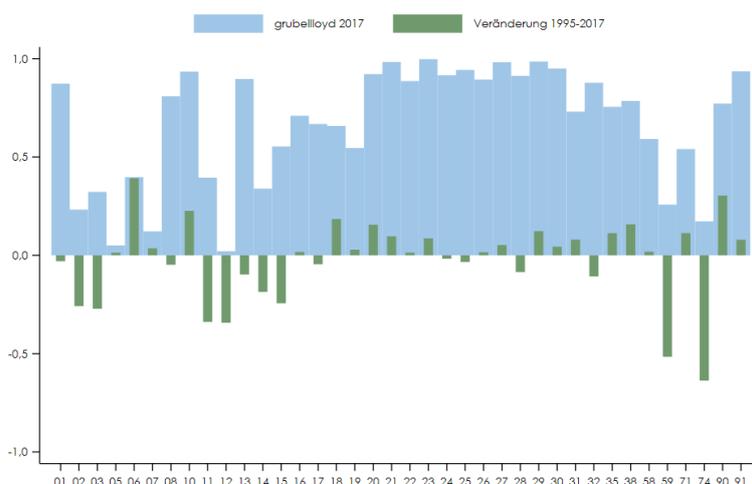
Abbildung 13 zeigt für die unterschiedlichen österreichischen Sektoren die Intensität des intraindustriellen Handels gemessen am sog. Grubel-Lloyd Index (siehe Anhang für technische Details der Berechnung). Intraindustrieller Handel bedeutet, dass Länder gleichartige Güter oder Dienstleistungen untereinander handeln. Dadurch besteht auf heimischen Märkten eine größere Produktvielfalt ohne, dass die Unternehmen ihre Angebotspalette ausweiten müssen. Damit dies ein Spezialisierungsindikator, der auch den Handel von Komponenten in der gleichen Industrie abdeckt. Je näher dieser Indikator bei eins liegt, umso intensiver ist der intra-industrielle Handel und damit die Produktdifferenzierung in einer Industrie und damit auch die intra-industrielle Spezialisierung; Werte nahe bei null deuten hingegen auf einen geringen intra-industriellen Handel und damit auf eine geringe Produktdifferenzierung und damit auf eine geringere intra-industrielle Spezialisierung im beobachteten Sektor hin. Die Ergebnisse zeigen, dass in praktisch der gesamten Sachgütererzeugung (ÖNACE 10-32) der intraindustrielle Handel und damit die Spezialisierung innerhalb der Branchen sehr ausgeprägt ist. Einige Branchen fallen in diesem Muster etwas ab (Getränkeerzeugung ÖNACE 11, Bekleidung ÖNACE 14, Lederwaren ÖNACE 15, Holzverarbeitung ÖNACE 16, Papier ÖNACE 17, Druckprodukte ÖNACE 18), doch insgesamt deutet das Bild auf eine hohe Produktdifferenzierung und damit eine große intra-industrielle Spezialisierung in den Branchen hin.

Abbildung 14 zeigt hingegen den Herfindahl-Index zur geographischen Dispersion des Warenhandels und bildet damit die geographische Diversifizierung ab. Er wird als Summe der quadrierten Exportanteile in einer Produktlinie in unterschiedlichen Zielmärkten ausgewiesen. Die Abbildung zeigt einen gewichteten Schnitt über alle exportierten Produktlinien in einem Sektor. Je näher dieser Indikator bei null liegt, desto geringer ist die Konzentration der Exporte

auf einem einzigen oder wenigen Zielmärkten und damit die Dispersion. Bei einem Maximalwert von eins würden die gesamten Warenexporte eines Sektors in nur einen Zielmarkt fließen. Der Indikator weist auf eine hohe und über die Zeit zunehmende geographische Dispersion des Warenhandels in der österreichischen Wirtschaft hin. In der Sachgütererzeugung ist die Marktkonzentration nur im sonstigen Fahrzeugbau (ÖNACE 30) gestiegen. Über alle Sektoren hinweg ist die Marktkonzentration in der Fischerei und Aquakultur (ÖNACE 03) am höchsten und hat auch über die Zeit zugenommen. Dieser Sektor ist aber für den Frachtverkehr von nachrangiger Bedeutung.

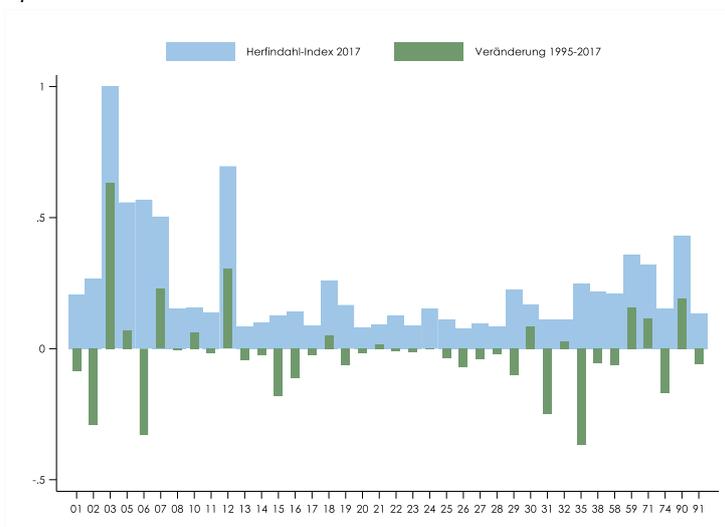
Abbildung 15 stellt zuletzt den sog. extensiven Rand des Handels und damit die Diversifizierung der Warenexporte nach Produktlinien in jedem Sektor dar. Dieser Indikator gibt den Anteil der Produktlinien (auf HS-6 Steller Ebene) innerhalb eines Sektors an, für den Exporte gemeldet werden. Dabei wird jede Produktlinie mit ihrem globalen Exportwertanteil im Sektor gewichtet (vgl. Hummels-Klenow 2005). Liegt der Indikator bei eins, so wurden für jede Produktlinie innerhalb eines Sektors Exporte gemeldet. Dies deutet auf eine hohe Diversifizierung der Exporte hin. Tatsächlich sind die Exportportfolios der einzelnen Branchen in Österreich vollkommen differenziert. In praktisch allen Produktlinien, die im globalen Handel ein großes Gewicht haben, werden in Österreich in den jeweiligen Industrien Exporte registriert.

Abbildung 13: Grubel-Lloyd-Index zur Stärke des intraindustriellen Handels der österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.



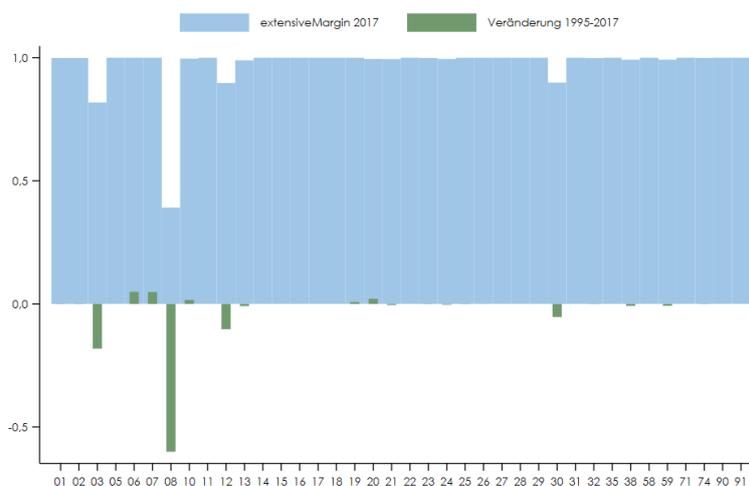
Q: UN-Comtrade, BACI Daten. WIFO-Berechnungen.

Abbildung 14: Herfindahl-Index zur geographischen Dispersion des Warenhandels in den österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchen Kürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.



Q: UN-Comtrade, BACI Daten. WIFO-Berechnungen.

Abbildung 15: Extensiver Rand des Warenhandels nach Hummels-Klenow in den österreichischen Wirtschaftssektoren im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchen Kürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.



Q: UN-Comtrade, BACI Daten. WIFO-Berechnungen.

Diese Evidenz zeigt, dass sich die österreichischen Warenexporte über eine Vielzahl von Produkt-Markt-Kombinationen verteilen. Sie weisen damit eine hohe Streuung auf, was grundsätzlich auf geringere durchschnittliche Liefergrößen in der österreichischen Sachgütererzeugung schließen lässt. Hohe Tonnagen werden in Branchen gehandelt, in denen Österreich, mit Ausnahme der metallerzeugenden Industrie, eine relativ schwache Spezialisierung aufweist. Die österreichische Industrie ist auf die Herstellung komplexerer und hochwertiger Waren spezialisiert. Dies deutet auf eine grundsätzlich höhere Affinität zum Gütertransport durch Lastwagen hin.

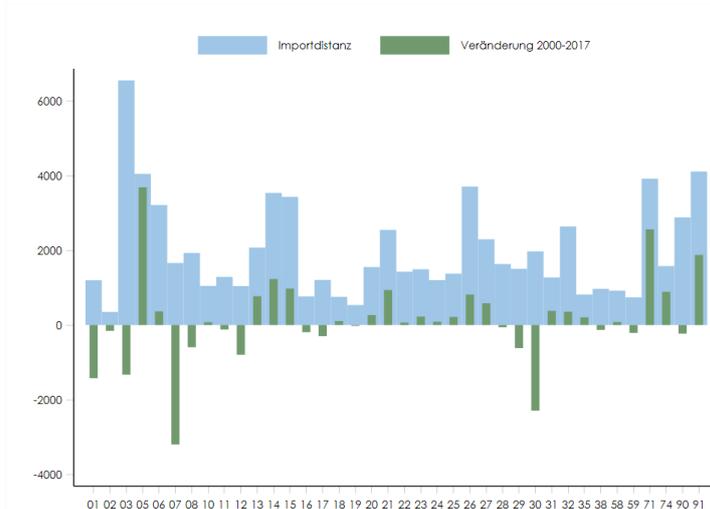
3.4.4 Entwicklung der durchschnittlichen Transportdistanzen der Importe und Exporte

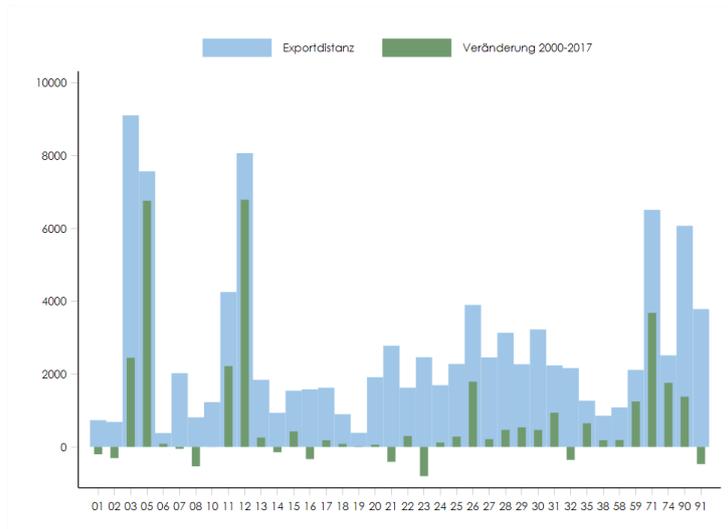
In der Literatur (vgl. Martin – Mayneris 2015) wird argumentiert, dass mit der steigenden Qualität exportierter Waren Unternehmen auch geographisch entferntere Märkte anpeilen und dort auch erfolgreich sein können. Grundsätzlich hat die Globalisierung die internationale Handelsintegration und Arbeitsteilung beschleunigt, was mit zunehmenden Exportdistanzen einhergehen sollte. Umgekehrt, könnte die durchschnittlichen Transportdistanzen sinken, sollte sich der Trend zur Regionalisierung und Vereinfachung von Wertschöpfungsketten (Lund et al 2019) durchsetzen. Dies wird in Abbildung 16 dargestellt. Zur Berechnung der Distanzen wurde hier der Distanzindikator von Mayer und Zignago (2011) verwendet, der eine bevölkerungsgewichtete mittlere Distanz zwischen den wichtigsten Ballungszentren zweier Länder verwendet. Diese Distanzen wurden auf der Ebene von einzelnen disaggregierten Güterklassen (HS 6-steller) mit den Anteilsgewichten an den Exporten bzw. Importen auf Sektorebene aggregiert.

Sieht man von einigen Sektoren mit geringer wirtschaftlicher Bedeutung wie Fisch- und Aquakultur (3), Bergbau/Kohle (5), Tabak (12), Film (59), Architektur (59), Kunst und Museen (90, 91) ab, so ist in den wichtigen Industriesektoren (10-32, vgl. Anhang III) die mittlere Distanz der Exporte im zwanzigjährigen Beobachtungsfenster durchwegs zugenommen. In der Sachgütererzeugung bilden die Pharmaindustrie (21), die Herstellung von Erzeugnissen aus nicht metallischen Mineralien (23) und die Herstellung sonstiger Waren (32) die Ausnahme. Hier sind die mittleren Exportdistanzen gesunken. Diese Beobachtung würde sich mit dem Anstieg der Komplexität und der Qualität der österreichischen Warenexporte decken.

Auf der Importseite können durchwegs geringere Distanzen beobachtet werden. Diese haben in den meisten Branchen der Sachgütererzeugung über die Zeit leicht zugenommen. In den Schlüsselsektoren Maschinenbau (28), in der KFZ Industrie (29) und dem sonstigen Fahrzeugbau (30) hat sie jedoch leicht abgenommen. Dies könnte einerseits mit Entwicklungen in Österreichs Nachbarländern, wie auch der in Hölzl et al (2017) beobachteten Tendenz zur Verkürzung von Lieferketten und Near-shoring.

Abbildung 16: Mittlere Import- und Exportdistanzen der österreichischen Wirtschaftssektoren in Kilometer im Jahr 2017 und Veränderungen zwischen 1995-2017. Branchenkürzel entsprechen der ÖNACE 2008 2-steller Klassifikation.





Q: UN-Comtrade, BACI Daten. WIFO-Berechnungen.

3.5 Zusammenfassung und Arbeitshypothesen zur Veränderung des Warenhandels der österreichischen Industrie auf die Nachfrage nach Gütertransportleistungen

In diesem Abschnitt wurde dem Zusammenhang zwischen der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen, der Wettbewerbsstrategie von Industrieunternehmen und Entwicklungen im internationalen Warenhandel nachgegangen. Einige dieser Entwicklungen wurden anhand unterschiedlicher Indikatoren auf der Grundlage von Daten zum Warenhandel des österreichischen Unternehmenssektors dargestellt.

Veränderungen der Industriestruktur, des Warenhandels oder der Eigenschaften der produzierten und gehandelten Produkte können sich über unterschiedliche Transmissionsmechanismen auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen, wie in Textkasten 1, S. 23, ausgeführt, in unterschiedlicher Form auswirken. Veränderungen der Produkteigenschaften (oder Veränderungen der Transportpreise) können die Präferenzen der nachfragenden Unternehmen für unterschiedliche Verkehrsträger verschieben und bei einem gegebenen nachgefragten Transportvolumen zu Verschiebungen zwischen den Verkehrsträgern führen. Die Produkteigenschaften können sich ändern, wenn sich die industrielle Zusammensetzung oder Spezialisierung oder aber - bei einer gegebenen Industriestruktur - die Unternehmen die Produkteigenschaften verändern. Andererseits können Veränderungen der Produkteigenschaften, Änderungen der Wertschöpfungskettenstrategien (Spezialisierung, Positionierung in globalen Wertschöpfungsketten) von Unternehmen oder auch Veränderungen der Transportpreise zu einer Veränderung des nachgefragten Transportvolumens bzw. der nachgefragten Transportleistung führen.⁹ In der Praxis sind diese Effekte schwer auseinanderzuhalten.

Österreich weist im europäischen Vergleich einen insgesamt noch überdurchschnittlich hohen Anteil der Sachgütererzeugung an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung aus. Dies begünstigt, gegenüber Volkswirtschaften mit einem höheren Anteil von Dienstleistungen an der Wertschöpfung, die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen. Die industrielle und außenwirtschaftliche Spezialisierung Österreichs ist aber – mit Ausnahme der Stahlindustrie – in Branchen angesiedelt, die Güter mit einem hohen Warenwert je Tonne produzieren und handeln. Bei derartigen Gütern stellen Transportkosten i.d.R. einen geringeren Kostenanteil dar und erfordern einen rascheren Umschlag, was mit häufigeren Sendungen bei geringeren Transportvolumina einhergeht. Die Schienenaffinität in der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen in derartigen Branchen ist damit geringer.

Die Daten zeigen auch, dass österreichische Unternehmen zunehmend komplexere und höherpreisige Produkte herstellen und exportieren. Die Produktion ist sehr diversifiziert und die Exportziele streuen geographisch sehr breit, wenngleich die wichtigsten Exportziele innerhalb der EU und vor allem in Deutschland liegen. Bei einer gegebenen Nachfrage kann beim Vorliegen eines jeden dieser Faktoren, die Ausdruck eines höheren technischen Gehalts und Qualität sind, tendenziell die Transportdistanzen steigen, da in weiter entfernte Zielmärkte exportiert wird (vgl. Martin - Mayneris 2015). Steigt dabei gleichzeitig auch die geographische Streuung der Zielmärkte, worauf die Indikatoren hindeuten, dann würde dies wiederum bei einem gegebenem Transportvolumen mit kleineren Transportmengen je Zieldestination einhergehen. Insgesamt steigern technologisch und qualitative hochwertige sowie komplexe Produkte aber auch die Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Warenexporte, und erhöhen damit die Gesamtnachfrage nach in Österreich gefertigten Waren, womit wiederum

⁹ Bei der Veränderung von Transportpreisen ist vor allem das Verhältnis zwischen erbrachten Serviceleistungen und dem Preis relevant. So können Preise steigen, wenn die erbrachten Serviceleistungen sich verbessern. Nicht das Preisniveau, sondern das PreisLeistungsverhältnis ist maßgeblich.

ein Anstieg des gesamten Warenverkehrs und eine Anstieg der insgesamt nachgefragten Transportvolumina zu beobachten wäre.

Aufgrund des Zusammenspiels dieser unterschiedlichen Wirkungen ist eine Abschätzung der Wirkung dieser Faktoren auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen sowie über den spezifisch wirkenden Transmissionsmechanismus schwierig. Dominiert die Wirkung dieser Produkteigenschaften auf die Zusammensetzung der Zielmärkte gegenüber der Ausweitung der Exporte und damit der nachgefragten Transportvolumina, so würden sich durch die Verteilung eines gegebenen Transportvolumens auf geographisch weiter streuende Zielmärkte kleinere Transportvolumen je Zielmarkt ergeben. Gepaart mit den höheren Exportwerten der Waren, würde dies flexible Verkehrsträger, die kleinere Volumen über unterschiedliche Distanzen transportieren können, wie LKW-Fracht, bevorzugen. Dominiert hingegen die Ausweitung der Exporte mit einem Anstieg des nachgefragten Transportvolumens, so kann zwar eine derartige Verschiebung der Nachfrage nach wie vor stattfinden, doch findet die Verschiebung eher über die die Zuwächse statt, sodass Bahnfracht zwar im absoluten Volumen weiter zunimmt, aber insgesamt Marktanteile verliert. Die Schienenaffinität der unterschiedlichen Branchen und deren Zusammenhang mit den hier ausgearbeiteten Produkteigenschaften wird in Kapitel 5 genauer erörtert.

Übersicht 1 fasst die identifizierten Faktoren und Arbeitshypothesen über deren Wirkung auf den Güterverkehr zusammen.

Übersicht 1: Einflussfaktoren auf die abgeleitete Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen

Faktor (Indikator)	Wirkung auf Güterverkehr		
	Transportvolumen ¹⁰	begünstigter Verkehrsträger ¹¹	Transportdistanz ¹²
(Annahme Faktor steigt)			
Industrieanteil (Anteil der Sachgütererzeugung an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung in Prozent)	steigt	Abhängig von Spezialisierung (Prozess/Bulk: Bahn +; sonst Straße +)	
physisches Handelsvolumen (Gewicht in Tonnen)	steigt	Abhängig von Spezialisierung (Prozess/Bulk: Bahn +; sonst Straße +)	
Einheitswerte der gehandelten Waren (Einheitswert USD/Tonne)		Bahn (-/=); Straße (+/=)	steigt tendenziell ¹³
Komplexität der gehandelten Produkte (Hidalgo-Hausmann Komplexität)	kann steigen ¹⁴	Bahn (-/=); Straße (+/=)	steigt tendenziell
Produktqualität (Marktanteile in hochpreisigen Marktsegmenten)	kann steigen	Bahn (-/=); Straße (+/=)	steigt tendenziell
Produktvielfalt (Extensiver Rand im Warenhandel)	kann steigen	Bahn (-/=); Straße (+/=)	unklar
Intra-industrielle Spezialisierung (Grubel-Lloyd Index für intraindustrieller Handel)	kann steigen	Bahn (-/=); Straße (+/=)	steigt tendenziell
Geographische Verteilung der Warenströme (Marktdispersion – Herfindahl Index)	kann steigen	Bahn (-/=); Straße (+/=)	steigt

Q: WIFO

¹⁰ Transportvolumen bezieht sich auf einen Anstieg der Nachfrage durch einen Anstieg des Warenverkehrs, der unabhängig von Preis und Serviceeigenschaften von Verkehrsträgern sind, vgl. Textkasten 1, S. 18.

¹¹ Annahme bezieht sich auf eine Wirkung des Faktors bei einem fixierten Handels- oder Transportvolumen und bei fixen relativen Transportpreisen (je Tonnen-KM) der unterschiedlichen Verkehrsträger und bezieht sich damit auf durch Präferenzänderungen induzierte Verschiebungen der Nachfrage und Nachfrageanstiege, vgl. Textkasten 1, S. 18.

¹² Die Annahme bezieht sich auf die Transportdistanz über die gesamte Wertschöpfungskette eines Produktes.

¹³ Höherwertige Waren werden häufig auch in entferntere Zielmärkte exportiert.

¹⁴ Effekt über gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit der exportierenden Unternehmen.

4. Die Digitalisierung von Fertigung und Logistik in der Industrie

In einer auf Verflechtungen entlang von Wertschöpfungsketten bezogene Sicht, wie sie in Abschnitt 2 dargestellt wurde, kann die Einführung und Verbesserung der Nutzung digitaler Technologien Effekte in der dem Logistiksektor vorgelagerten Wertschöpfungskette und hier vor allem die Wirkung die digitale Technologien zwischen den stark verflochtenen Sektoren Landverkehr, Lagerhaltung und unternehmensnahe Dienstleistungen entstehen. Digitalisierung würde sich in diesem Fall auf den Logistiksektor direkt beziehen.

Andererseits können digitale Technologien in der dem Logistiksektor nachgelagerten Wertschöpfungskette und hier vor allem in der Verflechtung zwischen den Sektoren Land- und Wasserverkehr, Lagerhaltung und unternehmensnahe Dienstleistungen auf der einen Seite und der Sachgütererzeugung und dem Großhandel auf der anderen Seite Wirkung entfalten. Dem Auftrag entsprechend wurde der Analyserahmen auf die Nachgelagerte Wertschöpfungskette und hier vor allem auf die möglichen Effekte der Nutzung digitaler Technologien in der Sachgütererzeugung eingegrenzt. Damit wird in weiterer Folge den Nutzungsmöglichkeiten moderner digitaler Technologien in der industriellen Fertigung und ihrer Auswirkung auf die Entwicklung des Warenhandels in der Sachgütererzeugung besonderes Augenmerk geschenkt.

Wie im vorangegangenen Abschnitt ausgearbeitet wurde, ist das zentrale Anliegen von Unternehmen die Entwicklung und Sicherung eines Wettbewerbsvorteils gegenüber Mitbewerbern aufgrund von Alleinstellungsmerkmalen. Dieses Anliegen hat sich als Treiber der Suche nach und der Bewahrung von Wettbewerbsvorteilen über die Zeit nicht verändert. Es ändern sich aber die Rahmenbedingungen unter denen Unternehmen handeln und der Wettbewerb selbst. Dies erfordert eine kontinuierliche Neuinterpretation, Identifikation und Gewichtung unterschiedlicher Wettbewerbsfaktoren sowie die Reorganisation von Produktion und Logistik. Damit verändert sich auch die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen, die Industrieunternehmen über die Zeit entfalten. Technischer Fortschritt, und hier vor allem die Entwicklung von Informations- und Telekommunikationstechnologien (Prentice-Prokopp 2016, Vahrenkamp 2013) und in neuerer Zeit die Digitalisierung, haben in diesem Zusammenhang seit je her eine wichtige Rolle gespielt. Diese Entwicklungen, sowie die Eigenschaften und möglichen Auswirkungen moderner digitaler Technologien in der Industrie, werden in diesem Kapitel beleuchtet. Das Kapitel schließt mit einer Analyse der digitalen Affinität unterschiedlicher Branchen, die Voraussetzung für eine Einschätzung der Auswirkungen der Digitalisierung auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen ist.

4.1 Historischer Abriss der Entwicklung wichtiger Fertigungsparadigmen in der Sachgütererzeugung

Ein kurzer historischer Abriss der Entwicklung wichtiger Paradigmen in industriellen Fertigungstechnologien und den damit verbundenen Logistikkonzepten unterstreicht die Wechselwirkung zwischen sich verändernden Rahmenbedingungen und der Entwicklung idealtypischer Fertigungsparadigmen und spezifischer Anforderungen an den Gütertransport. Betrachtet man diese unterschiedlichen Ansätze, so spiegeln sie einerseits die technischen Möglichkeiten wider, die Unternehmen zur Verfügung stehen, über spezifische Formen der Organisation von Produktion und Logistik, Wettbewerbsvorteile zu erzielen, oder wettbewerbsfähig zu bleiben. Andererseits sind sie auch ein Abbild der Reaktionen von Unternehmen auf Veränderungen der Nachfrage oder der Eigenheiten des Wettbewerbs, dem sich Unternehmen stellen müssen. Sie offenbaren den Versuch von Industriebetrieben, v.a. in den entwickelten Industrienationen, der steigenden Unsicherheit der Nachfrage und dem zunehmenden internationalen Wettbewerb durch eine Anpassung von Fertigung und

Logistik zu begegnen und die dadurch steigende Fähigkeiten, Produkte rascher, in kürzeren Zyklen auf den Markt zu bringen sowie die Produktion fortwährend zu diversifizieren. Dies sind insgesamt Entwicklungen, die mit einer verstärkten geographischen Streuung von Zielmärkten und Lieferketten bei einem insgesamt steigenden globalen Warenverkehrsvolumen einhergegangen sind.

Beginnt man mit der Betrachtung (Übersicht 2) in der Zeit nach dem 2. Weltkrieg bis in die späten 1960er Jahre, so wurden in dieser Periode Verfahren der Massenfertigung, die zunächst primär in den USA ab den 1870er Jahren (Hounshell 1984, Noble 1977, Lazonick 1990) stetig weiterentwickelt wurden, und sich in Europa und Japan zunächst während des Ersten Weltkrieges und der damit verbundenen Notwendigkeit der Massenfertigung von Kriegsmaterialien und in weiterer Folge nach dem Zweiten Weltkrieg mit der Notwendigkeit des Wiederaufbaus in angepasster Form übernommen wurden.¹⁵

Während dieser Periode konnten Unternehmen aufgrund der demographischen Entwicklung und des Entwicklungsstandes der sog. Industrieländer von einer kontinuierlich wachsenden und relativ homogenen Nachfrage ausgehen. Wettbewerbsvorteile wurden vor allem über Skalen- und Verbundeffekte, d.h. durch die Verteilung von Fixkosten der Produktion auf eine große Anzahl von ausgelieferten Produkten und die Ausweitung der Produktion durch Diversifizierung in ähnliche Produktlinien (vgl. Chandler – Hikino 1994), erzielt. Aufgrund einer stabil wachsenden Nachfrage wurde bei Absatzprognosen auf Lager produziert und die Produkt- und Produkteinführungszyklen dehnten sich, je nach Industrie, über etliche Jahre. Die Wertschöpfungsketten waren über vertikal integrierte Töchterunternehmen oder lokale Zulieferer organisiert. Exporte wurden primär von einzelnen Produktionsstandorten in einem Land aus durchgeführt, und geographisch nahe Märkte bedient. Internationale Handelsstarife, aber auch engere technische Grenzen des Gütertransports (so gab es z.B. noch keine Container) hätten geographisch verteilte Wertschöpfungsketten unprofitabel gemacht. Damit spiegelten der Warenhandel und der Güterverkehr in hohem Maße auch die industrielle Spezialisierung eines Landes wider. Gütertransportdistanzen, sieht man von Rohstoffen ab, waren dementsprechend auch noch geringer (vgl. Grübler 1990).

Die steigende Unsicherheit der Nachfrage in den wichtigsten internationalen Absatzmärkten ab den 1970er und 1980er Jahren, hervorgerufen durch die Erdölkrise 1979, politische Instabilität und darauffolgende Stagnationstendenzen in den wichtigen Industrienationen, gingen mit einem Strategiewechsel zur Erzielung und Bewahrung von Wettbewerbsvorteilen einher, weg von Skalen- und Verbundeffekten, hin zur verstärkten Suche nach Alleinstellungsmerkmalen durch Produkt- und Marktdifferenzierung (zusammen mit einer Fokussierung der Produktion auf spezifische Kernkompetenzen und kleinere Produktportfolios). Das Ziel war nun, Kunden durch spezifische Produkte längerfristig an das eigene Unternehmen zu binden und sich damit starken Nachfrageschwankungen zu entziehen. Die Paradigmen industrieller Fertigung, die ab den 1980er entwickelt wurden, spiegeln dies wider.

¹⁵ Konzepte, wie die Etablierung standardisierte Produkte in einer unternehmensinternen, vertikal integrierten Wertschöpfungskette, Fließbandfertigung oder der Taylorismus als Ansatz zur Gestaltung der Arbeitsteilung innerhalb der Fertigung konnten sich in anderen Ländern in ihrer Reinform nie durchsetzen, da sich diese in den dafür notwendigen Rahmenbedingungen wie etwa dem Qualifikationsniveau der Arbeitskräfte oder der Organisation der inter- und intraindustriellen Arbeitsteilung unterschieden. Abgeleitete und angepasste Prinzipien wurden aber sehr wohl übernommen (vg. z.B. Homburg 1991; Radkau 2008).

Die Erhöhung der Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit auf Veränderungen der Nachfrage und die Entwicklung von Alleinstellungsmerkmalen sind zentrale Entwicklungstreiber bei der Entwicklung neuer Fertigungsparadigmen.

Diese Ansätze verfolgten das Ziel, entweder durch eine agile und wandelbare Konfiguration von Fertigungssystemen, oder aber durch „schlanke“ Fertigungsprozesse (lean production) schneller auf Marktveränderungen reagieren zu können (Jones – Roos 1991). Im Paradigma der schlanken Produktion stand fortan das Pull-Prinzip im Vordergrund, d.h. die Produktion ist von Kundenaufträgen getrieben, wodurch die Lagerbestände und der Planungsaufwand minimiert werden sollen. Zur besseren Kontrolle der Abläufe, der Qualität und des Materialflusses kommt der Standardisierung von Aktivitäten, Abläufen und Werkstücken eine zentrale Rolle zu. Dazu kommen vermehrt Fertigungsroboter und numerisch gesteuerte Maschinen zu Einsatz, während der Materialfluss durch die (digitale) Integration von Produktionsplanungs-, Lagerhaltungs- und Fertigungssystemen und die Auslagerung von Aktivitäten an Zulieferer und den Aufbau stabiler, zunächst aber noch vor allem regionaler, Zuliefernetzwerke erzielt wird.¹⁶ Die Produktionszeiten werden dadurch verkürzt, die Lagerhaltung verringert und geringere Produktionslose bei Bedarf und kurzfristig in kleinen Losen von Zulieferern abgerufen (Batch-System). Während der 1980er und dann vor allem in den 1990er Jahren ermöglichen umfangreiche multilaterale Freihandelsabkommen, die Etablierung des Containers als wichtiges Transportmedium, das multimodalen Transport begünstigt, sowie die Verbesserung von Informations- und Kommunikationstechnologien die geographische breitere Streuung der Zuliefernetzwerke.

In agilen, bzw. flexiblen Fertigungsparadigmen steht die Möglichkeit einer raschen Umstellung der Produktion auf andere Produkte auf der Grundlage ähnlicher Werkteilmfamilien im Vordergrund. Das Ziel ist dabei eine maximale Produktdiversifizierung auf der Grundlage von Massen-Customisierung oder Personalisierung zu erreichen. Dies ermöglicht es, Kunden an ein Unternehmen zu binden und aufgrund der besseren Entsprechung der Produkte mit den Bedürfnissen der Kunden entsprechend höhere Preise zu erzielen. Die Fertigungslose sind dabei geringer als in der Massenfertigung. Das Ziel ist damit die Steigerung der Produktvielfalt, sowie die Realisation kürzere Produkt- und Produkteinführungszyklen.

Diese beiden Fertigungsparadigmen können parallel und komplementär eingesetzt werden. Der Entkoppelungspunkt liegt in der Wertschöpfungskette dort, wo die Veränderlichkeit der Nachfrage und die Vielfalt der nachgefragten Produkte in der einem Unternehmen nachgelagerten Wertschöpfungskette zunimmt, während in der vorgelagerten Wertschöpfungskette die Nachfrage eher stabil und die Vielfalt der nachgefragten Produktvarianten eher gering ist (vgl. Sanchez – Nagi 2001). Damit eine möglichst schlanke und zugleich flexible Wertschöpfungskette aufgebaut werden kann, sind modulare Produkte und Produktkomponenten ein wichtiger Aspekt. Das bedeutet, dass diese im Baukastensystem über Standardschnittstellen miteinander funktional verbunden werden können. Diese Modularisierung der Produktion, die im Prinzip in der Computerindustrie in den 1960er Jahren eingeführt wurde (Baldwin – Clark 2000), und auch die Realisierung von Produktökosystemen in denen unterschiedliche Produkte zu breiteren komplementären Funktionspaletten zusammengeführt werden können, war eine wichtiges Anliegen etlicher Industrien in den

¹⁶ In Japan, wo das Lean Management als Weiterentwicklung der Produktionsverfahren von General Motors vor allem von Toyota entwickelt wurde, entstehen auch Verbände von Zulieferunternehmen, die stark an den Erstausrüster gebunden sind und sich durch koordinierte Entwicklungs- und Produktionstätigkeiten auszeichnen. Dieses System wurde Keiretsu bezeichnet.

2000er Jahren. Damit geht die Fertigung zunehmend komplexer Produkte, die definitionsgemäß aus einer steigenden Anzahl von Komponenten bestehen, einher. In diesem Paradigma ist aus diesem Grund auch eine Verschiebung von der Fertigung spezifischer, zweckbestimmter Baugruppen hin zur Fertigung von Modulen, die nach dem Baukastenprinzip für spezifische Zwecke zusammengestellt werden können, zu beobachten. Dadurch können wiederum Skalenökonomie, also Fixkostendegressionen, erzielt werden.

Der langfristige Trend in der Entwicklung von Fertigungsparadigmen läuft von der Standardisierung über die Modularisierung hin zur Digitalisierung.

Grundsätzlich haben sich diese zentralen Entwicklungen fortgesetzt, wobei kontinuierlich auf die Möglichkeiten, die technologische Innovationen geboten haben, zurückgegriffen und damit diese Fertigungsparadigmen stetig verfeinert wurden. Dabei stand in der letzten Zeit nach der Standardisierung der Produktion und der Entwicklung modularer Produktökosysteme die Digitalisierung und hier vor allem die umfangreiche Erhebung und Nutzung von Information in allen Teilen der Wertschöpfungskette im Vordergrund. Der starke Anstieg des globalen Warenhandels seit den 1990er Jahren der sowohl zur Ausbildung globaler Zulieferketten als auch zu einer Intensivierung des Wettbewerbs geführt hat, hat diesen Prozess beschleunigt.

