



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Verkehr BAV  
Office fédéral des transports OFT  
Ufficio federale dei trasporti UFT  
Uffizi federal da traffic UFT

# Abstände auf Perrons

## Gefahrenbereich – Sicherer Bereich



## Forschungsbericht

2011

---

---

## Impressum

### Herausgeber

Bundesamt für Verkehr (BAV)  
CH-3003 Bern

### Projektkoordination

Bundesamt für Verkehr (BAV)  
Abteilung Sicherheit  
Nicolas Keusen

### Texte

Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern  
Schweizerische Bundesbahnen (SBB), Bern

### Abbildungen

Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern  
Daamen, W., NL-Delft (Aufnahmen der Abb. 8) [8]  
VSS, Zürich (Abb. 9) [5]

### Zitierweise

Bundesamt für Verkehr BAV, 2011,  
Forschungsbericht - Abstände auf Perrons,  
Bern

### Bezugsquelle

Kostenlos zu beziehen über das Internet:  
[www.bav.admin.ch](http://www.bav.admin.ch)

Französische Ausgabe:  
Distances sur les quais – Rapport de recherche

### Titelbild

Warntafel für Bahnreisende

---

**INHALT**

<b>ABKÜRZUNGEN UND BEZEICHNUNGEN</b>	<b>5</b>
<b>1. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>6</b>
1.1 Gefahrenbereich	6
1.2 Sicherer Bereich	6
<b>2. EINLEITUNG</b>	<b>7</b>
2.1 Entstehung des Berichts	7
2.2 Aufbau des Berichts	7
<b>3. BEGRIFFE</b>	<b>8</b>
<b>GEFAHRENBEREICH</b>	<b>9</b>
<b>4. EINLEITUNG</b>	<b>10</b>
4.1 Gegenstand	10
4.2 Zweck	10
4.3 Untersuchungs- und Anwendungsbereich	10
<b>5. GRUNDLAGEN</b>	<b>11</b>
<b>6. VORGEHEN UND METHODIK</b>	<b>12</b>
<b>7. BESTIMMUNG DER ZULÄSSIGEN UND UNZULÄSSIGEN RISIKEN</b>	<b>13</b>
<b>8. BESTIMMUNG DER STUDIENPARAMETER</b>	<b>14</b>
<b>9. STUDIUM UND DISKUSSION DER PARAMETER UND IHRER AUSWIRKUNGEN</b>	<b>15</b>
9.1 Lichtraumprofil	15
9.2 Berührung	15
9.3 Aerodynamik	17
9.3.1 Theoretische und experimentelle Grundlagen	18
9.3.2 Gefahrenschwelle	19
9.3.3 Auswertung der Ergebnisse	20
9.3.4 Vergleich der Studien	22
9.4 Überraschungseffekt	22
9.4.1 Ursache	22
9.4.2 Reaktion	22
9.4.3 Schlussfolgerung	22
9.5 Lärmpegel	23
9.5.1 Günstige Auswirkung	23
9.5.2 Ungünstige Auswirkung	23
9.6 Staub	23
9.7 Verhalten der Personen auf dem Perron	24
9.8 Örtliche Gegebenheiten	24

---

<b>10. FAZIT</b>	<b>25</b>
<b>11. SCHLUSSFOLGERUNG</b>	<b>28</b>
11.1 Vorschlag für Normalspurbahnen	28
11.2 Vorschlag für Schmalspurbahnen	29
11.3 Übergangsbestimmungen	29
<b>SICHERER BEREICH</b>	<b>31</b>
<b>12. EINLEITUNG</b>	<b>32</b>
12.1 Gegenstand	32
12.2 Zweck	32
12.3 Anwendungsbereich	32
<b>13. GRUNDLAGEN</b>	<b>33</b>
<b>14. NOTWENDIGKEIT EINER BEMESSUNG DER PERRONANLAGEN</b>	<b>34</b>
<b>15. GRUNDLEGENDES MERKMAL DES SYSTEMS</b>	<b>35</b>
<b>16. MINIMALE ABMESSUNGEN</b>	<b>36</b>
16.1 Allgemeines	36
16.2 Platzbedarf von Reisenden	36
16.3 Überholmanöver von Personen auf dem Perron	37
16.4 Kreuzen von Personen auf dem Perron	37
16.5 Kurze schmale Bereiche (Breite < 1,50 m)	38
16.6 Anwendung der Mindestbreiten	40
<b>17. GRUNDSÄTZE FÜR DIE BEMESSUNG VON PERRONS</b>	<b>41</b>
17.1 Allgemeines	41
17.2 Lehrsatz und Grundsatz der Bemessung	41
17.3 Herleitung des Lehrsatzes	41
17.4 Folgerung des Bemessungsgrundsatzes	42
17.5 Bemessungswerte	43
17.6 Risikobeurteilung	46
<b>18. SCHLUSSFOLGERUNG</b>	<b>48</b>
18.1 Vorschlag für Normalspurbahnen	48
18.2 Vorschlag für Schmalspurbahnen	48
18.3 Übergangsbestimmungen	49
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>50</b>
<b>ANHANG 1 VERGLEICH DER VERSCHIEDENEN VORSCHRIFTEN UND DER STUDIENERGEBNISSE</b>	<b>51</b>
<b>ANHANG 2 DARSTELLUNG DER VERSCHIEDENEN ZÜGE NACH BAUART – ZUGINDUZIERTE LUFTSTRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT</b>	<b>53</b>

## ABKÜRZUNGEN

### A

<b>AB</b>	Ausführungsbestimmung
<b>AB-EBV</b>	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (SR 742.141.11)
<b>Acela</b>	Hochgeschwindigkeitszug auf der Strecke Washington – Boston im Einsatz, engl. aus «acceleration» und «excellence»

### B

<b>BAV</b>	Bundesamt für Verkehr
------------	-----------------------

### D

<b>DB</b>	Deutsche Bahn AG
-----------	------------------

### E

<b>EBV</b>	Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, SR 742.141.1)
<b>EPFL</b>	Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

### I

<b>IC</b>	Intercity, gezogener oder geschobener Zug aus Einheitswagen EW IV, bespannt mit einer Lokomotive Re 460.
<b>ICE</b>	Intercity-Express, Hochgeschwindigkeits-Triebzüge der DB
<b>ICN</b>	Intercity-Neigezug, Triebzug mit Neigetechnik Bauart 500 der SBB

## BEZEICHNUNGEN

$L_{eq}$	Energieäquivalenter Dauerschallpegel [dB(A)]
$P$	Druck [Pa] = [N/m <sup>2</sup> ]
$U$	Strömungsgeschwindigkeit [km/h] oder [m/s]
$V$	Zuggeschwindigkeit [km/h] oder [m/s]

### L

<b>LOS</b>	Level of service
<b>LRP</b>	Lichttraumprofil

### O

<b>ORE</b>	Office de recherche et d'essais de l'Union internationale des chemins de fer (später: ERRI European Rail Research Institute)
------------	--

### S

<b>SBB</b>	Schweizerische Bundesbahnen
<b>SNCF</b>	Société nationale des chemins de fer français
<b>SR</b>	Systematische Sammlung der schweizerischen Rechtsgebung

### T

<b>TGV</b>	Train à grande vitesse – Hochgeschwindigkeitszug der SNCF
<b>TGV POS</b>	TGV Paris-Ostfrankreich-Süddeutschland (Bauart TGV 384000)
<b>TRB</b>	Transportation Research Board, Washington D.C.

### U

<b>UIC</b>	Union internationale des chemins de fer – Internationaler Eisenbahnverband
------------	--

# 1. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der klaren Unterteilung der Perrons in einen Gefahrenbereich und in einen sicheren Bereich sollen die Reisenden vor den Gefährdungen, die von vorbeifahrenden Zügen ausgehen, geschützt werden.

## 1.1 Gefahrenbereich

Die ersten gesetzlichen Vorschriften zum Gefahrenbereich auf Perrons traten 1984 in Kraft. Seither nahm die Durchfahrgeschwindigkeit der Züge laufend zu. Damit erscheinen die empirisch festgelegten Abmessungen des Gefahrenbereichs, die unmittelbar von der Zugsgeschwindigkeit abhängen, bei diesen hohen Geschwindigkeiten nicht mehr angemessen.

Das Bundesamt für Verkehr hat deshalb 2003 ein Forschungsprojekt beschlossen.

Untersuchungen zeigen, dass bei geringen Geschwindigkeiten die Grösse der Schienenfahrzeuge für die Auswirkungen auf Menschen, die sich auf Perrons aufhalten, massgebend ist. Ab einer Durchfahrgeschwindigkeit von 80 Stundenkilometern sind jedoch die Auswirkungen der Luftströmung für das Ausmass der Gefährdung entscheidend.

Aerodynamische Forschungen belegen, dass sich die Strömungseffekte je nach Bauart des Zuges – aerodynamisch gut profilierte Hochgeschwindigkeitskompositionen (beispielsweise ICN), Personen- oder Güterzüge – deutlich voneinander unterscheiden.

Die Autoren schlagen deshalb vor, die gesetzlichen Bestimmungen so zu ändern, dass sie die Art des Zuges, der an den Perrons vorbeifährt, berücksichtigen. Dabei werden die bestehenden Anforderungen für aerodynamisch gut profilierte Züge und Personenzüge reduziert, diejenigen für Güterzüge jedoch erhöht.

## 1.2 Sicherer Bereich

Die Bewegungsfläche auf den Perrons, die den Reisenden für das Zurücklegen der Strecke zwischen dem Perronzugang und dem Zug, zwischen dem Zug und den Ausgängen oder für das Warten auf den Zug zur Verfügung stehen, muss gegensätzliche Anforderungen erfüllen: einerseits die Sicherheit der Reisenden bei Vorbeifahrt der Züge und andererseits wirtschaftliche Kriterien (hohe Kosten für Anpassungen oder für Neubau von Perrons).

Da der sichere Bereich für die Reisenden auf dem Perron nicht nur an den Gefahrenbereich angrenzt sondern mit diesem auch in Interaktion steht, ist bei Anpassungen der gesetzlichen Vorschriften zum Gefahrenbereich logischerweise auch der sichere Bereich mit betroffen.

Die Untersuchung des Verhaltens der Reisenden, die sich auf den Perrons zu Fuss fortbewegen, und der Gefährdungen, denen sie ausgesetzt sind, ermöglicht die Ableitung von Sicherheitsanforderungen, welche zur Aufnahme in die gesetzlichen Bestimmungen vorgeschlagen werden.

Die angestellten Überlegungen erfordern die Berücksichtigung der Dimensionierungswerte für Perrons. Sie werden dem Leser und der Leserin ebenfalls vorgestellt.

## 2. EINLEITUNG

### 2.1 Entstehung des Berichts

Das vorrangige Ziel dieses Berichts ist es, die Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV) zu den Abständen auf Perrons zu dokumentieren und den sich mit dieser Materie befassenden Personen die Erkenntnisse zugänglich zu machen.

Der erste Teil des Berichts («Gefahrenbereich») entstand im Juli 2005 und bildete die Grundlage für die Ausgabe der AB-EBV vom 2. Juli 2006.

Wenn dieser Bericht also die «bestehenden Vorschriften» erwähnt, meint er die Vorschriften, die vor dem 2. Juli 2006 (Stand 1984) gültig waren.

Nachträglich wurde der Bericht mit den Ergebnissen der Messungen vom August und November 2006 ergänzt (siehe Kapitel 9.3).

Der zweite Teil des Berichts («Sicherer Bereich») enthält die wichtigsten Arbeitsaufzeichnungen und gesammelten Überlegungen zum sicheren Bereich. Er bildet damit das Thema der Sicherheit auf den Perrons ab und geht auf Detailfragen ein, die in den gesetzlichen Bestimmungen der AB-EBV nicht dargestellt werden. Dieser Teil entstand im Herbst 2009 (mit einem Nachtrag im Frühling 2011), gibt aber die Ausgabe der AB-EBV vom 2. Juli 2006 wieder.

Das BAV dankt den Fachspezialisten der SBB für ihre Unterstützung bei den verschiedenen Messungen und für ihren Beitrag zur Erstellung und für das Lektorat des Teils «Gefahrenbereich».

### 2.2 Aufbau des Berichts

Der Bericht ist wie folgt gegliedert

<b>Einführung</b>	Kapitel 1 bis 3
<b>Gefahrenbereich</b>	Kapitel 4 bis 11
<b>Sicherer Bereich</b>	Kapitel 12 bis 18
<b>Literaturverzeichnis und Anhänge</b>	

### 3. BEGRIFFE

**Gefahrenbereich:** Bereich eines Perrons, in dem sich ein Mensch einer Gefährdung seiner physischen Integrität durch die Durchfahrt eines Zuges aussetzt.

Die Breite des Gefahrenbereichs wird ab der Gleisachse gemessen.

**Sicherer Bereich:** Bereich eines Perrons, der für Reisende zugänglich ist und ausserhalb des Gefahrenbereichs liegt.

Im Querschnitt lassen sich diese Bereiche wie folgt darstellen:

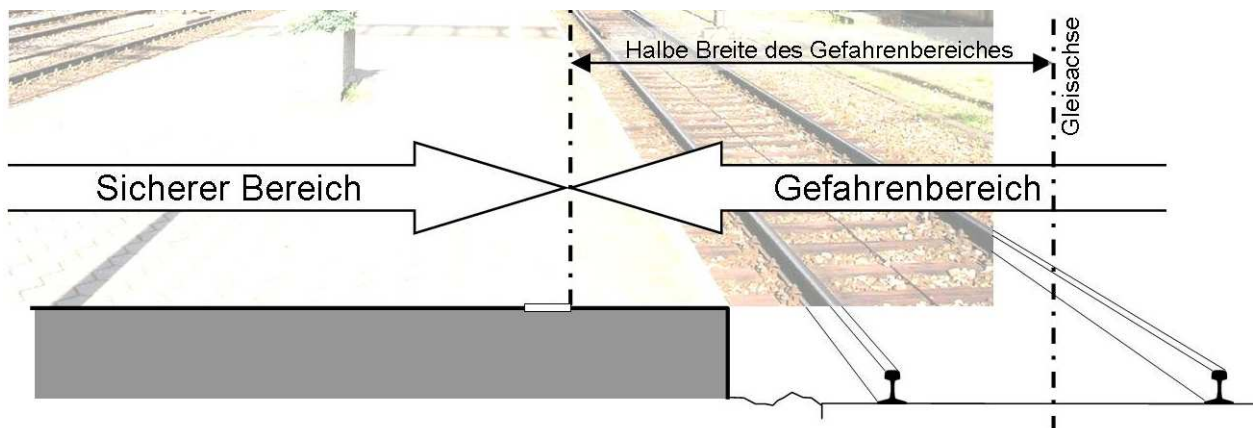


Abbildung 1 Sicherer Bereich und Gefahrenbereich im Querschnitt

Die Grenze zwischen den Bereichen ist – in Übereinstimmung mit der aufrechten Haltung des Menschen – vertikal eingetragen.

Andere Studien oder Vorschriften gehen für das Festlegen der Bereichsgrenze von der Schiene, der Fahrzeugoberfläche oder der Perronkante aus. Diese Bezugsgrößen sind jedoch variabel oder nicht eindeutig (Schieneninnenkante oder Schienenaussenkante, unterschiedlicher Abstand der Perronkante vom Gleis je nach Höhe des Perrons) oder können sogar zu Fehlern führen (beispielsweise bei einer Meterspurbahn, auf der Normalspur-Fahrzeuge verkehren oder bei Drei-Schienen-Gleisen). Für die Festlegung der Bereichsgrenze drängte sich deshalb das Messen ab Gleisachse auf.

**Schmalspur:** Aus Gründen der besseren Lesbarkeit werden alle Spurweiten kleiner als die Normalspur (1 435 mm) mit dem Begriff «Schmalspur» bezeichnet; damit wird die Wiederholung des Ausdrucks «Meter- und Schmalspur» vermieden.

**Reisende/r:** Der Begriff bezeichnet die Fussgänger/innen, die sich auf den Perrons fortbewegen oder dort warten.



# Gefahrenbereich

## 4. EINLEITUNG

### 4.1 Gegenstand

Das Personenbeförderungssystem Eisenbahn hat und benötigt Umsteigestellen – die Perrons – wo die Reisenden ein- und aussteigen. Die Betrachtung der Umsteigestellen beschränkt sich in diesem Bericht auf die öffentlich zugänglichen Perrons.

