

Ministerium für Umwelt und Verkehr  
Baden-Württemberg

05.21

**Az. 63-3942.23/15**

70029 Stuttgart, den 19.05.2000  
Postfach 10 34 39

Regierungspräsidien

Landesamt für Straßenwesen

**nachrichtlich** - mit Anlage -

Städtetag  
Baden-Württemberg

Gemeindetag  
Baden-Württemberg

Rechnungshof  
Baden-Württemberg

Prüfungsamt des Bundes Stuttgart

Sachgebiet 05.21: Brücken- und Ingenieurbau  
Grundlagen

Betr.: Straßenquerschnitte in Tunneln

Bezug: 1. BMV-Schreiben vom 15.06.1996 (ARS 28/96);

VwV des UVM Ba-Wü vom 07.04.1997 über die Richtlinien für die Anlage  
von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q), Ausgabe 1996 (GABI. S. 317)

2. BMV-Schreiben vom 11.10.1985 (ARS 16/85);

VwV des IM Ba-Wü über Straßenquerschnitte in Tunneln vom 03.04.1986  
(GABI. S. 490); grauer Ordner Brücken- und Ingenieurbau

Anl.: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 6/2000

43-3942.23/zu 20

v. 11.12.2000

Mit dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 6/2000 (veröffentlicht im Verkehrsblatt Heft 5/2000, Seite 77) hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen die für Straßentunnel im Zuge von Bundesfernstraßen geltenden Querschnittstypen neu festgelegt.

Die im ARS Nr. 6/2000 dargestellten Querschnittstypen für Straßentunnel werden hiermit für den Bereich der Bundesfernstraßen und Landesstraßen in Baden-Württemberg eingeführt und sind den Tunnelentwürfen künftig zu Grunde zu legen.

Regelungen, die den verkehrs- und bautechnisch sicheren Zustand des Tunnelbauwerks zum Ziel haben, also den Sicherheitsstandard des Tunnels betreffen, sind im Rahmen der technischen Verwaltung der Kreisstraßen von den Straßenbauämtern auch bei Maßnahmen der Landkreise anzuwenden. Bei Maßnahmen an überörtlichen Straßen in kommunaler Baulast soll von den Kommunen entsprechend verfahren werden. Im Übrigen wird den Städten und Gemeinden die Anwendung des ARS Nr. 6/2000 empfohlen.

Die Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über Straßenquerschnitte in Tunneln vom 12. November 1996 – Az.: 66-3944.52/32 – (GABl. S. 756) und die dieser zu Grunde liegende Verwaltungsvorschrift des Innenministeriums vom 3. April 1986 – Az.: X 7/3462/26 - (GABl. S. 490) werden hiermit aufgehoben.

Der vorstehende Text wird als Verwaltungsvorschrift im GABl. veröffentlicht.

Die Regierungspräsidien und das Landesamt für Straßenwesen werden gebeten, die nachgeordneten Straßenbaudienststellen zu unterrichten und dem Ministerium für Umwelt und Verkehr die Erfahrungen mit den neuen Regelungen bis zum

01.12.2002

mitzuteilen.

Die Fußnote zu der Anlage im beiliegenden ARS Nr. 6/2000 bezieht sich auf die derzeit in Gang befindliche Umstrukturierung der Regelwerke im Brücken- und Ingenieurbau.

Die grünen Erlasse/ARS werden weiterhin in einer Sammlung Sachgebiet 05. Brücken- und Ingenieurbau (bisheriger grauer Ordner) geführt. Die Regelwerke selbst werden zukünftig in einer weiteren, neu eingerichteten Sammlung, die demnächst vom BMVBW herausgegeben wird, enthalten sein.

gez. Neher



# Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 6/2000

**Sachgebiet 05.2: Brücken- und Ingenieurbau;  
Grundlagen**

**Sachgebiet 02.2: Planung und Entwurf;  
Entwurfsrichtlinien**

Bonn, den 22. Februar 2000  
S 28/38.50.05-05/13 U 99

**Oberste Straßenbaubehörden  
der Länder**

nachrichtlich:

DEGES

Bundesanstalt für Straßenwesen

Bundesrechnungshof

Betrifft: **Straßenquerschnitte in Tunneln**

Bezug: 1. Mein Schreiben StB 13/38.50.05/65 Va  
96 vom 15. August 1996 (ARS 28/96)  
2. Mein Schreiben StB 13/38.50.05-05/162  
Va 85 vom 11. Oktober 1985 (ARS 16/85)

Anlage: Verfahren für die Auswahl von Straßenquerschnitten in Tunneln \*)

In meinem Bezugsschreiben 1. hatte ich unter Ziff. 16 angekündigt, dass das Allgemeine Rundschreiben Straßenbau Nr. 16/1985 (Bezug 2.) überarbeitet wird. Im ARS 16/85 hatte ich Regelungen zu Tunnelquerschnitten getroffen. Vor allem waren hierin standardisierte Tunnelquerschnittstypen in Abhängigkeit vom Regelquerschnitt der freien Strecke definiert worden.

Mit Änderung der Regelquerschnitte der RAS-Q 96 (Bezug 1.) sind Neufestlegungen der entsprechenden Tunnelquerschnitte erforderlich geworden. Außerdem haben die seit Herausgabe des ARS 16/85 erfolgten Entwicklungen eine Überarbeitung dieses Rundschreibens auf der Basis neuerer Untersuchungen nahegelegt. So haben sich im Tunnelbau in den letzten 15 Jahren umfangreiche technische Entwicklungen vollzogen. Weiterhin konnten in der Folge der erstmaligen Einführung der „Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln“ (RABT) seit 1985 umfangreiche Erfahrungen gesammelt werden.

In der dem ARS 16/85 zugrundeliegenden Untersuchung waren zwar alle maßgeblichen Kosten seitens der Straßennutzer berücksichtigt worden, auf Seiten der Tunnelbetreiber wurden jedoch lediglich die reinen Baukosten angesetzt, während die Betriebs- und Unterhaltungskosten nicht berücksichtigt waren. Als Folge sich ändernder Verkehrszusammensetzung und ständig steigender Verkehrsbelastungen werden künftig immer häufiger auch 3-streifige Richtungsfahrbahnen in Tunneln erforderlich, die in dem ARS 16/85 nicht enthalten waren. Weiterhin wirken sich Abweichungen vom normalen Tunnelbetrieb durch wachsende Verkehrsbelastungen und hohe Querschnittsauslastungen mit einer Reduzierung der Kapazität besonders negativ auf den Verkehrsfluss aus. Sowohl planmäßige Arbeitsstellen als auch unplanmäßige Störfälle wie Pannen oder Unfälle sind daher bei der Entscheidung zu Tunnelquerschnitten mit zu berücksichtigen.

Aus diesem Grund ist das ARS 16/85 im Rahmen eines Forschungsauftrages durch die Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Professor Dr.-Ing. Brilon, in Zusammenarbeit mit der Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (STUVA) aktualisiert und als „Verfahren für die Auswahl von Straßenquerschnitten in Tunneln“, Ausgabe 2000 (Anlage) neugefasst worden. Bei der Planung von Bundesfernstraßen bitte ich künftig dieses Verfahren für die Festlegung der Straßenquerschnitte in Tunnelabschnitten anzuwenden.

Das Verfahren für die Auswahl von Straßenquerschnitten in Tunneln“ legt Regelquerschnitte für Straßentunnel fest und beinhaltet den Nachweis der Zweckmäßigkeit von Standstreifen in zweibahnigen Tunneln. Dieses Verfahren ist kein Ersatz für den Nachweis der Verkehrsqualität im Rahmen der Querschnittsbemessung.

Gegenüber den bisherigen Festlegungen haben sich die Querschnitte für vierstreifige Tunnel prinzipiell nicht verändert. Neu sind zwei Regelquerschnitte für sechsstreifige Tunnel mit Fahrstreifenbreiten von jeweils 3,50 m ohne Standstreifen bzw. mit einem 2,0 m breiten Standstreifen.

Für die einbahnigen Straßen mit RQ 10,5 ist künftig ein Tunnelquerschnitt 10,5 T vorgesehen. Dieser Querschnitt ist auch anzuwenden, wenn auf der freien Strecke der

\*) Die erwähnten Anlagen sind in der Sammlung Ingenieurbau, Ordner Entwurf, enthalten

Randstreifen wegen starken Schwerverkehrs verbreitert wird. Im Zuge von 2+1-Strecken mit RQ 15,5 werden Tunnelabschnitte ebenfalls zweistreifig mit 10,5 T ausgeführt, der Überholstreifen ist deshalb rechtzeitig vor dem Tunnel einzuziehen. Sonderlösungen, wie steigungsbedingte Zusatzfahrstreifen im Tunnel, sind hiervon ausgenommen. Wenn ausnahmsweise im Zuge von Bundesstraßen mit RQ 9,5 Tunnelabschnitte vorgesehen werden, ist hierfür der Querschnitt 10,0 T mit 7,0 m befestigter Breite zwischen den Borden anzuwenden.

Die im Rahmen der Forschungsarbeit angestellte Untersuchung über die Verkehrssicherheit in Straßentunneln hat zu dem Ergebnis geführt, dass in Tunneln die maßgeblichen Unfallkenngrößen bei zweibahnigen Straßen etwa nur die Hälfte und bei einbahnigen Straßen etwa ein Drittel der entsprechenden Kenngrößen der außerhalb der Tunnel liegenden Strecken betragen. Aus diesem Grund ist es vertretbar, angesichts der Kosten der Tunnelbauwerke die Abmessungen der Querschnittselemente im Tunnel gegenüber der freien Strecke geringfügig einzuschränken.

Die Regelbauweise bei Tunnelstrecken im Zuge mehrstreifiger Richtungsfahrbahnen ist deshalb zunächst ein abgeminderter Regelquerschnitt ohne Standstreifen (26 t, 33 t). Mit Hilfe des Entscheidungsverfahrens ist dann zu prüfen, ob die durch einen zusätzlichen Standstreifen entstehenden Nutzen größer sind als die Kosten für einen Standstreifen im Tunnel. Wegen der starken Einflüsse der Längsneigung und des Schwerverkehrs kommen Standstreifen künftig überwiegend bei größeren Längsneigungen und größeren Lkw-Verkehrsstärken in Betracht, wenn die Gesamtverkehrsstärke relativ hoch ist. Das Verfahren gilt für mehrstreifige Richtungsfahrbahnen in Straßentunneln mit Längen bis 2.000 m. Es unterstellt eine relativ gleichmäßige Ganglinie der Verkehrsbelastung ohne extreme Spitzenbelastungen. Auf Strecken mit starkem Urlaubsreiseverkehr oder besonderen Spitzenbelastungen aus anderen Gründen kann der durch den Standstreifen entstehende Nutzen im Tunnel allerdings deutlich höher ausfallen.

Die Entscheidungsdiagramme zeigen, dass sich die Wahl der Querschnittstypen mit Standstreifen (26 T, 33 T) nur bei sehr günstigen bautechnischen Bedingungen und großen Lkw-Verkehrsstärken bei stärker geneigten Strecken rechtfertigen lässt.