Das Ziel der unterschiedlichen Fertigungsparadigmen ist eine hohe Reaktionsfähigkeit auf Nachfrageschwankungen und eine möglichst hohe Anpassung der Produkte an spezifische Kundenwünsche bei möglichst kurzen Markteinführungszeiten. Industrie 4.0 ermöglicht diese Ziele besser und rascher umzusetzen bei einer gleichzeitig höheren Personalisierung der Erzeugnisse.

Mit Blick auf Lagerhaltung, Produktion und Logistik stellen neuere, unter dem Schlagwort Industrie 4.0 zusammengefasste Entwicklungen und Technologien, eine inkrementelle (und nicht so sehr eine disruptive) Entwicklung früherer Fertigungsparadigmen dar. Der strukturelle Bruch und damit die radikale Innovation liegt vielmehr in den neuen Geschäftsmodellen, die diese Technologien ermöglichen und eine vollkommene Produkt- und Marktdifferenzierung nicht nur in den Eigenschaften und Leistungen von Produkten, sondern auch in der Bereitstellung und Wartung und der Logistik ermöglichen (vgl. z.B. Lichtblau et al 2015). Dies wird im folgenden Abschnitt genauer ausgeführt.

Übersicht 2: Unterschiedliche Fertigungsparadigmen im Zeitverlauf: Gegenüberstellung der Eigenschaften und treibenden Faktoren

	Massenfertigung	Lean Management	Flexible Fertigungssysteme	Rekonfigurierbare Fertigungssysteme	Verteilte, Cloud-basierte und "smarte" Fertigungssysteme
Ziel	Hohe Kapazitätsauslastung und gesteigerte Kontrolle über den Fertigungsprozess (wg. vom Werkstoffensystem); Spezifische Fertigungssysteme; Große Losgrößen.	Hohe Kapazitätsauslastung bei gleichzeitiger Minimierung v. Redundanzen und Ausfallkosten; Spezifische Fertigungssysteme; Große Losgrößen.	Flexible Reaktion auf Nachfrageschwankungen und Kundenbindung durch besseres Service, Qualität und Anpassung an Kundenbedürfnisse. Verbesserte Maschinenauslastung und gesteigerte Systemzuverlässigkeit; Geringe Losgrößen/Fertigungsmengen	Flexible Reaktion auf Nachfrageschwankungen. Raschere Umrüstzeiten für Produktion. Erhöhte Flexibilität bei der Einführung und Integration neuer Technologien durch modulare Architekturen. Skalierbarkeit, Wandelbarkeit; Diagnosefähigkeit Systemproduktivität	Vollkommene Customisierung und Anpassung der Fertigungstechnologie an Kundenbedürfnisse; Virtualisierung der Produktion. Drastische Senkung von Time-to-Market. Skalierbarkeit und Verwendung von Massendaten in der Organisation und Optimierung betrieblicher Aufgaben.
Treibende gesamtwirtschaftliche Faktoren	Steigende Nachfrage, hohes Wachstum	Steigende Nachfrage, hohes Wachstum, zunehmender Wettbewerbsdruck durch beginnende Globalisierung	Krisenhafte Erscheinung in den 1970er Jahren; Zunahme der Volatilität der Nachfrage; Verlangsamung der Wachstumsdynamik	Globalisierung und zunehmender Wettbewerbsdruck (zum Upgrading), dadurch kürzere Produkt- und Technologiekzyklen, Heterogenere Nachfrage.	Digitalisierung und die Verfügbarkeit von Massendaten in einem globalisierten Kontext
Informationstechnologie	Rechenpools; Lochkartentechnologie;	numerisch kontrollierte Maschinen (ab 1940er Jahre); Fertigungsroboter; Datenfernübertragung	C-Technologien (CAD/CAM/CAQ/CAP); Fertigungs- und Handlingroboter; Datenfernübertragung	Rekonfigurierbare Werkzeugmaschinen (RMT) und Überprüfungs- und Montagesysteme in Kombination mit C-Technologien und Nutzung höherer Rechenleistungen in Analyse und Planung	Cloudbased Services, Big Data Analytics, IoT, Robotik, 3D-4D Fertigung; E-Commerce Plattformen
Bearbeitungssystem	Spezifisch: fixe Werkzeuge und spezifische Maschinen, standardisierte Werkteile; zentralisierte Produktion	Spezifisch: fixe Werkzeuge und spezifische Maschinen, standardisierte Werkteile; zentralisierte Produktion in teilautonomen Insellösungen (Fertigungssegmentierung)	Flexibel: fixe Werkzeuge und programmierbare Maschinen, zentralisierte Produktion in teilautonomen Bearbeitungszentren; Geringe Produktionsmengen	Rekonfigurierbar: Rekonfigurierbare Maschinen, Werkzeuge und Software in verteiltem Liefersystem; flexible Anpassung von Werkteillinien; zentralisierte Produktion in rekonfigurierbaren Bearbeitungszentren und Fertigungsgruppen	Rekonfigurierbare Maschinen, Werkzeuge und Software in verteiltem Liefersystem; flexible Anpassung von Werkteillinien; verteilte Produktion in als "Agenten" konzipierte Bearbeitungs- und Fertigungsgruppen
Produktionsplanungsstrategie	Hierarchische Planung, MRP; - Push-System (Vorgaben)	Integrierte Planung, Lagerhaltung und Fertigung (Datenaustausch); Pull-System (Nachfragegesteuert => Abruf auf Bedarf im der Fertigung (Kanban) und mit Zulieferern (Just-in-Time))	Pull-System, integrierte Planung	Gemischte Push-Pull-Systeme; autonome und teilautonome Fertigungseinheiten mit (präventivem) Abruf auf Bedarf mit Zwischenlagerelementen (z.B. VMI oder MIT Systeme)	Primär Pull-Systeme mit dynamisch rekonfigurierbaren, geographisch verteilten Produktions- und Logistikketten durch Virtualisierung und Broker-Dienstleistungen -> Everything as a service.
Lagerhaltung- und Logistikstrategie	make-to-stock	make-to-order	make/assemble-to-order	make/assemble-to-order	make-to-order
Lagerbestand	Hoch	gering, Entstehung JIT	gering, JIT Lieferung	Höher als bei FMS (Inventory buffer), aber teils an Zulieferer ausgelagert; JIT	gering/keines; JIT; Auslagerung an verteilte Logistiker und Zulieferer; optimierte vorausschauende Fertigungsplanung ermöglicht durch IoT
Beschaffung	Standardteile, hohe Fertigungstiefe	Einzelteile und Systemteile; Entwicklung lokaler Zuliefernetzwerke und kontinuierliche Kooperation mit (regionalen) Zulieferern.	Systemteile; kontinuierliche Kooperation mit (regionalen) Zulieferern.	Systemteile; Global Sourcing	Systemteile; Infrastruktur (IaaS); Software (SaaS); Lagerhaltung und Logistik (IaaS); Plattformen (PaaS); Global Sourcing
	Ab 1890er Jahre	1960er Jahre	1980er Jahre	1990er Jahre	Ab 2010

	Massenfertigung	Lean Management	Flexible Fertigungssysteme	Rekonfigurierbare Fertigungssysteme	Verteilte, Cloud-basierte und "smarte" Fertigungssysteme
Produktivitätsfaktor	Skalennönomien durch Standardisierung; Spezialisierung von Teilen und Arbeitsabläufen; Verkürzung der Durchlaufzeiten; Großserien	Skalennönomien durch Standardisierung; Lernönomien durch Spezialisierung (z.B. Kaizen); Kostensenkung durch minimierte Lagerhaltung und Produktionsauschuss durch systematische Qualitätskontrolle- und Qualität in der Produktion (TQM). Beschleunigung Materialfluss; Großserien	Geringere Skalennönomien durch längere/höhere Zahl von Umrüstvorgängen, geringerer Ausschuß; Höhere Preise und Margen durch Produkte auf Kundenwunsch/Verbundeffekte in der Produktion; Kleinserien	Skalierbarkeit, Flexibilität, Kombiniert Vorteile von Lean Management und FMS Systemen. Großserien, Kleinserien, Losgröße 1	Skalierbarkeit, Flexibilität und Wandelbarkeit, Kooperation und global sourcing, Großserien, Kleinserien, Losgröße 1
Auswirkung auf Produktlebenszyklus und Produktportfolio	Time to market und Produktlebenszyklen lang (jeweils mehrere Jahre)	Time to market und Produktlebenszyklen lang (jeweils mehrere Jahre)	Reduzierung Time to market, flexible Fertigung ermöglicht rasches Redesign und damit kürzere Produktlebenszyklen	Reaktionfähigkeit auf Marktänderungen; Reduzierung Time-to-Market	Minimierung Time-to-market, Produktlebenszyklen entfallen durch Losgröße 1
Auswirkung auf Fertigungstiefe und Supply Chain Management	Zunahme durch Vorwärts- und Rückwärtsintegration zwecks verbesserter Kontrolle über Fertigungsschritte; Konkurrenzmodell bei Zulieferern	Abnahme durch Auslagerung an Zulieferer; Kooperationsmodell bei Zulieferern	Abnahme durch Auslagerung an Zulieferer und verstärkte Fokussierung auf Kernkompetenzen	Abnahme durch Auslagerung an Zulieferer und verstärkte Fokussierung auf Kernkompetenzen; verstärkte Internationalisierung der Wertschöpfungsketten, teilweise aber wieder Zunahme für bessere Kontrolle strategischer Assets.	Virtuelle Unternehmen; Everything as a service
	Ab 1890er Jahre	1960er Jahre	1980er Jahre	1990er Jahre	Ab 2010

Q: WIFO Zusammenstellung auf der Grundlage von Wu et al 2014.

4.2 Moderne Fertigungsparadigmen im Fokus: Was verbirgt sich hinter dem Schlagwort "Industrie 4.0"

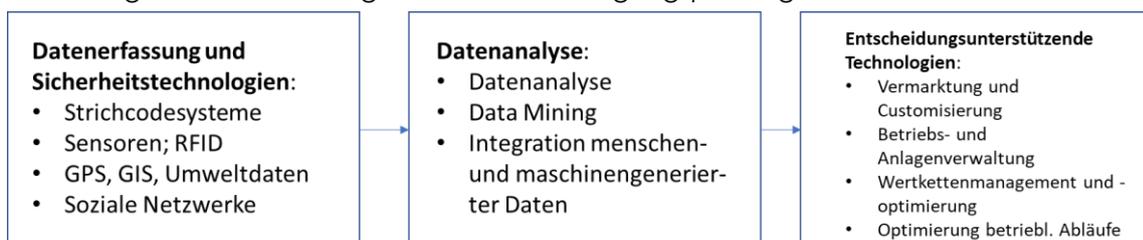
4.2.1 Digitale Technologien hinter Industrie 4.0

In den vergangenen Jahren ist die Digitalisierung in der Industrie unter dem Schlagwort *Industrie 4.0* in den Fokus gerückt. Diese Entwicklung bezieht sich auf die Möglichkeiten, die eine Reihe technologischer Entwicklungen in Fertigung, Logistik und der Gestaltung von Kundenbeziehungen bieten. Das zentrale Merkmal dieser digitalen Technologien ist dabei die Erfassung, Nutzung und Analyse von Daten, die erst aufgrund des Internets und der gesteigerten Rechenleistung ermöglicht wurde (Abbildung 17).

Moderne digitale Fertigungsparadigmen sind eine inkrementelle Entwicklung bestehender Produktionsverfahren und Fertigungsphilosophien unterschieden sich davon aber durch die umfangreiche Erfassung und Auswertung von Daten zur Optimierung von Produktionsabläufen und zur Entscheidungsunterstützung.

Neue Sensortechnologien, die Echtzeitübertragung und Verwertung von Daten und deren Kombination mit bestehenden Datenbanken (z.B. geographische Informationssysteme oder GPS Daten), bieten die Möglichkeit umfassender Analysen von Lieferketten, Produktionsabläufen, Kundenverhalten und der Funktionsweise eigener Produkte. Dadurch können entscheidungsunterstützende Technologien verwendet werden, um Produkte stärker zu personalisieren und betriebliche Abläufe, Wertschöpfungsketten und den Kundendienst zu optimieren.

Abbildung 17: Datennutzung in modernen Fertigungsparadigmen



Q: Autoren auf der Grundlage von Esmalian et al 2016, S.

Zentrale digitale Technologien in diesem Zusammenhang sind:

- Das Internet der Dinge,
- Big Data Analyse, Künstliche Intelligenz and Cloud Computing,
- Robotik und
- additive Fertigung oder 3-D Druck.

Das **Internet der Dinge (IOT)** ist ein Sammelbegriff, der Technologien umfasst, die einerseits Daten durch Sensortechnik erheben und über leistungsfähige Telekommunikationsnetzwerke in Echtzeit verteilen, und andererseits autonome Systeme, die diese Information zur eigenen Steuerung und Manipulation von Gegenständen nutzen. Zentraler Bestandteil sind sog. **„intelligente Produkte“ und „autonome Systeme“**. Diese verfügen über eine eindeutige elektronische Identifikation und tauschen mit anderen eindeutig identifizierten Objekten in ihrer Umgebung Daten aus und verändern diese, um weitere Verarbeitungsschritte oder Zustandsveränderungen in einem Produktionsablauf einzuleiten (vgl. Hibernik et al 2010). Dies wird, z.B., durch die Nutzung von RFID-Sensoren in Kombination mit Steuereinheiten umgesetzt. Dies ermöglicht u.a. Werkstücke, ganze Lieferungen oder Fahrzeuge zu lokalisieren, deren Verarbeitungszustand zu ermitteln sowie Anforderungen für weitere Verarbeitungs- und Prozessstücke zu erheben und diese durchzuführen. Dadurch können Wertschöpfungsketten auf der Ebene einzelner Werkstücke gesteuert und optimiert oder Fertigungsprozesse autonom, d.h. ohne direkten Eingriff von Personen, durchgeführt werden.

IoT Technologien bieten damit die Möglichkeit, durch die Optimierung und Steuerung von Wertschöpfungsketten serielle Maßanfertigung, wie sie etwa durch modulare Produktarchitekturen ermöglicht wurde, auf der Ebene einzelner Produkte zu vertiefen und damit einen noch höheren Grad der Produktdiversifizierung auf der Grundlage spezifischer Kundenwünsche zu erreichen. Damit stellen sie eine Weiterentwicklung flexibler und rekonfigurierbarer Fertigungssysteme dar.

Ein weiterer Einsatzbereich ist u.a. auch in der präventiven Wartung von gelieferten Produkten oder dem Betriebsanlagenmanagement. Ein Beispiel hierfür ist die Echtzeitüberwachung von Flugzeugtriebwerken während ihres Betriebes vonseiten der Triebwerkshersteller, die es ermöglicht deren Zustand zu ermitteln und wenn nötig sofortige Wartungstätigkeiten einzuleiten, nachdem ein Flugzeug gelandet ist.¹⁷ Dadurch können kostspielige Maschinenstillstandzeiten durch raschere Diagnose und Behebung von Fehlern und die Vermeidung von Ausfällen minimiert werden. Damit verstärken IoT Technologien auch den Dienstleistungshandel vor allem in der Erzeugung von Investitionsgütern oder langlebigen Konsumgütern.

IoT Technologien ermöglichen die Optimierung von Wertschöpfungsketten und befördern damit Produktdiversifizierung, die Verbesserung von Abläufen in Fertigung, Lagerhaltung und Logistik und den Dienstleistungshandel in der Sachgütererzeugung.

Im Bereich der Logistik sind bereits derartige Technologien im Bereich von Lagerhaltungs- und Transportmanagementsystemen in Einsatz. Sie ermöglichen u.a. auch im Zusammenspiel mit

¹⁷ Vgl. z.B. <https://www.computerworld.com/article/3427267/rolls-royce-uses-microsoft-iot-tools-to-cut-down-on-engine-faults-and-fuel-costs--and-wants-to-sell-.html> (Zugriff 10.12.2019)

Verfahren der Big Data Analyse und autonomen Robotern verkürzte Umschlagzeiten im Warentransit, geringere Lagerhaltung und eine bessere Kontrolle des Warenflusses hin zum Kunden (vgl. Hříberník et al 2010). Durch die verbesserte Kontrolle über die Wertschöpfungskette könnte diese Technologie Auslagerungsprozesse und eine stärkere geographische Verteilung der Produktion und damit von Warenströmen begünstigen. Damit könnten IoT Technologien neueren Trends in zur Rückverlagerung (near oder re-shoring) von zuvor ausgelagerten Produktionsaktivitäten entgegenwirken (Millar 2016). Ein wichtiger Faktor dabei wird aber die Sicherheit und Stabilität und damit die Resilienz der Lieferketten sein. IoT Technologien können nicht politische oder wirtschaftliche Risiken, die durch die Unzuverlässigkeit von Zulieferern oder Frächtern, sich wandelnden Umweltfaktoren oder Schutzrechtsverletzungen entstehen, ausschalten. Derartige Faktoren sind aber für die Rückverlagerung von Aktivitäten und die Regionalisierung von Wertschöpfungsketten wichtige Gesichtspunkte.

Durch verbesserte Kontrolle von Wertschöpfungsketten bei der Anwendung von IoT Technologien können diese Auslagerungsprozesse und eine stärkere geographische Verteilung der Produktion bzw. Fragmentierung von Wertschöpfungsketten begünstigen und damit neueren Entwicklungen zur Rückverlagerung ausgelagerter Aktivitäten entgegenwirken.

Erhebungen (IDC 2016) zeigen, dass die wichtigsten Nutzungsgründe für IOT-Technologien durch Unternehmen in der Sachgütererzeugung (Stand 2015) vor allem die Senkung der Betriebskosten und die Optimierung von Geschäftsprozessen, verbesserte Kundenbindung und Kundendienst, die Verbesserung von Produkten und Dienstleistungen und die Diversifizierung des eigenen Produktportfolios und mit IOT-Technologien mögliche Potentiale der vollkommenen Anpassung von Produkten an Kundenerfordernissen sind.

Big Data Analyse, Künstliche Intelligenz und Cloud Computing bezieht sich auf das Aufbereiten und Auswerten großer Datenmengen und die Nutzung von über das Internet von unterschiedlichen Anbietern bereitgestellte Rechenleistung und Speicherkapazität. Durch das Zusammenführen großer Datenmengen werden umfangreiche Datensätze generiert. Die Auswertung erfolgt hierbei anhand moderner Datenanalysemethoden, wie etwa Machine Learning oder Data Mining. Die Daten werden über Technologien, die dem Internet der Dinge zugerechnet werden, aber auch aus anderen betriebsinternen oder kundenspezifischen Datenquellen sowie anhand öffentlicher Sensordaten (z.B. GPS, Raumordnung, Verkehr) oder aus der Beobachtung sozialer Netzwerke erhoben.

In der Literatur findet man eine Reihe von Anwendungsfällen dieser Technologien. Ein Verwendungszweck ist die Erstellung zuverlässiger Prognosemodelle über das Kundenverhalten oder die Marktentwicklung. Diese Verfahren ermöglichen auch operative Analysen zur Optimierung von Wertschöpfungsketten und so sowohl die Anpassung von Produkten an

Kundenwünsche, wie auch die Überwachung und Anpassung von Fertigungs-, Lagerhaltungs- und Liefervorgänge in Echtzeit. Big Data-gestützte Technologien werden auch verwendet, um für gegebene Produkte in Abhängigkeit vom Nachfrageaufkommen, individuelle Preise festzulegen und damit die maximale Zahlungsbereitschaft von Kunden abzuschöpfen. Diese Nutzung wird aber aus wettbewerbspolitischer wie -rechtlicher Sicht als problematisch angesehen. Aus Sicht der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen stützt Big Data Analyse vor allem in Kombination mit IoT Technologien eine optimierte, d.h. geringere, Lagerhaltung und erfordert flexible Transportlösungen.

Big Data Analyse und Cloud Computing ist eine technische Grundvoraussetzung um die Potentiale von IoT Technologien zu heben. Dies betrifft vor allem die Anpassung von Produkten und Dienstleistungen an individuelle Kundenwünsche, bessere Vorhersage und Planung der Entwicklung der Nachfrage, Preisdiskriminierung und die Optimierung von Wertschöpfungsketten.

Während **Industrieroboter** schon seit den 1960er Jahren Teil von industriellen Fertigungsprozessen vor allem im Fahrzeugbau waren und dort durch ihre Möglichkeit, programmierbare und sensorgeführte Bewegungsfolgen in unterschiedlichen Achsen durchzuführen, in der Automatisierung von mechanischen und wiederkehrenden Tätigkeiten Anwendung fanden, so haben Sie durch das Internet der Dinge und ihren Einsatz in neuen Bereichen wirtschaftlicher Aktivitäten vor allem als autonom operierende Systeme zusätzlich an Bedeutung gewonnen.

In **autonom operierenden Systemen** werden Informationen, die von Sensoren bei angelieferten Werkstücken, sowie aus vernetzten Datenbanken und Informationssystemen ausgelesen werden, zusammengeführt und Verarbeitungsschritte an Werkstücken autonom und dezentralisiert, ohne Eingriff von Menschen, durchgeführt. Nach Abschluss dieser Verarbeitungsschritte werden die Werkstücke dann an weitere Arbeitsgruppen oder an Zulieferer automatisch zur Weiterverarbeitung weitergeleitet, wobei wiederum Logistik- und Lagerhaltungsroboter zum Einsatz kommen können, sowie Informationen durch Nutzung von Cloud-Lösungen an nachgeordnete, vernetzte Arbeitsgruppen, Lager- und Transporteinheiten weitergeleitet werden können. Zusammen mit dem Internet der Dinge und intelligenten Produkten erlauben sie damit, Fertigungssysteme autonom agierender und vernetzter Agenten (Maschinen, Roboter, Produkte, Steuereinheiten u.dgl.) zu implementieren, in denen Entscheidungen selbständig und dezentralisiert getroffen und physisch umgesetzt werden.

Dies erlaubt es Unternehmen, die in einer Wertschöpfungskette miteinander vernetzt sind, durch punktgenaue Überwachung von Produktion, Lagerbestand und Lieferungen, mit minimalen Lagern zu arbeiten und Teile für die Endmontage direkt während des Montageprozesses zeitgenau anzuliefern. Dadurch können durch die Integration von

Produktions- und Ressourcenplanung und Echtzeitdaten aus Produktion, Transport und Lagerung einzelner Werkteile Wertschöpfungsketten zwischen vernetzten Unternehmen optimiert und flexibel auf Veränderungen der Auftragslage oder der Kundenanforderungen reagiert werden.

Im vergangenen Jahrzehnt wurden vermehrt auch autonome Lagerhaltungsrobotersysteme entwickelt. **Autonome Lagerroboter** werden für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, wie z.B., für das Be- und Entladen von Paletten, als unbemannte Kran- und Stapelanlagen in halb- und vollautomatischen Lagern, oder als Sortier-, Förder-, Kommissionier- und Verpackungssysteme, mit denen kleinere Stückgüter wie Behälter, Kartons, hängende Kleidungsstücke und Kisten automatisch verarbeitet werden können. Der US-amerikanische Online-Händler Amazon setzt Lagerroboter in Auslieferungszentren ein, wo die Roboter die Waren zum Personal an den Packstationen transportieren. Mit Hilfe von Sensoren und Funktechnologie bewegen sie sich durch die Lagerhalle, nehmen aus Lagerregalen Waren auf, stellen so die Kundenbestellungen zusammen und übergeben sie an Abfertigungsstellen. Dies erlaubt es, Kundenbestellungen innerhalb einer Stunde nach Bestelleingang bei einer um ein Drittel reduzierten Lagerhaltung abzufertigen (vgl. Millar 2016). Damit ermöglichen autonome Lagerroboter vor allem die Liefer- und Umschlagzeiten von Waren zu senken.

*Autonome Fertigungsroboter sind ein zentraler Bestandteil zur Optimierung und Steigerung der Flexibilität von Fertigung und für Produktdiversifizierung.
Autonome Lagerhaltungsroboter ermöglichen die Senkung von Lagerbeständen und einen rascheren Warenumsatz und steigern damit die Flexibilität in der Verteilung und senken Lieferzeiten.*

Unter den Schlagwörtern **additive Fertigung** oder **3-D Druck** wird eine Reihe von Technologien zusammengefasst, die auf unterschiedlichen physikalischen Mechanismen basieren, deren Gemeinsamkeit aber die Erzeugung dreidimensionaler, physischer Gegenstände aus einem digitalen Modell ist. Dabei werden diese Gegenstände auf der Grundlage des digitalen Modells schichtweise aus unterschiedlichen Rohstoffen, wie Kunststoff, aufgebaut. Material kommt nur dort zum Einsatz, wo das digitale Modell dies vorsieht. Dadurch ist der Materialausschuss wesentlich geringer als bei herkömmlichen formenden oder trennenden Produktionsverfahren. Derartige Technologien sind schon seit mehreren Jahrzehnten vor allem für die Herstellung von Prototypen verwendet worden. Mittlerweile finden sie auch Anwendung in der Herstellung von Endprodukten. Potenziell könnte der 3-D Druck in der industriellen Fertigung alle formenden und abnehmenden Verfahren und den entsprechenden Werkzeug- und Formenbau ersetzen und deren Produktion bei spezialisierten Unternehmen obsolet machen.

Additive Verfahren sind im Vergleich zu traditionellen Fertigungsmethoden jedoch noch relativ langsam und teuer, wengleich der Preis von 3-D Druckern sehr stark gefallen ist (Peterson-

Bedeman – Godunova 2014,). Derzeit ist der Einsatz von 3-D Druckverfahren nur bei Kleinserien in bestimmten Anwendungsgebieten kostengünstiger als traditionelle Fertigungsverfahren (vgl. Costabile 2017). Fortschritte in Design, nutzbaren Rohmaterialien und der Größe von additiven Fertigungseinheiten werden jedoch vermutlich in absehbarer Zeit die wirtschaftliche Nutzbarkeit dieser Technologien erweitern. Neben der Möglichkeit, komplexe Artefakte zu erzeugen, die mit traditionellen Verfahren nicht hergestellt werden können, ist die geographisch verteilte, lokale Fertigung von Komponenten und Endprodukten ein wichtiges Entwicklungspotential dieser Technologien. 3-D Druck könnte die Fertigung von Komponenten nahe am Ort der finalen Montage von Produkten durch Dienstleister wie Print-Shops oder Logistikunternehmen oder direkt beim Endkunden ermöglichen.

Sofern der 3-D Druck seinen derzeitigen Nischenstatus ablegen und sich auf breiter Skala etablieren würde, könnten sich bedeutende Rückwirkungen auf die Organisation von und Arbeitsteilung in Wertschöpfungsketten und damit auf Handelsströme und den Güterverkehr insgesamt ergeben, da bei einem weitverbreiteten Einsatz additiver Verfahren in zunehmender Weise nicht mehr physische Waren, sondern digitale Modelle grenzüberschreitend geteilt und Module oder Endprodukte in weiterer Folge in der Nähe des Endkunden gefertigt würden. Damit würde die Verfrachtung und Lagerung von Komponenten bzw. Zulieferteilen, aber auch Ersatzteilen an Bedeutung verlieren, während Lagerung und Transport von Rohmaterialien, die bei additiven Verfahren notwendig sind, an Bedeutung gewinnen würden (vgl. Mohr – Khan; Boon-van Wee 2017).

Von den modernen Fertigungsverfahren im Industrie 4.0 Paradigma hat der 3-D Druck das Potential die umfassendsten Auswirkungen auf die Organisation von industriellen Wertschöpfungsketten und den Warentransport zu entfalten. Anstelle von Zwischenteilen und Komponenten werden Rohmaterialien für den 3-D Druck verfrachtet werden.

Diese Entwicklungen würden mit einer nachhaltigen Verschiebung von Handelsströmen einhergehen. Die etablierten Handelsmuster, in denen Produzenten industriell gefertigter Güter in Länder, die diese nutzen bzw. konsumieren, exportieren und Rohmaterialien und Vorleistungen aus dritten Ländern importieren, würden sich auflösen. Stattdessen würden sich Handelsbeziehungen zwischen Produzenten von Rohmaterialien, die in additiven Verfahren zum Einsatz kommen, und Endnutzermärkten, in denen industrielle Güter direkt nach Kundenwünschen vor Ort additiv gefertigt werden, etablieren. Klassische Exportnationen industrieller Güter, oder mit einer Spezialisierung in Zulieferindustrien, würden demnach Marktanteile verlieren und in globalen Wertschöpfungsketten an Bedeutung verlieren. Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen über lange Distanzen könnte abnehmen, bei einer gleichzeitigen Zunahme der geographischen Streuung und Lokalisierung der Produktion. Unklar ist derzeit, wie sich 3-D Druck auf das gesamte Transportvolumen bzw. die nachgefragte Transportleistung auswirken wird (Boon-van Wee 2017; Birtchnell et al).

Additive Fertigungsverfahren werden aber auch genutzt, um die Komplexität von Produkten zu reduzieren (vgl. Mohr – Khan).¹⁸ Durch die Verringerung der Komplexität können additive Verfahren der zunehmenden Dispersion der Lieferbeziehungen entgegenwirken. Damit würde sich das Wachstums der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen relativ zu den Produktionszuwächsen in der Industrie über die Zeit verlangsamen. Die verstärkte Streuung der Liefernetzwerke, aber auch die verstärkte Nutzung additiver Fertigungstechnologien senkt potentiell die Losgrößen von Lieferungen.

Durch 3-D Druck ermöglichtes Redesign und Reengineering könnten sich Wertschöpfungsketten vereinfachen und verkürzen. Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen über lange Distanzen könnte aufgrund der Lokalisierung der Produktion fallen.

3-D Druck ist derzeit mit unterschiedlichen Metallen wie Nickel-, Titan- und Aluminiumpulver, sowie mit Kunststofffilamenten aus Nylon, Harzen, ABS oder anderen Polymeren, aber auch Zement und Keramikmaterialien möglich. Damit kann 3-D Druck potentiell in einem breiten Feld von Anwendungen zum Einsatz kommen. Vor allem in der Luft- und Raumfahrtindustrie, in der Automobilindustrie, sowie bei der Fertigung medizinischer Implantate und in der Bauindustrie werden 3-D Druckverfahren zur Fertigung komplexer und gewichtsreduzierter Bauteile genutzt. Aufgrund der Anwendungsmöglichkeiten gehen Untersuchungen von Beratungsunternehmen davon aus, dass 3-D Druck vor allem in der Produktion elektronischer Geräte, in der Herstellung von Schuhen, Computer, Keramikprodukten, Auto- und Kunststoffteilen verstärkt Verwendung finden wird und sich dort auch disruptiv auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen auswirken kann (vgl. z.B Anknor - James 2017).

¹⁸ Ein Beispiel hierfür bietet, z.B., das Re-Design der Catalyst Turboprop Antriebe von General Electric, wo durch 3-D Druck die Anzahl der Komponenten von mehr als 800 auf 12 reduziert werden konnte. Siehe <https://www.ge.com/reports/mad-props-gec-new-catalyst-turboprop-engine-turning-heads/> (Zugriff. 9.12.2019). Die technische Komplexität eines Produktes ist einerseits durch die Anzahl der konstituierenden Komponenten und andererseits durch deren Verflechtung untereinander charakterisiert. Während die Entwicklung modularer Designs darauf abzielt Komplexität durch standardisierte Subkomponenten und Standardschnittstellen zwischen diesen Komponenten zu kontrollieren, ermöglicht 3D-Druck den sowohl die Reduktion der Anzahl der Komponenten als auch der notwendigen Schnittstellen. Werkstücken, die zuvor aus mehreren Subkomponenten bestanden haben, können nun durch einen schichtweisen Aufbau in einem einzigen Verfahrensschritt als Einzelteil gefertigt werden. Dies Reduziert die Anzahl von Komponenten und Schnittstellen und damit die technische Komplexität,

Textkasten 2: Durch Digitalisierung betroffene wirtschaftliche Kosten

Aus ökonomischer Perspektive wirken sich besprochenen digitalen Fertigungstechnologien vor allem auf

- Suchkosten,
- Transportkosten,
- Nachverfolgungskosten, und
- Überprüfungskosten

aus (vgl. Goldfarb – Tucker 2019).

Digitale Technologien senken grundsätzlich **Suchkosten**, d.h. Kosten die mit dem Sammeln von Information über Kunden, Zulieferer oder Konkurrenten verbunden sind. Internetbasierte B2B (Business-to-Business) oder B2C (Business-to-Consumer) Plattformen senken beschleunigen die Suche nach Geschäftspartnern oder Lieferanten, sowie den Datenaustausch oder die Rechnungslegung. Cloudbasierte CRM (Customer-Relationship-Management) oder ERP (Enterprise-Ressource-Planning) Systeme ermöglichen durch vereinfachten Zugriff auf Datenbestände ein verbessertes Kontakt- oder Vertriebsmanagement, bzw. die Optimierung von Geschäftsprozessen.

Im Falle traditioneller, tangibler, Güter können IOT-Technologien und autonom operierende Roboter vor allem auch in Kombination mit Big-Data Analyse durch die Optimierung von Lagerhaltung und Logistik über die gesamte Wertschöpfungskette zur Minimierung von **Transportkosten** beitragen. Da auch die Nachverfolgungskosten sinken, kann durch die konstante Überprüfung des Zustandes von Waren und Umweltbedingungen während der Lieferung Ausschuss minimiert werden. Im Falle elektronischer, intangibler Güter, wie etwa digitalen Modellen für den 3-D Druck, die elektronisch versendet werden können, sinken die Lieferkosten hingegen gegen null. Ob ein elektronisches Modell über digitale Netzwerke an eines oder dreihundert über den Globus verteilte 3D-Druckwerke gesendet wird, erzeugt kaum zusätzliche Kosten bei der Nutzung globaler digitaler Netzwerke. Damit verschwindet die Bedeutung von Größenvorteilen (Skalenökonomien) in der Verfrachtung von Endgütern; sie bleiben aber bedeutend für den Transport der Rohmaterialien, die im 3-D Druck genutzt werden.

Durch moderne Sensortechnologien, die Übermittlung von Sensorsignalen über das Internet, sowie die Vernetzung von Datenbanken und entscheidungsunterstützende Technologien sinken die **Nachverfolgungskosten** von Waren während des Transportes, sowie von deren Verwendung und Zustand über den Lebenszyklus. Dies ermöglicht optimierten (präventiven) Kundendienst und Lagerhaltung, sowie die Optimierung der Auslastung von Produktionsanlagen. Produkte können auch besser dynamisch, d.h. während ihrer Nutzung, an Kundenbedürfnisse angepasst werden, indem Nutzungsdaten, bzw. -parameter kontinuierlich erhoben und ausgewertet werden. Dies ermöglicht eine verstärkte Diversifizierung der Produktion, was Auswirkungen auf Losgrößen und die Dispersion von Zielmärkten und damit auch auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen hat.

Die mit digitalen Technologien verbundenen geringen Suchkosten steigern die Informationsvielfalt. Damit entstehen **Überprüfungskosten**, um die Qualität der erhobenen Information oder über Transaktionspartner festzustellen. Auf internetbasierten Handelsplattformen haben sich diesbezüglich Reputationssysteme (z.B.

Kundenbewertungssysteme) etabliert, die aber häufig mit Selektionsverzerrungen einhergehen (d.h. Transaktionspartner oder Produkte werden aufgrund positiver Bewertungen systematisch bevorzugt, obwohl sie möglicherweise nicht die beste Lösung für einen Anwendungsfall bieten). Im Bereich der digitalen Fertigungstechnologien spielt derzeit vor allem Netzsicherheit ein Problem dar, die hohe Überprüfungskosten erfordert und derzeit noch als Verbreitungshemmnis von IOT Technologien empfunden wird (vgl. Hölzl et al 2017).

Insgesamt gehen mit modernen digitalen Fertigungstechnologien große Kosteneinsparungspotentiale einher, die deren Verbreitung beschleunigen werden, wenngleich noch einige Unsicherheitsfaktoren, vor allem über gesteigerte Überprüfungskosten, dämpfend wirken.