Unter den Auswirkungen der fahrenden Züge werden hier in erster Linie die aerodynamischen Effekte betrachtet, welche die Reisenden auf den Perrons bei der Vorbeifahrt eines Zuges gefährden können.

Gegenstand dieses Teils des Forschungsberichts ist die Festlegung des Gefahrenbereichs auf Perrons entlang von Gleisen, auf denen Züge vorbeifahren.

### 4.2 Zweck

Die Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV) enthalten seit ihrer ersten Ausgabe im Jahr 1984 Richtwerte zur Grösse des Gefahrenbereichs auf Perrons. Die Abstände vom Gleis werden in Abhängigkeit der Durchfahrgeschwindigkeit der Züge bis zu einer Geschwindigkeit von 160 km/h festgelegt.

Die laufende Zunahme der Vorbeifahrgeschwindigkeit der Züge entlang der Perrons, die empirisch festgelegten Abmessungen des Gefahrenbereichs in den AB-EBV aus dem Jahr 1984, das Fehlen von einheitlichen Vorschriften in den Nachbarländern sowie das Nichtvorhandensein solcher Vorschriften in anderen Ländern und somit das Fehlen einer gemeinsamen Referenzbasis gaben im Bundesamt für Verkehr (BAV) den Ausschlag für den Entscheid, ein Forschungsprojekt zu den Sicherheitsabständen auf Perrons durchzuführen. Die Erkenntnisse aus dieser Forschung sollen die Revision der entsprechenden AB-EBV ermöglichen.

### 4.3 Untersuchungs- und Anwendungsbereich

Der Untersuchungsbereich umfasste Normalspureisenbahnen mit einem Lichtraumprofil nach AB-EBV (und mit Erweiterungen nach UIC-Lichtraumprofil) bei allen Durchfahrgeschwindigkeiten. Schmalspurbahnen wurden auf geeignete Art mit einbezogen.

Der Anwendungsbereich erstreckt sich somit auf Normalspurbahnen und in Analogie auf Schmalspurbahnen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Lichtraumprofile; er beschränkt sich ausdrücklich auf die den Reisenden frei zugänglichen Bereiche entlang der Gleise, das heisst auf die Perrons.

## 5. GRUNDLAGEN

Die vorliegende Studie stützt sich und verweist im Wesentlichen auf folgende Arbeiten:

- [1] DB Systemtechnik, 2004, Studie zu aerodynamischen Lasten am Bahnsteig, München (im Auftrag des BAV).
- [2] EPFL, Laboratoire de mécanique des fluides environnementale, 2005, Questions relatives au souffle provoqué par le passage d'un train, Lausanne. Mitteilung an das BAV.
- [3] DB Systemtechnik, 2006, Prüfbericht. Messung der zuginduzierten Strömungsgeschwindigkeiten am Bahnsteig Kiesen an der Strecke Bern – Thun. München (im Auftrag des BAV).

Weitere Literaturhinweise sind im Literaturverzeichnis enthalten.

## 6. VORGEHEN UND METHODIK

Die Studie wurde vom BAV (Abteilung Bau bis 2005 und Abteilung Sicherheit ab 2006) unter Mitwirkung von Fachspezialisten der SBB (Infrastruktur) durchgeführt. Sie wurde nach folgenden Überlegungen abgewickelt:

1. Bestimmung der zulässigen und unzulässigen Risiken;
2. Bestimmung der Studienparameter;
3. Studie und Diskussion der Parameter und ihrer Auswirkungen;
4. Zusammenfassung der Parameter und ihrer massgebenden Auswirkungen.

Von den zwei Akteuren in der Studie – dem Zug und dem/der Reisenden – ist der Erste gesteuert, wogegen das Verhalten des Zweiten mehr zufällig ist. Darin liegt die hauptsächliche Einschränkung der Studie: Es wäre deshalb vermessen, eine absolute Genauigkeit bei der Quantifizierung der untersuchten Auswirkungen zu erwarten. Diese Einschränkung führt aber auch dazu, bestimmte zweitrangige Parameter von vorn herein auszuschliessen.

## **7. BESTIMMUNG DER ZULÄSSIGEN UND UNZULÄSSIGEN RISIKEN**

Das angestrebte Ziel besteht darin, Menschen vor Gefährdungen ihrer physischen Integrität zu schützen.

Unzulässige Gefährdungen sind der Tod sowie äussere und innere Verletzungen, die zu einer vorübergehenden oder dauernden Behinderung führen. Angst wird nicht als Verletzung betrachtet. Ihre Folgen müssen aber dann diskutiert werden, wenn diese eine unzulässige Gefährdung nach sich ziehen.

Beeinträchtigungen des Behaglichkeitsgefühls der Menschen werden im Rahmen dieser Studie akzeptiert, soweit sie nicht direkt zu einer Gefahrensituation oder einer unzulässigen Gefährdung führen. Es wird angenommen, dass eine unbehagliche aber gefahrlose Situation zulässig sei. Die Verbesserung des Komforts fällt in diesem Falle nicht in die Zuständigkeit der Aufsichtsbehörde sondern ist Aufgabe der Eisenbahnunternehmen.

## 8. BESTIMMUNG DER STUDIENPARAMETER

Die Autoren versuchten sämtliche Parameter zu bestimmen, die einen Einfluss auf den Gefahrenbereich haben können. Bei einigen Parametern gibt es verstärkende oder abschwächende Wirkungsfaktoren. Diese werden nicht ausdrücklich aufgelistet; sie werden jedoch bei der Untersuchung jedes einzelnen Parametern diskutiert. Die Kombination von zwei oder mehreren Parametern wird ebenfalls bei der Untersuchung der einzelnen Parametern berücksichtigt.

Für diese Studie wurden die folgenden Parameter berücksichtigt:

- a. Lichtraumprofil
- b. Berührung
- c. Aerodynamik
- d. Überraschungseffekt
- e. Lärmpegel
- f. Staub
- g. Verhalten der Reisenden auf dem Perron
- h. Örtliche Gegebenheiten

## 9. STUDIUM UND DISKUSSION DER PARAMETER UND IHRER AUSWIRKUNGEN

### 9.1 Lichtraumprofil

Das Lichtraumprofil ist die Umgrenzung des von festen Anlagen freizuhaltenen Raums um den Fahrweg herum, der für einen sicheren Eisenbahnbetrieb erforderlich ist. Es umfasst den von der Grenzlinie fester Anlagen umschriebenen Raum und die Sicherheitsräume (Art. 18 EBV).

Auf die Personen bezogen gewährleistet das Lichtraumprofil in erster Linie die Sicherheit der Eisenbahnangestellten. Die einzigen anderen Personen, die unmittelbar durch das Lichtraumprofil geschützt werden, sind die Reisenden im Zug. Sie sind durch den freien Aussenraum auf der Höhe der Fenster geschützt.

Das Lichtraumprofil mit einer halben Breite von 2,50 m ab Gleisachse bei Normalspurbahnen erfüllt die Anforderungen an die Sicherheitsabstände auf Perrons nicht. Es ist deshalb nicht vorgesehen, das Lichtraumprofil in die Studie der Sicherheitsabstände auf Perrons einzubeziehen.

Festzuhalten bleibt jedoch, dass das Lichtraumprofil unter Vorbehalt anderer Anforderungen das einzuhaltende untere Grenzmass (Kleinstmass) jeder festen Anlage – Perrons inbegriffen – darstellt.

### 9.2 Berührung

Als Berührung wird der Kontakt zwischen dem Schienenfahrzeug und dem Reisenden auf dem Perron bezeichnet. Eine Berührung muss unter allen Umständen verhindert werden. Sie führt in den meisten Fällen - und zwar schon bei geringen Geschwindigkeiten des Schienenfahrzeugs - zu schweren oder gar tödlichen Verletzungen der Person auf dem Perron (Gefährdung der physischen Integrität).

Für die Studie wurde der Parameter Berührung folgendermassen festgelegt:

- Bestimmung der massgebenden Position des Schienenfahrzeugs,
- Bestimmung der massgebenden Position der Person,
- Ableitung der idealen Lage der Grenze zwischen dem sicheren Bereich und dem Gefahrenbereich (Bereichsgrenze).

#### Massgebende Position des Schienenfahrzeugs

Neben der statischen Position des Fahrzeugs sind die durch folgende Elemente verursachten Überbreiten zu berücksichtigen:

- a) Geöffnete Türen und Trittbretter: Ihre Begrenzungslinie richtet sich nach den AB-EBV, AB zu Art. 47 und AB 47.2, das heisst für die Normalspur 0,20 m über die Bezugslinie hinaus. Daraus ergibt sich eine Begrenzungslinie von  $1'645 \text{ mm} + 200 \text{ mm} = 1'845 \text{ mm}$  ab Gleisachse.
- b) Schlecht befestigte Ladungen (insbesondere flatternde Planen): In einem solchen Fall ist die Begrenzungslinie schwer festzulegen. Eine vorsichtige Schätzung von 400 bis 500 mm ist

jedoch plausibel und angemessen. Zusätzlich zum Lademass von 1'565 mm ergibt sich so eine Begrenzungslinie zwischen 1'965 mm bis 2'065 mm ab Gleisachse.

- c) Transporte mit Lademassüberschreitung: Diese weisen eine statische Breite auf, welche die Grenzlinie der festen Anlagen von 1'900 mm für die Normalspur<sup>1</sup> erreichen kann. Die zusätzlichen Abweichungen der quasistatischen Querneigung und die Summe der verschiedenen zufälligen Verschiebungen nach UIC-Merkblatt 505-4 können insgesamt ungefähr 200 mm auf einer Höhe von 2,5 m über der Schienenoberkante erreichen.

Daraus ergibt sich für Normalfälle nach a) und c) eine massgebende Position des Schienenfahrzeuges mit einer Begrenzungslinie von 1,85 bis 1,90 m ab Gleisachse.

Für den Schutz der Reisenden auf Perrons muss jedoch auch der Ausnahmefall b) berücksichtigt werden. Dazu wird ein mittlerer Wert der Begrenzungslinie von 2,0 m ab Gleisachse berücksichtigt.

Kurvenerweiterungen für kleine Kurvenradien ( $R < 250$  m) werden für die Normalspur nicht berücksichtigt. Dies, weil kein Perron mit einem Kurvenradius von weniger als 250 m gebaut werden sollte. Die Erweiterung für Radien über 250 m sind in der Festlegung des Lichtraumprofils bereits enthalten.

Bei der Schmalspur ist die Kurvenerweiterung jedoch im Lichtraumprofil nicht enthalten. Sie muss deshalb in jedem Fall hinzugefügt werden.

#### Massgebende Position der Person

Es gilt die grundlegende Annahme, dass eine Person die Grenze zwischen dem sicheren Bereich und dem Gefahrenbereich nicht mit dem Fuss zur Perronkante hin überschreitet, so wie es in der Praxis häufig vorkommt. Diese Annahme impliziert das Verletzen der Bereichsgrenze mit dem Oberkörper und etwaigen Gepäckstücken.

Um die massgebende Position der Person zu bestimmen, müssen sowohl die Schrittweite wie auch ihr Lichtraumprofil bekannt sein. Für die Schrittweite werden Mittelwerte aus der medizinischen Fachliteratur (Viel 2000) verwendet und für das Lichtraumprofil des Menschen gilt die Schweizer Norm SN 640 201 (VSS 1992). Als Lichtraumprofil des Menschen gilt im Normalfall die Grundabmessung eines Fussgängers/einer Fussgängerin mit Gepäck und Schirm oder einer Person im Rollstuhl, das heisst eine Breite von 0,80 m, als angemessen. Für die Untersuchung des Ausnahmefalls b) wird auch eine Breite von 0,60 m eines Fussgängers/einer Fussgängerin ohne Gepäck berücksichtigt.

Daraus folgt, dass das Lichtraumprofil einer Person mit Gepäck theoretisch 0,23 m in den Gefahrenbereich hineinragt, jenes einer Person ohne Gepäck 0,13 m.

Bei einer Person in Bewegung muss auch der Bewegungsspielraum von 0,10 m nach der Schweizer Norm SN 640 201 berücksichtigt werden.

Daraus ergibt sich für eine Person, die sich fortbewegt, die unten abgebildete massgebende Position.

---

<sup>1</sup> Beispiele: Panzer Leopard 2 mit einer Breite von 3,70 m; vorgefertigte Bauteile für Modulhotels mit einer Breite von bis zu 3,80 m.



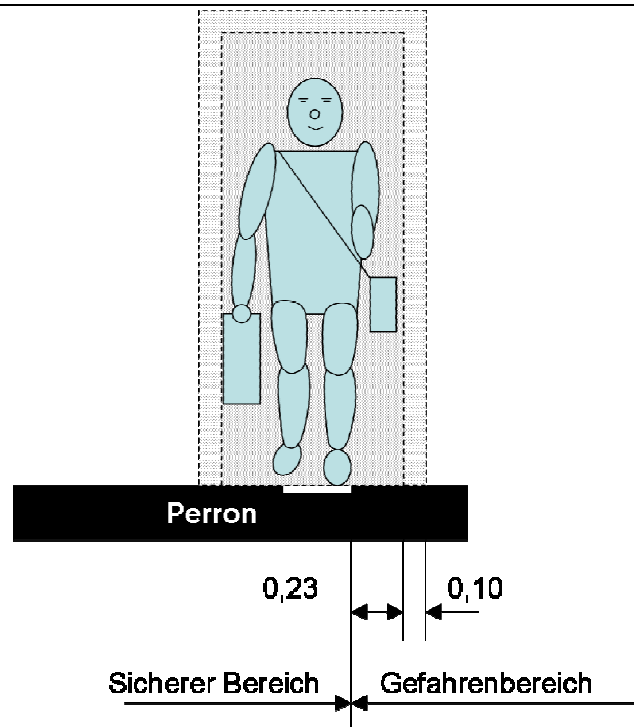


Abbildung 2 Massgebende Position einer sich fortbewegenden Person entlang der Grenze zwischen dem sicheren Bereich und dem Gefahrenbereich

### Ideale Lage der Bereichsgrenze

Im Normalfall beträgt der Abstand der Bereichsgrenze von der Gleisachse also  $(1,85 \text{ m bis } 1,90 \text{ m}) + 0,33 \text{ m} = 2,18 \text{ m bis } 2,23 \text{ m}$ .

Im Ausnahmefall b) wird das Lichtraumprofil einer Person ohne Gepäck berücksichtigt. Dies geschieht in der Annahme, dass bei Personen mit Gepäckstück nur das Gepäckstück mit dem Fahrzeug in Berührung kommt und dies für den Menschen ohne schwerwiegende Folgen bleibt. Daraus ergibt sich ein Abstand von  $2,00 \text{ m} + 0,23 \text{ m} = 2,23 \text{ m}$ .

Gegenwärtig beträgt die Mindestbreite des Gefahrenbereichs ab Gleisachse **2,20 m**. Es scheint deshalb sinnvoll, diesen Wert für den Parameter Berührung zu verwenden.

Es gilt darauf hinzuweisen, dass dieser Wert in den erwähnten Fällen ohne einen Sicherheitszuschlag nach Schweizer Norm SN 640 201 bestimmt wird. Er gilt lediglich für den Fall einer Person und eines Schienenfahrzeugs mit einer geringen Geschwindigkeit. Bei höherer Geschwindigkeit überwiegen unter anderem die aerodynamischen Auswirkungen (siehe Kapitel 9.3 ff).

Zusätzlich zu diesen Überlegungen zeigt eine pragmatische Betrachtung der Situation auf geraden Perrons, dass das Kleinstmass von 2,20 m gerade ausreicht, damit eine Person, die am äusseren Rand der Sicherheitslinie die Arme in Richtung eines mit geringer Geschwindigkeit fahrenden Zuges ausstreckt, diesen nicht berührt.

## 9.3 Aerodynamik

Den Strömungseffekt, den ein schnell vorbeifahrender Zug auf dem Perron erzeugt, kennen alle Reisende. Die Untersuchung dieses Strömungseffekts ist jedoch bis heute lückenhaft geblieben. Zwar liegen mehrere Studien zu den Auswirkungen von Hochgeschwindigkeitszügen (TGV, Acela in FDA 2003) vor; diese zielen jedoch vor allem darauf ab, aufzuzeigen, dass das neue

Rollmaterial im Vergleich zum bestehenden für die Arbeitenden in Tunnels keine Verschlechterung nach sich zieht. Es besteht aber keine Studie zu Reisenden auf Perrons, an denen herkömmliche Züge mit herkömmlichen Geschwindigkeiten vorbeifahren. Die Ergebnisse der von der DB Anfang der 90-er Jahre durchgeführten Studie (Messungen an Puppen in Menschengröße auf Perrons) waren bei der DB nicht mehr auffindbar.

