

Anwendungsbeispiel zur Widerstandsberechnung:

Nachfrageveränderung durch Einführung eines sogenannten „Umwelt-Tickets“; dargestellt am Beispiel einer großstädtischen Einzelrelation.

Ein 6 km von der City einer Großstadt entferntes Wohngebiet ist mit diesem Kernbereich durch eine Stadtbahn-Linie ($v_B = 35 \text{ km/h}$), die im 5-Minuten-Takt bedient wird, verbunden. Es soll ermittelt werden, wie sich hier die Einführung einer übertragbaren Monatskarte für 40,- EUR auf die Nachfrage auswirkt; bisher ist die Streckenmonatskarte für 44,- EUR der günstigste Tarif. Das neue Angebot gelte ab Anfang 2002; seine nachfrageveränderte Wirkung soll für 12 Monate Laufzeit berechnet werden.

Es wird für jeden Rechenschritt oder Parameterwert – soweit erforderlich – auf die entsprechende Quelle oder den Bezug im Umdruck hingewiesen.

Berechnung der Verkehrswiderstände (OHNE-Fall 2001)

Einkommen je Erwerbsminute:

Eingangsgrößen: Haushaltsnettoeinkommen 2986,- EUR (Stat. Jahrbuch)
regionalspezifischer Index 120 (Annahme)
Bafög-Höchstsatzz 565,- EUR (Studentenwerk)
Anteil Studenten 5 % (Annahme)
maßgebliches Einkommen:

$$2986 \cdot 1,2 \cdot 0,95 + 0,05 \cdot 565 = 3432,29 \frac{\text{EUR}}{\text{Mon}}$$

Einkommen: $E = \frac{3432,29}{8800} = 0,39 \frac{\text{EUR}}{\text{min}}$

Widerstandsberechnung Fuß

Fußwegwiderstand:

Eingangsgröße: $l_R = 6 \text{ km}$ (Aufgabenstellung)
Widerstand: $w_F = 1200 \text{ WE}$ (Umdruck Seite 4.1.2-6)

Widerstandsberechnung Rad

Radwegwiderstand:

Eingangsgrößen: $l_R = 6 \text{ km}$ (Aufgabenstellung)
eben, mit Hügeln (Annahme)
 $a = 4; b = 7$ (Umdruck Seite 4.1.2-6)
Widerstand: $w_R = a + b \cdot x^2 = 256 \text{ WE}$

Widerstandsberechnung ÖPNV

Fußweg zur Haltestelle:

Eingangsgrößen: $t_{F,an} = \underline{\hspace{2cm}}$ min (Annahme)
 $ZB_F = \underline{\hspace{2cm}}$ (siehe Seite 4.1.2-2)

Widerstand: $w_{F,an} = t_{F,an} \cdot ZB_F = \underline{\hspace{2cm}}$ WE

Wartezeit an der Haltestelle:

Eingangsgrößen: $t_{Fz} = 5$ min-Takt (Aufgabenstellung)
 $t_w = 2,53$ min (Umdruck Seite 4.1.2-3)
 $ZB_w = 2,00$ (Umdruck Seite 4.1.2-3)

Widerstand: $w_w = t_w(t_{Fz}) \cdot ZB_F = 5,06$ WE

Beförderungszeit:

Eingangsgrößen: $l_R = 6$ km (Aufgabenstellung)
 $v_B = 35 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (Aufgabenstellung)

$$t_B = \frac{l_R}{v_B} \cdot 60 = 10,29 \text{ min}$$

Widerstand: $w_B = t_B = 10,29$ WE

Umsteigezeit:

Widerstand: $w_U = t_U \cdot ZB_U = 0$ WE , da kein Umsteigen nötig

Fußweg von der Haltestelle:

Eingangsgrößen: $t_{F,ab} = \underline{\hspace{2cm}}$ min (Annahme)
 $ZB_F = \underline{\hspace{2cm}}$ (Umdruck Seite 4.1.2-2)

Widerstand: $w_{F,ab} = t_{F,ab} \cdot ZB_F = \underline{\hspace{2cm}}$ WE

Kosten im ÖPNV:

Eingangsgrößen: $K_m = 44,- \frac{\text{EUR}}{\text{Mon}}$ (Aufgabenstellung)
 $F_m = 63 \frac{\text{F}}{\text{Mon}}$
 $\alpha_{OV} = 0,17$
 $E = 0,39 \frac{\text{EUR}}{\text{min}}$ (s.o.)

Widerstand: $w_K = \frac{K_m}{F_m \cdot \alpha_{OV} \cdot E} = 10,53$ WE

Gesamtwiderstand ÖPNV

Widerstand: $w_{\text{ÖV,ges}} = w_{F,\text{an}} + w_w + w_B + w_U + w_{F,\text{ab}} + w_K = 35,52 \text{ WE}$

Widerstandsberechnung MIV

Fußweg zum Pkw

Eingangsgrößen: $t_{F,\text{an}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ min}$ (Annahme)
 $ZB_F = \underline{\hspace{2cm}}$ (Umdruck Seite 4.1.2-5)

Widerstand: $w_{F,\text{an}} = t_{F,\text{an}} \cdot ZB_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ WE}$

Beförderungszeit

Eingangsgrößen: $l_R = 6,0 \text{ km}$ (Aufgabenstellung)

$v_B = 25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (Annahme)

$$t_B = \frac{l_R}{v_B} \cdot 60 = 14,4 \text{ min}$$

Widerstand: $w_B = t_B = 14,4 \text{ WE}$

Parkplatzsuchzeit

Eingangsgrößen: $t_{PS} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ min}$ (Annahme)
 $ZB_{PS} = \underline{\hspace{2cm}}$ (Umdruck Seite 4.1.2-5)

Widerstand: $w_{PS} = t_{PS} \cdot ZB_{PS} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ WE}$

Fußwegzeit vom PKW

Eingangsgrößen: $t_{F,\text{ab}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ min}$ (Annahme)
 $ZB_F = \underline{\hspace{2cm}}$ (Umdruck Seite 4.1.2-5)

Widerstand: $w_{F,\text{ab}} = t_{F,\text{ab}} \cdot ZB_F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ WE}$

Subjektive Zeitreduktion

Eingangsgrößen: $l_R = 6 \text{ km}$ (Aufgabenstellung)
 $\overline{ZB}_{MIV} = 0,65$ (Umdruck Seite 4.1.2-5)

Widerstand: $w_{t,\text{ges}} = (\sum w_t) \cdot \overline{ZB}_{MIV} = (w_{t,\text{an}} + w_B + w_{PS} + w_{F,\text{ab}}) \cdot 0,65 = 21,06 \text{ WE}$

Pkw-Betriebskosten

Eingangsgrößen: $K_{\text{Betr}} = 0,103 \frac{\text{EUR}}{\text{km}}$

$$l_R = 6,0 \text{ km} \quad (\text{Aufgabenstellung})$$

$$\alpha_{\text{Betr}} = 0,43 \quad (\text{Umdruck Seite 4.1.2-4})$$

$$E = 0,39 \frac{\text{EUR}}{\text{min}} \quad (\text{s.o.})$$

$$B = \frac{P}{\text{PKW}} \quad (\text{Annahme})$$

Widerstand: $w_{K,\text{Betr}} = \frac{K_{\text{Betr}} \cdot l_R}{\alpha_B \cdot E \cdot B} = 3,07 \text{ WE}$

Treibstoffkosten

Betriebskosten: $B_P = 8,0 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}}$ (Umdruck Seite 9.1-1)

$$P = 1,00 \frac{\text{EUR}}{\text{l}} \quad (\text{Verkehrstaschenbuch})$$

$$l_R = 6,0 \text{ km} \quad (\text{Aufgabenstellung})$$

$$\alpha_{\text{Benzin}} = \alpha_{\text{Betr}} = 0,43 \quad (\text{Umdruck Seite 4.1.2-4})$$

$$E = 0,39 \frac{\text{EUR}}{\text{min}} \quad (\text{s.o.})$$

$$B = 1,2 \frac{P}{\text{PKW}} \quad (\text{Annahme})$$

Widerstand: $w_{K,\text{Benzin}} = \frac{B_P \cdot P \cdot l_R}{100 \cdot \alpha_B \cdot E \cdot B} = 2,39 \text{ WE}$

Parkkosten

Eingangsgrößen: $K_{\text{Parken}} = \frac{\text{EUR}}{\text{Mon}}$ (Annahme)

$$F_m = 63 \frac{\text{F}}{\text{Mon}}$$

$$\alpha_{\text{Park}} = 0,769 \cdot \alpha_{\text{Betr}} = 0,34 \quad (\text{Umdruck Seite 4.1.2-4})$$

$$E = 0,39 \frac{\text{EUR}}{\text{min}} \quad (\text{s.o.})$$

$$B = 1,2 \frac{P}{\text{PKW}} \quad (\text{Annahme})$$

Widerstand: $w_{K,\text{Parken}} = \frac{K_{\text{Parken}}}{0,5 \cdot F_m \cdot \alpha_P \cdot E \cdot B} = 2,99 \text{ WE}$

Gesamtwiderstand MIV

Widerstand: $w_{MIVges} = w_{t,ges} + w_{K,Betr} + w_{K,Benzin} + w_{K,Parken} = 29,51 \text{ WE}$

Aus den Gesamtwiderständen der vier konkurrierenden Verkehrsmittel, die sich für den OHNE-Fall ergeben haben zu:

$$w_{F(O)} = 1200 \text{ WE}$$

$$w_{R(O)} = 256 \text{ WE}$$

$$w_{ÖV(O)} = 35,52 \text{ WE}$$

$$w_{MIV(O)} = 29,51 \text{ WE}$$

resultieren nach der Kirchhoff'schen Regel

$$A_i = \frac{\frac{1}{w_i}}{\sum \frac{1}{w_n}} \cdot 100 [\%]$$

als geeignetem Teillogarithmus für die einzelnen Verkehrsmittel die folgenden Verkehrsanteile $A_{i(O)}$

Fußgängerverkehr:	1,25 %
Fahrradverkehr:	5,85 %
Stadtbahnverkehr:	42,16 %
<u>motorisierter Individualverkehr:</u>	<u>50,74 %</u>
Fußgängerverkehr:	100,00 %

Aus den Gesamtwiderständen der vier konkurrierenden Verkehrsmittel resultiert ein Relationsgesamtwiderstand

$$\bar{w}_{ij0} = \frac{n}{\sum \frac{1}{w}} = \sum A_0 \cdot w_0 = 60 \text{ WE}$$

Berechnung der Verkehrswiderstände (MIT-Fall 2002)

Einkommen je Erwerbsminute:

Eingangsgrößen: Haushaltsnettoeinkommen 3059,- EUR (Stat. Jahrbuch)
regionalspezifischer Index 120 (Annahme)
Bafög-Höchstsatz 585,- EUR (Studentenwerk)
Anteil Studenten 5 % (Annahme)

Einkommen: $E = 0,4 \frac{\text{EUR}}{\text{min}}$

Widerstandsberechnung Fuß

Fußwegwiderstand:

Widerstand: $w_F = 1200 \text{ WE}$ (s.o.)

Widerstandsberechnung Rad

Radwegwiderstand:

Widerstand: $w_R = 256 \text{ WE}$ (s.o.)

Widerstandsberechnung ÖPNV

Fußweg zur Haltestelle:

Widerstand: $w_{F,an} = 6,6 \text{ WE}$ (s.o.)

Wartezeit an Stadtbahnhaltestelle:

Widerstand: $w_w = 5,06 \text{ WE}$ (s.o.)

Beförderungszeit:

Widerstand: $w_B = 10,29 \text{ WE}$ (s.o.)

Umsteigezeit:

Widerstand: $w_U = 0 \text{ WE}$ (s.o.)

Fußweg von Haltestelle:

Widerstand: $w_{F,ab} = 3,04 \text{ WE}$ (s.o.)

Kosten im ÖPNV:

Eingangsgrößen: $K_m = 40,- \frac{\text{EUR}}{\text{Mon}}$ (Aufgabenstellung)

$$F_m = 63 \frac{\text{F}}{\text{Mon}}$$

$$\alpha_{\text{ÖV}} = 0,17$$

$$E = 0,4 \frac{\text{EUR}}{\text{min}} \quad (\text{s.o.})$$

Widerstand: $w_K = \frac{K_m}{F_m \cdot \alpha_{\text{ÖV}} \cdot E} = 9,34 \text{ WE}$

Gesamtwiderstand ÖPNV

Widerstand: $w_{\text{ÖV,ges}} = w_{F,an} + w_w + w_B + w_U + w_{F,ab} + w_K = 34,33 \text{ WE}$

Widerstandsberechnung MIV

Fußweg zum PKW

Widerstand: $w_{F,an} = 2,0 \text{ WE}$ (s.o.)

Beförderungszeit

Widerstand: $w_B = 14,4 \text{ WE}$ (s.o.)

