

**Univ. Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Wendler**  
**Dipl. Ing. Nils Nießen**

# **Beeinflussung der Leistungsfähigkeit des Gotthard-Basistunnels durch den Haltepunkt Porta Alpina Sedrun**

**Eisenbahnbetriebswissenschaftliches Gutachten  
für das Bau-, Verkehrs- und Forstdepartement Graubünden  
beauftragt durch SMA und Partner AG**

**APRIL 2005**



# INHALTSVERZEICHNIS

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>EINLEITUNG .....</b>                    | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>MODELLZÜGE .....</b>                    | <b>2</b>  |
| <b>3</b> | <b>MINDESTZUGFOLGEZEITEN .....</b>         | <b>3</b>  |
| <b>4</b> | <b>LEISTUNGSFÄHIGKEITSBERECHNUNG .....</b> | <b>5</b>  |
|          | 4.1 STRELE Formel.....                     | 5         |
|          | 4.2 UIC Leaflet 406 .....                  | 5         |
|          | 4.3 Szenario Finöv .....                   | 6         |
|          | 4.4 Szenario 260.....                      | 7         |
|          | 4.5 Szenario 260 reduziert.....            | 8         |
| <b>5</b> | <b>FAZIT .....</b>                         | <b>9</b>  |
| <b>6</b> | <b>LITERATUR .....</b>                     | <b>10</b> |

# 1 Einleitung

In der Schweiz werden derzeit Überlegungen angestellt, den im Bau befindlichen Gotthard-Basistunnel (GBT) durch einen unterirdischen Haltepunkt im Bereich der Multifunktionsstelle Sedrun ("Porta Alpina Sedrun") zu ergänzen. Neben der bautechnischen Machbarkeit muss überprüft werden, welche Auswirkung die Errichtung eines solchen Haltepunktes auf die Leistungsfähigkeit und Betriebsqualität im GBT besitzt. Eine erste Abschätzung der betrieblichen Auswirkungen soll im Rahmen dieses eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Gutachtens erfolgen.

Verglichen werden dabei ein Mit-Fall und ein Ohne-Fall. Eine feingranulare Aufnahme der Infrastruktur- und Betriebsprogrammdateien erfolgt in dieser frühen Planungsphase noch nicht. Die für die Leistungsfähigkeitsbetrachtung erforderliche Berechnung der maßgebenden Mindestzugfolgezeiten wird daher auf der Basis von Schätzformeln nach SCHWANHÄÜßER und ROSS durchgeführt, wie dies auch in den Software-Werkzeugen der Deutschen Bahn AG zur strategischen Netzplanung üblich ist.

Der für die Berechnung der Mindestzugfolgezeiten maßgebende Abschnitt erstreckt sich von Arth-Goldau bis Bellinzona. In einer Variante wird für diese Zulaufstrecken zum GBT der Ist-Zustand angenommen, in einer weiteren Variante wird ein Ausbau dieser Strecken unterstellt.

Die eigentliche Leistungsfähigkeitsberechnung erfolgt mit zwei Verfahren, dem fahrplanunabhängigen Verfahren nach SCHWANHÄÜßER (sog. STRELE-Formel) und dem Verfahren des verketteten Belegungsgrades nach ADLER, welches seit 2004 auch im UIC Leaflet 406 "Capacity" empfohlen wird.

## 2 Modellzüge

Für die Untersuchung werden die einzelnen Züge basierend auf dem Schlussbericht zur „Finanzierung öffentlicher Verkehr“ (Finöv) vom 18. Februar 1997 zu so genannten Modellzügen zusammengefasst. Insgesamt ergeben sich sechs Modellzugklassen, darunter ein Personenverkehrszug A ohne Halt und ein Personenverkehrszug B für den die Varianten mit Halt und ohne Halt berechnet werden. Außerdem werden hochqualifizierte (HGZ), qualifizierte (QGZ), lange (LGZ) und konventionelle (KGZ) Güterzüge mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Längen angenommen.

| Modellzüge | Rang | Geschwindigkeit |               | Länge [m] |
|------------|------|-----------------|---------------|-----------|
|            |      | Strecke [km/h]  | Tunnel [km/h] |           |
| SPFV A     | 2    | 100             | 200           | 400       |
| SPFV B     | 2    | 100             | 200           | 200       |
| HGZ        | 8    | 80              | 160           | 450       |
| QGZ        | 12   | 80              | 120           | 750       |
| LGZ        | 12   | 80              | 120           | 1500      |
| KGZ        | 20   | 80              | 100           | 750       |

**Tabelle 1: Modellzüge**

Die maßgebenden Geschwindigkeiten sind für die Zulaufstrecken 100 km/h bzw. 80 km/h, im GBT werden höhere Geschwindigkeiten angesetzt. Fahrzeitreserven für den Personen- und Güterverkehr auf der Strecke (8% und 10%) und im Gotthard-Basistunnel (5% und 7%) sind berücksichtigt.

