

## EFFEKTIVITÄT UND EFFIZIENZ VON TRANSPORTPROZESSEN

---

DATA PRZESŁANIA: 15.12.2017, DATA AKCEPTACJI: 14.06.2018, KODY JEL: L91

### Hermann Witte

Hochschule Osnabrück  
h.witte@hs-osnabrueck.de

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Verwirklichung von Effektivität und Effizienz ist ein Grundanliegen der Ökonomie. Dieses Anliegen gilt auch für die Transportökonomie. Ziel des vorliegenden Artikels ist es, die Messung der Effektivität und der Effizienz von Transportprozessen darzustellen. Ausgangspunkte sind die Definitionen von Transportprozessen, der Effektivität und der Effizienz. Da Transport im Raume (Raumüberwindung) stattfindet, ist nicht nur die übliche ökonomische Effizienz, sondern auch die räumliche Effizienz zu berücksichtigen.

Die Messung der Effektivität und der Effizienz von Transportprozessen wird anhand der Grundstrukturen von Transportprozessen (glatte, konvergierende, divergierende und umgruppierende) demonstriert. Hinsichtlich der räumlichen Effizienz zeigt sich, dass nur ein glatter Transportprozess effizient ist. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da bekannt ist, dass die Luftlinienentfernung der kürzeste Weg ist. Leider sind in der Praxis glatte Transportprozesse mit Luftlinienentfernung nicht immer möglich.

#### SCHLÜSSELWÖRTER

Effektivität, Effizienz, Transport, Transportprozess, Prozesse

---

## EINLEITUNG

Die Beförderung von Gütern, Personen und Informationen (Nachrichten) von einem Ausgangsort A (Quelle) zu einem Zielort B (Ziel/Senke) wird als Transport bezeichnet. Da die Beförderung in einem bestimmten Zeitraum stattfindet, um eine räumliche Distanz zu überwinden, wird auch von einem räumlichen und zeitlichen Transportprozess gesprochen. Der Transportprozess wird von speziell ausgerichteten Unternehmen geplant, organisiert und durchgeführt. Zur Durchführung eines Transportprozesses muss ein Transportweg (-netz), (eventuell) ein Transportbehälter und ein Transportmittel zur Verfügung stehen.

In diesem Rahmen soll nicht besonders auf die Transportwege, Transportbehälter und Transportmittel Bezug genommen werden. Es steht die Betrachtung von Transportprozessen im Vordergrund.

Da Transportprozesse – wie gesagt – von speziellen Unternehmen geplant, organisiert und durchgeführt werden, gilt für die Prozesse die allgemein in der Ökonomie unterstellte Zielsetzung, dass die Transportprozesse effektiv (wirksam) und effizient (wirtschaftlich) sein sollen.

Im Folgenden sind daher die Definitionen von Prozessen, der Effektivität und der Effizienz vorzunehmen, um eine Basis für die Analyse der Effektivität und der Effizienz von Transportprozessen zu schaffen. Bei der Analyse von Transportprozessen sollen lediglich unternehmensübergreifende Transportprozesse betrachtet werden. Innerbetriebliche Transportprozesse werden nicht analysiert. Da für innerbetriebliche Transportprozesse die gleichen Grundstrukturen und Ziele relevant sind, können die Ergebnisse der Analyse unternehmensübergreifender Transportprozesse analog auf innerbetriebliche Transportprozesse übertragen werden.

Bei der Analyse der unternehmensübergreifenden Transportprozesse kann auf die Erkenntnisse der Transport-(Verkehrs-)ökonomie, der Raumplanungstheorie und der Graphentheorie zurückgegriffen werden.

## DIE DEFINITION VON PROZESSEN, EFFEKTIVITÄT UND EFFIZIENZ

Vor der Analyse der Effektivität und der Effizienz von Transportprozessen ist zunächst zu klären, was unter einem Prozess bzw. einem Transportprozess, der Effektivität und der Effizienz zu verstehen ist.

Unter einem Prozess wird ein zeitliches und lokales Zusammenarbeiten einer Technologie mit bestimmten Faktoren zur Erzeugung eines Ergebnisses verstanden. Zwischen einem Zeitpunkt  $t_0$  (Anfang, Start) bis zu einem Zeitpunkt  $t_x$  (Ende) laufen an einem bestimmten Ort mit Hilfe einer Technologie und unter Verwendung bestimmter Faktoren Aktivitäten ab, die zu einem Ergebnis führen. Ein Beispiel für einen Prozess ist der Transportprozess. Zwischen einem Zeitpunkt  $t_0$  und einem Zeitpunkt  $t_x$  wird mit Hilfe einer Technologie (Transportmittel) unter Einsatz von bestimmten Faktoren (Arbeitskraft, Kraftstoff etc.) ein Transport (Aktivität) von einem Ort A zu einem Ort B durchgeführt, der die Ortsveränderung eines Transportgutes zum Ergebnis hat.

Es ist festzustellen, dass ein Transportprozess nicht wie andere Prozesse lokal gebunden ist und an einem Ort stattfindet, sondern lokal nicht gebunden ist und die räumliche Überwindung einer Distanz (Entfernung) zwischen zwei Orten erwirkt. Für Prozesse, die im Einflussbereich der Ökonomie ablaufen, gilt die allgemeine Bedingung der Ökonomie der Effektivität und der Effizienz. Prozesse sollen effektiv und effizient sein. Es ist folglich zu klären, was unter Effektivität und Effizienz zu verstehen ist.