Die reduzierte Form des Sonderquerschnitts 26 Tr ist nur für maschinelle Vortriebsweise zu erwägen. Hier ersetzt der reduzierte Standstreifen über die gesamte Länge die ansonsten anzuordnenden Nothaltebuchten.

Der Querschnittstyp 29,5 T kommt nur in ausgesprochenen Sonderfällen und allenfalls für sehr kurze Tunnel bei außergewöhnlich kostengünstiger Bauweise in Betracht.

Die Regelungen zum lichten Raum, die im ARS 16/85 enthalten waren, sind inzwischen in den RABT 94 geregelt.

Nach den RAS-L 95 sollen die Längsneigungen im Bereich von Tunnelstrecken bei anbaufreien, außerörtlichen Straßen nach Möglichkeit auf maximal 4 % begrenzt werden, und besonders bei großer Länge sind Längsneigungen von maximal 2,5 % anzustreben. Der mit zunehmender Längsneigung in einem Tunnel ebenfalls zunehmende Kamineffekt führt in der Regel zu einer höheren Längsströmung, die bei großen Längsneigungen im Brandfall eine schnelle und wirksame Entrauchung durch ein Lüftungssystem stark einschränken kann. Aus Gründen der Verkehrssicherheit und wegen des Kamineffekts sind deshalb größere Längsneigungen als 5 % für Tunnel im Zuge anbaufreier, außerörtlicher Straßen zu vermeiden.

Ich bitte, das Verfahren für die Auswahl von Straßenquerschnitten in Tunneln für die Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes anzuwenden. Im Interesse einer einheitlichen Handhabung im Netz der klassifizierten Straßen würde ich es begrüßen, wenn Sie die Querschnittstypen in Tunneln Ihres Zuständigkeitsbereichs gleichfalls anwenden würden.

Ich bitte, mir Ihre Erfahrungen mit den neuen Regelungen bis zum 31. Dezember 2002 zu berichten.

Dieses Allgemeine Rundschreiben Straßenbau ist im Verkehrsblatt, Heft 5/2000 vom 15.3.2000 veröffentlicht.

Bundesministerium für Verkehr,  
Bau- und Wohnungswesen  
Im Auftrag

Will

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN

**Verfahren  
für  
die Auswahl von  
Straßenquerschnitten in Tunneln**

**Ausgabe 2000**

Ruhr-Universität Bochum  
Lehrstuhl für Verkehrswesen

Prof. Dr.-Ing. W. Brilon

Dr.-Ing. K. Lemke

## Inhaltsübersicht

|  |   |
|--|---|
| 1. Anwendungsbereich.....                                | 2 |
| 2. Bauweisen.....  | 4 |
| 3. Kosten.....   | 4 |
| 4. Nutzen.....   | 5 |
| 5. Entscheidung für einen Tunnelquerschnitt.....         | 5 |
| 6. Sonderfall Maschinenvortrieb.....                     | 6 |
| 7. Anwendungsbeispiele.....                              | 6 |
| Anlage 1 : Regelquerschnitte im Tunnel                   |   |
| Anlage 2 : Bauweisen                                     |   |
| Anlage 3 : Diagramme für 2-streifige Richtungsfahrbahnen |   |
| Anlage 4 : Diagramme für 3-streifige Richtungsfahrbahnen |   |

## 1. Anwendungsbereich

Sofern im Zuge von Straßen in der Baulast des Bundes die Anlage von Tunnelabschnitten notwendig wird, ist die Auswahl des Straßenquerschnitts nach diesem Verfahren durchzuführen. Dazu kommen die Straßenquerschnitte nach Anlage 1 in Betracht. Die Einsatzbereiche der Querschnitte im Tunnel sind in Abhängigkeit vom Querschnitt der freien Strecke in Bild 1 in Anlehnung an Bild 5 der RAS-Q 96 dargestellt.

## Kategorien

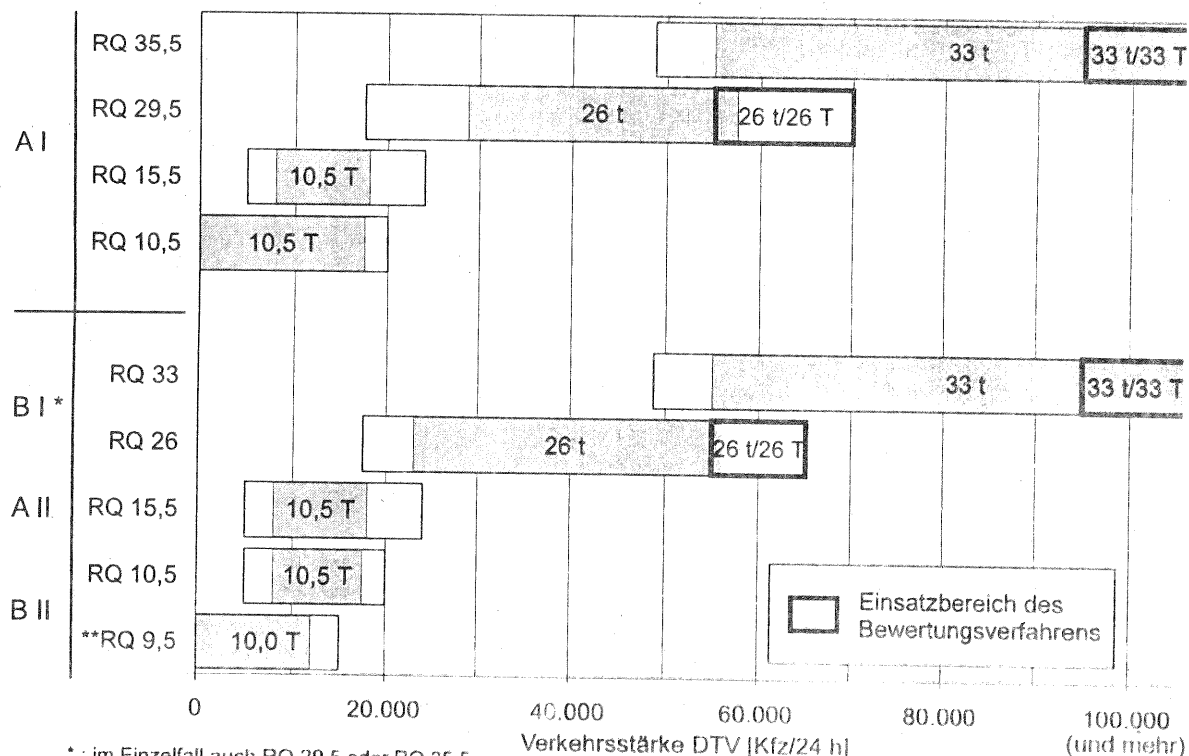


Bild 1: Einsatzbereiche der Straßenquerschnitte in Tunneln (nach Bild 5, RAS-Q 96)



Das Verfahren eignet sich vor allem für ein frühes Planungsstadium. Angesichts der erheblichen Konsequenzen auf die Kosten von Tunnelquerschnitten kann in einem fortgeschrittenen Planungsstadium auch eine differenzierte Untersuchung in Betracht kommen, bei der Daten des konkreten Einzelprojektes im Detail berücksichtigt werden. Diese Einzelfalluntersuchung soll sich jedoch an die im Bericht von Brilon, Lemke (1999) [FE 02.163/1995/FR „Straßenquerschnitte in Tunneln“] formulierten Prinzipien anlehnen.

Bei der Planung von Tunnelstrecken im Zuge mehrstreifiger Richtungsfahrbahnen ist zunächst von einem gegenüber der freien Strecke abgeminderten Regelquerschnitt ohne Standstreifen auszugehen. Mit Hilfe des vorliegenden Verfahrens ist dann zu prüfen, ob der durch einen zusätzlichen Standstreifen entstehende Nutzen höher ausfällt als die dafür aufzuwendenden Kosten. In diesem Fall kann der Regelquerschnitt mit Standstreifen in Erwägung gezogen werden. In Bild 1 sind die Bereiche hervorgehoben, in denen eine Überprüfung der Zweckmäßigkeit eines Standstreifens geboten ist. In jedem Fall sind aus Kostengründen in Tunneln die Standstreifen nur 2,00 m breit auszubilden (Tunnelquerschnitte 26 T und 33 T). Der Sonderquerschnitt 29,5 T mit gegenüber der freien Strecke unverminderten Abmessungen kommt nur in Sonderfällen bei außergewöhnlich kostengünstiger Bauweise für sehr kurze Tunnel in Betracht.

Für diese Auswahl sind die Diagramme nach Bild 3-1 bis Bild 4-5 anzuwenden. Diese Diagramme gelten für die 2-streifigen Regelquerschnitte 26 t und 26 T sowie die 3-streifigen Querschnitte 33 t und 33 T (Anlage 1). Der Sonderquerschnitt 26 Tr kommt nur bei maschinellen Vortriebsverfahren in Frage, bei denen die Herstellung der erforderlichen Nothaltebuchten sehr aufwendig ist. Bei diesem Querschnitt stellt der schmale durchgehende Standstreifen einen Ersatz für die punktuellen Nothaltebuchten dar (siehe Ziffer 6). Der Querschnitt 26 Tr wird nur auf der Seite der Kosten und nur für den maschinellen Vortrieb im Lockergestein berücksichtigt.

Das Verfahren ist auf mehrstreifige Richtungsfahrbahnen in Straßentunneln mit Längen zwischen 250 und 2000 m anwendbar. Die Anwendung führt vor allem für Strecken mit einer relativ gleichmäßigen Ganglinie der Verkehrsbelastung ohne extreme Spitzen zu einem treffenden Ergebnis. Auf Strecken mit einem hohen Anteil an Urlaubsreiseverkehr, der mit besonderen Spitzenbelastungen verbunden ist, kann der durch den Standstreifen im Tunnel entstehende Nutzen deutlich höher ausfallen. Im Verfahren wird unterstellt, dass alle für den Betrieb und die Unterhaltung des Tunnels anfallenden Arbeiten grundsätzlich während der Nachtstunden bzw. ohne Beeinflussung des Verkehrsablaufes durchgeführt werden. Andernfalls können die Standstreifen über die hier angegebenen Werte hinaus zu weiterem Nutzen führen.

Eingangsdaten für das Verfahren sind

- die Tunnelbauweise,
- die Anzahl der Fahrstreifen je Richtung,
- die vorgesehene Tunnellänge,
- die mittlere Längsneigung im Tunnel in ansteigender Richtung (0 bis 4 %),
- der mittlere Güterverkehrsanteil (0 bis 20 %),
- die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) gemittelt über alle Tage des Jahres.

## 2. Bauweisen

Die Bauweisen der Tunnel werden in Klassen eingeteilt. Die Unterteilung der **offenen Bauweisen** erfolgt in Abhängigkeit von den Grundwasserverhältnissen und von der Art der Baugrubenumschließung nach Anlage 2a.

