



HILFSBRÜCKEN FÜR HÖHERE GESCHWINDIGKEITEN- WIRTSCHAFTLICHE VARIANTENVERGLEICHE

DI Alfred Hüngsberg, ÖBB-Infrastruktur AG, Brückenbau



Einführung

Aufgabenstellung:

Rechnerische Erörterung der Auswirkungen des langsameren Befahrens von den Hilfsbrückentypen **SFH** (alt) und **HHB** (neu) über einen definierten Zeit- und Streckenabschnitt in der Betriebsphase

Problematik:

Auf Neubaustrecken mit höheren Geschwindigkeiten ist die technische Qualität vorhandener Brücken zufriedenstellend, allerdings stellt sich der große Geschwindigkeitsunterschied (**Hilfsbrücken SFH $v_{\max.} = 120$ km/h**) zukünftig als maßgeblicher betrieblicher Schwachpunkt dar.

Neue Hilfsbrückentypen:

- **HHB mit $v_{\max.} = 160$ km/h**
- HB aus UHPC mit $v_{\max.} = 200$ km/h

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Einführung

In die Berechnung fließen folgende Kostenansätze ein:

- **Kosten infolge Zeitverlust durch**
 - Geschwindigkeitsreduktion/Verzögerung
 - Fahren mit konstant reduzierter, zulässiger Geschwindigkeit
 - Wiederbeschleunigung auf maximale Geschwindigkeit
- **Kosten für ggf. zusätzlichen Energieverbrauchs infolge:**
 - Energiekosten infolge Fahren mit konstant reduzierter, zulässiger Geschwindigkeit
 - Wiederbeschleunigen nach Geschwindigkeitsreduktion
 - Gegenüberstellung zu Energiekosten infolge Fahren mit max. Geschwindigkeit
 - Der Bremsvorgang wird in der Energiebetrachtung als kostenneutral angenommen.

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Szenario 1 (min. Durchfahrtslänge Langsamfahren):

„Zeitverlust eines Zuges beim Durchfahren einer Mindest-Durchfahrtslänge infolge Langsamfahrens?“

Die min. Länge der Langsamfahrstelle für Fahren mit konstant reduzierter, zulässiger Geschwindigkeit beträgt:

$$s_{v_x} = 100m + l_{Wagen} + l_{Triebfahrzeug}$$

Der betrachtete Streckenabschnitt schließt notwendigerweise zusätzlich noch die rechnerischen Strecken infolge Verzögerung und Beschleunigung ein.

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Szenario 2 (mittlerer Abstand zwischen 2 Bahnhöfen):

„Zeitverlust eines Zuges beim Durchfahren eines Längsabschnitts, der einer mittlerer Länge zwischen zwei Bahnhöfen entspricht infolge Langsamfahrens?“

Die mittlere Bahnhofslänge ist ein arithmetisches Mittel aller Bahnhofsabstände auf der alten Westbahnstrecke und beträgt 7,3 km.

Der betrachtete Streckenabschnitt schließt notwendigerweise zusätzlich noch die rechnerischen Strecken infolge Verzögerung und Beschleunigung ein.

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Ansatz 1 : Betriebswirtschaftlicher Ansatz (ÖBB)

Kostenansatz für Kosten infolge Zeitverlusts für IC: 9 €/min

Quelle:

ÖBB Infra: Skriptum Bautechnischer Kurs - Brückenbau und konstruktiver Ingenieurbau (Engineering Services); Ausgabe 2009

Kostenansatz für Kosten infolge zusätzlichen Energieverbrauchs

Energiekosten bei konstanter Fahrgeschwindigkeit und für Wiederbeschleunigung für v_x bis $v_{max}=200$ km/h

v [km/h]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Kosten IC für Wiederbeschleunigen nach Geschwindigkeitsreduktion	[€/ Zug] 52,22	[€/ Zug] 48,22	[€/ Zug] 44,02	[€/ Zug] 39,49	[€/ Zug] 34,63	[€/ Zug] 29,56	[€/ Zug] 24,27	[€/ Zug] 18,56	[€/ Zug] 12,73	[€/ Zug] 6,47	[€/ Zug] 0,00
Energiekosten IC zur Bestimmung der Kostenreduktion durch Langsamfahrt	[€/km] 1,94	[€/km] 2,16	[€/km] 2,37	[€/km] 2,59	[€/km] 2,91	[€/km] 3,13	[€/km] 3,45	[€/km] 3,78	[€/km] 4,10	[€/km] 4,53	[€/km] 4,96

Energiekosten bei konstanter Fahrgeschwindigkeit und für Wiederbeschleunigung für v_x bis $v_{max}=230$ km/h

v [km/h]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230
Kosten IC für Wiederbeschleunigen nach Geschwindigkeitsreduktion	[€/ Zug] 62,36	[€/ Zug] 59,23	[€/ Zug] 55,88	[€/ Zug] 52,22	[€/ Zug] 48,22	[€/ Zug] 44,02	[€/ Zug] 39,49	[€/ Zug] 34,63	[€/ Zug] 29,56	[€/ Zug] 24,27	[€/ Zug] 18,56	[€/ Zug] 12,73	[€/ Zug] 6,47	[€/ Zug] 0,00
Energiekosten IC zur Bestimmung der Kostenreduktion durch Langsamfahrt	[€/km] 1,94	[€/km] 2,16	[€/km] 2,37	[€/km] 2,59	[€/km] 2,91	[€/km] 3,13	[€/km] 3,45	[€/km] 3,78	[€/km] 4,10	[€/km] 4,53	[€/km] 4,96	[€/km] 5,39	[€/km] 5,83	[€/km] 6,37