Der Begriff Effektivität bedeutet schlicht Wirksamkeit. Die Prozesse sollen das gewünschte Ergebnis bewirken. Um die Effektivität eines Prozesses zu messen, ist das gewünschte Ergebnis in Form eines Zielwertes (Sollwert, Normwert, angestrebter Zielerreichungsgrad) zu formulieren. Nach Ablauf des Prozesses ist der erreichte Zielwert (Istwert, erreichter Zielwert, -grad) zu ermitteln.

Mit dem Begriff Effizienz ist die Wirtschaftlichkeit einer Aktivität bzw. eines Prozesses gemeint. Die Wirtschaftlichkeit ist ein vielschichtiger Begriff für den es mehrere Definitionen bzw. Formeln gibt. Die Wirtschaftlichkeit kann auf die Kosten- und Leistungsrechnung, auf die Bilanz, auf die volkswirtschaftliche Dimension, auf die Berücksichtigung externer Effekte

und die räumliche Komponente bezogen sein. Die Effizienz eines Prozesses wird auch als X-Effizienz (Produktionseffizienz) bezeichnet. Die A-Effizienz (Allokationseffizienz) (vgl. u.a. Comanor, Leibenstein, 1969, S. 304–309; Leibenstein, 1966, S. 392–415;) und die Q-Effizienz (Qualitätseffizienz) (vgl. Drèze, Hagen, 1978, S. 493–513) werden in diesem Zusammenhang nicht behandelt.

## GENERELLE STRUKTUREN VON PROZESSEN IM TRANSPORTBEREICH

Der oben definierte Prozess kann in der Praxis in verschiedenen Formen vorkommen. Die grundlegenden Strukturen bzw. Formen (Vergenztypen) von Prozessen werden im Folgenden behandelt. Die verschiedenen Formen von Prozessen können auch bei Transportprozessen auftreten. Es wird zwischen einem glatten Prozess, einem konvergierenden Prozess, einem divergierenden Prozess und einem umgruppierenden Prozess unterschieden.

Ein glatter Prozess wird auch als serieller, linearer oder durchgängiger Prozess bezeichnet. Ein glatter (Transport-)Prozess ist in Abb. 1 dargestellt.

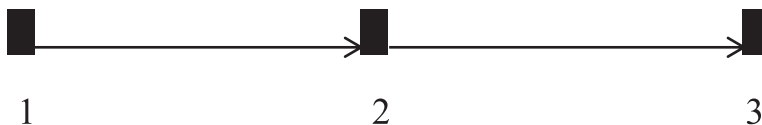


Abbildung 1. Glatter Prozess (Transportprozess)

Quelle: eigene Darstellung.

Ein konvergierender Prozess wird auch synthetischer Prozess genannt. Ein Beispiel ist in Abb. 2 veranschaulicht. Der Prozess besteht aus drei Phasen. Die Phasen 1 und 2 werden zur Phase 3 zusammengeführt. Es gibt vier Punkte (Knoten 1–4) zwischen denen der Prozess und seine Teilphasen ablaufen.

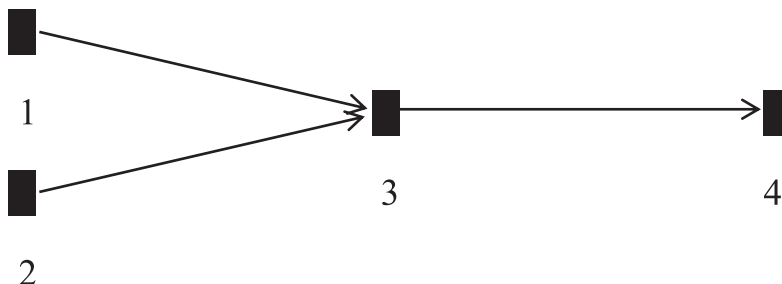


Abbildung 2. Konvergierender Prozess (Transportprozess)

Quelle: eigene Darstellung.

Die divergierende Prozessform wird auch als analytischer Prozess bezeichnet. Ein Beispiel für einen divergierenden Prozess zeigt Abb. 3. Der Prozess besteht aus drei Phasen. Die Phase 1 wird zu den Phasen 2 und 3 aufgeteilt. Es gibt vier Punkte (Knoten 1–4) zwischen denen der Prozess und seine Teilphasen ablaufen.

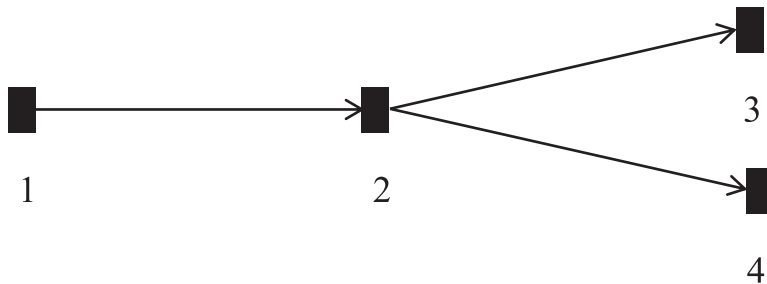


Abbildung 3. Divergierender Prozess (Transportprozess)

Quelle: eigene Darstellung.

Ein Beispiel für einen umgruppierenden Prozess wird in Abb. 4 veranschaulicht. Der Prozess besteht aus vier Phasen. Die Phasen 1 und 2 werden zunächst zusammengeführt und dann wieder in die Phase 3 und 4 getrennt. Es gibt fünf Punkte (Knoten 1–5) zwischen denen der Prozess und seine Teilphasen ablaufen.