4.2.2 *Cloud-Based Manufacturing als idealtypisches Beispiel eines volldigitalisierten Fertigungsparadigmas*

Cloud-based Manufacturing (CBM) ist ein neues idealtypisches Fertigungsparadigma (vgl. Wu et al 2013, Wu et al 2014), das viele neuere Entwicklungen im Rahmen der Digitalisierung der industriellen Fertigung miteinander vereint und sich daher zur Veranschaulichung und zur Einschätzung der Auswirkungen der Digitalisierung auf Logistik und Gütertransport eignet.

Bei CBM handelt es sich um eine dezentralisierte und vernetzte Organisationsform von Wertschöpfungsketten in der industriellen Fertigung. Sie stützt sich auf etliche Basistechnologien, wie Cloud Computing, Internet der Dinge, soziale Medien und serviceorientierte Architekturen (SOA).

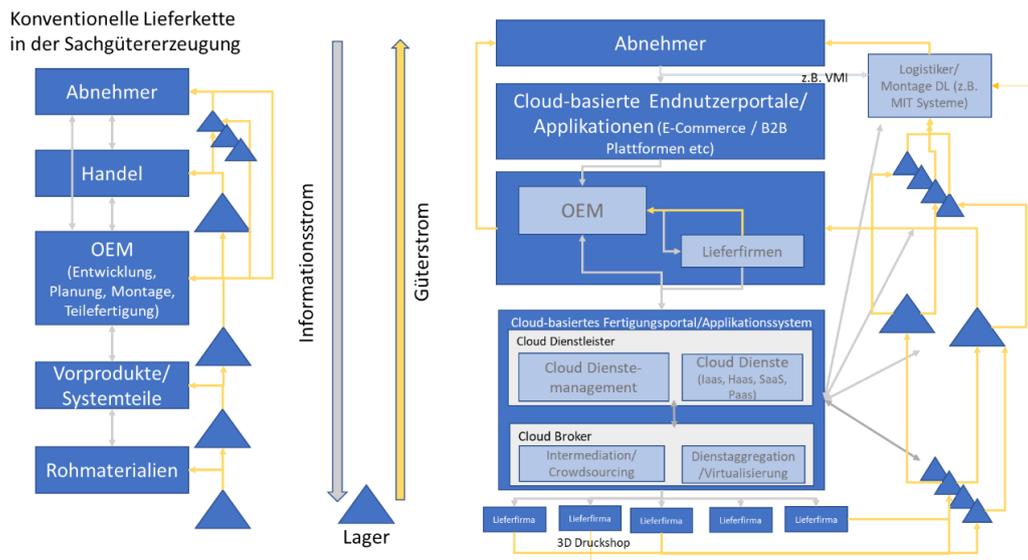
Die drei Schlüsselemente von CBM sind (vgl. Abbildung 18):

- *Abnehmer*, welche entweder Endnutzer oder Erstausrüster (OEM) sein können. Diese definieren eine Nachfrage nach Artefakten entsprechend spezifischen technischen Anforderungen.
- *Anbieter von Anwendungen*, die Dienste für die Koordination der nachgelagerten Produktions- und Logistiknetzwerke anbieten und einerseits die Anforderungen der Abnehmer interpretieren und andererseits alle nachgelagerten Fertigungsschritte organisieren, indem die Unternehmen, die diese durchführen, in ein virtuelles Unternehmen mit entsprechender Produktions- und Ressourcenplanung aggregiert. Anbieter von Anwendungen können auch Vermittlungs- bzw. Broker-Dienste, die Angebote für alle nachgelagerte Fertigungsschritte, die zur Umsetzung der Abnehmeranforderungen notwendig sind, einholen und das notwendige Netzwerk an unterschiedlichen nachgelagerten Dienstleistern aufbauen.
- *Anbieter von Betriebsmitteln oder Personaldienstleister, bzw. Lieferfirmen*, die über physische Produktionsmittel wie Fertigungslinien, 3-D Druckshops, Verpackungsmaschinen, Testeinrichtungen, Transportmittel, Lager u.dgl. verfügen und Aufträge im Netzwerk als Dienstleistung durchführen.

Das Ziel von CBM ist, das Pull-Prinzip mit einem vollkommen flexiblen nachgelagerten Fertigungs- und Logistiksystem zu kombinieren, in dem Fertigung, notwendige Software, Produktionsentwicklungsprozesse (F&E), Produktionsplanung (ERP), Kundenbeziehungs-

management (CRM), Rechen- und Speicherbedarf, sowie Logistik, Transport und Lagerhaltung als Dienstleistungen über das Internet akquiriert, organisiert und durchgeführt werden. Dies kann unter dem Schlagwort „everything as a service“ zusammengefasst werden. Internetgestützte Business-to-Business (B2B) oder Business-to-Consumer (B2C) Plattformen können hier für die Definition der technischen Anforderungen bzw. in der Auftragsabwicklung vorgelagert sein. Das Potential von CBM liegt damit in der Möglichkeit, eine vollkommene flexible und rekonfigurierbare Wertschöpfungskette aufzubauen, die auch geographisch weit verteilt sein kann, in der sich Erstausrüster auf Produktentwicklung und Kundenbeziehungsmanagement konzentrieren und physische Investitionen aufgrund der Möglichkeit einer vollkommen dezentralisierten Produktion, Lagerhaltung und Logistik zurückfahren können. Durch den Umstand, dass geographisch sehr breit gestreut auf unterschiedliche Dienstleister zurückgegriffen werden kann, wird die Produktion dadurch auch skalierbar, d.h. unterschiedliche große Produktvolumina können erzeugt werden, ohne zusätzliche Fixkosten oder versunkene Investition. Höher Produktionskapazitäten sind ohne zusätzliche Kapitalinvestitionen und mit nur gering höherem Koordinationsaufwand möglich.¹⁹

Abbildung 18: Informations- und Güterströme in einem linearen Produktionssystem und einem Cloud-basiertem System



Q: WIFO Darstellung auf der Grundlage von Wu et al 2013

¹⁹ Dies gründet aber auf die eher unrealistische Annahme, dass alle Dienstleister relativ homogen die erforderliche Qualität und Liefertreue erbringen können und keine strategischen Komplementaritäten zwischen unterschiedlichen Produktkomponenten oder Produkten sowie produkt- oder kundenspezifischen Dienstleistungen, die ein Unternehmen erbringt, bestehen. Häufig werden durch solche Kombinationen strategische Wettbewerbsvorteile erzielt, die spezielle Fertigkeiten der technischen und kommerziellen Integration erfordern. Derartige Vorteile können in einem verteilten Produktionssystem, wie es von CBM beschrieben wird, möglicherweise nur in begrenztem Maße erzielt werden. Tatsächlich ist zu beobachten, dass Unternehmen vermehrt zwecks besserer strategischer Kontrolle über ihre strategischen Vermögenswerte Wertschöpfungsketten verkürzen oder zuvor ausgelagerte strategische Aktivitäten wieder in das Unternehmen integrieren.

Abbildung 18 stellt eine stilisierte „klassische“ lineare Wertschöpfungskette einem CBM-System gegenüber. In linearen Wertschöpfungsketten verdichtenden sich Güterströme über unterschiedliche Zulieferstufen hin zu Erstausrüstern und dem Handel. Eine derartige Wertschöpfungskette kann geographisch stark verteilt sein, in Abhängigkeit von Kosten- oder technologischen Vorteilen, die Hersteller in unterschiedlichen Gliedern der Wertschöpfungskette haben. Spezifische technische Fähigkeiten und Spezialisierungsvorteile führen aber zu einer Persistenz in diesen Spezialisierungsprofilen und damit zu relativ stabilen geographischen Mustern in den Warenströmen. Vor allem bei spezifischen und technisch anspruchsvolleren oder einzigartigen Komponenten bestehen durch notwendige gemeinsame Investitionen zwischen Zulieferern und Abnehmern etablierte und langfristige Geschäftsbeziehungen (vgl. z.B. Nootboom 2003). Damit zeigen diese Warenströme auch auf der Ebene einzelner Unternehmen über die Zeit und geographisch relativ stabile Verflechtungsmuster, die sich aufgrund der Diversifizierungsbestrebungen von Unternehmen und des globalen Wettbewerbs dennoch über die Zeit verändern, ausweiten und geographisch verschieben können.

Vollkommen digitalisierte und virtualisierte Fertigung ermöglicht eine starke Dezentralisierung von Fertigungsprozessen und damit eine geographische Streuung der Wertschöpfungsketten oder den Aufbau paralleler regionaler Wertschöpfungsketten.

CBM-Systeme reflektieren die zunehmende Bedeutung von immateriellen Wirtschaftsgütern und Anlagen sowie Investitionen in der Industrie. Tatsächlich haben Investitionen in F&E, in spezifische Geschäfts- oder Vertriebsmodelle, spezifische Software oder Algorithmen, Designs, organisatorische Abläufe (z.B. in Logistik) oder den Kundenstock, relativ zu klassischen Investitionen in tangible Wirtschaftsgüter, also Maschinen, Anlagen oder Gebäude zugenommen und übersteigen Schätzungen zufolge letztere in einigen Ländern bereits (vgl. Haskel – Westlake 2018). CBM-Systeme eignen sich besonders dann als Fertigungsparadigma, wenn immaterielle Wirtschaftsgüter und nicht mehr traditionelle Produktions- oder Vertriebssysteme für den Wettbewerbsvorteil eines Erstausrüsters ausschlaggebend sind. Sie weichen daher von linearen Wertschöpfungsketten ab, mit potentiell bedeutenden Auswirkungen auf Logistikketten und Warenströme.

Erstausrüster agieren in diesem Fall als Systemintegratoren, die breite Fähigkeiten haben, Produkte zu entwickeln, sich in ihrer Fertigung aber auf einige Schlüsselkomponenten fokussieren (vgl. Brusoni – Prencipe – Pavitt 2001). Durch den Umstand, dass von technologischen Prüfungen, spezifischen F&E Aktivitäten, Ressourcenplanung, bis hin zu Produktion, Logistik und Transport alle Aktivitäten potentiell ausgelagert und als Dienstleistung zugekauft werden können, entstehen Unternehmen, die selbst über keine oder nur sehr spezialisierte Fertigungskapazitäten und -fähigkeiten verfügen (müssen). Da Produkte für spezifische geographische Märkte direkt vor Ort von Dienstleistern erzeugt, zusammengebaut

und geliefert werden können, nimmt die geographische Verteilung der Warenströme zu und verdichtet sich nicht mehr an den Standorten spezifischer Zulieferer oder Erstausrüster. Vielmehr werden Produkte vor Ort zusammengebaut und ausgeliefert, wobei die einzelnen Komponenten, wiederum ebenfalls vor Ort, von Dienstleistern gefertigt werden (können). Es entstehen dadurch (für eine gegebene globale Nachfrage nach einem spezifischen Produkt) geographisch noch weiter verzweigte und vor allem auch mit Blick auf Losgrößen kleinteiligere Lieferketten und Warenströme, die sich neben traditionellen Lieferbeziehungen entwickeln können.

Kommt in dieser verteilten Lieferkette auch 3-D Druck zum Einsatz, so können einzelne Teile der dargestellten Lieferketten keine Zwischenlager und Transporte mehr erfordern, sondern direkt in der Nähe der oder direkt bei der Endmontage gefertigt werden, wodurch sich der Frachtverkehr auf das lokale Umfeld des Endnutzers der entsprechenden Teile verschiebt.

4.3 Digitalisierungsaffinität und -intensität unterschiedlicher Branchen

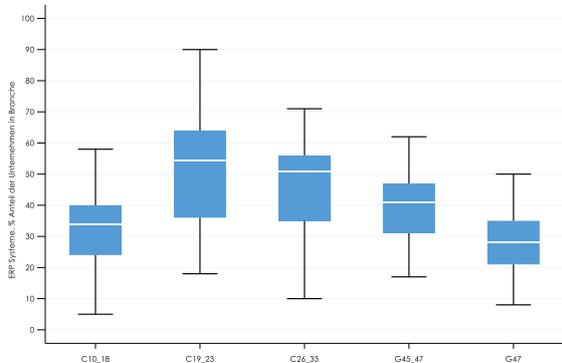
Es stellt sich die Frage, inwieweit unterschiedliche Branchen der Sachgütererzeugung zur Nutzung von Industrie 4.0 Technologien neigen. Unterschiede in den technologischen Paradigmen und Fertigungstechnologien, der typischen Qualifikationsstruktur und anderen branchentypischen Eigenschaften führen zu systematischen Unterschieden in der Intensität der Nutzung digitaler Technologien. Dies wurde in unterschiedlichen Industrieklassifikationen (vgl. Textkasten 3) gezeigt, die nicht auf die Nutzung von Industrie 4.0 Technologien fokussiert waren. Dennoch ist davon auszugehen, dass diese Beobachtungen auch auf Industrie 4.0 Technologien zutreffen. Damit würde die Branchenstruktur einer Volkswirtschaft auch maßgeblich das Ausmaß der Auswirkung der Verbreitung von Industrie 4.0 Technologien auf die Nachfrage nach Güterverkehrsdienstleistungen bestimmen.

Die Datenlage erlaubt es derzeit nicht, eine systematische, kausale Analyse der Auswirkung der Nutzung von Industrie 4.0 Technologien die Nachfrage nach Güterverkehrsdienstleistungen durchzuführen. Es gibt dennoch Befragungen, die in unterschiedlichem Detailgrad Auskunft über die Verbreitung unterschiedlicher Industrie 4.0 Technologien geben. In diesem Abschnitt werden Auswertungen von zwei unterschiedlichen Datenquellen präsentiert: Abbildung 19 präsentiert eine Auswertung der Befragung zum Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien in Unternehmen der Europäischen Union, die von den nationalen statistischen Ämtern der EU Mitgliedsländer jährlich erhoben wird. Diese Erhebung erfasst die Nutzung unterschiedlicher Industrie 4.0 Technologien allerdings nicht systematisch. Daher könne die Daten nur ein unvollständiges Bild liefern. Abbildung 21 ist hingegen einer Auswertung des European Manufacturing Survey von 2018 entnommen, der seit 2001 im Dreijahresabstand in zwölf Ländern durch ein Konsortium von Forschungsinstituten (in Österreich dem AIT) erhoben wird. Diese Datenquelle enthält zwar detailliertere Information zur Nutzung Industrie 4.0 relevanter Technologien, ist aber nicht allgemein zugänglich.

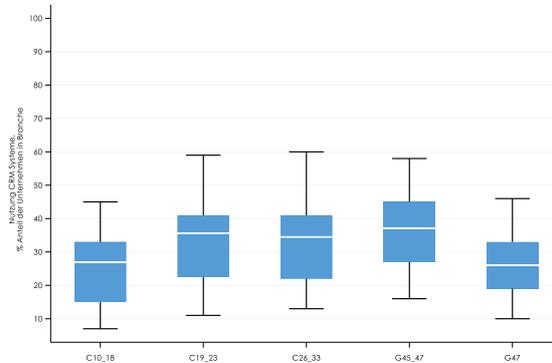
Abbildung 19 stellt die Nutzung einiger für die Einführung von Industrie 4.0 wichtiger Technologien in unterschiedlichen Wirtschaftszweigen über alle EU Länder hinweg dar, um systematische, industriespezifische Anwendungsmuster zu erkennen. Die Daten beziehen sich auf die jeweils letztverfügbare Befragungswelle, in der die entsprechende Information erhoben wurde. Für die meisten Indikatoren ist das das Jahr 2017. Die Daten liegen nur für breit aggregierte Branchengruppen vor. In der obersten Zeile wird die Nutzung von Unternehmensressourcenplanungssoftware (ERP, wie z.B. SAP) und Kundenbeziehungsmanagementsystemen (CRM, wie etwa Oracle Sales Cloud) dargestellt. Derartige Systeme sind relativ stark verbreitet. Der Median der Anteile der Unternehmen, die ERP verwenden, schwankt EU-weit zwischen knapp unter 30 und über 50%. Diese Systeme sind vor allem in technologieintensiveren Branchen der Sachgütererzeugung verbreitet und weniger im Handel oder Sektoren der Sachgütererzeugung mit geringerer Technologieintensität. CRM Systeme werden insgesamt weniger genutzt. Die Anteile der Unternehmen, die derartige Systeme verwenden, schwankt über Industrien und EU-Länder hinweg zwischen 25 und knapp unter 40% im Median. Die Nutzung ist hier erwartungsgemäß ausgeprägter im Handel.

Abbildung 19: Nutzung Industrie 4.0 relevanter Technologien in der Sachgütererzeugung

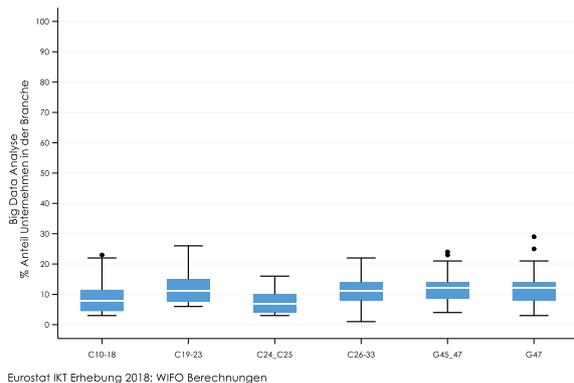
ERP Systeme



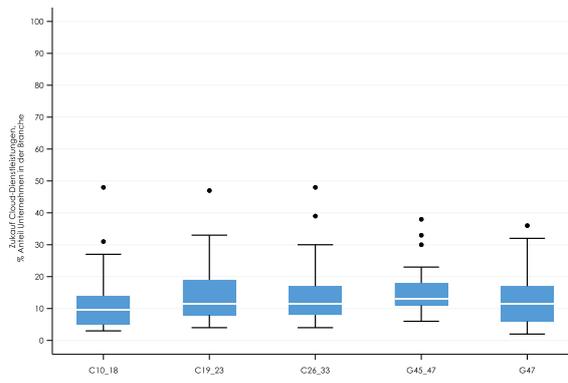
CRM Systeme



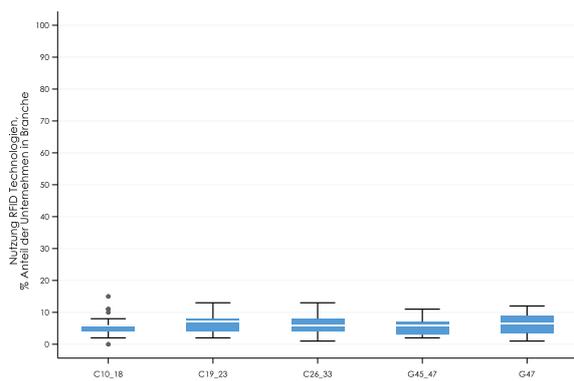
Big Data Analyse



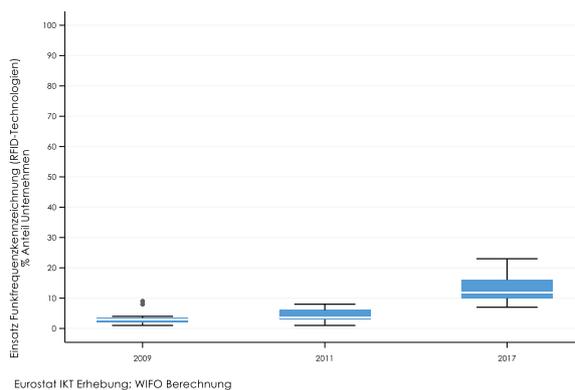
Nutzung von Cloud Dienstleistungen



Nutzung RFID Technologien...



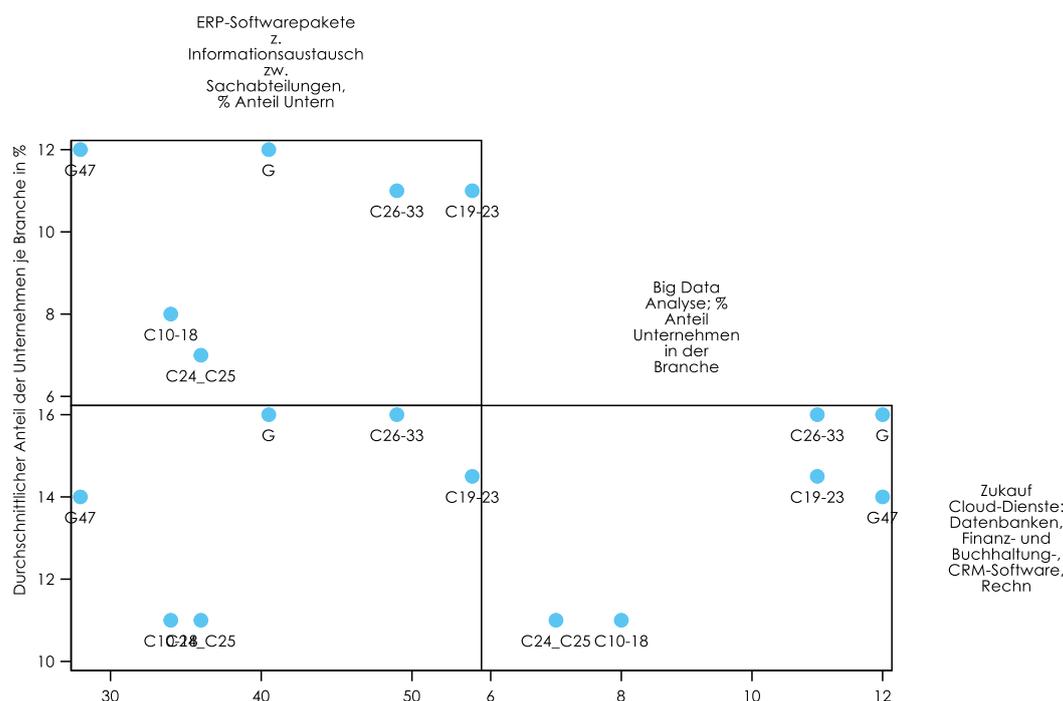
...über die Zeit



Q: Eurostat IKT Befragung 2017; WIFO-Berechnungen. Anm: C10-18: Lebensmittel, Textilien, Papier, Druck; C19-23: Erdöl, Kunststoff, Chemie; C26-33: Elektrotechnik, Maschinenbau, Fahrzeugbau, andere; G45-47: Handel; G47: Einzelhandel

Abbildung 19 zeigt, dass die Nutzung anderer wichtiger Industrie 4.0-affiner Technologien, wie Big Data Analyse, die Nutzung von Cloud gestützten Dienstleistungen oder auf RFID Sensoren aufbauende Technologien, bislang nur sehr geringe Verbreitung erfahren hat. Trotzdem zeigen die Daten zur RFID Nutzung, dass sie sich über die Zeit doch stark beschleunigt hat und von Anteilen, die 2009 EU-weit über alle Industrien hinweg unter 5% lagen, bis 2017 auf (über die EU Länder hinweg) auf 5 bis 25% stieg.

Abbildung 20: Korrelationsmuster in der Nutzung Industrie 4.0 relevanter Technologien in der Sachgütererzeugung



Q: Eurostat IKT Befragung 2017; WIFO-Berechnungen. Anm: C10-18: Lebensmittel, Textilien, Papier, Druck; C19-23: Erdöl, Kunststoff, Chemie; C24-25: Metallwaren; C26-33: Elektrotechnik, Maschinenbau, Fahrzeugbau, andere; G45-47: Handel; G47: Einzelhandel

Abbildung 20 zeigt die Korrelationsmuster zwischen den unterschiedlichen Adoptionsraten zwischen den Wirtschaftssektoren über die EU Länder hinweg. Die Muster deuten auf systematische Unterschiede in der Nutzung wichtiger Industrie 4.0-affiner Technologien zwischen Wirtschaftszweigen hin. Im Handel, in der Kunststoff- und der chemische Industrie, der Elektrotechnik- und Computerindustrie, sowie im Maschinen- und Fahrzeugbau werden derartige Technologien bereits intensiver genutzt, als etwa in der Stahl- und Metallwarenindustrie und anderen Industrien mit geringerer Technologieintensität, wie der Holz- oder Papierindustrie.

Stellt man dieses Ergebnis der Exportspezialisierung der österreichischen Industrie gegenüber (vgl. Abbildung 9, S.38), so zeigt sich, dass mit Ausnahme der metallherzeugenden und -

verarbeitenden Industrien, der Warenhandel besonders stark in Branchen mit einer höheren Digitalisierungsintensität konzentriert ist. Dies wird auch durch andere Studien unter Verwendung anderer Industrieklassifikationen bestätigt (vgl. z.B. Hölzl et al 2019; Gönenç – Guérard 2017).

Abbildung 21: Nutzung digitaler Technologien in der sachgütererzeugenden Industrie in Österreich 2018 und geplanter Einsatz bis 2021



Q: Zahradnik et al (2019), S.9.

Industrieroboter für Fertigung und Handhabungsprozesse, 3-D Druck für Prototypenentwicklung und die Fertigung von (Klein-)Serien, sowie Big-Data und Verfahren der Künstlichen Intelligenz haben bislang in der österreichischen Sachgütererzeugung nur eine sehr geringe Verbreitung erfahren. Dennoch besteht auch in diesen Technologien die Absicht, in den kommenden Jahren die Nutzung auszuweiten. Dachs et al (2019) zeigen, dass vor allem der 3-D Druck, wenngleich von einem geringen Niveau startend, vor allem auch in Fertigungsprozessen eine rasche Ausweitung in der Nutzung erfahren hat und auch weiter starke Zuwächse erfahren wird. Angesichts der Tatsache, dass der 3-D Druck von allen Industrie-4.0-Technologien das größte disruptive Potential für die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen hat, ist diese Entwicklung bemerkenswert, wenngleich sich noch nicht abzeichnet, dass diese Technologien in absehbarer Zukunft auch für Großserien verwendet werden wird. Potentiell disruptive Effekte würden aber tendenziell erst in diesem Fall eintreten.

Abbildung 21 spiegelt die Erkenntnisse aus Abbildung 19 für Österreich mit einem höheren Detailgrad weitgehend wider. ERP Systeme, Technologien zur Automatisierung von Produktion und Logistik, sowie für den elektronischen Austausch von Daten mit Kunden und Lieferanten sind weit verbreitet und werden in den kommenden Jahren weitere Verbreitung erfahren. Die Studie von Hölzl et al 2019, S.63 ff., zeigt, die österreichische Industrie in der Nutzung von Industrie 4.0-affinen Technologien überdurchschnittlich abschneidet, aber nicht im Spitzenfeld der Länder liegt. In der Nutzung von ERP-Systemen und Technologien zur Wertschöpfungskettenintegration ist der sachgütererzeugende Sektor in Österreich aber unter den Top-5 Nutzern in der EU. Industrie 4.0-Technologien werden in Österreich am stärksten in mittleren bis großen Unternehmen genutzt, die auch für den größten Teil des Warenverkehrs verantwortlich sind.

Mit Ausnahme der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrien, ist der Warenhandel in Österreich besonders stark in Branchen mit einer höheren Digitalisierungsintensität konzentriert. Die Nutzung von Industrie 4.0 affinen Technologien ist im europäischen Vergleich überdurchschnittlich hoch, liegt aber nicht im Spitzenfeld.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich trotz der unzufriedenstellenden Datenlage systematische Unterschiede in der Nutzung digitaler Technologien zwischen den Wirtschaftssektoren erkennen lassen. Industrie 4.0-affine Technologien sind bislang noch wenig verbreitet, sodass eine Analyse der Auswirkung der Digitalisierung in der sachgütererzeugenden Industrie auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen noch nicht möglich ist. Es zeigt sich jedoch, dass die Verbreitung dieser Technologien teilweise sehr dynamisch vonstattengeht und vor allem auch in Branchen stattfindet, die einen großen Anteil an der industriellen Wertschöpfung in Österreich haben (z.B. Maschinen- und Fahrzeugbau).

Textkasten 3: Die WIFO und OECD IKT Industrieklassifikationen

Die OECD (Calvino et al. 2018) und das WIFO (Peneder 2020) haben auf der Grundlage unterschiedlicher Datenquellen Klassifikationen für die Digitalisierungsintensität der Wirtschaftssektoren entwickelt.

Die OECD konstruiert ihre Klassifikation auf der Grundlage von Daten zu materiellen und immateriellen IKT-Investitionen (d.h. Software), den IKT-Gütern und -Dienstleistungen in den Vorleistungen, den Bestand an Robotern je Hunderte von Beschäftigten, den Anteil der IKT-Spezialisten an der Gesamtbeschäftigung und dem Anteil des Umsatzes aus Online-Verkäufen. Die Taxonomie umfasst insgesamt 36 Sektoren der ISIC-Revision 4 für den Zeitraum von 2001 bis 2015 für zwölf OECD Länder.

Die Sektor Klassifikation des WIFO verwendet hingegen detaillierte Daten zum Einsatz von IKT-Spezialisten aus der Europäischen Arbeitskräfteerhebung (AKE) von Eurostat für den Zeitraum 2011 bis 2016 gewonnen wurden, die die gesamte Europäische Union (EU28) abdeckt. Bei den Daten handelt es sich um eine geschichtete Stichprobe, die auf der Ebene der einzelnen Wirtschaftszweige (NACE Rev. 2, zweistellig) repräsentativ ist. Der Schlüsselindikator ist der geschätzte Anteil der IKT-Fachkräfte an der Gesamtbeschäftigung. Eurostat definiert IKT-Fachkräfte als "Arbeitnehmer, die in der Lage sind, IKT-Systeme zu entwickeln, zu betreiben und zu warten, und für die die IKT den Hauptteil ihrer Arbeit ausmachen". Auch hier wurden vier verschiedene Gruppen von Sektoren definiert. Dabei handelt es sich um Sektoren mit geringer, mittlerer, hoher (Nutzer) und hoher (Hersteller) IKT-Expertenintensität. Wie Hölzl et al (2019) zeigen, entfielen im Jahr 2017 60,8 % der Gesamtbeschäftigung in Österreich auf Sektoren mit geringer IKT-Intensität (2008: 60,3 %), 24,1 % auf Sektoren mit mittlerer IKT-Intensität (2008: 24,8 %), 11,8 % auf Sektoren mit hoher IKT-Nutzung (unverändert gegenüber 2008) und 3,3 % auf IKT-produzierende Sektoren (2008: 3,1 %).

Die Zuteilung der Wirtschaftssektoren zu den beiden Klassifikationen ist in Anhang III dargestellt. Beide Klassifikationen werden in den Auswertungen in Kapitel 5 verwendet.

4.4 Zusammenfassung und Arbeitshypothesen zur Auswirkung der Digitalisierung auf die Nachfrage nach Gütertransportleistungen

Digitale Technologien wie das Internet der Dinge, additive Fertigung (3D-Druck) oder das Cloud Computing wurden durch den exponentiellen Anstieg von Rechenleistung, sowie durch die Erhöhung der Bandbreite in Informations- und Telekommunikationsnetzwerken ermöglicht. Sie haben bereits die Gewohnheiten der Verbraucher verändert, da der Zugang zu Online-Verkaufsplattformen durch internetfähige Geräte die Möglichkeit bietet, jedes gewünschte Produkt oder jede gewünschte Produktvariante zu finden und direkt in kurzer Frist weltweit zu beziehen. Die modernen digitalisierten Lagerhaltungs- und Logistikmodelle der großen Online-Händler haben dies ermöglicht. Auf der Angebotsseite ermöglichen digitalen Technologien Unternehmen einen leichteren Zugang zu einem globalen Markt. Es wird einfacher, Produkte zu geringen Kosten zu produzieren, zu bewerben und zu vertreiben. Dadurch steigt auch die Produktvielfalt auf der Angebotsseite.

Durch die zunehmende globale Verflechtung wirtschaftlicher Aktivitäten und die Zunahme des globalen Konkurrenzdrucks differenzieren Unternehmen ihr Angebot kontinuierlich: Sie müssen entscheiden, wo sie entlang der Wertschöpfungskette konkurrieren, neue Serviceangebote in Betracht ziehen und ihre geographische Präsenz kontinuierlich neu bewerten. Die Fähigkeit, rasch neue Produkte am Markt einzuführen, hat als Wettbewerbsfaktor in den vergangenen Jahren weiter an Bedeutung gewonnen.

Der kurze Überblick über die möglichen Auswirkungen von digitalen Technologien auf Fertigung und Unternehmenslogistik von Industrieunternehmen in diesem Kapitel legt den Schluss nahe, dass diese den Prozess der fortschreitenden Flexibilisierung der Produktion und der Fähigkeit, durch neue oder angepasste Produkte rasch auf Änderungen des Marktes reagieren zu können (und dabei gleichzeitig Kapital- und Arbeitseinsatz zu minimieren), vertiefen und beschleunigen. Damit ist davon auszugehen, dass die in Abschnitt 3 beschriebenen Entwicklungen durch die Digitalisierung insgesamt begünstigt und beschleunigt werden. Womit sich auch die dort gezogenen Schlussfolgerungen über die Auswirkung der Entwicklungen des Warenhandels auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen auch auf die Digitalisierung übertragen lassen, wenngleich besonders mit Blick auf die Entwicklungs- und Einsatzpotentiale des 3-D Drucks disruptive Entwicklungen möglich sind.

Es ist davon auszugehen, dass die in Abschnitt 3 beschriebenen Entwicklungen durch die Digitalisierung insgesamt begünstigt und beschleunigt werden. Mögliches disruptives Potential kommt vom 3-D Druck und neuen Logistikmodellen. Das wird aber vom weiteren Verbreitungsprozess dieser Technologien abhängen.

Es ist zu diesem Zeitpunkt noch schwer abzuschätzen, wie sich die fortschreitende Digitalisierung von Produktion und Unternehmenslogistik in der sachgütererzeugenden Industrie auf den

Güterbahnverkehr auswirken wird. Einerseits sind wichtige komplementäre Infrastrukturinvestitionen, wie etwa der Ausbau von mobilen 5G Netzwerke, noch nicht oder nur sehr beschränkt durchgeführt worden. Diese sind aber notwendig, um die Potentiale der Technologien des Internet der Dinge voll auszuschöpfen. Damit ist zu erwarten, dass umfangreiche Auswirkungen erst dann entstehen werden, wenn die 5G Netzwerke in Österreich und bei den wichtigsten Handelspartnern ausgerollt worden sind.

Ein weiteres Problem bei der Einschätzung stellt die unzureichende Verfügbarkeit repräsentativer Daten zur Nutzung der unterschiedlichen Technologien sowohl auf Unternehmens- oder Industrieebene dar. Die Analyse eines kausalen Zusammenhangs zwischen der Digitalisierung in Produktion und Unternehmenslogistik und Veränderungen im Warenhandel und der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen wäre selbst bei guten Daten auf Unternehmensebene methodisch schwierig. Doch bei der vorliegenden Datenlage ist selbst die Durchführung einfacher Korrelationsanalysen unzuverlässig.

Zuletzt muss auch festgehalten werden, dass die Beobachtungen in diesem Kapitel nur schwer generalisierbar sind. Wenngleich die Datenlage zur Nutzung von digitalen Technologien insgesamt nicht zufriedenstellend ist, so zeigt sich dennoch, dass die Betroffenheit bzw. die Digitalisierungsaffinität zwischen den unterschiedlichen Sektoren starke Unterschiede aufweisen. Damit ist auch von sektorspezifischen Auswirkungen auf die Nachfragemuster nach Logistikdienstleistungen auszugehen. Die Stärke der möglichen Auswirkungen der Digitalisierung in Fertigung und Unternehmenslogistik auf die gesamtwirtschaftlich nachgefragte Transportleistung wird damit auch maßgeblich von der industriellen Spezialisierung bestimmt.

Die vorliegende Analyse konzentriert sich auf die Nutzung und Entwicklungspotentiale digitaler Technologien in der dem Logistiksektor nachgelagerten Wertschöpfungskette (vgl. Abschnitt 3.1, S.16). Dies betrifft die Verflechtung zwischen den Sektoren Land- und Wasserverkehr, Lagerhaltung und unternehmensnahe Dienstleistungen auf der einen Seite und der Sachgütererzeugung und dem Großhandel auf der anderen Seite.