### 3 Mindestzugfolgezeiten

Die Mindestzugfolgezeit ist jener zeitliche Abstand, in dem sich zwei Züge auf einem Streckenabschnitt folgen können, ohne sich in ihrem Lauf zu behindern. Für ihre Bestimmung werden die Sperrzeitentreppen der beiden Züge so dicht wie möglich aneinander geschoben, so dass sich die Sperrzeitentreppen gerade berühren. Die Mindestzugfolgezeit ergibt sich als Differenz der Zeiten zwischen dem Beginn der Sperrzeitentreppe des vorlaufenden Zuges und dem Beginn der Sperrzeitentreppe des nachlaufenden Zuges. Die Mindestzugfolgezeit ist nicht für einzelne Züge, sondern nur für Zugfolgefälle definiert. Die Mindestzugfolgezeiten sind die Grundlagen für die nachfolgenden Leistungsfähigkeitsberechnungen.

Die Berechnung der Mindestzugfolgezeiten erfolgt für den Abschnitt Arth-Goldau - Bellinzona. In der Variante A wird angenommen, dass die Zulaufstrecken zum GBT (Arth-Goldau – Rynächt und Bellinzona – Pellegio) ausgebaut sind und den gleichen Standard wie der GBT aufweisen. In der Variante B wird für die Zulaufstrecken der Ist-Zustand unterstellt.

Für den GBT wird ETCS level 2 zugrunde gelegt, die mittlere Blocklänge liegt bei 1,3 km. Für den in Sedrun haltenden Personenzug wird eine zusätzliche Sperrzeit von 2 Minuten zur Räumung des Bahnsteigs angesetzt. Die Abschätzung der Mindestzugfolgezeiten erfolgt nach Ross.

Für die Variante A (Zulaufstrecken ausgebaut) ergeben sich folgende Matrizen von Mindestzugfolgezeiten (in Minuten) für den Fall mit Halt des Personenzuges B (SPFV BmH), bzw. ohne Halt des Personenzuges B (SPFV BoH).

|          | SPFV A | SPFV BmH | HGZ   | QGZ  | LGZ  | KGZ  |
|----------|--------|----------|-------|------|------|------|
| SPFV A   | 1,65   | 1,65     | 1,65  | 1,65 | 1,65 | 1,65 |
| SPFV BmH | 1,59   | 1,59     | 1,59  | 1,59 | 1,59 | 1,59 |
| HGZ      | 6,94   | 6,94     | 2,10  | 2,10 | 2,10 | 2,10 |
| QGZ      | 15,48  | 15,48    | 10,63 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| LGZ      | 16,44  | 16,44    | 11,59 | 3,17 | 2,62 | 2,62 |
| KGZ      | 21,94  | 21,94    | 17,09 | 8,67 | 8,12 | 2,30 |

**Tabelle 2: Mindestzugfolgezeiten Variante A ohne Halt [min]**

|          | SPFV A | SPFV BoH | HGZ   | QGZ  | LGZ  | KGZ  |
|----------|--------|----------|-------|------|------|------|
| SPFV A   | 1,65   | 1,65     | 1,65  | 1,65 | 1,65 | 1,65 |
| SPFV BoH | 6,33   | 5,58     | 5,58  | 1,59 | 1,59 | 1,59 |
| HGZ      | 6,94   | 3,24     | 2,10  | 2,10 | 2,10 | 2,10 |
| QGZ      | 15,48  | 11,78    | 10,63 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| LGZ      | 16,44  | 12,74    | 11,59 | 3,17 | 2,62 | 2,62 |
| KGZ      | 21,94  | 18,24    | 17,09 | 8,67 | 8,12 | 2,30 |

