

TU Berlin • FG Schienenfahrzeuge • Sekr. SG 14 • Salzufer 17-19, D-10587 Berlin

IG Schienenlärm  
c / o Frau Dr. Schittko-Schlichting  
Erikastr.145

20251 Hamburg

FAKULTÄT V  
VERKEHRS- UND  
MASCHINENSYSTEME

---

Institut für Land- und Seeverkehr

---

Fachgebiet Schienenfahrzeuge

---

Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht

---

Dipl.-Ing. Gerrit Lehmann  
Dipl.-Ing. Christoph Gramowski

---

Tel.: +49 (0)30 314 24956

Fax: +49 (0)30 314 22529

E-Mail: [gerrit.lehmann@tu-berlin.de](mailto:gerrit.lehmann@tu-berlin.de)

[www.schieneffzg.tu-berlin.de](http://www.schieneffzg.tu-berlin.de)

1.3.2011

# Fahrspieloptimierung auf der Güterumgehungsbahn Hamburg

---

*Eine Betrachtung unter betrieblichen und akustischen Gesichtspunkten  
Bericht Nr. 3/2011*

## Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	2
1. Ausgangslage.....	4
2. Die Berechnung der Streckenkapazität.....	5
3. Die Schallprognose.....	7
4. Die Streckenkapazität unter Berücksichtigung von Zugkreuzungen.....	10
5. Untersuchtes Betriebskonzept: Wechselbetrieb.....	11
6. Untersuchtes Betriebskonzept: Temporärer Einrichtungsbetrieb.....	12
Stundenrhythmus.....	12
Zwei-Stunden-Rhythmus.....	17
7. Abbremsen vor Kurven.....	18
8. Veränderung der Schallemission.....	22
9. Zusammenfassung.....	23
Literaturverzeichnis.....	24

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kartenübersicht der nördlichen Güterumgehungsbahn.....	4
Abbildung 2: Z-v-Diagramm einer Lokomotive mit 4,2 MW Dauerleistung und Fahrwiderstände dreier unterschiedlich schwerer Güterzüge.....	7
Abbildung 3: Änderung des Schallpegels über die Fahrgeschwindigkeit.....	8
Abbildung 4: Zugfahrten bei zugelassenen Zugkreuzungen, 80 km/h.....	10
Abbildung 5: Zugfahrten bei zugelassenen Zugkreuzungen, 60 km/h.....	11
Abbildung 6: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 80 km/h, Wechselbetrieb.....	12
Abbildung 7: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 80 km/h.....	13
Abbildung 8: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 60 km/h.....	15
Abbildung 9: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 60 km/h, mit Zeitreserve.....	16
Abbildung 10: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 40 km/h.....	16
Abbildung 11: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 80 km/h, Richtungsbetrieb.....	18
Abbildung 12: Fahrspiele eines 1000 t schweren Güterzugs bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven.....	20
Abbildung 13: Fahrspiele eines 1500 t schweren Güterzuges bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven.....	20
Abbildung 14: Geschwindigkeiten eines 1000 t schweren Güterzuges bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven.....	21
Abbildung 15: Geschwindigkeiten eines 1000 t schweren Güterzuges bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven.....	21
Abbildung 16: Verringerung der täglichen Anfahr- und Bremsvorgänge.....	22

Tabelle 1: Übersicht über die Vorbeifahr-Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.	9
Tabelle 2: Fahrzeiten in Abhängigkeit von der maximal erreichten Geschwindigkeit bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven. ....	19
Tabelle 3: Auswirkungen der Fahrspieloptimierung auf die Schallemission.....	22
Tabelle 4: Anzahl der Anfahr- und Bremsvorgänge am Tag.....	22
Tabelle 5: Übersicht über die Fahrzeiten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit .....	23

## 1. Ausgangslage

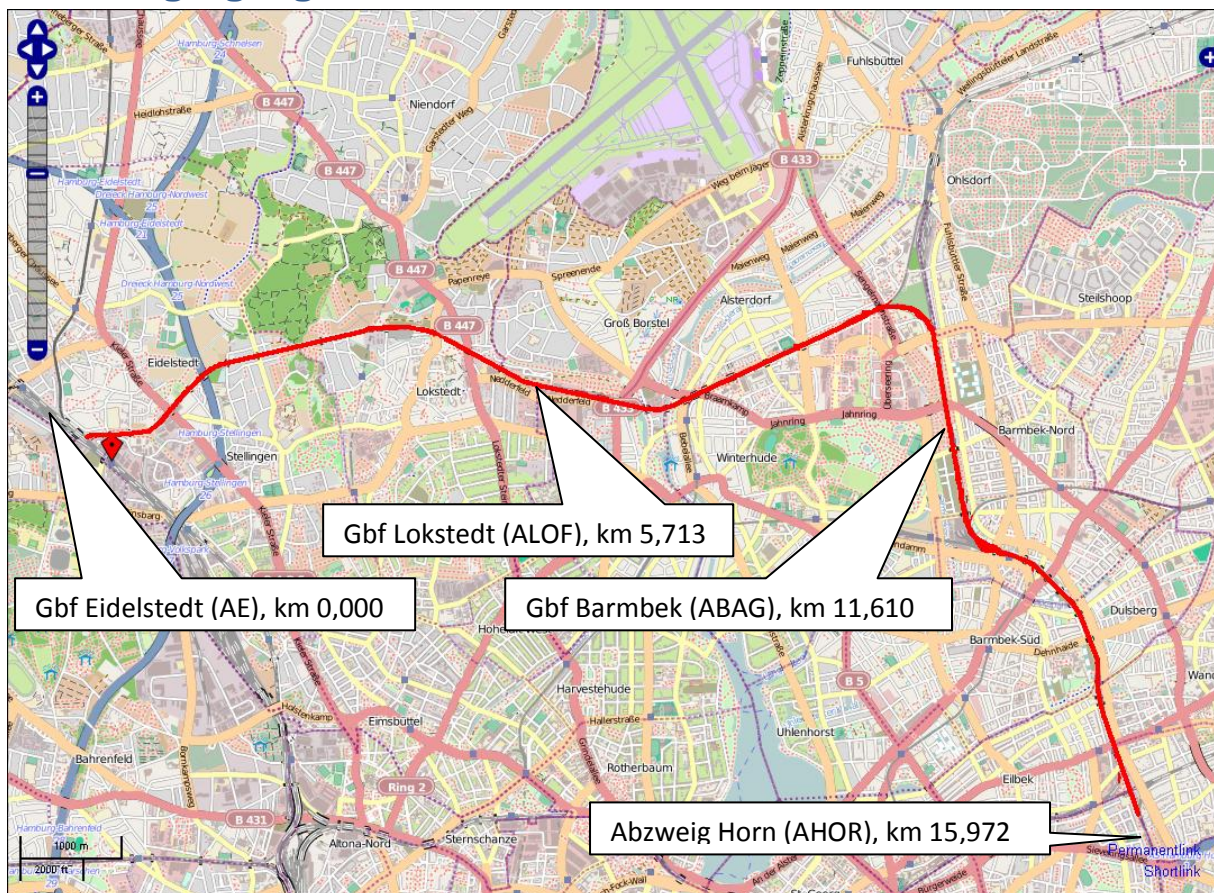


Abbildung 1: Kartenübersicht der nördlichen Güterumgehungsbahn

© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA, <http://www.openstreetmap.org>

Die Güterumgehungsbahn Hamburg ist eine überwiegend eingleisige, durchgehend mit Oberleitung versehene Bahnstrecke, welche von Hamburg-Eidelstedt über die Stadtteile Lokstedt, Barmbek, Wandsbek, Hamm, Horn zum Rangierbahnhof Rothenburgsort verläuft und von dort aus weiter nach Hamburg-Harburg verläuft. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit beträgt durchweg 100 km/h. Sie nimmt einen erheblichen Teil der durch Hamburg verkehrenden Güterzüge auf, insbesondere da die Hamburg-Altonaer Verbindungsbahn ein starkes Personenzugaufkommen aufweist und dort nur wenige Güterzüge verkehren. Damit ist sie eine wichtige Strecke für den Schienengüterverkehr vom Rangierbahnhof Maschen in Richtung Skandinavien, wo in Zukunft sogar überlange Güterzüge mit 835 m Länge zum Einsatz kommen sollen (1). Das Verkehrsaufkommen auf der Güterumgehungsbahn belief sich im Jahre 2007 auf über 80 Züge pro Tag (2). Die Trassenplanung der Deutschen Bahn AG sieht hingegen derzeit (2011) vor, dass die Strecke nur mehr mit 54 Zügen pro Tag befahren wird (3). Da jedoch eine Erhöhung des Güterverkehrsaufkommens auf der Schiene prognostiziert wird, ist langfristig wieder mit mehr Verkehren auf der Schiene zu rechnen. Daher wird untersucht, inwieweit sich die Streckenkapazität ändert, wenn im Interesse des Lärmschutzes Bremsvorgänge vermieden und die Fahrgeschwindigkeit reduziert wird, als betriebliche Maßnahme, die keine baulichen Veränderungen erfordert und damit keine Investitionen des Netzbetreibers nötig macht. Weitere lärmreduzierende Maßnahmen an der Strecke werden aktuell umgesetzt, vor allem Schallschutzwände.

Südlich des Abzweigs Hamburg-Horn, der die Güterumgebungsbahn mit der Bahnstrecke Hamburg-Lübeck verknüpft, ist die Güterumgebungsbahn zweigleisig ausgebaut und kann daher auch kreuzende (sich begegnende) Züge aufnehmen. Auf dem Abschnitt Eidelstedt-Horn ist die Strecke hingegen nur eingleisig ausgebaut, mit Ausnahme der Güterbahnhöfe Hamburg-Lokstedt und Hamburg-Barmbek. Die Eingleisigkeit der Bahnstrecke bedingt, dass sich kreuzende Züge auf diesen Bahnhöfen halten müssen, um einander vorbeifahren zu lassen. Diese Bremsvorgänge sind bei den gegenwärtig vorhandenen Güterwagen, die noch in großer Zahl mit Graugussbremsklötzen ausgerüstet sind, sehr lärmintensiv. Gleichzeitig gibt es gerade am eingleisigen Streckenabschnitt zwischen Eidelstedt und Horn besonders viel Wohnbebauung. Die Vermeidung der Bremsvorgänge auf diesem Abschnitt ohne Verminderung der Streckenkapazität stand daher im Fokus der vorliegenden Untersuchung.

## 2. Die Berechnung der Streckenkapazität

Die Betrachtung beschränkte sich auf den Abschnitt Eidelstedt-Horn, da davon ausgegangen werden kann, dass alle Züge diesen Abschnitt vollständig durchfahren. Südlich des Abzweigs Horn herrschen jedoch andere Umstände; zum einen ist zwischen Horn und Rothenburgsort die Strecke zweigleisig aufgebaut und kann so auch den Güterverkehr der Gegenrichtung aufnehmen, zum anderen mündet am Abzweig Horn eine Verbindungskurve von der Bahnstrecke Hamburg-Lübeck ein, so dass sich ein verändertes Betriebsszenario ergibt.