Aus diesem Grund gab das BAV der DB Systemtechnik, Abteilung Messungen Aerodynamik, in München (Deutschland) eine Studie (DB Systemtechnik 2004) in Auftrag, die anhand zahlreicher Messungen die Strömungseffekte von Zügen verschiedener Bauart untersuchte und für die Erstellung eines Forschungsberichts auswertete.

Der Forschungsbericht zu der Studie der DB Systemtechnik dient als Grundlage für den vorliegenden Forschungsbericht.

Eine qualitative Einschätzung nahm das BAV im August 2006 bei den Messungen anlässlich der Probefahrten des TGV POS zwischen Solothurn und Biel vor (Durchfahrgeschwindigkeit 175 km/h).

Unter Ausschöpfung der Synergien aus Probefahrten mit einem Versuchsgüterzug, der im November 2006 mit einer Geschwindigkeit von 132 km/h zwischen Bern und Thun unterwegs war, entstand eine zweite Messserie (DB Systemtechnik 2006) im Auftrag des BAV.

### 9.3.1 Theoretische und experimentelle Grundlagen

Für ein besseres Verständnis der aerodynamischen Phänomene werden im Folgenden die wichtigsten theoretischen und experimentellen Grundlagen der erwähnten Studie DB Systemtechnik 2004 zitiert. Die Studie unterteilt die Ergebnisse in vier Zugkategorien: ICE, Personen-, Regional- und Güterzüge.

Auszug aus der Studie:

Auf einen stehenden Beobachter wirken bei der Vorbeifahrt eines Zuges Luftkräfte ein, die von schnellen Druckänderungen und Luftströmungen hervorgerufen werden. Folgende aerodynamische Effekte sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Sie lassen sich unterscheiden in die Druckwellen des führenden Fahrzeuges (Bugwelle) und des Schlussläufers (Heckwelle), sowie die zuginduzierten Luftströmungen in der Grenzschicht des vorbeifahrenden Zuges bzw. im Strömungsnachlauf (vergleichbar Heckwasser eines Schiffes) hinter dem Zug.

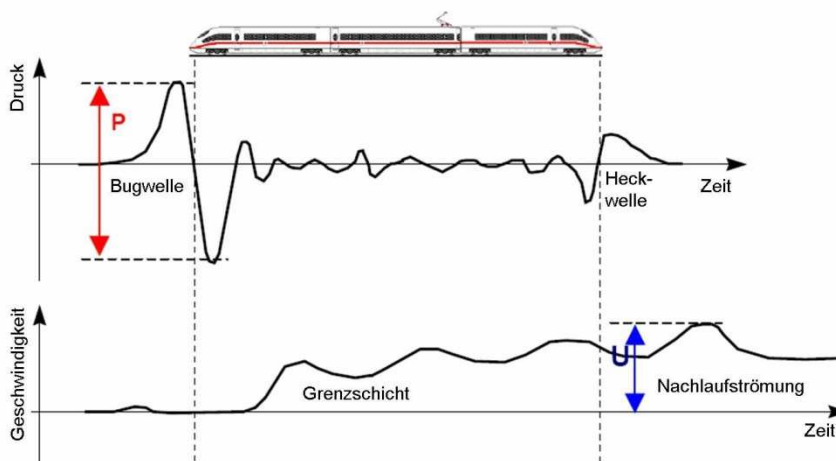


Abbildung 3 Idealisierte Darstellung des Druckverlaufes und der zuginduzierten Geschwindigkeiten bei Zugvorbeifahrt an einem Perron.

#### ■ Druckänderungen in der Bug- und Heckwelle

Der Zugkopf verdrängt bei der Zugfahrt die ruhende Umgebungsluft, wodurch die sogenannte Bugwelle entsteht. Der ruhende Beobachter verspürt eine Druckschwankung, die bereits in einigen Metern Entfernung vor dem Zugkopf nachweisbar ist. Die Amplitude der Bugwelle ist massgeblich von der Kopfform und dem Quadrat der Zuggeschwindigkeit abhängig.

Die entstehende Druckwelle ist ein kurzfristiger Wechsel zwischen Druckerhöhung und Absenkung. Die Amplitude der Bugwelle nimmt mit zunehmendem Abstand zum Zug rasch ab. In Messungen wird die Amplitude der Bugwelle, also Differenz  $P$  zwischen Überdruckspitze zu Unterdruckspitze, als charakteristische Eigenschaft des führenden Fahrzeuges bestimmt. Die Amplitude der Heckwelle fällt stets geringer aus als die der Bugwelle.

#### ■ Strömungseffekte der Vorbeifahrt

Durch Reibungseffekte an der Aussenhaut des Zuges bildet sich die sogenannte Strömungsgrenzschicht. Diese äussert sich darin, dass in unmittelbarer Nähe zum vorbeifahrenden Zug die Luft mit dem Zug mitbewegt wird. Die Luftgeschwindigkeiten auf dem Perron nehmen daher mit der Vorbeifahrt des Zuges an Betrag zu. Das Geschwindigkeitsmaximum  $U$  wird dabei bei manchen Zügen erst nach der Heckvorbeifahrt im Strömungsnachlauf erreicht (das „Heckwasser“ des Zuges, vergl. Abbildung 3).

In Messungen wird die Güte eines Fahrzeuges, bzw. die aerodynamische Last an einem Perron, durch die maximale Luftgeschwindigkeit bei Zugvorbeifahrt ausgedrückt. Deren Betrag ist von der Zuggeschwindigkeit, der „Rauigkeit“ der Fahrzeuge, der Reihung der Fahrzeuge und der Formgebung des Endfahrzeuges abhängig. Unter dem Begriff Rauigkeit wird hierbei die Zerklüftung der Fahrzeuge, auch durch Fahrzeugzwischenabstände oder Wechsel von beladenen zu unbeladenen Fahrzeugen zusammengefasst. Aerodynamisch ungünstig sind stark zerklüftete Strukturen wie Güterzüge mit Auto-Transportern oder mit wechselnden Wagengattung, günstig dagegen aerodynamisch glatt ausgeführte Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge.

Ende Zitat.

### 9.3.2 Gefahrenschwelle

Die Überlegungen zu den Gefahren der aerodynamischen Effekte sind nur dann sinnvoll, wenn die Gefahrenschwelle festgelegt ist.

Die Werte der Druckwelle  $P$  bleiben immer unterhalb von  $1'000 \text{ N/m}^2$  ( $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$ ); bei 3,00 m ab Gleisachse verursacht ein Personenzug bei einer Geschwindigkeit von 200 km/h einen Maximaldruck von  $780 \text{ N/m}^2$ . Züge anderer Bauart (ICE mit 200 km/h, Güterzüge mit 100 km/h) erzeugen wesentlich schwächere Druckwellen. Die erreichten Maximalwerte liegen also unterhalb des vom ORE (ORE 1985) im Rahmen der Frage C 149 nachgewiesenen Anfangswertes von  $3'000 \text{ N/m}^2$ , bei dem ein Unbehagen entsteht. Dieser Wert liegt auch unterhalb der Gefahrenwerte.

Daraus kann geschlossen werden, dass die Druckwelle nicht gefährlich ist. Ihr Einfluss wird im weiteren Verlauf dieser Studie deshalb nicht weiter berücksichtigt.

Für die Festlegung eines zulässigen Maximalwertes für die Windströmung (Gefahrenschwelle) stützte sich die Studie auf die Beaufortskala und legt damit den Wert auf  $U = 50 \text{ km/h}$  (13,9 m/s) fest.

Windstärke Beaufort	Bezeichnung	Windgeschwindigkeit		Wirkung an Land
		km/h	m/s	
<b>0</b>	Windstille	< 1	< 0,3	Keine Luftbewegung, Rauch steigt senkrecht empor.
<b>1</b>	Leichte Brise	1 - 5	0,3 - 1,4	Kaum merklich, Rauch treibt leicht ab.
<b>2</b>	Leichte Brise	6 - 11	1,7 - 3,1	Blätter rascheln, Wind im Gesicht spürbar.
<b>3</b>	Schwache Brise	12 - 19	3,3 - 5,3	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wimpel werden gestreckt.
<b>4</b>	Mässige Brise	20 - 28	5,6 - 7,8	Zweige bewegen sich, loses Papier wird vom Boden gehoben.
<b>5</b>	Frische Brise	29 - 38	8,1 - 10,6	Grössere Zweige und Bäume bewegen sich, Wind deutlich hörbar.
<b>6</b>	Starker Wind	39 - 49	10,8 - 13,6	Dicke Äste bewegen sich. Umgang mit Regenschirmen schwierig. Hörbares Pfeifen an Drahtseilen. Instabiles Gehen.
<b>7</b>	Steifer Wind	50 - 61	13,9 - 16,9	Bäume schwanken, Widerstand beim Gehen gegen den Wind.
<b>8</b>	Stürmischer Wind	62 - 74	17,2 - 20,6	Grosse Bäume werden bewegt, Fensterläden werden geöffnet, Zweige brechen von Bäumen, beim Gehen erhebliche Behinderung.
<b>9</b>	Sturm	75 - 88	20,8 - 24,4	Ziegel und Rauchhauben werden von Dächern gehoben.
<b>10</b>	Schwerer Sturm	89 - 102	24,7 - 28,3	Bäume werden entwurzelt, Baumstämme brechen, grössere Schäden an Häusern.
<b>11</b>	Orkanartiger Sturm	103 - 117	28,6 - 32,5	Heftige Böen, schwere Sturmschäden, schwere Schäden an Wäldern, Dächer werden abgedeckt, dicke Mauern werden beschädigt; sehr selten im Landesinneren.
<b>12</b>	Orkan	> 118	> 32,8	Schwerste Sturmschäden und Verwüstungen.

Abbildung 4 Beaufortskala

Diese Schwelle wird auch durch die Mitteilung des Laboratoire de mécanique des fluides environnementale der ETH Lausanne (EPFL 2005) an das BAV bestätigt. Darin wird erläutert, dass die Gefahrenschwelle, bei der ein Mensch zu Boden geworfen werden kann, ausschliesslich mechanisch und aerodynamisch begründet wird (abhängig von der Windangriffsfläche des Körpers, des Gewichts und der Position). Im allgemeinen liegt diese Schwelle in der Grössenordnung von 15 m/s (ungefähr 54 km/h).

### 9.3.3 Auswertung der Ergebnisse

Die Studien DB Systemtechnik 2004 und 2006 liefern Druckwerte  $P$  und Windströmungsgeschwindigkeiten  $U$  (siehe dazu Abbildung 3) für vier verschiedene Zugarten (profilierter ICE-Zug, Reisezüge im Reisefernverkehr, Regional- und Güterzüge) bei vorgegebenen Durchfahrsgeschwindigkeiten und Abständen. Diese Ergebnisse sind jedoch beschränkt auf einige für die Versuche im Voraus festgelegte Geschwindigkeiten – oder sie werden für die Berechnungen auf diese zurückgeführt – und auf feste Abstände, die der Versuchsvorrichtung entsprechen. Um das angestrebte Ziel dieser Studie zu erreichen, werden Graphen benötigt, die den Abstand zur

Gleisachse in Funktion der Durchfahrgeschwindigkeit des Zuges für die festgelegte Gefahrenschwelle der Windströmung aufzeigen.

Die Werte dieser Graphen werden in zwei Schritten ermittelt:

1. Unter Annahme einer linearen Beziehung zwischen der Fahrgeschwindigkeit des Zuges und der Windgeschwindigkeit wird für jeden gegebenen Abstand ein Punkt für die Fahrgeschwindigkeit des Zuges entsprechend der Gefahrenschwelle der Windgeschwindigkeit bestimmt.
2. Der Graph des Abstandes in Funktion der Durchfahrgeschwindigkeit des Zuges ist ein Polynom zweiten Grades und wird für jede Zugart mit einer Lagrange-Interpolation ermittelt. Für die Ermittlung der Lagrange-Polynome wird ein zusätzlicher Stützpunkt für die Aussenhaut des Zuges eingefügt. Dieser wird in einem Abstand von 1,60 m ab Gleisachse angenommen, dort wo die Windgeschwindigkeit und die Fahrgeschwindigkeit des Zuges identisch sind.

Daraus ergibt sich die folgende Darstellung:

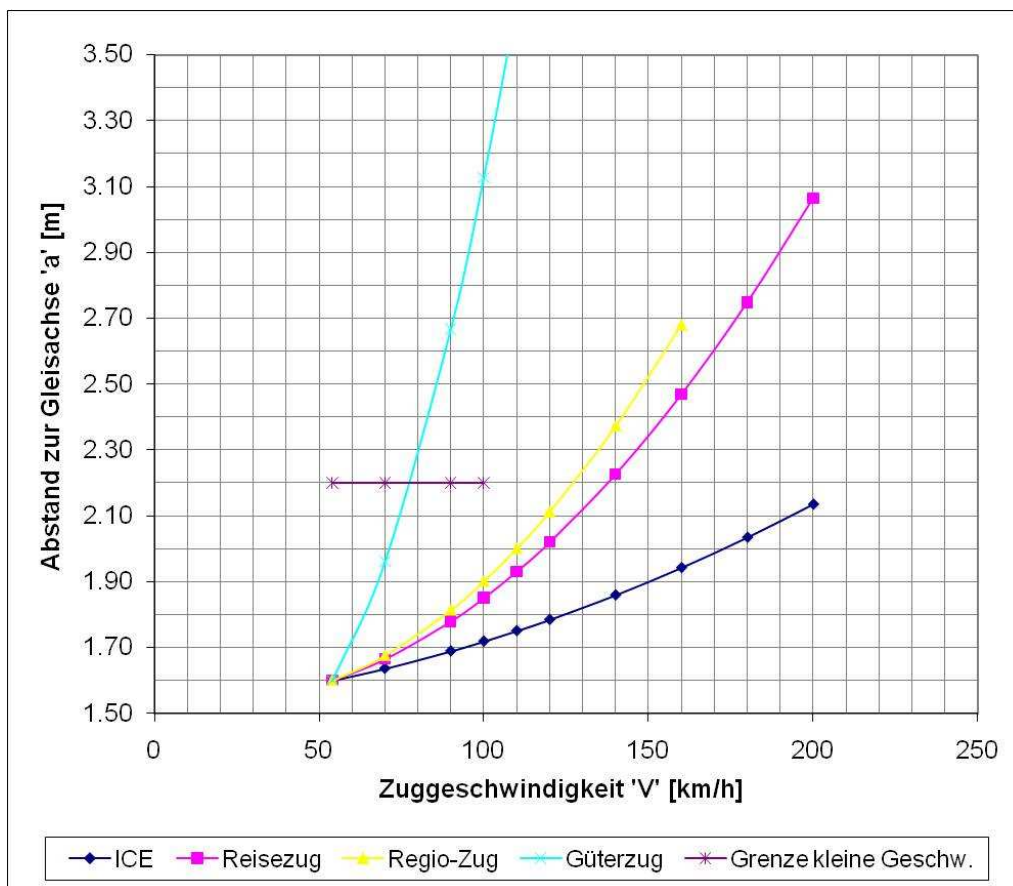


Abbildung 5 Kurven  $a = f(V)$  für die Gefahrenschwelle  $U = 50$  km/h.

Die Ergebnisse werden im Fazit in Kapitel 10 diskutiert.

Ein Beispiel für die verschiedenen Zugarten ist in **Anhang 2** gegeben.

#### 9.3.4 Vergleich der Studien

Die Studie DB Systemtechnik 2004 beruht auf verschiedenen Messreihen, die in Deutschland in der Regel entlang eines Perrons mit einer Höhe von 24 cm über Schienenoberkante (SOK) durchgeführt wurden. Die Studie DB Systemtechnik 2006 entstand hingegen in der Schweiz mit Perrons von 55 cm Höhe über SOK. In beiden Fällen wurde die Luftströmungsgeschwindigkeit bei der Vorbeifahrt des ICE der DB gemessen; dadurch konnte eine gute Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Messserien festgestellt werden.