Parkplatzsuchzeit

Widerstand: $w_{PS} = 8,0 \text{ WE}$ (s.o.)

Fußwegzeit vom PKW

Widerstand: $w_{F,ab} = 8,0 \text{ WE}$ (s.o.)

Subjektive Zeitreduktion

Eingangsgröße: $l_R = 6 \text{ km}$ (Aufgabenstellung)

$\overline{ZB}_{MIV} = 0,65$ (Umdruck Seite 4.1.2-5)

Widerstand: $w_{t,ges} = (\sum w_t) \cdot \overline{ZB}_{MIV} = 21,06 \text{ WE}$

Pkw-Betriebskosten

Eingangsgrößen: $K_{Betr} = 0,106 \frac{\text{EUR}}{\text{km}}$

$l_R = 6,0 \text{ km}$ (Aufgabenstellung)

$\alpha_{Betr} = 0,43$ (Umdruck Seite 4.1.2-4)

$E = 0,4 \frac{\text{EUR}}{\text{min}}$ (s.o.)

$B = 1,2 \frac{\text{P}}{\text{PKW}}$ (Annahme)

Widerstand: $w_{K,Betr} = \frac{K_{Betr} \cdot l_R}{\alpha_B \cdot E \cdot B} = 3,08 \text{ WE}$

Treibstoffkosten

Eingangsgrößen: $B_P = 7,8 \frac{l}{100 \text{ km}}$ (Umdruck Seite 9.1-1)

$P = 1,03 \frac{\text{EUR}}{l}$ (Verkehrstaschenbuch)

$l_R = 6,0 \text{ km}$ (Aufgabenstellung)

$\alpha_{\text{Benzin}} = \alpha_{\text{Betr}} = 0,43$ (Umdruck Seite 4.1.2-4)

$E = 0,4 \frac{\text{EUR}}{\text{min}}$ (s.o.)

$B = 1,2 \frac{P}{\text{PKW}}$ (Annahme)

Widerstand: $w_{K,\text{Benzin}} = \frac{B_P \cdot P \cdot l_R}{100 \cdot \alpha_B \cdot E \cdot B} = 2,34 \text{ WE}$

Parkkosten

Eingangsgrößen: $K_{\text{Parken}} = 15 \frac{\text{EUR}}{\text{Mon}}$ (Annahme)

$F_m = 63 \frac{F}{\text{Mon}}$

$\alpha_{\text{Park}} = 0,769 \cdot \alpha_{\text{Betr}} = 0,34$ (Umdruck Seite 4.1.2-4)

$E = 0,4 \frac{\text{EUR}}{\text{min}}$ (s.o.)

$B = 1,2 \frac{P}{\text{PKW}}$ (Annahme)

Widerstand: $w_{K,\text{Parken}} = \frac{K_{\text{Parken}}}{0,5 \cdot F_m \cdot \alpha_{\text{Park}} \cdot E \cdot B} = 2,92 \text{ WE}$

Gesamtwiderstand MIV

Widerstand: $w_{\text{MIVges}} = w_{t,\text{ges}} + w_{K,\text{Betr}} + w_{K,\text{Benzin}} + w_{K,\text{Parken}} = 29,38 \text{ WE}$

Analog führen die Widerstandswerte für den MIT-Fall

$$w_{F(M)} = 1200 \text{ WE}$$

$$w_{R(M)} = 256 \text{ WE}$$

$$w_{\text{OV}(M)} = 34,33 \text{ WE}$$

$$w_{\text{MIV}(M)} = 29,40 \text{ WE}$$

Zu den Verkehrsmittelanteilen $A_{i,(M)}$

Fußgängerverkehr:	1,23 %
Fahrradverkehr:	5,75 %
Stadtbahnverkehr:	42,91 %
<u>motorisierter Individualverkehr:</u>	<u>50,11 %</u>
Fußgängerverkehr:	100,00 %

Aus den Gesamtwiderständen der vier konkurrierenden Verkehrsmittel resultiert ein Relationsgesamtwiderstand

$$\bar{w}_{ij0} = \frac{n}{\sum \frac{1}{w}} = \sum A_0 \cdot w_0 = 59 \text{ WE}$$

Die exemplarische Betrachtung der Nachfrageänderung im Stadtbahnverkehr aufgrund der Einführung einer übertragbaren Monatskarte für 40,- EUR zeigt, dass hier (Unter Berücksichtigung der Entwicklung der Einkommen und der PKW-Kosten) ein Zuwachspotential von

$$\left(\frac{42,91}{42,16} - 1 \right) \cdot 100 = 1,78 \%$$

zu verzeichnen ist. Dieser Wert ist für die Laufzeit von 12 Monaten mit dem entsprechenden Potenzialausschöpfungsgrad PAG zu multiplizieren.

$$\bar{w}_{n(0)} = w_{\text{OV}(0)} = 35,52 \text{ WE}$$

$$\bar{w}_{n(M)} = w_{\text{OV}(M)} = 34,33 \text{ WE}$$

$$M = 12 \text{ Monate}$$

$$m_w = 0$$

$$\text{PAG}_{\text{Verlagerung}} = 1 - 0,54 \cdot e^{-0,0590 \cdot \frac{\bar{w}_{n(0)} (M+m_w)}{\bar{w}_{n(M)}}} = 0,74$$

Somit kann am Ende der Laufzeit von 12 Monaten mit einem realisierten Zuwachs aus Verkehrsverlagerungen von

$$1,78 [\%] \cdot 0,74 = 1,32 \%$$

gerechnet werden.

Der Qualitätsbegriff

Unter der Qualität eines Verkehrsangebots ist - zunächst unabhängig davon, ob es sich um öffentlichen Verkehr (z.B. ÖPNV) oder motorisierten Individualverkehr (MIV) handelt - zu verstehen die Beschaffenheit eines Angebots nach seinen Unterscheidungsmerkmalen gegenüber anderen Angeboten *in Bezug auf seine Fähigkeit, Nutzen zu stiften. Der Begriff Qualität wird sowohl objektiv auf messbare Eigenschaften... als auch subjektiv angewendete, wenn er die Abstufung für die Befriedigung bestimmter Bedürfnisse ausdrückt...*

Verkehrsangebote als Mischgröße

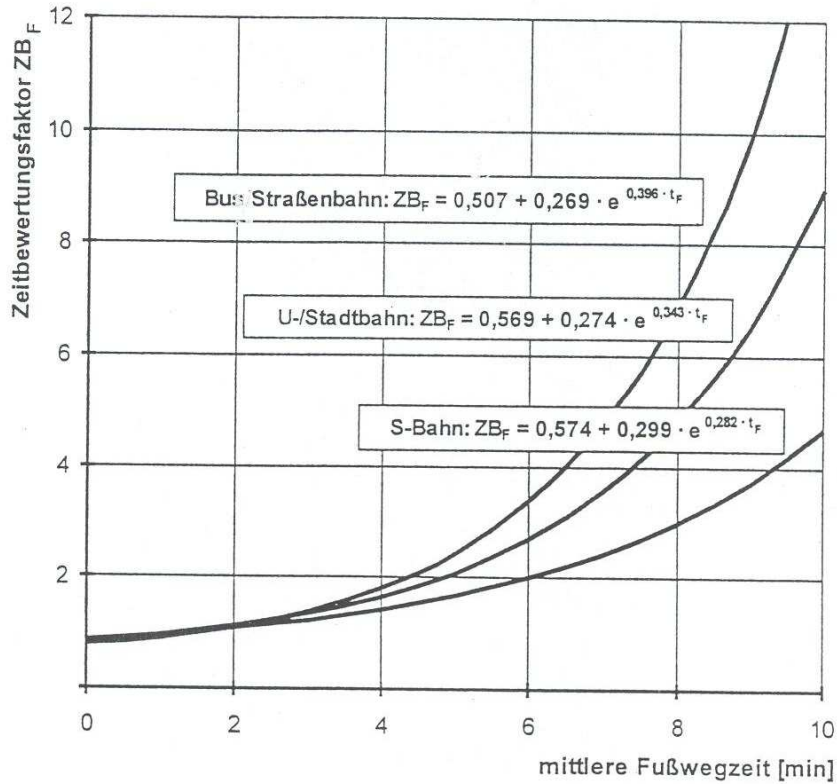
(ohne Fußgänger und Radfahrer)

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">□ Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV):<ul style="list-style-type: none">- Art des Verkehrsmittels (Bus/Straßenbahn, U-Bahn/Stadtbahn, S-Bahn),- Zu- und Abgangswege (örtliche Verfügbarkeit),- Fahrzeugfolgezeit (zeitliche Verfügbarkeit)- Beförderungszeit/-geschwindigkeit,- Umsteigenotwendigkeit/-zeit,- Tarifniveau/-struktur, Fahrkartenkauf,- Komfort der Fahrzeuge,- Beratung und Service, Information- Haltestellengestaltung
□ Einkommensniveau | <ul style="list-style-type: none">□ Motorisierter Individualverkehr (MIV):<ul style="list-style-type: none">- Fußweg von der Wohnung zum Pkw,- Beförderungszeit/-geschwindigkeit,- Parkplatzsuchzeit,- Parkkosten,- Fußweg vom Pkw zum Ziel,- geschwindigkeitsabhängiger Kraftstoffverbrauch/durchschn. Flottenverbrauch,- Kraftstoffpreis- Pkw-Betriebskosten (ohne Steuer, Versicherung und Kraftstoff),- Pkw-Besetzungsgrad,- Leitsystem/Fahrerinformation.
□ Subjektive Empfindung von Zeiten, Kosten und Komfort |
|--|---|

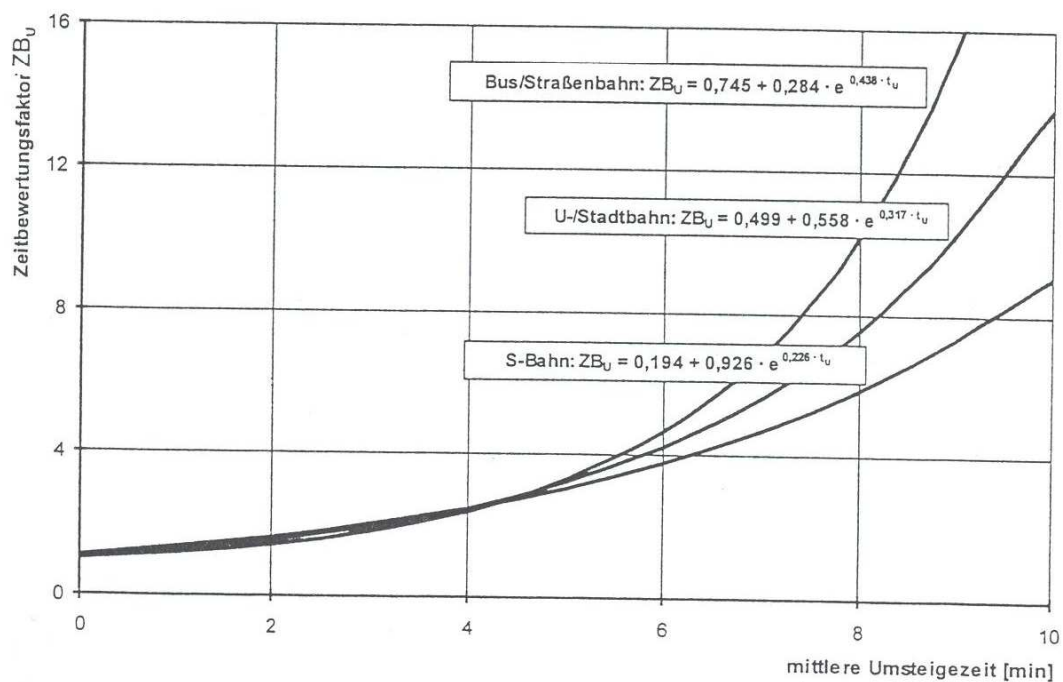
Angebotskriterien und ihre Transformation in Widerstände im öffentlichen Personennahverkehr

Angebotskriterien	Meßgröße	Subjektive Bewertung	Widerstand
örtliche Verfügbarkeit (Netzdichte, Anzahl der Haltestellen)	Fußwegzeit t_F zur/von der Haltestelle in Minuten	ZB_F	$W_{Fan} = t_{Fan} \cdot ZB_F$ $W_{Fab} = t_{Fab} \cdot ZB_F$
zeitliche Verfügbarkeit (Häufigkeit der Verkehrsbedienung)	Fahrzeugfolgezeit in Minuten (\rightarrow Wartezeit t_w)	ZB_w	$W_w = t_w \cdot ZB_w$
Beförderungszeit	Zeit im Fahrzeug t_B in Minuten	$(ZB_B = 1)$	$W_B = t_B$
Umsteigen	(Umsteigewahrscheinlichkeit)		
	Umsteigezeit t_U in Minuten	ZB_U	$W_U = t_U \cdot ZB_U$
Kosten	Kosten / Fahrt (bei Zeitkarten Funktion von Preis und Nutzungshäufigkeit)	$\alpha_{\ddot{O}} = 0,17$ (Mittelwert)	$W_K = \frac{\text{Kosten / Fahrt}}{\alpha_{\ddot{O}} \cdot E}$
Einkommen	Haushaltsnettoeinkommen in DM/Minute		