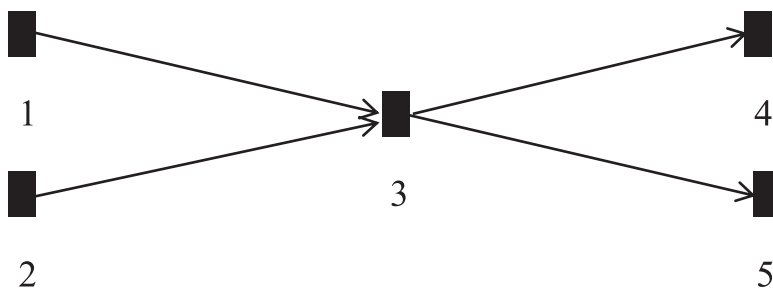


Abbildung 4. Umgruppierender Prozess (Transportprozess)

Quelle: eigene Darstellung.

## ZUR EFFEKTIVITÄT VON TRANSPORTPROZESSEN

Für die oben definierte Effektivität ist eine Messanweisung zu finden, da eine rein verbale Diskussion wenig konkrete Aussagekraft besitzt. Die Effektivität eines Prozesses ergibt sich aus der Division von Zielnorm- und Zielwert:

$$\text{Effektivität} = \text{Zielistwert} / \text{Zielnormwert} \quad (\text{bei Prozentwerten mal } 100) \quad (1)$$

Die Effektivität bzw. der Zielerreichungsgrad können in Prozent (0–100) oder als Dezimalwert (0–1) gemessen werden. Da in der Regel nicht nur ein Ziel, sondern mehrere Ziele angestrebt werden bzw. die Effektivität des Prozesses anhand mehrerer Kriterien beurteilt wird, sind vor der Messung die Ziele (Teilziele) bzw. die Bewertungskriterien festzulegen. Für jedes Teilziel bzw. Kriterium ist ein Norm- bzw. Sollwert zu bestimmen, um den jeweiligen Zielerreichungsgrad (Wirkungsgrad) ermitteln zu können. Die ermittelten Teilwerte sind dann zu einem Gesamtwert zusammenzufassen. Als Beispiel soll die Effektivität eines 'Transportprozesses' anhand von vier Kriterien bestimmt werden (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1. Bestimmung der Effektivität eines Transportprozesses

Kriterium	Zielnorm	Istwert	Effektivität
Pünktlichkeit	100	99	0,99 (99)
Sicherheit	100	98	0,98 (98)
Schnelligkeit	100	100	1,00 (100)
Preis	100	97	0,97 (97)
Σ Bewertung	–	–	3,94 : 4 = 0,985 (98,5)

Quelle: eigene Darstellung.

Die Effektivität des Transportprozesses  $x$  ist gemäß der vier Bewertungskriterien und den in Tab. 1 herangezogenen Werten gleich 98,5 Prozent oder gleich 0,985. Die Summe der Bewertungen (hier 394 Prozent bzw. 3,94) ist durch die Anzahl der Bewertungskriterien (hier vier) zu dividieren, um die Bewertung für die Effektivität auf der gewählten Skala (0–100 bzw. 0–1) darzustellen<sup>2</sup>.

## ZUR ÖKONOMISCHEN EFFIZIENZ VON TRANSPORTPROZESSEN

Zur Berechnung der Effizienz bzw. der Wirtschaftlichkeit existieren unterschiedliche Formeln. Wenn die Wirtschaftlichkeit auf die Kosten- und Leistungsrechnung ( $w_1$ ) bezogen ist, wird Formel (2) benutzt:

$$w_1 = E / K \quad (2)$$

mit:

$E$  = Erlös

$K$  = Kosten

<sup>1</sup> Es ist hier nur die Effizienz von Transportprozessen zu betrachten. Eine Analyse der Effizienz der Transportmittel erfolgt nicht. Für die Planung von Transportsystemen sollte auch die Effizienz der einzusetzenden Transportmittel geprüft werden.

<sup>2</sup> Die Bewertungskriterien können auch ungleich gewichtet werden. Hier wird von einer Gleichgewichtung ausgegangen.

Formel (3) spiegelt die auf die Bilanz bezogene Wirtschaftlichkeit ( $w_2$ ) wider:

$$w_2 = ER / AUF \quad (3)$$

mit:

$ER$  = Ertrag

$AUF$  = Aufwand

Die auf die volkswirtschaftliche Dimension bezogene Wirtschaftlichkeit ( $w_3$ ) wird gemäß Formel (4) berechnet:

$$w_3 = N / K \quad (4)$$

mit:

$N$  = Nutzen

$K$  = Kosten

Schließlich wird die Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der externen Effekte ( $w_4$ ) anhand von Formel (5) ermittelt:

$$w_4 = iN + eN / iK + eK \quad (5)$$

mit:

$iN$  = interne Nutzen

$eN$  = externe Nutzen

$iK$  = interne Kosten

$eK$  = externe Kosten

Alle vier dargestellten Definitionen der Wirtschaftlichkeit beziehen sich auf die ökonomischen Zusammenhänge. Daneben gibt es in der Graphen- bzw. Netzplantheorie eine räumliche Effizienz. Mit dieser Definition wird in der Raumwirtschaftslehre gearbeitet. In der Raumwirtschaftslehre ist die räumliche Effizienz ( $RW^{DI}$ ) gemäß Gleichung (6) definiert (vgl. Ducruet, Rodrigue, 2017):

$$RW^{DI}_{ij} = LLE_{ij} / TE_{ij} \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (6)$$

mit:

$LLE_{ij}$  = Luftlinienentfernung zwischen zwei Orten (Netzknoten  $ij$ )

$TE_{ij}$  = tatsächliche Entfernung zwischen den zwei Orten (Netzknoten  $ij$ )<sup>3</sup>

Die räumliche Wirtschaftlichkeit (Effizienz) wird auch als Detour-Index (DI) bezeichnet. Der Index liegt im Wertebereich zwischen 0 und 1. Der Wert 1 kennzeichnet den höchsten Grad der räumlichen Effizienz. Besteht ein Transportnetz aus mehr als zwei Orten (Knoten) wird auch der Overall-Detour-Index (ODI) zur Bestimmung der räumlichen Effizienz herangezogen (vgl. Boustedt, 1975, S. 280 f.)<sup>4</sup>. Der Overall-Detour-Index kann für einen Knoten und/oder das gesamte Netz berechnet werden. Der Overall-Detour-Index für einen Knoten ist gemäß Formel (7) definiert:

<sup>3</sup> In der Literatur findet sich häufig auch die Definition tatsächliche durch Luftlinienentfernung. Dann ergibt sich allerdings kein Index zwischen 0 und 1. Zudem erfolgt manchmal auch noch eine Multiplikation mit 100, so dass Prozentwerte berechnet werden.

<sup>4</sup> Die in Fußnote 3 gemachte Aussage gilt auch hinsichtlich des Overall-Detour-Indexes.

$$RW^{ODI}_i = \sum_{j=1}^n LLE_{ij} / \sum_{j=1}^n TE_{ij} \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (7)$$

Die auf den Knoten  $i$  bezogene räumliche Wirtschaftlichkeit ( $RW^{ODI}_i$ ) ist die Summe alle Luftlinienentfernungen zwischen dem Knoten  $i$  und allen anderen Knoten  $j$  dividiert durch die Summe aller tatsächlichen Entfernungen zwischen dem Knoten  $i$  und allen anderen Knoten  $j$ .

Der Overall-Detour-Index für einen (Transport-)Prozess bzw. ein (Transport-)Netz errechnet sich gemäß der folgenden Formel (8):

$$RW^{ODI}_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n LLE_{ij} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n TE_{ij} \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; i \neq j \quad (8)$$

Die räumliche Wirtschaftlichkeit ( $RW^{ODI}$ ) für das gesamte Netz ist die Summe alle Luftlinienentfernungen zwischen den Knoten  $i$  und  $j$  dividiert durch die Summe aller tatsächlichen Entfernungen zwischen den Knoten  $i$  und  $j$ .

Da es verschiedene Definitionen der Wirtschaftlichkeit gibt, kann es sein, dass ein Prozess gemäß einer Definition wirtschaftlich ist und gemäß einer anderen unwirtschaftlich. Eine Auswahl der möglichen Kombinationen ist in Tab. 2 dargestellt.

Tabelle 2. Die Wirtschaftlichkeit bzw. Unwirtschaftlichkeit von Prozessen nach den verschiedenen Definitionen (Auswahl, keine vollständige Darstellung aller Kombinationsmöglichkeiten)

Wirtschaftlich gemäß	Unwirtschaftlich gemäß
Kosten- und Leistungsrechnung (Gleichung 2)	Bilanz (Gleichung 3)
Bilanz (Gleichung 3)	Kosten- und Leistungsrechnung (Gleichung 2)
volkswirtschaftlicher Dimension (Gleichung 4)	Raumwirtschaftslehre (Gleichung 6)
unter Berücksichtigung externer Effekte (Gl. 5)	Raumwirtschaftslehre (Gleichung 6)
Raumwirtschaftslehre (Gleichung 6)	volkswirtschaftlicher Dimension (Gleichung 4)

Quelle: eigene Darstellung.

## ZUR RÄUMLICHEN EFFIZIENZ VON TRANSPORTPROZESSEN

Die Berechnung der räumlichen Effizienz von Transportprozessen soll anhand der generellen Formen von (Transport-)Prozessen (s.o.) veranschaulicht werden. Dazu werden die Entfernungen zwischen den Netzknoten festgelegt. Bei einem glatten Prozess entspricht die Luftlinienentfernung der tatsächlichen Entfernung. Für beide Entfernungen wird die Entfernung mit 10 km festgelegt.

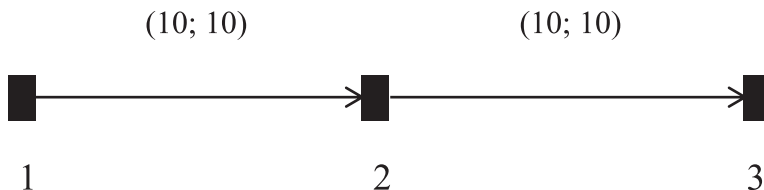


Abbildung 5. Glatter Prozess (Transportprozess)

Quelle: eigene Darstellung.