Die **geschlossenen Bauweisen** gliedern sich nach Spritzbetonbauweise und Maschinenvortrieb sowie nach Fest- und Lockergestein. Die einzelnen Klassen der Spritzbetonbauweise werden in Anlage 2b beschrieben. Die Klassifizierung zum Maschinenvortrieb ist in Anlage 2c zusammengestellt.

## 3. Kosten

Als Kosten im Sinne des Entscheidungsverfahrens werden die zusätzlichen mittleren jährlichen Baulastträgerkosten je m Tunnellänge bezeichnet, die für den Querschnitt mit Standstreifen im Gegensatz zum Querschnitt ohne Standstreifen aufzubringen sind. In ihnen sind die Kosten für den Tunnelrohbau einschließlich evtl. Pannenbuchten (s.a. Abs. 6: Sonderfall Maschinenvortrieb), für die Fahrbahn, die Beleuchtung und die Lüftung enthalten. Nicht berücksichtigt werden Kosten für Zufahrtsrampen, Innenausbau, elektro- und maschinentechnische Ausrüstung, Versorgungsbauwerke, besondere Sicherheitsmaßnahmen für anstehende Bebauung sowie für Maßnahmen zur Verkehrsabwicklung während der Bauzeit (z.B. Hilfsbrücken oder Verkehrsumleitungen), weil diese Kosten nicht von der Wahl des Querschnitts abhängen. Ein zusätzlicher Standstreifen mindert die Kosten für die Lüftung, erhöht aber die Kosten für die Beleuchtung.

Die zusätzlichen Kosten, die durch die Anlage des Standstreifens für den Baulastträger entstehen, sind für 2-streifige Querschnitte in Anlage 3a, Bild 3-1 und für 3-streifige Querschnitte in Anlage 4a, Bild 4-1 abzulesen.

Wenn für ein bestimmtes Tunnelprojekt unter Berücksichtigung der örtlich gegebenen Situation die Tunnelrohbauposten einschließlich der Kosten der Fahrbahn bereits kalkuliert oder hinreichend genau geschätzt sind, können diese Daten anstelle der Diagramme treten. Dazu müssen die mittleren jährl. Zusatzkosten für den Baulastträger je m Tunnellänge nach folgender Gleichung berechnet werden:

| Tunnellänge<br>[m] | zusätzl.<br>Ausstattungs-<br>kosten $\Delta AK_n$ ,<br>26 T - 26 t<br>(netto)<br>[DM/(a*m)] |
|--------------------|---|
| 250                | 210   |
| 300                | 209   |
| 350                | 209   |
| 400                | 208   |
| 450                | 208   |
| 500                | 207   |
| 550                | 204   |
| 600                | 201   |
| 650                | 199   |
| 700                | 197   |
| 750                | 188   |
| 800                | 179   |
| 850                | 172   |
| 900                | 165   |
| 950                | 159   |
| 1000               | 154   |
| 1050               | 144   |
| 1050               | 144   |
| 1100               | 136   |
| 1150               | 128   |
| 1200               | 121   |
| 1250               | 115   |
| 1300               | 109   |
| 1350               | 103   |
| 1400               | 98  |
| 1450               | 93  |
| 1500               | 89  |
| 1550               | 85  |
| 1600               | 81  |
| 1650               | 77  |
| 1700               | 73  |
| 1750               | 70  |
| 1750               | 70  |
| 1800               | 67  |
| 1850               | 64  |
| 1900               | 61  |
| 1950               | 59  |
| 2000               | 56  |

Tabelle 1

$$\Delta BK_a = \frac{(RK_T - RK_t) \cdot 0,03226 + (FK_T - FK_t) \cdot 0,06722}{LG} + \Delta AK_a$$

mit

|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| $\Delta BK_a$ | = zusätzliche jährl. Kosten für den Baulastträger für den Querschnitt mit Standstreifen            | [DM/(a*m)] |
| $RK$          | = Tunnelrohbaukosten (netto)   | [DM]       |
| $FK$          | = Fahrbahnkosten (netto)   | [DM]       |
| $LG$          | = Tunnellänge  | [m]        |
| $\Delta AK_a$ | = zusätzl. jährl. Ausstattungskosten 26 T - 26 t (netto) nach Tabelle 1 (entfällt bei 33 T - 33 t) | [DM/(a*m)] |
| $t, T$        | = Index für Tunnelquerschnitte   |            |

Bei 3-streifigen Querschnitten entfällt die Berücksichtigung der Ausstattungskosten. Es kann vereinfachend unterstellt werden, dass sich hier keine Unterschiede aus dem Standstreifen ergeben.

#### 4. Nutzen

Als Nutzen gelten die monetarisierbaren Vorteile, die den Tunnelbenutzern jährlich durch einen zusätzlichen Standstreifen entstehen. Dies sind Ersparnisse an Kfz-Betriebskosten, Zeitkosten und Unfallkosten infolge vermiedener Verkehrsbehinderungen, Gefahren und Unfälle, die sich bei Fahrbahnen ohne Standstreifen zusätzlich ergeben.

Der Nutzen  $\Delta VK_a$  durch einen zusätzlichen Standstreifen kann für 2-streifige Querschnitte aus den Diagrammen in Anlage 3b (Bilder 3-3 bis 3-6) und für 3-streifige Querschnitte in Anlage 4b (Bilder 4-2 bis 4-5) abgelesen werden. Die angegebenen Werte sind auf die Tunnellänge bezogen und gelten für Längen von 250 bis 2000 m.

In den Anlagen sind jeweils 4 Diagramme für unterschiedliche mittlere Längsneigungen (0 bis 1%, 2%, 3%, 4%) enthalten. Dabei sind stets die Längsneigungen in ansteigender Richtung anzusetzen (positive Werte). Aus jedem Diagramm kann der Nutzen in Abhängigkeit vom Güterverkehrsanteil in % und dem prognostizierten DTV-Wert (beide Richtungen zusammen) abgelesen werden.

#### 5. Entscheidung für einen Tunnelquerschnitt

Sind die bei vorhandenem Standstreifen möglichen Ersparnisse an Verkehrskosten  $\Delta VK_a$  größer als die erforderlichen zusätzlichen Baulastträgerkosten  $\Delta BK_a$ , d.h. wird die Bedingung

$$\Delta VK_a > \Delta BK_a$$

erfüllt, so kann aus volkswirtschaftlicher Sicht der größere Querschnitt mit Standstreifen (26 T oder 33 T) in Betracht kommen. Andernfalls soll der Querschnitt 26 t oder 33 t zum Einsatz kommen.

## 6. Sonderfall Maschinenvortrieb

Wenn im Zuge einer 2-streifigen Richtungsfahrbahn eine Tunnelstrecke in maschineller Bauweise im Lockergestein erstellt werden soll, kann als Alternative zum Querschnitt 26 t auch der Sonderquerschnitt 26 Tr zum Einsatz kommen. In der Regel ist der Querschnitt 26 Tr dann mit niedrigeren Baukosten verbunden, wenn beim Querschnitt 26 t mindestens 2 Pannenbuchten je Fahrtrichtung angeordnet werden sollten. Die zusätzlichen Kosten für den Querschnitt 26 Tr gegenüber dem Querschnitt 26 t sind aus dem Diagramm in Anlage 3a, Bild 3-1 ablesbar.

Die Sprungstellen im Diagramm entstehen durch die notwendige Anordnung von zusätzlichen Pannenbuchten. Hier wurde unterstellt, dass ab einer Tunnellänge von 1050 m eine Pannenbucht und ab 1750 m zwei Pannenbuchten angeordnet werden. Davon abweichende Lösungen sind nach den Vorgaben der RABT jedoch möglich. Abstände zwischen den Buchten von weniger als 500 m sollten nicht gewählt werden. Sollen bereits bei kürzeren Tunnellängen zusätzliche Pannenbuchten angeordnet werden, so sind die Kostendifferenzen zwischen den Querschnitten 26 T und 26 t bzw. 26 Tr und 26 t um die zusätzlichen jährlichen Kosten der Pannenbucht je m Tunnellänge zu reduzieren (je 1 Bucht pro Röhre). Dazu müssen die gesamten jährlichen Kosten der Bucht nach Tabelle 2 durch die Tunnellänge dividiert werden.

| Kosten 1 Pannenbucht je Röhre<br>[DM/a] | Festgestein (GFM) | Lockergestein (GLM) |
|---|-------------------|---------------------|
| einschalig (1)                          | 213.000           | 1.167.000           |
| zweischalig (2)                         | 196.000           | 1.127.000           |

**Tabelle 2**

Sind die abgelesenen Kostendifferenzen zwischen den Querschnitten 26 Tr und 26 t negativ, kann der Querschnitt 26 Tr in Betracht kommen. Eine Betrachtung des Nutzens entfällt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass mit dem Querschnitt 26 Tr auch aus verkehrlicher Sicht ein Nutzen verbunden ist.

## 7. Anwendungsbeispiele

In den folgenden Beispielen wird geprüft, ob es aus volkswirtschaftlicher Sicht zweckmäßig ist, den jeweiligen Tunnel mit einem zusätzlichen Standstreifen auszustatten.

### Beispiel 1:

Offene Bauweise im Grundwasser (O3b)

Tunnellänge TL = 750 m, 3 Fahrstreifen pro Richtung

Längsneigung 1 %, DTV = 80.000 Kfz/d (beide Fahrtrichtungen zusammen), 10 % Güterverkehr

Die zusätzlichen jährlichen Kosten des Baulastträgers für den Querschnitt 33 T gegenüber dem 33 t sind in Bild 4-1, Anlage 4a abzulesen:

$$\Delta BK_{a,33T-33t} = 600 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

Diesem Wert ist der durch den Standstreifen erreichbare verkehrliche Nutzen gegenüberzustellen (Bild 4-2, Anlage 4b):

$$\Delta VK_{a,33 T-33 t} = 260 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

Die Gegenüberstellung

$$\Delta VK_{a,33 T-33 t} = 260 \text{ DM}/(a \cdot m) < \Delta BK_{a,33 T-33 t} = 600 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

ergibt, dass die zusätzlichen Kosten des Standstreifens nicht durch einen entsprechenden Nutzen aufgewogen werden. Es sollte der Querschnitt 33 t gewählt werden.