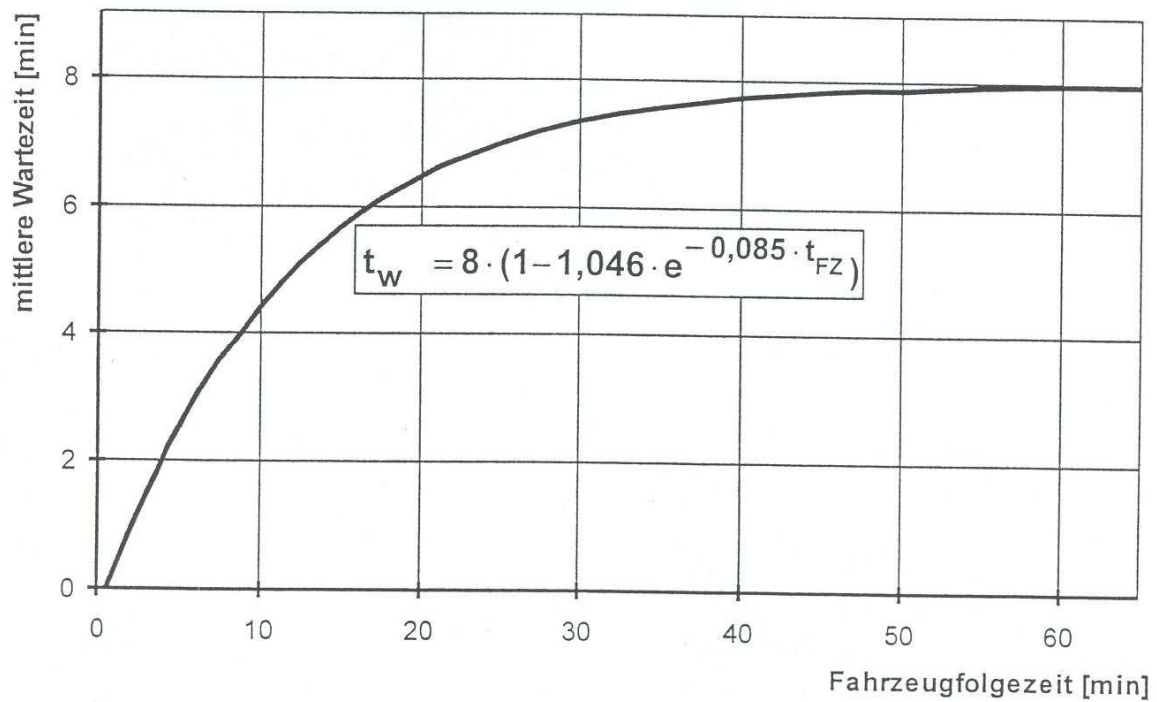
Zeitbewertungsfunktionen für Fußwegzeiten t_F zu/von Haltestellen des öffentlichen Personenverkehrs



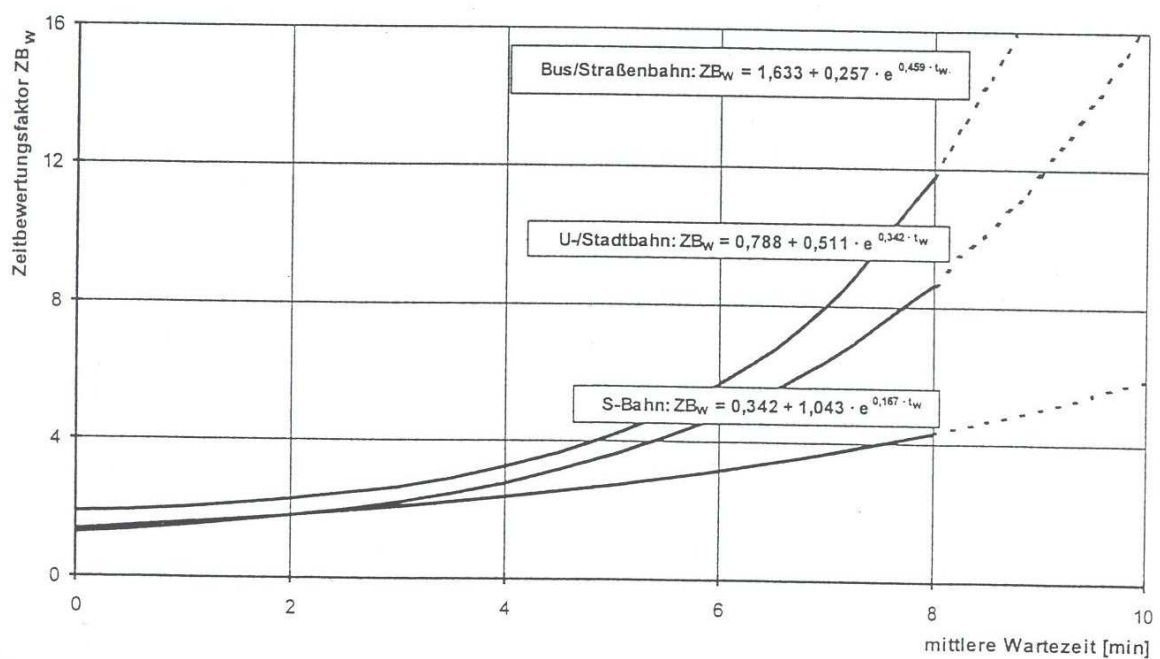
Zeitbewertungsfunktion für die mittlere Umsteigezeit t_U im öffentlichen Personennahverkehr



Zusammenhang zwischen Fahrzeugfolgezeit t_{FZ} und mittlerer Wartezeit t_w im öffentlichen Personennahverkehr



Zeitbewertungsfunktion für die mittlere Wartezeit t_w an Haltestellen des öffentlichen Personennahverkehrs



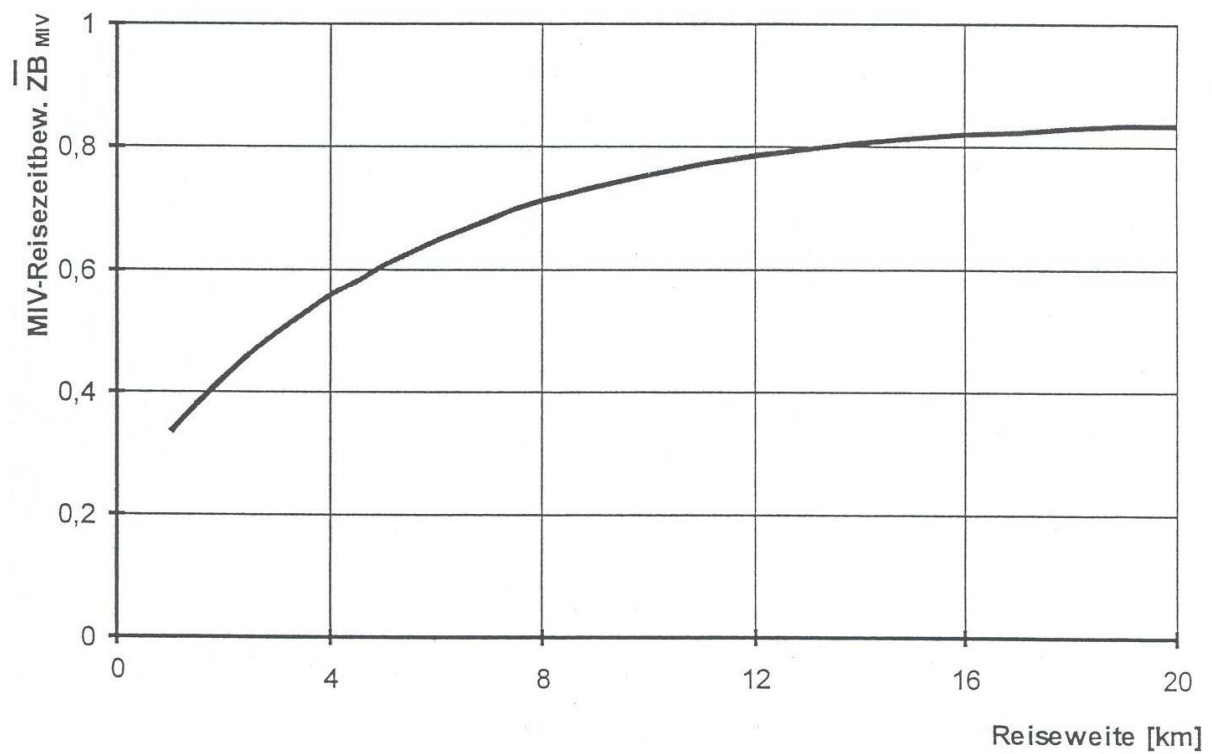
	Angebotskriterien	Meßgröße	subjektive Bewertung	Widerstand
Z E I T	örtliche Verfügbarkeit (Garagennähe)	Fußwegzeit von Haustür zum Pkw-Stellplatz $t_{F,an}$ in Minuten	$ZB_{F,an}$	$w_{F,an} = t_{F,an} \cdot ZB_{F,an}$
	Beförderungszeit	Zeit im Fahrzeug t_B in Minuten	$ZB_B = 1$	$w_B = t_B$
	Parkraumangebot	Parkplatzsuchzeit t_{PS} in Minuten	ZB_{PS}	$w_{PS} = t_{PS} \cdot ZB_{PS}$
		Fußwegzeit vom Parkplatz zum Ziel $t_{F,ab}$ in Minuten	$ZB_{F,ab}$	$w_{F,ab} = t_{F,ab} \cdot ZB_{F,ab}$
	gesamter Zeitaufwand	Reisezeit-Widerstände w'_R	\overline{ZB}_{MIV}	$w_R = w'_R \cdot \overline{ZB}_{MIV}$
K O S T E N	Pkw-Betriebskosten	Kosten/km	$\alpha_{Betr.} = 0,43$ (Mittelwert)	$w_K = \frac{\text{Kosten/Pkw-Fahrt}}{\alpha \cdot E \cdot B}$
	Benzinkosten	l/100 km; Kosten/l	$\alpha_{Benzin} = \alpha_{Betr.}$	
	Parkkosten	Kosten/Parkvorgang	$\alpha_{Park} = 0,769 \cdot \alpha_{Betr.}$	
	Einkommen	Haushaltsnettoeinkommen je Minute E [DM/min]	—	
	Pkw-Besetzung	Personen/Pkw B	—	

Angebotskriterien und ihre Transformation in Widerstände
im motorisierten Individualverkehr

Subjektive Bewertung von Fußweg- und Parksuchzeiten

$$ZB_F = ZB_{PS} = 2,00 + 0,0001 \cdot e^{0,8 \cdot t}$$

Mittlere MIV-Reisezeitbewertung als Funktion der Reiseweite



Wegeweite [km]	0,5	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
Widerstand w_F [WE]	0,84	6,2	20,5	88,0	272	600	1.200	2.500	5.000	10.000	20.000	40.000	80.000