In allen Fällen (gut profilierte oder weniger gut profilierte Züge) hängt der gemessene Höchstwert der Luftströmung von den oberen Elementen des Zuges ab. Damit können die Werte der Güterzüge aber auch die höheren Messwerte nach der Durchfahrt eines Zuges (Nachlaufströmung) oder bei der Durchfahrt von zwei gekuppelten Wagengruppen eines gut profilierten ICN erklärt werden (vgl. dazu die Abbildungen in **Anhang 2**).

Für den charakteristischen Fall der gut profilierten Zügen (ICE aber auch IC) und aus dem Vergleich der zwei Studien kann abgeleitet werden, dass die tiefer liegenden Elemente – im Bereich der Drehgestelle – für die gemessene Winströmung auf den Perrons massgebend sind.

### 9.4 Überraschungseffekt

#### 9.4.1 Ursache

Die Reisenden auf den Perrons nehmen eine bevorstehende Vorbeifahrt eines Zuges erst sehr spät wahr, und zwar sowohl bei einem leisen Reisezug, oder einem Zug, dessen Geräusche vom Umgebungslärm überlagert werden, als auch bei einem Zug, der sich entweder mit hoher Geschwindigkeit (zum Beispiel Neigezug ICN) oder aber mit kleiner Geschwindigkeit (Rangierbewegung, Abstossbetrieb) annähert.

#### 9.4.2 Reaktion

Die meisten Menschen benötigen ungefähr zwei Zehntelsekunden (0,2 s), um auf einen Reiz zu reagieren.

Wird der Mensch jedoch überrascht, reagiert er meistens mit einem Erstarren, woraus er sich erst wieder löst, wenn er die Veränderung in seiner Umgebung einordnen kann. Diese Reaktionslücke kann kurz sein oder bis zu mehreren Sekunden andauern. Löst die Überraschung eine Angstreaktion aus, manifestiert sich letztere grundsätzlich in der Flucht. Das erklärt auch, warum - wenn auch seltener - jemand Gegenstände, die er mit sich trägt, fallen lässt oder in Ausnahmefällen sogar das Bewusstsein verliert. Bei sehr grosser Angst werden in jedem Fall irrationale Reaktionen festgestellt.

#### 9.4.3 Schlussfolgerung

Bei allen Situationen, die einen Überraschungseffekt auslösen können, ist die Reaktion in Bezug auf die hier untersuchte Frage vorwiegend günstig zu bewerten. Die überraschte Person wird sich tendenziell nicht auf die Gefahrenquelle zu bewegen; eine irrationale Angstreaktion scheint sich nur dann einzustellen, wenn das auslösende Ereignis sehr intensiv ist und länger anhält.

Der Überraschungseffekt ist somit kein massgebender Faktor für die Festlegung der Gefahrenzone.

## 9.5 Lärmpegel

Auf einem Perron in unmittelbarer Gleisnähe erreicht der Schalldruckpegel  $L_{eq}$  ungefähr 120 dB (A) für einen gut profilierten Zug (ICN) mit einer Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h, einen Standardpersonenzug mit einer Fahrgeschwindigkeit von 140 km/h oder einen Güterzug mit einer Fahrgeschwindigkeit von 90 km/h.

Der Zuglärm hat gleichzeitig eine günstige und eine ungünstige Auswirkung.

### 9.5.1 Günstige Auswirkung

Der Lärm eines herannahenden Zuges wirkt günstig, weil damit seine Ankunft bzw. Vorbeifahrt entlang des Perrons etliche Sekunden vorher angekündigt wird.

Bei der Durchfahrt des Zuges am Perron löst der grosse Lärm ein Unbehagen bei den Reisenden aus, was sie dazu bringt, sich von der Perronkante zu entfernen.

Diese günstigen Auswirkungen sind bei modernen Zügen (beispielsweise bei Bremsklotzsohlen aus Kunststoff) abgeschwächt oder fallen bei leisen Zügen, die mit hoher Geschwindigkeit fahren, sogar ganz weg. Beispielsweise wird das Geräusch eines ICN mit einer Fahrgeschwindigkeit von 200 km/h (55,6 m/s) bei ortsüblichem Umgebungslärm erst eine halbe Sekunde vor seinem Eintreffen am Perron wahrgenommen.

### 9.5.2 Ungünstige Auswirkung

Der Lärm eines Zuges ist zwar beträchtlich; trotzdem erreichen weder sein Ausmass noch seine Dauer Werte, die sich auf das menschliche Ohr schädlich auswirken.

So gesehen ist der Lärm kein massgebender Faktor für die Festlegung der Gefahrenzone.

## 9.6 Staub

Die Luftströmung des vorbeifahrenden Zuges wirbelt Staub auf, besonders bei trockenem Wetter. Es handelt sich um mineralische und pflanzliche Stäube sowie um den Staub der Bremsklötze. Die Bildung einer Staubwolke verhält sich proportional zu den aerodynamischen Auswirkungen. Unter den Bedingungen in unserem Land ist ihr Auftreten zeitlich begrenzt und ihre negativen Auswirkungen deshalb beschränkt.

Es erschien aus diesen Gründen unverhältnismässig, die Gefahrenzone im Hinblick auf dieses Phänomen festzulegen oder zu erweitern; auch ist eine weitere Vertiefung des Themas nicht notwendig. Das Risiko infolge Staub wird als akzeptabel erachtet.

## 9.7 Verhalten der Personen auf dem Perron

Menschliches Verhalten ist schwer steuerbar. Auf einem Perron können einzig bauliche Massnahmen (beispielsweise Abschränkungen oder Türen mit mechanischer Öffnung) sicher jedes menschliche Eindringen in den Gefahrenbereich verhindern. Diese Massnahmen erscheinen jedoch unverhältnismässig. Von den Bahnbenutzern/Bahnbenutzerinnen kann und soll in bestimmten Situationen die Übernahme von Eigenverantwortung eingefordert werden können. Die Sicherheitslinie ist ein angemessenes Element, um die Grenze zwischen dem sicheren Bereich und dem Gefahrenbereich auf adäquate Weise sichtbar zu machen.

Wegen dem räumlichen Platzbedarf wird jedoch die massgebende Position einer Person auf dem Perron nicht genau gegenüber der Grenze der Zonen bestimmbar sein. Diese Ungenauigkeit kann damit abgedeckt werden, dass die Sicherheitslinie eine Mindestbreite aufweist (gegenwärtig 20 cm, später 30 cm für taktil-visuelle Sicherheitslinien) und im sicheren Bereich angebracht wird.

## 9.8 Örtliche Gegebenheiten

Besondere örtliche Gegebenheiten können bestimmte Phänomene verstärken. Das können etwa Hindernisse sein, die den Winddruck reflektieren und dazu führen, dass die Person oder ein Gegenstand direkt vom Sog des Zuges erfasst wird. Dieser Fall kommt insbesondere in Bahnhöfen und bei Haltepunkten in Einschnitten und Tunnels vor.

Weil es sich um Einzelsituationen handelt, ist es hier nicht möglich, diese Besonderheiten zu behandeln; sie sind im Einzelfall zu untersuchen. Es kann jedoch festgehalten werden, dass in solchen Fällen zusätzliche Schutzmassnahmen erforderlich sind.



## 10. FAZIT

Aus der Untersuchung der verschiedenen Parameter, die für diese Studie herangezogen wurden, geht hervor, dass die zuginduzierte Luftströmung ausschlaggebend für das Festlegen der Breite der Gefahrenzone auf Perrons ist. Bei geringen Geschwindigkeiten sind jedoch die von der Fahrzeugbegrenzung abhängigen Aspekte (Lichttraumprofil) massgebend. Die aerodynamische Strömung hängt von der Durchfahrsgeschwindigkeit und der Bauart des Zuges ab.

Der Fall «Regionalzug» unterscheidet sich nicht stark vom Fall «Reisezug». Es wird vorgeschlagen, diese zwei Fälle mit einer einzigen Umhüllenden abzubilden.

Zur Vereinfachung der Ausführung der Sicherheitsmarkierung werden die anzuwendenden Abstände auf einige charakteristische Werte beschränkt, die die Gefahrenkurven abdecken.

Für den Fall «Güterzug» würde sich der Gefahrenbereich sehr stark vergrössern, wenn nach den Erkenntnissen der Messungen vorgegangen würde. In diesem Fall führen der akustische Reiz und die Bugwelle automatisch dazu, dass sich Personen auf dem Perron instinktiv weiter von der Perronkante zurückziehen. Es wird deshalb vorgeschlagen, das theoretische Mass des sicheren Bereichs in diesem Fall geringfügig zu verkleinern. Für diese Zugsart werden Geschwindigkeiten über 120 km/h ausgeschlossen.

Für aerodynamisch gut profilierte Züge ist nicht mehr die Windeinwirkung entscheidend, sondern das Verhalten der Reisenden auf den Perrons. Deshalb wird die entsprechende Umhüllenden auf die sichere Seite hin verschoben.

Folgende Umhüllende (mit dickem Strich eingezeichnet) werden vorgeschlagen:

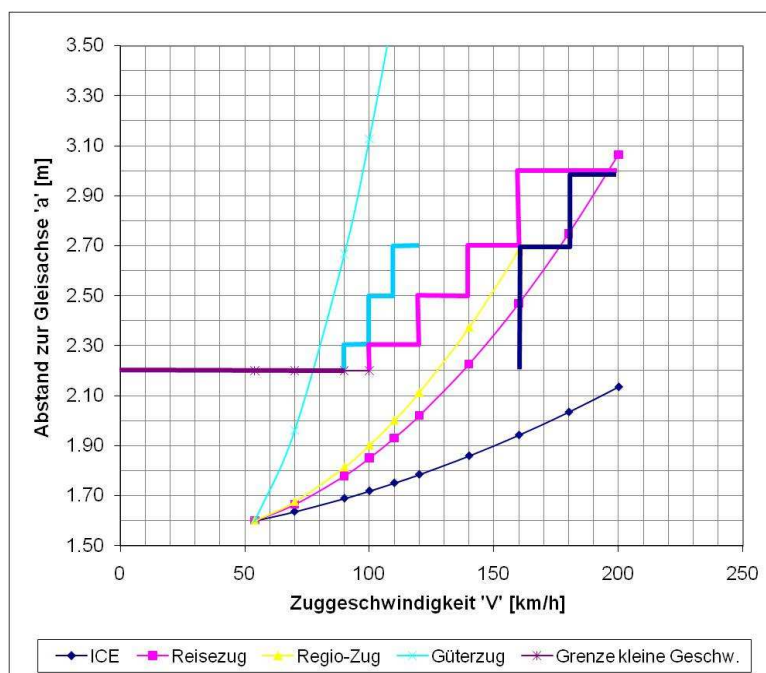


Abbildung 6 Umhüllende der Gefahrenkurven

In allen Fällen ist die Markierung (Sicherheitslinie) das einzige Erkennungszeichen für die Grenze zwischen sicherem Bereich und dem Gefahrenbereich. Die Reisenden auf den Perrons müssen deshalb für die Gefahr sensibilisiert werden und die Markierung muss von ihnen verstanden werden. Dazu sind die Reisenden angemessen zu instruieren. Die unten abgebildete bestehende Warntafel (Abbildung 7) ist Teil dieser Instruktion.



Abbildung 7 Beispiel einer Information für die Reisenden

#### ■ Höhere Geschwindigkeiten (> 160 km/h)

Bei höheren Zuggeschwindigkeiten (> 160 km/h) ist das Zusammenwirken von zwei negativen Einflüssen zu berücksichtigen. Durch die leise Fahrt der Züge, die diese Geschwindigkeit fahren können, fällt der Vorwarnereffekt weg, zudem wird infolge der hohen Geschwindigkeit die Zeit für das Zurückweichen kurz. Bei diesen Geschwindigkeiten nähert sich der Zug mit über 45 m/s und die Person auf dem Perron bewegt sich mit ca. 1 m/s. Zudem ist die Reaktionszeit mit zu berücksichtigen.

Betrachten wir dazu folgendes Fallbeispiel: ICN mit einer Fahrgeschwindigkeit von 180km/h (50 m/s). Der Lokomotivführer bemerkt eine Person, die in den Gefahrenbereich hineinragt.

- Reaktionszeit des Lokomotivführers: 0,5 s
- Warnung (Signalhorn UIC): 1 s
- Reaktionszeit des/der Reisenden: 0,5 s
- Ausweichzeit: 1 s
- Total: 3 s, das heisst eine Strecke von 150 m für den Zug.

Erfahrungsgemäss ist es unmöglich, die genaue Position einer Person auf dem Perron aus mehr als 150 m Entfernung zu erkennen.

Ausserdem handelt es sich um den Idealfall, das heisst, der/die Reisende kann vorgewarnt werden. Bei modernen leisen Reisezügen nehmen die Reisenden auf den Perrons die

bevorstehende Vorbeifahrt erst sehr spät – je nach Lärmpegel und Zuggeschwindigkeit erst 0,5 bis 1,0 Sekunden vor der Vorbeifahrt – wahr. Aus diesen Gründen müssen im Geschwindigkeitsbereich über 160 km/h besondere Massnahmen getroffen werden. Bei Geschwindigkeiten über 200 km/h scheint es logisch, dass jede potenzielle Begegnung zwischen Menschen auf dem Perron und dem Zug verhindert werden muss.

■ *Bestehende Vorschriften*

Die bestehenden Vorschriften sind einerseits zu konservativ in Bezug auf Reisezüge mit einer Geschwindigkeit von über 125 km/h und andererseits zu wenig streng hinsichtlich der Gefahren, die von den Güterzügen ausgehen. Aus diesen Gründen ist eine Anpassung der bestehenden Regelwerke erforderlich. Im **Anhang 1** werden die bestehenden Vorschriften (Stand 1984) mit den Ergebnissen dieser Studie verglichen.

■ *Weitere Vorschriften*

Ferner werden im **Anhang 1** die bestehenden Vorschriften mit den Bestimmungen in Frankreich und Deutschland (Stand 2005) verglichen.

## 11. SCHLUSSFOLGERUNG

Die Studie der massgebenden Parameter für das Festlegen des Gefahrenbereichs auf Perrons zeigt das Überwiegen der aerodynamischen Effekte. Letztere sind je nach Bauart des Zuges unterschiedlich. Bei höheren Geschwindigkeiten der Züge wird das Verhalten der Personen auf den Perrons bestimmend.

### 11.1 Vorschlag für Normalspurbahnen

Das Ziel der Studie war, im Rahmen der Revision der AB-EBV die Bestimmungen zu Artikel 21 Ziffer 2 (AB 21.2) zu überprüfen. Aufgrund der Ergebnisse der Studie schlagen wir folgende Änderungen vor:

Zunächst gilt es, die Bereiche der Perrons genau zu definieren:

1	<p><b>Definition</b></p> <p>Auf Perrons wird zum Schutz von Personen vor fahrenden Zügen zwischen folgenden Bereichen unterschieden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gefahrenbereich,</li> <li>- Sicherer Bereich.</li> </ul>
---	--

Zum Gefahrenbereich wird folgender Text vorgeschlagen:

2	<b>Gefahrenbereich</b>																									
21	Der Gefahrenbereich wird ab Gleisachse mit Rücksicht auf die Durchfahrgeschwindigkeit der Züge und die örtlichen Gegebenheiten definiert.																									
22	In der Regel ist der Gefahrenbereich wie folgt definiert:																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Durchfahrgeschwindigkeit (v) [km / h]</th> <th rowspan="2">Mindestabstand von Gleisachse [m]</th> </tr> <tr> <th><math>v_{\max}</math> Güterzüge (in der Regel <math>V_A^1</math>)</th> <th><math>v_{\max}</math> Reisezüge (in der Regel <math>V_R^1</math>)</th> <th><math>v_{\max}</math> aerodynamisch gut profilierte Züge (<math>V_N^1</math>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 - 90</td> <td>0 - 100</td> <td rowspan="3">(0 - 160 : nicht massgebend)</td> <td>2,20</td> </tr> <tr> <td>91 - 100</td> <td>101 - 120</td> <td>2,30</td> </tr> <tr> <td>101 - 110</td> <td>121 - 140</td> <td>2,50</td> </tr> <tr> <td>111 - 120</td> <td>141 - 160</td> <td>161 - 180</td> <td>2,70</td> </tr> <tr> <td>(siehe Ziffer 23)</td> <td>161 - 200</td> <td>181 - 200</td> <td>3,00</td> </tr> </tbody> </table> <p>Durchfahrten mit <math>v &gt; 200</math> km/h an den den Reisenden frei zugänglichen Perrons sind nicht zulässig.</p>	Durchfahrgeschwindigkeit (v) [km / h]			Mindestabstand von Gleisachse [m]	$v_{\max}$ Güterzüge (in der Regel $V_A^1$ )	$v_{\max}$ Reisezüge (in der Regel $V_R^1$ )	$v_{\max}$ aerodynamisch gut profilierte Züge ( $V_N^1$ )	0 - 90	0 - 100	(0 - 160 : nicht massgebend)	2,20	91 - 100	101 - 120	2,30	101 - 110	121 - 140	2,50	111 - 120	141 - 160	161 - 180	2,70	(siehe Ziffer 23)	161 - 200	181 - 200	3,00
Durchfahrgeschwindigkeit (v) [km / h]			Mindestabstand von Gleisachse [m]																							
$v_{\max}$ Güterzüge (in der Regel $V_A^1$ )	$v_{\max}$ Reisezüge (in der Regel $V_R^1$ )	$v_{\max}$ aerodynamisch gut profilierte Züge ( $V_N^1$ )																								
0 - 90	0 - 100	(0 - 160 : nicht massgebend)	2,20																							
91 - 100	101 - 120		2,30																							
101 - 110	121 - 140		2,50																							
111 - 120	141 - 160	161 - 180	2,70																							
(siehe Ziffer 23)	161 - 200	181 - 200	3,00																							

(Folge nächste Seite)

23	<p><b>Besonderheiten</b></p> <p>Wo die Gefahr von reflektiertem Winddruck besteht, sind zusätzliche Schutzmassnahmen sowie grössere Abstände beim Gefahrenbereich vorzusehen.</p> <p>Bei Güterzügen, die über 120 km/h fahren, ist aufgrund ihrer aerodynamischen Charakteristiken zu prüfen, ob der Gefahrenbereich nach Ziffer 22 genügt oder ob er zu vergrössern ist.</p>
----	---

Zusätzlich sind besondere Massnahmen bei höheren Geschwindigkeiten zu treffen.