### Beispiel 2:

Geschlossene Bauweise im Lockergestein, Maschinenvortrieb, einschalig (GLM1)

Tunnellänge TL = 1600 m, 2 Fahrstreifen pro Richtung

Längsneigung 3 %, DTV = 65.000 Kfz/d (beide Fahrrichtungen zusammen), 15 % Güterverkehr

Aus Bild 3-1 in Anlage 3a werden die zusätzlichen Kosten des Tunnelbetreibers für den Querschnitt 26 T gegenüber dem Querschnitt ohne Standstreifen 26 t abgelesen:

$$\Delta BK_{a,26 T-26 t} = 930 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

Dieser Wert gilt für den Fall, dass der 26 t mit einer Pannenbucht je Röhre ausgestattet werden soll. Bei der Anordnung von 2 Pannenbuchten je Röhre verringert sich die Differenz um die zusätzlichen jährlichen Kosten der Pannenbucht nach Tabelle 2 um

$$1.167.000 / 1600 = 730 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

auf

$$\Delta BK_{a,26 T-26 t} = 200 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

Der durch den Standstreifen resultierende Nutzen wird anhand der Vorgaben aus Anlage 3b, Bild 3-5 abgelesen:

$$\Delta VK_{a,26 T-26 t} = 290 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

Der Vergleich des Nutzens mit den Kosten für den Standardfall mit einer Pannenbucht ergibt:

$$\Delta VK_{a,26 T-26 t} = 290 \text{ DM}/(a \cdot m) < \Delta BK_{a,26 T-26 t} = 930 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

D.h. der Standstreifen ist wirtschaftlich nicht sinnvoll. Wenn jedoch besondere Anforderungen an die Verkehrssicherheit gestellt werden und eine 2. Pannenbucht je Röhre gewünscht wird, gilt:

$$\Delta VK_{a,26 T-26 t} = 290 \text{ DM}/(a \cdot m) > \Delta BK_{a,26 T-26 t} = 200 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

D.h. der Querschnitt 26 T ist unter den getroffenen Vorgaben die kostengünstigere Lösung. Eine zusätzliche Betrachtung des Sonderquerschnitt 26 Tr ist in diesem Fall hinfällig.

Für den Standardfall mit einer Pannenbucht je Röhre werden nun noch die Differenzen der Baulastträgerkosten zwischen den Querschnitten 26 Tr und 26 t in Bild 3-2 (Anlage 3a) betrachtet:

$$\Delta BK_{a,26 Tr-26 t} = + 270 \text{ DM}/(a \cdot m)$$

D.h. der Querschnitt 26 t ist für den Betreiber mit geringeren Kosten verbunden und soll daher gewählt werden.

Anlage 1: Regelquerschnitte im Tunnel

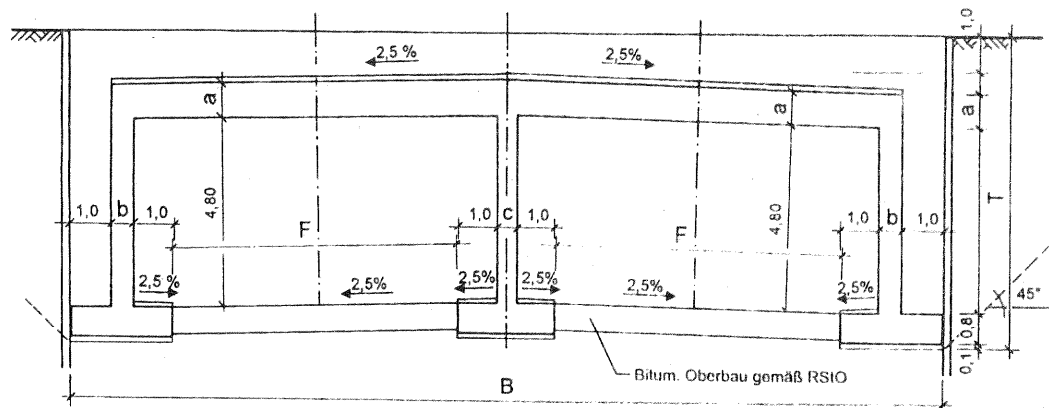
| freie Strecke      | Bezeichnung |  | Maße in cm  |
|--------------------|-------------|--|---|
| RQ 35,5<br>RQ 33   | 33 T        |  | Regellösung mit Standstreifen                             |
| RQ 35,5<br>RQ 33   | 33 t        |  | abgeminderte Regellösung ohne Standstreifen               |
| RQ 29,5            | 29,5 T      |  | Sonderlösung  |
| RQ 29,5<br>RQ 26   | 26 T        |  | Regellösung mit Standstreifen                             |
| RQ 29,5<br>RQ 26   | 26 t        |  | abgeminderte Regellösung ohne Standstreifen               |
|                    | 26 Tr       |  | Sonderlösung alternativ zu 26 t bei maschinellem Vortrieb |
| RQ 15,5<br>RQ 10,5 | 10,5 T      |  | Regellösung   |
| RQ 9,5             | 10,0 T      |  | Regellösung   |

Bild 1-1

## Anlage 2: Bauweisen

## Offene Bauweise (Anlage 2a)

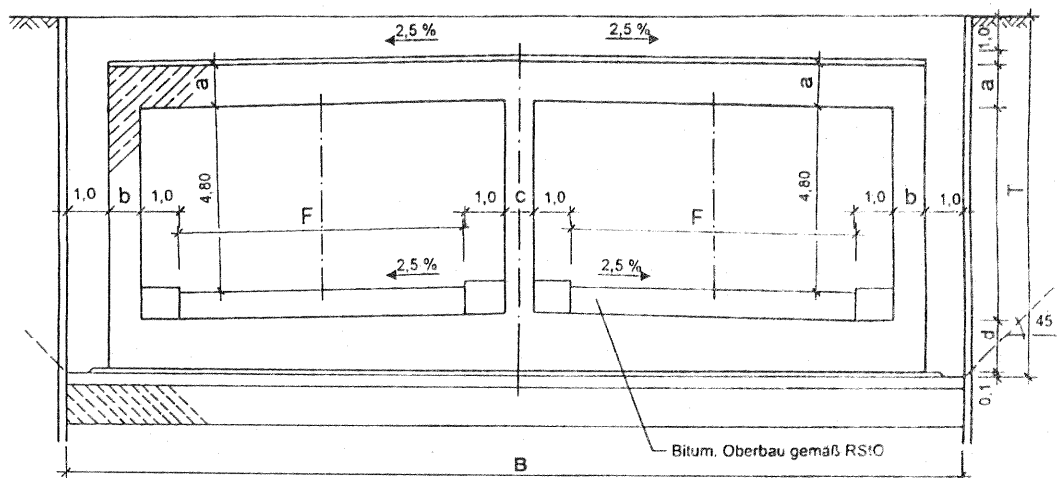
a



oberhalb des Grundwassers:

unten offener, dreistieliger Plattenrahmen auf Streifenfundamenten mit durchgehender Mittelwand und einer Decke aus wasserundurchlässigem Beton

b



Grundwasser bis 1 m unterhalb der Tunneloberkante:

geschlossener Rahmen aus einer wasserundurchlässigen Betonkonstruktion mit durchgehender Mittelwand und ganzflächig aufliegender Sohle

Bild 2-1

**Boden:** kohäsionsloser Mischboden (Sand und Geschiebemergel) der Klasse 3-4 (DIN 18 300)

## Bezeichnungen:

| Baugrubenumschließung   | Rahmen      |                   |
|-------------------------|-------------|-------------------|
|                         | unten offen | unten geschlossen |
| abgeböschte Baugrube    | O1a         | O1b               |
| Trägerbohlwand          | O2a         | O2b               |
| Spundwand (Regellösung) | O3a         | O3b               |

Tabelle 2-1

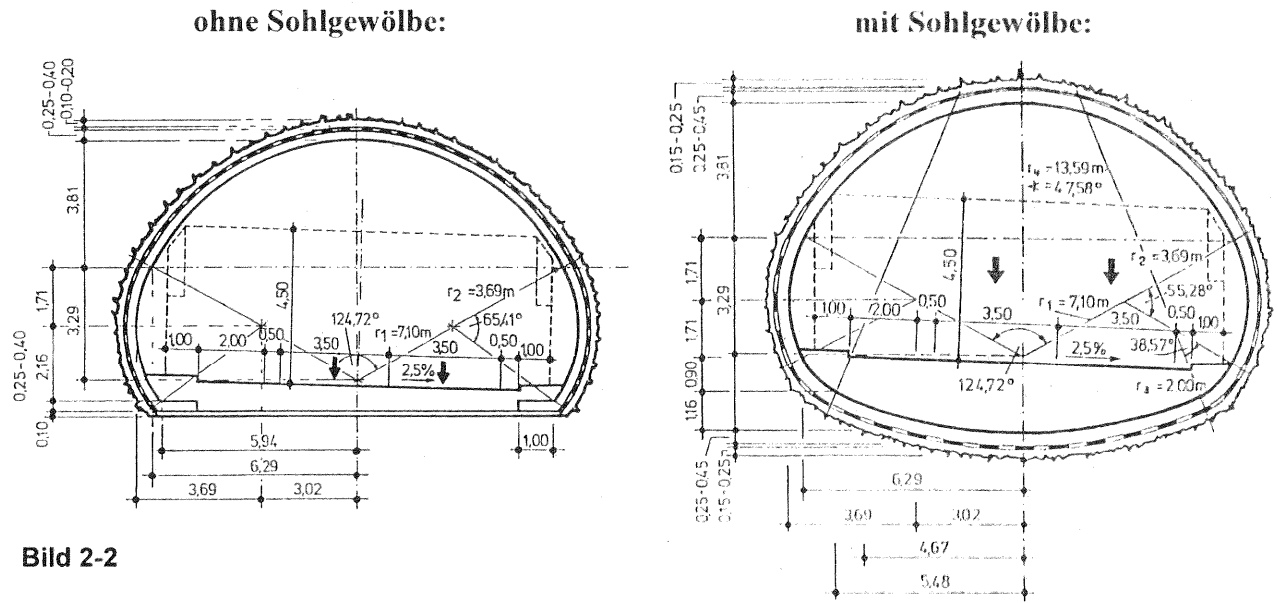
## Geschlossene Bauweise - Spritzbetonbauweise (Anlage 2b)