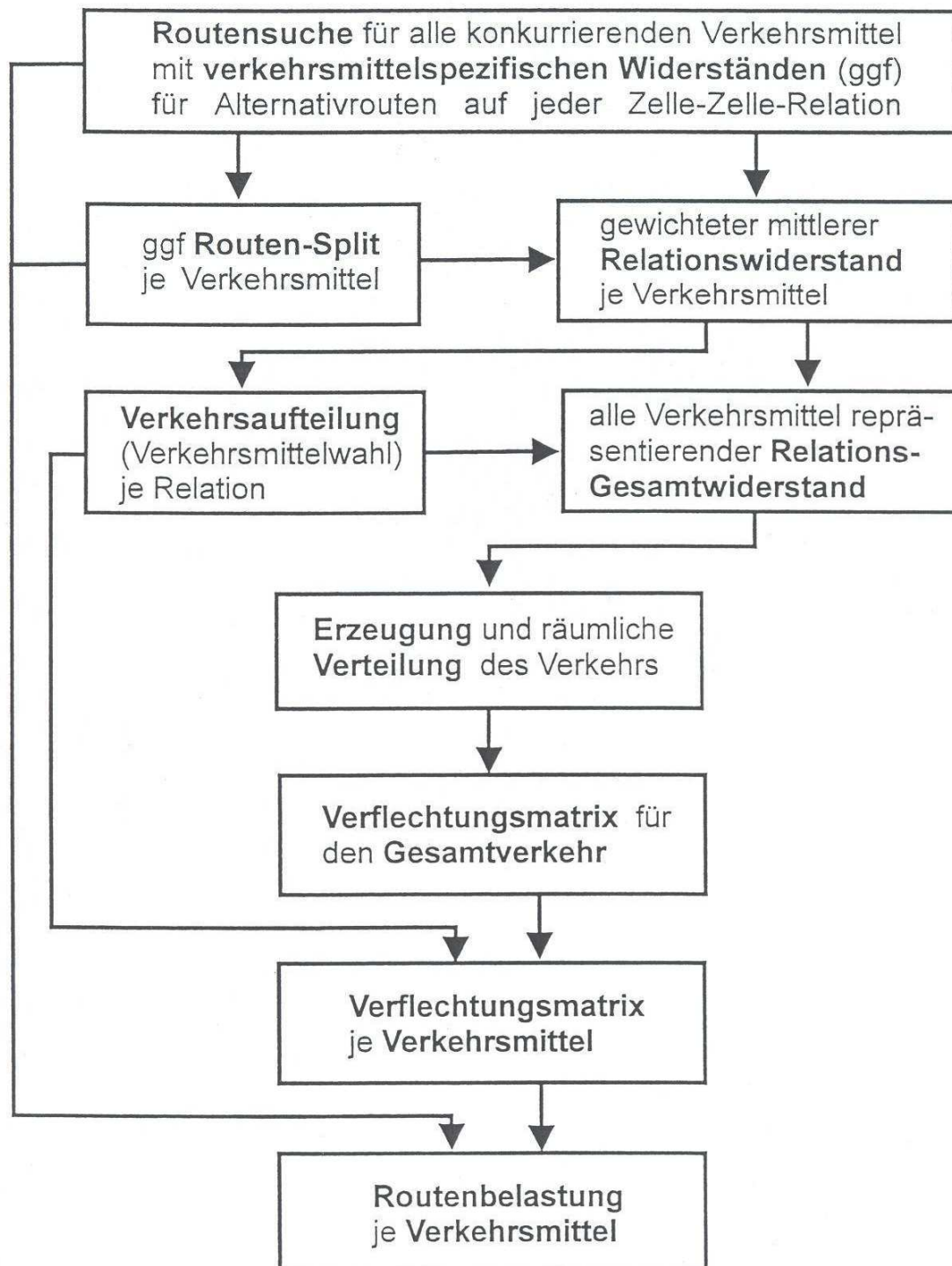
Weitenabhängige Widerstände im Fußgängerverkehr

$$w_R = a + b \cdot x^2 \text{ [WE]}$$

x Wegelänge in km; a und b topographieabhängige Beiwerte

Topographie	a	b
eben	2	6
eben, mit Hügeln	4	7
uneben, hügelig	8	8
stark hügelig	12	12
starke Höhenunterschiede auf fast jeder Fahrt	16	16

Richtwerte für Fahrrad-Widerstandsbeiwerte



Tab. 6.1: Berechnung der Verkehrswiderstände

MODELLPA- RAMETER	KOMPONENTENBERECHNUNG		BEZUG
	GRUNDLAGEN/RECHNUNG	WERT	
FUßGÄNGERVERKEHR			
Fußwegwi- derstand	Reiseweite $l_n = 6 \text{ km}$ $w_F = 1200$		4.1.2 - 6
	$w_F =$	1200 WE	
FAHRRADVERKEHR			
Radwegwi- derstand	Reiseweite $l_n = 6 \text{ km}$ $w_R = a + b \cdot x^2$ eben, mit Hügeln $a = 4; b = 7$ $w_R =$		4.1.2 - 6 Annahme
		256 WE	
EINKOMMEN			ABSCHN. 6.3.1
Einkommen je Erwerbsminu- ta	OHNE-Fall (1989) Haushaltsnettoeink. 4014 DM regionalspez. Index 120 - Bafög-Höchstsatz 725 DM Anteil Studenten 5 % maßgeb. Einkommen = $4014 \cdot 1,2 \cdot 0,95 + 0,05 \cdot 725 =$ 4612,12 DM/Mon $E = \frac{4612,12}{8800} =$		Stat. Jahrb. Annahme Stud.-Werk Annahme
	0,524 DM/min		
Einkommen je Erwerbsminu- ta	MIT-Fall (1990) Haushaltsnettoeink. 4143 DM regionalspez. Index 120 - Bafög-Höchstsatz 725 DM Anteil Studenten 5 % maßgeb. Einkommen 4759 DM $E =$		Stud.-Werk
	0,541 DM/min		

Bsp. Nachfrageveränderung durch Einführung eines sogenannten „Umwelt-Tickets“; dargestellt am Beispiel einer großstädtischen Einzelrelation (Berechnung verlagter Verkehre)

Ein 6 km von der City einer Großstadt entferntes Wohngebiet ist mit diesem Kernbereich durch eine Stadtbahn-Linie ($V_g = 35 \text{ km/h}$), die im 5-Minuten-Takt bedient wird, verbunden. Es soll ermittelt werden, wie sich hier die Einführung einer übertragbaren Monatskarte für 45,- DM auf die Nachfrage auswirkt; bisher ist die Streckenmonatskarte für 56,- DM der günstigste Tarif. Das neue Angebot gelte ab Anfang 1990, seine nachfrageveränderte Wirkung soll für 12 Monate Laufzeit berechnet werden.

In 4.1.3 - 2 bis 5 wird der letzten Spalte für jeden Rechenschritt oder Parameterwert - soweit erforderlich - auf die entsprechende Quelle oder den Bezug im Umdruck hingewiesen.

noch Tabelle 6.1 (2. Fortsetzung)

MODELLPARAMETER	KOMPONENTENBERECHNUNG		BEZUG
	GRUNDLAGEN/RECHNUNG	WERT	
	ÖPNV (STADTBAHN)		
noch: Kosten im ÖPNV	MIT-Fall (1990) $K_m = 45,- \text{ DM/Mon.}$ $F_m = 69 \text{ F/Mon. (bei Übertragbarkeit)}$ $\alpha_{OV} = 0,17$ $E = 0,541 \text{ DM/min}$ $W_k =$		Aufgabe Aufgabe s.o.
Gesamtwiederstand ÖPNV	$W_{OV,ges} =$	7,09 WE	
	OHNE-Fall (1989) $W_{OV,ges} =$	34,97 WE	
	MIT-Fall (1990) $W_{OV,ges} =$	32,08 WE	
	MOTORISierter INDIVIDUALVERKEHR		
Fußweg zum PKW	$W_{Fen} = t_{Fen} \cdot ZB_{Fen}$ $t_{Fen} = 2 \text{ min}$ $ZB_{Fen} = 1,0$ $W_{Fen} =$	2,00 WE	
Beförderungszeit	$W_B = t_B$ $t_B = l_B/v_B \cdot 60$ $l_B = 6,0 \text{ km}$ $v_B = 25 \text{ km/h}$ $W_B =$	14,40 WE	Aufgabe Annahme
Parkplatzsuchzeit	$W_{PS} = t_{PS} \cdot ZB_{PS}$ $t_{PS} = 4,0 \text{ min}$ $ZB_{PS} = 2,0$ $W_{PS} =$	8,0 WE	Annahme

noch Tabelle 6.1 (1. Fortsetzung)

MODELLPARAMETER	KOMPONENTENBERECHNUNG		BEZUG
	GRUNDLAGEN/RECHNUNG	WERT	
	ÖPNV (STADTBAHN)		
Fußweg zur Haltestelle	$W_{Fen} = t_{Fen} \cdot ZB_F$ $t_{Fen} = 4 \text{ min}$ $ZB_F = 1,650$ $W_{Fen} =$	6,60 WE	Annahme 4.1.2 - 2
Wartezeit an Stadtbahn- haltestelle	$W_w = t_w \cdot (t_{r1}) \cdot ZB_w$ t_w bei 5 min-Takt: $t_w = 2,5 \text{ min}$ $ZB_w = 2,01$ $W_w =$	5,03 WE	4.1.2 - 3
Beförderungszeit	$W_B = t_B$ $t_B = l_B/v_B \cdot 60$ $l_B = 6,0 \text{ km}$ $v_B = 35 \text{ km/h}$ $W_B =$	10,29 WE	Aufgabe Aufgabe
Umsteigezeit	$W_{UJ} = t_{UJ} \cdot ZB_U$ $t_{UJ} = 0$ $W_{UJ} =$	0 WE	Aufgabe
Fußweg von Haltestelle	$W_{Fen} = t_{Fen} \cdot ZB_F$ $t_{Fen} = 2,5 \text{ min}$ $ZB_F = 1,230$ $W_{Fen} =$	3,07 WE	Annahme 4.1.2 - 2
Kosten im ÖPNV	$W_k = \frac{K_m}{F_m \cdot \alpha_{OV} \cdot E}$ OHNE-Fall (1989) $K_m = 56,- \text{ DM/Mon.}$ $F_m = 63 \text{ F/Mon.}$ $\alpha_{OV} = 0,17$ $E = 0,524 \text{ DM/min}$ $W_k =$	9,98 WE	Aufgabe s.o.

noch Tabelle 6.1 (3. Fortsetzung)

MODELLPA- RAMETER	KOMPONENTENBERECHNUNG		BEZUG
	GRUNDLAGEN/RECHNUNG	WERT	
MOTORISierter INDIVIDUALVERKEHR			
Fußwegzeit vom Pkw	$w_{Fab} = t_{Fab} \cdot ZB_{Fab}$ $t_{Fab} = 4,0 \text{ min}$ $ZB_{Fab} = 2,0$	8,0 WE	Annahme
Subjektive Zeitreduktion	$\overline{ZB}_{kmv} \text{ bei } l_h = 6 \text{ km}$ $\overline{ZB}_{kmv} =$	0,65 [-]	4.1.2 - 5
Summe der Zeitkompo- nenten	$(\sum w_i) \cdot \overline{ZB}_{kmv}$ $(2,0+14,40+8,0+8,0) \cdot 0,65$	21,04 WE	
Pkw-Betriebs- kosten	$W_{K_{bst}} = \frac{K_{Betr} \cdot l_R}{\alpha_B \cdot E \cdot B}$ OHNE-Fall (1989) $K_{Betr} = 0,159 \text{ DM/km}$ $l_h = 6,0 \text{ km}$ $\alpha_B = 0,43$ $E = 0,524 \text{ DM/min}$ $B = 1,2$ $W_{K_{bst}} =$	3,53 WE	4.1.2 - 4
	MIT-Fall (1990) Änderungen gegenüber 1989 $K_{Betr} = 0,164 \text{ DM/km}$ $E = 0,541 \text{ DM/min}$ $W_{K_{bst}} =$	3,52 WE	Annahme Aufgabe s.o. 9.1 - 4 s.o.

noch Tabelle 6.1 (4. Fortsetzung)

MODELLPA- RAMETER	KOMPONENTENBERECHNUNG		BEZUG
	GRUNDLAGEN/RECHNUNG	WERT	
MOTORISierter INDIVIDUALVERKEHR			
Treibstoff- kosten	$W_{K_{Benzin}} = \frac{B_p \cdot P \cdot l_R}{100 \cdot \alpha_B \cdot E \cdot B}$ OHNE-Fall (1989) $B_p = 11,987 \text{ l/100 km}$ $P = 1,05 \text{ DM/l}$ $l_R = 6,0 \text{ km}$ $\alpha_B = 0,43$ $E = 0,524 \text{ DM/min}$ $B = 1,2 \text{ P/Pkw}$ $W_{K_{Benzin}} =$	2,66 WE	9,1 - 4 Statistik Aufgabe s.o. 9,1 - 4
	MIT-Fall (1990) Änderungen gegenüber 1989 $P = 1,00 \text{ DM/l}$ $E = 0,541 \text{ DM/min}$ $W_{K_{Benzin}} =$	2,58 WE	Statistik s.o.
Parkkosten	$W_{K_{Parken}} = \frac{K_{Parken}}{0,5 F_m \cdot \alpha_P \cdot E \cdot B}$ OHNE-Fall (1989) $K_{Parken} = 20 \text{ DM/Mon}$ $F_m = 63 \text{ F/Mon}$ $\alpha_P = 0,34$ $E = 0,524 \text{ DM/min}$ $B = 1,2 \text{ P/Pkw}$ $W_{K_{Parken}} =$	2,97 WE	Annahme s.o. 9,1 - 4

noch Tabelle 6.1 (5. Fortsetzung)

MODELLPA- RAMETER	KOMPONENTENBERECHNUNG		BEZUG
	GRUNDLAGEN/RECHNUNG	WERT	
MOTORISIERTER INDIVIDUALVERKEHR			
noch Park- kosten	MIT-Fall (1990) Änderungen gegenüber 1989 $F_m = 69 \text{ F/Mon}$ (bei Übertrag- barkeit) $E = 0,541 \text{ DM/min}$ $W_{K\text{Parken}} =$	2,66 WE	Aufgabe s.o.
Gesamtwi- derstand MIV	$W_{MIV\text{ges}}$		
	OHNE-Fall (1989) $W_{MIV\text{ges}} =$	30,20 WE	
	MIT-Fall (1990) $W_{MIV\text{ges}} =$	29,80 WE	