Es werden die Fahrtzeiten von mehreren Güterzügen innerhalb einer Stunde berechnet, die sich auf der Güterumgebungsbahn bewegen. Zunächst wurden 8 Züge pro Stunde (4 je Richtung) betrachtet und dann die Züge zeitlich so arrangiert oder entfernt, dass Begegnungen auf einem eingleisigen Abschnitt ausgeschlossen wurden. Aus der Zahl der verbliebenen Züge ergibt sich die Streckenkapazität. Hierfür wurden folgende Annahmen getroffen:

- Alle Züge fahren in Eidelstedt aus dem Stand an und kommen in Horn vollständig zum Stillstand bzw. fahren in Horn an und halten in Eidelstedt vollständig an. Aufgrund der dortigen Verknüpfungspunkte muss stets damit gerechnet werden, dass ein Anhalten betrieblich notwendig wird. Fallen diese Halte in der Realität weg – was durchaus wahrscheinlich ist und für die Berechnung der Schallemission auch angenommen wurde –, verkürzt sich die Fahrtzeit geschwindigkeitsabhängig um 3-4 Minuten, was die Zeitreserve der Züge vergrößert; diese Zeit reicht jedoch nicht aus, zusätzliche Züge fahren zu lassen.
- Diese Züge sind im Szenario jeweils einmal in Richtung Horn und in Richtung Eidelstedt unterwegs, es handelt sich um:
  - Einen Zug mit einem Gesamtgewicht von 1500 Tonnen (entsprechend 18 vierachsigen oder 35 zweiachsigen Wagen) und einer Elektrolokomotive mit 4200 kW Nennleistung.
  - Einen Zug mit einem Gesamtgewicht von 1000 Tonnen (entsprechend 11 vierachsigen Wagen) und einer Elektrolokomotive mit 4200 kW Nennleistung.
  - Einen Zug mit einem Gesamtgewicht von 1000 Tonnen (entsprechend 11 vierachsigen Wagen) und einer Diesellokomotive mit 2000 kW Nennleistung
  - sowie einen Zug mit einem Gesamtgewicht von 2200 Tonnen (entsprechend 26 vierachsigen Wagen) und zwei Elektrolokomotiven mit zusammen 8400 kW Nennleistung.

Diese Annahmen beruhen auf Kapazitätsberechnungen, die am Fachgebiet schon früher durchgeführt wurden; um die Streckenkapazität auch unter ungünstigen Bedingungen zu erfassen, wurde von schwereren Zügen ausgegangen. Die Leistungsdaten entsprechen den verbreiteten Lokomotiven der Baureihe 185 (elektrische Bombardier Traxx AC) bzw. Bombardier Traxx DE oder Vossloh G2000, wenn eine Diesellokomotive angenommen wurde.

- Die Lokomotiven haben eine Haftung von 2,5 kN je Tonne Traktionsgewicht, was 200 kN Anfahrzugkraft gestattet. Normalerweise werden mehr veranschlagt (z. B. 3,75 kN in den Leistungsdaten Bombardier Traxx), was zu besserer Beschleunigung und damit kürzeren Fahrzeiten führt. Jedoch nimmt der Reibbeiwert des Rad-Schiene-Kontakts im Herbst durch Laub und im Winter durch Eis ab (d. h., die Schienen werden rutschiger). Um die Fahrzeit auch unter ungünstigeren Umständen abschätzen zu können, wurde daher die Zugkraft geringer angesetzt.
- Die Steigung auf der Hamburger Güterumgebungsbahn kann hinsichtlich des Streckenwiderstands vernachlässigt werden, da sie laut öffentlich zugänglichen Höhendaten in außergewöhnlich flachem Gelände angelegt ist. Die größte Neigung ist schätzungsweise kleiner als 3‰, außerdem ist sie ein Gefälle zwischen dem Bahnhof Eidelstedt und Lokstedt, so dass sie im Zweifelsfalle den Anfahrvorgang bzw. den Bremsvorgang der Gegenrichtung beschleunigt und für Fahrzeitverkürzung sorgt.
- Die Kurvenradien wurden anhand öffentlich zugänglicher Luftbilddaufnahmen geschätzt. Die Genauigkeit beträgt etwa 30%, die mögliche Abweichung des sich daraus ergebenden Fahrwiderstands beträgt 5 kN, rund 3% der zur Verfügung stehenden Zugkraft.
- Die Fahrwiderstandsberechnung erfolgte nach den Vorgaben der DB (4).
- Wenn ein Zug einen Blockabschnitt verlässt, so dauert es 10 s, bis der nächste Zug in diesen Abschnitt einfahren kann. Diese Zeit ist dem Stellen der Fahrstraße und der Reaktionszeit des Triebfahrzeugführers auf die Streckenfreigabe geschuldet.

Mit den vorliegenden Annahmen und Berechnungsverfahren wurde mit Hilfe von MS Excel ein Programm erstellt, das für jeden 10-Meter-Abschnitt der Güterumgebungsbahn für jeden Zug den jeweiligen Durchfahrzeitpunkt mit folgender Formel errechnet:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{\frac{1}{2}(v + \sqrt{v^2 + 2 \cdot \Delta s \cdot a})}$$

Hierbei bezeichnet  $\Delta t$  die Fahrzeit von einer 10-Meter-Marke zur nächsten,  $\Delta s$  die Wegstrecke – hier also 10 Meter –,  $v$  ist die zu Beginn des betrachteten Streckenabschnitts gefahrene Geschwindigkeit und  $a$  die Beschleunigung. Der Ausdruck im Nenner des Bruches ist die durchschnittliche Geschwindigkeit, die im Streckenabschnitt gefahren wird. Für jeden 10-Meter-Abschnitt wird die Geschwindigkeit durch Multiplikation der Fahrzeit mit der Beschleunigung errechnet, und die Beschleunigung selbst errechnet sich aus der Zugkraft abzüglich aller Fahrwiderstände  $W$  sowie der Masse  $m$  des Zuges:

$$a = \frac{Z - W}{m}$$

Die Vorgabe der Geschwindigkeiten der Züge erfolgte mittels Eingabe der jeweiligen Zugkraft unter Berücksichtigung der Grenzen, die durch Radreibung und Leistung der Lokomotive gesetzt sind. Zugrundegelegt wurde folgendes Z-v-Diagramm:

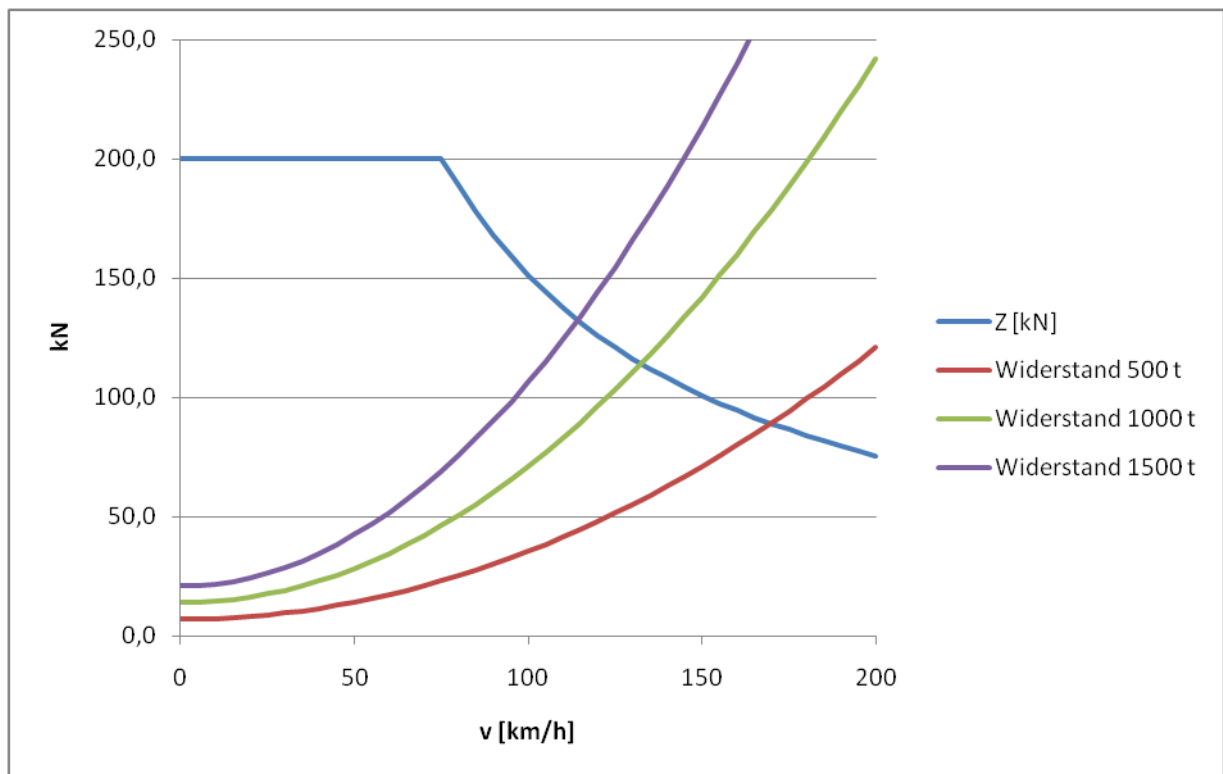


Abbildung 2: Z-v-Diagramm einer Lokomotive mit 4,2 MW Dauerleistung und Fahrwiderständen dreier unterschiedlich schwerer Güterzüge

### 3. Die Schallprognose

Für die Rollgeräusch-Schallemission von Schienenfahrzeugen besteht der folgende Zusammenhang mit der Fahrgeschwindigkeit (5):

$$L_p(v) = L_{p,0} + 30 \cdot \log_{10}\left(\frac{v}{v_0}\right)$$

Hierbei ist  $L_p$  der Vorbeifahr-Schalldruckpegel in Dezibel (dB),  $L_{p,0}$  der Schalldruckpegel bei einer Fahrgeschwindigkeit  $v_0$  (dieser liegt z. B. als Messwert vor) und  $v$  die betrachtete Fahrgeschwindigkeit. Dieser Zusammenhang setzt voraus, dass allein das von Rad und Schiene abgestrahlte Geräusch relevant ist, also keine weiteren dominierenden Schallquellen vorliegen. Diese könnten z. B. das Traktionsgeräusch oder aerodynamische Geräusche sein. Diese Annahmen sind bei allen Güterwagen und üblicherweise bei Fahrgeschwindigkeiten bis ca. 300 km/h erfüllt. Daher ist dieser Ansatz hier sinnvoll. Alle Schallpegel beziehen sich hier auf den heute gängigen Empfangspunkt von 7,5 m horizontal neben der Gleisachse und 1,2 m über Schienenoberkante.

In Abbildung 3 ist dieser Zusammenhang über der Fahrgeschwindigkeit dargestellt.

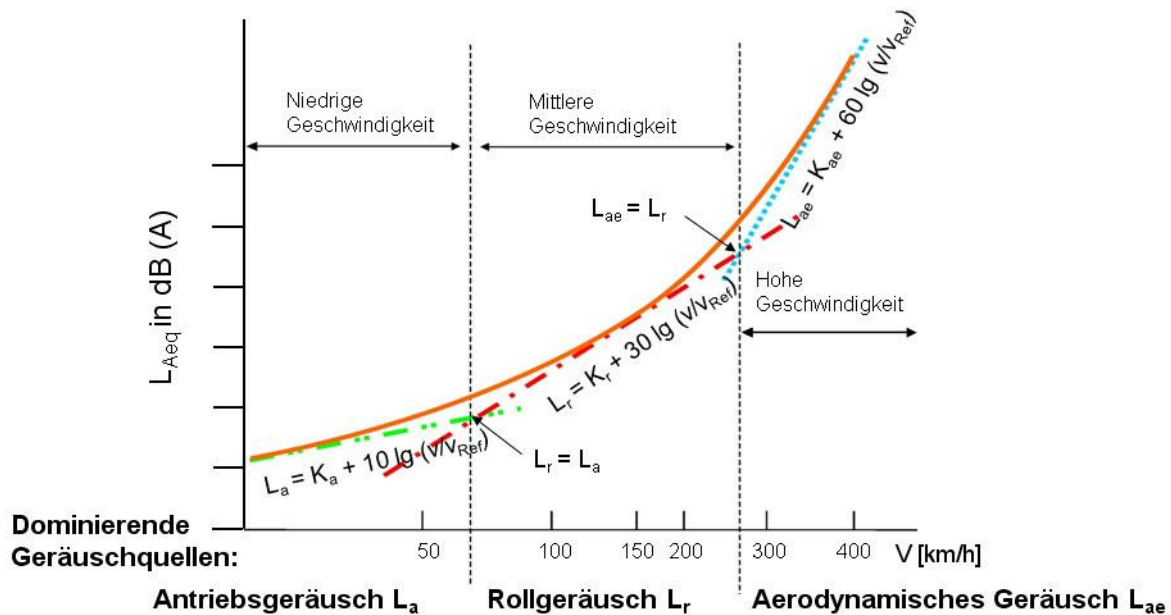


Abbildung 3: Änderung des Schallpegels über die Fahrgeschwindigkeit

Unsere Erfahrungswerte bestätigen, teils mit leichten Abweichungen, diesen Zusammenhang.