| <b>Festgestein</b> |   |
|--------------------|---|
| GFS1               | <p>Ausbruchklassen 2 und 3, VOB Teil C, DIN 18 312.</p> <p>26 T/26 t: Vortrieb zweistufig, Abschlagstiefe &gt; 1,5 m, Beeinträchtigung der Gebirgsqualität durch Wasserzufluss unbedeutend, Ankerung; Spritzbeton, je nach Ausbruchquerschnitt 7 bis 15 cm dick, mit Baustahlmatten bewehrt, geringe Zeitaufwendung für Sicherungsarbeiten, Kalottenvortrieb 10 m und mehr voreilend, kein Sohlgewölbe und auch keine Sohlsicherung erforderlich.</p> <p>33 T/33 t: Vortrieb in 5 Abschnitten/3 Abschnitten, vorseilender Vortrieb von 2 Ulmenstollen/ 1 Ulmenstollen, Abschlagstiefe &gt; 1,5 m, Beeinträchtigung der Gebirgsqualität durch Wasserzufluss unbedeutend, Ankerung; Spritzbeton 20 cm/15 cm dick, mit Baustahlmatten bewehrt, geringe Zeitaufwendung für Sicherungsarbeiten, Ulmenvortrieb 10 m und mehr voreilend, kein Sohlgewölbe erforderlich.</p>  |
| GFS2               | <p>Ausbruchklassen 4 und 4a, VOB Teil C, DIN 18 312.</p> <p>26 T/26 t: Vortrieb zweistufig, Abschlagstiefe ≤ 1,5 m, Beeinträchtigung der Gebirgsqualität durch Wasserzufluss möglich, unverzügliche Spritzbetonversiegelung einschließlich der Ortsbrust erforderlich, Spritzbeton mindestens 20 cm dick, mit Baustahlmattenbewehrung, Ankerung, Stahlbögen, erheblicher Zeitaufwand für Sicherungsarbeiten, kein Sohlgewölbe und keine Sohlsicherung erforderlich.</p> <p>33 T/33 t: Vortrieb in 7 Abschnitten/5 Abschnitten, vorseilender Vortrieb von 2 Ulmenstollen/ 1 Ulmenstollen, Abschlagstiefe ≤ 1,5 m, Beeinträchtigung der Gebirgsqualität durch Wasserzufluss möglich, unverzügliche Spritzbetonversiegelung einschließlich der Ortsbrust erforderlich, Spritzbeton 30 cm/25 cm dick, mit Baustahlmattenbewehrung, Ankerung, Stahlbögen, erheblicher Zeitaufwand für Sicherungsarbeiten, kein Sohlgewölbe erforderlich.</p> |
| GFS3               | <p>Ausbruchklassen 3 und 4, VOB Teil C, DIN 18 312.</p> <p>26 T/26 t: Vortrieb in mehr als 2 Stufen, Abschlagstiefe &gt; 1,5 m, Beeinträchtigung der Gebirgsqualität durch Wasserzufluss möglich, unverzügliche Spritzbetonversiegelung erforderlich, Spritzbeton mindestens 15 cm dick, mit Baustahlmattenbewehrung, Ankerung, mittlere Zeitaufwendung für Sicherungsarbeiten.</p> <p>33 T/33 t: Vortrieb in 5 Abschnitten/3 Abschnitten, Abschlagstiefe &gt; 1,5 m, Beeinträchtigung der Gebirgsqualität durch Wasserzufluss möglich, unverzügliche Spritzbetonversiegelung erforderlich, Spritzbeton 25 cm/20 cm dick, mit Baustahlmattenbewehrung, Ankerung, mittlere Zeitaufwendung für Sicherungsarbeiten, kein Sohlgewölbe erforderlich.</p>   |
| GFS4               | <p>Ausbruchklassen 4,4a und 5, VOB Teil C, DIN 18312.</p> <p>26 T/26 t: Vortrieb in mehr als 2 Stufen, Abschlagstiefe ≤ 1,5 m, Beeinträchtigung der Gebirgsqualität durch Wasserzufluss möglich, unverzügliche Spritzbetonversiegelung erforderlich, Spritzbeton mindestens 20 cm dick, mit Baustahlmattenbewehrung, Systemankerung, Stahlbögen, erheblicher Zeitaufwand für Sicherungsarbeiten.</p> <p>33 T/33 t: Vortrieb in 7 Abschnitten/4 Abschnitten, Abschlagstiefe ≤ 1,5 m, Beeinträchtigung der Gebirgsqualität durch Wasserzufluss möglich, unverzügliche Spritzbetonversiegelung erforderlich, Spritzbeton 25 cm/20 cm dick, mit Baustahlmattenbewehrung, Systemankerung, Stahlbögen, erheblicher Zeitaufwand für Sicherungsarbeiten, kein Sohlgewölbe erforderlich.</p>   |
| GFS4w              | <p>Schwierigkeitsklasse wie GFS4, jedoch Sohlgewölbe wegen starken Wasserandrangs erforderlich.</p> <p>26 T/26 t: Für die geschlossenen Portalbereiche der Klasse GFS4w wird die Klasse GLS1 angesetzt.</p>   |

Tabelle 2-2



# Geschlossene Bauweise - Spritzbetonbauweise (Anlage 2b)



| <b>Lockergestein</b> |  |
|----------------------|--|
| GLS1                 | <p>Kurzfristig standfestes, kohäsives Lockergestein (entspricht etwa Ausbruchklassen 5 und 6, VOB Teil C, DIN 18 312).</p> <p>26 T/26 t: Teilausbruch in 3 Abschnitten (Kalotte/Strosse/Sohle), Begrenzung der Abschlagstiefe auf 1,00 m, Sicherung unmittelbar nach Erreichen der Abschlagstiefe, erheblicher Zeitaufwand für Sicherungsarbeiten, vorläufige Sicherung durch Stahlbögen und bewehrten, mindestens 20 cm dicken Spritzbeton.</p> <p>33 T/33 t: Teilausbruch in 7 Abschnitten/4 Abschnitten vorseilender Vortrieb von 2 Ulmenstollen/ 1 Ulmenstollen, Begrenzung der Abschlagstiefe auf 1,00 m, Sicherung unmittelbar nach Erreichen der Abschlagstiefe, erheblicher Zeitaufwand für Sicherungsarbeiten, vorläufige Sicherung durch Stahlbögen und bewehrten, mindestens 35 cm/30 cm dicken Spritzbeton, kein Sohlgewölbe erforderlich.</p> |
| GLS2                 | <p>Nicht standfestes Lockergestein aus gleichmäßig gelagerten Sanden und Kiesen (entspricht etwa Ausbruchklasse 7, VOB Teil C, DIN 18 312).</p> <p>26 T/26 t: Teilausbruch in 3 Abschnitten (Kalotte/Strosse/Sohle), Abschlagstiefe 0,80 m, Sicherung mit Vorpfändung, Stahlbögen und bewehrtem, mindestens 20 cm dickem Spritzbeton, Sicherung der Ortsbrust durch Böschungen und Spritzbeton.</p> <p>33 T/33 t: Teilausbruch in 7 Abschnitten/5 Abschnitten, vorseilender Vortrieb von 2 Ulmenstollen/ 1 Ulmenstollen, Abschlagstiefe 0,80 m, Sicherung mit Vorpfändung, Stahlbögen und bewehrtem, mindestens 35 cm/30 cm dickem Spritzbeton, Sicherung der Ortsbrust durch Böschungen und Spritzbeton, kein Sohlgewölbe erforderlich.</p>   |
| GLS3                 | <p>Nicht standfestes Lockergestein aus ungleichmäßig gelagerten Sanden, Kiesen und durchgehenden Geröllschichten (einschließlich Findlingen) (entspricht etwa Ausbruchklassen 7 und 7a, VOB Teil C, DIN 18 312).</p> <p>Bauverfahren wie Schwierigkeitsklasse GLS2, Abschlagstiefe 0,80 m.</p>   |
| GLS3m                | <p>Wie Schwierigkeitsklasse GLS3, jedoch Ausbildung eines Sohlgewölbes aus gebirgsmechanischen Gründen erforderlich.</p>   |

Tabelle 2-3

## Geschlossene Bauweise - Maschinenvortrieb (Anlage 2c)

|     |  |
|-----|--|
| GFM | <p><b>Schwierigkeitsklasse im Festgestein:</b></p> <p>Vortrieb in Festgestein, Beeinträchtigung der Gebirgsqualität durch zutretendes Bergwasser unbedeutend, entsprechend etwa Ausbruchklassen 2 und 3, DIN 18 312.</p> <p>Vortriebseinrichtung: Tunnelbohrmaschine ohne Schild (TBM), für Ausbruch, der eine Sicherung erfordert, deren Einbau das Lösen nicht behindert (TBM2, gemäß ETB).</p>  |
| GLM | <p><b>Schwierigkeitsklasse im Lockergestein:</b></p> <p>Vortrieb in nicht standfestem Lockergestein aus gleichmäßig gelagerten Sanden und Kiesen, entsprechend etwa Ausbruchklasse 7, DIN 18 312.</p> <p>Vortriebseinrichtung: Schildmaschine im Vollschnittabbau (SM-V), alternativ für Ausbruch mit</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>durch Flüssigkeit vollgestützter Ortsbrust, bei dem das Lösen nicht behindert wird (SM-V4, gemäß ETB - Empfehlungen des Arbeitskreises „Tunnelbau“, DGGT, 1995),</li> <li>durch Erdbrei vollgestützter Ortsbrust, bei dem das Lösen nicht behindert wird (SM-V5, gemäß ETB).</li> </ul> |

Tabelle 2-4

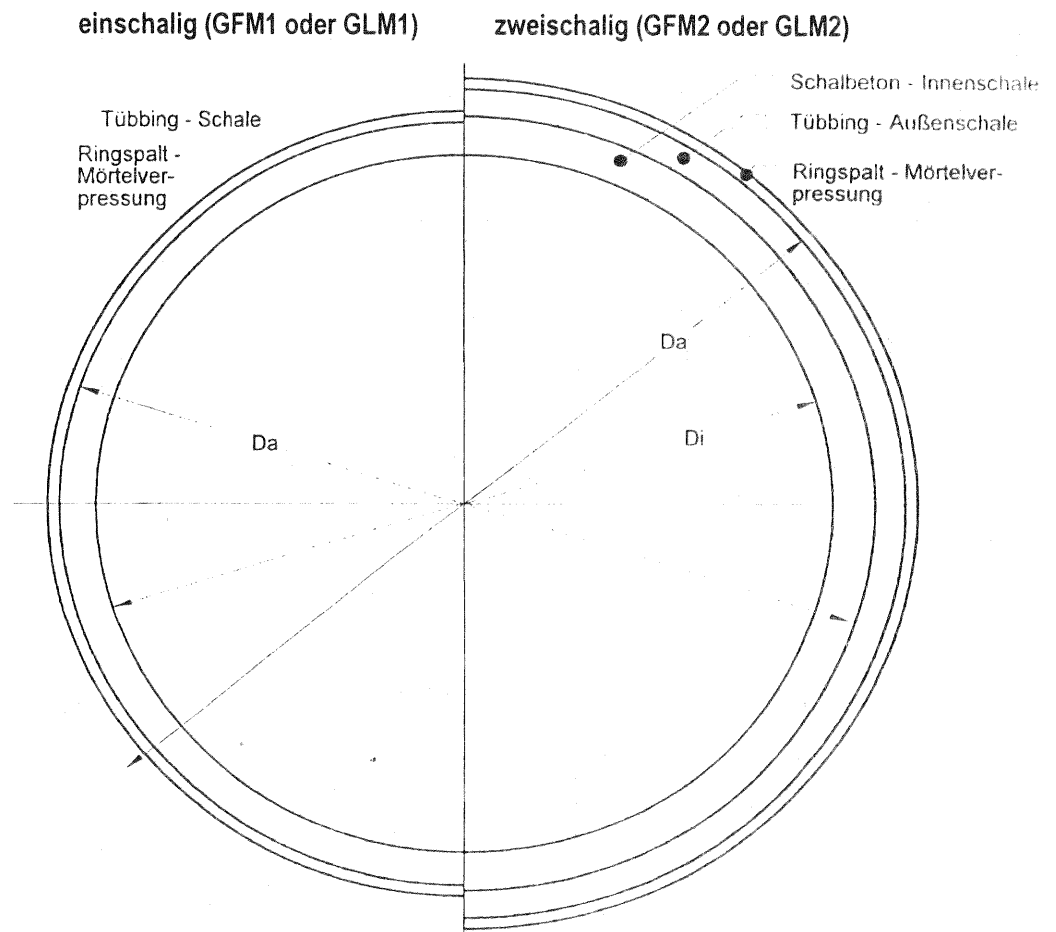


Bild 2-3

| Querschnittstyp<br>Schalenausführung |       | 26 t       |             | 26 Tr      |             | 26 T       |             |
|--------------------------------------|-------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
|                                      |       | einschalig | zweischalig | einschalig | zweischalig | einschalig | zweischalig |
| Durchmesser [m]                      | $D_i$ | 10,26      | 10,26       | 11,66      | 11,66       | 12,62      | 12,62       |
| <b>Lockergestein</b>                 | $D_a$ | 11,26      | 12,26       | 12,78      | 13,86       | 13,82      | 15,02       |
| Durchmesser [m]                      | $D_i$ | 10,26      | 10,26       | 11,66      | 11,66       | 12,62      | 12,62       |
| <b>Festgestein</b>                   | $D_a$ | 11,26      | 12,16       | 12,76      | 13,66       | 13,82      | 14,82       |