Hier kann grundsätzlich kann zwischen **direkten und indirekten Wirkungen der Digitalisierung** in Fertigung und Unternehmenslogistik in der Sachgütererzeugung (Industrie 4.0) auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen der Industrie unterschieden werden (vgl. Textkasten 1, S. 23):

Indirekte Wirkungen beziehen sich auf die Wirkung, die die die Verbreitung von Industrie 4.0 Technologien auf den Warenhandel der Sachgütererzeugung und die Eigenschaften der gehandelten Produkte haben, so wie sie in Abschnitt 3 dargestellt wurden. Direkte Wirkungen beziehen sich hingegen auf Effekte, in denen die Verbreitung von Industrie 4.0 Technologien in der Sachgütererzeugung direkt die Präferenzen oder die nachgefragten Transportvolumina verändern, ohne dass sich der Warenhandel oder Produkteigenschaften verändern. Direkte Effekte stellen sich, z.B., ein, wenn Komponenten für ein Endprodukt im 3-D Druckverfahren direkt am Ort der Endmontage oder in der Nähe des Kunden gefertigt werden und damit Lieferketten verkürzt werden. Direkte und indirekte Effekte werden in der Praxis schwer auseinanderhalten zu sein, die Einteilung hilft aber das Phänomen analytisch einzuordnen.

Aus der Literaturanalyse können folgende Arbeitshypothesen zur indirekten Wirkung von Industrie 4.0 auf die Nachfrage nach Güterdienstleistungen entwickelt werden, die in vertiefenden Analysen überprüft werden sollen:

- Die durch IoT verbesserte Kontrolle über Produktionsabläufe, Lieferketten und Zulieferer, wird die Verbesserung der Produktqualität ermöglichen;
- Der vereinfachte Markteintritt durch digitale Plattformen sowie die bessere Kontrolle über Lieferprozesse kann die Streuung der Zielmärkte erhöhen;
- Die durch Big Data und die Nutzung von Künstlicher Intelligenz eingeleiteten Verbesserungen in der Optimierung von Wertschöpfungsketten und global Sourcing führt zur Zunahme der mittleren (zu-)Lieferdistanzen über alle Verarbeitungsstufen einer Wertschöpfungskette hinweg, mit geographisch stark fragmentierten Zulieferketten;
- Die umfassende Nutzung von Produktions- und Kundendaten in digitalen Optimierungsverfahren ermöglicht raschere Produktzyklen, eine verstärkte Customisierung und Personalisierung von Produkten und die Produktvielfalt und Marktdifferenzierung erhöhen und die durchschnittliche Produktlebensdauer senken können;
- Die Komplexität der produzierten Waren wird in einigen Industrien weiter steigen, da komplexe Wertschöpfungsketten besser kontrolliert und gesteuert werden können und dadurch auch Produkte mit umfangreicheren Funktionen möglich werden; 3-D Druck kann aber zu einer Senkung der Produktkomplexität aufgrund umfangreichen Re-designs von Produkten beitragen.
- Höhere Marktdifferenzierung, höhere Produktqualität und höhere Produktkomplexität erhöhen potentiell die Produktpreise durch geringere (temporäre) Konkurrenz in Nischenmärkten
- Höhere Produktwerte/Einheitswerte in denen Transportkosten stellen einen zunehmend verschwindenden Kostenanteil dar; damit steigt die Notwendigkeit rascher Umschlagzeiten.

Die durch Industrie 4.0 ermöglichte, weitere Steigerung der Produktdifferenzierung und der Personalisierung von Produkten könnte die produzierten Losgrößen und damit auch die durchschnittliche Größe verfrachteter Gebinde senken und eine weitere Zunahme von Stückgutfracht bewirken. Die damit ermöglichte verstärkte Abschöpfung der Zahlungsbereitschaft von Kunden könnte zu einer weiteren Steigerung der Einheitswerte der verfrachteten Waren führen und diese Prozesse weiter begünstigen. Auch eine steigende Marktdifferenzierung könnte bei einem gegebenen Handelsvolumen die gleichen Effekte zeitigen. Teilweise werden die angenommenen Auswirkungen auch durch andere digitale Technologien, wie den 3-D Druck konterkariert. Damit wird auch die weitere Entwicklung des

3-D Druck und die Verbreitung dieser Technologie in Fertigung und Logistik eine wichtige Rolle spielen.²⁰

Direkte Effekte auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen, die sich durch die Verbreitung digitaler Technologien in Fertigung und Logistik einstellen:

- Durch die Digitalisierung steigt die Bedeutung des Dienstleistungshandels auch in der Sachgütererzeugung als komplementäre Leistungen weiter, damit steigt die Bedeutung des Handels mit intangiblen Gütern, die keinen materiellen Transport erfordern.
- Crowdsourcing von Frachtdienstleistungen durch Industrieunternehmen und Großhändler sowie die zunehmende Verbreitung von Logistikansätzen, wie etwa das Vendor Managed Inventory System (VMI)²¹ verändern das Anforderungsprofil an Logistikdienstleister und begünstigen das weitere Wachstum von Logistik-Dienstleistern (Logistic Service Providers, LSP) sowie die Ausdifferenzierung des Logistiksektors in ein mehrstufiges (kapillares) Logistiksystemen.²² Diese Entwicklungen würden insgesamt den Containerverkehr und den LKW-Transport begünstigen, doch auch die Bahn könnte (nicht zuletzt im Containertransport) Marktanteile gewinnen.
- Die Möglichkeit des Crowdsourcing und Virtualisierung von Produktion und Logistikketten, wie auch die Nutzung von 3-D Druck erhöhen die geographische Verteilung von Produktions- und Logistiksystemen, indem Fertigungs- und Lieferprozesse sich verstärkt zum Ort der Endmontage und des Endverbrauchs hin verschieben.²³ Dies kann insgesamt zu einem Rückgang des Frachtaufkommens und damit der Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen führen.

Übersicht 3 fasst die Arbeitshypothesen nochmals tabellarisch zusammen.

²⁰ . Es gibt zudem globale wirtschaftspolitische Entwicklungen, wie etwa die Zunehmende Unsicherheit von Lieferketten oder verstärkte strategische Überlegungen sowohl auf der Ebene von Unternehmen, wie auch von öffentlichen Einrichtungen, die Kontrolle Zuverlässigkeit kritische bzw. strategisch wichtige Zulieferketten zu behalten, und damit Reshoring oder Nearshoring und damit die Senkung der geographischen Dispersion zur Folge haben. Auch ist noch nicht absehbar, wie sich die Debatte zu digitaler Sicherheit und Datenschutz weiterentwickeln wird und sich auf die Diffusion digitaler Technologien in Fertigung und Logistik auswirken wird.

²¹ *Vendor Managed Inventory (VMI)* wurde ursprünglich von Walmart entwickelt und impliziert, dass jeder Lieferant das Lager des Abnehmers oder ein Lager eines Logistikers oder Kundendienstunternehmens mit neuen (Ersatz-)teilen beliefert, sobald die das Lagerhaltungssystem des Kunden, oder aber eine Maschine ein Signal aussendet, dass in einer gewissen Zeitspanne Teile notwendig werden und abgerufen werden.

²² Dazu gehören Logistikplaner, Frachtdienstleistungsvermittlern (Brokern), spezialisierte Dienstleister, die Bestellungen und Lieferung mit Stückgut konsolidieren und verteilen (regionalen/überregionalen) Netzwerken von Frächtern.

²³ Dies gilt, z.B., auch für freeze-point-delay oder Merger in Transit (MIT) Logistiksystemen. Freeze-point-delay bezieht sich auf die Endmontage eines Produktes zeitgerecht möglichst nahe am Punkt der Endnutzung. Bei MIT übernimmt ein Logistiker oder ein Montageunternehmen/-dienstleister die Verantwortung, im Auftrag eines Produktionsunternehmens anhand unterschiedlicher Komponenten kundenspezifische Produkte in Kundennähe zusammenzubauen und diese zu einem bestimmten Zeitpunkt auszuliefern.

Übersicht 3: Mögliche direkte und indirekte Wirkungen der Verbreitung von Industrie 4.0 Technologien in der Sachgütererzeugung auf die abgeleitete Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen

Wirkung auf die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen										
Indirekter Effekt					Wirkung					
(Annahme Verbreitung digitaler Technologie in Sachgütererzeugung steigt)										
	Handels- volumen	Einheits- werte	Produkt- komplexität	Produkt- qualität	Produkt- vielfalt	Intra- industrielle Speziali- sierung	Geogra- phische Verteilung des Handels	Transport- volumen ²⁴	begünstigter Verkehrsträger ²⁵	Transport- distanz ²⁶
IoT	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	Bahn (=/-) Straße (+/=)	+/=
Big Data/ KI	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	Bahn (=/-) Straße (+/=)	+/=
Robotik	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	+/=	Bahn (=/-) Straße (+/=)	+/=
3-D Druck	=/-	+/=	=/-	+/=	+/=	+/=	+/=	=/-	Bahn (=/-) Straße (=/-) lokal	=/-
Direkter Effekt										
IoT								+/=	Bahn (=/-) Straße (+/=)	+/=
Big Data/ KI								+/=/-	Bahn (=/-) Straße (+/=)	+/=/-
Robotik								+/=/-	Bahn (=/-) Straße (+/=)	+/=
3-D Druck								+/=/-	Bahn (=/-) Straße (=/-)	=/-

²⁴ Transportvolumen bezieht sich auf einen Anstieg der Nachfrage durch einen Anstieg des Warenverkehrs, der unabhängig von Preis und Serviceeigenschaften von Verkehrsträgern sind, vgl. Textkasten 1, S. 18.

²⁵ Annahme bezieht sich auf eine Wirkung des Faktors bei einem fixierten Handels- oder Transportvolumen und bei fixen relativen Transportpreisen (je Tonne-KM) der unterschiedlichen Verkehrsträger und bezieht sich damit auf durch Präferenzänderungen induzierte Verschiebungen der Nachfrage und Nachfrageanstiege, vgl. Textkasten 1, S. 18.

²⁶ Die Annahme bezieht sich auf die Transportdistanz über die gesamte Wertschöpfungskette eines Produktes.

5. Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen in Österreich: Input-Output-Analyse

5.1 Die Transportaffinität der Wirtschaftsbranchen

Die letzten Kapitel brachten, neben konzeptuellen Betrachtungen, eine Analyse des österreichischen Außenhandels in Hinblick auf Konzentration und Komplexität; in der Interpretation wurden diese als Indikatoren für die Bahnaffinität der einzelnen Güter verwendet – die Argumentation lief typischerweise über die Losgrößen und die Annahme, dass Losgröße und Bahnaffinität negativ korreliert sind. In diesem Kapitel wird nun versucht, die Transport- und Bahnaffinität auf Basis von detaillierten Input-Output-Tabellen bzw. auf Basis von Transportdaten direkt zu schätzen.

Neben einer sektoralen Betrachtung wird auch eine intertemporale Analyse unternommen: durch den Vergleich der Jahre 1995 (bzw. 2000) mit dem für die notwendige Datenbasis aktuellst verfügbaren Jahr 2015 wird untersucht, ob und wie sehr sich die Transport- und speziell die Bahnaffinität der österreichischen Wirtschaftsbereiche seit dem EU-Beitritt verändert hat. Ein Aspekt wird auch sein, diese Veränderungen mit dem „Digitalisierungsgrad“ der einzelnen Branchen zu korrelieren, um auf diese Weise die Stärke des Einflusses technologischer Qualitäten (in diesem Fall der „IKT-Nähe“) zu beleuchten.

5.1.1 Ein Versuch über sektorale Schienenaffinität – eine IO-Analyse

Aufkommens- und Verwendungstabellen (bzw. die davon abgeleiteten Input-Output-Tabellen) stellen auf detaillierter Branchenebene (typischerweise NACE-2-Steller, also für rund 70-80 Güter bzw. Sektoren) die Güterstruktur ihrer Produktion bzw. den dabei entstehenden Verbrauch an Vorleistungsgütern dar. Die direkt ablesbaren Werte zeigen dabei die unmittelbar (direkt) zugekauften Vorleistungsgüter: wenn ein Sektor (etwa der KFZ-Sektor) etwa 8 € an „Metallerzeugnissen“ bei einer Produktion von 100 € seines eigenen Produkts einsetzt, ist die Vorleistungsquote für dieses Produkt 8%. Mit dem „Metallerzeugnissen“ kauft er aber indirekt auch die Vorleistungen zu, die für dessen Produktion aufgewendet werden mussten – im Fall von Stahlwaren wären dies etwa Kohle und Erz bzw. Stahlschrott. Wurden für die Metallerzeugnisse, z.B., 15% an Stahl eingesetzt, und wurde dieser Stahl mit einem Einsatz von 5% an Eisenerz und 5% an Kohle erzeugt (alles in Werteinheiten gemessen), dann hat der KFZ-Sektor indirekt Eisenerz und Kohle im Ausmaß von $8\% \times 15\% \times 5\% = 0,06\%$ seiner Produktion verbraucht.

Dieser „indirekte“ Vorleistungsverbrauch kann mit Hilfe der Input-Output-Analyse vollständig zurückverfolgt werden; die mathematische Basis dabei ist üblicherweise die Leontief-Inverse, mit deren Hilfe dieses Zurückverfolgen eine einfache Matrizenmultiplikation darstellt:

$$q = L^{-1} x$$

q ist dann der sektorale Output, also jene Produktionswerte in allen Branchen, die für die Produktion von Vektor x notwendig sind, und zwar direkt wie indirekt. L beschreibt die sektoralen Abhängigkeiten und wird aus den Aufkommens- und Verwendungsmatrizen abgeleitet.

Je nach Ausgangstabelle enthält q nur die heimische Produktion oder auch die Importe, also in gewissem Sinn die „weltweite“ Produktion, die durch die Nachfrage x ausgelöst wird. „Weltweit“ ist hier allerdings mit Vorsicht zu interpretieren: nur auf Basis der österreichischen IO-Tabelle ist es nicht wirklich möglich, die indirekte Verflechtungen zwischen den Sektoren völlig zutreffend zu beschreiben, da die im Produktionsprozess einer bestimmten Branche eingesetzten Güter nicht in jedem Land gleich sind. Die „weltweiten“ Verflechtungen, die auf Basis der österreichischen IO-Tabelle geschätzt werden können, beruhen aber auf der (unzutreffenden) Annahme, dass diese Strukturen in jedem Land gleich sind, sind also ein fiktiver Vorleistungsverbrauch²⁷.

Diese Methode soll hier nun eingesetzt werden, um die „Bahnaffinität“ der österreichischen Branchen abzuschätzen. Dafür wurde eine Sonderauswertung der österreichischen IO-Tabelle von der Statistik Austria für das Jahr 2015 (das aktuellste Jahr, für das IO-Tabellen verfügbar sind) eingesetzt: dabei handelt es sich um eine Tabelle, bei der der NACE-2-Steller H49 „Landtransport“ in 6 3-Steller getrennt wird:

- 49A Eisenbahnverkehrsleistungen
- 49B Sonstige Personenbeförderungsleistungen im Landverkehr
- 49C Dienstleistungen des Taxibetriebs
- 49D Personenbeförderungsleistungen mit Standseil, Seilschwebbahnen
- 49E Güterbeförderungsleistungen im Straßenverkehr
- 49F Transportleistungen in Rohrfernleitungen

Damit ist es möglich, den (direkten und indirekten) Verbrauch an „Land-Verkehrsleistungen“ nach Verkehrsträgern getrennt zu bestimmen, und damit der „Bahnaffinität“ auf Branchenebenen einen Schritt näher zu kommen.

Die hier bestimmte „Bahnaffinität“ ist eine Upstream-Betrachtung und bezieht sich auf den Verbrauch im Produktionsprozess: wieviel Bahnleistungen werden von jeder Branche zugekauft. Die komplementäre Downstream-Betrachtung, also die Frage, wie werden die Produkte einer Branche typischerweise transportiert, folgt im nächsten Kapitel.

Vorerst aber einige andere Fakten, die sich aus den erwähnten Sonderauswertungen ableiten lassen, und die den Rahmen für die Transportwirtschaft in Österreich bilden:

²⁷ Multiregionale IO-Tabellensysteme, wie sie etwa WIOD (World Input-Output Database) bieten, sind hier wenig hilfreich: zum einen bieten sie keine Zerlegung der Transportleistungen in Bahn und Straße (für Österreich ist dies auch nur als Sonderauswertung verfügbar); zum anderen ist gerade die Abbildung der internationalen Transportspannen in diesen Systemen recht unbefriedigend gelöst, wie Streicher – Stehrer (2015) zeigen.

Übersicht 4: Kennzahlen der Transportwirtschaft, 2015

in Mio. €		Eisenbahn- verkehrsleistungen 49A	Sonstige Personenbeförderungs- leistungen im Landverkehr 49B	Dienstleistungen des Taxibetriebs 49C	Personenbeförderungs- leistungen m. Seilbahnen u. Skiliften 49D	Güterbeförderung- leistungen im Straßenverkehr 49E	Transportleistungen in Rohrfernleitungen 49F	Schifffahrtsleistungen 50	Luftfahrtleistungen 51	Lagerleistungen, sonst. DL für den Verkehr 52
Sektor	Produktionswert	3,864	3,263	708	1,691	6,292	572	123	3,147	11,190
	Vorleistungen	2,598	1,220	259	638	2,877	143	86	2,416	4,595
	Wertschöpfung	1,266	2,044	449	1,053	3,415	429	36	731	6,595
	Anzahl der Betriebe	33				6,546	4			
	Beschäftigungsverhältnisse	11,197				63,221	446			
Güter	gesamte Güterproduktion	3,698	3,176	704	1,451	6,029	543	111	3,009	10,072
	Lieferungen an Intermediärverbrauch	2,059	488	200	0	5,248	131	866	1,628	6,898
	Lieferungen an Endverbrauch	2,393	2,733	526	1,451	5,428	501	498	2,346	5,533
	davon: Exporte	922	49	30	49	4,997	501	467	874	2,888
	Importe des Intermediärverbrauchs	126	46	22	0	1,609	0	803	739	1,470
Importe des Endverbrauchs	628	0	0	0	3,037	90	450	227	889	

Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Bei einem Produktionswert von 3,9 Mrd. € erwirtschafteten die Eisenbahnunternehmen (Sektor 49A) 2015 1,3 Mrd. € an Wertschöpfung. Die Gesamtproduktion an Eisenbahnverkehrsleistungen betrug 3,7 Mrd. €²⁸, wovon 900 Mio. € exportiert wurden. Insgesamt 750 Mio. € an Eisenbahnverkehrsleistungen wurden (ausschließlich als Transportspannen auf österreichische Exporte) importiert.

Der Güter-Straßenverkehr in Österreich ist rund eineinhalb Mal größer: Die Unternehmen der Güterbeförderung im Straßenverkehr (49E) produzierten 6,3 Mrd. € an Umsatz und 3,4 Mrd. € an Wertschöpfung. Von den insgesamt in Österreich produzierten 6 Mrd. € wurden fast 5 Mio. € exportiert (typischerweise als Teil der Transportspannen von exportierten Gütern), andererseits wurden über 4,6 Mrd. € importiert (hier als Teil der Transportspannen von importierten Gütern).

Zu beachten bei diesem Vergleich ist, dass auf Basis dieser Daten nicht zwischen Personen- und Güterbeförderung auf der Schiene unterschieden werden kann. Die LSE (Leistungs- und Strukturhebung) erlaubt dies, und weist für 2015 folgende Aufteilung aus:

²⁸ Der Unterschied zum Produktionswert der Eisenbahnunternehmen rührt daher, dass diese auch andere Güter und Dienstleistungen herstellen (etwas Vermietungen, Reparaturen etc.). Außerdem können Eisenbahn-DL auch von Unternehmen anderer Branchen angeboten werden (die Branchenzugehörigkeit ergibt sich aus dem Haupt-Tätigkeitsfeld) – in sehr geringem Umfang war dies 2015 auch der Fall, lt. IOT wurden 2 Mio. € an Eisenbahnverkehrsleistungen vom Sektor Lagerei produziert. Wie erwähnt werden Beförderungsdienstleistungen, die von Unternehmen anderer Branchen für sich selbst erbracht werden, nicht in der IOT erfasst, da es sich dabei nicht um Markttransaktionen handelt.

Übersicht 5: Unternehmen der Güterbeförderung auf Straße und Schiene, 2015 und 2017

	Anzahl der Betriebe	Beschäftigte - insgesamt	Unselbständig Beschäftigte - insgesamt	Bruttolöhne und - gehälter	Betriebslöse insgesamt	Investitionen in Sachanlagen insgesamt
Eisenbahnverkehr (Güter) <H492>	22	7,494	7,485	405	2,025	144
Güterbeförderung im Straßenverkehr <H494>	6,588	59,902	53,512	1,559	9,563	377
Eisenbahnverkehr (Güter) <H492>	21	7,646	7,637	429	2,109	53
Güterbeförderung im Straßenverkehr <H494>	6,546	63,221	56,856	1,698	10,569	478

Q: Statistik Austria (Leistungs- und Strukturhebung LSE)

Die reine Güterbeförderung auf der Schiene brachte 2015 demgemäß einen Umsatz von 2,0 Mrd. €, die Güterbeförderung auf der Straße 9,5% Mrd. €. Beachtlich ist der Produktivitätsunterschied: erwirtschaftet die Bahn 270 Tsd. € pro Beschäftigtem, sind es im Straßentransport 170 Tsd. €.

5.1.2 Bahntransportleistungen im Produktionsprozess

Wie einleitend angekündigt, werden hier die IO-Berechnungen für den Verbrauch an Transportleistungen auf Branchenebene diskutiert. Unterschieden wird dabei zwischen direktem und indirektem („geronnenen“) Verbrauch einerseits, sowie den Verkehrsträgern Schiene und Straße (sowie Wasser und Luft). Die Ergebnisse werden dann verschiedenen Klassifizierungssystemen, die auf die Digitalisierungs- bzw. Technologieintensität abzielen (vgl. Abschnitt 4.3, Textkasten 3, S. 72), gegenübergestellt.

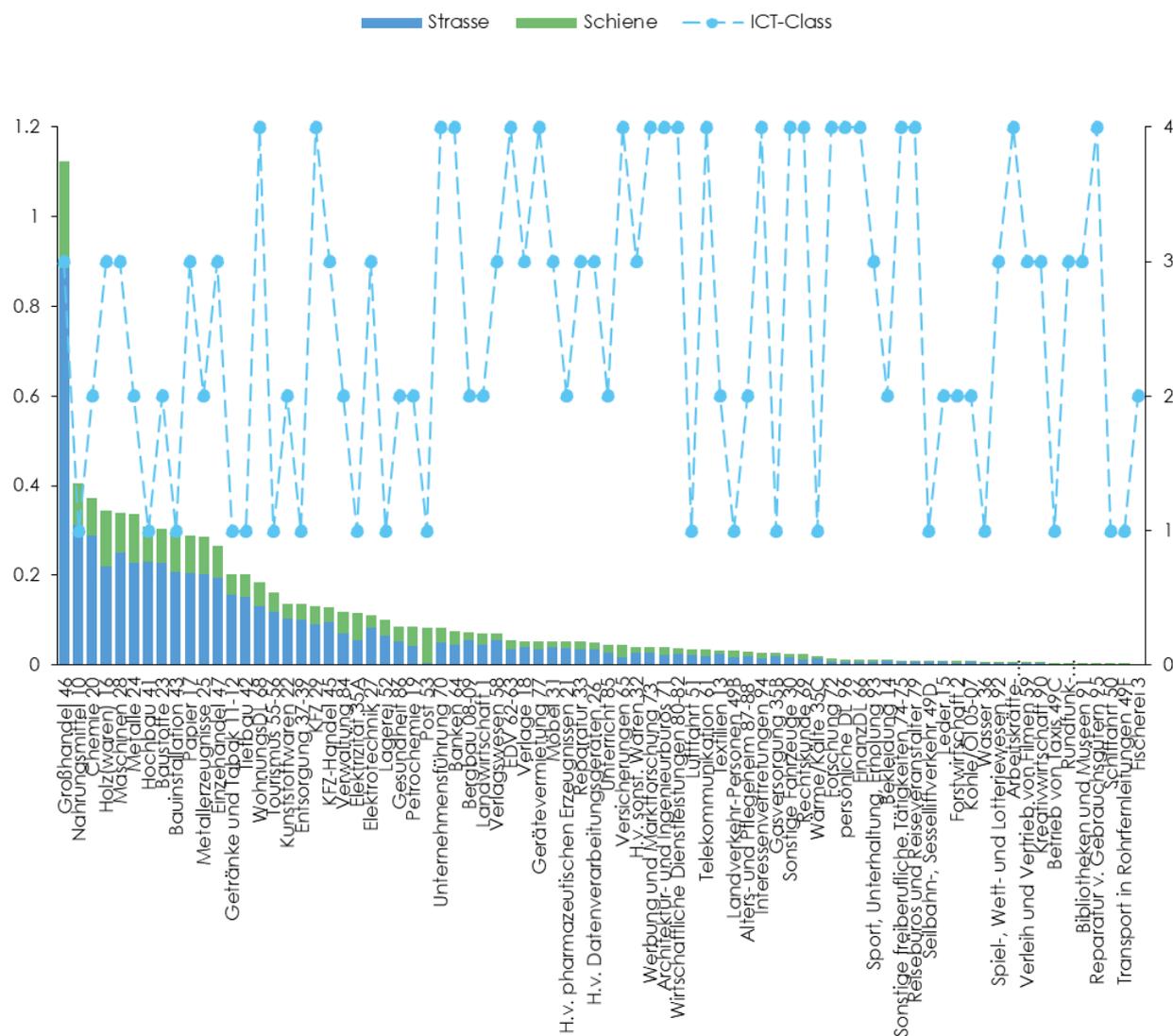
Dargestellt werden die direkten und indirekten Verflechtungen mit heimischen Sektoren, die Wirkungen der Importe auf die (ausländische) Wertschöpfung ist nicht berücksichtigt. Der Grund liegt in der oben erwähnten Gültigkeit für die in IO-Tabellen dargestellten Strukturen, dass sie nur für die darin abgebildete Region gültig sind, in diesem Fall also Österreich, und daher insbesondere nicht auf die in importierten Gütern „geronnenen“ Transportleistungen geschlossen werden kann.

Die folgenden Abbildungen zeigen die insgesamt mit heimischer Produktion und heimischen Vorleistungen verbundenen heimischen Transportleistungen, zum Einen die gesamten (direkten und indirekten) Straßen- und Schienentransporte, zum Anderen die Schienentransporte, getrennt nach direkten und indirekten Vorleistungen²⁹.

²⁹ Zu beachten ist, dass die sektoralen Werte nicht einfach addiert werden dürfen, um damit den Gesamtverbrauch an Transportleistungen zu ermitteln! Der Grund liegt darin, dass bei den indirekten Vorleistungen auch die direkten Vorleistungen der Zulieferer mitgezählt werden; bei Addition der direkten und indirekten Transportverbräuche der Einzelsektoren würde es daher zu Mehrfachzählungen kommen!

Abbildung 22: Mit sektorialem Output verbundene Transportleistungen

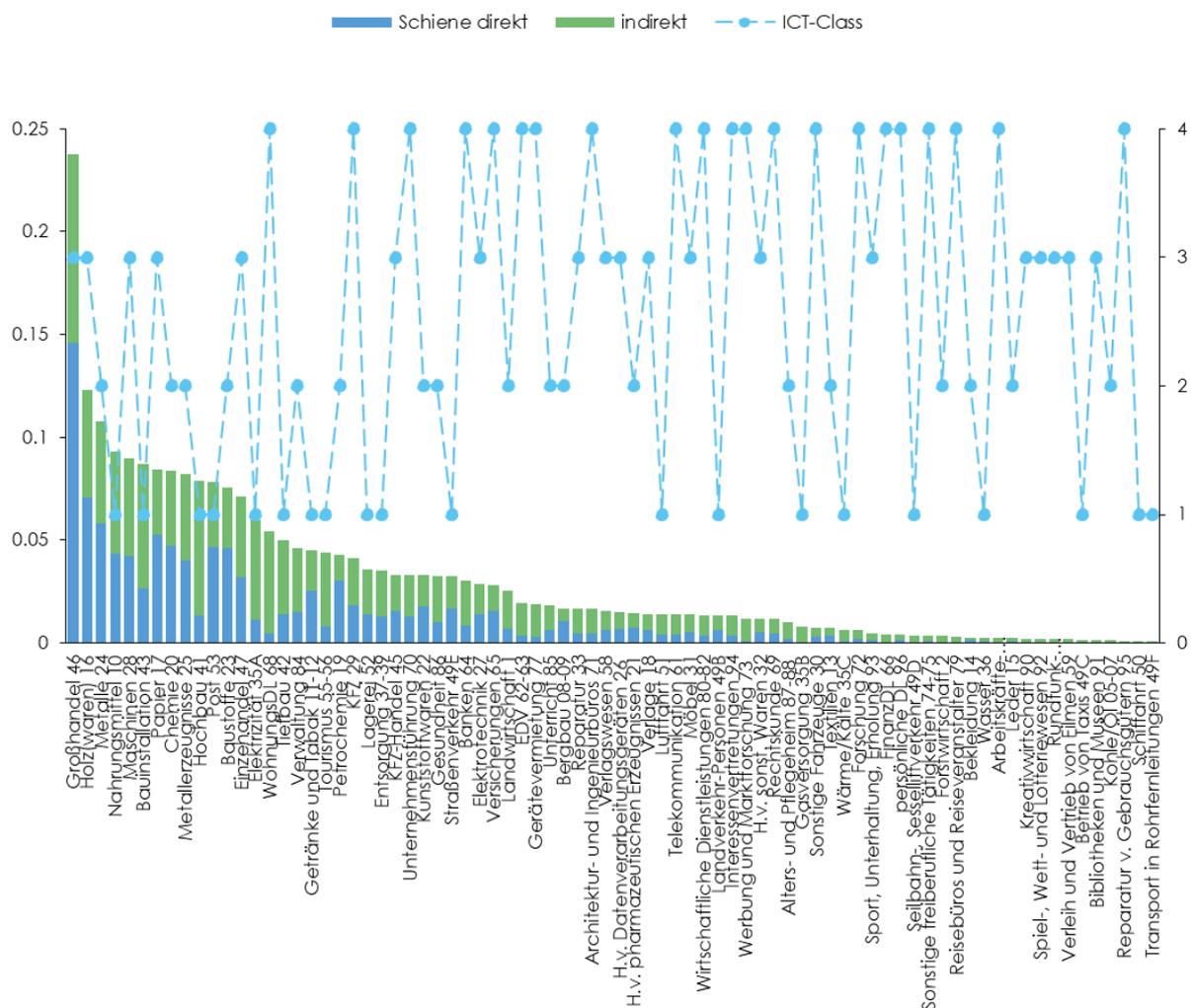
Direkt und indirekt bezogene Transportleistungen für Gesamtoutput



Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Abbildung 23: mit sektorialem Output verbundene Schienen-Transportleistungen

(in)direkt bezogene Schienen-Transportleistungen - Gesamtpoutput



Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Für beide Landtransportmodi, Schiene wie Straße, ist absolut gesehen der Großhandel der wichtigste Auftraggeber – nicht wirklich überraschend, werden doch viele Handelsbeziehungen über den Großhandel vermittelt (nicht nur jene zwischen Unternehmen, sondern auch – um einiges wichtiger – jene zwischen Produzenten und Einzelhändler, die vor allem den privaten Konsum bedienen). An Transportleistungen von Straße und Schiene zusammen verbrauchte der Großhandel 2015 rund 1,1 Mrd. €, nicht ganz 250 Mio. € davon an Bahntransporten. Von diesen wiederum werden nicht ganz 150 Mio. € direkt beauftragt, rund 100 Mio. € werden über Vorleistungszukäufe indirekt konsumiert. An 2. Stelle folgt die Holzindustrie, mit insgesamt nur noch 400 Mio. € an Transportleistungen im Landverkehr, 120 Mio. € davon auf der Bahn.

Der Großhandel ist mit rund 1,1 Mrd.€ verbrauchten Transportleistungen der größte Abnehmer von Gütertransportdienstleistungen in Österreich.

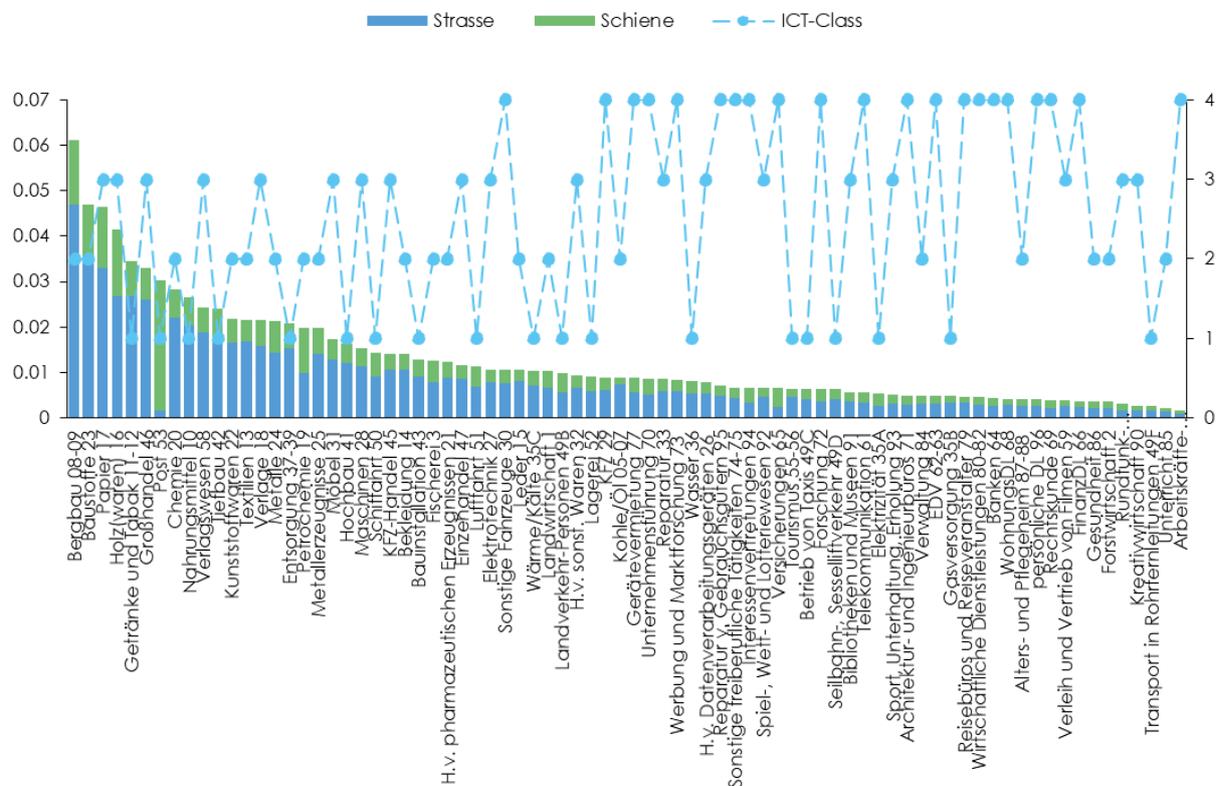
Der Konsum von Transportleistungen ist naturgemäß stark auf die Sachgüterbranchen konzentriert, vor allem über indirekte Transporte sind aber faktisch alle Sektoren Transportkonsumenten, wenn auch – v.a. im Fall von vielen Dienstleistungen – nur in sehr geringem Ausmaß. Überraschen mag der recht geringe Anteil von Transport- und spezielle Bahntransportleistungen in den Bergbausektoren: ist es im Fall der Erdöl- und Erdgasgewinnung vor allem die Tatsache, dass hier die Pipeline das wichtigste (Land)Transportmedium darstellt, ist es bei der Gewinnung von Steinen und Erden die besondere Organisation des Erzbergbaus: die IO-Tabellen verzeichnen nur marktmäßige Transaktionen; Transport mit eigenen Verkehrsmitteln werden nicht erfasst – damit fällt der Transport zwischen Erzberg und Hochofen nicht unter IO-relevante Verkehrsströme.