Mit den oben festgelegten Werten ergibt sich für den Netz- bzw. Prozessteil zwischen Knoten 1 und 2 gemäß der Formel für den Detour-Index eine räumliche Wirtschaftlichkeit ( $RW^{DI}$ ) von 1:

$$RW_{GP}^{DI} = 10/10 = 1 \quad (9)$$

mit:

$RW_{GP}^{DI}$  = räumliche Wirtschaftlichkeit eines glatten Prozesses

Auch für den Netz- bzw. Prozessteil zwischen den beiden Knoten 2 und 3 ergibt sich eine räumliche Wirtschaftlichkeit von 1:

$$RW_{GP}^{DI} = 10/10 = 1 \quad (10)$$

Entsprechend ermittelt sich für den Netz- bzw. Prozessteil zwischen den Knoten 1 und 3 eine räumliche Wirtschaftlichkeit von 1:

$$RW_{GP}^{DI} = 20/20 = 1 \quad (11)$$

Die räumliche Wirtschaftlichkeit eines Transportprozesses kann des Weiteren mit Hilfe des Overall-Detour-Index (ODI) über alle Knoten aus der Sicht eines jeden Knotens und über alle Knoten für den gesamten Prozess (das gesamte Netz) berechnet werden. Im Folgenden sind die entsprechenden Werte der räumlichen Wirtschaftlichkeit für einen glatten Prozess berechnet. In den Gleichungen (12), (13) und (14) wird die räumliche Wirtschaftlichkeit für die Knoten 1, 2 und 3 ausgewiesen:

$$RW_{GPP1}^{ODI} = 10 + 10 / 10 + 10 = 20/20 = 1 \quad (12)$$

$$RW_{GPP2}^{ODI} = 10 + 10 / 10 + 10 = 20/20 = 1 \quad (13)$$

$$RW_{GPP3}^{ODI} = 10 + 10 / 10 + 10 = 20/20 = 1 \quad (14)$$

Es zeigt sich, dass für einen glatten Transportprozess die räumliche Wirtschaftlichkeit über alle Knoten für jeden Knoten gleich und gleich 1 ist. Auch die räumliche Wirtschaftlichkeit über alle Knoten für den gesamten Prozess ist gleich 1:

$$RW_{GPN}^{ODI} = 10 + 10 / 10 + 10 = 20/20 = 1 \quad (15)$$

Schließlich soll die Wirtschaftlichkeit ( $w_1$ ) in Bezug auf die Kosten- und Leistungsrechnung ermittelt werden. Dazu wird unterstellt, dass das Transportunternehmen bei der Durchführung des Transportprozesses im dargestellten Netz Kosten von 10 Euro hat und einen Erlös von 25 Euro erwirtschaftet.

$$w_1 = 25 / 10 = 2,5 \quad (16)$$

Das Transportunternehmen macht folglich bei der Durchführung eines Transportprozesses im dargestellten Transportnetz (glatter Prozess) einen Gewinn (Gewinn = Erlös minus Kosten;  $G = 25 - 10 = 15$ ), da die Wirtschaftlichkeit bei 2,5 liegt. Für jeden Euro an Kosten wird ein Erlös von 2,50 Euro erwirtschaftet.

Für einen konvergierenden (Transport-)Prozess kann die räumliche Wirtschaftlichkeit zwischen den Knoten 1 und 3, 2 und 3 sowie 3 und 4 analog dem glatten Prozess bestimmt werden. Die räumliche Wirtschaftlichkeit ist jeweils gleich 1, da zwischen den genannten Knoten Luftlinienentfernung und tatsächliche Entfernung gleich sind:



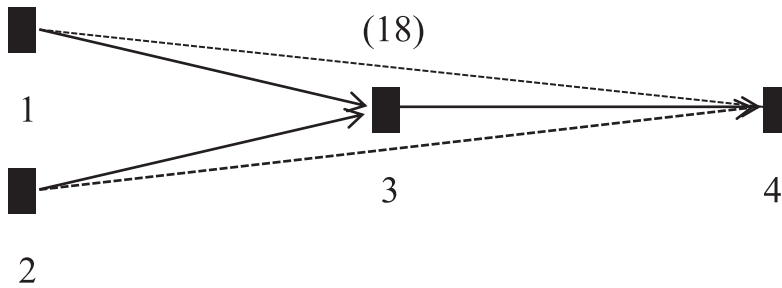


Abbildung 6. Konvergierender Prozess (Transportprozess)

Quelle: eigene Darstellung.

$$RW_{KP}^{DI} = 10/10 = 1 \quad (17)$$

mit:

 $RW_{KP}^{DI}$  = räumliche Wirtschaftlichkeit eines konvergierenden Prozesses

Zwischen den Knoten 1 und 4 sowie 2 und 4 sind Luftlinienentfernung und tatsächliche Entfernung nicht gleich. Die Luftlinienentfernung zwischen den genannten Knoten wird mit 18 km angenommen (gestrichelte Linien). Die tatsächliche Entfernung betrage 20 km. Für die Netz- bzw. Prozessteile zwischen den Knoten 1 und 4 sowie 2 und 4 ergibt sich somit eine räumliche Wirtschaftlichkeit von 0,9:

$$RW_{KP}^{DI} = 18/20 = 0,9 \quad (18)$$

Die mit Hilfe des Overall-Detour-Index berechnete räumliche Wirtschaftlichkeit eines konvergierenden Transportprozesses über alle anzufahrenden Knoten aus der Sicht eines jeden Knotens ist in den Gleichungen (19), (20), (21) und (22) für die Knoten 1, 2, 3 und 4 ausgewiesen:

$$RW_{GPP1}^{ODI} = 10 + 18 / 10 + 20 = 28/30 = 0,9333 \quad (19)$$

$$RW_{GPP2}^{ODI} = 10 + 18 / 10 + 20 = 28/30 = 0,9333 \quad (20)$$

$$RW_{GPP3}^{ODI} = 10 / 10 = 20/20 = 1 \quad (21)$$

$$RW_{GPP4}^{ODI} = 10 + 18 + 18 / 10 + 20 + 20 = 46/50 = 0,92 \quad (22)$$

Es zeigt sich, dass für einen konvergierenden Transportprozess die räumliche Wirtschaftlichkeit für jeden Knoten über alle Knoten unterschiedliche Werte aufweist. Lediglich für einen Knoten ergibt sich ein Wert von 1. Alle anderen Werte sind kleiner 1. Auch die räumliche Wirtschaftlichkeit über alle Knoten für den gesamten Prozess ist kleiner 1:

$$RW_{GPN}^{ODI} = 10 + 10 + 10 + 18 + 18 / 10 + 10 + 10 + 20 + 20 = 66/70 = 0,942 \quad (23)$$