Tabelle 2-5

Anlage 3: Diagramme für 2-streifige Richtungsfahrbahnen

**Baulastträgerkosten (Anlage 3a)**

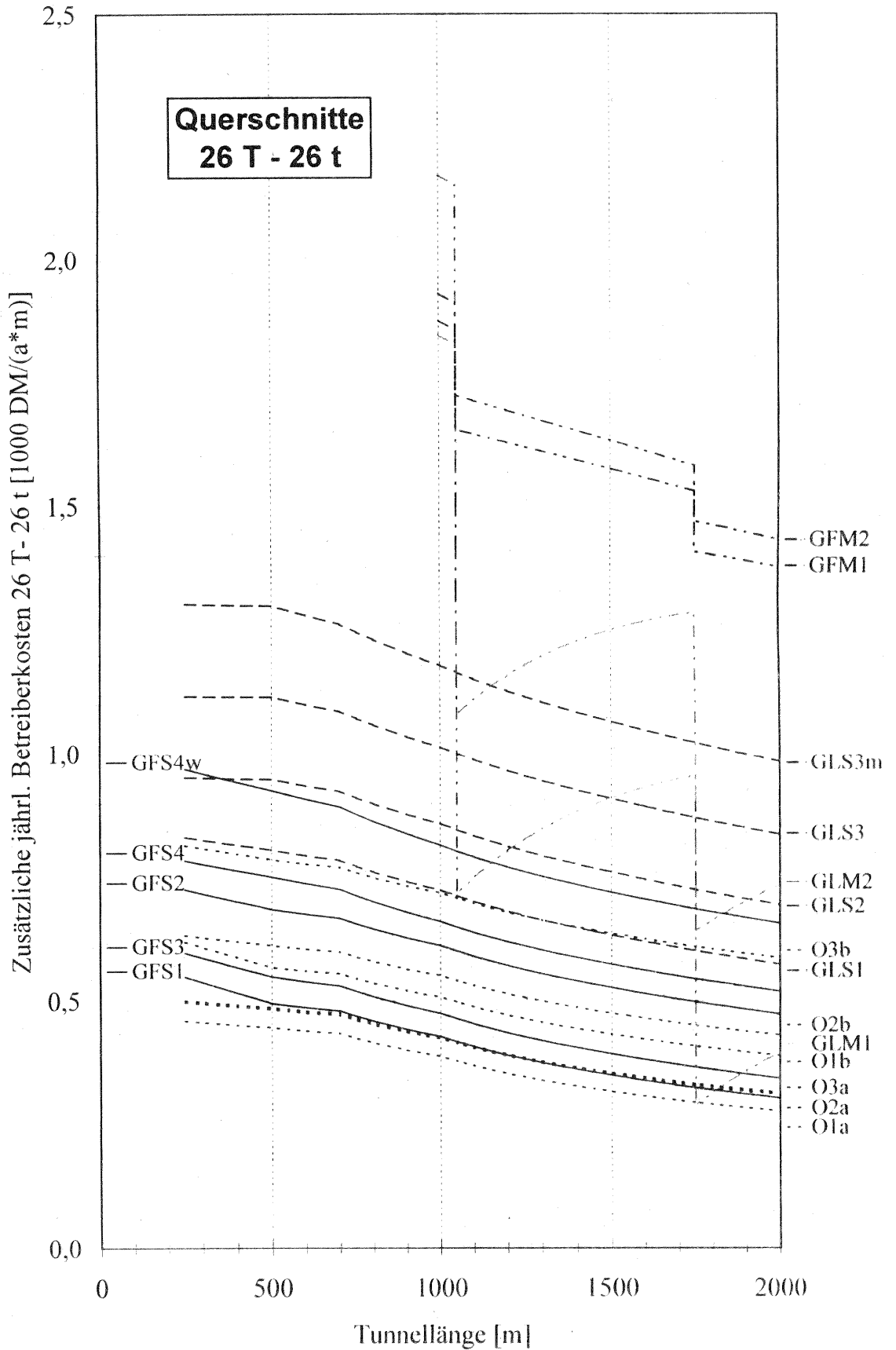


Bild 3-1

# Baulastträgerkosten (Anlage 3a)

## Sonderquerschnitt 26 Tr

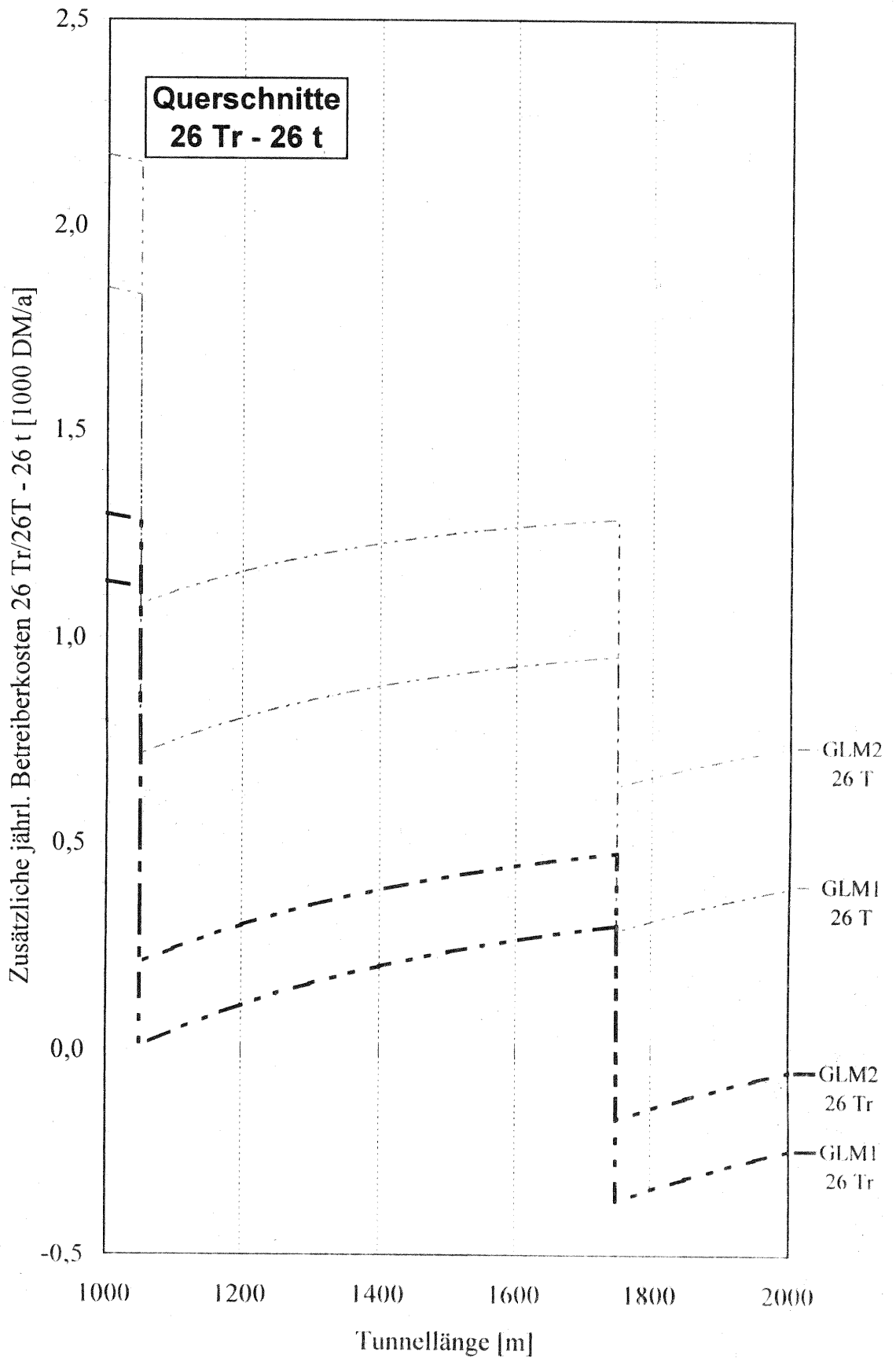


Bild 3-2