Aus den Gesamtwiderständen der vier konkurrierenden Verkehrsmittel, die sich nach den Rechnungen in 4.1.3 - 2 bis 5 für den OHNE-Fall (1989) ergeben haben zu

$$\begin{aligned}
 W_{F(O)} &= 1200 \text{ WE} \\
 W_{R(O)} &= 256 \text{ WE} \\
 W_{OV(O)} &= 34,97 \text{ WE} \\
 W_{MIV(O)} &= 30,20 \text{ WE}
 \end{aligned}$$

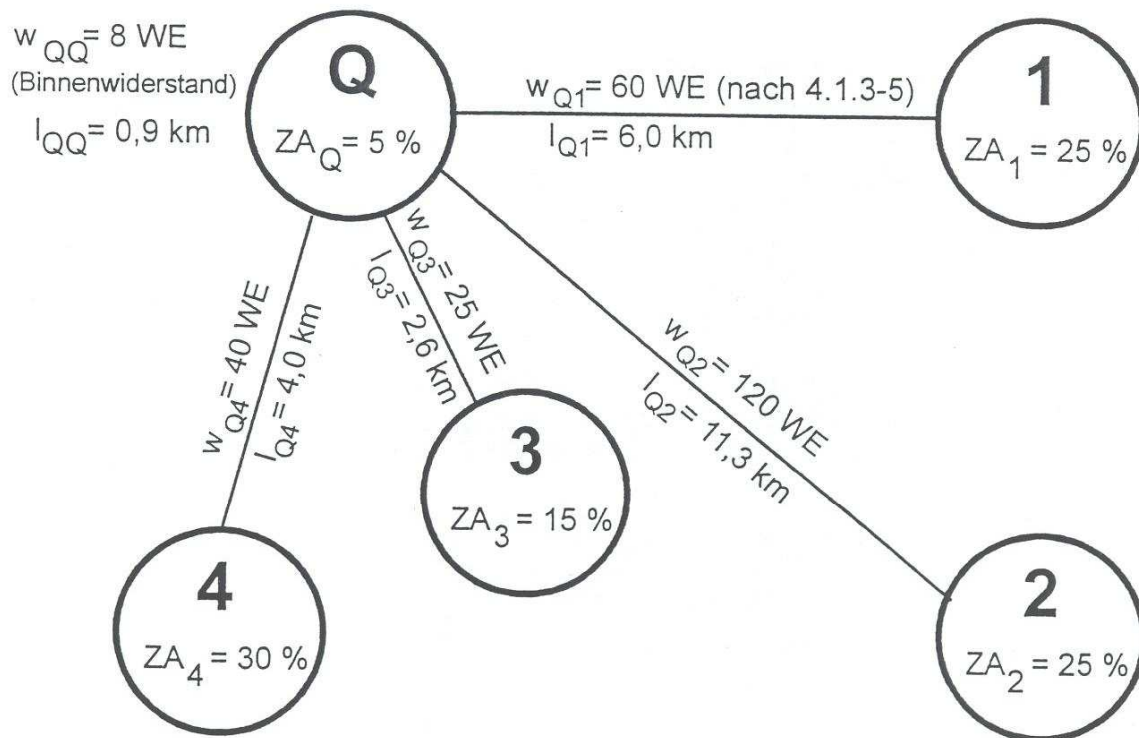
resultiert ein Relationsgesamtwiderstand

$$\bar{w}_{ijO} = \frac{n}{\sum 1/w} = \sum A_o \cdot w_o = 60 \text{ WE}$$

Analog führen die Widerstandswerte für den MIT-Fall

$$\begin{aligned}
 W_{F(M)} &= 1200 \text{ WE} \\
 W_{R(M)} &= 256 \text{ WE} \\
 W_{OV(M)} &= 32,08 \text{ WE} \\
 W_{MIV(M)} &= 29,80 \text{ WE}
 \end{aligned}$$

zum Relationswiderstand $\bar{w}_{ijM} = 57 \text{ WE}$



Prinzipiskizze zum Anwendungsbeispiel für die Bestimmung des relationsspezifischen Verkehrsaufkommens

Für das obige Beispiel wird in der folgenden Tabelle die Anzahl der Wege pro Relation und Tag der 500 in Zelle Q wohnenden Menschen bestimmt.

Ziel- zelle j	ZA_j [-]	w_{Qj} [WE/Weg]	l_{Qj} [km]	$\frac{ZA_j}{l_{Qj}}$ [1/km]	$M_{M,Qj}$ [Wege/ mob.P.u.Tg.]	VB_{Qj} [-]	theor. tägl. Wegepo- tential je Einwohner ⑥ · ⑦	$\frac{F_{Qj}^*}{EW_Q}$ ($k_i = 1$)	$F_{Qj} + F_{jQ}$ ($k_i = 0,975$)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q	0,05	8	0,9	0,056	5,89	0,865	5,10	1,13	551
1	0,25	60	6,0	0,042	2,87	0,748	2,15	0,36	176
2	0,25	120	11,3	0,022	2,09	0,684	1,43	0,12	59
3	0,15	25	2,6	0,058	4,20	0,811	3,41	0,78	380
4	0,30	40	4,0	0,075	3,45	0,780	2,69	0,80	390
	1,0	$w_Q = 30,26$		0,253				3,19	1556

Beispiel zur simultanen Ermittlung des relationsspezifischen täglichen Verkehrsaufkommens

Spalte 2: Zielattraktivität Z_A

Für die Attraktivität einer Zelle als Ziel von Verkehren aus anderen Zellen maßgebend sind insbesondere die Strukturparameter:

Beschäftigte insgesamt B , Beschäftigte im tertiären Sektor B_{III} , Einwohner EW , Schulplätze SP , Studienplätze STP

$$Z_{j\text{ rel}} \cong 1,516 \cdot B + 1,559 \cdot B_{III} + 0,468 \cdot EW + 1,062 \cdot SP + 0,735 \cdot STP$$

$$Z_{A_j} = \frac{Z_{j\text{ rel}}}{\sum Z_{j\text{ rel}}}$$

Weitere Erläuterung und Rechenbeispiel für Zelle Q als Zielzelle (Binnenverkehr)

Spalte 6: Mobilitätsrate der mobilen Personen M_M

$$M_{M,QQ} = 1 + \frac{157,69}{w_{QQ} + 24,24} = 1 + \frac{157,69}{8 + 24,24} = 5,89 \frac{\text{Wege}}{\text{mob.Pers.u.Tag}}$$

Spalte 7: Verkehrsbeteiligungsquote VB

$$VB_{QQ} = \frac{36,88}{w_{QQ}^{0,5586} + 39,44} = \frac{36,88}{8^{0,5586} + 39,44} = 0,865 [-]$$

Spalte 9: Wegeanzahl je Einwohner bei $k_i = 1$

$$\frac{F_{Qj}^*}{EW_Q} = M_{M,QQ} \cdot VB_{QQ} \cdot \frac{\frac{Z_{AQ}}{I_{QQ}}}{\sum_j \frac{Z_{Aj}}{I_{Qj}}} = 5,89 \cdot 0,865 \cdot \frac{0,056}{0,253} = 1,13 \frac{\text{Wege}}{\text{EW u.Tag}}$$

Spalte 3, letzte Zeile:

hier ist der mittlere zellspezifische Widerstand aller Wege w_Q angegeben

$$w_Q = \frac{\sum F_{Qj,k=1}^* \cdot w_{Qj}}{\sum F_{Qj,k=1}^*} = \frac{1,13 \cdot 8 + 0,36 \cdot 60 + 0,12 \cdot 120 + 0,78 \cdot 25 + 0,80 \cdot 40}{1,13 + 0,36 + 0,12 + 0,78 + 0,80} = 30,26 \text{ WE}$$

Mit diesem Widerstand w_Q ergibt sich die **zellspezifische Mobilitätsrate M_A** aller Personen zu

$$M_{A,Q} = \left(1 + \frac{157,69}{w_Q + 24,24}\right) \cdot \left(\frac{36,88}{w_Q^{0,5586} + 39,44}\right) = 3,11 \frac{\text{Wege}}{\text{EW u.Tag}}$$

Spalte 10: Wegeanzahl $F_{Qj} + F_{jQ}$ aller 500 Einwohner der Zelle Q zwischen Zelle Q und j, also näherungsweise Hin- und Rückwege (hier Binnenverkehr, also $j = Q$)

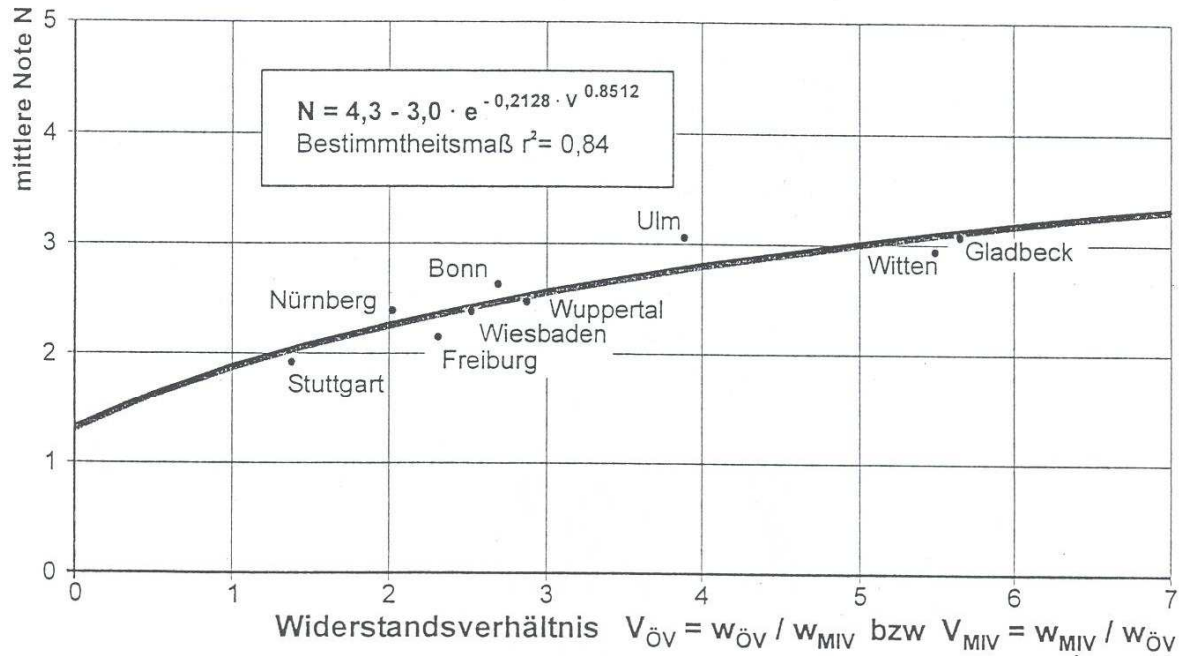
$$F_{QQ} + F_{QQ} = EW_Q \cdot k_Q \cdot \frac{F_{Qj}^*}{EW_Q} \quad ; \quad k_Q = \frac{M_{A,Q}}{\sum_j \frac{F_{Qj}^*}{EW_Q} \text{ bei } k=1} = \frac{3,11}{3,19} = 0,975$$

$$F_{QQ} + F_{QQ} = 500 \cdot 0,975 \cdot 1,13 = 551 \text{ Wege/Tag} \quad (\text{d. h. } F_{QQ} = F_{QQ} = \frac{551}{2})$$