Auch für einen divergierenden (Transport-)Prozess kann die räumliche Wirtschaftlichkeit zwischen den Knoten 1 und 2, 2 und 3 sowie 2 und 4 analog dem glatten Prozess bestimmt werden. Die räumliche Wirtschaftlichkeit ist jeweils gleich 1, da zwischen den genannten Knoten Luftlinienentfernung und tatsächliche Entfernung gleich sind:

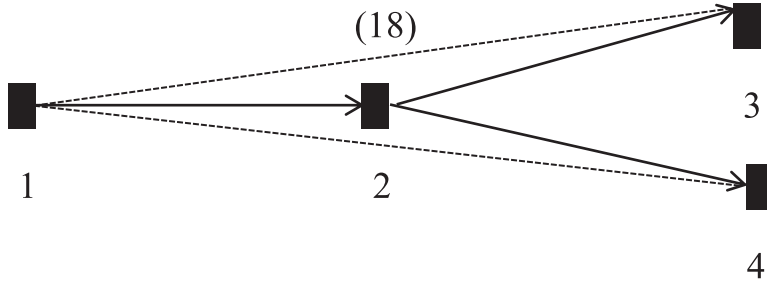


Abbildung 7. Divergierender Prozess (Transportprozess)

Quelle: eigene Darstellung.

$$RW_{DP}^{DI} = 10/10 = 1 \quad (24)$$

mit:

 $RW_{DP}^{DI}$  = räumliche Wirtschaftlichkeit eines divergierenden Prozesses

Zwischen den Knoten 1 und 3 sowie 1 und 4 sind Luftlinienentfernung und tatsächliche Entfernung nicht gleich. Die Luftlinienentfernung zwischen den genannten Knoten wird mit 18 km angenommen (gestrichelte Linien). Die tatsächliche Entfernung betrage 20 km. Für die Netz- bzw. Prozesseile zwischen den Knoten 1 und 3 sowie 1 und 4 ergibt sich somit eine räumliche Wirtschaftlichkeit von 0,9:

$$RW_{KP}^{DI} = 18/20 = 0,9 \quad (25)$$

Die mit Hilfe des Overall-Detour-Index berechnete räumliche Wirtschaftlichkeit eines divergierenden Transportprozesses über alle anzufahrenden Knoten aus der Sicht eines jeden Knotens ist in den Gleichungen (26), (27), (28) und (29) für die Knoten 1, 2, 3 und 4 ausgewiesen:

$$RW_{GPP1}^{ODI} = 10 + 10 + 10 / 10 + 18 + 18 = 30/46 = 0,92 \quad (26)$$

$$RW_{GPP2}^{ODI} = 10 + 10 / 10 + 10 = 20/20 = 1 \quad (27)$$

$$RW_{GPP3}^{ODI} = 10 + 18 / 10 + 18 = 28/30 = 0,9333 \quad (28)$$

$$RW_{GPP4}^{ODI} = 10 + 18 + 18 + 10 + 10 / 10 + 20 + 20 + 10 + 10 = 66/70 = 0,942 \quad (29)$$

Es zeigt sich, dass auch für einen konvergierenden Transportprozess die räumliche Wirtschaftlichkeit über alle Knoten für jeden Knoten unterschiedliche Werte aufweist. Lediglich für einen Knoten ergibt sich ein Wert von 1. Alle anderen Werte sind kleiner 1. Auch die räumliche Wirtschaftlichkeit über alle Knoten für den gesamten Prozess ist kleiner 1:

$$RW_{GPN}^{ODI} = 10 + 10 + 10 + 18 + 18 / 10 + 10 + 10 + 20 + 20 = 66/70 = 0,942 \quad (30)$$

Der umgruppierende Prozess setzt sich – wie oben ausgeführt – aus einem konvergierenden und einem divergierenden Teil zusammen. In beiden Netz- bzw. Prozesseilen sind die Luftlinienentfernung und die tatsächliche Entfernung gleich. Es sind die Kanten zwischen den Knoten 1 und 3, 2 und 3 sowie die Kanten zwischen den Knoten 3 und 4 und 3 und 5. Die räumliche Wirtschaftlichkeit ist folglich gleich 1:

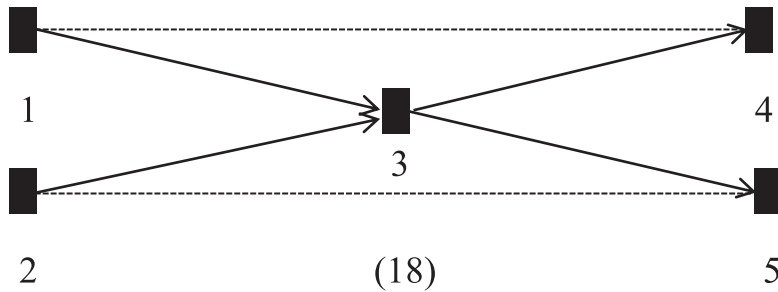


Abbildung 8. Umgruppierender Prozess (Transportprozess)