3	<p><b>Sicherer Bereich</b></p>
33	<p>Bei Geschwindigkeiten von 161 bis 200 km/h sind zur Abwendung des Überraschungseffekts besondere Schutzmassnahmen nach der Richtlinie des BAV „Schutz der Reisenden auf Perrons bei Durchfahrgeschwindigkeiten über 160 km/h“ vom 2.7.2006 zu treffen.</p>

## 11.2 Vorschlag für Schmalspurbahnen

Für Schmalspurbahnen schlagen wir vor, grundsätzlich die Regelungen für die Normalspurbahnen anzuwenden, zusätzlich aber die Unterschiede des Lichtraumprofils zu berücksichtigen:

1	<p>AB 21.2 Normalspur ist für die Meterspur unter Berücksichtigung nachfolgender Ziffern 2 und 3 anwendbar.</p>										
2	<p><b>Gefahrenbereich</b></p> <p>Die Masse sind wie folgt anzupassen:</p>										
21	<p>Der Abstand ist um die Kurvenverweiterung gemäss Art. 18 Blatt 13 M zu vergrössern.</p>										
22	<p>Je nach Grenzlinie werden die Abstände wie folgt verkleinert:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-left: 20px;">- Meterspur A</td> <td style="text-align: right;">Reduktion um 0,20 m</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">- Meterspur B (beladener Rollschemeel / Rollbock)</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 40px;">- von 0 bis 40 km/h</td> <td style="text-align: right;">Reduktion um 0,20 m</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 40px;">- V &gt; 40 km/h</td> <td style="text-align: right;">keine Reduktion</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">- Meterspur C</td> <td style="text-align: right;">Reduktion um 0,40 m</td> </tr> </table>	- Meterspur A	Reduktion um 0,20 m	- Meterspur B (beladener Rollschemeel / Rollbock)		- von 0 bis 40 km/h	Reduktion um 0,20 m	- V > 40 km/h	keine Reduktion	- Meterspur C	Reduktion um 0,40 m
- Meterspur A	Reduktion um 0,20 m										
- Meterspur B (beladener Rollschemeel / Rollbock)											
- von 0 bis 40 km/h	Reduktion um 0,20 m										
- V > 40 km/h	keine Reduktion										
- Meterspur C	Reduktion um 0,40 m										

## 11.3 Übergangsbestimmungen

Die neuen Sicherheitsabstände werden gegenüber den bisher geltenden für Reisezüge reduziert und für Güterzüge erhöht. Dies hat Konsequenzen für bestehende Bahnhöfe. Das BAV hat dazu

die Richtlinie «Übergangsbestimmungen für die Ausgestaltung des sicheren Bereichs von bestehenden Anlagen» vom 2. Juli 2006 erlassen.

Der Gefahrenbereich hingegen ist klar bestimmt. Seine Breite ist allein abhängig von der Geschwindigkeit und vom Typ des Zuges. Er darf durch die Übergangsbestimmungen deshalb nicht verändert werden.

# Sicherer Bereich

## 12. EINLEITUNG

### 12.1 Gegenstand

Der sichere Bereich ist eine Fläche, auf der sich die Reisenden aufhalten können, ohne dass sie gefährlichen Interaktionsrisiken mit dem Zug – wie im ersten Teil dieser Studie besprochen – ausgesetzt sind.

Gegenstand dieses Teils des Forschungsberichts ist die Beschreibung von Parametern zur Festlegung des sicheren Bereichs auf Perrons entlang von Gleisen, auf denen Züge vorbeifahren.

### 12.2 Zweck

Nach der erfolgten klaren Unterteilung der Perrons in einen «Gefahrenbereich» und einen «sicheren Bereich» und der vertieften Betrachtung des Gefahrenbereichs im ersten Teil dieser Studie werden nun die Grundlagen für den sicheren Bereich erarbeitet.

Die erste Ausgabe der Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV) im Jahr 1984 enthielt lediglich eine indirekte Definition des sicheren Bereichs: Er war mit einem gegenüber Hindernissen einzuhaltenden Abstand angegeben, der aber die möglichen Masse des Gefahrenbereichs nicht mitberücksichtigte.

Bisher sind die Themen Leistungsfähigkeit und Bemessung des sicheren Bereichs in den Vorschriften nicht enthalten. Im Hinblick auf die steigende Belastung der Perrons und der Tatsache, dass wegen intensiver Bebauung häufig keine zusätzlichen Flächen zur Verfügung stehen, sind diese Themen in den Vorschriften zu behandeln. Im Folgenden legt das BAV die Erkenntnisse zum sicheren Bereich dar. Sie dienen der Revision der AB-EBV, die gleichzeitig mit der Revision der Bestimmungen zum Gefahrenbereich erfolgen soll.

### 12.3 Anwendungsbereich

Der Untersuchungsbereich umfasst alle Eisenbahnen in der Schweiz. Er erstreckt sich auf die heutige Bevölkerung in ihrer morphologischen und soziologischen Zusammensetzung. Selten auftretende Extremwerte in Bezug auf die Normalverteilung der Bevölkerungscharakteristika werden nicht untersucht.

Der Anwendungsbereich beschränkt sich ausdrücklich auf die den Reisenden frei zugänglichen Flächen entlang der Gleise, das heisst auf die Perrons.



## 13. GRUNDLAGEN

Diese Studie stützt sich im Wesentlichen auf zahlreiche, in diesem Bericht gerafft dargestellte Praxiserfahrungen und auf die Grundlagen, die im Literaturverzeichnis erwähnt sind.

## 14. NOTWENDIGKEIT EINER BEMESSUNG DER PERRONANLAGEN

Die Grösse des Personenaufkommens auf den Perrons kann je nach Art des Haltepunkts – grosser Knotenbahnhof oder Haltestelle in einer wenig bewohnten Gegend – sehr unterschiedlich ausfallen.

Die Bemessung muss mehreren Anforderungen genügen, deren wesentliche Kriterien sind:

1. Personenaufkommen
2. Wirtschaftlichkeit mit den untergeordneten Kriterien:
  - a. Nutzungsdauer des Bauwerks;
  - b. Baukosten.

Wegen der hohen Baukosten von Perrons, die allgemein wegen dicht genutzter und schlecht anpassbarer Umgebung (städtischer Lebensraum, Gleisbündel) entstehen, werden Perronanlagen normalerweise mit einer Mindestnutzungsdauer von 50 Jahren geplant. Sie lassen sich damit nur sehr schwer an eine wechselnde Nachfrage, das heisst an ein sich veränderndes Personenaufkommen, anpassen.

Deshalb ist eine Bemessung nach dem grösstmöglichen Personenaufkommen über die ganze Nutzungsdauer von grösster Wichtigkeit. Diese Anforderung wird wie folgt ausgedrückt:

Der sichere Bereich ist auf der Basis des langfristigen absehbaren Personenaufkommens auf dem Perron zu definieren.

Die Bemessung erfolgt im Wissen, dass bei der Planung eine realistische Prognose des Personenaufkommens über die Nutzungsdauer des Perrons nur schwierig möglich ist.

## 15. GRUNDLEGENDES MERKMAL DES SYSTEMS

Perronanlagen bei Eisenbahnen haben eine Besonderheit, die bei der Bemessung der für die Reisenden nutzbaren Fläche, hier als sicherer Bereich bezeichnet, zu beachten ist: Im Gegensatz zu den allgemein untersuchten Fällen von Personenströmen, wo die nutzbare Fläche häufig seitlich durch feste Hindernisse begrenzt ist, ist bei Perrons der Eisenbahn die Grenze des sicheren Bereichs gegen die Gleisseite hin nur virtuell (Sicherheitslinie) und kann problemlos überschritten werden.

Auf einem Perron der Eisenbahn ist die physische Grenze des Systems (Perronkante) nicht am gleichen Ort wie die Grenze des durch die Reisenden sicher nutzbaren Bereichs (Sicherheitslinie).

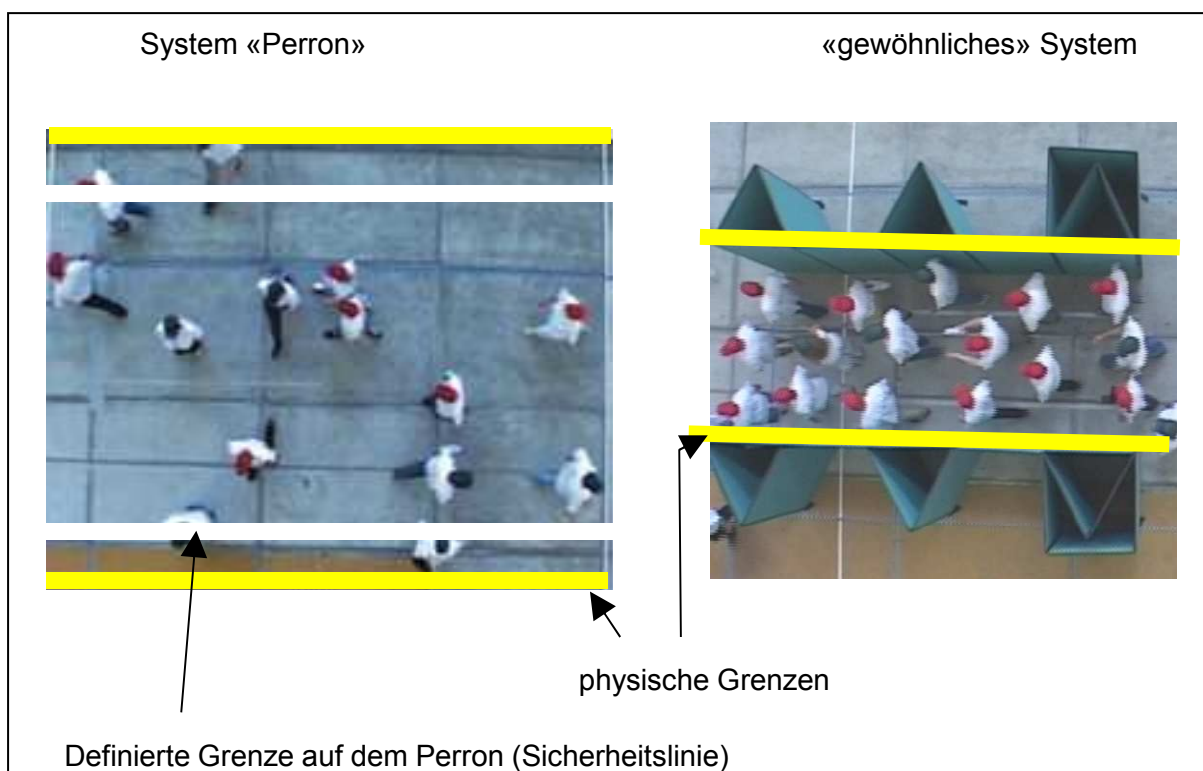


Abbildung 8 Darstellung der unterschiedlichen Grenzen je nach System

Im Fall einer Perronanlage muss diese «weiche» Grenze des Systems zwingend berücksichtigt werden.

Weil die Grenze nicht absolut ist, sind Überschreitungen in den folgenden Fällen mit zu berücksichtigen:

1. Überholmanöver von Personen an einer schmalen Stelle;
2. Kreuzen von Personen an einer schmalen Stelle;
3. Zunahme der Personendichte im sicheren Bereich.

Zudem wird die Sicherheitslinie selbstverständlich auch überschritten beim

4. Ein- und Aussteigen, wenn der Zug hält.

Weil sich diese Studie mit dem Schutz von Personen vor fahrenden Zügen befasst, wird dieser Punkt nicht weiter behandelt.

## 16. MINIMALE ABMESSUNGEN

### 16.1 Allgemeines

In wenig frequentierten Bereichen auf den Perrons und insbesondere in kleinen Bahnhöfen würden die unter Kapitel 14 formulierten Bemessungskriterien zu einer Bemessung des sicheren Bereichs führen, welche die Mindestanforderungen an die Sicherheit auf Perrons nicht erfüllt, insbesondere dann, wenn sich Reisende kreuzen oder einander überholen.

Deshalb sind minimale Abmessungen für den sicheren Bereich festzulegen.

Bei einer gegebenen Zuglänge hat die Länge eines Perrons im Allgemeinen keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die Kapazität dieses Perrons. In diesem Fall ist normalerweise nur die Abmessung in Querrichtung massgebend. Die minimalen Abmessungen, von denen die Rede ist, beschränken sich deshalb in einem ersten Ansatz auf eine Dimension: die Breite.

### 16.2 Platzbedarf von Reisenden

Das Thema wird in vielen Publikationen behandelt (siehe zum Beispiel Weidmann 1993 und die darin enthaltene Bibliographie). In dieser Studie werden die zentralen beweiskräftigen Aussagen daraus verwendet.

Die Schweizer Norm SN 640 201 (VSS 1992) legt das Lichtraumprofil für Fussgänger/innen unter Berücksichtigung

- der Grundabmessung mit oder ohne Gepäck,
- des Bewegungsspielraums und
- des Sicherheitszuschlags

wie unten abgebildet fest:

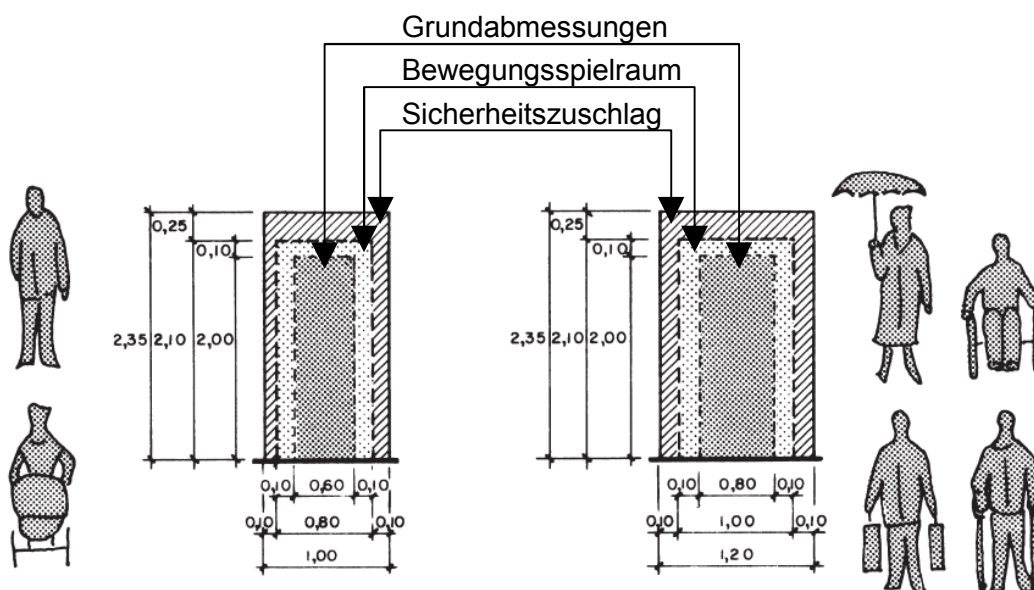


Abbildung 9 Lichtraumprofil der Fussgänger/innen nach Schweizer Norm SN 640 201

### 16.3 Überholmanöver von Personen auf dem Perron

Die Praxis zeigt, dass das Überholen von Personen unter einander häufig entlang von längeren Hindernissen vorkommt, zum Beispiel entlang von Brüstungen der Perronaufgänge. Tatsächlich nutzen die Wartenden die Brüstung oft als Lehne.