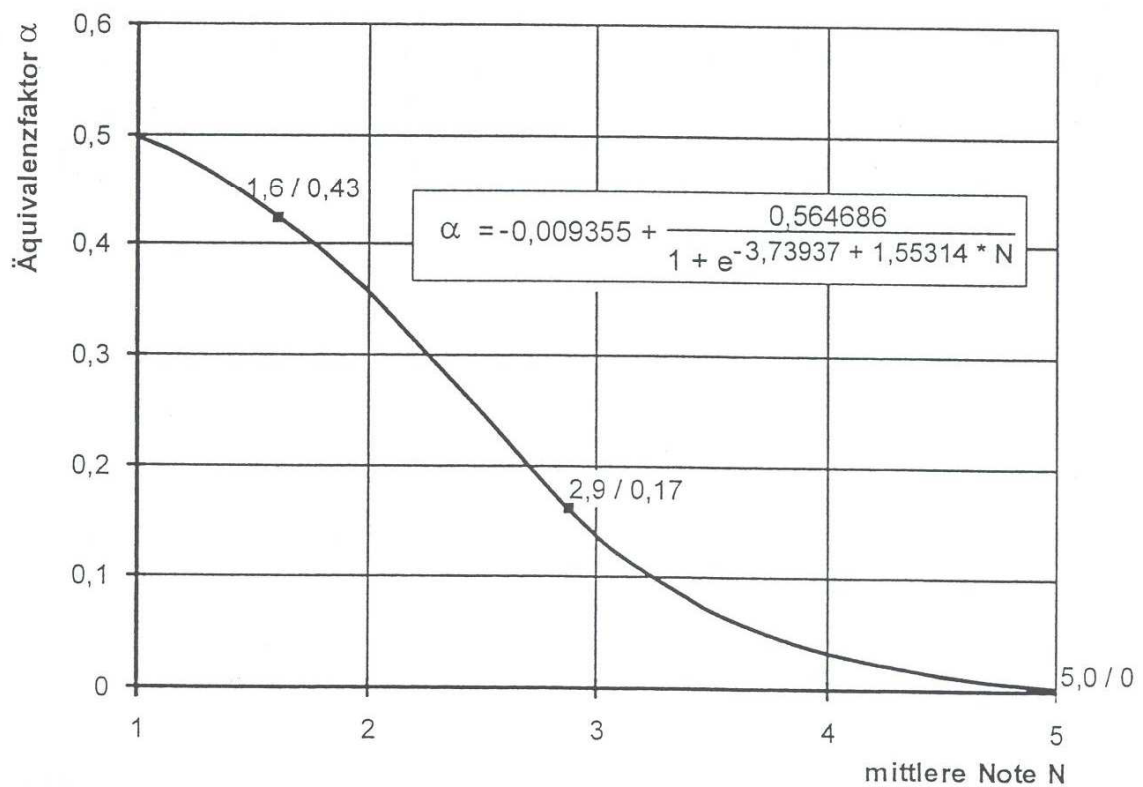
F_{ij} - Matrix für Anwendungsbeispiel

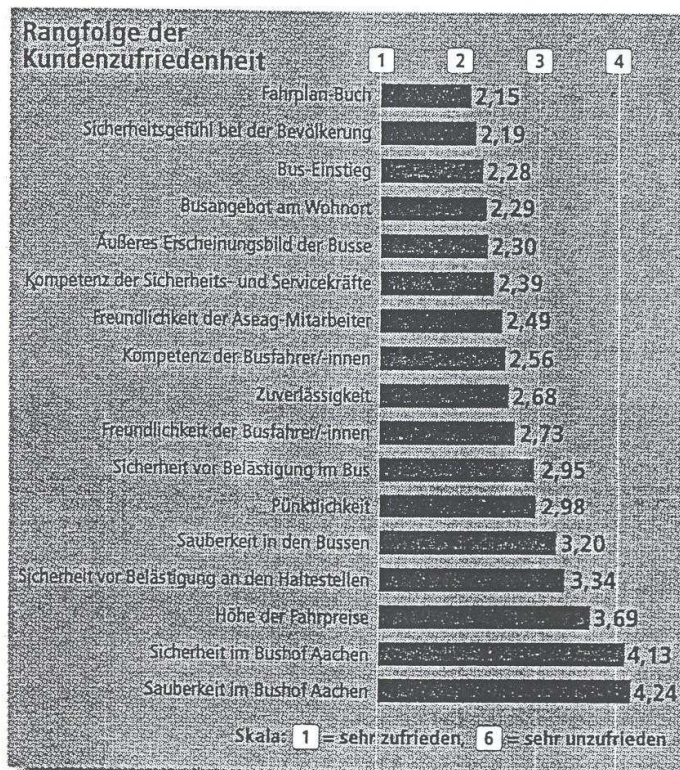
von Zelle	nach Zelle	Q	1	2	3	4	Σ Quellverk.
Q		551	88	29,5	190	195	1053,5
1		88	0	0	0	0	88
2		29,5	0	0	0	0	29,5
3		190	0	0	0	0	190
4		195	0	0	0	0	195
Σ Zielverk.		1053,5	88	29,5	190	195	1556

Zusammenhang zwischen mittlerer ÖPNV-Note und Konkurrenzwiderständen

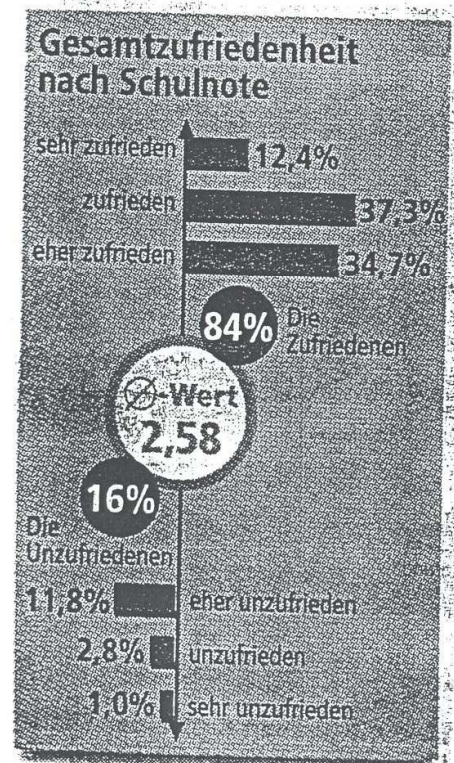


Äquivalenzfaktor α als Funktion der mittleren Note





Beispiel:
Befragung von Kunden der ASEAG
(Aachen) 2000 durch „Synergie 2“



Quelle: Aachener Zeitung Nr. 258, 7. November 2000

Bsp. Nachfrageveränderung durch Einführung eines sogenannten „Umwelt-Tickets“; dargestellt am Beispiel einer großstädtischen Einzelrelation (Berechnung verlagerter Verkehre)

Ein 6 km von der City einer Großstadt entferntes Wohngebiet ist mit diesem Kernbereich durch eine Stadtbahn-Linie ($V_g = 35 \text{ km/h}$), die im 5-Minuten-Takt bedient wird, verbunden. Es soll ermittelt werden, wie sich hier die Einführung einer übertragbaren Monatskarte für 45,- DM auf die Nachfrage auswirkt; bisher ist die Streckenmonatskarte für 56,- DM der günstigste Tarif. Das neue Angebot gelte ab Anfang 1990; seine nachfrageverändernde Wirkung soll für 12 Monate Laufzeit berechnet werden.

In 4.1.3 - 2 bis 5 wird der letzten Spalte für jeden Rechenschritt oder Parameterwert - soweit erforderlich - auf die entsprechende Quelle oder den Bezug im Umdruck hingewiesen.

Aus den Gesamtwiderständen der vier konkurrierenden Verkehrsmittel, die sich nach den Rechnungen in 4.1.3 - 2 bis 5 für den OHNE-Fall (1989) ergeben haben zu

W_{Fg}	= 1200 WE
W_{Fb}	= 256 WE
W_{OvM}	= 34,97 WE
W_{MvM}	= 30,20 WE

resultieren nach der Kirchhoffschen Regel

$$A_i = \frac{1}{w_i} \cdot \frac{1}{\sum \frac{1}{w_n}} \cdot 100 [\%]$$

als geeignetem Teilungsalgorithmus für die einzelnen Verkehrsmittel die folgenden Verkehrsanteile $A_{i,OHNE}$

Fußgängerverkehr:	1,25 %
Fahrradverkehr:	5,88 %
Stadtbahnverkehr:	43,04 %
motorisierter Individualverkehr:	49,83 %
insgesamt:	100,00 %

Analog führen die Widerstandswerte für den MIT-Fall

W_{Fg}	= 1200 WE
W_{Fb}	= 256 WE
W_{OvM}	= 32,08 WE
W_{MvM}	= 29,80 WE

zu den Verkehrsmittelanteilen $A_{i,MIT}$

Fußgängerverkehr:	1,20 %
Fahrradverkehr:	5,62 %
Stadtbahnverkehr:	44,87 %
motorisierter Individualverkehr	48,31 %
insgesamt:	100,00 %

Die exemplarische Betrachtung der Nachfrageveränderung im Stadtbahnverkehr aufgrund der Einführung einer übertragbaren Monatskarte für 45,- DM zeigt, dass hier (unter Berücksichtigung der Entwicklung der Einkommen und der Pkw-Kosten) ein **Zuwachspotential** von

$$\left(\frac{44,87}{43,04} - 1 \right) \cdot 100 = 4,25 \%$$

zu verzeichnen ist. Dieser Wert ist für die Laufzeit von 12 Monaten gemäß Gleichung [5.6] mit dem entsprechenden Potentialausschöpfungsgrad PAG zu multiplizieren.

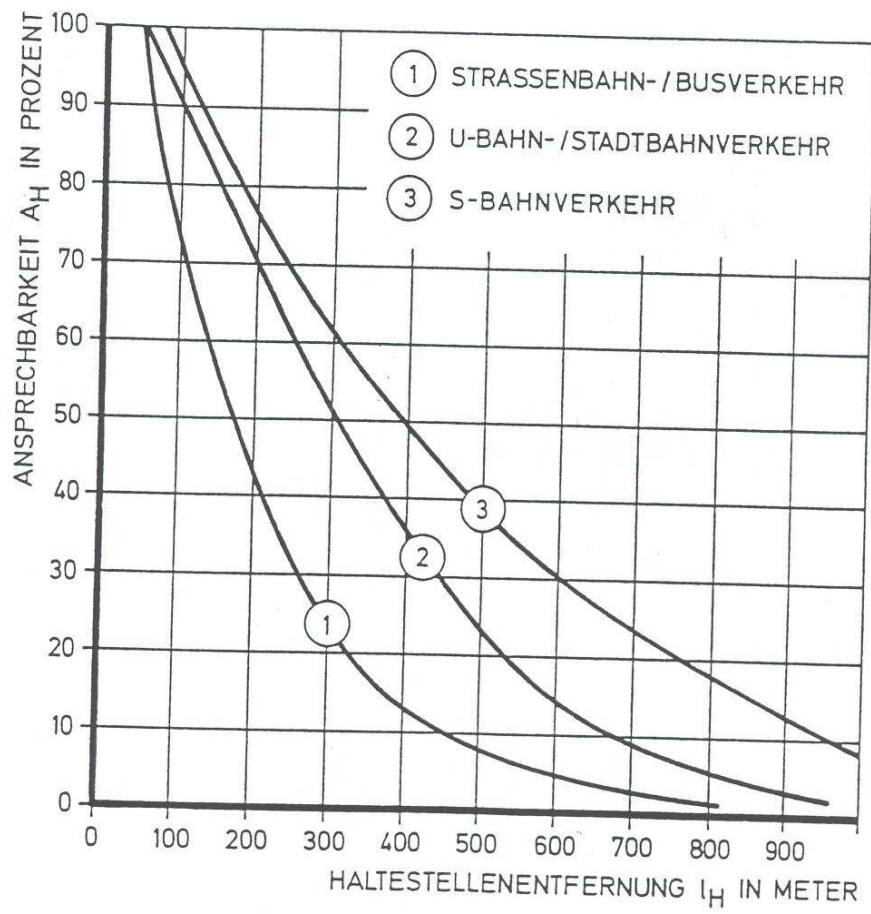
$$PAG_{\text{Verlagerung}} = 1 - 0,54 \cdot e^{-0,0590 \cdot \frac{W_{OvM}}{W_{MvM}} \cdot (M \cdot m_w)}$$

$\frac{W_{Fg}}{W_{MvM}}$	= $W_{OvM} = 34,97 \text{ WE}$
$\frac{W_{Fb}}{W_{MvM}}$	= $W_{OvM} = 32,08 \text{ WE}$
M	= 12 Monate
m_w	= 0
$PAG_{\text{Verlagerung}}$	= 0,75

Somit kann am Ende der Laufzeit von 12 Monaten mit einem realisierten Zuwachs aus Verkehrsverlagerungen von