**Tabelle 3: Mindestzugfolgezeiten Variante A mit Halt [min]**

Für die Variante B (Ist-Zustand der Zulaufstrecken) ergeben sich folgende Matrizen von Mindestzugfolgezeiten (in Minuten) für den Fall mit Halt des Personenzuges B (SPFV BmH), bzw. ohne Halt des Personenzuges B (SPFV BoH).

|          | SPFV A | SPFV BoH | HGZ   | QGZ  | LGZ  | KGZ  |
|----------|--------|----------|-------|------|------|------|
| SPFV A   | 2,41   | 2,41     | 2,41  | 2,41 | 2,41 | 2,41 |
| SPFV BoH | 2,28   | 2,28     | 2,28  | 2,28 | 2,28 | 2,28 |
| HGZ      | 6,94   | 6,94     | 3,00  | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| QGZ      | 15,48  | 15,48    | 10,63 | 3,25 | 3,25 | 3,25 |
| LGZ      | 16,44  | 16,44    | 11,59 | 3,87 | 3,87 | 3,87 |
| KGZ      | 21,94  | 21,94    | 17,09 | 8,67 | 8,12 | 3,25 |

**Tabelle 4: Mindestzugfolgezeiten Variante B ohne Halt [min]**

|          | SPFV A | SPFV BmH | HGZ   | QGZ  | LGZ  | KGZ  |
|----------|--------|----------|-------|------|------|------|
| SPFV A   | 2,41   | 2,41     | 2,41  | 2,41 | 2,41 | 2,41 |
| SPFV BmH | 6,33   | 5,58     | 5,58  | 2,28 | 2,28 | 2,28 |
| HGZ      | 6,94   | 3,24     | 3,00  | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| QGZ      | 15,48  | 11,78    | 10,63 | 3,25 | 3,25 | 3,25 |
| LGZ      | 16,44  | 12,74    | 11,59 | 3,87 | 3,87 | 3,87 |
| KGZ      | 21,94  | 18,24    | 17,09 | 8,67 | 8,12 | 3,25 |

**Tabelle 5 : Mindestzugfolgezeiten Variante B mit Halt [min]**

## 4 Leistungsfähigkeitsberechnung

### 4.1 STRELE Formel

Die Berechnung der Leistungsfähigkeit der Infrastruktur erfolgt zunächst mit dem fahrplanunabhängigen (angebotsunabhängigen) Verfahren nach SCHWANHÄÜßER, der sog. STRELE-Formel. Dieses Verfahren ermittelt die außerplanmäßigen Wartezeiten, also Folgeverspätungen, mit Hilfe eines analytischen, auf Ansätzen der Warteschlangentheorie beruhenden Formelwerks und nicht über eine fahrplanscharfe Einzelzugbetrachtung. Wird der vorhandenen außerplanmäßigen Wartezeit eine zulässige Wartezeit gegenübergestellt, so lässt sich für diesen Zugmix eine optimale Auslastung (Leistungsfähigkeit) berechnen, für die dann die angestrebte, befriedigende Betriebsqualität erreicht wird. Wird die zulässige Wartezeit um mehr als 50% überschritten, so ist eine mangelhafte Betriebsqualität zu erwarten.

Bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit für den Mit- und Ohne-Fall gehen die Einbruchsverspätungen der Modellzüge mit ein. Grundvoraussetzung, um die Anforderungen des Trassenbedarfs am GTB zu erfüllen, ist eine hohe Pünktlichkeit aller Züge an den Querschnitten Arth-Goldau und Bellinzona. Die Wahrscheinlichkeit einer Einbruchsverspätung liegt für den Personenfernverkehr bei 20%, für Güterzüge bei 50%. Die mittlere Verspätung der verspäteten Züge beträgt 4 Minuten. Als Richtwert für die zulässigen Wartezeiten werden die Qualitätsniveaus abhängig vom Anteil der Reisezüge nach SCHWANHÄÜßER angewandt, die auch bei der Deutschen Bahn AG verwendet werden.

### 4.2 UIC Leaflet 406

In einem weiteren Schritt wird die Leistungsfähigkeit nach dem UIC Leaflet 406 "Capacity" ausgewiesen. Dort wird der verkettete Belegungsgrad nach ADLER ermittelt. Erreicht dieser 60%, so ist die Leistungsfähigkeit des Streckenabschnitts erreicht. Für diese Untersuchung wird die Grenze, wo eine mangelhafte Betriebsqualität erwartet wird, bei 67,5% gesetzt.