Auf der Grundlage des Platzbedarfs gemäss Schweizer Norm SN 640 201 und unter der Annahme, dass das Überholen auf der dem Gleis und nicht der Brüstung zugewandten Seite stattfindet, ergibt sich folgender minimaler Platzbedarf:

- 0,60 m für eine Person, die wartet; dies entspricht lediglich der Grundabmessung, weil die Person sich nicht fortbewegt und infolgedessen weder Bewegungsspielraum noch Sicherheitszuschlag benötigt.
- 0,90 m für eine Person, die sich fortbewegt. Dabei wird der Sicherheitszuschlag auf der dem Gleis zugewandten Seite nicht berücksichtigt.

Daraus ergibt sich eine Mindestbreite von 1,50 m.

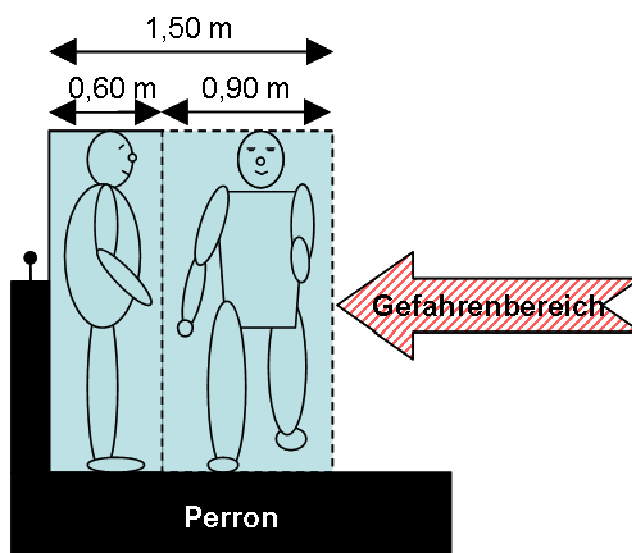


Abbildung 10 Mindestbreite beim Überholmanöver einer Person

Reisende mit Gepäck benötigen mehr als die oben angegebenen 0,90 m. Mehrere Faktoren zeigen, dass die Eintretenswahrscheinlichkeit für diesen Fall eher tief einzuschätzen ist; dies vor allem deshalb, weil sich Reisende mit schwerem Gepäck anders verhalten; sie begeben sich weniger häufig an schmale Stellen.

Es soll nicht verschwiegen werden, dass die Mindestbreite von 1,50 m den aktuell gültigen Anforderungen nach AB-EBV entspricht (3,70 m Abstand von Hindernissen zur Gleisachse abzüglich 2,20 m Gefahrenbereich ab Gleisachse = 1,50 m) und bei vielen Bahnhöfen bereits eingehalten ist. Somit werden zusätzliche grosse Infrastrukturausgaben vermieden.

### 16.4 Kreuzen von Personen auf dem Perron

Für das Kreuzen von Personen werden dieselben Grundlagen wie bei einem Überholmanöver eines/r Reisenden ohne Gepäck herangezogen:

- 1,00 m für eine Person, die sich auf der Seite des Hindernisses fortbewegt,
- 0,90 m für eine Person, die sich fortbewegt. Dabei wird der Sicherheitszuschlag auf der dem Gleis zugewandten Seite nicht berücksichtigt.

Die Mindestbreite beim Kreuzen beträgt damit 1,90 m.

Dieser Wert ist in den gesetzlichen Bestimmungen jedoch nicht festgehalten. Es wurde früher davon ausgegangen, dass Gegenverkehr von Reisenden auf Perrons eine Ausnahme darstellt. Gegenverkehr von Reisenden entsteht nur in grossen Bahnhöfen mit mehreren Perronaufgängen und einem erweiterten sicheren Bereich.

Ausserdem wäre dieser Wert theoretisch um einen Breitenverlust von 0,20 m gegen das Gelände hin zu erweitern. Die notwendige Breite für etwaige Gepäckstücke ist zusätzlich hinzuzurechnen.

Ist bei der Bemessung eines Perrons dem Kreuzen von Reisenden Rechnung zu tragen, dann ist dies nicht mittels Mindestmass anzugeben, sondern als Bemessungsparameter zu berücksichtigen, der in der Hauptanforderung für die Bemessung enthalten ist (vgl. Kap. 14).<sup>2</sup>

## 16.5 Kurze schmale Bereiche (Breite < 1,50 m)

Nach den geltenden AB-EBV (Ausgabe von 1984) sind längs Hindernissen von beschränkter Länge geringere Abstände (unter 1,50 m) zulässig. Es bestehen zahlreiche Bahnanlagen mit solchen Merkmalen. Es ist deshalb zu überprüfen, ob diese Vorschrift angemessen ist und somit aufrechterhalten soll oder ob sie aufgehoben werden muss.

Bei einem sicheren Bereich von weniger als 1,50 m Breite zieht eine Begegnung (Kreuzen) zweier Personen notwendigerweise ein Überschreiten der Bereichsgrenze und ein Eindringen in den Gefahrenbereich nach sich.

Um das Risiko einzuschätzen, sind folgenden drei Faktoren massgebend:

- a) Eintretenswahrscheinlichkeit des Eindringens einer Person in den Gefahrenbereich;
- b) Dauer des Eindringens einer Person in den Gefahrenbereich;
- c) Massnahmen zur Verhinderung, dass eine Person den Gefahrenbereich betritt sowie Kosten dieser Massnahmen.

Diese Faktoren wurden folgendermassen beurteilt:

- a) Die Eintretenswahrscheinlichkeit des Eindringens einer Person in den Gefahrenbereich hängt von mehreren Umständen ab; insbesondere aber von
  - a1) dem Personenaufkommen auf dem Perron;
  - a2) der Länge des schmalen Bereichs;
  - a3) der Breite des schmalen Bereichs.

Diese Umstände führen zu den folgenden Erkenntnissen:

- a1) Bei einem mittleren oder hohen Personenaufkommen auf dem Perron ist die Hauptanforderung an die Bemessung massgeblich; sie schreibt in diesem Fall eine Mindestbreite von 1,50 m vor.

<sup>2</sup> «Der sichere Bereich ist auf der Basis des langfristigen absehbaren Personenaufkommens auf dem Perron zu definieren.»

- a2) Mit abnehmender Länge des schmalen Bereichs nimmt auch die Eintretenswahrscheinlichkeit ab; daraus folgt logischerweise, dass eine Beschränkung der Länge des schmalen Bereichs erforderlich ist.
- a3) Der schmale Bereich muss mindestens einer Person, die sich fortbewegt, einen sicheren Raum bieten. Es ist daher ein unterer Grenzwert der Breite von 0,90 m festzulegen.
- b) Die Dauer des Eindringens einer Person in den Gefahrenbereich ist auch dadurch begrenzt, dass die Länge des schmalen Bereichs beschränkt ist. Dies zeigt erneut, dass die Längenbeschränkung unbedingt erforderlich ist.
- c) Massnahmen zur Verhinderung des Eindringens einer Person in den Gefahrenbereich haben in der Regel weitreichende Wirkungen, weil sie eine umfassende bauliche Anpassung des Bereichs erfordern. Die damit verbundenen Kosten sind deshalb hoch bis sehr hoch. Wenn die Wahrscheinlichkeit des Eindringens einer Person in den Gefahrenbereich klein ist, sollte aus Gründen der Verhältnismässigkeit die Vorschrift beibehalten werden, die längs Hindernissen von beschränkter Länge eine kleinere Breite des sicheren Bereichs zulässt. Auf jeden Fall sollen aber kostengünstige Kompensationsmassnahmen getroffen werden.

Folgende Kompensationsmassnahmen sind vorgesehen:

- Handläufe: Personen, die von der Vorbeifahrt eines Zuges überrascht werden, können sich an Handläufen festhalten und so den aerodynamischen Einwirkungen begegnen.
- Sicherheitslinien: Die Lokomotivführer können anhand der Sicherheitslinie die Position der Personen auf dem Perron feststellen und bei Bedarf akustisch (Lokomotivpfeife) warnen.

Die Möglichkeit, reduzierte minimale Breiten zuzulassen, muss demnach

- auf kurze Hindernisse beschränkt bleiben. Die zulässige maximale Länge wird entsprechend der Länge einer Treppenöffnung auf etwa 10 m festgelegt. Auch an wenig frequentierten Perronenden ist eine reduzierte Breite zulässig, wenn die zukünftige Nutzung des Perrons dadurch nicht eingeschränkt wird (Grundsatz der Dimensionierung auf der Basis des langfristigen absehbaren Personenaufkommens).
- Kompensationsmassnahmen bedingen (insbesondere einen Handlauf).

Das Anbringen der Sicherheitslinie auf den Perrons ist in jedem Fall obligatorisch.

Der sichere Bereich darf auf alle Fälle die Mindestbreite von 0,90 m nicht unterschreiten.

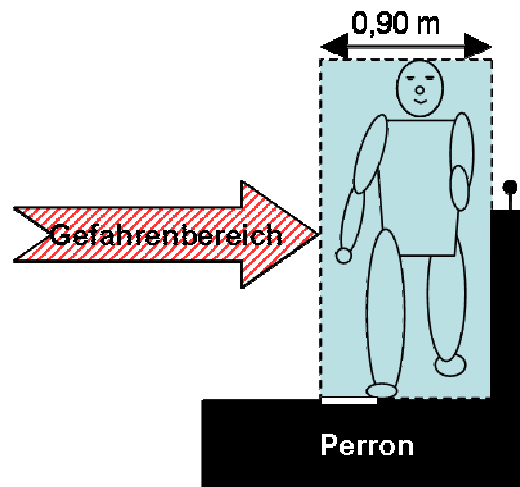


Abbildung 11 Reduzierte Mindestbreite entlang von Hindernissen mit beschränkter Länge

## 16.6 Anwendung der Mindestbreiten

Es ist zu beachten, dass die Mindestbreiten lediglich das für die Sicherheit notwendige Minimalmaß darstellen. Eine Bemessung des Perrons anhand des Personenaufkommens ist dabei nicht berücksichtigt.

Es wird empfohlen, in den Vorschriften primär die Anforderung der Bemessung nach dem Personenaufkommen, jedoch unter Berücksichtigung der Mindestabmessungen, festzuhalten.



## 17. GRUNDSÄTZE FÜR DIE BEMESSUNG VON PERRONS

### 17.1 Allgemeines

Normalerweise besteht das Ziel der Bemessung von Fussgängeranlagen darin, die Leistungsfähigkeit nachzuweisen. Gefahren und Risiken werden dabei in der Regel nicht betrachtet.

Im Fall eines Eisenbahn Perrons sind bei der Bemessung der Fussgängeranlage mehrere spezifische Parameter zu berücksichtigen:

- a) «Weiche» Systemgrenze: Hauptmerkmal des «Perron»-Systems ist die unter Kapitel 15 erwähnte «weiche» Systemgrenze.
- b) Kenntnis des Risikos: Beim Eintreten in die Gefahrenzone kann für die Reisenden Todesgefahr bestehen.

### 17.2 Lehrsatz und Grundsatz der Bemessung

Die Laufgeschwindigkeit der Reisenden auf dem Perron ist von der Personendichte (Daamen 2004, Weidmann 1993 und andere Autoren) abhängig. Mit zunehmendem Personenaufkommen nimmt die Geschwindigkeit in Abhängigkeit der frei verfügbaren Fläche ab; damit erhöht sich die Personendichte auf dem Perron.

Diese zwei Punkte (Verringerung der Geschwindigkeit und Erhöhung der Personendichte) sind miteinander verbunden und bilden die Grundlage für den Lehrsatz.

#### Lehrsatz:

Je höher die Personendichte ist, desto höher ist das Risiko des Eintretens in den Gefahrenbereich.

#### Grundsatz der Bemessung:

Die Bemessung der Perrons hat auf der Basis der langfristigen Personendichte zu erfolgen.

Dies hat mittels eines oberen Grenzwert für die Personendichte zu geschehen.

### 17.3 Herleitung des Lehrsatzes

Das Perron hat zwei primäre Funktionen zu erfüllen:

- Es ist einerseits Sammelplatz für die Reisenden, die auf ihren Zug warten, und
- Es dient andererseits der Fortbewegung von Reisenden.

Die Fortbewegung von Reisenden findet statt bei der Verschiebung vom Perronaufgang in den Wartebereich, beim Aussteigen aus dem Zug, beim Einsteigen in den Zug und bei der Verschiebung auf dem Perrons hin zum Ausgang.

Primär ist der/die Reisende auf dem Perron der Gefahr ausgesetzt, vom fahrenden Zug erfasst zu werden. Um dieses Risiko zu vermindern, wird das Perron in einen Gefahrenbereich und in einen sicheren Bereich unterteilt und die Grenze zwischen den beiden Bereichen wird markiert.

Die Gefahr wird reell, wenn **der Fussgänger/die Fussgängerin den Gefahrenbereich betritt** und gleichzeitig ein Zug auf dem betreffenden Gleis in Bewegung ist.

Das Betreten des Gefahrenbereichs kann aus verschiedenen Gründen erfolgen:

- a) Der Fussgänger/die Fussgängerin umgibt sich instinktiv mit einer Pufferzone. Der menschliche Körper und diese Pufferzone belegen zusammen zwischen 0,27 bis 0,84 m<sup>2</sup> Fläche, abhängig von soziologischen und umweltbedingten Faktoren.

Weil der Gefahrenbereich auf dem Perron frei zugänglich ist, könnte der Fussgänger/die Fussgängerin dessen/deren Pufferzone beeinträchtigt wird, versuchen, diesen «Mindest-Lebensraum» über das Eindringen in die freie Fläche des Gefahrenbereichs wieder herzustellen.

Eine beeinträchtigte Pufferzone zeigt eine zu hohe Dichte aus der Sicht der Fussgänger/innen an.

- b) Wenn die Geschwindigkeit bei der Fortbewegung des Fussgängers/der Fussgängerin eine Rolle spielt (Absicht, die Verschiebungszeit möglichst kurz zu halten; Notwendigkeit, einen Termin [Arbeitsbeginn, Anschluss an ein anderes Verkehrsmittel usw.] einzuhalten), wird der Fussgänger/die Fussgängerin versuchen, diese Geschwindigkeit beizubehalten.

Wenn die Geschwindigkeit einer sich fortbewegenden Gruppe von Fussgänger/innen nachlässt, wird der Fussgänger in Eile die langsamer gehende Gruppe überholen. Die freie Fläche des Gefahrenbereichs auf dem Perron ermöglicht dieses Überholen.

Die Geschwindigkeit steht in Zusammenhang mit der Dichte. Die Dichte erhöht sich, wenn die Geschwindigkeit abnimmt.

- c) Der Fussgänger/die Fussgängerin bewegt sich auf ein Ziel hin. Tritt auf dem Weg zum Ziel ein Hindernis auf, wird der Fussgänger eine Alternative in seinem/ihrem näheren Umfeld prüfen, um das beabsichtigte Ziel zu erreichen.

Wenn der sichere Bereich besetzt ist und ein Hindernis darstellt, das kein oder nur ein erschwertes Passieren erlaubt (hohe Dichte), stellt die freie Fläche des Gefahrenbereichs auf dem Perron eine freie Alternativfläche auf dem Weg zum beabsichtigten Ziel dar.

In allen drei Fällen ist das Gefährdungsbild durch eine zu hohe Dichte charakterisiert.