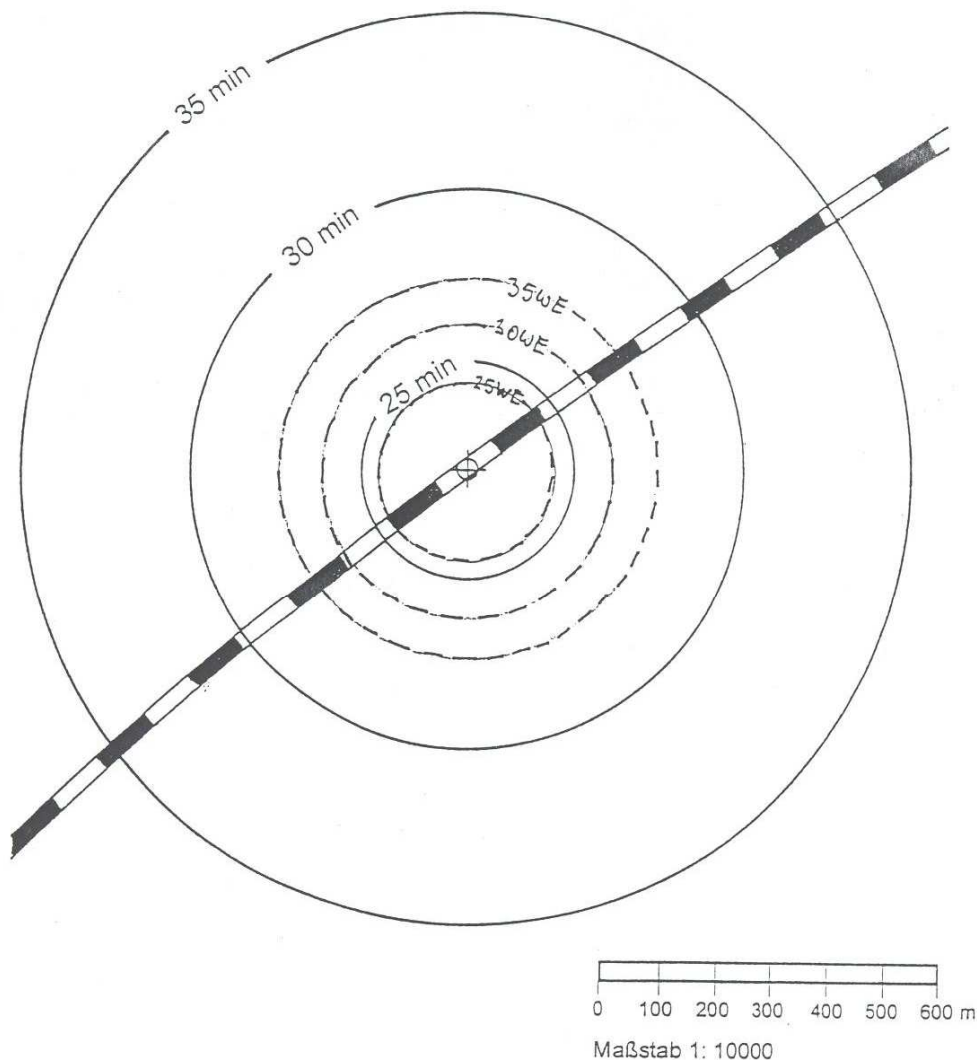
$$4,25 [\%] \cdot 0,75 = 3,12 \%$$

gerechnet werden.



In der unteren Abbildung ist der Ausschnitt eines herkömmlichen Isochronenplans für die U-Bahn-Station eines städtischen Außenbezirks dargestellt, in der zur Beschreibung der Erschließungsgüte *Zeiten* bedeutungsgleich mit *Widerständen* eingehen. Die Isochronen beziehen sich auf den Abfahrtszeitpunkt an der innerstädtischen Bezugshaltestelle, die in 22 min Beförderungszeit-Entfernung liegt.

Zur besseren Berücksichtigung der tatsächlichen Empfindung der Erschließungsgüte der Station durch die Verkehrsnutzer ist der Plan auf der Grundlage subjektiven Zeitempfindens dahingehend zu modifizieren, dass die bisherigen *Zeiten* als zeitabhängige Widerstandseinheiten (WE) aufgefasst werden; es sind somit Linien gleichen Widerstands für 25 WE, 30 WE und 35 WE zu zeichnen.



--- ...WE stellt die Lösung dar (vgl. 4.1.4 - 4)

Die Aufgabe besteht darin, die gegebenen Isochronen auf diejenigen Fußwegentfernungen von der U-Bahnhaltestelle so zu reduzieren, dass die neuen Entfernungen l^*_F den gegebenen Zeiten in Form subjektiv empfundener Widerstände entsprechen.

Zunächst sind die fußwegbezogenen Größen durch Abminderung der Isochronenwerte um die Beförderungszeit von 22 min zu ermitteln. Sodann erfolgt die Umwandlung von Fußwegwiderständen w_F (für U-Bahn nach Umdruckblatt VW 4.1.2 - 2) in akzeptierte Fußwegzeiten t^*_F nach

$$w_F = t^*_F \cdot ZB_F = \text{Fußwegzeit}_{\text{alt}}$$

Die Lösung dieses Zusammenhangs erfolgt am einfachsten durch Programmieren der Formel

$$w_F = t^*_F \cdot (0,569 + 0,274 \cdot e^{0,343 \cdot t^*_F})$$

und solange Einsetzen von t^*_F bis sich das gewünschte w_F ergibt (oder aber durch „Probieren“ mit im Diagramm abgegriffenen Werten).

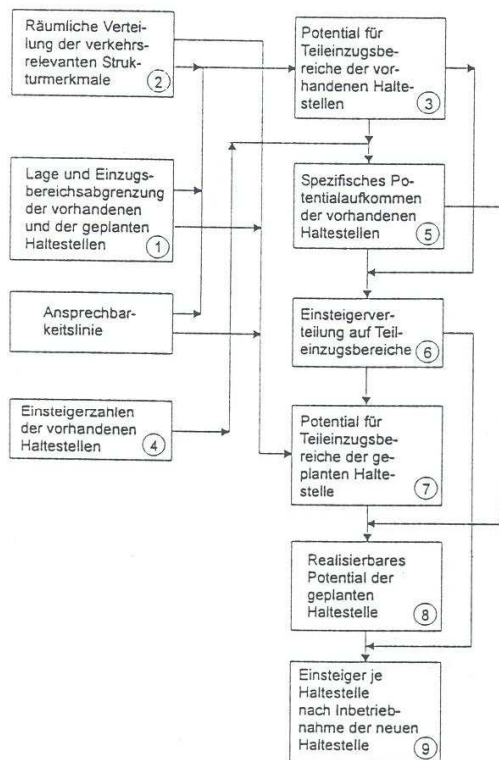
Die t^*_F -Werte werden dann über die Fußgängergeschwindigkeit gemäß Skizze

$$5 \text{ min} \triangleq 3 \text{ cm} = 300 \text{ m} \Rightarrow \text{Luftliniengeschwindigkeit } v_{F,LL} = \frac{300}{5} = \frac{60 \text{ m}}{\text{min}} = 3,6 \text{ km/h}$$

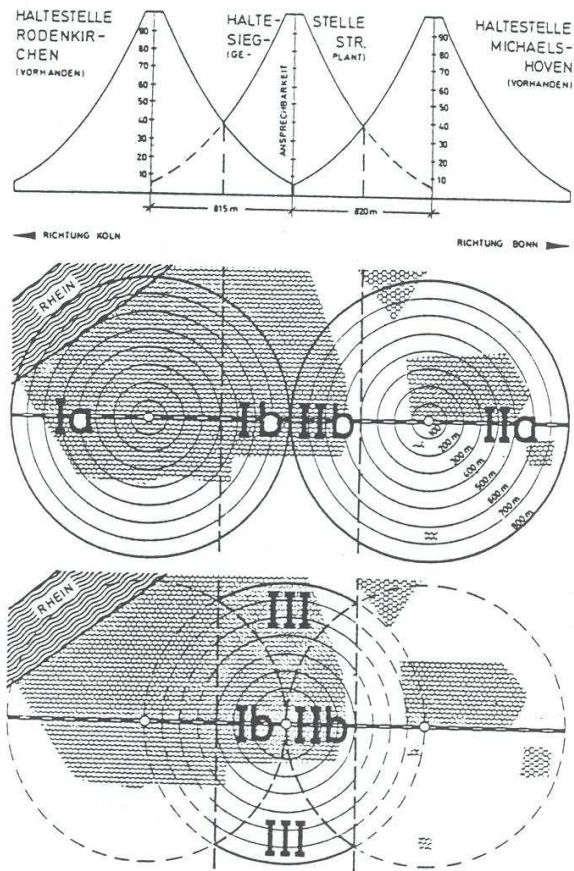
in akzeptierte Luftlinienentfernungen l^*_F umgerechnet und in die Skizze übertragen

Isochronenwert	Fußweg- zeit	$w_F = t^*_F \cdot (ZB_F)$			$l^*_F = t^*_F \cdot v_{F,LL}$	
			\sim	\sim	m	cm
25 min	3	3	2,5	(1,21)	150	1,50
30 min	8	8	4,4	(1,81)	264	2,64
35 min	13	13	5,5	(2,38)	330	3,30

Schematische Darstellung des Verfahrensablaufs



Bebaute Fläche, Lage der Haltestellen und ihre Einzugsbereiche



Tab. 1: Ermittlung des Potentials von Stadtbahnbenutzern je Haltestelle

Teileinzugsbereich der Hst	Ansprechbarkeit A_H [1]	vorhandene Hst Rodenkirchen		vorhandene Hst Michaelshoven		geplante Haltestelle Sieglar		
		I _a	I _b	II _a	II _b	I _b	II _b	III
0 - 100 m	98	62	61	32*	31	65	64	10
100 - 200 m	82	406	333	125*	103	144	191	42
200 - 300 m	61	971	592	243*	148	254	396	53
300 - 400 m	43	1358	584	248*	107	218	433	214
400 - 500 m	29	963	279	74	21	218	151	327
500 - 600 m	19	806	153	262	50	315	73	14
600 - 700 m	12	306	37	304	36	411	62	7
700 - 800 m	7	173	12	394	28	71	5	464
Σ	-	5045	2051	1034	135	867	1233	1034
Σ Σ	-	6079	2186	2100	566	3695	641	1429

Anzahl der in dem Teileinzugsbereich wohnenden 10- bis 65-jährigen (Stand 1.1.1978)

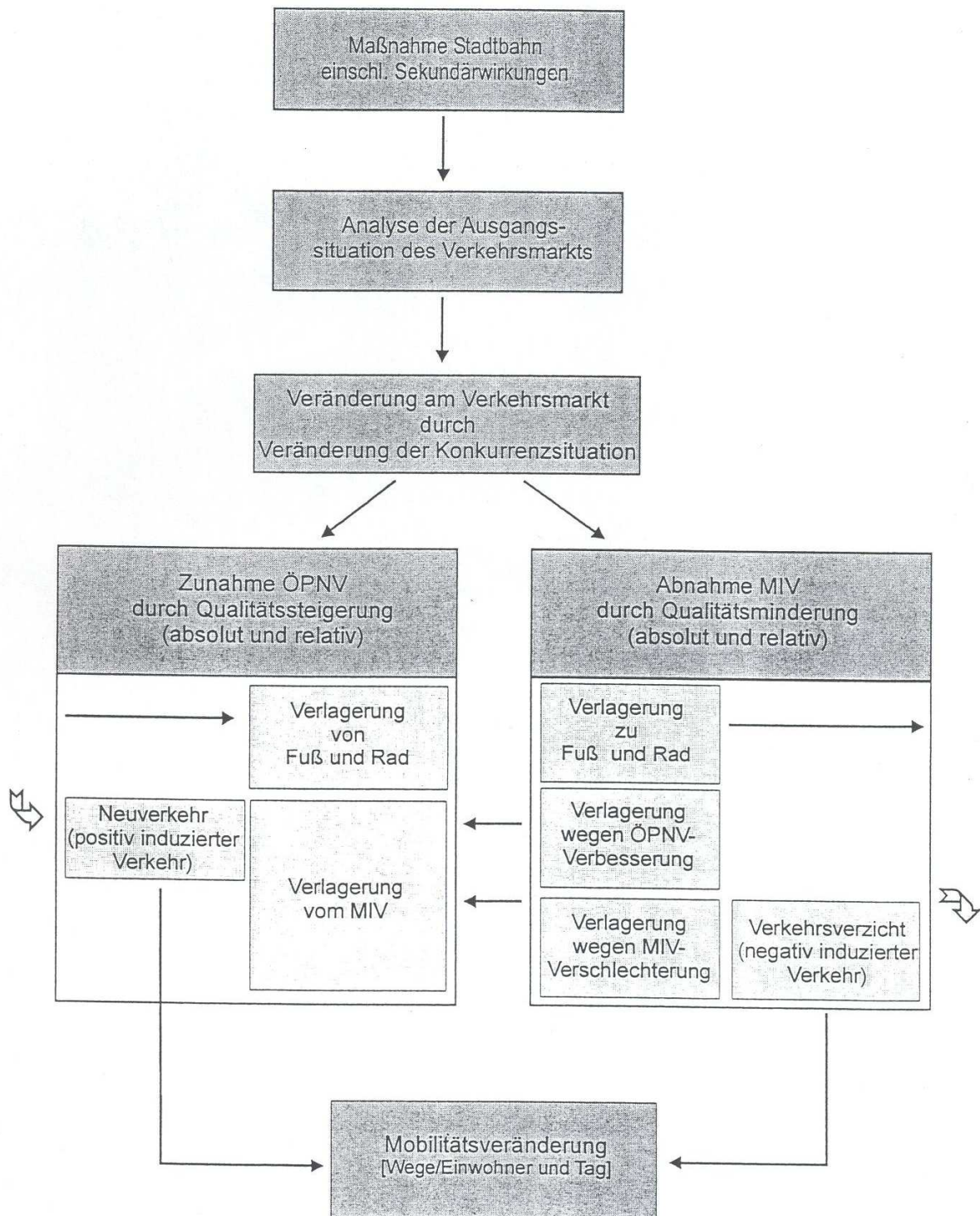


Stadtbahnbenutzer-Potential im Arbeitsstätten- und Ausbildungsverkehr

Tab. 2: Ermittlung der Einsteiger/6 - 9 h aus den einzelnen Teileinzugsbereichen (ohne Berücksichtigung von Umsteigern)