Quelle: eigene Darstellung.

$$RW_{UP}^{DI} = 10/10 = 1 \quad (31)$$

mit:

 $RW_{UP}^{DI}$  = räumliche Wirtschaftlichkeit eines umgruppierenden Prozesses

Zwischen den Knoten 1 und 4 sowie 2 und 5 sind Luftlinienentfernung und tatsächliche Entfernung nicht gleich. Die Luftlinienentfernung zwischen den genannten Knoten wird mit 18 km angenommen (gestrichelte Linien). Die tatsächliche Entfernung betrage 20 km. Für die Netz- bzw. Prozessteile zwischen den Knoten 1 und 4 sowie 2 und 5 ergibt sich somit eine räumliche Wirtschaftlichkeit von 0,9:

$$RW_{UP}^{DI} = 18/20 = 0,9 \quad (32)$$

Die mit Hilfe des Overall-Detour-Index berechnete räumliche Wirtschaftlichkeit eines umgruppierenden Transportprozesses über alle anzufahrenden Knoten aus der Sicht eines jeden Knotens ist in den Gleichungen (33), (34), (35), (36) und (37) für die Knoten 1, 2, 3, 4 und 5 ausgewiesen:

$$RW_{GPP1}^{ODI} = 10 + 18 + 20 / 10 + 20 + 20 = 48/50 = 0,96 \quad (33)$$

$$RW_{GPP2}^{ODI} = 10 + 18 + 20 / 10 + 20 + 20 = 48/50 = 0,96 \quad (34)$$

$$RW_{GPP3}^{ODI} = 10 + 10 + 10 + 10 / 10 + 10 + 10 + 10 = 40/40 = 1 \quad (35)$$

$$RW_{GPP4}^{ODI} = 10 + 18 + 20 / 10 + 20 + 20 = 48/50 = 0,96 \quad (36)$$

$$RW_{GPP5}^{ODI} = 10 + 18 + 20 / 10 + 20 + 20 = 48/50 = 0,96 \quad (37)$$

Es zeigt sich, dass auch für einen umgruppierenden Transportprozess die räumliche Wirtschaftlichkeit über alle Knoten für jeden Knoten unterschiedliche Werte aufweist. Lediglich für einen Knoten ergibt sich ein Wert von 1. Alle anderen Werte sind kleiner 1. Auch die räumliche Wirtschaftlichkeit über alle Knoten für den gesamten Prozess ist kleiner 1:

$$RW_{GPN}^{ODI} = 10 + 10 + 10 + 18 + 18 / 10 + 10 + 10 + 20 + 20 = 66/70 = 0,942 \quad (38)$$

Als Fazit der Analyse der grundlegenden Formen des Transportprozesses zeigt sich, dass ein glatter Transportprozess räumlich am effizientesten ist. In der Praxis können allerdings aufgrund einer Vielzahl von Einflussfaktoren nicht nur glatte Transportprozesse geplant werden. Die Transportprozesse in der Praxis sind folglich ineffizienter als die theoretischen Modelle. In der Praxis finden sich zudem wesentlich umfangreichere (komplexere) Transportprozesse (-netze)

(vgl. u.a. Witte, 2015, S. 13–29)<sup>5</sup>. Sie lassen sich allerdings in Teilbereiche zerlegen, die den vier grundlegenden Prozessformen (Netzformen) entsprechen. Damit lässt sich durch Zerlegung die räumliche Wirtschaftlichkeit sowohl mittels des Detour-Indexes als auch des Overall-Detour-Indexes für komplexe Prozessstrukturen (Netzstrukturen) berechnen.

Tabelle 3. Zusammenfassende Darstellung der räumlichen Effizienz der grundlegenden Prozessformen

	glatter Prozess	konvergierender	divergierender	Umgruppierender
$RW^{DI}$	1	1 und 0,9	1 und 0,9	1 und 0,9
$RW^{ODI}_{P1}$	1	0,9333	0,92	0,96
$RW^{ODI}_{P2}$	1	0,9333	1	0,96
$RW^{ODI}_{P3}$	1	1	0,9333	1
$RW^{ODI}_{P4}$	-	0,92	0,9333	0,96
$RW^{ODI}_{P5}$	-	-	-	0,96
$RW^{ODI}_N$	1	0,942	0,942	0,9666

Quelle: eigene Darstellung.

In diesem Rahmen war lediglich die räumliche Wirtschaftlichkeit bzw. Effizienz von Transportprozessen, deren Form von der Form des Transportnetzes abhängig ist, zu analysieren. Ein Studium der Literatur in den Bereichen Raumwirtschaftslehre und Graphen- bzw. Netzplanungstheorie zeigt, dass es eine Vielzahl von weiteren Indices (z.B. die Konnektivität, die Netzdichte, die Transitivität etc.) gibt, um Strukturen von Transportnetzen bzw. Transportprozessen zu beschreiben (vgl. u.a. Bökemann, 1982, S. 93–97; Garrison, 1960, S. 121–137; Laschet, Witte, Voigt, 1979, S. 76–84; Prihar, 1956, S. 927–923; Rodrigue, Comtois, Slack, 2006, insbes. S. 38 ff., 2017, insbes. S. 49 ff.).