### 4.3 Szenario Finöv

In dem Szenario *Finöv* werden für den Tag (16 Stunden) pro Richtung 96 Trassen angenommen, d.h. es werden 6 Trassen je Stunde und Richtung unterstellt. Die Zugzahlen sind der Tabelle zu entnehmen.

| SPFV A | SPFV B | HGZ | QGZ | LGZ | KGZ | Gesamt |
|--------|--------|-----|-----|-----|-----|--------|
| 16     | 16     | 6   | 36  | 7   | 15  | 96     |

**Tabelle 6: Zugzahlen Szenario Finöv [Tag]**

Anhand dieses Zugmixes ergeben sich für die Variante A (Zulaufstrecken ausgebaut) und die Variante B (Ist-Zustand der Zulaufstrecken) folgende Kenngrößen.

| Leistungsfähigkeit   | STRELE       |            | UIC          |            |
|----------------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                      | befriedigend | mangelhaft | befriedigend | mangelhaft |
| Variante A ohne Halt | 97           | 108        | 96           | 108        |
| Variante A mit Halt  | 99           | 110        | 98           | 110        |
| Variante B ohne Halt | 90           | 100        | 88           | 98         |
| Variante B mit Halt  | 92           | 103        | 90           | 101        |

**Tabelle 7: Leistungsfähigkeit Szenario Finöv [Tag]**

Die Ergebnisse der Leistungsfähigkeitsberechnung nach STRELE und UIC sind nahezu identisch. So wird z. B. bei dem Zugmix des Szenarios *Finöv* bei 97 Zügen für den Untersuchungsabschnitt eine befriedigende Betriebsqualität nach STRELE erreicht, wenn die Zulaufstrecken ausgebaut sind (Variante A) und der Personenverkehrszug B nicht in Sedrun hält. Bei der Berechnung nach UIC liegt der entsprechende Wert bei 96 Zügen. Durch den Halt in Sedrun steigt die Leistungsfähigkeit bei befriedigender Betriebsqualität nach STRELE und UIC um 2 Trassen auf insgesamt 99, bzw. 98, Züge.

Die Zugzahlen der Variante *Finöv* lassen sich demnach bei einem Ausbau der Zulaufstrecken mit befriedigender Qualität realisieren. Für den Ist-Zustand der Zulaufstrecken kann eine befriedigende Betriebsqualität nicht erreicht werden.

Ein Halt des Personenverkehrszuges B in Sedrun wirkt sich positiv auf die Leistungsfähigkeit aus. Für den Fall mit Halt vergrößern sich zwar einige Mindestzugfolgezeiten für die Zugfolgefälle, in denen der haltende Zug vorausfährt, hingegen verringern sich die Mindestzugfolgezeiten, falls der haltende Zug einem Güterzug folgt, so dass insgesamt die mittlere Mindestzugfolgezeit sinkt.

## 4.4 Szenario 260

In dem Szenario 260 werden für den Tag (16 Stunden) pro Richtung 112 Trassen angenommen. Dies entspricht 7 Trassen je Stunde und Richtung. Im Vergleich zum Szenario *Finöv* wird von einem zusätzlichen Güterzug je Stunde und Richtung ausgegangen. Dabei wird im Gegensatz zum Szenario *Finöv* von einer geringeren Geschwindigkeit der hochqualifizierten Güterzüge (HGZ) ausgegangen. Daher sind die HGZ Züge in diesem Szenario den qualifizierten Güterzügen (QGZ) zugeordnet. Die Zugzahlen sind der Tabelle zu entnehmen.

| SPFV A | SPFV B | HGZ | QGZ | LGZ | KGZ | Gesamt |
|--------|--------|-----|-----|-----|-----|--------|
| 16     | 16     | 0   | 43  | 15  | 22  | 112    |

**Tabelle 8: Zugzahlen Szenario 260 [Tag]**

Anhand dieses Zugmixes ergeben sich für die Variante A (Zulaufstrecken ausgebaut) und die Variante B (Ist-Zustand der Zulaufstrecken) folgende Kenngrößen.