Ein neues von Moussaïd, Helbing und Théraulaz im 2011 publiziertes Modell, welches auf psychologischen Erkenntnisse basiert, berücksichtigt, dass Fussgänger dem Weg folgen, auf dem am wenigsten Hindernisse das Sichtfeld verdecken; in anderen Worten, dass Fussgänger Lücken suchen. Dies bestätigt somit bei einer grösseren Dichte die häufigere Benützung des Gefahrenbereiches, welcher auf dem Perron eine freie Fläche darstellt.

## 17.4 Folgerung des Bemessungsgrundsatzes

Grundsatz: *Die Bemessung der Perrons hat auf der Basis der langfristigen Personendichte zu erfolgen.*

Folgerung: *Der obere Grenzwert der Personendichte darf keinesfalls überschritten werden.*

Diese Folgerung ist direkt aus der Herleitung des oben erwähnten Lehrsatzes abgeleitet.

Wird der obere Grenzwert der Personendichte überschritten, kann daraus eine unmittelbare Gefährdung resultieren. Dieser Punkt wird im folgenden Abschnitt detailliert behandelt.

## 17.5 Bemessungswerte

Der Begriff der Dichte wird in den Verkehrswissenschaften allgemein dafür benutzt, um einen Verkehrszustand zu beschreiben. Er wird als «Level of Service» (LOS) ausgedrückt.

Dabei gilt die Definition von Fruin und des TRB für Fussgänger/innen in Bewegung als anerkannte Grundlage in diesem Bereich. Die Werte in der folgenden Tabelle entsprechen den neusten Definitionen nach TRB.

<b>LOS A</b>	<i>Pedestrian density <math>&lt; 0.18 P/m^2</math>; flow <math>\leq 0.27 P/ms</math></i> At a walkway LOS A, pedestrians move in desired paths without altering their movements in response to other pedestrians. Walking speeds are freely selected, and conflicts between pedestrians are unlikely.
<b>LOS B</b>	<i>Pedestrian density <math>0.18-0.27 P/m^2</math>; flow <math>0.27-0.38 P/ms</math></i> At LOS B, there is a sufficient area for pedestrians to select walking speeds freely, to bypass other pedestrians, and to avoid crossing conflicts. At this level, pedestrians begin to be aware of other pedestrians, and to respond to their presence when selecting a walking path.
<b>LOS C</b>	<i>Pedestrian density <math>0.27-0.45 P/m^2</math>; flow <math>0.38-0.55 P/ms</math></i> At LOS C, space is sufficient for normal walking speeds and for bypassing other pedestrians in primarily unidirectional streams. Reverse-direction or crossing movements can cause minor conflicts and speeds and flow rate are somewhat lower.
<b>LOS D</b>	<i>Pedestrian density <math>0.45-0.71 P/m^2</math>; flow <math>0.55-0.82 P/ms</math></i> At LOS D, freedom to select individual walking speed and to bypass other pedestrians is restricted. Crossing or reverse-flow movements face a high probability of conflict, requiring frequent change changes in speed and position. The LOS provides reasonably fluid flow, but friction and interaction between pedestrians is likely.
<b>LOS E</b>	<i>Pedestrian density <math>0.71-1.33 P/m^2</math>; flow <math>0.82-1.25 P/ms</math></i> At LOS E, virtually all peds restrict normal walking speed, frequently adjusting gait or shuffling. Space is not sufficient for passing slower peds. Cross or reverse flow movements are possible only with extreme difficulties. Design volumes approach limit of walkway capacity, with stoppages and interruptions to flow.
<b>LOS F</b>	<i>Pedestrian density <math>\geq 1.33 P/m^2</math>; flow varies</i> At LOS F, all walking speeds are severely restricted; forward progress is made only by shuffling. There is frequent, unavoidable contact with other peds. Cross- and reverse-flow movements are virtually impossible. Flow is sporadic and unstable. Space is more characteristic of queued peds than of moving ped flows.

*Abbildung 12 Beschreibung der Leistungsniveaus (Levels of Service, LOS) im Fall einer horizontalen Fortbewegung (level walkway = Niveau Fussweg)*

Die Kriterien von Weidmann (1993) in Anlehnung an Pushkarev und Zupan (1975) sowie diejenigen des TRB (1985) ermöglichen die unterschiedlichen Leistungsniveaus am besten zu beschreiben.

Diese Kriterien sind:

- K1 Möglichkeit zur freien Geschwindigkeitswahl
- K2 Häufigkeit eines erzwungenen Geschwindigkeitswechsels
- K3 Zwang zur Beachtung anderer Fussgänger
- K4 Häufigkeit eines erzwungenen Richtungswechsels
- K5 Behinderung bei Querung eines Fussgängerstromes
- K6 Behinderung bei Personenfluss aus entgegengesetzter Richtung
- K7 Behinderung beim Überholen
- K8 Häufigkeit ungewollter Berührungen

Die Beschreibung der Kriterien anhand der Dichte zeigt deutlich, dass die Bedingungen für LOS D (Personendichte über  $0,45 \text{ P/m}^2$  nach TRB) auf einem Perron nicht akzeptabel sind.

Bei Weidmann (1993) kommt das Kriterium K5 nicht vor; es hat keine Relevanz bei Perrons, die im Vergleich zu ihrer Länge sehr schmal sind.

0,30 bis $0,45 \text{ P/m}^2$ , LOS C		0,45 bis $0,60 \text{ P/m}^2$ , LOS D
Geschwindigkeitswahl bei Gegenverkehr leicht eingeschränkt.	K1	Geschwindigkeit nicht mehr frei wählbar.
Keine erzwungenen Geschwindigkeitswechsel.	K2	Vermehrt erzwungene Geschwindigkeitswechsel.
Beachtung anderer Fussgänger erforderlich.	K3	Beachtung anderer Fussgänger erforderlich.
Kein erzwungener Richtungswechsel.	K4	Richtungswechsel nötig.
Gelegentliche Behinderungen bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung.	K6	Starke Behinderungen bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung.
Leichte Behinderung beim Überholen, Richtungswechsel nötig.	K7	Starke Behinderung beim Überholen, Richtungswechsel nötig.
Keine unbeabsichtigte Berührung.	K8	Keine unbeabsichtigte Berührung.

Abbildung 13 Beschreibung der Kriterien K1 bis K4 und K6 bis K8 für die Leistungsniveaus C und D (Weidmann 1993).

Eine offensichtliche Verschlechterung von LOS C zu LOS D bei den Kriterien K1, K2, K4, K6 und K7 ist erkennbar. Dies führt beim Leistungsniveau D (Dichte  $> 0,45 \text{ P/m}^2$  nach TRB) dazu, dass Fussgänger/innen in den Gefahrenbereich eindringen.

Im Gegensatz zu Anlagen für den Strassenverkehr und anderen Anlagen für den Fussgängerverkehr (Durchgänge usw.), bei denen ein Überschreiten des Bemessungswertes zu einem Stau in der Anlage ohne Gefährdung führt, zieht ein auch nur kurzzeitiges Überschreiten des Grenzwertes der Personendichte im Fall eines Eisenbahnperrons eine Überlastung nach sich, die unmittelbar zum Entstehen und vermehrten Auftreten von Gefahrensituationen führt (Eindringen des Fussgängers/der Fussgängerin in den Gefahrenbereich). Die Merkmale der LOS-Abstufungen, die durch die Kriterien  $K_i$  ausführlich beschrieben werden, sowie die spezifischen Systemparameter des «Perron»-Systems (vgl. dazu Kapitel 17.1 oben) zeigen, dass die Gefahr ab LOS D auf der dem Gleise zugewandten Seite, auf der ein Zug vorbeifahren kann, reell ist (Eintretenswahrscheinlichkeit gross); nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnisse sollte, um die

Eintretenswahrscheinlichkeit auf einem für die Sicherheit akzeptablen Niveau zu halten, LOS C (Dichte  $\leq 0,45 \text{ P/m}^2$  nach TRB) nicht überschritten werden.

Bei der Modellierung

- können die Bereiche, in denen Reisende keiner Gefahr ausgesetzt sind (beispielsweise an der Längsseite eines stehenden Zuges), ausgeschieden werden. Wenn eine höhere Maximaldichte in diesen Bereichen keine negativen Auswirkungen auf einen Bereich hat, für den aufgrund der Gefahr höchstens ein LOS C festgesetzt ist, kann in den nicht betroffenen Bereichen ein höherer LOS angewendet werden. Beobachtungen zeigen jedoch, dass mit zunehmender Dichte eine solche Differenzierung immer weniger möglich wird.
- kann das tatsächliche Risiko abgeschätzt werden, das von der Gefahr eines temporären Überschreitens (von kurzer Dauer, einige Sekunden lang) der höchst zulässigen Personendichte ausgeht.

Solche Beurteilungen erfordern genügende Kenntnisse des Systems und seiner Parameter über den ganzen Bemessungshorizont hinweg.

Allgemeine Überschreitungen der Höchstdichte in den Bereichen mit einer tatsächlichen Gefahr sind nur zum Preis von einschneidenden Betriebseinschränkungen der Bahn möglich und nur, wenn das Risiko tragbar bleibt.

#### Grenzen der Modellierung

Untenstehende Phänomene führen zu Abweichungen bei Berechnungsmodellen, welche eine gleichmässig verteilte Dichte annehmen bzw. bei «Agenten basierten Modellen», bei welche diese Phänomene nicht berücksichtigt würden. Diese Abweichungen können zu einer falschen Beurteilung der effektiven Sicherheit auf einem Perron führen.

- Phänomen des Versperren des Zugangs zu freien Flächen beim Umstieg der Reisenden (siehe Abbildung 14a). Eine Modellierung ohne Berücksichtigung der freien Flächen (Dichte null) ergibt zu optimistische, auf der unsicheren Seite liegende Resultate.

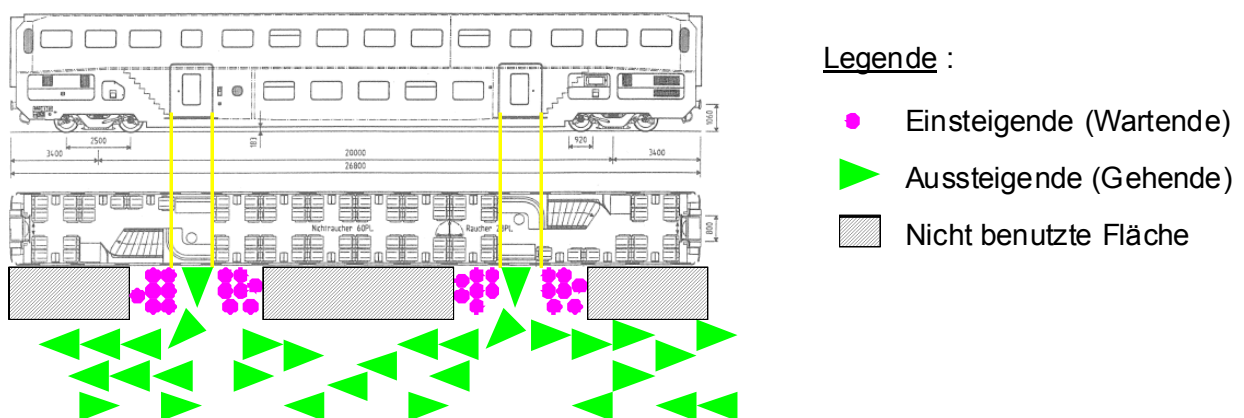


Abbildung 14a Versperren des Zugangs zu freien Flächen beim Umstieg

- Phänomen der ausweichenden Bewegung von den verstopften Zonen weg durch Benützung der entgegengesetzten Seite des Perrons (siehe Abbildung 14b). Insbesondere bei Hindernissen die eine gewisse Grösse aufweisen (Treppe, Wartekabine, usw.), kann diese Bewegung zu hohen Gefährdungen führen.

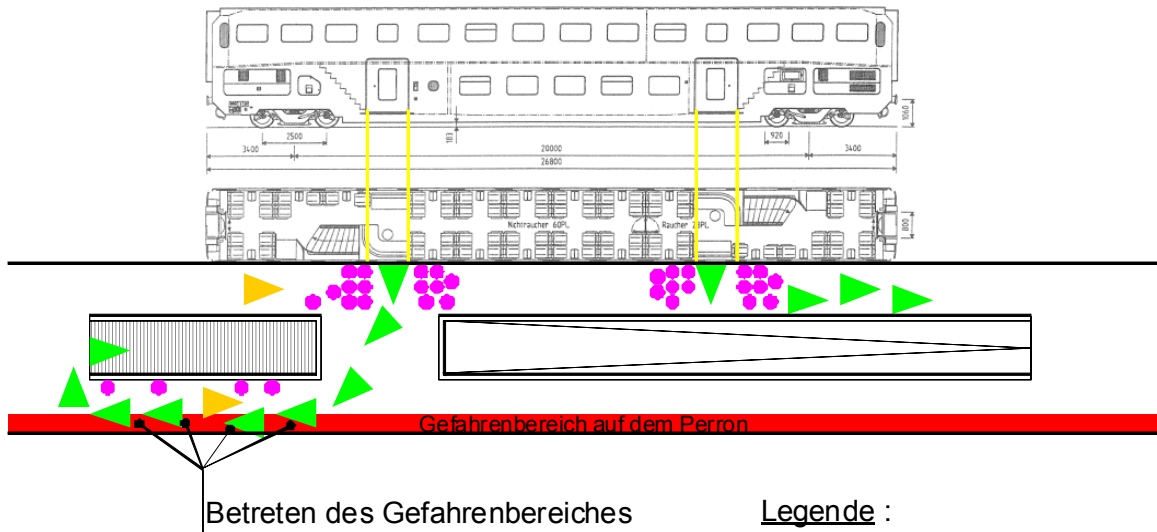


Abbildung 14b Ausweichende Bewegung

Die Benützung des Phänomens der Menschenschlangen, die sich spontan bilden und eine höhere Dichte zulassen, kann riskant werden. Obschon dieses Phänomen auf Perrons entstehen kann, sollte es nicht berücksichtigt werden, weicht doch die Topologie der Perrons infolge «weicher» Systemgrenze, unregelmässiger Einrichtung und wartenden Reisenden oft zu sehr vom Idealfall ab.

## 17.6 Risikobeurteilung

Das Risiko ist eine Funktion der Häufigkeit des Auftretens des Elements «Zug» im System.

Das höchste Risiko besteht kurz vor und während der Vorbeifahrt eines Zuges: Einerseits wegen dem Zug selbst (er ist die Gefahrenquelle) und andererseits wegen der erhöhten Personendichte, die in diesem Augenblick auf dem Perron herrscht. Die Gründe dafür sind, dass

- a) die Dichte bis zur Einfahrt des erwarteten Zuges zunimmt;
- b) wegen der Fahrplanstruktur und/oder der Belastung des Eisenbahnnetzes die Züge in kurzen Intervallen aufeinander folgen;
- c) wegen der Fahrplanstruktur zwei Züge am selben Perron im gleichen (kurzen) Zeitintervall ankommen können.

Vor dem Hintergrund der derzeitigen und geplanten Betriebsmerkmale der Schweizer Eisenbahnen ist die Häufigkeit des Auftretens des Elements «Zug» im System allgemein gross.

Zudem entstehen grosse Menschenansammlungen im Allgemeinen in Bahnhöfen, die auch eine hohe Dichte des Eisenbahnverkehrs aufweisen.

Allerdings wäre eine Differenzierung des Risikos bei den Bahnhöfen mit einer geringen Auftretenshäufigkeit des Elements «Zug» ein Fehler. Dies insbesondere wegen des oben

erwähnten Grundes a): Das Risiko wäre nur tief, wenn beide Elemente des Systems (der Zug und die Reisenden) nicht gleichzeitig im System präsent wären. Das Ziel der Bemessung ist aber der Schutz der Reisenden; mit ihrem Nichtauftreten im System wäre eine Differenzierung dann hinfällig.

Aus diesen Gründen reduziert sich die Risikomatrix auf die einzige Möglichkeit einer hohen Eintretenswahrscheinlichkeit.