Diese Auswertungen sagen allerdings noch nichts Konkretes über die Transport- oder Bahnaffinität der einzelnen Sektoren aus: große Sektoren können auch bei geringem spezifischen Transportverbrauch relativ starke Transportnachfrage entwickeln. Deshalb wurden die Berechnungen der (in)direkten Transportnachfrage auch pro Outputseinheit ermittelt, also in Form eines %-Anteils am Produktionswert. Die Ergebnisse unterscheiden sich nicht völlig, aber doch merklich: die Dichotomie zwischen Sachgüter- und Dienstleistungsbereichen ist noch etwas markanter ausgeprägt; der Bergbau-Teilsektor Gewinnung von Steinen und Erden ist nun jener Sektor mit der höchsten Transportaffinität – die hier wohl immer noch unterschätzt wird: neben dem Sonderfall Eisenerzbergbau findet auch beim Schotterabbau oft der Transport mit eigenen Lastwagen statt, entweder durch das liefernde Schotterunternehmen oder das zukaufende Bauunternehmen. In beiden Fällen findet ebenfalls keine IO-relevante Markttransaktion statt.

Bezogen auf den Anteil am Produktionswert weisen der Bergbau, die Glas-, Papier- und Holzindustrie die höchste Transportintensität auf.

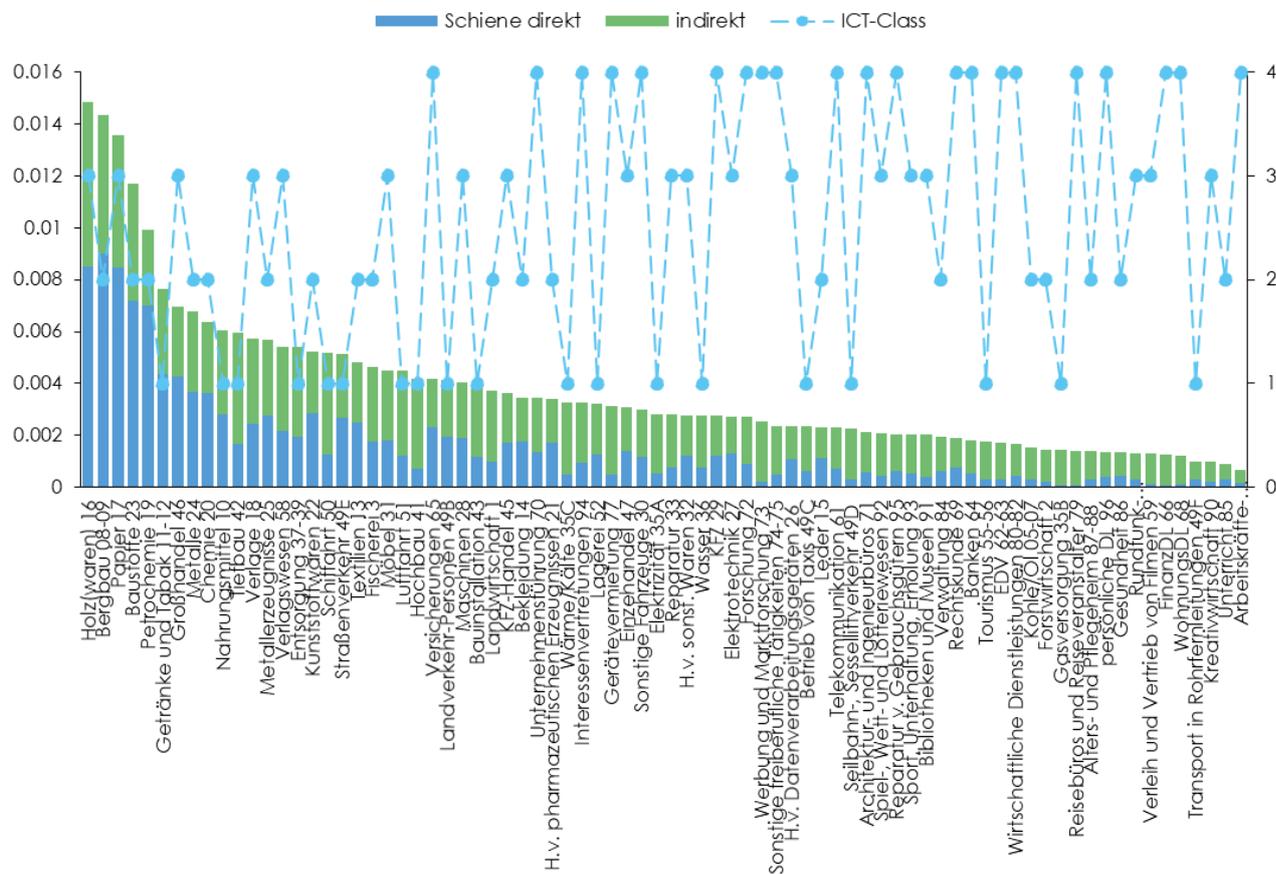
Nach dem Bergbau sind es die Glas-, Papier- und Holzindustrie, die die höchste Transportintensität aufweisen; die Sektoren mit der höchsten Bahnaffinität sind die gleichen, wenn auch in etwas anderer Reihenfolge, nämlich Holzindustrie vor Gewinnung von Steinen und Papier- bzw. Glasindustrie.

Abbildung 24: Direkt und indirekt bezogene Transportdienstleistungen pro Outputseinheit



Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Abbildung 25: Indirekt bezogene Schienen-Transportleistungen pro Outputeinheit



Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

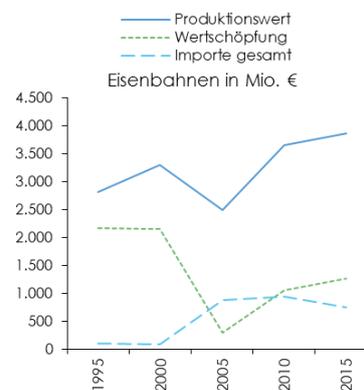
Entwicklungen 1995-2015

Die beiden Haupt-Transportmodi im Güterverkehr – Eisenbahn und Straße – zeigen markant unterschiedliche Entwicklungen: stieg der Produktionswert im Eisenbahnbereich zwischen 1995 und 2015 um rund 1,5% p.a. (bei sinkender Wertschöpfung), stieg er im Straßengüterverkehr mehr als doppelt so stark an, nämlich um 3,5% p.a. Die Unterschiede sind noch weit größer bei der Internationalisierung: so stiegen die Exporte im Straßengüterverkehr um mehr als 7,4% p.a., die Importe sogar um jährlich fast 13%, während sie bei Schienentransportleistungen um 6,1 bzw. 7,9% anstiegen -respektable Werte, aber von sehr geringer Basis ausgehend. Im Jahr 2015 betragen die Importe 31% der österreichischen Intermediär-Nachfrage nach Straßengüterverkehrsleistungen, aber nur 6% der Nachfrage nach Bahntransportleistungen. Ähnlich ist der

Unterschied im Export: so wurden 2015 rund 37% der österreichischen Produktion von Straßengütertransportleistungen exportiert, aber nicht einmal 8% der Bahnleistungen³⁰.

Übersicht 6: Kennzahlen des Bahntransportgewerbes in Österreich, 1995-2015

Eisenbahnen in Mio. €	1995	2000	2005	2010	2015
Produktionswert	2.807	3.301	2.490	3.646	3.864
Wertschöpfung	2.165	2.145	296	1.063	1.266
Lieferungen an Intermediärverbrauch	1.531	1.605	1.847	2.062	2.059
Lieferungen an Endverbrauch	1.128	1.199	1.360	2.288	2.393
davon: Exporte	176	402	799	839	922
Importe des Intermediärverbrauchs	96	90	192	195	126
Importe des Endverbrauchs	0	0	686	743	628
davon: Exporte	0	0	686	743	628
Importe gesamt	96	90	878	938	754



Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Übersicht 7 : Kennzahlen des Strassengütertransportgewerbes in Österreich, 1995-2015

Güterbeförderung im Straßenverkehr in Mio. €	1995	2000	2005	2010	2015
Produktionswert	2.966	4.797	5.794	6.318	6.864
Wertschöpfung	1.901	2.628	2.915	3.034	3.844
Lieferungen an Intermediärverbrauch	2.027	2.901	4.259	4.353	5.248
Lieferungen an Endverbrauch	1.344	2.185	3.511	4.194	5.929
davon: Exporte	982	1.743	2.993	3.892	5.498
Importe des Intermediärverbrauchs	14	23	603	922	1.609
Importe des Endverbrauchs	9	10	1.101	1.736	3.127
davon: Exporte	3	3	934	1.627	2.928
Importe gesamt	22	33	1.704	2.658	4.736



Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Bei so unterschiedlichen Entwicklungen zweier (an sich durchaus substituierbarer) Transportmodi stellt sich dir Frage nach der Haupt-Triebkraft dieser Heterogenität. Diese wird durch zwei Dimensionen beschrieben: die gesamte Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen ergibt sich ja als Summe der sektoralen Nachfragen; unterschiedliche Sektoren haben unterschiedliche Transport- und dabei Bahntransportaffinitäten. Zum einen könnten die beobachteten Entwicklungsunterschiede der

³⁰ Bei diesen Vergleichen ist zu berücksichtigen, dass im Bahntransport NICHT zwischen Personen- und Gütertransport unterschieden werden kann. Es ist allerdings davon auszugehen, dass Bahntransportleistungen, die in der Intermediärnachfrage getätigt werden, ganz überwiegend zum Gütertransport zählen; ähnliches gilt wohl für den Exportbedarf (hier sind es Bahntransporte, die als Spalten gemeinsam mit Warenexporten verbucht werden). Der

Transportmodi es ein Struktureffekt sein, dass sich also bahnaffine Sektoren im Beobachtungszeitraum schlechter entwickelt haben als straßenaffine Sektoren. Die zweite Dimension bildet der Modal Split selbst – dieser kann sich über alle Sektoren hinweg verschieben. Eine Shift-Share-Analyse kann diese beiden Dimensionen trennen helfen.

Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen hat sich sehr dynamisch entwickelt, die Zuwächse waren im Bahngüterverkehr aber wesentlich geringer als im Straßengüterverkehr.

Dafür wird auf die oben erwähnte Leontief-Gleichung zurückgegriffen. Der mit dem gesamten Produktionsprozess direkt und indirekt verbundene Gütereinsatz (also direkt zugekaufte Güter und Dienstleistungen, bei deren Produktion eingesetzte Vorleistungen, etc.) ergibt sich mathematisch aus der Multiplikation der Leontief-Inversen (eine mathematische Beschreibung des Produktionsprozesses, der „Produktionstechnologie“) mit dem Vektor der Nachfrage. Für normale Anwendungen wird der Nachfragevektor eines Jahres mit der Leontief-Inversen desselben Jahres multipliziert, um damit die Wirtschaft zu beschreiben. Es kann allerdings auch der Nachfragevektor eines Jahres mit der Leontief-Matrix eines anderen Jahres kombiniert werden – man erhält damit die fiktive Gesamtproduktion, die mit dem Nachfragevektor verbunden gewesen wäre, wenn die „Produktionstechnologie“ dem anderen Jahr entsprochen hätte. Aus der Kombination verschiedener Jahrgänge von Leontief-Matrix (die im konkreten Anwendungsfall die direkte und indirekte Nachfrage nach (Bahn)transportleistungen beschreiben) und Nachfragevektoren (die die strukturellen Veränderungen in der Wirtschaft abbilden) können Schlüsse über die beiden Dimensionen „Strukturänderungen“ und „Modal-Split-Änderungen“. Die Ergebnisse können in der folgenden Übersicht zusammengefasst werden:

Übersicht 8: Einfluss des Strukturwandels auf die intermediäre Transportnachfrage

Direkte & indirekte Transportleistungen (gesamt):				Veränderung gegenüber 1995:			
End-Nachfrage		Leontief		End-Nachfrage		Leontief	
	Bahn	1995	2015		Bahn	1995	2015
190,2	1995	2.638	2.160	100%	1995	0%	-18%
636,1	2015	4.981	3.746	334%	2015	89%	42%

Direkte & indirekte Transportleistungen (gesamt):				Veränderung gegenüber 1995:			
End-Nachfrage		Leontief		End-Nachfrage		Leontief	
	Strasse	1995	2015		Strasse	1995	2015
190,2	1995	3.047	3.181	100%	1995	0%	4%
636,1	2015	6.347	6.589	334%	2015	108%	116%

Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Die Übersicht kombiniert die Variationen von Leontief-Inverser und Endnachfrage für die Jahre 1995 und 2015. Die Endnachfrage ist (nominell) in diesem Zeitraum um mehr als das Dreifache

gestiegen, während die nachgefragte Transportleistungen nur um 42% (Bahn) bzw. 116% (Straße) gestiegen sind. Dies weist auf zwei grundlegende Phänomene hin:

- Zum einen reflektiert dies die „Tertiärisierung“, also die zunehmende Bedeutung von Dienstleistungen in der Nachfragestruktur, weg von Waren und Sachgütern. Da Dienstleistungen nicht „transportiert“ werden, ergibt sich damit eine strukturelle Abnahme der benötigten Transportleistungen.

- zum anderen zeigt sich ein stärkerer Anstieg der Straßen- gegenüber den Bahntransportleistungen.

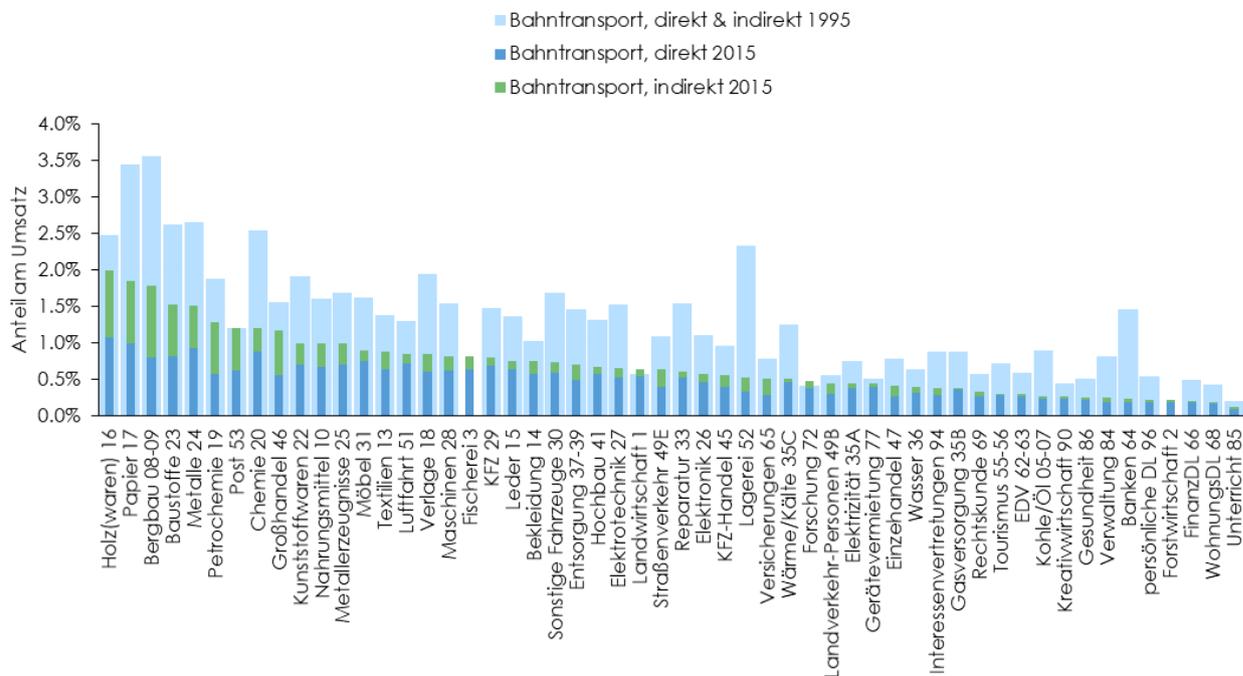
Dieser zweite Punkt ist es, der diese Untersuchung motiviert und die Frage nach der Ursache – Änderung der Branchenstruktur oder des Modal Split – gestellt hat. Hinweise darauf ergeben sich in den Nebendiagonalelementen der obigen Matrix, also aus der Kombination von Endnachfrage und Leontief-Inversen aus unterschiedlichen Jahren: wenn sich die Technologie geändert hätte (Leontief von 1995 auf 2015), wäre bei gleichbleibender Endnachfrage die benötigten Bahntransportleistungen (nominell) um 18% gesunken, die Straßengüterverkehrsleistungen aber (geringfügig) um 4% gestiegen – ein Hinweis auf Veränderungen im Modal Split. Dies wird auch durch die gegengleiche Kombination bestätigt: bei gleichbleibender (1995-)Technologie wäre aufgrund veränderter Endnachfrage der Bahntransport um 89% gestiegen - und damit fast doppelt so rasch wie es den beobachteten 42% entspricht. Beim Straßentransport ist es hingegen recht ausgeglichen: hier stehen fiktive +108% realisierten +116% gegenüber, der Struktureffekt der Nachfrage hat also kaum Auswirkungen.

Die Veränderung der Nachfrage seit 1995 war durch die steigende Bedeutung der Dienstleistungen und eine Verschiebung hin zu Straßengüterverkehr getrieben.

Der Vergleich der sektoralen (direkten und indirekten) Nachfrage nach (Bahn)Transportleistungen zwischen 1995 und 2015 zeichnet ein klares Bild³¹:

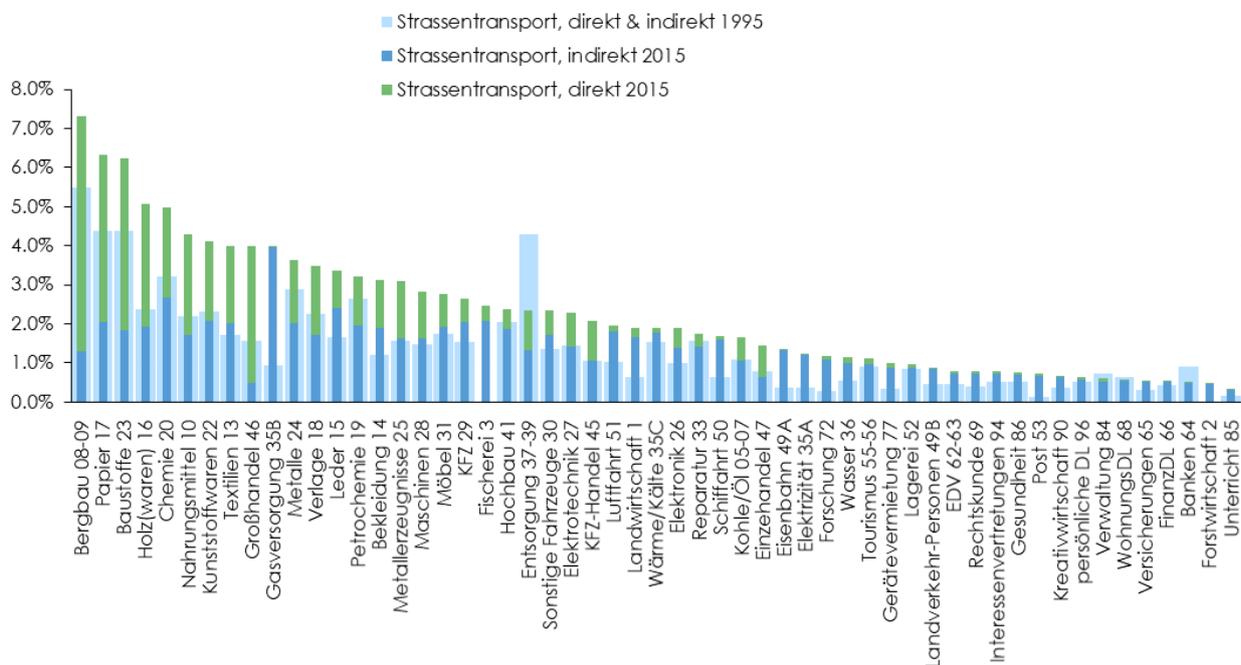
³¹ Präsentiert wird die sektorale Nachfrage nach allen Transportleistungen, heimisch und importiert.

Abbildung 26: Die sektorale (direkten und indirekten) Nachfrage nach Bahntransportleistungen zwischen 1995 und 2015, als Anteil am Umsatz in [%]



Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen. Siehe Anhang III: NACE Wirtschaftssystematik und die WIFO und OECD Taxonomien zur Digitalisierungsintensität¹¹ für die Langform der NACE Sektorenbezeichnung.

Abbildung 27: Die sektorale (direkten und indirekten) Nachfrage nach Straßentransportleistungen zwischen 1995 und 2015, als Anteil am Umsatz in [%]



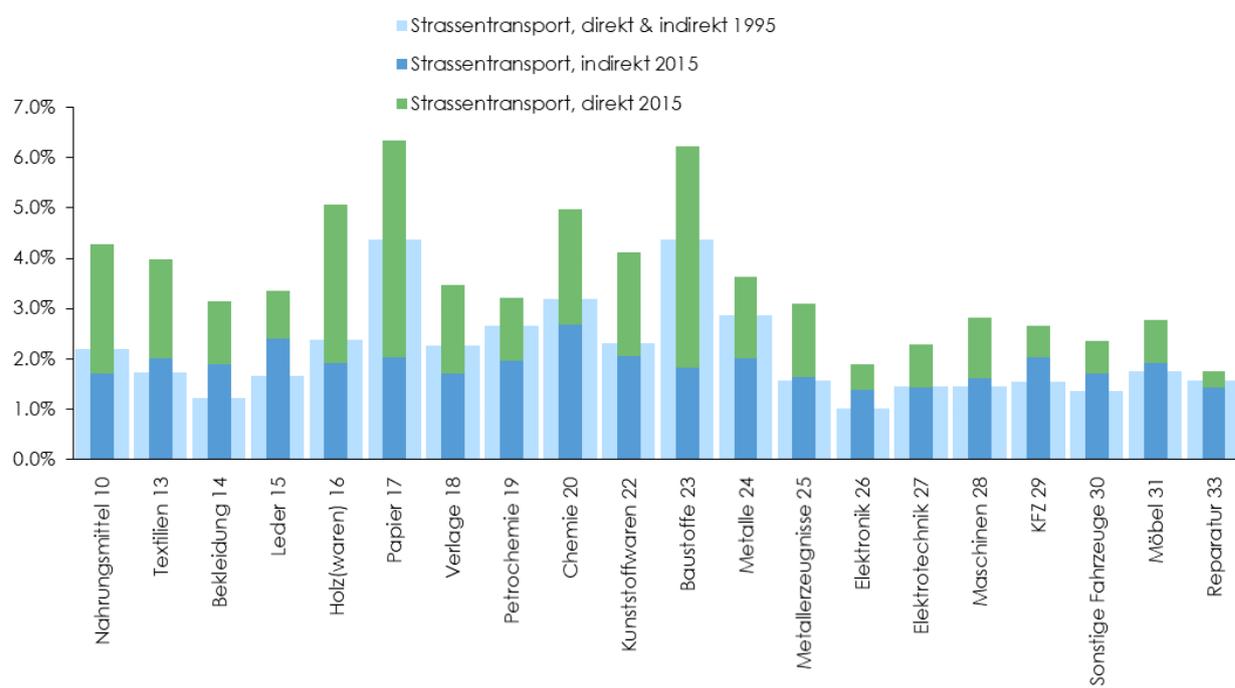
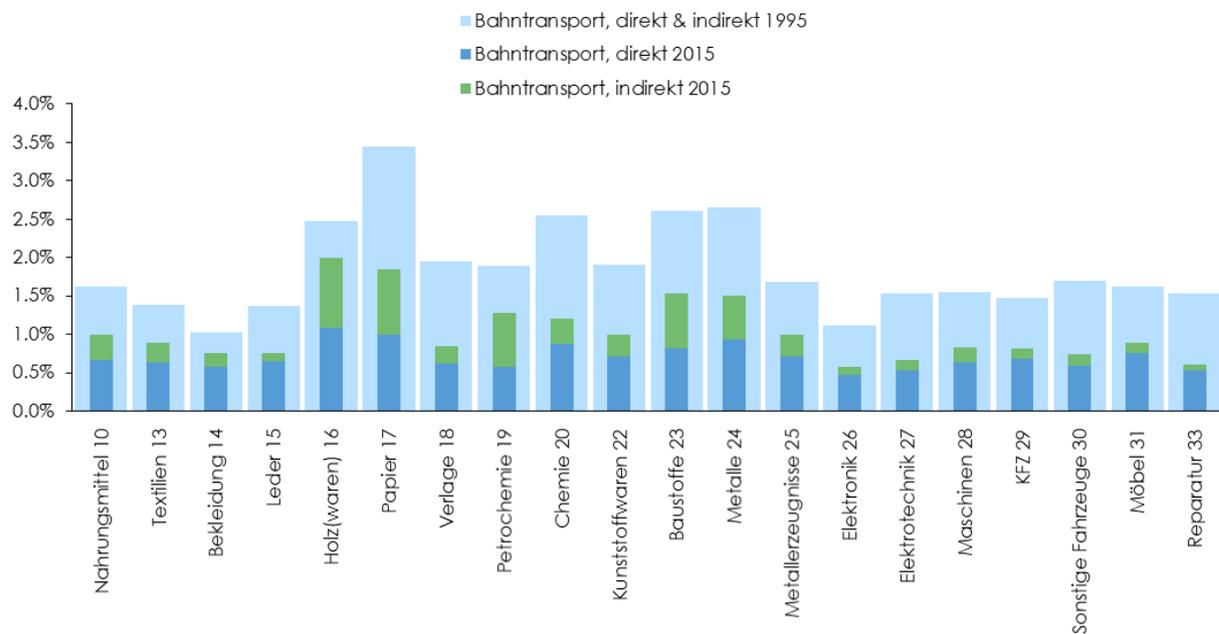
Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen. Siehe Anhang III: NACE Wirtschaftssystematik und die WIFO und OECD Taxonomien zur Digitalisierungsintensität" für die Langform der NACE Sektorenbezeichnung.

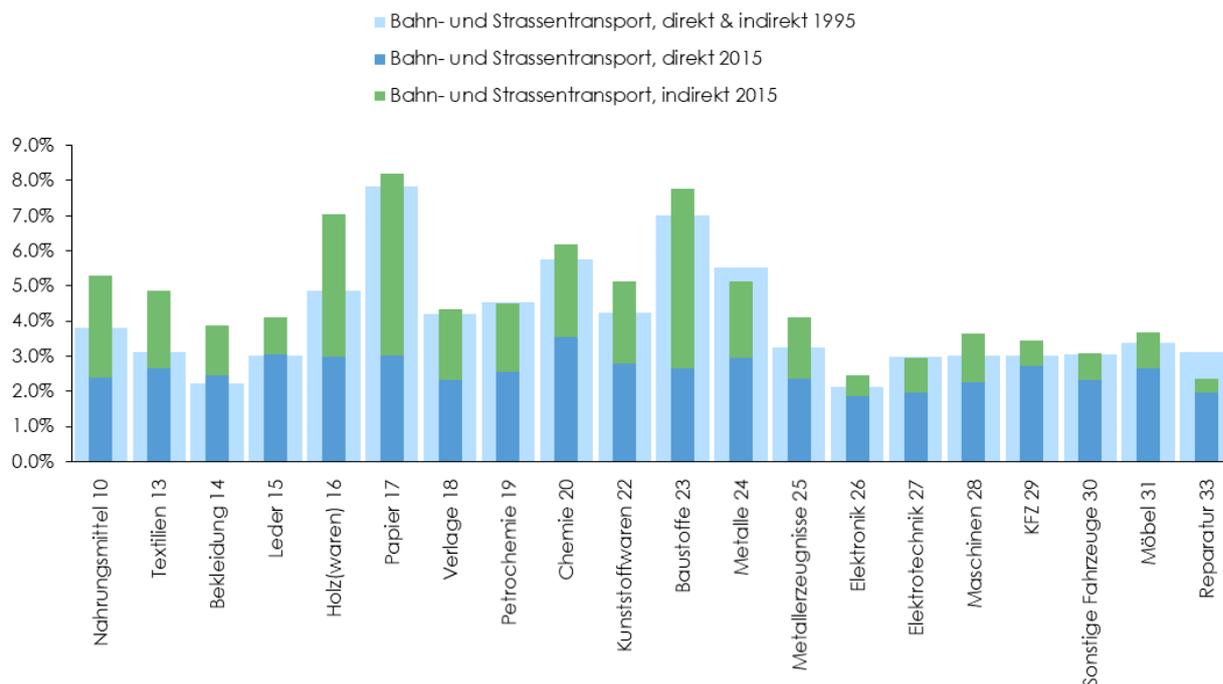
In praktisch allen Sektoren zeigt sich eine Abnahme der (Ausgaben für) Bahntransportleistungen, und eine Zunahme der (Ausgaben für den) Straßengütertransport. In beiden Fällen handelt es sich um die Summe aus importierten und heimischen Transportleistungen; bei der Bahn sind die Importquoten allerdings immer noch recht gering, während im Straßengütertransport die Importe von sehr geringen Werten im Jahr 1995 auf rund 40% im Jahr 2015 angestiegen sind (siehe oben).

Der produzierende Bereich im Detail

Die induzierten Bahntransportleistungen sind negativ mit der Technologieklasse korreliert: je höher diese, desto geringer sind tendenziell die induzierten Bahntransporte (Korrelation mit der OECD-Klassifikation rund -23% im Jahr 2015, etwas stärker als bei den Straßengütertransporten mit -17% Korrelation). Die Rückgänge in den induzierten Bahntransportleistungen zeigen dieses Muster nicht, wenn alle Sektoren betrachtet werden – wohl aber für die Sachgütersektoren, die die Hauptnachfrager nach Transportleistungen sind (und die im Fokus dieser Studie stehen):

Abbildung 28: Die sektorale (direkten und indirekten) Nachfrage in der Sachgütererzeugung nach Transportleistungen zwischen 1995 und 2015, als Anteil am Umsatz in [%]





Q: Statistik Austria, WIFO-Berechnungen. Siehe Anhang III: NACE Wirtschaftssystematik und die WIFO und OECD Taxonomien zur Digitalisierungsintensität“ für die Langform der NACE Sektorenbezeichnung.

Die Rückgänge in den induzierten Bahntransporten sind mit 40% recht deutlich mit der Technologieklasse korreliert, dies gilt auch für die direkten Bahntransporte mit 24%. Mit 18 bzw. 8% sind die Veränderungen im Straßentransport merkliche schwächer mit der Technologieklasse des Sachgütersektors korreliert.

Technologieintensivere Sektoren fragen verstärkt Straßentransportleistungen nach.

Die induzierten Gesamtausgaben für Transportleistungen (also die Summe aus Bahn und Straße) sind zwischen 1995 und 2015 relativ stabil geblieben; dies bestätigt die Diagnose einer Verlagerungstendenz von der Bahn auf die Straße. Die Veränderung in diesen Gesamtausgaben ist negativ mit der Technologieklasse korreliert – Sektoren in höheren Technologieklassen weisen tendenziell geringere Zuwächse in den induzierten Transportausgaben auf.

Auswirkungen der sektoralen Wirtschaftsstruktur

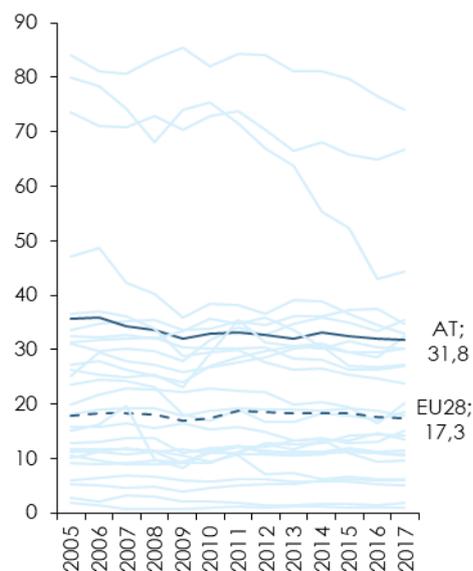
Wie die obigen Darstellungen gezeigt haben, weisen die Wirtschaftssektoren sehr unterschiedliche Transportnachfrage (sowohl direkt wie indirekt) auf; allgemeine zeigen die Sachgüterbranchen höhere Transportaffinität als andere Branchen (v.a. jene des genuinen

Dienstleistungsbereichs), aber auch innerhalb der Sachgütersektoren werden merkliche Unterschiede beobachtet. Eine Folge davon ist, dass die gesamte Nachfrage nach Transportleistungen (und damit auch Bahntransportleistungen) nicht zuletzt von der sektoralen Wirtschaftsstruktur bestimmt wird.

Österreich weist einen im europäischen Vergleich sehr hohen Bahnanteil im Güterverkehr auf: mit 31,8% im Jahr 2017 ist er der achthöchste aller EU.-Mitglieder. Der Bahnanteil in Österreich hat zwar seit 2005 etwas verloren (Österreich lag damals mit 35,7% an sechster Stelle), liegt aber immer noch um zwei Drittel höher als der EU-Schnitt von 17,3%. Österreichs Wirtschaft ist damit überdurchschnittlich bahnaffin.