| Leistungsfähigkeit   | STRELE       |            | UIC          |            |
|----------------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                      | befriedigend | mangelhaft | befriedigend | mangelhaft |
| Variante A ohne Halt | 100          | 111        | 98           | 111        |
| Variante A mit Halt  | 103          | 115        | 102          | 114        |
| Variante B ohne Halt | 93           | 103        | 89           | 100        |
| Variante B mit Halt  | 95           | 106        | 92           | 104        |

**Tabelle 9: Leistungsfähigkeit Szenario 260 [Tag]**

Bei dem Szenario 260 ergibt sich durch eine größere Homogenität der Güterzüge eine höhere Leistungsfähigkeit im Vergleich zum Szenario *Finöv*. Da die Zugzahlen bei dem Szenario 260 auf 112 steigen ergibt sich insgesamt aber eine mangelhafte Betriebsqualität. Ein Halt des Personenverkehrszuges B in Sedrun wirkt sich weiterhin positiv auf die Leistungsfähigkeit aus.

## 4.5 Szenario 260 reduziert

In dem Szenario *260 reduziert* werden für den Tag (16 Stunden) pro Richtung 104 Trassen angenommen. Dabei wird im Gegensatz zum Szenario 260 von einem 2-stündigen Personenfernverkehrszug B mit, bzw. ohne, Halt ausgegangen. Die Zugzahlen sind der Tabelle zu entnehmen.

| SPFV A | SPFV B | HGZ | QGZ | LGZ | KGZ | Gesamt     |
|--------|--------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 16     | 8      | 0   | 43  | 15  | 22  | <b>104</b> |

**Tabelle 10: Zugzahlen Szenario 260 reduziert [Tag]**

Anhand dieses Zugmixes ergeben sich für die Variante A (Zulaufstrecken ausgebaut) und die Variante B (Ist-Zustand der Zulaufstrecken) folgende Kenngrößen.

| Leistungsfähigkeit   | STRELE       |            | UIC          |            |
|----------------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                      | befriedigend | mangelhaft | befriedigend | mangelhaft |
| Variante A ohne Halt | 105          | 117        | 103          | 116        |
| Variante A mit Halt  | 107          | 119        | 105          | 118        |
| Variante B ohne Halt | 97           | 107        | 92           | 104        |
| Variante B mit Halt  | 99           | 109        | 94           | 108        |

**Tabelle 11: Leistungsfähigkeit Szenario 260 reduziert [Tag]**

Durch eine Halbierung der Zugzahl des Personenverkehrszugs B ergibt sich für die Variante *260 reduziert* eine befriedigende bis ausreichende Betriebsqualität. Ein Halt des Personenverkehrszuges B in Sedrun wirkt sich weiterhin positiv auf die Leistungsfähigkeit aus.

## 5 Fazit

Anhand von drei Szenarien wurde untersucht, wie sich der Haltepunkt Porta Alpina Sedrun auf die Leistungsfähigkeit des Gotthard-Basistunnels auswirkt. Die Leistungsfähigkeitsberechnung erfolgte fahrplanunabhängig mit dem Verfahren nach SCHWAN-HÄUßER (STRELE Formel) und dem Verfahren des verketteten Belegungsgrades nach ADLER (UIC Leaflet 406 "Capacity").

Bei allen Szenarien und Varianten konnte eine leichte Erhöhung der Leistungsfähigkeit um bis zu drei Trassen je Tag und Richtung aufgrund des Haltepunkts Porta Alpina Sedrun festgestellt werden. Daher ist zu erwarten, dass sich der Haltepunkt Porta Alpina Sedrun unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht nachteilig auf die Leistungsfähigkeit des Gotthard-Basistunnels auswirkt.

## 6 Literatur

ADLER, G.: Die Verkettung der Streckenbelegung und des Belegungsgrad einer Gesamtstrecke. – Diss. Dresden (1967).

UIC (HRSG.): Capacity. - Leaflet 406 (2004).

ROSS, S.: Strategische Infrastrukturplanung im Schienenverkehr. – Deutscher Universitätsverlag Wiesbaden (2001).

SCHWANHÄUßER, W: Die Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn. – Veröffentlichung des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 20 (1974).

SCHWANHÄUßER, W: Die Leistungsfähigkeit moderner Eisenbahnstrecken. - In: Internationales Verkehrswesen S. 32-37 (1984).