Absolute Schalldruckpegel können somit bei Kenntnis eines (meist gemessenen) Schalldruckpegels bei bekannter Fahrgeschwindigkeit prognostiziert werden. In dieser Arbeit sind jedoch keine absoluten Schalldruckpegel, sondern die Differenzen bei unterschiedlichen Fahrspielen relevant. Absolute Schalldruckpegel von Güterzügen hängen vor allem von den folgenden zugseitigen Parametern ab (in der Reihenfolge der Priorität aus eigenen Erfahrungswerten):

- Rad-Laufflächen-Rauheit (wird bei annähernd allen Güterwagen durch das Material der Bremsklötze beeinflusst)
- ggf. Flachstellen an den Laufflächen
- Fahrgeschwindigkeit
- Bauform der Räder
- Lose Bauteile (Klappern, Schlagen)
- Aufbauten (Gedeckte Wagen, offene Wagen etc.)

Für das Rollgeräusch ist allein das Fahrwerk relevant, die Aufbauten beeinflussen allein das (überwiegend irrelevante) aerodynamische Geräusch.

Darüber hinaus sind auch streckenseitige Parameter für die Schallemission relevant. Neben den sekundären Maßnahmen (v. a. Schallschutzwände) existieren heute auch zahlreiche gleisseitigen Maßnahmen. Hier sind vor allem Schienendämpfer (auch Schienenabsorber genannt) zu nennen. Sie reduzieren die schallabstrahlende Schienenlänge. Als Kennwert dieser primären Maßnahmen kann die "Track Decay Rate" die akustische Gleisqualität anzeigen. Dies steht aber in dieser Arbeit nicht im Fokus.

Neben der veränderten Fahrgeschwindigkeit muss auch die zusätzliche Störwirkung durch eine erhöhte Schallemission bei Bremsungen betrachtet werden (z. B. "Bremsenquietschen"). Die Höhe dieser zusätzlichen Emission hängt von mehreren Einflussparametern ab, unter anderem

- Ausgangs-Fahrgeschwindigkeit
- absolute Bremsverzögerung
- Bremsbauart
- Laufflächen-Rauheit (oft beeinflusst durch vorausgegangene Bremsungen).

Diese Parameter variieren stark, so dass hier sinnvollerweise ein Erfahrungswert von + 3 dB zum Ansatz kommt. Dieser wird auch in der aktuellen Bahn-Schallemissions-Berechnungsvorschrift „Schall03“ und der aktuell in Vorbereitung befindlichen Vorschrift „Schall 03-2006“ (6) angesetzt. Er deckt sich ebenfalls mit unseren Erfahrungswerten (9).

Während der Beschleunigung von Zügen ist durch das Triebfahrzeug eine zusätzliche Schallquelle gegeben. Auch hier gibt es Variation, dabei kann allgemein bei neueren Triebfahrzeugen von geringeren Anfahrgerauschen ausgegangen werden. Alle Triebfahrzeuge, die nach 2006 bestellt wurden und europaweit einsetzbar sein sollen, unterliegen den Lärmgrenzwerten der TSI Noise (8). Hier sind für die Fahrzeug-Vorbeifahrt und –Anfahrt die folgenden Grenzwerte für Triebfahrzeuge definiert:

	Elektro-Lokomotive		Diesel-Lokomotive	
Vorbeifahrt ( $v=80\text{km/h}$ , Pegelart $L_{pAeq,TP}$ )	85 dB(A)		$L_{pAeq,TP} = 85\text{dB(A)}$	
Anfahrt aus dem Stand (Pegelart $L_{pA_{fmax}}$ )	Leistung $P < 4,5\text{ MW}$	Leistung $P > 4,5\text{ MW}$	Leistung $P < 2\text{ MW}$	Leistung $P > 2\text{ MW}$
	82 dB(A)	85 dB(A)	86 dB(A)	89 dB(A)

Aus diesen Grenzwerten wird deutlich, dass bei überwiegender Elektrotraktion mit modernen Triebfahrzeugen keine signifikanten Schallemissionszunahmen durch Beschleunigung zu erwarten sind. Dies ändert sich jedoch, falls Altfahrzeuge und/oder Dieselfahrzeuge eingesetzt werden.

Nach den vorliegenden Informationen kann von weder von vollständiger Elektrotraktion noch vom ausschließlichen Einsatz von Neufahrzeugen ausgegangen werden. Daher wird ein Pegelzuschlag von 2 dB für Beschleunigungsphasen angesetzt.

Das folgende Beispiel zeigt die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Schallemissionspegels eines typischen Güterwagens. Dieser verfügt über Drehgestelle der Bauart Y25 und wurde bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h vermessen. Es zeigt sich ein Vorbeifahr-Schalldruckpegel von 92 dB(A) (im Abstand von 7,5 m zum Drehgestell ohne Lärmschutzwand o. ä.) (9). Damit ergeben sich nach der o. g. Formel folgende Schalldruckpegel für andere Geschwindigkeiten:

V [km/h]	$L_v$ [dB(A)]
120	97,3
80	92,0 (7)
60	88,3
40	83,0

Tabelle 1: Übersicht über die Vorbeifahr-Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Für die Bewertung der Schallemission entsprechend den Vorschriften der EU-Umgebungslärmrichtlinie (8) ist eine weitere Kalkulation, auf Basis der geänderten Betriebsweise, notwendig. Dadurch wird die Größe der Änderung der immissionsrelevanten Mittelungspegel  $L_{DEN}$

bestimmt. Dieser Schritt ist jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit. Hier stehen zahlreiche spezialisierte Beratungs- und Ingenieurbüros zur Verfügung.

#### 4. Die Streckenkapazität unter Berücksichtigung von Zugkreuzungen

Es wird davon ausgegangen, dass jeder Zug, der einen eingleisigen Abschnitt erreicht, in diesen einfährt, sobald dieser frei ist. Nimmt man an, dass vier Züge abwechselnd von Horn und von Eidelstedt so ankommen, dass eine Zugkreuzung in Barmbek erfolgt, so benötigt ein Güterzug, der ohne Halt zwischen dem Abzweig Horn und dem Bahnhof Eidelstedt unterwegs ist, für die Strecke knapp 16 Minuten, wohingegen der wartende Gegenzug für dieselbe Strecke bis zu 30 Minuten benötigt. Ein Zug muss auch bis zu 7 Minuten warten, bis der eingleisige Abschnitt frei ist, denn diese Zeit entspricht der Fahrzeit des Gegenzuges vom letztmöglichen Punkt aus, um noch im letzten Kreuzungsbahnhof anhalten zu können. Damit ergibt sich im vorliegenden Szenario eine Kapazität von vier Zügen pro Stunde (mit Option auf einen fünften, der einem der nicht anhaltenden Züge im Blockabstand folgt, wie Abbildung 4 zeigt). Die Züge erreichen hierbei 80 km/h, da dies die höchstzulässige Geschwindigkeit für die meisten Güterwagen ist. Zwei Züge müssen hierbei auf der Güterumgehungsbahn (im Beispiel auf dem Bahnhof Barmbek) abbremesen und wieder anfahren, was lärmintensiv und energieaufwendig ist. Um bei der gegebenen Geschwindigkeit die notwendige Bremsleistung zu erzielen, müssen die an den Güterwagen angebrachten Klotzbremsen zum Einsatz kommen, welche ein lautes Quietschen erzeugen. Da die Züge im Durchschnitt 3:30 Minuten (siehe oben) warten müssen, bis der Gegenzug durchgefahren ist, benötigt ein Zug durchschnittlich 27 Minuten (3,5 Minuten Wartezeit + 23 Minuten durchschnittliche Fahrzeit) von Eidelstedt nach Horn.