Abbildung 29: Modal Split – Anteil Schiene am Güterverkehr in Europa

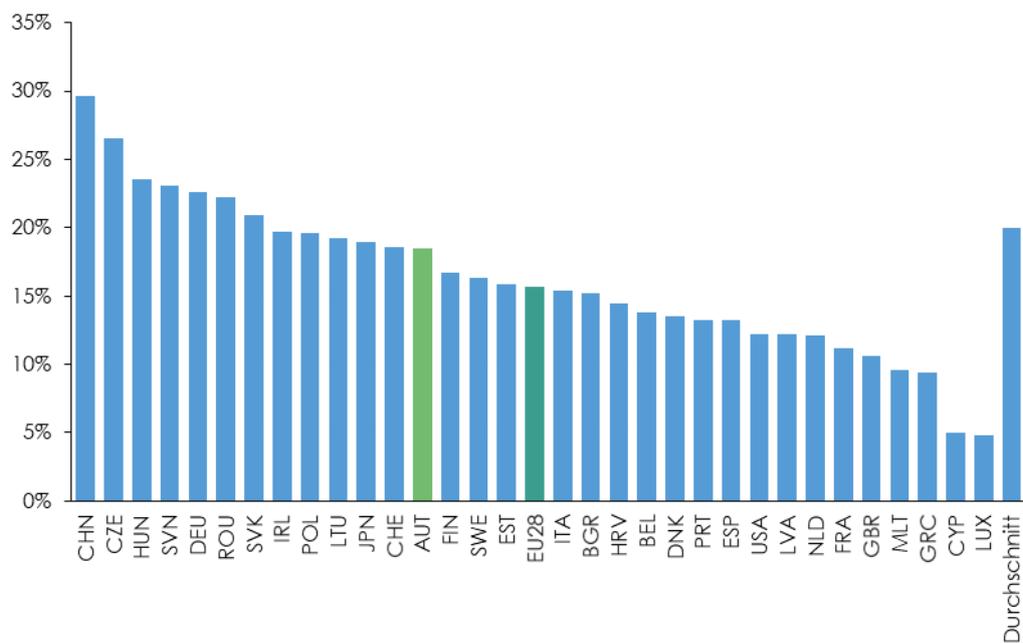
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
LV	84,1	81	80,6	83,4	85,4	82,1	84,2	84,1	81,2	81,2	79,8	76,6	74
LT	73,6	71,1	70,9	73	70,4	72,8	73,7	70,3	66,6	68,1	65,9	65	66,7
EE	80	78,4	74,2	68,2	74,1	75,4	71,6	66,9	63,7	55,2	52,4	42,9	44,4
SI	31,1	29,8	30,1	29,7	28	31,8	34	32,8	34,8	36	35	33,3	35,5
CH	33,6	34,8	35,1	35,5	33,5	33,8	35,2	34,6	36,1	36,2	37,3	37,4	34,7
SK	47,1	48,6	42,3	40,3	35,8	38,5	38,2	36,5	39	38,9	36,6	34,5	32,9
HU	27,2	28	26,2	25,1	24,1	27,1	28,5	29,8	30,7	31,1	29,5	28,5	32,4
AT	35,7	36	34,2	33,6	32	33	33,1	32,7	32,1	33,1	32,5	32	31,8
RO	26,3	25,5	24,9	25,3	23,1	29,2	35,4	31,4	30,7	30,2	31,6	30,3	30,2
SE	32,4	32,2	32,7	31,9	33,3	35,6	34,8	35,8	33,7	30,4	29,5	29,5	30,2
FI	25,2	29,4	27,8	27,2	25,8	26,8	27,6	28,6	30,1	30,7	27	26,8	27,3
CZ	31,4	31,8	32,1	32,2	30,5	30,1	30,1	30,5	28,3	28,2	26,3	26,4	26,9
PL	36,5	37,1	36,2	33,8	28,8	29,5	29,9	27,6	26,4	26,5	25,5	24,7	23,9
HR	19,8	21,7	22,9	22,6	22,1	22,8	22,4	22,2	19,8	20,4	19,4	16,4	20,1
BG	23,5	24,4	24,2	23,2	18,1	17	19	16,6	16,6	18,2	17,9	17,1	18,5
DE	18	18,9	19,3	19,3	17,9	18,7	19,3	19,1	19,1	18,8	19,3	18,8	17,8
EU28	17,9	18,3	18,2	18,1	16,9	17,4	18,7	18,5	18,3	18,4	18,2	17,6	17,3
NO	15,7	15,8	16,4	15,6	16,4	15,4	15,8	14,8	13,3	13,7	12,9	13	15,2
PT	9,2	9	9,1	9,7	9,4	10,9	10,9	12,8	12,7	12,8	14,1	14,5	14,1
IT	10	11,3	11,9	11,3	9,2	9,2	11,2	12,7	11,8	13,2	13,4	14,7	13,6
DK	10,6	9,7	8,9	9	9,1	11,5	12,4	10,9	11,3	11,2	12	11,3	11,5
BE	12,8	13,1	13,8	13,7	11	12	12,2	11,4	11	11,1	11,2	11	10,7
FR	11,8	11,6	11,6	11,5	10,6	9,5	10,8	10,8	10,6	10,8	11,6	10,9	10,5
UK	11,3	11,3	10,7	11,2	11,7	10,9	12,1	12,1	13,4	13,5	10,9	9,4	9,6
LU	15	16,2	19,7	9,9	8,2	11,6	10,5	7,1	7,3	6,1	6,7	6,2	6,3
NL	6	6,4	7	6,7	6	5,8	6,3	6,1	5,7	5,8	6,1	6	5,9
ES	5,2	5	4,5	4,8	4	4,6	5	5,3	5,3	5,9	5,8	5,3	5,1
EL	2,7	2,2	3,3	2,9	2,1	2,2	1,8	1,5	1,5	1,7	1,6	1,3	1,8
IE	1,9	1,3	0,8	0,7	0,8	0,9	1,2	1	1,1	1,1	1	0,9	0,9
CY	NA												
MT	NA												



Q: EUROSTAT.

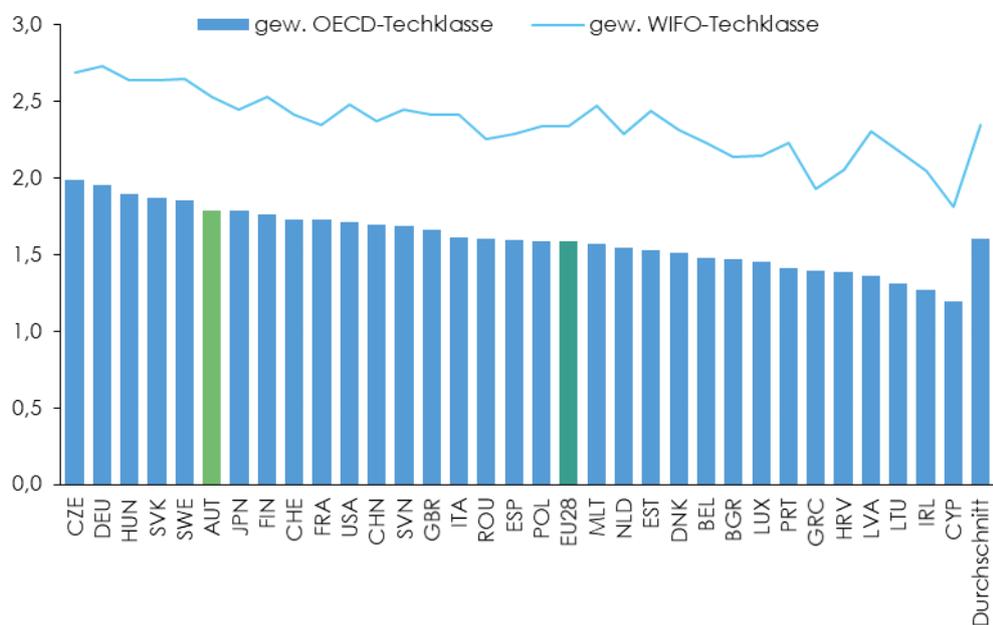
Österreich weist aber auch eine durchaus „untypische“ Sektorstruktur auf: zum Einen einen mit über 18% überdurchschnittlich hohen Sachgüteranteil an der gesamten Wertschöpfung (der EU-Schnitt liegt – ungewichtet – bei 16%), zum Anderen einen innerhalb des Sachgüterbereichs überdurchschnittlich hohen Technologiegehalt:

Abbildung 30: Anteil des Sachgüterbereichs C10-C33 an der gesamten Wertschöpfung, 2014



Q: WIOD; WIFO-Berechnungen.

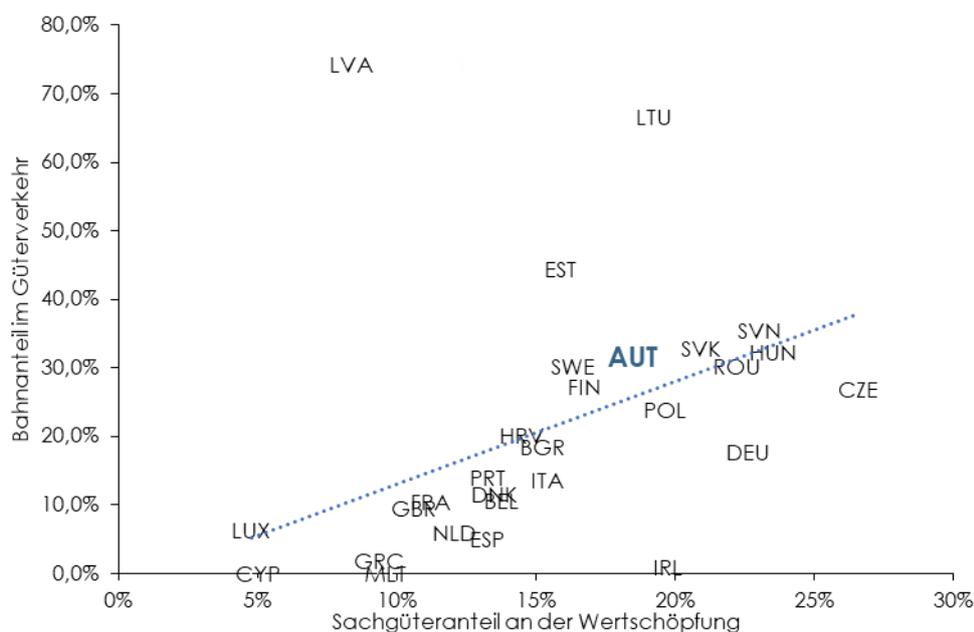
Abbildung 31: Durchschnittliche Technologieklasse des Sachgüterbereichs, 2014



Q.: WIOD; OECD, WIFO-Berechnungen.

Gegeben den Sachgüteranteil, liegt der Modal Split im österreichischen Güterverkehr über dem Durchschnitt der EU-Staaten, um rund 5 Prozentpunkte: nur die baltischen Staaten (weniger deutlich ausgeprägt auch die osteuropäischen Länder) weisen relativ zum Sachgüteranteil höhere Bahnanteile auf.

Abbildung 32: Bahnanteil im Modal Split vs. Wertschöpfungsanteil der Sachgüterbranchen, 2014



Q: Eurostat, WIFO-Berechnungen.

Eine Frage betrifft nun die Auswirkungen dieser österreichischen Sektorstruktur auf die Transportnachfrage im Allgemeinen und die Bahntransportnachfrage im Besonderen. Auch wenn dies nicht abschließend geklärt werden kann, kann doch – analog zur obigen Shift-Share-Analyse zur relativen Bedeutung von Technologie versus Branchenstruktur – ein Versuch unternommen werden, den Einfluss des Branchenmix abzuschätzen. Dazu werden die österreichischen Sektor-spezifischen Kennzahlen zu direkten (und indirekten) Bahn- und Straßentransportleistungen auf alternative Branchenstrukturen umgelegt – die fiktive Nachfrage nach Bahn/Straßentransportleistungen ergibt sich sodann als über diese alternativen Branchenstrukturen gewichteter Durchschnitt der österreichischen Sektorkennzahlen. Die Basisdimensionen dabei umfassen den gesamten Wertschöpfungsanteil der Sachgüterbranchen (als wesentliche Treiber der intermediären Transportnachfrage), aber auch die Sektorstruktur innerhalb des Sachgüterbereichs. Die Simulationen werden für die Strukturen der Jahre 2015 (Sektorkennzahlen) bzw. 2014 (Sektorstruktur) durchgeführt³².

Die folgende Übersicht fasst diese Simulationen zusammen:

³² Der Grund der unterschiedlichen Basisjahr liegt in der Datenverfügbarkeit: die Kennzahlen sind für 1995/2000/2005/2010/2015 verfügbar; für die Sektorstruktur wird auf Daten der WIOD zurückgegriffen – hier ist aber 2014 das aktuellst verfügbare Jahr.

Übersicht 9: Fiktive (Bahn)Transportnachfrage bei unterschiedlichen Sektorstrukturen; tatsächliche Struktur in Österreich = 100

Branchenstruktur wie in ...	ø Techklasse	Modal Split- Bahn	Transport- leistungen	Bahn- transport	fiktiver Modal Split
AUT	18%	2,5	31,8%	100	31,8%
BEL	14%	2,2	10,7%	101	31,4%
BGR	15%	2,1	18,5%	109	30,4%
CYP	5%	1,8	NA	77	40,9%
CZE	27%	2,7	26,9%	106	32,4%
DEU	23%	2,7	17,8%	96	33,9%
DNK	14%	2,3	11,5%	99	34,6%
ESP	13%	2,3	5,1%	99	31,7%
EST	16%	2,4	44,4%	102	32,0%
FIN	17%	2,5	27,3%	101	31,7%
FRA	11%	2,3	10,5%	85	34,3%
GBR	11%	2,4	9,6%	77	36,3%
GRC	9%	1,9	1,8%	93	35,0%
HRV	15%	2,1	20,1%	106	29,3%
HUN	24%	2,6	32,4%	104	32,6%
IRL	20%	2,0	0,9%	98	31,9%
ITA	15%	2,4	13,6%	99	31,8%
LTU	19%	2,2	66,7%	113	28,9%
LUX	5%	2,1	6,3%	52	41,4%
LVA	12%	2,3	74,0%	96	32,0%
MLT	10%	2,5	NA	57	45,1%
NLD	12%	2,3	5,9%	99	31,0%
POL	20%	2,3	23,9%	117	29,0%
PRT	13%	2,2	14,1%	101	30,8%
ROU	22%	2,3	30,2%	104	31,5%
SVK	21%	2,6	32,9%	101	33,9%
SVN	23%	2,4	35,5%	106	31,6%
SWE	16%	2,6	30,2%	90	33,5%
CHE	19%	2,4	34,7%	103	29,8%
CHN	30%	2,4		140	28,7%
JPN	19%	2,4		101	32,4%
USA	12%	2,5		87	32,5%
Gesamt	20%	2,4		107	106
EU28	16%	2,3	17,3%	96	99

Q.: WIOD, OECD, EUROSTAT, Statistik Austria, WIFO-Berechnungen.

Hätte Österreich die Branchenstruktur Deutschlands, würde dies ceteris paribus (gegeben die österreichischen Sektorkennzahlen) implizieren, dass die dadurch induzierte Nachfrage nach Gütertransportleistungen 4% geringer wäre (der Indexwert ist 96), die Nachfrage nach Bahntransporten um 2% höher (Indexwert 102): der Modal Split wäre daher in Deutschland

etwas höher, um $102/96=6,3\%$, würde also $31,8*1,063=33,9\%$ betragen. Grob gesprochen gilt auch hier: je höher der Sachgüteranteil, desto höher die induzierten Transportnachfragen. Hätte Österreich die Branchenstruktur „höherentwickelter“ Ökonomien (also mit geringerem Sachgüteranteil), wie GBR oder USA, läge die fiktive induzierte Transportnachfrage deutlich (15-25%) unter den beobachteten. In fast allen Fällen liegt jedoch der „fiktive Modal Split“, der sich ergibt, wenn die Auswirkungen der alternativen Branchenstrukturen auf den österreichischen Bahnanteil von 31,8% aufgesetzt werden, über den in den jeweiligen Vergleichsländern beobachteten Bahnanteilen – dies impliziert, dass eben der relativ hohe Bahnanteil in Österreich nicht (nur) eine Folge des Branchenmix ist, sondern eine genuin österreichische Besonderheit darstellt.

Die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen ist in Österreich durch die Industriestruktur getrieben; der Anteil der Bahn ist dabei allerdings untypisch hoch.

Das Muster der alternativen Branchenstrukturen korreliert hoch mit dem beobachteten Modal Split: der Korrelationskoeffizient zwischen Bahnanteil und den Transportleistungen bei Variation der „gesamten Branchenstruktur“ liegt bei 76%, mit den Bahntransportleistungen sogar bei 80%. Geringer ist die Korrelation bei Variation der Sachgüterstruktur (rund 30%) – dies ist auch nicht verwunderlich, da hier nur ein (wenn auch in der Transportwirkung bedeutender) Teil aller Branchen betrachtet wird. Die Korrelation zwischen Bahnanteil und Sachgüteranteil liegt bei 36%. Die Interpretation dieser Korrelationen ist nicht zwingend, aber sie weist auf einen hohen Einfluss der Branchenstruktur nicht nur auf die Transportleistung, sondern auch auf den Modal Split hin – höhere induzierte Transportleistungen gehen mit höheren Bahnanteilen konform.

5.1.3 Bahntransportleistungen im Lieferprozess

Wurden im letzten Kapitel Transportleistungen im Produktionsprozess, also „upstream“ betrachtet (Transportleistungen als Vorleistungsgut), soll hier ein Aspekt der Downstream-Betrachtung ergänzt werden: welche Transportleistungen sind typischerweise mit der Verteilung verschiedener Güter verbunden, und welcher Anteil davon entfällt auf die Bahn.

Die IO-Tabelle ist für diese Analyse leider wenig ergiebig, da sie die zugekauften Transportleistungen nicht auf Güterebene ausweist. Es gibt zwar eine Matrix, nämlich die Spannenmatrix, die genau dieses macht (und die für dieses Projekt als Sonderauswertung auch verfügbar ist) – allerdings ist nur ein Teil der Transportleistungen in den Spannenmatrizen enthalten, nämlich jene Güterkäufe, bei denen der Transport nicht extra bepreist ist, also der Kauf „inklusive Lieferung“ erfolgt ist. Wird der Transport extra bepreist und damit extra zugekauft, dann ist das eine Vorleistung des Transportsektors, und dafür ist die Verbindung zum transportierten Vorleistungsgut nicht mehr ersichtlich. Damit ist der direkte Konnex zwischen einem Gut und seinem Transport nur für einen (kleineren) Teil an Vorleistungsgütern gegeben.

Eine Regressionsanalyse, die den gesamten Verbrauch an (Schiene)Transportleistungen eines Sektors auf seine Vorleistungsstruktur bezieht, und damit eine „Verteilung“ der Transportleistungen auf die Vorleistungsgüter bewirken soll, führt leider nur zu einem statistisch sehr fragwürdigen Ergebnis; gesichert scheint nur zu sein, dass der Verbrauch an Schienentransport stark mit dem Verbrauch an Gütern des Bergbaus, Glas&Keramik&Baustoffe sowie Gummi- und Kunststoffwaren zusammenhängt; eine statistisch gesicherte numerische Aussage lässt sich aber aus den Regressionsanalyse nicht ableiten.

Damit bleibt eine grobe Betrachtung des Modal Split nach NSTR-Gütergruppen, basierend auf Daten von EUROSTAT bzw. der Statistik Austria. Neben bekannten Erhebungsproblemen (die Statistik beruht auf Befragungen von LKW-Haltern, sowohl gewerblichen wie Werksverkehr), die die Konsolidierung der Meldeländer auf EU-Ebene v.a. im Straßentransport betreffen, und die Zuordnung der Transportgüterstruktur NSTR auf die Wirtschaftsgüter NACE bzw. CPA ist es das Gut „Sammelgut“ NSTR 18, das bei der Zuordnung zwischen Transport- und Wirtschaftsgütern Probleme bereitet: in erster Linie handelt es sich dabei um Container, über deren Inhalt praktisch keine Aussagen getroffen werden können. Bei der vorliegenden Schätzung wurde der pragmatische Ansatz verfolgt, die Container-Tonnagen auf einen Teil der übrigen NSTR-Güter aufzuteilen; dieser Teil umfasst die Güter NSTR 1, 4,5,6,8,9,11,13. Der Modal Split beim Container ist aber auch noch separat ausgewiesen (bzw. die Summe aus den NSTR-Gütern 18 und 19, also Sammelgut und nicht identifizierbare Güter. Das Sammelgut weist auf der Schiene nur sehr geringe Tonnagen auf).

Vorteil der Befragung ist jedoch, dass auch der Werkverkehr inkludiert ist – also jener Teil des Transports (und es ist ein großer Teil: im Binnen-Straßenverkehr beträgt sein Anteil 45%), der mangels Markt-Transaktion in den IO-Tabellen nicht aufscheint.

Trotz all dieser Caveats – die folgende Übersicht zeigt die geschätzte Verteilung auf Bahn und Straße (auf Basis der Verkehrsleistung in Tonnen) nach NSTR sowie eine grobe Zuordnung zu den Wirtschaftsgütern nach NACE bzw. CPA:

Übersicht 10: Modal Split nach Gütergruppen und Transportart

NST		NACE		Bahnanteil, Basis: Tonnen			
				Binnen	Quell	Ziel	Summe
GT01	Land- und Forstwirtschaft; Fischerei	01	Landwirtschaft und Jagd	29%	11%	65%	33%
GT01	Land- und Forstwirtschaft; Fischerei	02	Forstwirtschaft und Holzeinschlag	29%	11%	65%	33%
GT01	Land- und Forstwirtschaft; Fischerei	03	Fischerei und Aquakultur	29%	11%	65%	33%
GT02	Kohle; rohes Erdöl und Erdgas	05-07	Kohlenbergbau; Gew.v . Erdöl u.Erdgas; Erzbergbau	7%	7%	96%	80%
GT03	Steine, Erden, Bergbauerzeugnisse; Torf	08-09	Gew.v . Steinen u. Erden; Dienstleistungen f.d. Bergbau	3%	25%	62%	6%
GT04	Nahrungs- und Genussmittel	10	H.v. Nahrungs- und Futtermitteln	2%	23%	5%	6%
GT04	Nahrungs- und Genussmittel	11	Getränke-herstellung	2%	23%	5%	6%
GT04	Nahrungs- und Genussmittel	12	Tabak-v erarbeitung	2%	23%	5%	6%
GT05	Textilien und Bekleidung; Leder/-waren	13	H.v. Textilien	0%	1%	0%	0%
GT05	Textilien und Bekleidung; Leder/-waren	14	H.v. Bekleidung	0%	1%	0%	0%
GT05	Textilien und Bekleidung; Leder/-waren	15	H.v. Leder, Lederwaren und Schuhen	0%	1%	0%	0%
GT06	Holzwaren, Papier/-waren; Datenträger	16	H.v. Holzwaren; Korbwaren	6%	49%	31%	20%
GT06	Holzwaren, Papier/-waren; Datenträger	17	H.v. Papier, Pappe und Waren daraus	6%	49%	31%	20%
GT06	Holzwaren, Papier/-waren; Datenträger	18	H.v. Druck-erzeugnissen	6%	49%	31%	20%
GT07	Kokerei- und Mineralöl-erzeugnisse	19	Kokerei und Mineralöl-v erarbeitung	15%	48%	41%	29%
GT08	Chem. Erzeugnisse; Spalt- und Brutstoffe	20	H.v. chemischen Erzeugnissen	36%	35%	68%	48%
GT08	Chem. Erzeugnisse; Spalt- und Brutstoffe	21	H.v. pharmazeutischen Erzeugnissen	36%	35%	68%	48%
GT08	Chem. Erzeugnisse; Spalt- und Brutstoffe	22	H.v. Gummi- und Kunststoffwaren	36%	35%	68%	48%
GT09	Sonst. Mineralerzeugnisse	23	H.v. Glas u. Glaswaren, Keramik u. Ä.	5%	5%	15%	5%
GT10	Metalle und Halbzeug; Metallerzeugnisse	24	Metallerzeugung und -bearbeitung	13%	45%	42%	30%
GT10	Metalle und Halbzeug; Metallerzeugnisse	25	H.v. Metall-erzeugnissen	13%	45%	42%	30%
GT11	Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.	26	H.v. Daten-v erarbeitungs-geräten, elektron. u. opt. E.	2%	3%	0%	2%
GT11	Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.	27	H.v. elektrischen Ausrüstungen	2%	3%	0%	2%
GT11	Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.	28	Maschinenbau	2%	3%	0%	2%
GT12	Fahrzeuge	29	H.v. Kraftwagen und -teilen	27%	20%	26%	25%
GT12	Fahrzeuge	30	Sonst. Fahrzeugbau	27%	20%	26%	25%
GT13	Möbel, Schmuck und sonst. Erzeugnisse	31	H.v. Möbeln	0%	1%	0%	0%
GT11	Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.	32	H.v. sonst. Waren	2%	3%	0%	2%
GT18+19	Sammelgut + nicht identifizierbare Güter			33%	57%	63%	44%

Q: EUROSTAT; Statistik Austria; WIFO-Berechnungen.

Wenig überraschend weisen die „bulk commodities“ die höchsten Schienenanteile auf: Bergbau-Güter, land- und forstwirtschaftliche Güter (auch Holzwaren haben einen überdurchschnittlichen Schienenanteil), chemische Erzeugnisse und Metalle. Gering ist der Anteil bei „technologischen“ Gütern – elektrische Anlagen, Maschinen, EDV-Geräte; aber auch Möbel und sonstige Waren weisen sehr geringe Werte auf. Diese Güter sind aber gerade solche, die eine hohe Container-Affinität aufweisen; bei ihnen ist es deshalb besonders schwierig, eine belastbare Aussage zum Modal Split zu treffen. Der Container selbst hat eine deutlich überdurchschnittliche Schienenaffinität, speziell im Zielverkehr (was hier wohl nicht zuletzt eine Folge des Überseehafen-Umschlagverkehrs ist).

5.2 Außenhandelsverflechtungen auf Sektor- und Güterebene

Als weiterer Indikator der Transportaffinität soll die Exposition zu Außenhandel untersucht werden; die Annahme dabei ist, dass ex- bzw. importierte Güter größerer Transportwege und damit höher Transportintensitäten aufweisen; dies könnte insbesondere für Exporte nach bzw. Importe von Ländern außerhalb der EU gelten. Insbesondere der Schiffftransport bzw. Hafen-

Anschlusstransport dürfte für den Handel mit diesen Regionen wesentlich größere Bedeutung haben (wobei diese Überlegung die Schweiz als Nachbarland etwas verkompliziert).

Die Export- bzw. Importquoten auf Sektor- bzw. Güterebene stellen sich 2015 folgendermaßen dar (die sektoralen Ergebnisse beziehen sich nur auf Sachgüter-Vorleistungen, da zugekaufte Dienstleistungen in aller Regel keine Transporte nach sich ziehen; außerdem sind nur die Sektoren bzw. Güter des produzierenden Bereichs plus KFZ-Handel ausgewiesen, da die anderen (Dienstleistungs-)Sektoren kaum Sachgüter im Produktionsprozess einsetzen)

Übersicht 11: Import- und Exportquoten auf Sektor- und Güterebene 2015

		Sektoren					Güter					
		Vorleistungen als Anteil am Umsatz	davon: Sachgüter	davon: Importe	Importe aus EU	Importe außerhalb EU	Export-Anteil	Export-Anteil EU	Export-Anteil außerhalb EU	Import-Anteil	Import-Anteil EU	Import-Anteil außerhalb EU
01	Landwirtschaft und Jagd	61%	44%	13%	12%	1%	14%	12%	2%	33%	25%	8%
02	Forstwirtschaft und Holzeinschlag	51%	44%	2%	2%	0%	3%	3%	0%	24%	22%	1%
03	Fischerei und Aquakultur	48%	36%	26%	22%	4%	4%	4%	0%	56%	40%	16%
05-07	Kohlenbergbau; Gew.v. Erdöl u. Erdgas; Erzbergbau	30%	14%	8%	5%	3%	12%	47%	-36%	90%	16%	74%
08-09	Gew.v. Steinen u. Erden; Dienstleistungen f.d. Bergbau	60%	20%	8%	6%	2%	19%	16%	2%	28%	19%	9%
10	H.v. Nahrungs- und Futtermitteln	73%	52%	19%	16%	3%	42%	45%	-4%	33%	29%	4%
11-12	H.v. Nahrungs- und Futtermitteln, Getränke	74%	30%	18%	8%	10%	62%	17%	45%	16%	11%	5%
13	H.v. Textilien	65%	44%	28%	21%	7%	79%	52%	27%	51%	35%	16%
14	H.v. Bekleidung	65%	44%	34%	27%	8%	78%	70%	9%	86%	39%	48%
15	H.v. Leder, Lederwaren und Schuhen	72%	58%	51%	34%	16%	93%	83%	10%	67%	35%	31%
16	H.v. Holzwaren; Korbwaren	72%	47%	19%	17%	2%	45%	33%	12%	17%	15%	2%
17	H.v. Papier, Pappe und Waren daraus	69%	38%	22%	19%	3%	68%	56%	13%	31%	27%	4%
18	H.v. Druck-erzeugnissen	63%	44%	27%	25%	2%	22%	21%	1%	5%	4%	1%
19	Kokerei und Mineralöl-v. erarbeitung	90%	72%	62%	7%	54%	41%	72%	-31%	57%	54%	3%
20	H.v. chemischen Erzeugnissen	79%	59%	47%	44%	3%	84%	73%	11%	50%	43%	6%
21	H.v. pharmazeutischen Erzeugnissen	49%	28%	22%	14%	8%	86%	34%	52%	61%	43%	19%
22	H.v. Gummi- und Kunststoffwaren	62%	42%	31%	26%	4%	61%	46%	15%	47%	39%	8%
23	H.v. Glas u. Glaswaren, Keramik u. Ä.	61%	29%	17%	12%	4%	34%	18%	14%	29%	24%	5%
24	Metallerzeugung und -bearbeitung	74%	47%	29%	17%	11%	64%	52%	12%	36%	24%	12%
25	H.v. Metall-erzeugnissen	60%	41%	20%	17%	3%	46%	33%	13%	33%	25%	8%
26	H.v. Daten-v. erarbeitungs-geräten, elektron. u. opt. E.	56%	36%	29%	15%	14%	81%	38%	43%	61%	33%	28%
27	H.v. elektrischen Ausüstungen	54%	41%	31%	23%	8%	79%	53%	26%	47%	33%	14%
28	Maschinenbau	64%	44%	30%	24%	5%	78%	45%	33%	42%	34%	8%
29	H.v. Kraftwagen und -teilen	75%	62%	46%	40%	7%	84%	65%	19%	51%	43%	8%
30	Sonst. Fahrzeugbau	66%	49%	33%	24%	9%	88%	49%	39%	36%	23%	13%
31	H.v. Möbeln	57%	35%	19%	16%	3%	31%	23%	7%	37%	32%	5%
32	H.v. sonst. Waren	69%	53%	43%	14%	29%	70%	43%	27%	52%	30%	22%
33	Reparatur u. Installation v. Maschinen	61%	39%	26%	19%	6%	15%	10%	5%	17%	14%	3%
35	Energie-v. ersorgung	80%	12%	8%	3%	5%	5%	8%	-3%	5%	4%	0%
36	Wasser-v. ersorgung	42%	11%	3%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
37-39	Abwasser- u. Abfallentsorgung, Rückgewinnung	59%	2%	1%	1%	0%	6%	5%	1%	19%	17%	2%
41	Hochbau	60%	15%	4%	3%	0%	1%	1%	0%	1%	1%	0%
42	Tiefbau	74%	17%	6%	5%	1%	2%	2%	0%	1%	1%	0%
43	Bauinstallation u. sonst. Ausbautätigkeiten	58%	26%	15%	13%	3%	1%	1%	0%	1%	1%	0%
45	Kfz-Handel und -Reparatur	50%	18%	12%	10%	2%	10%	8%	2%	1%	1%	0%

Q: Statistik Austria; WIFO-Berechnungen.

Die Vorleistungsquote in den produzierenden Bereichen (die im Produktionsprozess verwendeten Güter, bezogen auf den Produktionswert) ist mit im Schnitt fast zwei Drittel sehr hoch; der Großteil davon entfällt auf Güter, die ebenfalls aus dem produzierenden Bereich stammen: Die Anteile von Sachgütern am Umsatz (also der Wert der Vorleistungen an Sachgütern, dividiert durch den Produktionswert) betragen im Mittel rund 40%, viele davon importiert.

Die höchsten Anteile importierter Vorleistungen am Produktionswert (Umsatz) hat die Mineralölverarbeitung; sie hat auch den mit Abstand höchsten Anteil an extra-EU-Importen.

Leder- und Kraftwagenherstellung folgen bezüglich Importanteilen, mit allerdings deutlich geringeren extra-EU-Anteilen.

Die höchsten Exportanteile weisen Leder, Fahrzeuge, Kraftfahrzeuge, chemische Produkte und EDV-Geräte mit Werten über 80% auf, gefolgt von Textilien und Bekleidung sowie elektrischen Ausrüstungen mit Werten zwischen 70 und 80%.

Güter mit hohem Exportanteil haben typischerweise auch überdurchschnittliche Importquoten, die Korrelation zwischen diesen beiden Indikatoren liegt bei 50%, nicht zuletzt ein Hinweis auf „Outsourcing“ bzw. Spezialisierung in Wertschöpfungsketten und verstärkten intra-industriellen Handel im Zuge der Globalisierung. Mit 68% noch höher ist die Korrelation zwischen den Aus- und Einfuhren aus dem EU-Ausland.

5.3 Zusammenführung der Ergebnisse

Eine Gegenüberstellung mit der IKT-Klassifizierung der OECD zeigt aber in allen Fällen ein ähnliches Muster: Sektoren der höchsten IKT-Intensität finden sich frühestens auf den mittleren Plätzen der Transport- bzw. Bahnaffinität; die höchsten Affinitäten weisen typischerweise Grundstoffsektoren auf – Steine, Holz, Glas, Papier. Tatsächlich ist die Korrelation zwischen der (Bahn)Transportaffinität und der OECD-IKT-Klasse eine (wenn auch nicht ausgeprägt) negative, wie folgende Übersicht zeigt, die die Ergebnisse der letzten beiden Kapitel zusammenfasst:

Sektoren mit einer hohen Digitalisierungsintensität zeigen eine geringe Bahntransportaffinität.