## SCHLUSSBEMERKUNGEN

Abschließend ist festzuhalten, dass auf der Basis der Definitionen für Transportprozesse, der Effektivität und der Effizienz Möglichkeiten gefunden wurden, um die Effektivität und die Effizienz von Transportprozessen zu messen. Hinsichtlich der Effizienz von Transportprozessen sind zwei Begriffe zu unterscheiden: (1) die ökonomische Effizienz und (2) die räumliche Effizienz. Eine räumliche Effizienz von Transportprozessen kann als Voraussetzung einer ökonomischen Effizienz des Transportprozesses angesehen werden.

Die Messungen wurden für die grundlegenden Formen von Transportprozessen durchgeführt. Dabei hat sich der glatte Transportprozess mit einer räumlichen Effizienz von eins als bestes Modell für die Planung von Transportprozessen gezeigt. Dieses Ergebnis ist keineswegs überraschend. Im glatten Transportprozess sind alle tatsächlichen Transportentfernungen gleich den Linienlinienentfernungen. Alle Transportprozesse die von der Luftlinienentfernung abweichen sind räumlich weniger effizient.

<sup>5</sup> In der Raumordnung bzw. im Transport-/Verkehrsbereich wird bei der Planung von komplexeren Netzen von verschiedenen geometrischen Grundstrukturen der Netze ausgegangen. Häufig benutzte Grundstrukturen sind das Dreieck (z.B. Webersches Standortdreieck), das Quadrat (Schachbrett), das gleichseitige Sechseck (Bienenwabe) und der Kreis (Hamilton-Kreis, Thünensche Kreise).

Bei unternehmensübergreifenden Transportprozessen sind aufgrund vieler Einflussfaktoren selten oder nie Transportprozesse mit Luftlinienentfernungen möglich. Ausnahmen sind Transportprozesse die per Seeschiff und/oder Flugzeug durchgeführt werden. In diesen beiden Bereichen sind Transportprozesse mit Linienentfernung sehr häufig möglich. Für alle anderen Transportbereichen ist die bestmögliche Annäherung an die Luftlinienentfernung anzustreben.

Im Bereich innerbetrieblicher Transportprozesse sind Luftlinienentfernungen nur mit Hängeförderern möglich. Für alle Flur- bzw. Bodenförderer werden in der Regel rechtwinklige Transportwege bzw. -netze vorausgesetzt. Die innerbetrieblichen Transportprozesse mit Flur- bzw. Bodenförderern sind folglich räumlich nicht so effizient wie die mit Hängeförderern durchgeführten innerbetrieblichen Transportprozesse.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Bökemann, D. (1982). *Theorie der Raumplanung*. München–Wien: Oldenbourg.
- Boustedt, O. (1975). *Grundriß der empirischen Regionalforschung*, Teil I: *Raumstrukturen*. Hannover: Schroedel Verlag.
- Comanor, W.S., Leibenstein, H. (1969). Allocative Efficiency, X-Efficiency and the Measurement of Welfare Losses. *Economica*, 36, 304–309.
- Drèze, J.H., Hagen, K.P. (1978). Choice of Product Quality: Equilibrium and Efficiency. *Econometrica*, 46, 493–513.
- Ducruet, C., Rodrigue, J.P. (2017). Graph Theory: Measures and Indices. Abgerufen am: [https://transportgeography.org/?page\\_id=5981](https://transportgeography.org/?page_id=5981) (21.02.2017).
- Garrison, W.L. (1960). Connectivity of the Interstate Highway System. *Regional Science*, 6, 121–137. DOI: 10.1111/j.1435-5597.1960.tb01707.x.
- Laschet, W., Witte, H., Voigt, F. (1979). *Ansätze zu einer optimalen Strecken- und Netzplanung der Deutschen Bundesbahn. Dargestellt am Beispiel Nordrhein-Westfalen*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Leibenstein, H. (1966): Allocative efficiency vs „X-efficiency“. *The American Economic Review*, 56, 392–415.
- Prihar, Z. (1956). Topological Properties of Telecommunication Networks. *Proceedings of the IRE*, 44, 927–923. DOI: 10.1109/JRPROC.1956.275149.
- Rodrigue, J.P., Comtois, C., Slack, B. (2006). *The Geography of Transport Systems*. London–New York: Routledge.
- Rodrigue, J.P., Comtois, C., Slack, B. (2017). *The Geography of Transport Systems*, 4<sup>th</sup> ed. London–New York: Routledge.
- Witte, H. (2015). Regionale Gleichgewichte. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu*, 5 (62), 13–29.

---

## EFFECTIVENESS AND EFFICIENCY OF TRANSPORT PROCESSES

### SUMMARY

In this article it is demonstrated that the effectivity and the efficiency of transport processes are measurable. Basis of the measurement procedure are the definitions of transport processes, the effectivity and the efficiency. We have to make a difference between two definitions of efficiency. First there is the well-known economic efficiency. Second we have to regard the spatial efficiency of a transport process. The spatial efficiency of a transport process can be the precondition for the economic efficiency of the process. The measurement of the effectivity and the efficiency of transport processes are demonstrated using the basic structures of transport processes: the straight (direct) process, the converging process, the diverging process and the regrouping process. With a spatial efficiency of one the straight (direct) process is the best model for planning transport processes. This result is not surprising. In a straight (direct) process all transport distances are equal with the air distance (beeline). All transport processes which are different from the air distance have less spatial efficiency.

### KEYWORDS

effectivity, efficiency, transport, transport process, processes

*Translated by Herman Witte*