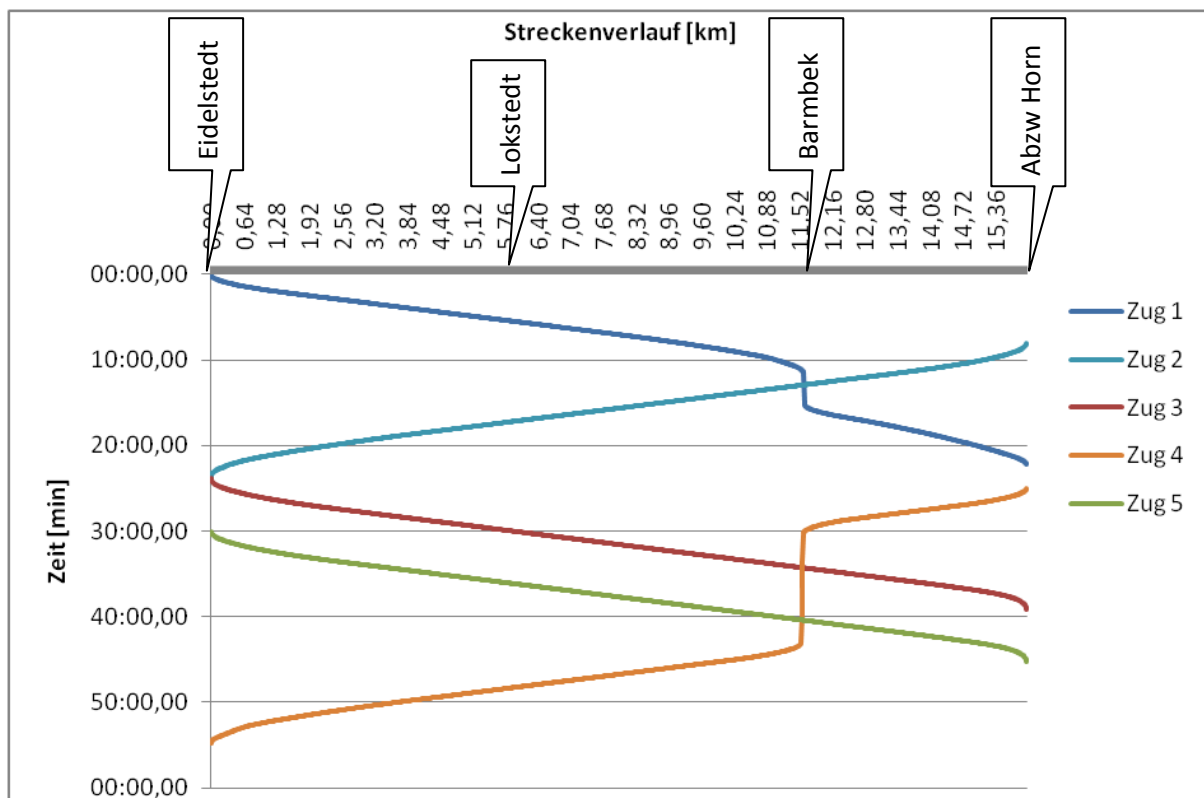


Abbildung 4: Zugfahrten bei zugelassenen Zugkreuzungen, 80 km/h

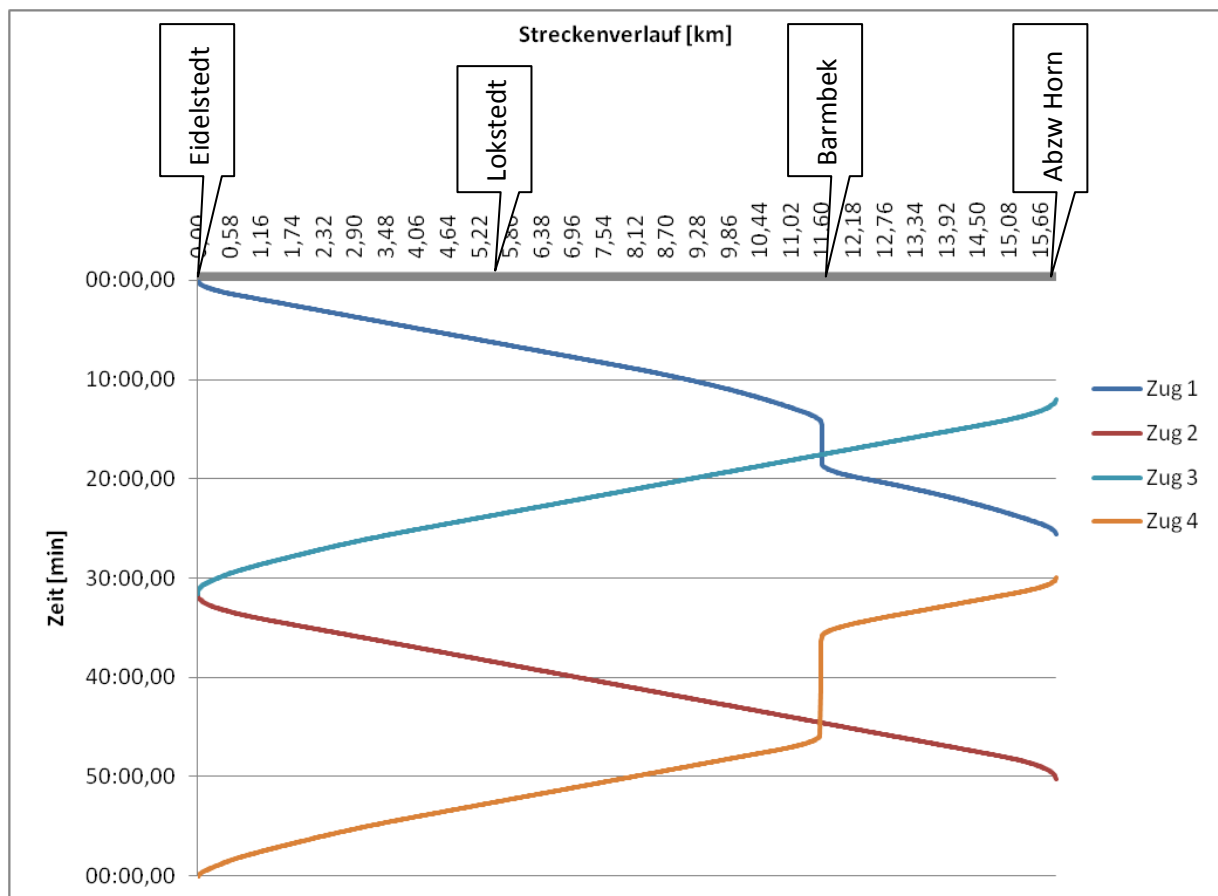


Abbildung 5: Zugfahrten bei zugelassenen Zugkreuzungen, 60 km/h

Eine Verminderung der Geschwindigkeit auf 60 km/h verlängert die Fahrzeit der Züge so, dass grundsätzlich nur noch vier Züge pro Stunde fahren können (siehe Abbildung 5). Ein Zug benötigt hierbei ohne Zwischenhalt durchschnittlich 19, mit Zwischenhalt 30 Minuten. Allerdings muss für einen Zug eine durchschnittliche Wartezeit von 10 Minuten kalkuliert werden, ehe er in einen eingleisigen Abschnitt der Umgebungsbahn einfahren kann. Die durchschnittliche Fahrzeit von Eidelstedt zum Abzweig Horn muss daher mit 35 Minuten angesetzt werden, wenn Zugkreuzungen auftreten.

## 5. Untersuchtes Betriebskonzept: Wechselbetrieb

Es kann auch ein Wechselbetrieb der Güterzüge mit 80 km/h angenommen werden. Hierbei fahren die Züge stets nur dann in den Abschnitt ein, wenn die gesamte Strecke frei ist, so dass alle Brems- und Anfahrvorgänge auf der Strecke entfallen können. Bei einer Streckenfahrzeit von 16 Minuten sind knapp vier Züge pro Stunde möglich, die durchschnittliche Wartezeit auf eine Trasse beträgt 8 Minuten (minimal 0, maximal 16), so dass insgesamt mit einer Fahrzeit von 24 Minuten gerechnet werden muss. Pufferzeiten fallen hierbei nicht an. Dies ist der Wert des Betriebs mit Zugkreuzungen, allerdings ist hier die Streckenkapazität kleiner.

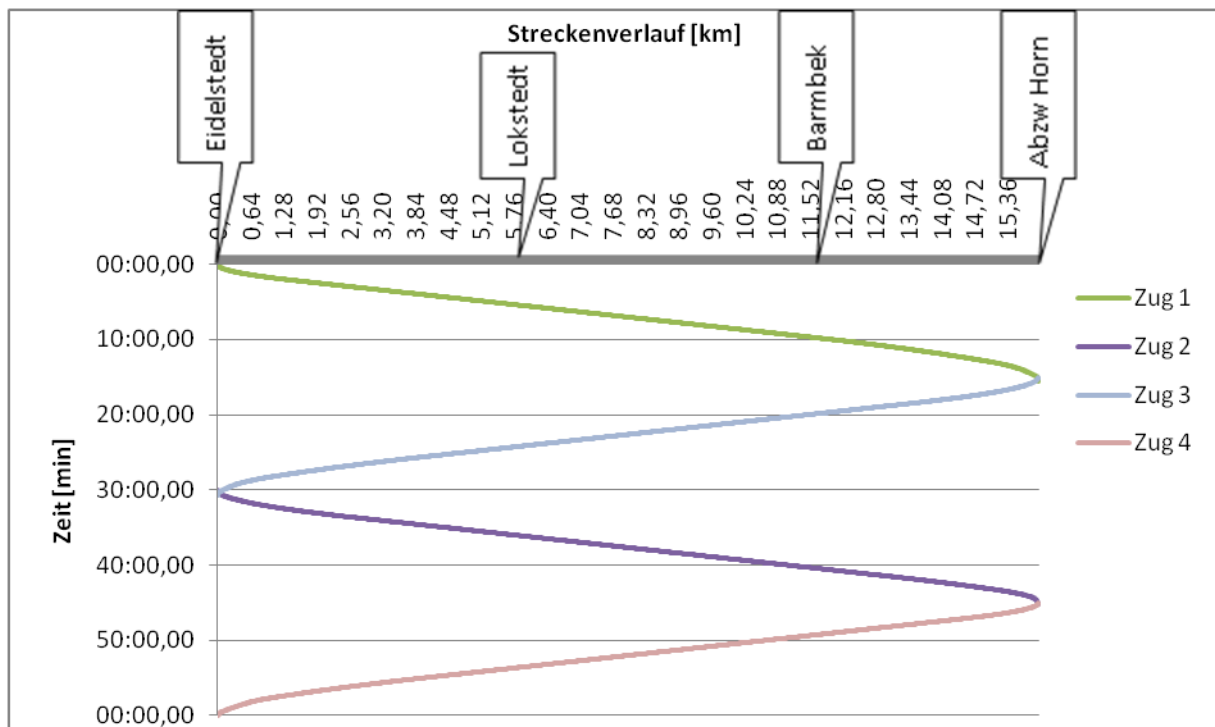


Abbildung 6: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 80 km/h, Wechselbetrieb

## 6. Untersuchtes Betriebskonzept: Temporärer Einrichtungsbetrieb

### Stundenrhythmus

Wie das Beispiel des bisher nur teilweise eingleisig fertiggestellten Lötschberg-Basistunnels in den Kantonen Bern und Wallis in der Schweiz zeigt, lässt sich die Streckenkapazität einer eingleisigen Bahnstrecke am besten ausnutzen, indem mehrere Züge gleicher Fahrtrichtung in einem definierten Zeitfenster in die Strecke einfahren und, nachdem der letzte Zug dieses Zeitfensters den eingleisigen Abschnitt verlassen hat, die Züge der Gegenrichtung ebenfalls hintereinander den eingleisigen Abschnitt benutzen (10). Für die Hamburger Güterumgebungsbahn wurde dieses Betriebskonzept untersucht. Es besitzt folgende Merkmale:

- In den ersten 30 Minuten einer Stunde fahren ausschließlich in Eidelstedt Züge in Richtung Rothenburgsort. In den letzten 30 Minuten einer Stunde fahren ausschließlich am Abzweig Hamburg-Horn Züge in Richtung Eidelstedt.
- Züge, die in Eidelstedt bzw. am Abzweig Horn eintreffen, ohne die Strecke innerhalb dieser Zeitfenster vollständig durchfahren zu können, warten auf den Beginn der nächsten halben Stunde, in der sich die Gelegenheit zur Durchfahrt bietet (was ein betrieblicher Nachteil des Konzepts ist).
- Die Züge verkehren im Blockabstand von 2,5 km; damit fährt ein Zug ab, im Durchschnitt 3,5 Minuten nachdem der vorangehende Zug in den Abschnitt eingefahren ist.
- Die in Richtung Rothenburgsort fahrenden Züge warten auf ihren Abfahrzeitpunkt im Bahnhof Eidelstedt. Dort sind genügende Gleiskapazitäten vorhanden (11).
- Ein in Richtung Eidelstedt fahrender Zug kann am Abzweig Hamburg-Horn warten, die weiteren Züge warten im Blockabstand dahinter. Der Rangierbahnhof Rothenburgsort hat ebenfalls Gleiskapazitäten.

- Der Bremsvorgang erfolgt durch die Nutzbremse der Elektrolokomotive an der Zugspitze (falls vorhanden). Diese ist erheblich leiser als die konventionellen Klotzbremsen der Güterwagen und sorgt ferner für Energieersparnis, indem sie die Bewegungsenergie teilweise wieder in elektrische Energie wandeln und in die Fahrleitung zurückspeisen kann.
- Bei der Annäherung an das Streckenende auf 4 Kilometer wird das Triebfahrzeug ausgeschaltet. Dies schont die Bremsen und ermöglicht eine Ausnutzung der Bewegungsenergie (des „Schwungs“), die dem Zug von der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit (der Beharrungsfahrt) verbleibt.
- Die maximal erreichte Fahrgeschwindigkeit beträgt hierbei 80 km/h.

Aus diesen Annahmen ergibt sich eine Fahrzeit von 16 Minuten für jeden einzelnen Zug. Bei 4 Minuten Abstand zwischen den Zügen ergibt sich folgende Aufteilung jeder halben Stunde:

- Der erste Zug kann zur vollen Stunde abfahren.
- Die nachfolgenden Züge fahren jeweils vier Minuten später.
- Damit trifft der vierte Zug  $3 \cdot 4 + 16 = 28$  Minuten nach der vollen Stunde ein; so lange ist die Strecke belegt, und damit ergibt sich eine Kapazität von 4 Zügen gleicher Fahrtrichtung innerhalb der halben Stunde.
- Zur halben Stunde wird die Fahrtrichtung umgekehrt, d. h. nun fahren alle Züge in Gegenrichtung nach demselben Schema. Die Gesamtkapazität beträgt also 8 Züge pro Stunde.