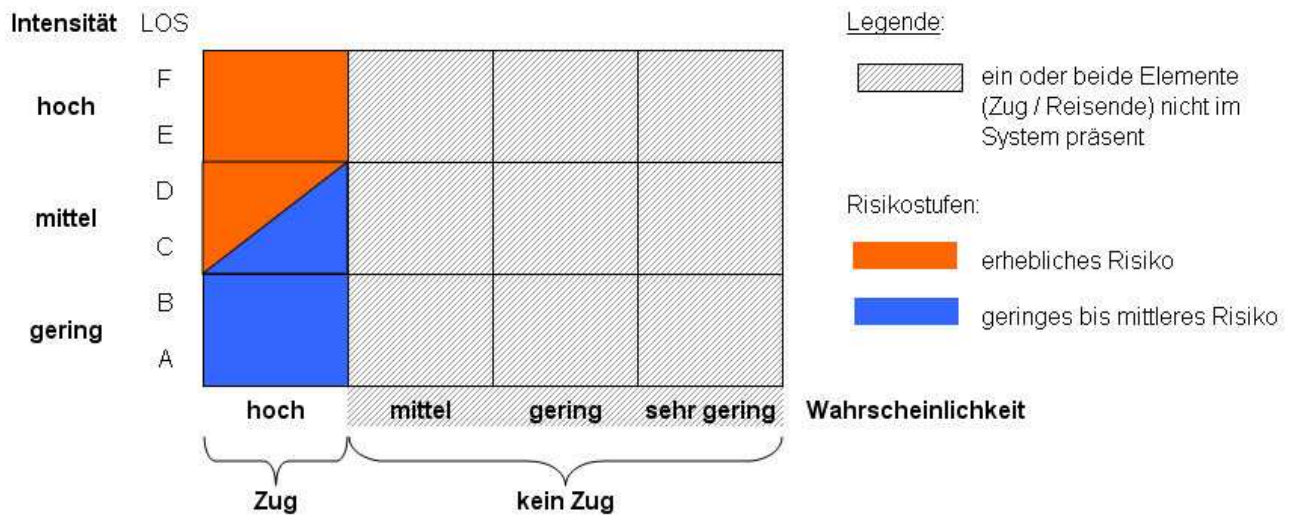


Abbildung 15 Risikomatrix für Personen auf einem Perron für die Gefahr «Zug»

## 18. SCHLUSSFOLGERUNG

Die pragmatische Studie der Parameter, die für den sicheren Bereich auf Perrons massgebend sind, legt den Schluss nahe, die Perrons auf einer langfristigen Basis zu bemessen, wobei Mindestbreiten für den sicheren Bereich unumgänglich sind.

### 18.1 Vorschlag für Normalspurbahnen

Im Rahmen der Revision 2006 der AB-EBV wurde vorgeschlagen, die Ausführungsbestimmung zu Art. 21 Ziffer 2 (AB 21.2) und zusätzlich zu den Vorschlägen für den Gefahrenbereich wie folgt zu ergänzen:

- 3        Sicherer Bereich
- Der sichere Bereich ist auf der Basis des langfristigen absehbaren Personenaufkommens auf dem Perron zu definieren.
- Folgende Mindestbreiten sind aber einzuhalten:
- 31        In der Regel 1,50 m.
- 32        Längs Hindernissen von beschränkter Länge mit Festhaltungsmöglichkeiten (z.B. Treppenzugänge, Wartekabine, Richtwert max. 10 m Länge) sowie bei Perronenden, ist ein geringerer Abstand zulässig, aber mindestens 0,90 m. Reisende müssen sich jedoch vollständig ausserhalb des Gefahrenbereichs aufhalten können.

### 18.2 Vorschlag für Schmalspurbahnen

Die unter Kapitel 18.1 vorgeschlagenen Bestimmungen sind vor dem Hintergrund, dass die Merkmale der Reisenden dieselben sind, ebenfalls für die Schmalspurbahnen anwendbar. Es wurde folgende neue Ziffer der AB-EBV vorgeschlagen:

- 1        AB 21.2 Normalspur ist für die Meterspur unter Berücksichtigung nachfolgender Ziffern 2 und 3 anwendbar.

Weil Strassenbahnen im Normalfall – und in jedem Fall an den Haltestellen – auf Sicht fahren, ist es möglich, den sicheren Bereich auf die erforderliche Mindestbreite zu verringern. Es wurde folgende neue Ziffer der AB-EBV vorgeschlagen:

- 3        Sicherer Bereich
- Für den sicheren Bereich bei Strassenbahnen ist der geringere Abstand von mindestens 0,90 m gemäss Ziffer 32 AB 21.2 N generell zulässig.



### 18.3 **Übergangsbestimmungen**

Die neuen Sicherheitsabstände (des Gefahrenbereichs) werden für Personenzüge zwar verringert, für Güterzüge jedoch erhöht. Deshalb sind auch hier Übergangsbestimmungen zum sicheren Bereich in den bestehenden Bahnhöfen notwendig. Diese finden sich ebenfalls in der Richtlinie des BAV «Übergangsbestimmungen für die Ausgestaltung des sicheren Bereichs von bestehenden Anlagen» vom 2. Juli 2006.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DB Systemtechnik, 2004, Studie zu aerodynamischen Lasten am Bahnsteig. München (im Auftrag des BAV). Kurztitel: DB Systemtechnik 2004
- [2] Laboratoire de mécanique des fluides environnementale EPFL, 2005, Questions relatives au souffle provoqué par le passage d'un train, Lausanne. Mitteilung an das BAV. Kurztitel: EPFL 2005
- [3] DB Systemtechnik, 2006, Prüfbericht. Messung der zuginduzierten Strömungsgeschwindigkeiten am Bahnsteig Kiesen an der Strecke Bern – Thun. München (im Auftrag des BAV). Kurztitel: DB Systemtechnik 2006
- [4] Viel, E., 2000, La marche humaine, la course et le saut, Paris: Masson. Kurztitel: Viel 2000
- [5] VSS, 1992, Geometrisches Normalprofil. Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer, Schweizer Norm SN 640 201, Zürich. Kurztitel: VSS 1992
- [6] U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, 2003, Aerodynamic Effects of High-Speed Trains, RR 03-07, Washington DC. Kurztitel: FDA 2003
- [7] Office de recherches et d'essais (ORE), 1985, Problèmes soulevés par la circulation des trains à grande vitesse dans les tunnels, Question C 149, Utrecht. Kurztitel: ORE 1985
- [8] Daamen, W., 2004, Modelling Passenger Flows in Public Transport Facilities, in: The Netherland TRAIL Research School (Hrsg.) Trail Thesis Series, T2004/6, Delft: Delft University Press. Kurztitel: Daamen 2004
- [9] Weidmann, U., 1993, Transporttechnik der Fussgänger, Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturauswertung), in: Schriftenreihe des IVT Nr. 90, zweite ergänzte Auflage, Zürich. Kurztitel: Weidmann 1993
- [10] Moussaïd, M., Helbing, D., Théraulaz, G., 2011, How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters, in: PNAS Early Edition, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, <http://www.pnas.org/>

# ANHANG 1

## VERGLEICH DER VERSCHIEDENEN VORSCHRIFTEN UND DER STUDIENERGEBNISSE

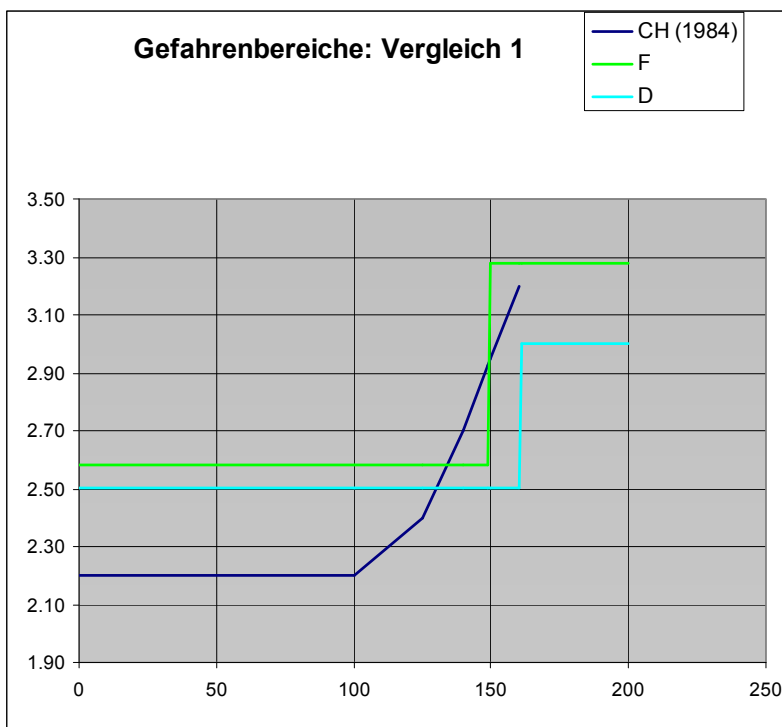


Abbildung A1.1 Vergleich der Vorschriften in Frankreich und Deutschland mit den AB-EBV Ausgabe 1984

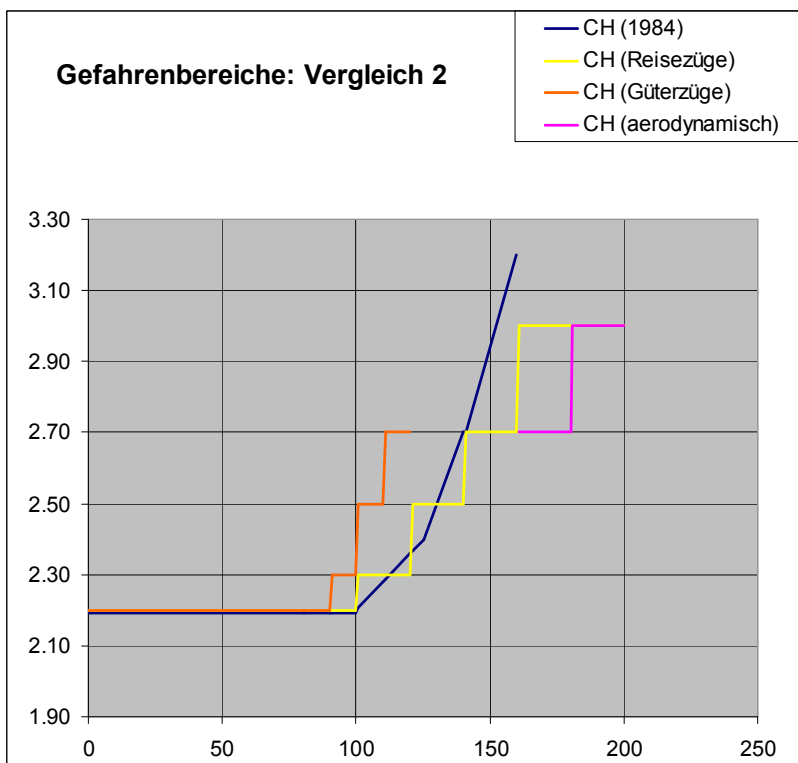


Abbildung A1.2 Vergleich der Schweizer Vorschriften (Ausgabe 1984) mit den Ergebnissen dieser Studie

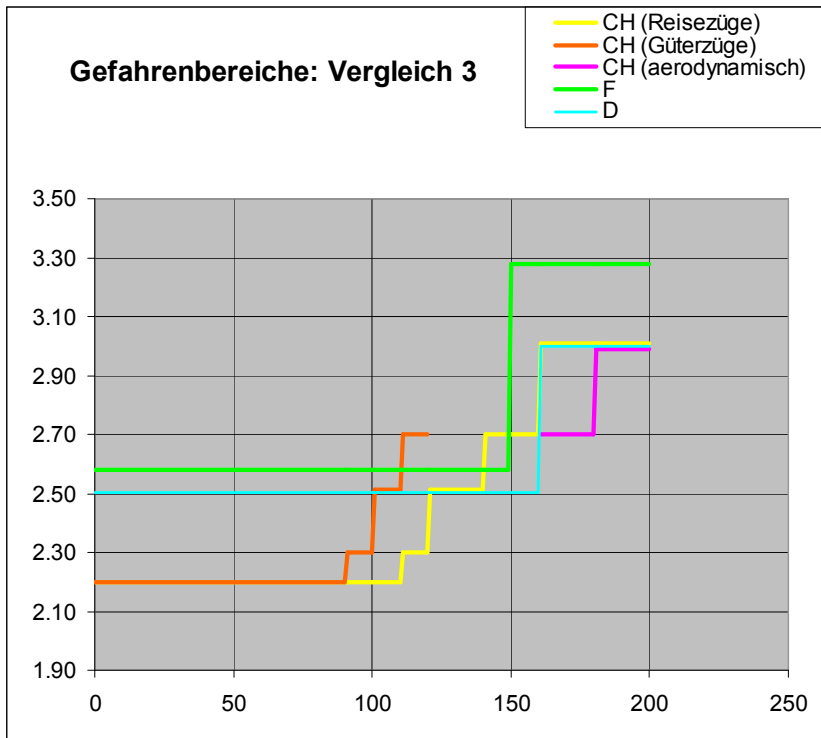


Abbildung A1.3 Vergleich der Vorschriften in Frankreich und Deutschland mit den Ergebnissen dieser Studie

## ANHANG 2

### DARSTELLUNG DER VERSCHIEDENEN ZÜGE NACH BAUART – ZUGINDUZIERTE LUFTSTRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT

**Hinweis:** Die unten dargestellten Kurven der Luftströmungsgeschwindigkeiten ( $U$ ), die bei der Vorbeifahrt des Zuges entstehen, stellen das reale Phänomen (vgl. dazu Kapitel 9.3.1 und Abbildung 5) nur schematisch dar.



Abbildung A2.1 ICE (Kategorie nach AB-EBV: aerodynamisch gut profilierte Züge)

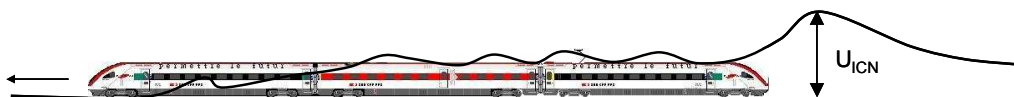


Abbildung A2.2 ICN (Kategorie nach AB-EBV: aerodynamisch gut profilierte Züge)

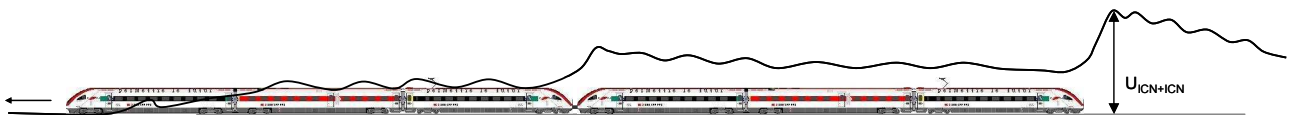


Abbildung A2.3 2 x ICN (Kategorie nach AB-EBV: aerodynamisch gut profilierte Züge, trotz der Lücke zwischen den beiden Wagengruppen, die eine beträchtliche Luftströmung generiert)

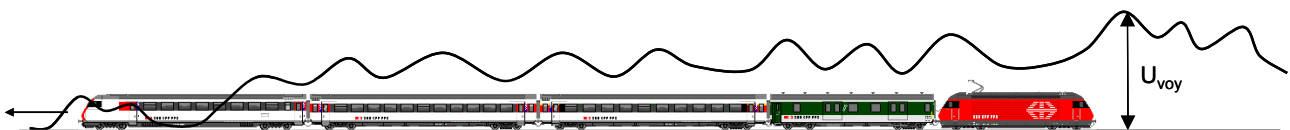


Abbildung A2.4 Reisezug (Kategorie nach AB-EBV: Reisezüge). DB Systemtechnik 2004 (Kapitel 9) bildet den Regionalzug und den Reisezug mit der gleichen Hüllkurve ab

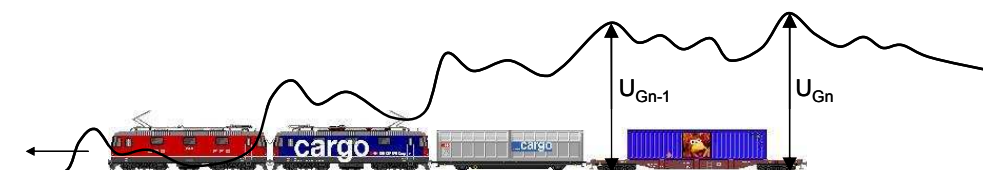


Abbildung A2.5 Güterzug (Kategorie nach AB-EBV: Güterzüge)