# Nutzen (Anlage 3b)

## 26 t - 26 T

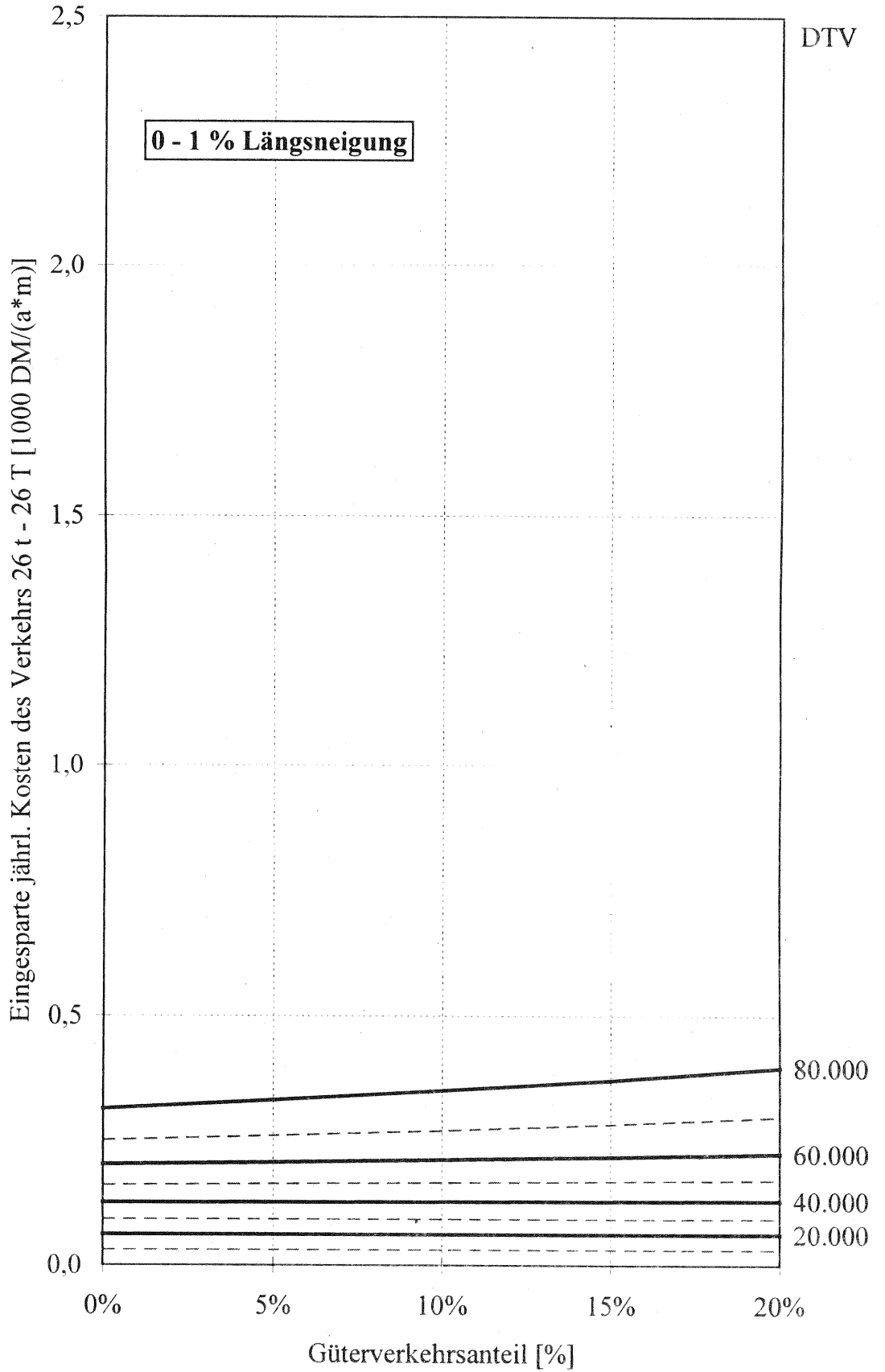


Bild 3-3

# Nutzen (Anlage 3b)

## 26 t - 26 T

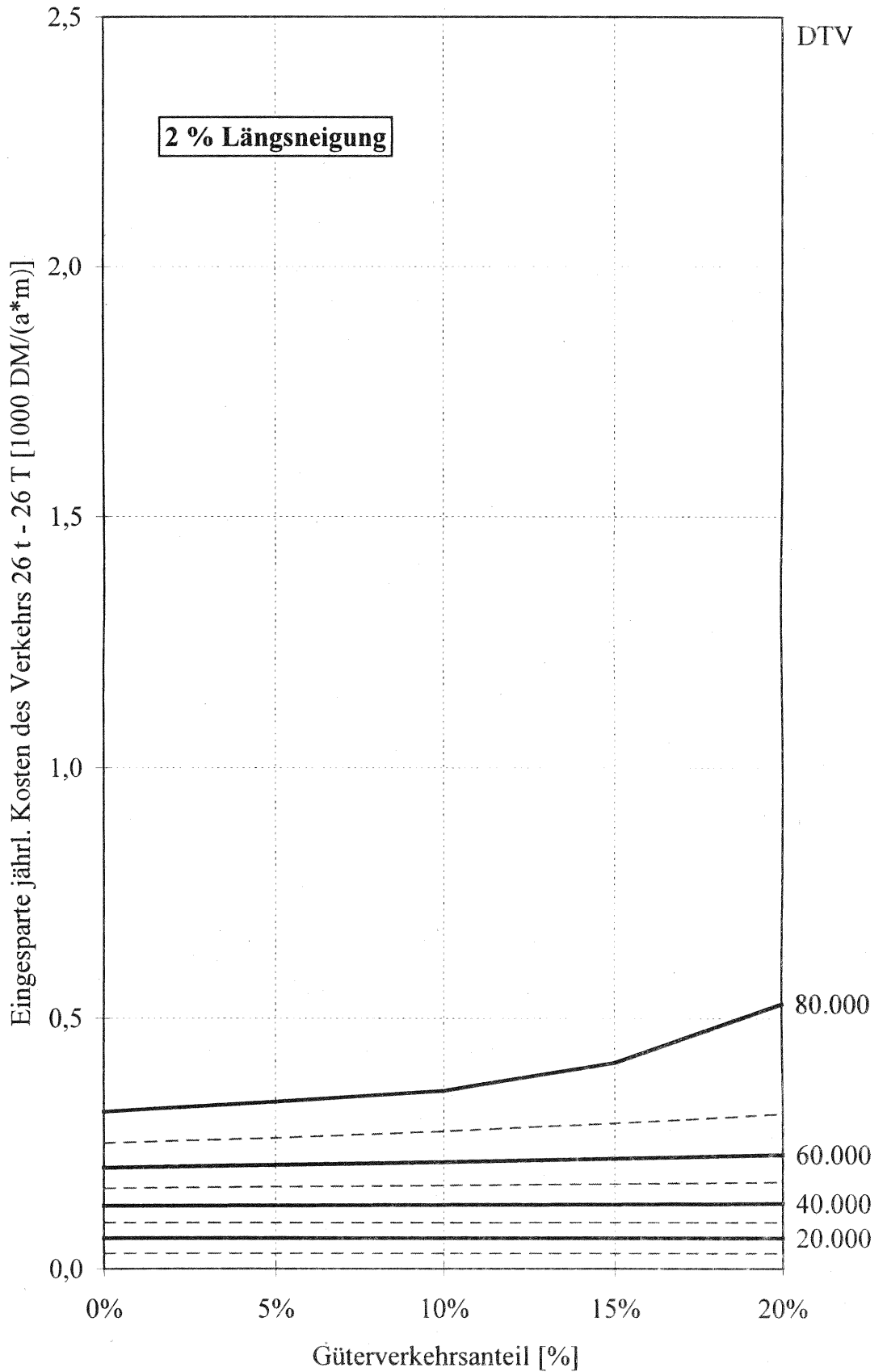


Bild 3-4

# Nutzen (Anlage 3b)

26 t - 26 T

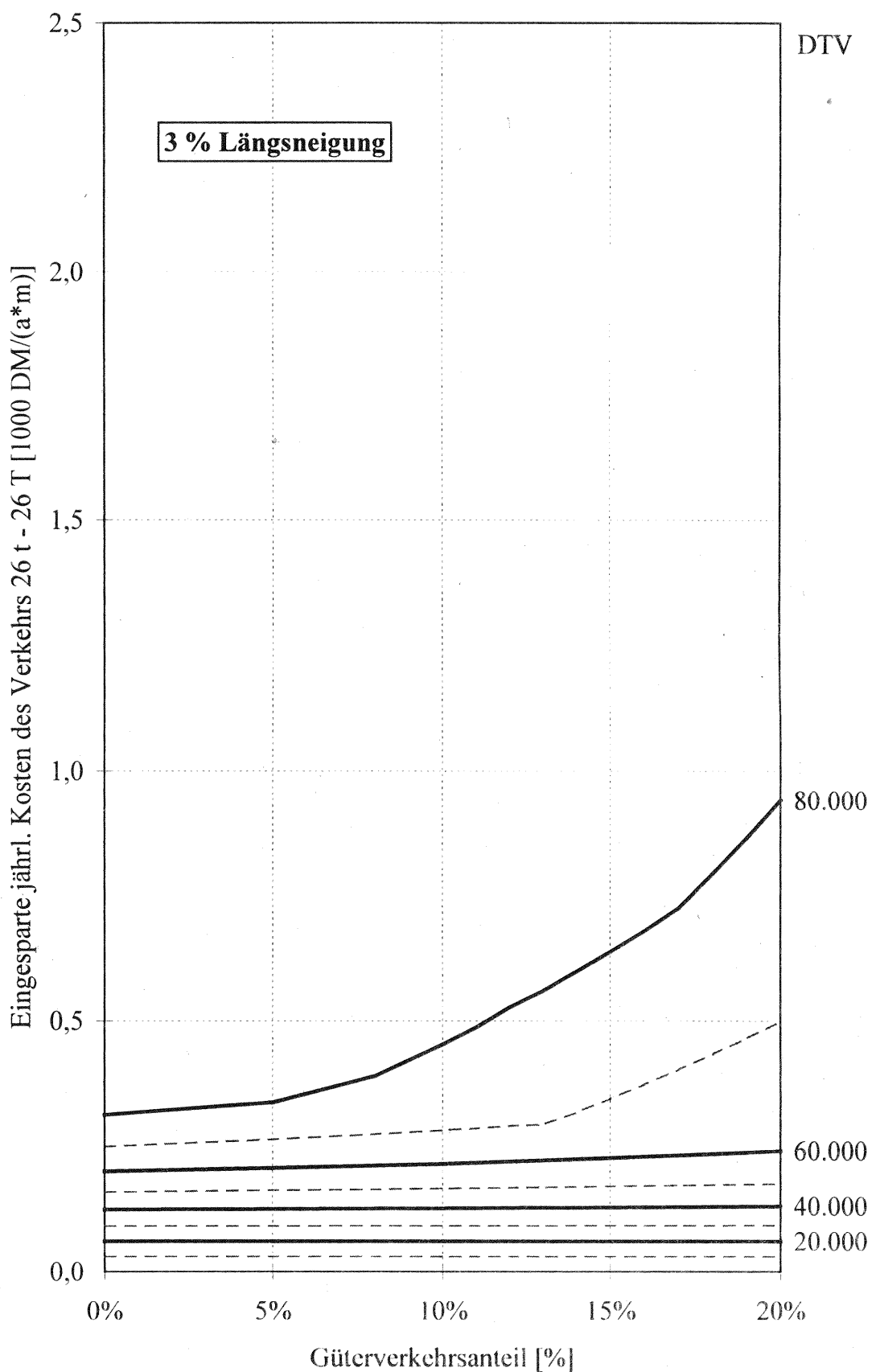


Bild 3-5

# Nutzen (Anlage 3b)

26 t - 26 T

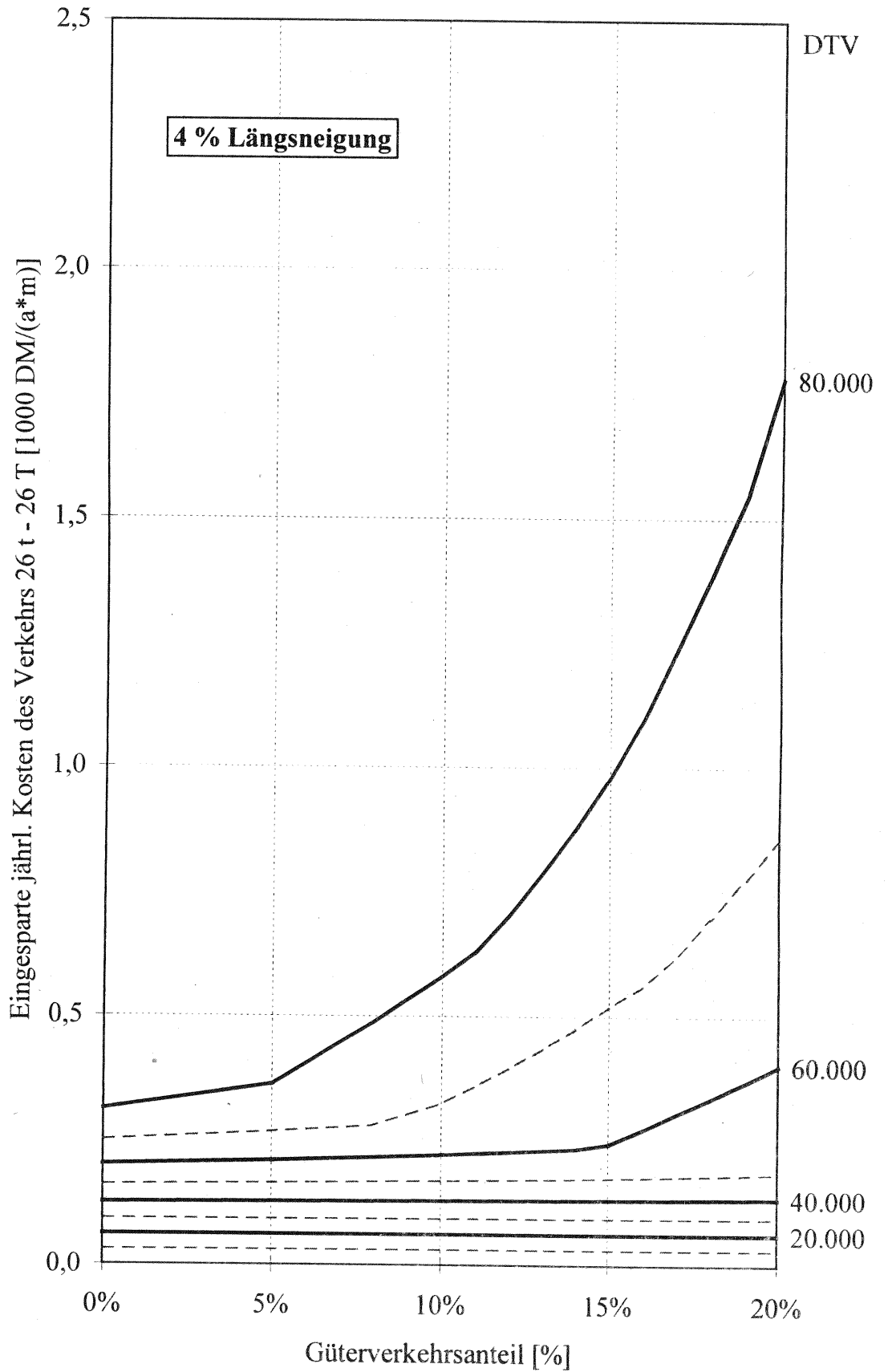