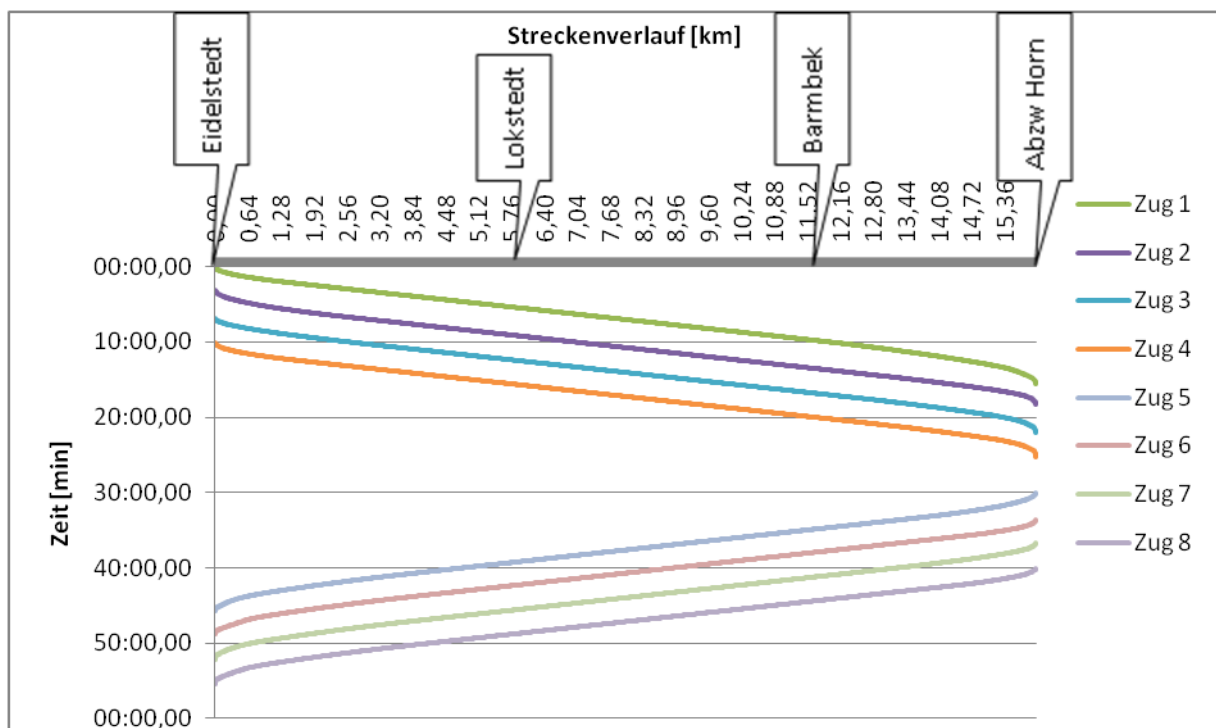


Abbildung 7: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 80 km/h

Wie Abbildung 7 zeigt, ergibt sich insgesamt eine Kapazität von vier Zügen je Stunde und Richtung, einschließlich einer Pufferzeit von 5 Minuten (bei 3:30 Minuten Zugabstand), um Verzögerungen im Betriebsablauf vorzubeugen, wenn etwa ein Zug zu spät in Eidelstedt oder Rothenburgsort eintrifft, um die für ihn vorgesehene Trasse zu nutzen. Auf lärmintensive Anfahr- und vor allem Bremsvorgänge kann zwischen Lokstedt und 1 km vor dem Abzweig Horn (etwa Höhe Eilbeker Weg)

vollständig verzichtet werden; die Streckenkapazität ist sogar um 60% größer als beim obigen Beispiel mit Zugkreuzungen in Barmbek. Wird dieses Betriebskonzept für alle Stunden von 7 bis 22 Uhr konsequent angewandt, ergibt sich eine maximale Streckenkapazität von 120 Zügen pro Tag. Die Züge benötigen zwischen Eidelstedt und Horn durchschnittlich 16 Minuten; allerdings sind dafür die durchschnittlichen Wartezeiten vor der Abfahrt des Zuges etwas länger als beim Betrieb, der Zugkreuzungen zulässt:

Angenommen, die Züge in jeder Richtung treffen im Viertelstundenrhythmus in Eidelstedt bzw. am Abzweig Horn ein.

- Der erste Zug um 15 Minuten nach der vollen Stunde muss 45 Minuten warten, bis er nach diesem Konzept weiterfahren kann.
- Der zweite Zug muss 34 Minuten warten, ehe er hinter dem vorangehenden Zug Gelegenheit zur Streckendurchfahrt erhält.
- Der dritte Zug um 45 Minuten nach der vollen Stunde muss noch 23 Minuten auf seine Abfahrt warten.
- Der vierte Zug schließlich trifft zwar zum Abfahrtszeitpunkt des ersten Zuges ein, muss jedoch noch einmal 12 Minuten warten, ehe er die Durchfahrterlaubnis erhält (er könnte zwar direkt durchfahren, aber dafür müssen die anderen drei Züge noch jeweils vier Minuten länger warten, so dass sich im Durchschnitt dieselbe Wartezeit ergibt).

Im Durchschnitt müssen die Züge zusätzlich zu ihrer Fahrzeit 29 Minuten warten, ehe sie die Fahrt antreten können. Damit beträgt die gesamte Zeit zwischen Eidelstedt und Horn 45 Minuten.

Der geringere Verschleiß an Bremsbelägen und Laufflächen bzw. Brems Scheiben sowie gegebenenfalls der energetische Gewinn durch den Gebrauch der lokeigenen Nutzbremse, falls diese vorhanden ist, sind Vorteile, die dem Betreiber des Güterzuges zugutekommen.

In betriebsschwächeren Zeiten könnte die Geschwindigkeit auf 60 km/h gesenkt werden. Gegenüber einem mit 80 km/h fahrenden Zug benötigt ein mit 60 km/h fahrender Güterzug 19 Minuten für die Strecke, der Zeitnachteil beträgt zwischen 3:30 und 4 Minuten, je nach Zuggewicht und je nachdem, ob eine Bremsung notwendig wird oder nicht. Müssen Reibungsbremsen – das heißt Klotz- oder Scheibenbremsen – zum Einsatz kommen, werden diese wesentlich weniger verschlissen, da die abzubauenen Bewegungsenergie nur mehr rund 56% derjenigen Energie beträgt, die bei einer Bremsung aus 80 km/h heraus abgebaut werden muss. Aus demselben Grunde ergibt sich ein energetischer Vorteil für den Beschleunigungsvorgang.

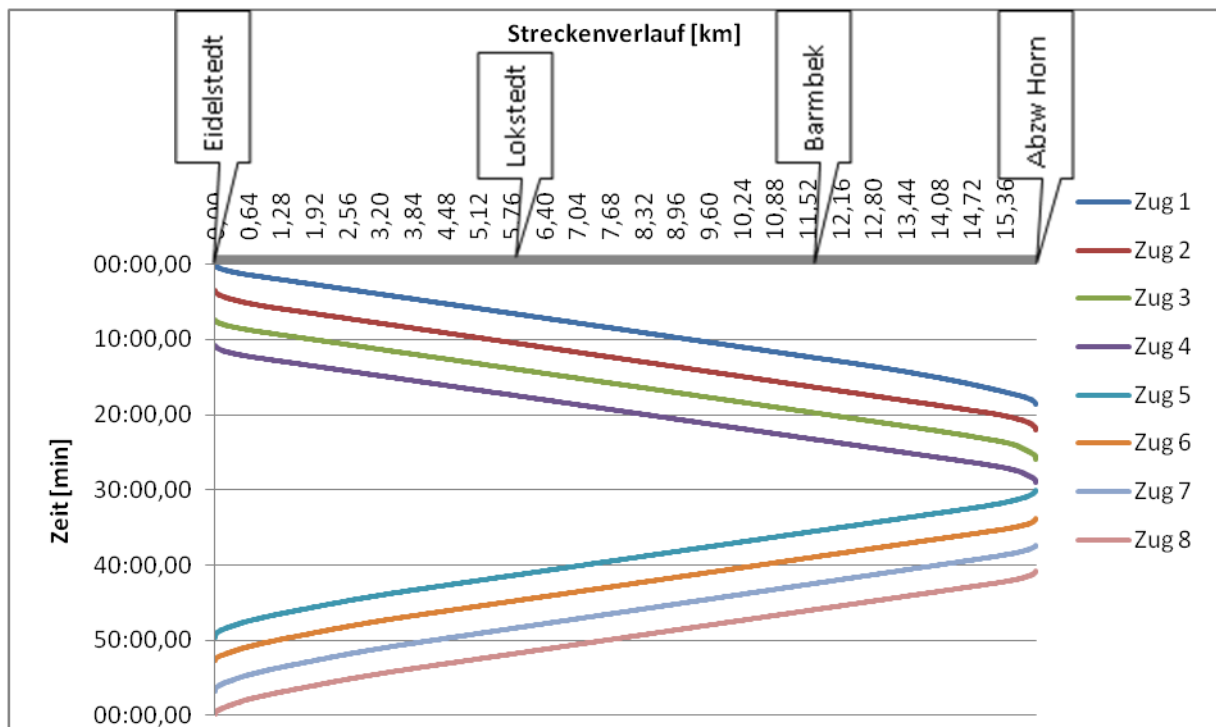


Abbildung 8: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 60 km/h

Zwar beträgt die Streckenkapazität dann immer noch vier Züge je Stunde und Richtung (siehe Abbildung 8), dies setzt allerdings voraus, dass das Konzept auch stringent umgesetzt werden kann. Es muss daher von drei Zügen pro Stunde und Richtung ausgegangen werden, um eine Zeitreserve zu gewährleisten. Dennoch ist auch in diesem Zustand die Streckenkapazität um etwa 17% größer als im oben genannten beispielhaften Betrieb, der Zugkreuzungen zulässt. Hier berechnen sich die Wartezeiten wie folgt: Angenommen, die Züge in jeder Richtung treffen im 20-Minuten-Rhythmus in Eidelstedt bzw. am Abzweig Horn ein.

- Der erste Zug um 20 Minuten nach der vollen Stunde muss 40 Minuten warten, bis er nach diesem Konzept weiterfahren kann.
- Der zweite Zug muss 24 Minuten warten, ehe er hinter dem vorangehenden Zug Gelegenheit zur Streckendurchfahrt erhält.
- Der dritte Zug schließlich trifft zwar zum Abfahrtszeitpunkt des ersten Zuges ein, muss jedoch noch einmal 8 Minuten warten, ehe er die Durchfahrterlaubnis erhält.

Im Durchschnitt müssen die Züge zusätzlich zu ihrer Fahrzeit 24 Minuten warten, ehe sie die Fahrt antreten können. Damit beträgt die gesamte Zeit zwischen Eidelstedt und Horn 43 Minuten.