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Methodik

Ansatz 2 : Volkswirtschaftlicher Ansatz

Kostenansatz für Kosten infolge Zeitverlusts

Mittlerer Kostensatz (PB 2016) : 15 € / Personen- h lt. **RVS 02.01.22**

Anzahl Passagiere Rail Jet: 300 Personen

Kosten infolge Zeitverlusts= $\frac{300 \text{ Personen} \times 15 \text{ € / Personen- h}}{3600 \text{ sec}} = 4500 \text{ €/h oder } 75 \text{ €/min}$

Kostenansatz für Kosten infolge zusätzlichen Energieverbrauchs

Energiepreis (Marktpreis 2015) : **12 $\frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$**

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Ergebnisse

Szenario 1: min. Durchfahrtslänge - **Betriebswirtschaftlicher Ansatz (ÖBB)**

		$V_{max} = 200 \text{ km/h} > V_x$	
		SFH 265	HHB 265
Kosten pro Zug			
Kostenart	v [km/h]	120	160
Zeitverlust	Δt [s]	19	5
Kosten infolge Zeitverlust	[€]	2,7	0,8
zusätzliche Energiekosten	[€]	26,0	13,9
Summe	[€]	28,8	14,7

		$V_{max} = 230 \text{ km/h} > V_x$	
		SFH 265	HHB 265
	v [km/h]	120	160
	Δt [s]	31	13
	[€]	4,4	1,9
	[€]	20,4	13,7
	[€]	24,8	15,6

		SFH 265	HHB 265
Kosten pro Tag			
Kostenart	v [km/h]	120	160
Kosten infolge Zeitverlust	[€]	219	61
zusätzliche Energiekosten	[€]	2.083	1.116
Summe	[€]	2.302	1.176

		SFH 265	HHB 265
	v [km/h]	120	160
	[€]	350	148
	[€]	1.636	1.099
	[€]	1.986	1.247

		SFH 265	HHB 265
Kosten pro 1/2 Jahr			
Kostenart	v [km/h]	120	160
Kosten infolge Zeitverlust	[€]	36.743	10.213
zusätzliche Energiekosten	[€]	349.966	187.429
Summe	[€]	386.709	197.642

		SFH 265	HHB 265
	v [km/h]	120	160
	[€]	58.842	24.938
	[€]	274.827	184.591
	[€]	333.670	209.529

$\Delta = 189.067\text{€}$

$\Delta = 124.141\text{€}$

Interpretation:

- Bei Betrachtung der min. Durchfahrtslänge werden die Betriebserschwerungskosten dominiert von Energiekosten (vorwiegend durch Kosten infolge Wiederbeschleunigung).

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Ergebnisse

Szenario 2: mittlerer Abstand zwischen zwei Bahnhöfen - **Betriebswirtschaftlicher Ansatz (ÖBB)**

$V_{max} = 200 \text{ km/h} > V_x$

		SFH 265	HHB 265
Kostenart	v [km/h]	120	160
Zeitverlust	Δt [s]	106	38
Kosten infolge Zeitverlust	[€]	15,0	5,4
zusätzliche Energiekosten	[€]	7,4	3,1
Summe	[€]	22,4	8,4

$V_{max} = 230 \text{ km/h} > V_x$

		SFH 265	HHB 265
v [km/h]		120	160
Δt [s]		134	62
[€]		19,1	8,9
[€]		-8,3	-7,2
[€]		10,8	1,6

Kosten pro Tag

		SFH 265	HHB 265
Kostenart	v [km/h]	120	160
Kosten infolge Zeitverlust	[€]	1.201	429
zusätzliche Energiekosten	[€]	592	246
Summe	[€]	1.792	675

		SFH 265	HHB 265
v [km/h]		120	160
[€]		1.524	709
[€]		-663	-579
[€]		861	130

Kosten pro 1/2 Jahr

		SFH 265	HHB 265
Kostenart	v [km/h]	120	160
Kosten infolge Zeitverlust	[€]	201.693	72.069
zusätzliche Energiekosten	[€]	99.409	41.271
Summe	[€]	301.102	113.340

		SFH 265	HHB 265
v [km/h]		120	160
[€]		256.065	119.067
[€]		-111.448	-97.285
[€]		144.617	21.781

$\Delta = 187.762\text{€}$

$\Delta = 122.836\text{€}$

Interpretation:

- Auf längeren Strecken (mittlerer Abstand zwischen 2 Bahnhöfen) verschiebt sich die Aufteilung der Kostenzusammensetzung der Betriebserschwerungskosten. Kosten infolge Zeitverlusts liegen deutlich über Kosten infolge zusätzlichen Energieverbrauchs.