Übersicht 12: Zusammenfassung der Indikatoren zu Technologiegehalt, Außenhandel (und die Veränderungen zwischen 2000 und 2017), Transportleistungen und Modal Split

NST	NACE	CT-Klasse (OECD)	CT-Klasse (OECD)	KI-Fachleute (WIFO)	KI-Intensität (OECD)	KI-Type	Innovation Type	CT-Kapitalstock/Q - EUKLEMS	Einheitswerte	Exportwertanteile	Komplexität der Warexporte	Marktanteile: Hochpreissegment	Marktanteile: Mittleres Preissegment	Geographische Dispersion des Handels	Stärke des Intraindustriellen Handels	Binnen	Quelle	Ziel	Summe	Basis: Tonnen				In/dr Strasse - Veränderung 1995/2015	In/dr Schiene - Veränderung 1995/2015
																				dir/indr Strasse	dir/indr Schiene	dir/indr Strasse	dir/indr Schiene		
GT01	Land- und Forstwirtschaft; Fischerei	1	Landwirtschaft und Jagd	2	1	1		0.9%	0.372	0.5%	-0.56	23%	72%	0.207	0.873	29%	11%	65%	33%	2%	1%	114%	301%		
GT01	Land- und Forstwirtschaft; Fischerei	2	Forstwirtschaft und Holzeinschlag	2	1	1		0.9%	0.129	0.1%	0.1	7%	82%	0.269	0.232	29%	11%	65%	33%	0%	0%	0%	0%		
GT01	Land- und Forstwirtschaft; Fischerei	3	Fischerei und Aquakultur	2	1	1		0.9%	NA	0.0%	-1	0%	0%	1	0.322	29%	11%	65%	33%	2%	1%	0%	0%		
GT02	Kohle; rohes Erdöl und Erdgas	05-07	Kohlenbergbau; Gew. v. Erdöl u. Erdgas; Erzberg	2	1	1	4	1.8%	0.095	0.0%	-0.94	97%	1%	0.558	0.05	7%	7%	96%	80%	1%	0%	31%	151%		
GT04	Steine, Erden, Bergbauerzeugnisse; Torf	08-09	Gew. v. Steinen u. Erden; Dienstleistungen f.d. Be	2	1	1	4	1.5%	0.061	0.2%	-0.63	7%	29%	0.154	0.809	3%	25%	62%	6%	7%	2%	50%	133%		
GT04	Nahrungs- und Genussmittel	10	H.v. Nahrungs- und Futtermittel	1	1	1	4	1.5%	1.55	3.3%	-0.24	15%	67%	0.155	0.934	2%	23%	5%	6%	4%	1%	62%	196%		
GT04	Nahrungs- und Genussmittel	11	Getränkeherstellung	1	2	1	4	1.5%	1.36	2.0%	-0.63	69%	18%	0.138	0.395	2%	23%	5%	6%	5%	1%	62%	196%		
GT04	Nahrungs- und Genussmittel	12	Tabakverarbeitung	1	2	1	4	1.5%	1.36	2.0%	-0.63	69%	18%	0.138	0.395	2%	23%	5%	6%	5%	1%	62%	196%		
GT05	Textilien und Bekleidung; Leder/-waren	13	H.v. Textilien	2	1	2	1	2.3%	10.93	1.1%	-0.26	50%	43%	0.085	0.897	0%	1%	0%	0%	4%	1%	64%	232%		
GT05	Textilien und Bekleidung; Leder/-waren	14	H.v. Bekleidung	2	2	2	5	2.3%	7.793	1.0%	-1.82	37%	47%	0.1	0.339	0%	1%	0%	0%	3%	1%	73%	259%		
GT05	Textilien und Bekleidung; Leder/-waren	15	H.v. Leder, Ledwaren und Schuhen	2	2	2	5	2.3%	37.93	0.6%	-1.11	61%	35%	0.126	0.553	0%	1%	0%	0%	3%	1%	56%	203%		
GT06	Holzwaren, Papier/-waren; Datenträger	16	H.v. Holzwaren; Kabwaren	3	1	3	3	2.0%	0.535	1.8%	-0.22	9%	79%	0.142	0.71	6%	49%	31%	20%	5%	2%	80%	214%		
GT06	Holzwaren, Papier/-waren; Datenträger	17	H.v. Papier, Pappe und Waren daraus	3	1	3	2	2.0%	0.867	3.3%	0.545	8%	65%	0.09	0.668	6%	49%	31%	20%	6%	2%	53%	145%		
GT06	Holzwaren, Papier/-waren; Datenträger	18	H.v. Druckerezeugnisse	3	3	3	4	2.0%	7.424	0.0%	0.628	5%	28%	0.262	0.658	6%	49%	31%	20%	4%	1%	43%	154%		
GT07	Kokerei- und Mineralerzeugnisse	19	Kokerei und Mineralölverarbeitung	2	3	2	2	1.2%	0.579	1.1%	-0.59	2%	80%	0.167	0.546	15%	48%	41%	29%	3%	1%	68%	121%		
GT08	Chem. Erzeugnisse; Spalt- und Bruststoffe	20	H.v. chemischen Erzeugnissen	2	2	2	4	2.8%	1.329	5.8%	0.43	22%	59%	0.08	0.921	36%	35%	68%	48%	6%	2%	47%	156%		
GT08	Chem. Erzeugnisse; Spalt- und Bruststoffe	21	H.v. pharmazeutischen Erzeugnissen	2	2	2	5	2.8%	71.38	6.5%	0.806	32%	61%	0.091	0.983	36%	35%	68%	48%	2%	1%	47%	156%		
GT08	Chem. Erzeugnisse; Spalt- und Bruststoffe	22	H.v. Gummi- und Kunststoffwaren	2	2	2	2	3.7%	5.92	2.8%	0.226	26%	63%	0.126	0.886	36%	35%	68%	48%	4%	1%	52%	178%		
GT09	Sons. Mineralerzeugnisse	23	H.v. Glas u. Glaswaren, Keramik u. Ä.	2	2	2	2	3.7%	0.83	1.7%	0.356	31%	51%	0.088	0.997	5%	5%	15%	5%	6%	2%	59%	142%		
GT10	Metalle und Halbzeug; Metallerzeugnisse	24	Metallerzeugung und -bearbeitung	2	2	2	3	1.9%	1.548	9.0%	0.412	17%	68%	0.154	0.915	13%	45%	42%	30%	3%	2%	57%	126%		
GT10	Metalle und Halbzeug; Metallerzeugnisse	25	H.v. Metallerzeugnisse	2	1	2	2	1.9%	5.279	5.3%	0.464	18%	66%	0.111	0.943	13%	45%	42%	30%	3%	2%	59%	197%		
GT11	Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.	26	H.v. Datenverarbeitungsgeräten, elektron. u. c	3	4	3	8	4.7%	106.8	5.5%	0.48	29%	54%	0.077	0.894	2%	3%	0%	2%	2%	1%	52%	188%		
GT11	Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.	27	H.v. elektrischen Ausrüstungen	3	3	3	7	4.7%	14.6	6.0%	0.443	26%	59%	0.095	0.982	2%	3%	0%	2%	2%	1%	43%	158%		
GT11	Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.	28	Maschinenbau	3	2	3	5	3.0%	14.37	13.2%	0.859	41%	47%	0.084	0.913	2%	3%	0%	2%	3%	1%	53%	193%		
GT12	Fahrzeuge	29	H.v. Kraftwagen und -teilen	4	3	4	6	1.9%	11.94	10.9%	1.026	46%	42%	0.225	0.985	27%	20%	26%	25%	3%	1%	55%	171%		
GT12	Fahrzeuge	30	Sonst. Fahrzeugbau	4	2	4	5	1.9%	18.22	2.4%	0.688	36%	46%	0.167	0.95	27%	20%	26%	25%	2%	1%	44%	173%		
GT13	Möbel, Schmuck und sonst. Erzeugnisse	31	H.v. Möbel	3	1	3	1	2.6%	4.756	0.8%	-0.03	37%	44%	0.113	0.731	0%	1%	0%	0%	3%	1%	55%	158%		
GT11	Maschinen, Ausrüstungen, Geräte a.n.g.	32	H.v. sonst. Waren	3	2	3	4	2.6%	3.839	3.0%	0.164	31%	55%	0.112	0.877	2%	3%	0%	2%	3%	1%	55%	158%		

Q.: OECD, COMTRADE, Statistik Austria; WIFO-Berechnungen. Die Farben bilden – für jede Spalte extra – ein Höhenrichtmuster: je höher der Wert, desto intensiver der Grauton, bzw. je niedriger, desto intensiver der Blauton. Die Interpretation fällt etwas leichter, wenn die Korrelationen zwischen den Indikatoren betrachtet werden.

Übersicht 13: Korrelationsmatrix der Indikatoren

	Klassifikationen						Außenhandelsindikatoren							Bahnanteil im Modal Split Basis: Tonnen				Basis: Vorleistungen			
	ICT-Klasse (OECD)	IKT-Fachleute (WIFO)	IKT-Intensität (OECD)	ICT-Type	Innovation Type	ICT-Kapitalstock/Q - EUKLEMS	Einheitswerte	Exportwertanteile	Komplexität der Warenexporte	Marktanteile: Hochpreissegment	Marktanteile: Mittleres Preissegment	Geographische Dispersion des Handels	Stärke des intraindustriellen Handels	Binnen	Quell	Ziel	Summe	dir/indir Strasse	dir/indir Schiene	in/dir Schiene - Veränderung 1995/2015	in/dir Strasse - Veränderung 1995/2015
ICT-Klasse (OECD)	33%	92%	37%	-41%	32%		20%	33%	56%	-16%	13%	-8%	36%	7%	-4%	-15%	-7%	-23%	-5%	-8%	-2%
IKT-Fachleute (WIFO)		39%	95%	-29%	45%		53%	36%	29%	-1%	-2%	-24%	21%	-5%	5%	-25%	-18%	-14%	-10%	1%	6%
IKT-Intensität (OECD)			39%	-49%	42%		24%	44%	62%	-12%	28%	-34%	54%	0%	3%	-36%	-21%	-14%	4%	26%	28%
ICT-Type				-30%	41%		59%	39%	40%	-4%	-11%	-16%	21%	15%	-13%	-18%	-17%	-34%	-35%	-37%	-9%
Innovation Type					-57%		-38%	-64%	-76%	20%	-49%	32%	-65%	-43%	-1%	-3%	-15%	31%	12%	18%	26%
ICT-Kapitalstock/Q							53%	36%	43%	8%	13%	-43%	50%	-19%	-26%	-33%	-24%	8%	-2%	2%	18%
Einheitswerte							25%	28%	8%	1%	-25%	24%		3%	-21%	-16%	-10%	-32%	-34%	-10%	9%
Exportwertanteile								66%	3%	23%	-31%	56%		12%	8%	-17%	-3%	-8%	2%	5%	10%
Komplexität der Warenexporte									24%	37%	-34%	69%		28%	27%	-2%	7%	-3%	6%	-12%	-12%
Marktanteile: Hochpreissegment										-55%	-5%	-30%		-27%	-47%	-18%	5%	-13%	-38%	9%	37%
Marktanteile: Mittleres Preissegment											-55%	46%		23%	33%	0%	-1%	-7%	20%	34%	12%
Geographische Dispersion des Handels												-54%		27%	-10%	47%	43%	-31%	-27%	-57%	-56%
Stärke des intraindustriellen Handels														12%	11%	-23%	-23%	21%	26%	36%	31%
Binnen															30%	72%	71%	-22%	-16%	-23%	-30%
Quell																38%	37%	37%	60%	11%	-10%
Ziel																	90%	-9%	-3%	-29%	-38%
Summe																		-24%	-17%	-27%	-27%
dir/indir Strasse																			86%	26%	15%
dir/indir Schiene																				32%	6%
in/dir Schiene - Veränderung 1995/2015																					87%

Q: OECD, COMTRADE, WIFO, Statistik Austria; WIFO-Berechnungen.

Bem.: die meisten Indikatoren folgen der Logik "mehr ist besser" (d.h. Technologie-intensiver) nur der Indikator "Innovation Type" ist umgekehrt definiert; daher auch die negativen Korrelationen mit den übrigen Klassifikations-indikatoren!

Die Unit Values (also der Wert pro Mengeneinheit) der Exporte sind also, den in Abschnitt 3.5 formulierten Arbeitshypothesen entsprechend, tendenziell positiv mit den Technologieklassifikationen³³ korreliert, sowie mit den anderen Außenhandelsindikatoren, vor allem mit der Complexity. Negativ hingegen die Korrelation mit den Modal Splits bzw. dem (in)direkten Verbrauch an Transportleistungen; je höher der Unit Value, desto geringer also der Transportgehalt sowie der Schienenanteil am Transportgehalt – dies entspricht völlig den erwarteten Zusammenhängen. Ähnliches gilt für die Indikatoren des Quality Shares (die

³³ Die abweichenden negativen Korrelationen der meisten Kennzahlen mit der "Innovation Type" ergeben sich aus der Definition dieser Innovationskennzahl: während bei den meisten anderen Indikatoren "mehr ist besser" gilt (also die höchste Technologie in der ICT-Klasse 5 verortet ist, ist es beim Innovation Type genau umgekehrt; hier ist die Klasse 1 jene mit der höchsten Innovation.

Marktanteile in unterschiedlichen Preissegmenten), die ebenfalls (tendenziell) negative Zusammenhänge mit den Transportintensitäten und dem Bahnanteil aufweisen.

Etwas anders der Grubel-Lloyd-Index, der die Diversifizierung darstellt: der Modal Split ist zwar negativ korreliert, der Transportgehalt aber positiv – der Grund liegt darin, dass einige Güter/Sektoren mit hohem intra-industriellem Handel (und damit hohem Grubel-Lloyd) mit die höchsten Transportgehalte aufweisen (chemische Erzeugnisse, Glas und Baustoffe, Gummi und Kunststoff). Da ein hoher intra-industrieller Handel auch ein wichtiges Indiz für die Spezialisierung in Wertschöpfungsketten darstellt, führt dies zu verstärktem Warenaustausch und dies scheint sich positiv auf die Transportgehalte auszuwirken.

Erwartungsgemäß hingegen wiederum, dass die Unit Values mit der regionalen Konzentration der Zielländer, gemessen am Herfindahl-Index, negativ korreliert sind, dieser wiederum mit negativ mit Transportgehalt und Bahnanteil.

Interessant ist, dass - mit Ausnahme des Zielverkehrs – der Transportgehalt negativ mit dem Modal Split der Verkehrsarten korreliert ist (wenn auch nicht immer sehr deutlich) – auf den zweiten Blick allerdings nicht mehr ganz verwunderlich, da die Straße die höheren spezifischen Kosten (Tonne pro Kilometer) aufweist.

Interessant sind die Korrelationen der Außenhandelskennzahlen und ihrer Veränderungen: alle Kennzahlen sind mit ihren (absoluten) Veränderungen seit 2000 positiv korreliert – d.h. dass hohe Werte tendenziell noch zulegen.

Schlüsse, die für vorliegende Fragestellung gezogen werden können, umfassen:

- Die wichtigsten Wirtschaftssektoren für den Bahntransport im Sinne direkt zugekaufter Dienste sind Großhandel, Metallerzeugung und -bearbeitung, Holz und Papier
- werden über Vorleistungsbeziehung indirekt zugekaufter Dienste mit einbezogen (also die gesamte „Upstream“-Wertschöpfungskette), dann sind – in dieser Reihenfolge - Großhandel, Metallerzeugung und -bearbeitung, Chemie, Maschinenbau, Nahrungsmittelerzeugung die für den Bahntransport in Österreich wichtigsten Sektoren.
- Auch bei Betrachtung spezifischer Bahnaffinität – also die (direkt und indirekt) konsumierten Bahntransportleistungen pro Outputseinheit – sind es diese bzw. ähnliche Sektoren, die die höchste Bedeutung aufweisen – Holz, Papier, Steine und Erden, Glas und Baustoffe, Metalle.
- Abgesehen vom Maschinenbau (einem für Österreich sehr wichtigen Sektor, der in seiner Technologieintensität insgesamt schwer einzuschätzen ist, der aber typischerweise als mittel- bis mittel-hochtechnologisch eingestuft ist, sind es damit eher Branchen mit weniger hohem Technologiegehalt, die sowohl größere Mengen wie auch höhere Bahnaffinität aufweisen.

- Allgemein ist die Korrelation negativ: je höher der Technologiegehalt, egal nach welcher Klassifikation, umso geringer der Transportgehalt insgesamt und damit auch umso geringer der Bahntransportgehalt.
- Bei den allermeisten Sektoren überwiegt der Gehalt an indirekten Bahntransportleistungen ganz deutlich den direkten Vorleistungsbezug – die Bahnaffinität nimmt also tendenziell im Verlauf der Wertschöpfungskette ab. Oder umgekehrt bestätigt es die obige Beobachtung, dass es die stärker grundstofforientierten Branchen sind, die das Gros des (Bahn)Transports ausmachen (Holz, Metall, Papier, Steine, Chemie).
- Zwischen 1995 und 2015 hat der Anteil der Bahn an den Gütertransportleistungen deutlich abgenommen: der Anteil der induzierten Bahntransportleistungen fiel nominell von fast der Hälfte auf unter 30% der Gütertransportleistungen im Landverkehr
- Grob ist dies zu gleichen Teilen auf den Strukturwandel wie auf die generelle Zunahme der Bedeutung des Straßengüterverkehrs zurückzuführen; der Strukturwandel ist also, wenn auch nicht besonders ausgeprägt, „bahn-avers“: er bevorzugt weniger bahnaffine gegenüber stärker bahnaffinen Branchen.
- Der gesamtwirtschaftliche Modal Split korreliert im internationalen Vergleich stark mit dem Anteil der Sachgüterproduktion an der gesamten Wirtschaftsleistung – je höher der Sachgüteranteil, desto höher der Bahnanteil. Österreich stellt hier eine Ausnahme dar, der Bahnanteil ist relativ höher, um gut 5 Prozentpunkt. Dies ist v.a. im Vergleich mit westeuropäischen Vergleichsländern ungewöhnlich; die Osteuropäer haben historisch bedingt noch etwas höherer Bahnanteile

6. Zusammenfassung und Stärken-Schwächen Profil

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Industriestruktur Österreichs grundsätzlich den Bahntransport von Gütern begünstigt. Durch technischen Wandel und Globalisierung hat sich die Industriestruktur aber zu Sektoren hin verschoben, die eine höhere Neigung zur Nutzung des Straßentransports haben. Insgesamt sind der Warenhandel und Transportvolumen wie nachgefragte Transportleistung der österreichischen Industrie stetig gestiegen. Der Gütertransport auf der Straße konnte in dieser Situation trotz steigender Transportpreise starke Zugewinne in den Marktanteilen verzeichnen. Dies deutet darauf hin, dass der Gütertransport auf der Straße über Vorteile bzw. ein PreisLeistungsverhältnis verfügt, das von der Industrie gegenüber der Bahnfracht als vorteilhaft eingestuft und daher vermehrt nachgefragt wurde. Es ist davon auszugehen, dass die weitere Verbreitung von Industrie 4.0 Technologien diese Entwicklungen grundsätzlich fortsetzen und möglicherweise noch weiter beschleunigen wird.

Angesichts dieser Ausgangssituation stellt sich die Frage, worin die besonderen Vorteile des Gütertransports auf der Straße gegenüber jenen der Bahn liegen, die zu dieser Verschiebung im Modal Split geführt haben und wie diese sich in der Zukunft weiter darauf auswirken werden. Die Analyse legt nahe, dass die Eigenschaften der transportierten Waren sowie Veränderungen in der Organisation der Wertschöpfungsketten wichtige Faktoren sind. Die Ergebnisse zeigen, dass die gehandelten Güter und Waren zunehmend komplexer, hochwertiger und ausdifferenzierter werden. Das befördert einerseits die Entstehung kapillarer Zuliefernetzwerke und erfordert rasche Umschlagzeiten und insgesamt einen geringeren Umschlag. Moderne Zulieferketten erfordern zuverlässige und pünktliche Lieferung bei relativ geringen und teilweise stark schwankenden Liefergrößen, damit die modernen flexiblen Fertigungs- und Lagerhaltungssysteme ihre Kostenvorteile entfalten können.

Wenn der Verlust an Marktanteilen im Güterverkehr weniger ein Problem der Preissetzung, sondern der Serviceeigenschaften der gebotenen Dienstleistungen in Bezug auf die Eigenschaften der Fracht ist, so sollte ein Anliegen sein, sich die Stärken und Schwächen des Bahngüterverkehrs zu vergegenwärtigen. Die Digitalisierung aber auch andere Entwicklungen bieten hingegen sowohl Entwicklungsmöglichkeiten als auch Gefahren, die identifiziert werden sollten. Die folgenden Paragraphen fassen aus Sicht der Autoren diese Aspekte abschließend kurz zusammen.

Stärken des Bahngüterverkehrs

Skalenökonomien: Der Bahngütertransport hat gegenüber dem Gütertransport auf der Straße den Vorteil, dass größere Transportmengen (auch mit sehr hohem Sendegewicht) über weite Strecken verfrachtet werden können. Dadurch sind die Transportkosten je Tonnen-KM beim Bahngütertransport geringer und nehmen auch mit zunehmender Beförderungsleistung ab. Die Bahn hat somit einen Masse-Distanz Vorteil gegenüber dem LKW_Verkehr.

Umweltfreundlichkeit: Der Gütertransport mit der Bahn hat einen geringeren ökologischen Fußabdruck i.S. von CO² Emission/ Tonnen-KM.

Schwächen des Bahngüterverkehrs

Skalierbarkeit: Ein wichtiges Ziel der moderner Fertigungstechnologien und v.a. des Industrie 4.0 Ansatzes ist die Skalierbarkeit der Produktion. Das bedeutet, dass vollkommene Flexibilität hinsichtlich des Produktionsausstoßes und damit auch hinsichtlich der Liefermengen gegeben sein soll. Damit verwandelt sich der Vorteil der Skalenökonomie in einen Nachteil.

Flexibilität: Im Aufbau von industriellen Wertschöpfungsketten ist die Möglichkeit der Sichtbarkeit und Nachverfolgbarkeit von Werkstücken und Komponenten in der Wertschöpfungskette wesentlich, der kontinuierliche Informationsaustausch und damit die technologische Integration von Informationssystemen, die Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit an Änderungen sowohl im Produktionsprozess als auch während Liefervorgängen, sowie die Sicherheit und Zuverlässigkeit über den gesamten Frachtverlauf. Dazu gehören auch Aspekte wie Vermeidung von Beschädigung von Lieferung, die Minimierung des Umschlages, Sicherheit der Lieferung, Lieferdauer, Verfügbarkeit auf kurzen Abruf (vgl. auch Abschnitt 3.3). Die Nutzung von Industrie 4.0 Technologien und deren Ausweitung auf den Logistiksektor.

In einigen dieser Leistungsparameter, wie etwa der Minimierung des Umschlages oder der Anpassungsfähigkeit und Eingriffsmöglichkeit während Liefervorgängen (z.B. kurzfristige Zwischenlagerung oder Umlenkung, wenn Umweltparameter für die Fracht schädlich sein könnten) ist der Bahntransport gegenüber dem Straßentransport aufgrund der Eigenschaften der beiden Verkehrsträger, vor allem mit Blick auf deren Unterschiede im mindesteffizienten Transportvolumen, benachteiligt.

Die erste/letzte Meile: Gleisanschlüsse sind nur in sehr wenigen Unternehmen vorhanden und damit ist bei Nutzung der Bahn beim Beladen und Entladen jeweils ein Umschlag notwendig. Der Verschub in Frachtbahnhöfen ist zeitintensiv, und Frachtbahnhöfe sind oft nicht für eine schnelles Beladen durch LKWs optimiert. Damit entstehen lange Wartezeiten für Frächter wodurch die wirtschaftliche Attraktivität der Nutzung der Bahngütertransport sinkt. Gleichzeitig ist die Umschlagminimierung für die versendenden Unternehmen eine Kosten- und Risikominimierung, da jeder Umschlag Kosten verursacht, zu einem Zeitverlust führt und das Risiko einer Beschädigung der Fracht erhöht. Wenn für die Industrieunternehmen die Minimierung des Umschlages ein wichtiges Kriterium in der Verkehrsträgerwahl ist, so ist der Bahngütertransport im Nachteil.

Möglichkeiten für den Bahngüterverkehr

3D-Druck: Der mögliche Einsatz von 3D-Druck in der Fertigung von Großserien könnte in der Zukunft zwar zu einer Verschiebung oder Verringerung von Zulieferleistungen und damit verbundenem Warenverkehr führen. Doch müssten die Rohmaterialien für den 3D Druck zu regionalen 3D-Druckshops transportiert werden. Dabei handelt es sich um Metall- oder Kunststoffgranulate oder Zement, die Massengüter sind und eine hohe Bahnaffinität haben.

Ausnutzung der Größenvorteile in innovativen Logistikkonzepten: Die Größenvorteile der Bahn können gleichzeitig Chance und Hemmnis sein. Innovative Lösungen sollten die Vorteile betonen, dies könnten z.B. folgende Ansätze umfassen:

- Erweiterung/Ausbau bahneigener Hub-and-Spoke-Logistik Netzwerke in Zusammenarbeit mit Logistikdrittanbietern
- Nutzung der Bahn als rollendes Lager für die Industrie
- Verstärkte Nutzung der Digitalisierung für Nachverfolgung, oder zur Optimierung von Lieferung/Bündelung von Lieferungen und Umschlag

Klimawandel: Kurz- bis mittelfristig gewinnt der Klimawandel und die Reduktion des CO₂-Fußabdrucks von Unternehmen rasch an Bedeutung. Damit verschlechtern sich die Marktchancen des Straßengüterverkehrs. Einerseits weisen unterschiedliche Analysen auf eine derzeitige Subventionierung des Straßengüterverkehrs hin (z.B. zu geringe Treibstoffbesteuerung bzw. mangelnde Internalisierung externer negativer Effekte), sodass mittelfristig mit einer regulatorischen Reaktion zu rechnen ist, die das Preisgefüge zu Ungunsten des Straßengüterverkehrs verändern wird (wenngleich fraglich ist, inwieweit dies dessen derzeitigen Preis-Leistungsvorteile aus der Sicht der Industrie negativ beeinträchtigt). Andererseits macht die günstigere CO₂-Bilanz des Bahngüterverkehrs diesen für Unternehmen, die ihre CO₂ Bilanz verbessern müssen/wollen, zu einer attraktiveren Option. Damit sich diese Vorteile in wirtschaftliche Vorteile ummünzen können, wäre eine Bepreisung der externen Kosten, die durch die Nutzung fossiler Brennstoffe entstehen, notwendig.

Grenzen der anderen Verkehrsträger: Die zunehmend beobachtbare Überlastung von Häfen und Straßen könnte zusehends den Bahngüterverkehr als zuverlässigen und schnellen Logistikpartner der Industrie begünstigen.

Veränderungen in globalen Wertschöpfungsketten: Die Veränderung der globalen Wertschöpfungsketten ist sowohl eine Möglichkeit als auch eine Gefahr: Die steigende Unsicherheit im internationalen Handel (z.B. neuer Handelsprotektionismus) bzw. die zunehmend schwierigere Kontrolle über vielschichtige und kapillare Zuliefernetzwerke könnte den Trend der Rückverlagerung von Aktivitäten verstärken und beschleunigen und damit auch den Anschlussverkehr an Containerhäfen senken, andererseits jedoch den regionalen, für den Bahngüterverkehr interessanten Warenverkehr, erhöhen.

Geschwindigkeit auf Nettostrecke: Der Bahnverkehr unterliegt im Europäischen Markt aufgrund unterschiedlicher nationaler Regulierungen, technischer Vorrichtungen,

nicht harmonisierter Betriebssprachen, fehlender gegenseitiger Anerkennung von Eisenbahnfahrzeugführerscheinen, Vorschriften für Ruhezeiten der Lokführer, udgl. nicht-tarifären Handelshemmnissen im Gemeinsamen Markt und darüber hinaus. Damit ist eine nachhaltige wettbewerbliche Benachteiligung im Bahngüterverkehr gegenüber dem Straßenverkehr im grenzüberschreitenden Warenverkehr gegeben. Sollten diese Vorschriften im Gemeinsamen Markt harmonisiert werden, hätte die Bahn möglicherweise Vorteile in der Geschwindigkeit auf der Nettostrecke gegenüber dem Güterverkehr auf der Straße.

Gefahren für den Bahngüterverkehr

Strukturwandels: Der in dieser Studie dokumentierte Wandel hin zu weniger bahnaffinen Sektoren wird sich vermutlich mit fortschreitender Digitalisierung fortsetzen.

Transformation des Handels der Industrie: Der Dienstleistungshandel und der Anteil an Dienstleistungen in der Wertschöpfung der Industrie hat stetig zugenommen. Damit rücken Industrieprodukte und der traditionelle Warenhandel in den Hintergrund. Diese Tertiarisierung der Industrie könnte sich durch die Digitalisierung und die Umsetzung von geographisch verteilten Cloud-Manufacturing Modellen (auch mögliche Großserienproduktion in 3D-Druck) beschleunigen und damit die Nachfrage nach Gütertransportdienstleistungen dämpfen.

Veränderungen in globalen Wertschöpfungsketten: Die Veränderung der globalen Wertschöpfungsketten ist sowohl eine Möglichkeit als auch eine Gefahr: Die steigende Unsicherheit im internationalen Handel (z.B. neuer Handelsprotektionismus) bzw. die zunehmend schwierigere Kontrolle über vielschichtige und kapillare Zuliefernetzwerke könnte den Trend der Rückverlagerung von Aktivitäten verstärken und beschleunigen und damit auch den Anschlussverkehr an Containerhäfen senken, andererseits jedoch den regionalen, für den Bahngüterverkehr interessanten Warenverkehr, erhöhen.

Literatur

- Ankner W.D., James R.J (2017). Industry Significance of 3D Printing to Transportation Logistics, Traffic Activities, Planning and Asset Management. Institute for Trade and Transportation Studies. New Orleans.
- Baldwin C.Y, Clark K.B. (2000). Design Rules. MIT Press, Boston.
- Birtchell T., Urry J., Cook C., Curry A. (o.J.), Freight Miles. The Impacts of 3D Printing on Transport and Society. ESRC Project ES/J007455/1
- Blinder A., Krueger A. (2013). Alternative Measures of Offshorability: A Survey Approach. *Journal of Labor Economics* 31(S1), S97 - S128
- Boon W., van Wee B. (2017). Influence of 3D printing on transport: A theory and experts judgement based conceptual model. *Transport Reviews* 38(5), 556-575.
- Brody, Paul, and Veena Pureswaran. "The new software-defined supply chain: Preparing for the disruptive transformation of Electronics design and manufacturing." IBM Institute for Business Value. July 2013.
- Brusoni S., Prencipe A., Pavitt K. (2001). Knowledge Specialisation, Organizational Coupling, and the Boundaries of the Firm: Why do Firms know more than they make. *Administrative Science Quarterly* 46(4), 597-621.
- Calvino, F., Criscuolo, C., Marcolin, L., Squicciarini, M. (2018): "Ataxonomy of digital intensive sectors", OECD Science, Technology and Industry Working Papers, No. 2018/14.
- Chandler, A.D., Hikino T. (1994). Scale and Scope. Harvard University Press, Harvard.
- Costabile, G. F. (2017). Cost models of additive manufacturing: A literature review. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 263 - 282.
- Dachs, B., Kraner J., Hanisch, C., Som O. (2019). Der Einsatz von 3D-Druck in österreichischen Unternehmen. AIT-IP-Report Austrian Institute of Technology, Wien.
- Esmailian B., Behdad S., Wang B (2016). The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems* 39, 79–100
- Europäische Kommission (2019). Study on Logistics and Wholesale Trade in EU27. Final Report GROW/A2/PC/TB/CR(2018)4100229 within the Framework contract No. ENTR/300/PP/2013/FC <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/37269/attachments/1/translations/en/renditions/native> (Zugriff 30.01.2020)
- Friesenbichler K.S., Glocker C., Hölzl W., Kaniovski S., Kügler A., Reinstaller A., Streicher G., Siedschlag I., Di Ubaldo M., Studnicka Z., Stehrer R., Stöllinger R., Leitner S., Hanzl-Weiss D., Reiter O., Adarov A., Bykova A. (2017). Drivers and Obstacles to Competitiveness in the EU. The Role of Value Chains and the Single Market. Study for the European Commission within the Framework contract No. ENTR/300/PP/2013/FC, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/28183>
- Goldfarb A., Tucker C. (2019). Digital Economics. *Journal of Economic Literature* 57 (1), 3-43
- Gönenç, R., Guérard, B. (2017): Austria's digital transition. OECD Publishing, Paris.
- Grübler, A. (1990). The Rise and Fall of Infrastructures. Physica-Verlag, Heidelberg.
- Haskel, J., Westlake, S. (2018). Capitalism without Capital. Princeton University Press, Princeton.
- Hatema N., Yusof Y., Aini Zuhra, Kadir A., Mohammed M. A (2018). A state-of-the-art study of cloud manufacturing International. *Journal of Engineering & Technology* 7(2.29),34-37
- Hidalgo, C. A., Hausmann, R. (2009): "The building blocks of economic complexity", proceedings of the national academy of sciences, 106(26), pp. 10570–10575.
- Hölzl W., Bärenthaler-Sieber S., Bock-Schappelwein J., Friesenbichler, K.S., Kügler, A., Reinstaller, A., Reschenhofer, P., Dachs, B., Risak, M. (2019). Digitalisation in Austria State of Play and Reform Needs. Study carried out within the Framework Service Contract 'Studies in the Area of European Competitiveness' (ENTR/300/PP/2013/FC-WIFO)
- Hölzl, W., Friesenbichler, K.S., Kügler, A., Peneder, M., Reinstaller A. (2017): Österreich 2025 – Wettbewerbsfähigkeit, Standortfaktoren, Markt- und Produktstrategien österreichischer Unternehmen und die Positionierung in der internationalen Wertschöpfungskette WIFO-Monatsberichte, 90(3), 219-22.
- Homburg H. (1991). Rationalisierung und Industriearbeit. Arbeitsmarkt - Management - Arbeiterschaft im Siemens-Konzern Berlin 1900-1939. Duncker-Humblot, Berlin.

- Hounshell D. (1984). *From the American System to Mass Production, 1800-1932*. JHU Press, Washington.
- Hribernik, K.A., Warden T., Thoben K.-D., Herzog, O. (2010). An Internet of Things for Transport Logistics – An approach to connecting the information and material flows in autonomous cooperating logistic processes. MITIP 2010 Conference Paper, Aalborg University, Denmark
- Hummels D., Klenow P.J. (2005). The Variety and Quality of a Nation's Exports *American Economic Review* 95(3), 704-723.
- IDC (2016). *Transforming Manufacturing with the Internet of Things*. Market Spotlight, May 2016.
- Jeffs V.P., Hills P.J. (1990). Determinantes of modal choice in freight transport. *Transportation* 17 (1), 29-47
- Jones D.J., Roos D. (1991). *Die zweite Revolution in der Autoindustrie: Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology*. Campus, Frankfurt am Main.
- Koren Y., Gu X., Guo W. (2017). Reconfigurable manufacturing systems: Principles, design, and future trends *Frontiers in Mechanical Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0483-0>
- Lazonick, W. H. (1990). *Competitive Advantage on the Shop Floor*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Levinson M. (2016). *The Box. How the Shipping Container Made the World Smaller and the World Economy Bigger*. Princeton University Press, Princeton, 2. Auflage.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M. (2015): *Industrie 4.0-Readiness*. IMPULS-Stiftung des VDMA, Aachen.
- Lund S., Manyika J., Woetzel J., Bughin J., Krishnan, M., Seong J., Muir M. (2019). *Globalization in Transition: The Future of Trade and Value Chains*. McKinsey Global Institute.
- Martin J. and Mayneris F. (2015). High-end variety exporters defying gravity: Micro facts and aggregate implications. *Journal of International Economics* 96(1), 55-71
- Mayer, T., Zignago, S. (2011). Notes on CEPII's distances measures: the GeoDist Database CEPII Working Paper 2011-25.
- Millar, M. (2015). *Global Supply Chain Ecosystems*. KoganPage, London.
- Mohr S., Khan O. (2015). 3D Printing and Its Disruptive Impacts on Supply Chains of the Future. *Technology Innovation Management Review* 5(11), 20-25
- Nelson R.R. (1991). Why Do Firms Differ, and How Does it Matter? *Strategic Management Journal* 12(1), 61-74
- Noble, D. F. (1977). *America by Design*, Oxford: Oxford University Press.
- Nooteboom B. (2003). *Trust: Forms, Foundations, Functions, Failures and Figures*. Edward Elgar, Aldershot.
- OECD (2017): "Economic Survey of Austria 2017". OECD Publishing, Paris. <http://www.oecd.org/austria/economic-survey-austria.htm>.
- OECD 2017. *The Next Production Revolution Implications for Governments and Business*. OECD Paris.
- Peneder, M (2020). Digitalisierung und sektorale Wettbewerbsfähigkeit: eine neue Taxonomie zur Gliederung von Branchen nach ihrer IKT Intensität. *WIFO-Monatsberichte* 2/2020, im Erscheinen.
- Peneder, M., Firgo, M., Streicher G. (2018): *Stand der Digitalisierung in Österreich*. WIFO, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Peterson S., Bedeman M., Godunova D. (2014). Shifting transport paradigms. Understanding the implications of 3D printing on the global transportation industry. IBM Institute for Business Value. Somery NY.
- Prentice, B.E., Prokop D. (2016). *Concepts of Transportation Economics*. World Scientific Publishing, New Jersey.
- Puwein, W. (2009). Preise und Preiselastizitäten im Verkehr. *WIFO-Monatsberichte* 10/2019, 779-798.
- Ryan M.J., Evers D.R., Potter A., Purvis L., Gosling J. (2016). 3D printing the future: scenarios for supply chains reviewed. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 47(10), 992-1014
- Sanchez L.M., Nagi R. (2001) A review of agile manufacturing systems. *International Journal of Production Research* 39(16), 3561- 3600
- Shen, W., Norrie, D.H. (1999). Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey. *Knowledge and Information Systems, an International Journal* 1(2), 129-156.
- Sterman J. (1989), "Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision-Making Experiment", *Management Science*, 35(3), 321-339.

- Thomas, D. S. (2014). *Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing*. National Institute of Standards and Technology.
- U.S. International Trade Commission (USITC 2017) *Global Digital Trade I: Market Opportunities and Key Foreign Trade Restrictions*, USITC Publication 4716, <https://www.usitc.gov/publications/332/pub4716.pdf> (Zugriff 30.01.2020)
- UNCTAD (2019) *Key Statistics and Trends in International Trade 2018*. United Nations, Geneva.
- Vahrenkamp, R. (2013). *Von Taylor zu Toyota. Rationalisierungsdebatten im 20. Jahrhundert*. Eul Verlag, Lohmar, 2. Auflage.
- Van de Riet - De Jong- Walker (2004), *Drivers of Freight Transport Demand Worldwide*; European Transport Conference 2004
- Vierth I., Lindgren S., Lobig A., Matteis T., Liedtke G., Burgschweiger S., Niérat P., Blanquart C., Bogers E., Davydenko I., Burgess A., van de Ree S. (2015). *FALCON Handbook Understanding what influences modal choice*. CEDR Contractor Report 2017-07
- WTO (2018). *World Trade Report 2018*. World Trade Organization, Geneva.
- Wu D., Greer M.J., Rosen D.W., Schaefer D. (2013). *Cloud manufacturing: Strategic vision and state-of-the-art*. *Journal of Manufacturing Systems* 32, 564–579
- Wu D., Greer M.J., Rosen D.W., Wang L., Schaefer D. (2014). *Cloud-Based Manufacturing: Old Wine in New Bottles?* *Procedia CIRP* 17, 94 – 99
- Zahradnik G., Dachs B., Rhomberg W., Leitner, K.-H. (2019), *Trends und Entwicklungen in der österreichischen Produktion*, AIT. Highlights aus dem European Manufacturing Survey 2018. Austrian Institute of Technology, Wien.