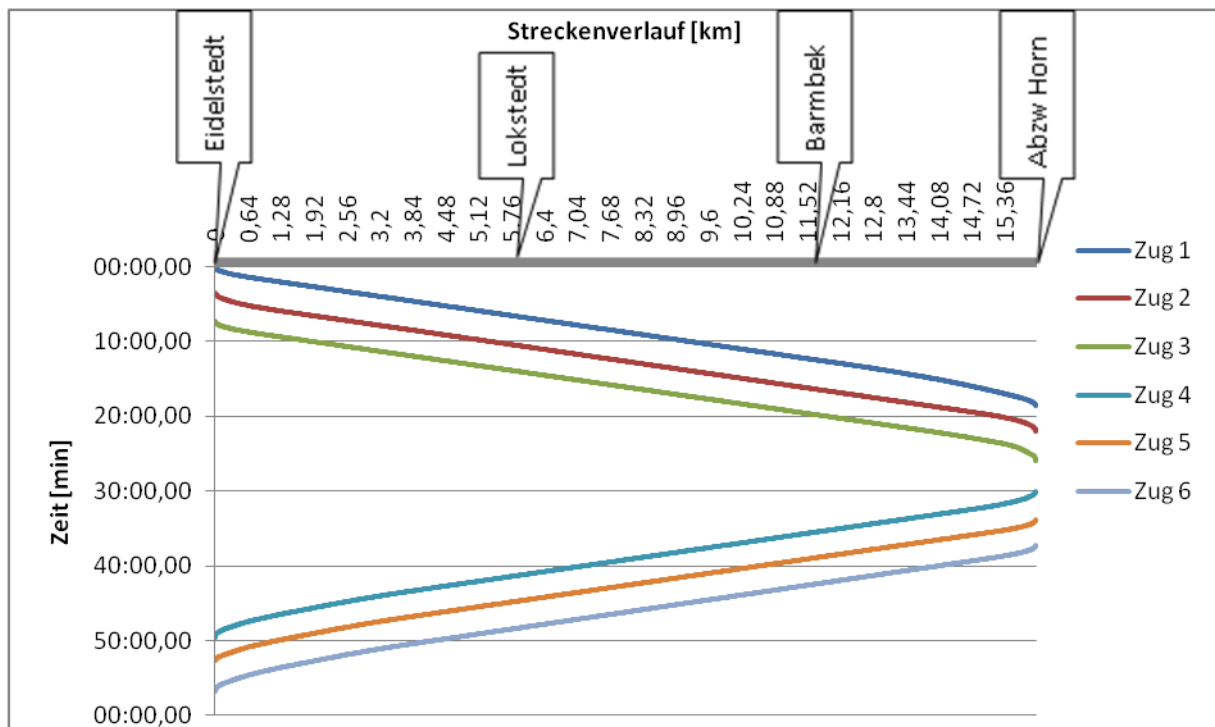


Abbildung 9: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 60 km/h, mit Zeitreserve

Schließlich könnte in betriebsschwachen Zeiten auch die Geschwindigkeit auf 40 km/h gesenkt werden, was immer noch den Verkehr von vier Zügen je Stunde gestattet, jedoch ohne Zeitreserve. Der Vorbeifahr-Schalldruckpegel kann hier sogar 9 dB unterhalb des Vergleichs-Schalldruckpegels für 80 km/h schnelle Güterzüge angenommen werden, was für Anwohner schon eine signifikante Verbesserung darstellen würde. Die Züge sind dabei etwa 25 Minuten zwischen Horn und Eidelstedt unterwegs, etwa 9 Minuten länger als ein mit 80 km/h fahrender Güterzug.

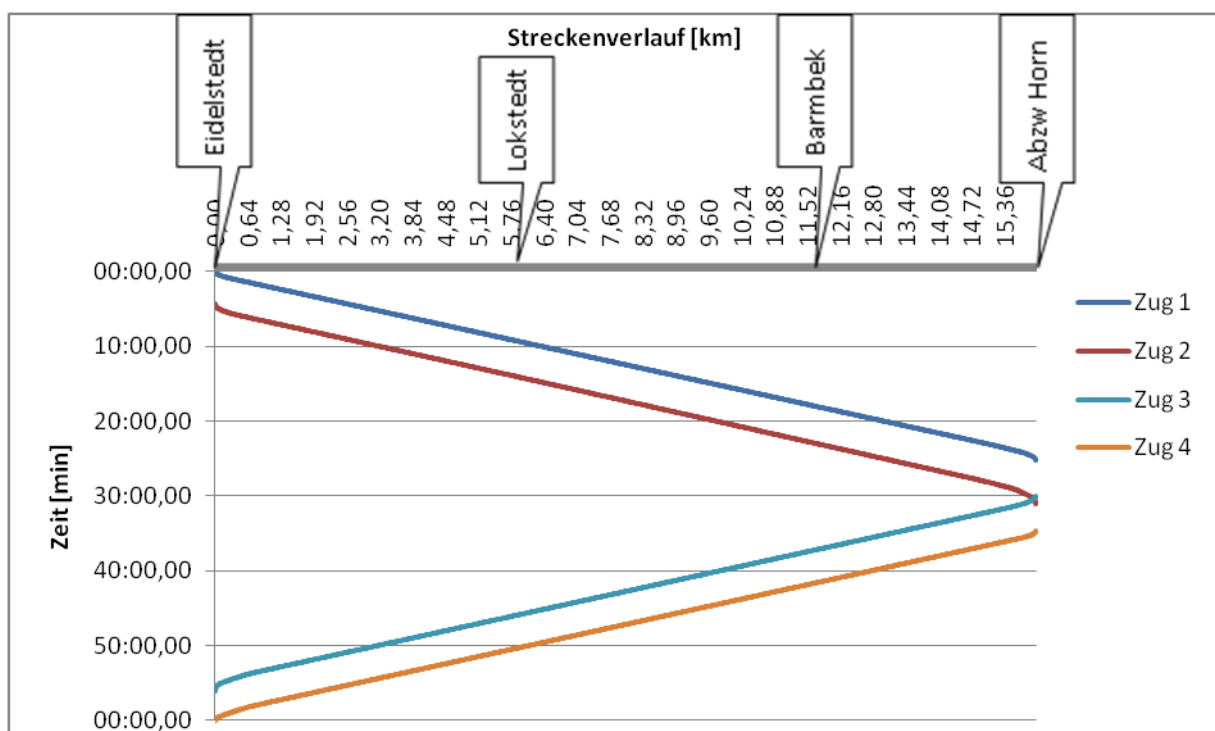


Abbildung 10: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 40 km/h

Auch hier lassen sich durchschnittliche Wartezeiten errechnen: Angenommen, die Züge in jeder Richtung treffen im Halbstundenrhythmus in Eidelstedt bzw. am Abzweig Horn ein.

- Der erste Zug um 30 Minuten nach der vollen Stunde muss 30 Minuten warten, bis er weiterfahren kann.
- Der zweite Zug muss 5 Minuten warten, ehe der hinter dem vorangehenden Zug Gelegenheit zur Streckendurchfahrt erhält.

Im Durchschnitt müssen die Züge zusätzlich zu ihrer Fahrzeit 18 Minuten warten, ehe sie die Fahrt antreten können. Damit beträgt die gesamte Zeit zwischen Eidelstedt und Horn 39 Minuten.

Die von der DB vorgesehene Zahl von 54 Zügen pro Tag lässt sich also zum Beispiel wie folgt aufteilen:

- Zwischen 7 und 22 Uhr fahren die Züge mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h, so dass in diesem Zeitraum insgesamt maximal  $15 \cdot 6 = 90$  Züge unterwegs sein können.
- In betriebsschwachen Stunden fahren die Züge maximal 40 km/h, um die geringere Auslastung zum Vorteil der Lärmemission zu nutzen.
- Züge, deren Fahrt in der Nacht nicht vermieden werden kann, fahren maximal 40 km/h; eventuelle Gegenzüge warten in Eidelstedt oder in Rothenburgsort.
- Kommt es zu Stauungen, so kann die Fahrgeschwindigkeit zwischen 10 und 13 Uhr sowie zwischen 15 und 17 Uhr auf 80 km/h angehoben werden. Dies führt zum bekannten Diagramm in Abbildung 7.

Pro Richtung ergibt sich bei 80 km/h eine Pufferzeit von durchschnittlich 5 Minuten. Hier können tatsächlich vier Züge pro Stunde und Richtung die Strecke benutzen. Der durchschnittliche Lärmpegel (Mittelungspegel) muss hierbei aber höher angenommen werden als bei einer Fahrgeschwindigkeit von 60 km/h.

### Zwei-Stunden-Rhythmus

Bisher wurde ausschließlich ein Fahrplan mit Stundenrhythmus betrachtet. Erweitert man diese Sichtweise auf einen Fahrplan mit Zwei-Stunden-Rhythmus, so ergibt sich bei 80 km/h eine Kapazität von 14 Zügen pro Stunde (in der ersten Stunde 14 Züge Richtung Eidelstedt, in der zweiten Stunde 14 Züge Richtung Rothenburgsort): 16 Minuten Fahrzeit addieren sich zu  $13 \cdot 3,3 = 43$  Minuten Zeitabstand zwischen dem ersten und dem letzten Zug und ergeben zusammen 59 Minuten durchgehende Gleisbelegung, wie Abbildung 11 darstellt.

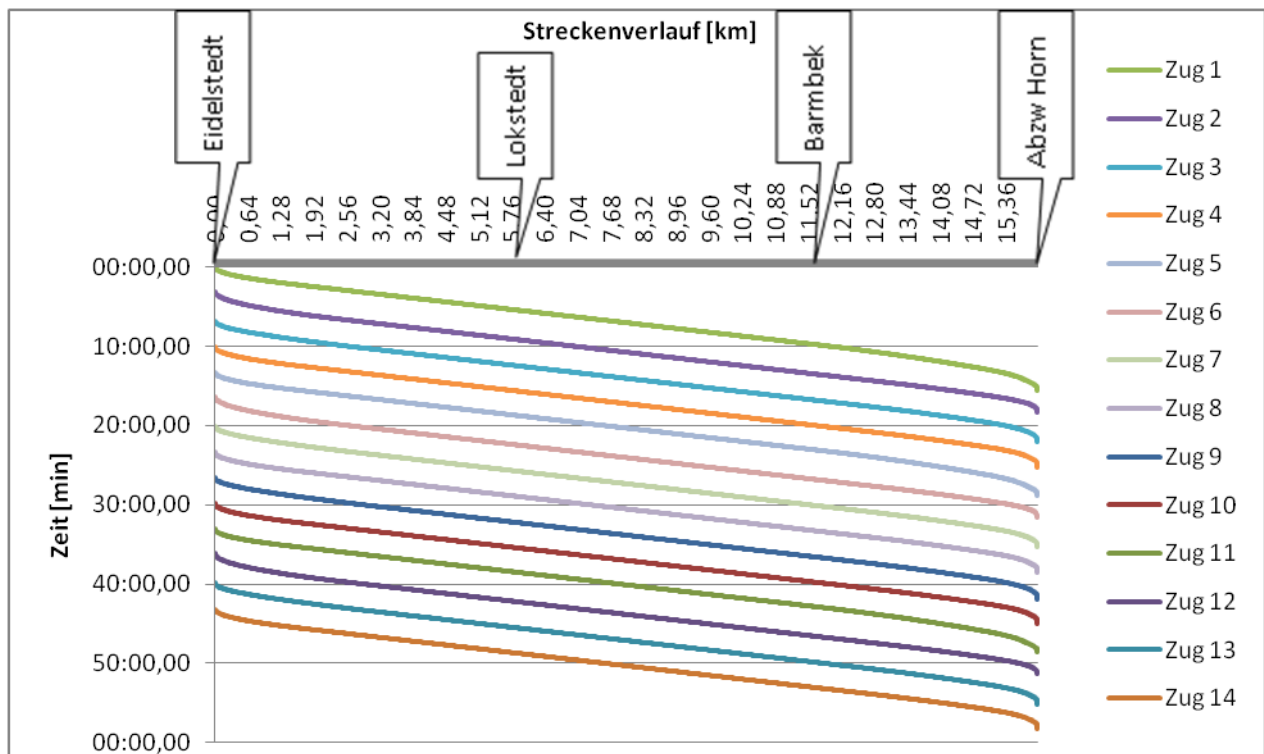


Abbildung 11: Zugfahrten bei ausgeschlossenen Zugkreuzungen, 80 km/h, Richtungsbetrieb

Hierbei ergibt sich allerdings keine Zeitreserve mehr. Bei 60 km/h und Zeitreserve ist daher eher von 10 Zügen pro Stunde auszugehen. Die Wartezeiten verlängern sich bei diesem Szenario um durchschnittlich 30 Minuten, da die Hälfte aller Züge über eine Stunde lang warten muss. Das Szenario ist für das Zugaufkommen auf der Hamburger Güterumgebungsbahn allerdings auch nur im Ausnahmefall von Bedeutung – dann nämlich, wenn mehr als vier Züge derselben Fahrtrichtung innerhalb kurzer Zeit an einem der beiden Streckenenden eintreffen.