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Ergebnisse

Szenario 1: min. Durchfahrtslänge – Volkswirtschaftlicher Ansatz

$V_{max} = 200 \text{ km/h} > V_x$

Kosten pro Zug		SFH 265	HHB 265
Kostenart	v [km/h]	120	160
Zeitverlust	Δt [s]	19	5
Kosten infolgen Zeitverlust	[€]	24,1	6,7
zusätzliche Energiekosten	[€]	8,2	4,5
Summe	[€]	32,2	11,2

$V_{max} = 230 \text{ km/h} > V_x$

		SFH 265	HHB 265
v [km/h]		120	160
Δt [s]		31	13
[€]		38,5	16,3
[€]		8,3	5,6
[€]		46,9	22,0

Kosten pro Tag

		SFH 265	HHB 265
Kostenart	v [km/h]	120	160
Kosten infolgen Zeitverlust	[€]	1.925	535
zusätzliche Energiekosten	[€]	654	360
Summe	[€]	2.579	895

Kosten pro Tag

		SFH 265	HHB 265
v [km/h]		120	160
[€]		3.082	1.306
[€]		667	450
[€]		3.749	1.757

Kosten pro 1/2 Jahr

		SFH 265	HHB 265
Kostenart	v [km/h]	120	160
Kosten infolgen Zeitverlust	[€]	323.329	89.869
zusätzliche Energiekosten	[€]	109.917	60.559
Summe	[€]	433.246	150.428

Kosten pro 1/2 Jahr

		SFH 265	HHB 265
v [km/h]		120	160
[€]		517.799	219.445
[€]		112.085	75.669
[€]		629.885	295.114

$\Delta = 282.818\text{€}$

$\Delta = 334.771\text{€}$

Interpretation:

- Bei Betrachtung der min. Durchfahrtslänge werden die Betriebserschwerungskosten dominiert von Nutzerkosten infolge Zeitverlust.

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Ergebnisse

Szenario 2: mittlerer Abstand zwischen zwei Bahnhöfen – Volkswirtschaftlicher Ansatz

		V _{max} = 200 km/h > V _x	
		SFH 265	HHB 265
Kosten pro Zug			
Kostenart	v [km/h]	120	160
Zeitverlust	Δ t [s]	106	38
Kosten infolge Zeitverlust	[€]	132,1	47,2
zusätzliche Energiekosten	[€]	-1,3	-0,8
Summe	[€]	130,8	46,4

		V _{max} = 230 km/h > V _x	
		SFH 265	HHB 265
v [km/h]		120	160
Δ t [s]		134	62
[€]		167,7	78,0
[€]		-5,9	-4,5
[€]		161,7	73,5

		SFH 265	HHB 265
Kosten pro Tag			
Kostenart	v [km/h]	120	160
Kosten infolge Zeitverlust	[€]	10.565	3.775
zusätzliche Energiekosten	[€]	-104	-66
Summe	[€]	10.460	3.709

		SFH 265	HHB 265
v [km/h]		120	160
[€]		13.413	6.237
[€]		-474	-358
[€]		12.939	5.878

		SFH 265	HHB 265
Kosten pro 1/2 Jahr			
Kostenart	v [km/h]	120	160
Kosten infolge Zeitverlust	[€]	1.774.849	634.189
zusätzliche Energiekosten	[€]	-17.512	-11.119
Summe	[€]	1.757.337	623.069

		SFH 265	HHB 265
v [km/h]		120	160
[€]		2.253.312	1.047.758
[€]		-79.555	-60.222
[€]		2.173.757	987.536

Δ = 1.134.268€

Δ = 1.192.221€

Interpretation:

- Auf längeren Strecken (mittlerer Abstand zwischen 2 Bahnhöfen) bleiben die Zeitverlustkosten die maßgebliche BEK Einflussgröße. Die Kosten infolge zusätzlichen Energieverbrauchs fallen nicht mehr an.

Quelle:

ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich- Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz, Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Zusammenstellung

HHB 265, Einsatzdauer ½ Jahr (v_{max} = 120km/h zu <u>160</u> km/h)	200 km/h	230 km/h
Betriebswirtschaftlicher Ansatz 1	189.067€	124.141€
Betriebswirtschaftlicher Ansatz 2	187.762€	122.836€
Volkswirtschaftlicher Ansatz 1	282.818€	334.771€
Volkswirtschaftlicher Ansatz 2	1.134.268€	1.192.221€

Quelle:
 ÖBB Hilfsbrücken BEK - Variantenvergleich-
 Indirekte LCC auf der Westbahnstrecke Wien – Linz,
 Dr.techn. Robert Veit-Egerer FCP ZT GmbH

Vergleich Projektarbeit „Hilfsbrücke für höhere Geschwindigkeiten“ – Gotthard et al. 2015:

- Hilfsbrücke HB aus UHPC mit $v_{max.} = 200$ km/h
- Kostenersparnis: **624.000€** (bei Einsatzdauer \approx 26 Wochen)