Anhang I: Grundlagen und Überblick über die bereitgestellte Datenbank

Einen wesentlichen Teil des Projekts stellt die Kompilation einer Datenbank dar, in der für die gegenständliche Fragestellung wesentliche Zeitreihen zu den Themen Wirtschaftsstruktur, Technologie, Handel und Transport sowie relevante Politikmaßnahmen zusammengeführt werden sollen.

Die Datenbank ist in der, für statistische Berechnungen ausgelegten, Programmiersprache "R" implementiert und ist über ein eigens programmiertes Userinterface im Internet (hinter einem passwortgeschützten Login) abrufbar. R bietet den Vorteil einer einheitlichen Auswertungsumgebung, in der alle Daten aus unterschiedlichen Quellen vereint und direkt an R-Algorithmen übergeben werden können, was die Automatisierung bestimmter Prozesse enorm steigert bzw. gegenüber klassischen Programmen wie Excel überhaupt erst ermöglicht. Dies bietet auch den Nutzen, bestimmte Daten (etwa von Eurostat oder Comtrade) stets aktuell zu halten, da es für diese Quellen Schnittstellen zu R gibt, über die die Daten direkt vom Hauptserver der jeweiligen Quelle mittels eines simplen Codes abrufbar sind. Dies vermeidet das umständliche und manuelle Abrufen der Daten über den Webbrowser sowie deren anschließendes Einlesen, da die Daten unmittelbar und automatisch über einen Befehl in R abrufbar sind. Zudem stellt das sehr effiziente Datenmanagement (hier insbesondere des Packages `data.table`) von R einen angesichts der enormen Datenmenge nicht zu unterschätzenden Vorteil dar.

Zur Sicherstellung der Übersichtlichkeit (die angesichts der Datenfülle und Heterogenität durchaus eine Herausforderung darstellt - die Datenbank umfasst knapp 50 Mio. Einträge mit 51 Variablen) ist die Datenbank auf mehreren (hierarchischen, aber verknüpfbaren) Ebenen gegliedert. Die oberste Stufe bilden die Themengruppen (in der Applikation "Gliederung" genannt):

- Transport, Infrastruktur, Wirtschaft & Unternehmen, Comtrade

Transport fasst dabei die Verkehrsstatistiken im Hinblick auf Verkehrsverbindungen und -aufkommen vor allem aus dem Güterverkehr (wie Güterverkehrsvolumen, Güterverkehr nach Gütergruppen etc.) zusammen. Der Punkt Infrastruktur versammelt Daten hinsichtlich der Infrastruktur bzw. dem Bestand aus dem Verkehrsbereich wie bspw. Gleislänge oder Anzahl der Züge. Wirtschaft & Unternehmen umfasst Daten zur wirtschaftlichen Struktur bzw. Unternehmenslandschaft bestimmter Regionen. Comtrade beschreibt letzten Endes die Daten der "UN Comtrade Database", die weltweite, binationale Handelsdaten auf feingranulierter Güterbasis zur Verfügung stellt.

In der darunterliegenden Ebene, die in der Applikation unter "Datenbank" zu finden ist, kann dann zwischen den Aspekten

- Zug, Straße, Luft, Wasser, Multimodal (Multi); VGR, SBS; sowie den Unterkategorien bei Comtrade entsprechend der Grobgliederung der Harmonized System Codes (HS 2017) (bspw. Comtrade Metalle, Comtrade Textilien etc.)

ausgewählt werden. Die Punkte Zug bis Multimodal beziehen sich dabei auf die Transportmodi der jeweiligen Verkehrsstatistik bzw. Verkehrsverbindung. Unter VGR (Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung) finden sich (makro)ökonomische Kennzahlen der europäischen Länder und Regionen, unter SBS (Structural Business Survey) in erster Linie Variablen, die im Zuge von Unternehmensbefragungen erhoben werden und Aufschlüsse über die Unternehmensstruktur eines Landes liefern (in Österreich wäre dies vor allem die Leistungs- und Strukturhebung LSE, deren Ergebnisse in den SBS einfließen). Die entsprechenden Unterkategorien bei Comtrade verweisen auf die Grobgliederung der gehandelten Güter.

Die unterste und feinste Ebene bildet die Tabellen (bzw. ihr entsprechender Code), die die Daten zu einer spezifischen Einheit zusammenschließen, etwa die Beschäftigung in Güterverkehrsunternehmen. Hierfür wurde großteils – mit Ausnahme bestimmter uneindeutiger Fälle – die Namensgebung (bzw. Codes) der EUROSTAT übernommen bzw. bei Comtrade die Gliederung der obigen Datenbank.

Die wichtigste Datenquelle (in der Applikation "Quelle") stellt EUROSTAT dar, von der praktisch alle relevanten transport- und wirtschaftsbezogenen Zeitreihen der beschriebenen Datenbank stammen. Der Vorteil ist nicht zuletzt die EU-weit einheitliche Definition der Kenngrößen (wenn auch ihre statistische Qualität nicht EU-weit einheitlich ist). Ergänzende Daten wurden von der Statistik Austria übernommen. Durch die Bereitstellung europaweiter Daten ist es möglich, die österreichischen Werte im europäischen Vergleich abzubilden. Die Quelle für die Handelsdaten sind COMTRADE bzw. die davon abgeleitete BACI-Datenbank.

Neben den oben beschriebenen Variablen Gliederung, Datenbank, Tabelle (bzw. Code) und Quelle sind grundsätzlich in allen Tabellen folgende Ausprägungen vorhanden, nach denen die Datenbank auch gefiltert werden kann:

Ort (bzw. ISO), Jahr, Wert und Einheit

Ganz allgemein gesprochen bildet eine Tabelle den jeweiligen Wert zu einem bestimmten Zeitpunkt (Jahr) für spezifischen Ort in einer Einheit ab. Der Ort bildet dabei die geographische Entität, auf die sich die spezifische Größe bezieht. In den meisten Fällen ist dies ein Land oder eine NUTS-Region, kann aber auch einen Schiffshafen, eine Stadt oder ähnliches darstellen. Ihm entspricht, im Fall von Ländern, eine genormte Abkürzung, der sog. ISO 3166 Alpha-3-Code. Ist ein solche nicht vorhanden, wird einfach der jeweilige, ungekürzte Name des Ortes übernommen.

Über diese Standardvariablen hinaus, die alle Einträge besitzen, weisen die meisten Tabellen noch zusätzliche, ihnen spezifische Dimension auf. Diese bilden zusätzliche Ausprägungen in den Tabellen ab, mithilfe derer die Tabellen feiner untergliedert werden können (bspw. nach Gütern, Sektoren oder Beförderungsart). Tabelle XX gewährt einen anschaulichen Überblick über die unterschiedlichen Tabellen und ihre spezifischen Dimensionen und Einheiten sowie den ihnen zukommenden Ebenen (Gliederung und Datenbank). Ist darin keine Dimension ausgewiesen, gibt es in der entsprechenden Tabelle nur die oben beschriebenen Standardvariablen.

Die R-Oberfläche bietet grundsätzlich vier primäre Reiter an:

- Unter „Überblick“ soll ein ebensolcher gegeben werden
- „Download“ ermöglicht die Auswahl und anschließende Extraktion von Datenreihen zur Weiterverarbeitung entweder in xlsx- oder csv-Format
- „Liniendiagramm“ und „Scatterplot“ bieten die interaktive Möglichkeit, Zeitreihen darzustellen (in Niveau oder als Indizes) bzw. einfache Auswertungen zur Datenexploration durchzuführen.

Der Überblick listet alle eingelesenen Tabellen samt ihren entsprechenden Ebenen auf und liefert neben dem vorhandenen Zeitraum nach rechts laufend noch die jeweils möglichen Dimensionen. Befindet sich in der Kreuzung von Tabelle und Dimension ein grünes Kästchen, ist die entsprechende Ausprägung in der Tabelle vorhanden – ein rotes Kästchen indiziert indessen, dass diese Ausprägung nicht zur Verfügung steht. Alle Spalten lassen sich filtern. Hierbei steht in den zusätzlichen Variablen eine 1 für vorhanden (grün) eine 0 für nicht vorhanden (rot).

Download ermöglicht die Auflistung einer bestimmten Auswahl aus der Datenbank. Hierbei werden nach der Reihe Quelle, Gliederung, Datenbank, Dimension und Einheit ausgewählt, um die entsprechende, individualisierte Tabelle zu erhalten. Mehrfachauswahlen sind möglich, was insbesondere dann von Interesse, wenn ganze Datensätze mit bspw. allen Dimensionen extrahiert werden sollen. Sobald eine vollständige Eingabe vorliegt, wird der entsprechende Datensatz angezeigt, kann zusätzlich nochmals in den vorhandenen Feldern gefiltert werden und anschließend als xlsx- oder csv-File (via die rechts oben platzierten Buttons) runtergeladen werden. Dieser Vorgang kann je nach Datenmenge bis zu mehreren Minuten dauern.

Unter „Liniendiagramm“ lassen sich interaktiv bis zu fünf unterschiedliche Liniendiagramme durch Auswahl der entsprechenden Datenreihen zeichnen. Hierfür müssen – ähnlich wie unter Download – Gliederung, Datenbank und Tabelle angegeben werden – die Angabe einer Quelle ist nicht zwingend nötig, da die Daten über die Tabelle eindeutig identifiziert werden, kann aber die Suche erleichtern. Sobald eine Tabelle ausgewählt wurde, erscheinen die entsprechenden Variablen, die in dieser Tabelle zur Verfügung stehen (vgl. Tab. XX). Werden auch diese Werte ausgefüllt, wird die gewünschte Linie im obigen Diagramm und die entsprechenden Daten rechts angrenzend im Tabellenformat dargestellt. Diese können ebenfalls über den Button unter dem Diagramm als xlsx-file heruntergeladen werden. Bei den zusätzlichen Variablen sind Mehrfachauswahlen möglich, was zur Summierung der selektierten Ausprägungen führt. So können bspw. Summen für mehrere Länder oder Güterklassen erstellt werden. Zusätzlich zu den absoluten Werten lassen sich die Werte auch Indizieren sowie als Wachstumsraten ausgeben. Hierfür müssen einfach im diesbezüglichen Feld das Indexjahr angegeben bzw. das Kästchen WR angehakt werden. Um eine Datenreihe im Diagramm anzuzeigen oder wegzuschalten, muss einfach ein Haken im Kästchen vor der Auswahlleiste gesetzt werden. Darüber hinaus kann auch das Diagramm selbst interaktiv bedient werden, um so etwa den Ausschnitt zu verkleinern, das Diagramm als Bild abzuspeichern und ähnliches

– hierfür kann entweder mit dem Cursor im Diagramm ein Feld aufgezogen werden oder rechts oben das entsprechende Piktogramm ausgewählt werden.

Über dasselbe Verfahren lassen sich auch "Scatterplots" unter dem gleichnamigen Reiter erstellen. Hierbei wird über die obere der beiden Eingabeleisten die x-Achse und über die untere die y-Achse definiert. Allerdings werden im Feld Ort die unterschiedlichen Werte nicht wie oben summiert, sondern als Punkte im Scatterplot aufgetragen, weshalb auch der Eintrag in der ersten Zeile für beide Datenreihen gilt. Dadurch ist es im derzeitigen Stadium der Applikation nicht möglich andere Variablen, etwa Güterklassen udgl., gegeneinander aufzutragen. Oben benannte Möglichkeiten sind auch hier anwendbar. Darüber hinaus werden noch Korrelation und Kovarianz beider Reihen unterhalb des Diagramms ausgegeben. Die Benutzeroberfläche befindet sich noch im Test-Stadium, der Datenumfang wird laufend erweitert.

Ansicht „Überblick“:

The screenshot shows a web application interface with a navigation bar at the top containing 'Überblick', 'Download', 'Liniendiagramm', and 'Scatterplot'. Below the navigation bar is a filter bar with various dropdown menus for 'Datenbank', 'Gliederung', 'Code', 'Tabelle', 'Jahr', 'ISO', 'Ort', 'Indikator', 'NACE Rev.2', 'NACE Rev.1.1', 'COICOP', 'NST 2007 20-Gruppe', 'NST/IS24 Gruppen', 'Assess (EWG 2010)', 'Beladungsregion', 'Entladungsregion', 'Transitland', and 'Beförderungsart'. The main area displays a table with 15 rows and 10 columns. The first column contains row numbers (44-58), the second contains 'Zug', the third contains 'Infrastruktur', the fourth contains indicator codes (e.g., 'ra_es_wagon_n'), the fifth contains indicator descriptions (e.g., 'Anzahl der Güterwagen'), and the sixth contains the year '1970-2017'. The rest of the table is redacted with a solid red background. A status bar at the bottom indicates 'Showing 1 to 15 of 15 entries (filtered from 170 total entries)'.

44	Zug	Infrastruktur	ra_es_wagon_n	Anzahl der Güterwagen	1970-2017				
45	Zug	Infrastruktur	ra_es_locom	Anzahl der Lokomotiven und Triebwagen, nach Kraftquelle	1970-2017				
46	Zug	Infrastruktur	ra_es_locop	Anzahl der Lokomotiven und Triebwagen, nach Triebart	1979-2017				
47	Zug	Infrastruktur	ra_es_expand	Art der Ausgaben von Hauptbahnbahnunternehmen nach Typ der Ausgaben	1990-2017				
48	Zug	Infrastruktur	ra_es_emplo_s	Beschäftigung in Hauptbahnbahnunternehmen nach Beschäftigungsart	1970-2012				
49	Zug	Infrastruktur	ra_es_emplo_s	Beschäftigung in Hauptbahnbahnunternehmen nach Geschlecht	1970-2012				
50	Zug	Infrastruktur	ra_es_ant	Eisenbahnunternehmen - nach Art des Unternehmens	1970-2017				
51	Zug	Infrastruktur	ra_u_tracks	Eisenbahnverkehr - Gleislänge	1979-2017				
56	Zug	Infrastruktur	ra_u_electr	Eisenbahnverkehr - Länge der elektrifizierte Linien nach Standort	1970-2017				
52	Zug	Infrastruktur	ra_u_line_sp	Eisenbahnverkehr - Länge der Linien - nach Geschwindigkeit	1970-2017				
53	Zug	Infrastruktur	ra_u_line_tr	Eisenbahnverkehr - Länge der Linien nach Anzahl der Gleise	1970-2017				
54	Zug	Infrastruktur	ra_u_line_ga	Eisenbahnverkehr - Länge der Linien nach Spurweite	1970-2017				
55	Zug	Infrastruktur	ra_u_line_na	Eisenbahnverkehr - Länge der Linien nach Verkehrsart	1970-2017				
57	Zug	Infrastruktur	ra_es_wagon_s	Nutzen von Güterwagen	1970-2017				
58	Zug	Infrastruktur	ra_es_train	Triebzüge - nach Geschwindigkeit	2008-2017				

Ansicht „Download“

URL: //int.wsr.at/Nabu/ext_Projekte/Bahntransport_Digitalisierung_PN-8919/30_Daten/weti - Shiny

Navigation: ÖBB Überblick Download Liniendiagramm Scatterplot

Filter: Quelle: Eurostat, Gliederung: Transport, Datenbank: Zug, Dimension: NST 2007, 20-Gruppe, NST/R, Einheit: Millionen Tonnenkilometer (TKM)

Buttons: csv-File, xlsx-File

Dropdown menu: Alle auswählen, Auswahl entfernen, Millionen Tonnenkilometer (TKM), Tausend Tonnen, Anzahl, Zwanzig-Fuß-Einheit (TEU)

Gliederung	Datenbank	Tabelle	Code	Jahr	ISO	Ort	Wert	Einheit	Q
1	Transport	Zug	Beiförderte Güter nach Art der Sendung	2018	BE	Belgien	Millionen Tonnenkilometer (TKM)	Eurostat	So
2	Transport	Zug	Beiförderte Güter nach Art der Sendung	2018	CH	Schweiz	0 Millionen Tonnenkilometer (TKM)	Eurostat	So
3	Transport	Zug	Beiförderte Güter nach Art der Sendung	2018	CY	Zypern	Millionen Tonnenkilometer (TKM)	Eurostat	So
4	Transport	Zug	Beiförderte Güter nach Art der Sendung	2018	FI	Finnland	0 Millionen Tonnenkilometer (TKM)	Eurostat	So
5	Transport	Zug	Beiförderte Güter nach Art der Sendung	2018	HR	Kroatien	0 Millionen Tonnenkilometer (TKM)	Eurostat	So
6	Transport	Zug	Beiförderte Güter nach Art der Sendung	2018	IT	Italien	Millionen Tonnenkilometer (TKM)	Eurostat	So

Ansicht „Liniendiagramm“

URL: //int.wsr.at/Nabu/ext_Projekte/Bahntransport_Digitalisierung_PN-8919/30_Daten/weti - Shiny

Navigation: ÖBB Überblick Download Liniendiagramm Scatterplot

Tabelle	Ort	Jahr	Einheit	Wert
1	Beiförderte Güter	Österreich	2003	85.04
2	Beiförderte Güter	Österreich	2004	94.57
3	Beiförderte Güter	Österreich	2005	95.58
4	Beiförderte Güter	Österreich	2006	105.78
5	Beiförderte Güter	Österreich	2007	107.75
6	Beiförderte Güter	Österreich	2008	110.5
7	Beiförderte Güter	Österreich	2009	89.58
8	Beiförderte Güter	Österreich	2010	100
9	Beiförderte Güter	Österreich	2011	102.58
10	Beiförderte Güter	Österreich	2012	98.32

Showing 1 to 10 of 32 entries

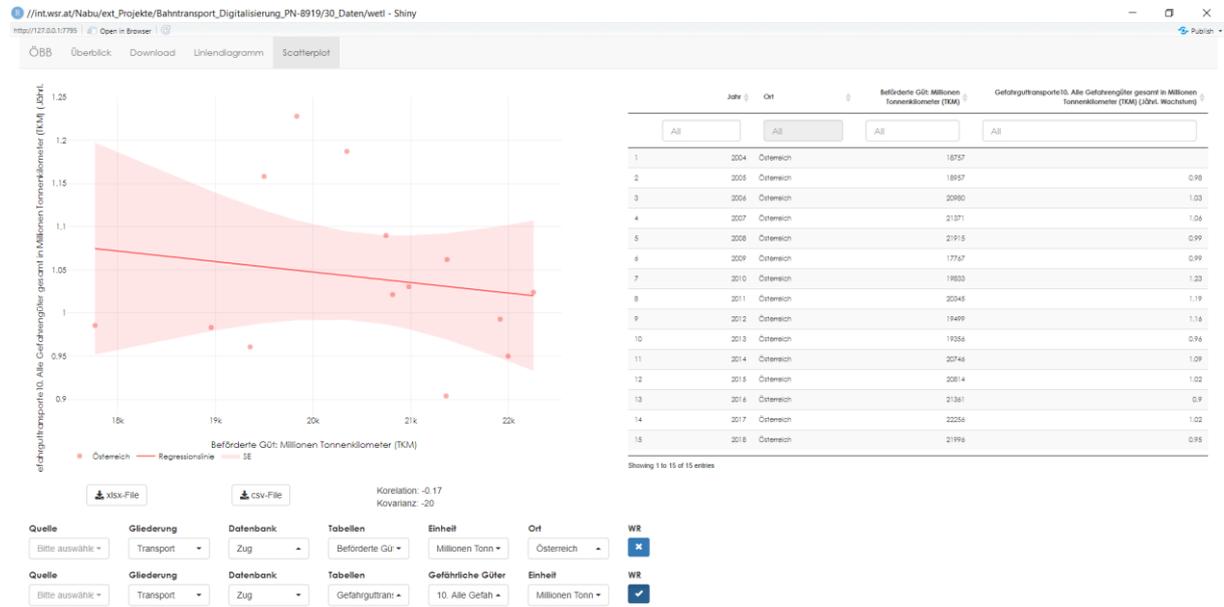
Buttons: xlsx-File

Filter: Quelle: Bitte au, Gliederung: Transport, Datenbank: Zug, Tabellen: Beförderte Gü, Ort: Österreich, Einheit: Millionen Tonnen, Index: 2010, WR: X

Quelle: Bitte au, Gliederung: Transport, Datenbank: Zug, Tabellen: Beförderte Gü, Ort: Deutschland, Einheit: Millionen Tonnen, Index: 2010, WR: X

Quelle: Bitte au, Gliederung: Transport, Datenbank: Zug, Tabellen: Beförderte Gü, Ort: Österreich, Einheit: Millionen Tonnen, Index: 2010, WR: X

Ansicht „Scatterplot“



Anhang II: Berechnung unterschiedlicher außenwirtschaftlicher Indikatoren

Berechnung des Grubel-Lloyd-Index für intra-industriellen Handel

In den meisten entwickelten Volkswirtschaften findet internationaler Handel innerhalb einer Industrie statt. Dies ist Ausdruck für monopolistischen Wettbewerb, in dem aufgrund der Differenzierung der gehandelten Produkte parallele Märkte existieren, in denen die handelnden Unternehmen über eine hohe Marktmacht verfügen. Zur Messung der Intensität intra-industriellen Handelns haben Grubel - Lloyd (1975) folgenden Indikator vorgeschlagen:

$$GL_{rc,p,t} = 1 - \frac{|x_{rc,p,t} - m_{rc,p,t}|}{x_{rc,p,t} + m_{rc,p,t}},$$

wobei $x_{rc,p,t}$ den Exporten von Land (r) nach Land (c) in der Produktlinie (p) zum Zeitpunkt (t) entspricht. Die Variable $m_{rc,p,t}$ sind die Importe von Land (r) aus Land (c) in Produktlinie (p) zum Zeitpunkt (t). Der Index nimmt Werte zwischen 0 und 1 an. Wenn ein Land ein Produkt (p) nur exportiert oder nur importiert ist der Wert 0, da kein intra-industrieller Handel stattfindet. Wenn ein Land (r) hingegen den gleichen Wert an Waren (p) aus Land (c) importiert, wie es in das gleiche Land exportiert, dann nimmt der Index einen Wert von 1 an und deutet damit auf starken intra-industriellen Handel hin.

Berechnung der Qualitätssegmente auf der Grundlage von Einheitswerten

Die Berechnung der Qualitätssegmente setzt auf der Ebene einzelner Produktlinien (HS-6-Steller) an. In einem ersten Schritt werden für jeden bilateralen Exportstrom zwischen zwei Ländern (r) und (c) einer Produktlinie (p) die Einheitswerte $UV_{rc,p,t}$ zum Zeitpunkt (t) berechnet, indem der Exportwert durch die entsprechende Exportmenge dividiert wird. Werden nun die Einheitswerte aller Länder, $r=1, \dots, R$, die in Produktlinie (p) in Zielland (c) exportieren berechnet, so ist es möglich, eine Rangordnung aufzustellen, und den Zielmarkt (c) in mehrere Preissegmente aufzuteilen. Bezeichnet man nun das Preissegment in das die höchsten 25% der Einheitswerte fallen als Hochpreissegment (h), jenes in das die niedrigsten 25% der Einheitswerte fallen als Niedrigpreissegment (n) und das mittlere Preissegment, in das 50% der Beobachtungen fallen mit (m), so wird durch diese Berechnung jeder bilaterale Exportstrom einer Produktlinie (p) einem dieser Segmente zugewiesen. Der Exportstrom kann somit mit $x_{rc,p,t}^z$, $z \in \{h, m, n\}$ bezeichnet werden. Wird nun über alle bilateralen Beziehungen aggregiert, so lässt sich z. B. der Anteil der Exporte des Landes (r) in der Produktlinie (p) als Qualitätssegment $QS_{r,p,t}^h$,

$$QS_{r,p,t}^h = \frac{x_{r,p,t}^h}{(x_{r,p,t}^h + x_{r,p,t}^m + x_{r,p,t}^n)},$$

berechnen. Dabei entsprechen $x_{r,p,t}^h, x_{r,p,t}^m, x_{r,p,t}^n$ den aggregierten Werten der bilateralen Exportströme in den drei Preissegmenten und $QS_{r,p,t}^h$ dem Marktanteil des Landes (r) im Hochpreissegment der Produktlinie (p).

Hieraus lässt sich eine Reihe von Indikatoren berechnen, die die relative Wettbewerbsfähigkeit im Qualitätswettbewerb abbilden. In dieser Studie wird die relative qualitative Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Exporte eines Sendelandes (r) in Produktlinie (p) relativ zu den Gesamtexporten des Ziellandes (c) in der gleichen Produktlinie ermittelt:

$$rQS_{rc,p,t}^h = \frac{QS_{r,p,t}^h}{QS_{c,p,t}^h}$$

Ist nun $rQS_{rc,p,t}^h > 1$, so hat das Sendeland (r) einen Qualitätsvorteil in den Exporten von Produktlinie (p). Ist hingegen $rQS_{rc,p,t}^h < 1$ so ist das Zielland im Vorteil.

Ein weiteres Maß zur Ermittlung der relativen Wettbewerbsfähigkeit im Qualitätswettbewerb ergibt sich durch die Gegenüberstellung des Hochpreisqualitätssegmentes eines bilateralen Exportstromes in Produktlinie (p) von Land (r) nach Land (c) mit dem Hochpreisqualitätssegment der gesamten Exporte des Ziellandes (c):

$$r\widetilde{QS}_{rc,p,t}^h = \frac{QS_{rc,p,t}^h}{QS_{c,p,t}^h}$$

wobei $QS_{rc,p,t}^h = x_{rc,p,t}^h / (x_{rc,p,t}^h + x_{rc,p,t}^m + x_{cr,p,t}^n)$ den Anteil der Exporte von Land (r) nach Land (c) im Hochpreissegment der Produktlinie (p) darstellt.

Das erste relative Maß, $rQS_{rc,p,t}^h$, bildet ab, ob Land (r) relativ zu Land (c) stärker im Hochpreissegment exportiert, während das zweite relative Maß, $r\widetilde{QS}_{rc,p,t}^h$, angibt, ob die Exporte von Land (r) nach Land (c) in Produktlinie (p) relativ stärker im Hochpreissegment angesiedelt sind, als jene von den Exporteuren im Zielland und damit der Wettbewerb eher in diesem Marktsegment stattfindet.

Charakterisierung des Technologiegehalts anhand der Produktkomplexität

Hidalgo - Hausmann (2009) haben ein Verfahren entwickelt, in dem durch die Analyse der Koexportmuster von Produkten über Länder hinweg Aufschluss über spezifische, nicht beobachtbare technologische Fähigkeiten oder Produktionsfaktoren, die zur Produktion eines Gutes notwendig sind, gewonnen werden kann. Es wird die Idee aufgegriffen, dass sich unterschiedliche technologische Fähigkeiten in den Exportspezialisierungen der Länder widerspiegeln. Exportieren nun mehrere Länder systematisch die gleichen Produkte mit komparativem Vorteil so ist davon auszugehen, dass ähnliche Ressourcen und Produktionsfaktoren wie technisches Know-how, Managementfähigkeiten und dergleichen in das Produkt einfließen. Wird ein Produkt umgekehrt nur von wenigen Ländern exportiert, so deutet dies auf eine hohe Spezialisierung in diesen Bereichen hin, die es den Ländern, die diese Produkte exportieren, erlauben, Alleinstellungsmerkmale zu entwickeln. Dieser Indikator bildet damit die Breite und die Tiefe der Wissensbasis ab, die zur Erzeugung eines exportierten Produktes notwendig sind.

Zur Berechnung des Indikators wird eine Matrix $M_{c,p}$ gebildet, die für jedes Land (c) bei jenen Produkten, die das Land mit komparativem Vorteil ($RCA > 1$) exportiert, den Wert 1 ausweist und ansonsten für das Element den Wert 0 annimmt. Die Summe über die Produkte (p) jedes Landes ergibt damit ein Maß der Exportdiversifikation dieses Landes

$$k_{c,0} = \sum_p M_{c,p} \cdots \text{Diversifizierung} \quad (1)$$

Die Summe über alle Länder (c), die ein Produkt (p) exportieren, ergibt dann ein Maß für die Verbreitung eines Produktes in den Exportwarenkörben der exportierenden Länder

$$k_{p,0} = \sum_c M_{c,p} \cdots \text{Produktverbreitung} \quad (2)$$

Da $M_{c,p}$ ein Netzwerk darstellt, kann nun die Information aller Länder mit einem ähnlichen Produktportfolio sowie die Information aller Produkte, die von ähnlichen Ländern exportiert werden, in diese Ausgangsindikatoren einfließen. Dies geschieht durch rekursive Substitution. Man erhält dadurch ein Maß, das zeigt, wie verbreitet die Produkte sind, die von einem Land exportiert werden,

$$\rightarrow k_{c,n} = \frac{1}{k_{c,0}} \sum_p M_{c,p} k_{p,n-1} \dots \text{für } n \geq 1, \quad (3)$$

bzw. wie diversifiziert im Schnitt die Länder sind, die ein spezifisches Produkt exportieren

$$\rightarrow k_{p,n} = \frac{1}{k_{p,0}} \sum_c M_{c,p} k_{c,n-1} \dots \text{für } n \geq 1. \quad (4)$$

Diese Substitutionen werden so lange wiederholt, bis der Algorithmus konvergiert.

Aufgrund der problematischen Konvergenzeigenschaften dieses Algorithmus schlagen *Klimek et al.* (2012) eine alternative Berechnung vor allem für (4) vor. Dabei wird der Eigenvektor, der mit dem zweitgrößten Eigenwert der Matrix

$$M_{pq} = \sum_c \frac{M_{c,p} M_{c,q}}{k_{c,0} k_{p,0}},$$

einhergeht berechnet und dessen Einträge als Rangordnung für die Produktkomplexität herangezogen. Die beiden Methoden führen jedoch zu fast identischen Ergebnissen. Am WIFO werden die Komplexitätswerte anhand beider Verfahren ermittelt. Sie sind fast perfekt miteinander korreliert.

Da sich das analysierte Netzwerk von Jahr zu Jahr ändert, und damit die berechneten Komplexitätswerte direkt vergleichbar sind, werden in der Studie nicht die direkt berechneten Werte, sondern standardisierte Werte ausgewiesen. Damit geben die ausgewiesenen Komplexitätswerte Standardabweichungen vom internationalen Mittelwert an. So bedeutet z. B. ein Produktkomplexitätswert von 1,5, dass der ermittelte Technologiegehalt des Produktes 1,5 Standardabweichungen über dem internationalen Mittelwert (von Null) in einem spezifischen Jahr liegt. Wäre der Wert $-1,5$, so läge der ermittelte Technologiegehalt des Produktes 1,5 Standardabweichungen unter dem Mittelwert. Da sich dieser Mittelwert auch von Jahr zu Jahr verändert, gibt die Produktkomplexität die relative Position einer Gütergruppe relativ zum Mittelwert aller Güter in einem bestimmten Jahr an.

Anhang III: NACE Wirtschaftssystematik und die WIFO³⁴ und OECD³⁵ Taxonomien zur Digitalisierungsintensität

NACE2	Beschreibung	IKT-Fachleute (WIFO)	IKT-Intensität (OECD)
01	Landwirtschaft, Jagd und damit verbundene Tätigkeiten	1	1
02	Forstwirtschaft und Holzeinschlag	1	1
03	Fischerei und Aquakultur	1	1
05	Kohlenbergbau	1	1
06	Gewinnung von Erdöl und Erdgas	2	1
07	Erzbergbau	2	1
08	Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau	2	1
09	Erbringung von Dienstleistungen für den Bergbau und für die Gewinnung von Steinen und Erden	2	1
10	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	1	1
11	Getränkeherstellung	2	1
12	Tabakverarbeitung	3	1
13	Herstellung von Textilien	1	2
14	Herstellung von Bekleidung	2	2
15	Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen	2	2
16	Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)	1	3
17	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	1	3
18	Herstellung von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern	3	3
19	Kokerei und Mineralölverarbeitung	3	2
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	2	2
21	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	2	2
22	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	2	2
23	Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	1	2
24	Metallerzeugung und -bearbeitung	2	2
25	Herstellung von Metallerzeugnissen	1	2
26	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	4	3
27	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	3	3
28	Maschinenbau	2	3
29	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	3	4
30	Sonstiger Fahrzeugbau	2	4
31	Herstellung von Möbeln	1	3
32	Herstellung von sonstigen Waren	2	3
33	Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	3	3
35	Energieversorgung	3	1
36	Wasserversorgung	1	1

³⁴ Peneder (2020)

³⁵ Calvino et al (2016)

37	Abwasserentsorgung	2	1
38	Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen; Rückgewinnung	2	1
39	Beseitigung von Umweltverschmutzungen und sonstige Entsorgung	2	1
41	Hochbau	1	1
42	Tiefbau	2	1
43	Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonstiges Ausbaugewerbe	2	1
45	Handel mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen	1	3
46	Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und Krafträdern)	2	3
47	Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	1	3
49	Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen	1	1
50	Schifffahrt	1	1
51	Luffahrt	2	1
52	Lagerei sowie Erbringung von sonstigen Dienstleistungen für den Verkehr	2	1
53	Post-, Kurier- und Expressdienste	1	1
55	Beherbergung	1	1
56	Gastronomie	1	1
58	Verlagswesen	3	3
59	Herstellung, Verleih und Vertrieb von Filmen und Fernsehprogrammen; Kinos; Tonstudios und Verlegen von Musik	3	3
60	Rundfunkveranstalter	3	3
61	Telekommunikation	4	4
62	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	4	4
63	Informationsdienstleistungen	4	4
64	Erbringung von Finanzdienstleistungen	3	4
65	Versicherungen, Rückversicherungen und Pensionskassen (ohne Sozialversicherung)	3	4
66	Mit Finanz- und Versicherungsdienstleistungen verbundene Tätigkeiten	2	4
68	Grundstücks- und Wohnungswesen	1	1
69	Rechts- und Steuerberatung, Wirtschaftsprüfung	1	4
70	Verwaltung und Führung von Unternehmen und Betrieben; Unternehmensberatung	3	4
71	Architektur- und Ingenieurbüros; technische, physikalische und chemische Untersuchung	2	4
72	Forschung und Entwicklung	3	4
73	Werbung und Marktforschung	3	4
74	Sonstige freiberufliche, wissenschaftliche und technische Tätigkeiten	3	4
75	Veterinärwesen	1	4
77	Vermietung von beweglichen Sachen	2	4
78	Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften	2	4
79	Reisebüros, Reiseveranstalter und Erbringung sonstiger Reservierungsdienstleistungen	2	4

80	Wach- und Sicherheitsdienste sowie Detekteien	2	4
81	Gebäudebetreuung; Garten- und Landschaftsbau	1	4
82	Erbringung von wirtschaftlichen Dienstleistungen für Unternehmen und Privatpersonen a. n. g.	2	4
84	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung	2	3
85	Erziehung und Unterricht	1	2
86	Gesundheitswesen	1	2
87	Heime (ohne Erholungs- und Ferienheime)	2	2
88	Sozialwesen (ohne Heime)	1	2
90	Kreative, künstlerische und unterhaltende Tätigkeiten Bibliotheken, Archive, Museen, botanische und zoologische Gärten	2	3
91	Gärten	2	3
92	Spiel-, Wett- und Lotteriewesen	2	3
93	Erbringung von Dienstleistungen des Sports, der Unterhaltung und der Erholung	1	3
94	Interessenvertretungen sowie kirchliche und sonstige religiöse Vereinigungen (ohne Sozialwesen und Sport)	2	4
95	Reparatur von Datenverarbeitungsgeräten und Gebrauchsgütern	4	4
96	Erbringung von sonstigen überwiegend persönlichen Dienstleistungen	1	4
97	Private Haushalte mit Hauspersonal Herstellung von Waren und Erbringung von Dienstleistungen durch private Haushalte für den Eigenbedarf ohne ausgeprägten Schwerpunkt	2	.
98	Schwerpunkt	.	.
99	Exterritoriale Organisationen und Körperschaften	3	.

1 geringer IKT-Intensität	1 Unterstes Quartil
2 mittlere IKT-Intensität	2 Zweites Quartil
3 hohe IKT-Intensität	3 Drittes Quartil
4 IKT-Anbieter	4 Höchstes Quartil
na	na