## 7. Abbremsen vor Kurven

Die Güterumgebungsbahn Hamburg besitzt mehrere enge Kurven, deren Radius per Luftbild auf 400-500 Meter geschätzt wird. Die Eisenbahn-Betriebsordnung (EBO) schreibt hierfür eine höchstzulässige Geschwindigkeit von 58 bzw. 65 km/h vor, was jedoch von den Fahrzeugen einerseits, andererseits von baulichen Maßnahmen wie z. B. Gleisüberhöhung abhängig ist. Da viele verschiedene Fahrzeuge auf der Strecke verkehren, die Abschätzung der Kurvenradien aus Bildern und Kartenwerken nicht genau genug erfolgen kann und auch sonst keine Daten über Gleisüberhöhungen o. Ä. vorliegen, wurde in der bisherigen Untersuchung auf die Betrachtung der Bremsvorgänge vor Kurven verzichtet. Die vergleichsweise geringe Fahrzeitabweichung lässt den Schluss zu, dass die Ermittlung Streckenkapazität durch das Vorhandensein solcher Bremsmanöver nicht entscheidend beeinträchtigt wird. Dennoch kommen diese durchaus vor (12) und sind entsprechend lärmintensiv.

Um diese Bremsvorgänge in der Fahrspielsimulation zu erfassen, wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die zulässige Höchstgeschwindigkeit in Kurven von 500 Meter Radius oder weniger beträgt 50 km/h.

- Es werden zwei verschiedene Züge betrachtet:
  - o Ein Güterzug mit 1000 Tonnen Gewicht und einer Elektrolokomotive mit 4,2 MW Nennleistung, Länge 400 m.
  - o Ein Güterzug mit 1500 Tonnen Gewicht und einer Elektrolokomotive mit 4,2 MW Nennleistung, Länge 700 m.
- Es werden drei verschiedene Fahrspiele betrachtet:
  - o Eine Fahrt mit bis zu 80 km/h und starkem Einsatz der Zugbremsen (bis zu 375 kN Bremskraft für 1500 t schwere Züge)
  - o Eine Fahrt mit bis zu 60 km/h und Ausrollen bei Erreichen der Höchstgeschwindigkeit bzw. rechtzeitig vor der nächsten engen Kurve, so dass die Bremsungen erheblich kürzer ausfallen
  - o Eine Fahrt mit konstant 50 km/h.
  - o Fahrten mit konstant 40 km/h dauern etwa 25 Minuten, wie oben auf S. 16 dargestellt.

Hierbei wurden folgende Fahrzeiten ermittelt:

	1000 t	1500 t
80 km/h	16:37 Minuten	18:02 Minuten
60 km/h	19:47 Minuten	20:29 Minuten
50 km/h	21:35 Minuten	22:02 Minuten

**Tabelle 2: Fahrzeiten in Abhängigkeit von der maximal erreichten Geschwindigkeit bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven.**

Der Zeitnachteil für eine Fahrt mit 50 km/h beträgt also ca. 5 Minuten bei 1000 t schweren Güterzügen und ca. 4 Minuten bei 1500 t schweren Güterzügen. Dabei fallen pro Fahrt drei Bremsmanöver auf der Strecke weg. Zu beachten ist jedoch, dass sich die Streckenkapazität aufgrund der längeren Streckenbelegung um bis zu 18% verringert. Zeit-Weg-Diagramme und Geschwindigkeits-Weg-Diagramme sind in Abbildung 12, Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt.

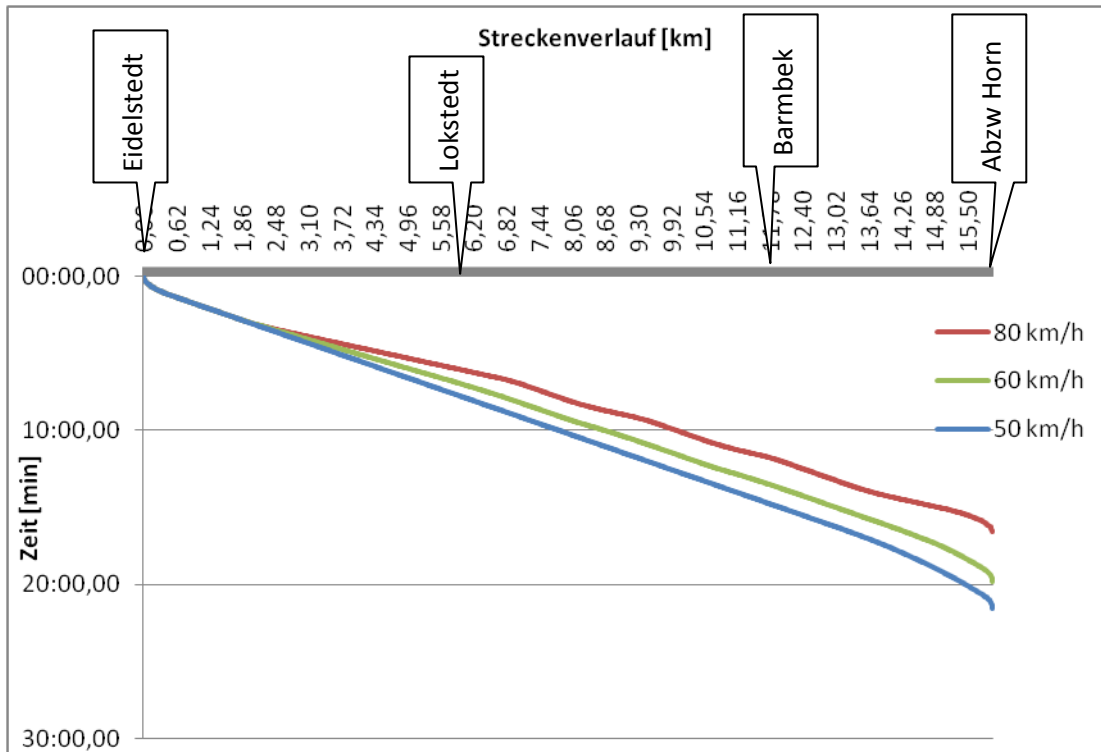


Abbildung 12: Fahrspiele eines 1000 t schweren Güterzugs bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven.

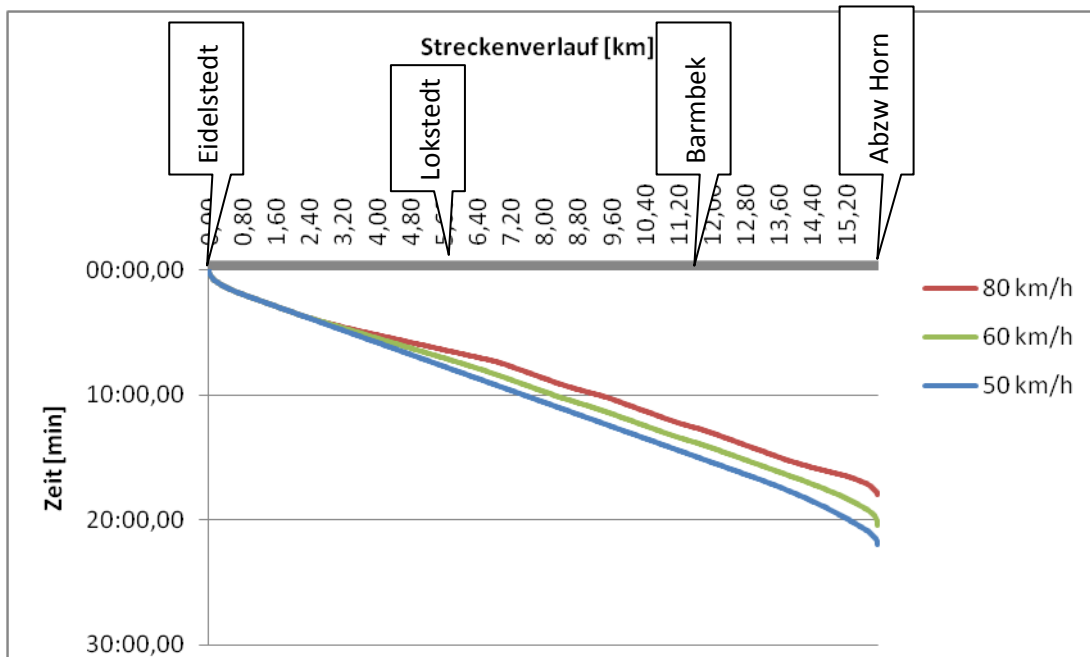


Abbildung 13: Fahrspiele eines 1500 t schweren Güterzugs bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven.

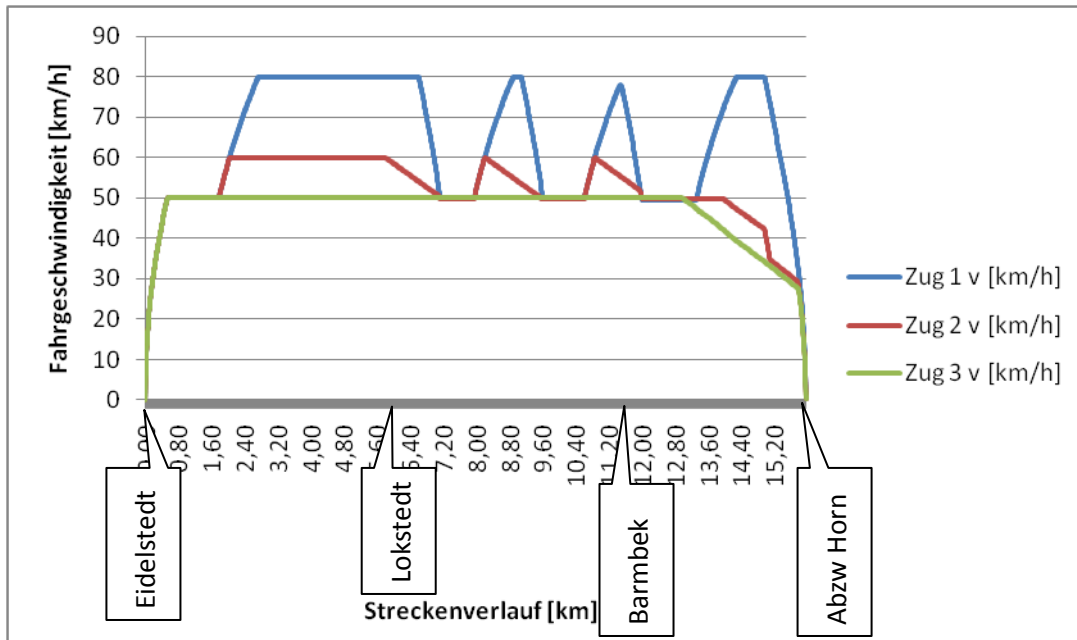


Abbildung 14: Geschwindigkeiten eines 1000 t schweren Güterzuges bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven.