Haltestelle	vorhandene Hst Rodenkirchen		vorhandene Hst Michaelshoven		geplante Hst Sieglar		
Teileinzugsgebiet	I _a	I _b	II _a	II _b	I _b	II _b	III
Potential (nach Tab. 1)	2051	135	413	153	515	641	368
realisiertes Potential (Einsteiger/6 - 9 h) vor Einrichtung d. Hst Sieglar	559	37	135	42	-	-	-
realisierbares Potential	-	-	-	-	140	175	100
Einsteiger/6 - 9 h nach Einrichtung d. Hst Sieglar	559	135	-	-	-	-	-

Einführung einer Stadtbahn und ihre Wirkung auf den Verkehrsmarkt



Angebotskriterien und ihre Transformation in Widerstände im öffentlichen Personennahverkehr

Angebotskriterien	Meßgröße	Subjektive Bewertung	Widerstand	Beispiel: Bus-bzw. Stadtbahn-Relation 7 km in einer mittleren Großstadt 1997		
				Bus 5'-Takt	Stadtb. 5'-Takt	Diff.
örtliche Verfügbarkeit (Netzdichte, Anzahl der Haltestellen)	Fußwegzeit t_F zur von der Halte- stelle in Minuten	ZB_F	$t_{Fan} \cdot ZB_F = W_{Fan}$ $t_{Fab} \cdot ZB_F = W_{fab}$	$5 \cdot 2,5 = 12,50 \text{ WE}$	$5 \cdot 2,1 = 10,50 \text{ WE}$	-2,00
				$3 \cdot 1,4 = 4,20 \text{ WE}$	$3 \cdot 1,3 = 3,90 \text{ WE}$	-0,30
zeitliche Verfügbarkeit (Häufigkeit der Verkehrs- bedienung)	Fahrzeugfolgezeit in Minuten (\rightarrow Wartezeit t_w)	ZB_w	$t_w \cdot ZB_w = W_w$	$2,5 \cdot 2,4 = 6,00 \text{ WE}$	$2,5 \cdot 2,0 = 5,00 \text{ WE}$	-1,00
Beförderungszeit	Zeit im Fahrzeug t_B in Minuten	$(ZB_B = 1)$	$t_B = \frac{1}{V_B} \cdot 60 = W_B$	$\frac{7}{18} \cdot 60 = 23,33 \text{ WE}$ ($V_B = 18 \text{ km/h}$)	$\frac{7}{25} \cdot 60 = 16,80 \text{ WE}$ ($V_B = 25 \text{ km/h}$)	-6,53
Kosten	Kosten / Fahrt	<div><div></div><div>$\alpha_{\bar{o}}$ (Mittelwert 0,17)</div></div>	$\frac{\text{Kosten / Fahrt}}{\alpha_{\bar{o}} \cdot E} = W_K$	$\frac{61,- / 60}{0,242 \cdot 0,60} = 7,00 \text{ WE}$ (Note 2,04)	$\frac{61,- / 60}{0,253 \cdot 0,60} = 6,70 \text{ WE}$ (Note 1,90)	-0,30
Einkommen	Haushaltsnetto- einkommen in DM / Minute					
			Summe der Teilwiderstände	53,03 WE	42,90 WE	-10,13
			ÖPNV-Anteil	36,37 %	41,40 %	+13,8 %

Angebotskriterien und ihre Transformation in Widerstände im öffentlichen Personennahverkehr

Angebotskriterien	Meßgröße	Subjektive Bewertung	Widerstand	Beispiel: Bus-bzw. Stadtbahn-Relation 7 km in einer mittleren Großstadt 1997		
				Bus 5'-Takt	Stadtb. 10'-Takt	Diff.
örtliche Verfügbarkeit (Netzdichte, Anzahl der Haltestellen)	Fußwegzeit t_F zur von der Halte- stelle in Minuten	ZB_F	$t_{Fan} \cdot ZB_F = W_{Fan}$ $t_{Fab} \cdot ZB_F = W_{Fab}$	$5 \cdot 2,5 = 12,50 \text{ WE}$ $3 \cdot 1,4 = 4,20 \text{ WE}$	$5 \cdot 2,1 = 10,50 \text{ WE}$ $3 \cdot 1,3 = 3,90 \text{ WE}$	-2,00 -0,30
zeitliche Verfügbarkeit (Häufigkeit der Verkehrs- bedienung)	Fahrzeugfolgezeit in Minuten (\rightarrow Wartezeit t_W)	ZB_W	$t_W \cdot ZB_W = W_W$	$2,5 \cdot 2,4 = 6,00 \text{ WE}$	$4,5 \cdot 2,9 = 12,18 \text{ WE}$	6,18
Beförderungszeit	Zeit im Fahrzeug t_B in Minuten	$(ZB_B = 1)$	$t_B = \frac{1}{V_B} \cdot 60 = W_B$	$\frac{7}{18} \cdot 60 = 23,33 \text{ WE}$ ($V_B = 18 \text{ km/h}$)	$\frac{7}{25} \cdot 60 = 16,80 \text{ WE}$ ($V_B = 25 \text{ km/h}$)	-6,53
Kosten	Kosten / Fahrt		$\frac{\text{Kosten} / \text{Fahrt}}{\alpha_{\text{ÖV}} \cdot E} = W_K$	$\frac{61,- / 60}{0,242 \cdot 0,60} = 7,00 \text{ WE}$ (Note 2,04)	$\frac{61,- / 60}{0,245 \cdot 0,60} = 6,92 \text{ WE}$ (Note 2,01)	-0,08
Einkommen	Haushaltsnetto- einkommen in DM / Minute	$\alpha_{\text{Ö}}$ (Mittelwert 0,17)				
Summe der Teilwiderstände				53,03 WE	50,30 WE	-2,73
ÖPNV-Anteil				36,37 %	37,60 %	+3,4 %

Angebotskriterien und ihre Transformation in Widerstände im öffentlichen Personennahverkehr

Angebotskriterien	Meßgröße	Subjektive Bewertung	Widerstand	Beispiel: Bus-bzw. S-Bahn-Relation 25 km in einer mittleren Großstadt 1997		
				Bus 20'-Takt	S-Bahn 20'-Takt	Diff.
örtliche Verfügbarkeit (Netzdichte, Anzahl der Haltestellen)	Fußwegzeit t_F zur von der Halte- stelle in Minuten	ZB_F	$t_{Fan} \cdot ZB_F = W_{Fan}$ $t_{Fab} \cdot ZB_F = W_{Fab}$	$5 \cdot 2,5 = 12,50 \text{ WE}$ $3 \cdot 1,4 = 4,20 \text{ WE}$	$5 \cdot 1,8 = 9,00 \text{ WE}$ $3 \cdot 1,3 = 3,90 \text{ WE}$	-3,50 -0,30
zeitliche Verfügbarkeit (Häufigkeit der Verkehrs- bedienung)	Fahrzeugfolgezeit in Minuten (\rightarrow Wartezeit t_W)	ZB_W	$t_W \cdot ZB_W = W_W$	$6,4 \cdot 6,5 = 41,60 \text{ WE}$	$6,4 \cdot 3,4 = 21,76 \text{ WE}$	-19,84
Beförderungszeit	Zeit im Fahrzeug t_B in Minuten	$(ZB_B = 1)$	$t_B = \frac{1}{V_B} \cdot 60 = W_B$	$\frac{25}{32} \cdot 60 = 46,88 \text{ WE}$ ($V_B = 32 \text{ km/h}$)	$\frac{25}{51} \cdot 60 = 29,41 \text{ WE}$ ($V_B = 51 \text{ km/h}$)	-17,47
Kosten	Kosten / Fahrt	<div style="text-align: center;">/</div>	$\frac{\text{Kosten} / \text{Fahrt}}{\alpha_{\text{ÖV}} \cdot E} = W_K$	$\frac{151,- / 40}{0,244 \cdot 0,60} = 25,77 \text{ WE}$ (Note 2,01)	$\frac{151,- / 40}{0,263 \cdot 0,60} = 23,89 \text{ WE}$ (Note 1,77)	-1,88
Einkommen	Haushaltsnetto- einkommen in DM / Minute	$\alpha_{\text{Ö}}$ (Mittelwert 0,17)				
Summe der Teilwiderstände				130,95 WE	87,96 WE	-42,99
ÖPNV-Anteil				37,49 %	47,16 %	+25,8 %

Marktreaktion auf Schienenangebote

für Fahrten ins Zentrum einer mittleren Großstadt 1997

Fallbeispiel: Bus-/ Stadtbahn-Relation 7 km

Ausgangssituation			Veränderung in % der ÖPNV-Qualität durch neues ÖPNV-Angebot					
ÖPNV-Angebot	ÖPNV-Note		Stadtbahn 5'-Takt bei MIV-Angebot			Stadtbahn 10'-Takt bei MIV-Angebot		
	bei MIV-Angeb.		sehr gut	realistisch	schlecht	sehr gut	realistisch	schlecht
Bus 5'-Takt	sehr gut	2,49	+9,2	+29,0	+39,9	+2,5	+22,1	+33,9
	realistisch	2,04	-8,8	+7,4	+16,9	-14,4	+1,5	+11,8
	schlecht	1,89	-17,1	-2,1	+6,2	-22,2	-7,4	+1,6
Bus 10'-Takt	sehr gut	2,62	+14,9	+35,8	+47,2	+7,8	+28,4	+40,9
	realistisch	2,20	-3,5	+14,0	+23,6	-9,5	+7,8	+18,3
	schlecht	1,99	-12,7	+3,1	+11,8	-18,1	-2,5	+7,0

Fallbeispiel: Bus-/ S-Bahn-Relation 25 km

Ausgangssituation			Veränderung in % der ÖPNV-Qualität durch neues ÖPNV-Angebot					
ÖPNV-Angebot	ÖPNV-Note		S-Bahn 20'-Takt bei MIV-Angebot			S-Bahn 30'-Takt bei MIV-Angebot		
	bei MIV-Angeb.		sehr gut	realistisch	schlecht	sehr gut	realistisch	schlecht
Bus 20'-Takt	sehr gut	2,29	+15,1	+26,5	+33,1	+12,3	+23,8	+29,4
	realistisch	2,01	+3,0	+13,6	+19,2	+0,5	+10,8	+15,8
	schlecht	1,94	-2,5	+7,2	+12,8	-4,9	+4,9	+9,6

Marktreaktion auf Schienenangebote

für Fahrten ins Zentrum einer mittleren Großstadt 1997

Fallbeispiel: Bus-/Stadtbahn-Relation 7 km

Ausgangssituation			Veränderung in % des ÖPNV-Anteils durch neues ÖPNV-Angebot					
ÖPNV-Angebot	ÖPNV-Anteil		Stadtbahn 5'-Takt bei MIV-Angebot			Stadtbahn 10'-Takt bei MIV-Angebot		
	bei MIV-Angeb.	%	sehr gut	realistisch	schlecht	sehr gut	realistisch	schlecht
Bus 5'-Takt	sehr gut	25,7	+16,3	+56,4	+81,7	+3,9	+42,4	+67,3
	realistisch	36,4	-15,5	+13,8	+31,9	-24,6	+3,4	+21,5
	schlecht	41,7	-28,3	-3,6	+12,0	-36,0	-12,2	+3,1
Bus 10'-Takt	sehr gut	23,0	+30,0	+74,8	+103,0	+16,1	+59,1	+87,0
	realistisch	32,1	-6,9	+25,2	+45,5	-16,8	+14,0	+34,0
	schlecht	38,2	-21,7	+5,2	+22,3	-30,1	-4,2	+12,6

Fallbeispiel: Bus-/S-Bahn-Relation 25 km

Ausgangssituation			Veränderung in % des ÖPNV-Anteils durch neues ÖPNV-Angebot					
ÖPNV-Angebot	ÖPNV-Anteil		S-Bahn 20'-Takt bei MIV-Angebot			S-Bahn 30'-Takt bei MIV-Angebot		
	bei MIV-Angeb.	%	sehr gut	realistisch	schlecht	sehr gut	realistisch	schlecht
Bus 20'-Takt	sehr gut	29,7	+28,6	+52,5	+67,0	+22,9	+46,8	+59,6
	realistisch	37,5	+5,5	+25,8	+37,0	+0,8	+20,4	+30,9
	schlecht	39,9	-4,3	+13,5	+24,3	-8,5	+9,3	+18,8