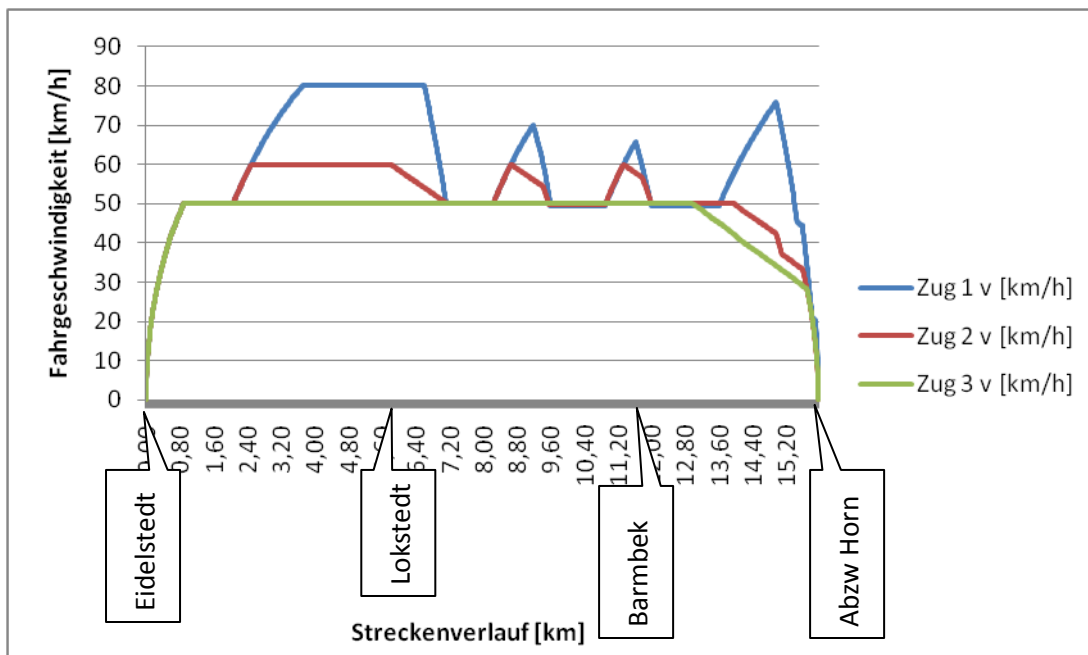


Abbildung 15: Geschwindigkeiten eines 1000 t schweren Güterzuges bei beschränkter Geschwindigkeit in Kurven.

Zu beachten ist, dass diese Erkenntnisse aus der obigen Annahme von 50 km/h höchstzulässiger Geschwindigkeit in den Kurven hervorgehen. Liegt z. B. die höchstzulässige Geschwindigkeit tatsächlich bei 60 km/h, so verkürzen sich die Fahrzeiten, bei denen 60 km/h oder mehr erreicht wird, aber schon bei 60 km/h kann auf Bremsmanöver vor den Kurven verzichtet werden, so dass zur Bremslärmminderung nicht unbedingt auf 50 km/h abgebremst werden muss.

Nimmt man an, dass bei einem Güterzug durchschnittlich 1,5 Bremsmanöver vor Kurven durch eine Fahrspieloptimierung vermieden werden können, so könnten pro Tag 81 Bremsungen vermieden werden, die die Schallemission derzeit um 3 dB gegenüber der normalen Vorbeifahrt erhöhen (siehe auch folgendes Kapitel).

## 8. Veränderung der Schallemission

Durch die geänderten Fahrspiele ergeben sich neue Betriebsszenarien der Güterzüge, die eine geänderte Schallemission bewirken. Um diese Änderung zu quantifizieren, wurde das gleiche Zeitfenster wie in den vorherigen Kapiteln betrachtet. In diesem ist die Häufigkeit der Zug-Beschleunigung, -Bremsung und -Beharrungsfahrt (Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit), spezifisch für einzelne Streckenabschnitte, gekennzeichnet. Für diese Streckenabschnitte ist die Schalldruckpegeldifferenz mit der Fahrspiel-spezifischen Häufigkeit angegeben. Durch weitere Berechnungen entsprechend den Beurteilungsvorschriften kann die Auswirkung auf die relevanten Mittelungspegel bestimmt werden.

In der folgenden Tabelle 3 sind die Größen der Auswirkungen für 54 Züge pro Tag dargestellt. Hierfür wurde angenommen, dass durch günstige Fahrplanlagen nur jeder zweite Güterzug in Eidelstedt oder Horn tatsächlich anhalten muss; ferner, dass derzeit einer von fünf Zügen in Lokstedt bzw. Barmbek halten muss.

Streckenabschnitt	Betriebsweise heute			Fahrspiel optimiert		
	Anfahren	Konstantfahrt	Bremsen	Anfahren	Konstantfahrt	Bremsen
Horn–Barmbek (4,36 km)	20× +1 dB(A)	54×	20× +3 dB(A)	14× +1 dB(A)	54×	14× +3 dB(A)
Barmbek–Lokstedt (5,9 km)	6× +1 dB(A)	54×	6× +3 dB(A)	0×	54×	0×
Lokstedt– Eidelstedt (5,1 km)	14× +1 dB(A)	54×	14× +3 dB(A)	14× +1 dB(A)	54×	14× +3 dB(A)

Tabelle 3: Auswirkungen der Fahrspieloptimierung auf die Schallemission

Es zeigt sich, dass die 1-dB- und die 3-dB-Emission je zwei Mal in der Stunde vermieden werden können. Dies betrifft besonders die Streckenabschnitte, die in besonders dicht besiedelten Gegenden liegen. Über den Tag verteilt ergibt sich damit folgende Verbesserung hinsichtlich Anfahr- und Bremsvorgänge (bei 54 Zügen pro Tag (3)):

	Konventioneller Betrieb	Fahrspiel optimiert
Anzahl Bremsvorgänge	40	27
Anzahl Anfahrvorgänge	40	27

Tabelle 4: Anzahl der Anfahr- und Bremsvorgänge am Tag

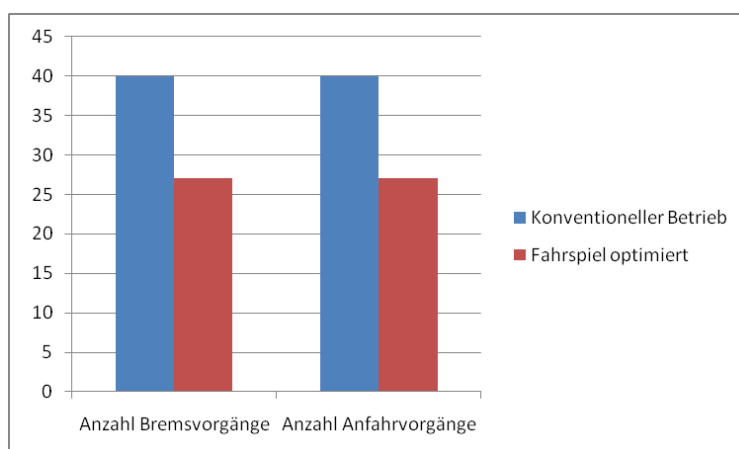


Abbildung 16: Verringerung der täglichen Anfahr- und Bremsvorgänge

## 9. Zusammenfassung

Es wurden drei verschiedene Betriebskonzepte auf ihre Auswirkungen auf die Streckenkapazität und die Lärmimmission untersucht. Eines gestattet Zugkreuzungen in Lokstedt oder Barmbek. Das zweite schließt Zugkreuzungen aus und sieht abwechselnde Fahrtrichtungen der Züge vor. Das dritte strebt eine Homogenisierung der Fahrgeschwindigkeit durch die Einfahrt mehrerer Züge gleicher Fahrtrichtung hintereinander an. Insgesamt lässt sich folgende Abhängigkeit der Gesamtfahrzeit von der Fahrgeschwindigkeit und der Anzahl der Zugfahrten pro Stunde aufstellen:

Betriebsmodus	Zuganzahl pro Stunde		
	4	6	8
Kreuzungen, 80 km/h	27 Minuten	Nicht möglich	Nicht möglich
Kreuzungen, 60 km/h	35 Minuten	Nicht möglich	Nicht möglich
Wechselbetrieb, 80 km/h	24 Minuten	Nicht möglich	Nicht möglich
Einrichtungsbetrieb, 80 km/h	32 Minuten	40 Minuten	45 Minuten
Einrichtungsbetrieb, 60 km/h	36 Minuten	43 Minuten	Nicht möglich
Einrichtungsbetrieb, 40 km/h	39 Minuten	Nicht möglich	Nicht möglich

Tabelle 5: Übersicht über die Fahrzeiten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Dabei konnte gezeigt werden, dass durch das letztgenannte Konzept die Streckenkapazität sogar deutlich erhöht werden kann gegenüber der erstgenannten Betriebsweise. Allerdings erhöht sich im Durchschnitt hierbei die Gesamtfahrzeit inklusive Standzeiten in Eidelstedt oder am Abzweig Horn. Alternativ kann auch durch Wechselbetrieb bei Beibehaltung der Streckenkapazität die Fahrgeschwindigkeit vereinheitlicht werden. Durch die Homogenisierung der Fahrgeschwindigkeiten können Bremsgeräusche auf der Umgebungsbahn selbst weitgehend vermieden werden, so dass eine Minderung der Lärmbelastung um 3 dB angenommen werden kann. Eine Verringerung der Betriebsgeschwindigkeit ermöglicht eine weitere Lärminderung, geht jedoch mit wiederum verringerter Streckenkapazität einher. Als verkehrstechnisch am günstigsten erwies sich ein Stundenrhythmus der Güterzüge, d. h. in jeder Stunde ist genau ein Zeitfenster definiert, innerhalb dessen Güterzüge in eine bestimmte Fahrtrichtung abfahren können.

Berlin, den 01.03.2011

Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht

Dipl.-Ing. Gerrit Lehmann

Dipl.-Ing. Christoph Gramowski

## Literaturverzeichnis

1. **N. N.** Deutschland/Dänemark: Start der 835-m-Güterzüge verzögert sich. *Eurailpress.de*. [Online] 10. Dezember 2010. [Zitat vom: 9. Februar 2011.] <http://www.eurailpress.de/search/article/view//deutschlanddaenemark-start-der-835-m-gueterzuege-verzoegert-sich.html>.
2. *Güterumgehungsbahn: Hamburger demonstrieren für Lärmschutz*. **N. N.** 29. September, Hamburg : Axel Springer Verlag, 24. September 2007, Hamburger Abendblatt.
3. **Schlichting, Ingrid**. *Persönliche Mitteilung*. 20. Januar 2011.
4. **Rockenfelt**. Fahrzeiten- und Zugfahrtrrechnungen bei der DB. *Elsners Taschenbuch der Eisenbahntechnik*. Darmstadt : Tetzlaff Verlag GmbH, 1983.
5. **R. G. Wettschureck, G. Hauck, R. J. Diehl, L. Willenbrink**. Geräusche und Erschütterungen aus dem Schienenverkehr. [Buchverf.] M. Möser (Hrsg.) G. Müller. *Taschenbuch der Technischen Akustik*. Berlin : Springer Verlag, 2004.
6. Schall 03-2006. *Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen*. 2006.
7. **Schäpermeier, Christoph**. *Vergleich der Geräuschabstrahlung des konventionellen Y25 Drehgestells mit dem neuen radialeinstellendem LEILA Drehgestell mit computergestützter Validierung*. *Diplomarbeit*. Berlin : Fachgebiet Schienenfahrzeuge, TU Berlin, 2006.
8. **N. N.** Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem „Fahrzeuge – Lärm“ des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems; Aktenzeichen K(2005) 5666. 2005.
9. **Hecht, Markus und Keudel, Johannes**. In Messfahrten nachgewiesene Vorteile des LEILA-Drehgestells. *ZEVrail Glasers Annalen*. 2007, Bd. Tagungsband SFT Graz 2007.
10. **Flühmann, Walter, Mosimann, Adrian und Bayard, Olivier**. Der künftige Betrieb der Lötschberg-Simplon-Achse. *Eisenbahn-Revue International*. 2007, 2, S. 72-78.
11. **Deutsche Bahn AG**. *STREDAX - Elektronisches Streckendatenverzeichnis*. [Internet] November 2010.
12. **Schlichting, Ingrid**. *Persönliche Mitteilung*. 17. Februar 2011.
13. **A.I.T. GmbH, Rimpar**. Schalltechnische Berechnung des Pegels an der Schule Krausestraße. *hamburg.de*. [Online] Stadt Hamburg, Behörde für Stadtplanung und Umwelt, 2006/2007. [Zitat vom: 27. Januar 2011.] <http://www.hamburg.de/contentblob/144042/data/schallberechnung-krausestrasse.pdf>.