Bild 3-6



## Anlage 4: Diagramme für 3-streifige Richtungsfahrbahnen

## Baulastträgerkosten (Anlage 4a)

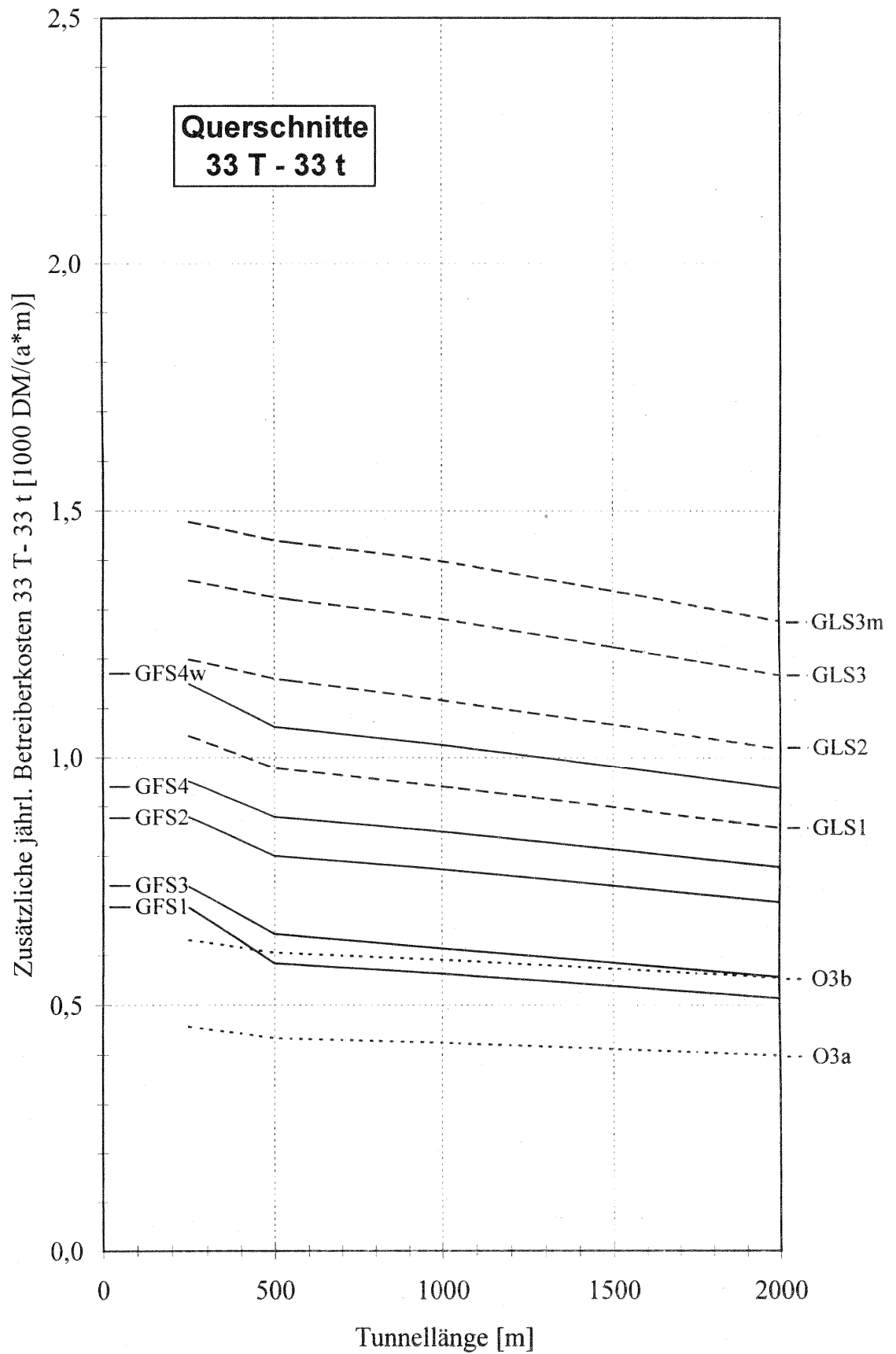


Bild 4-1

# Nutzen (Anlage 4b)

## 33 t - 33 T

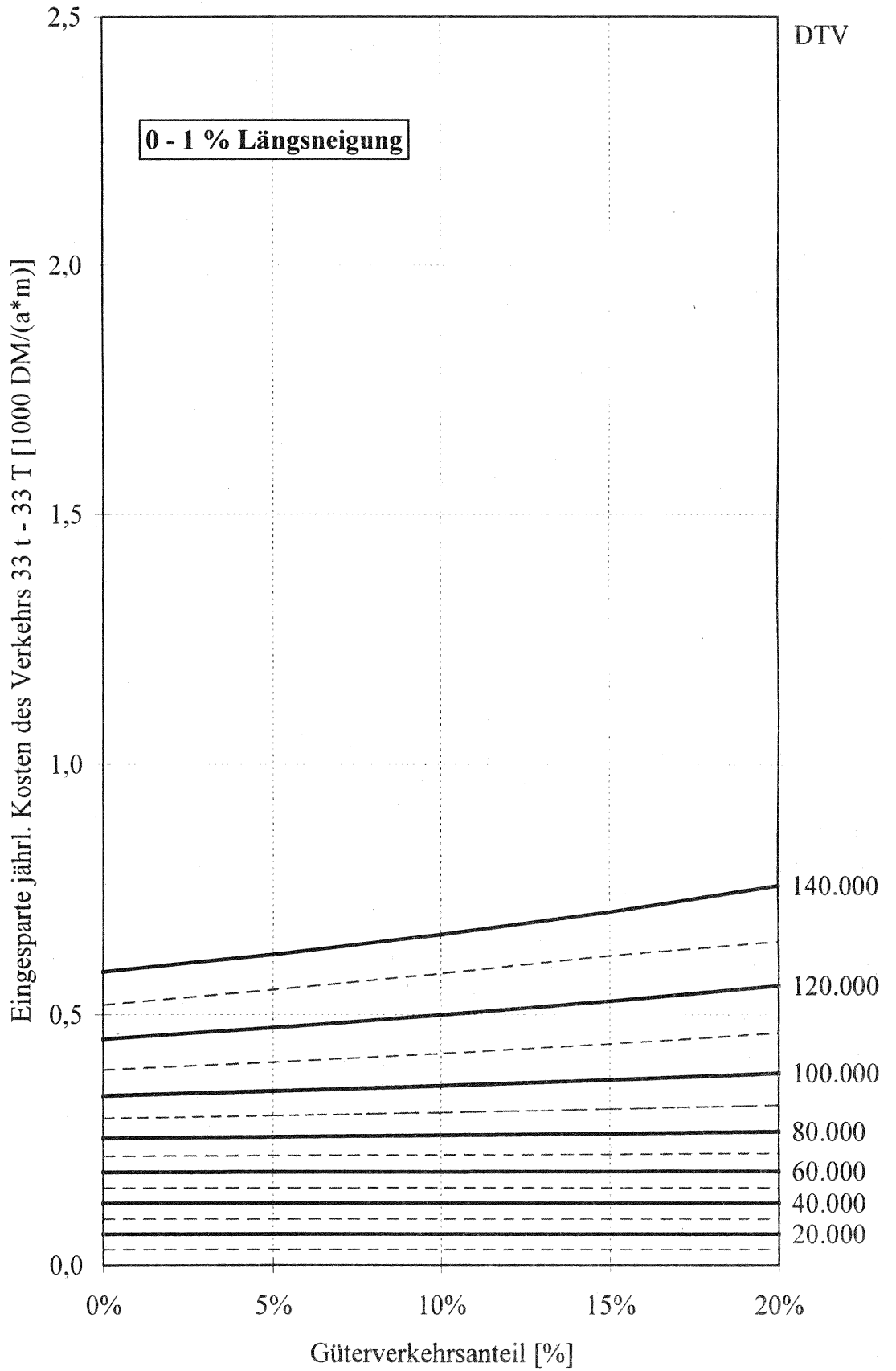


Bild 4-2

# Nutzen (Anlage 4b)

## 33 t - 33 T

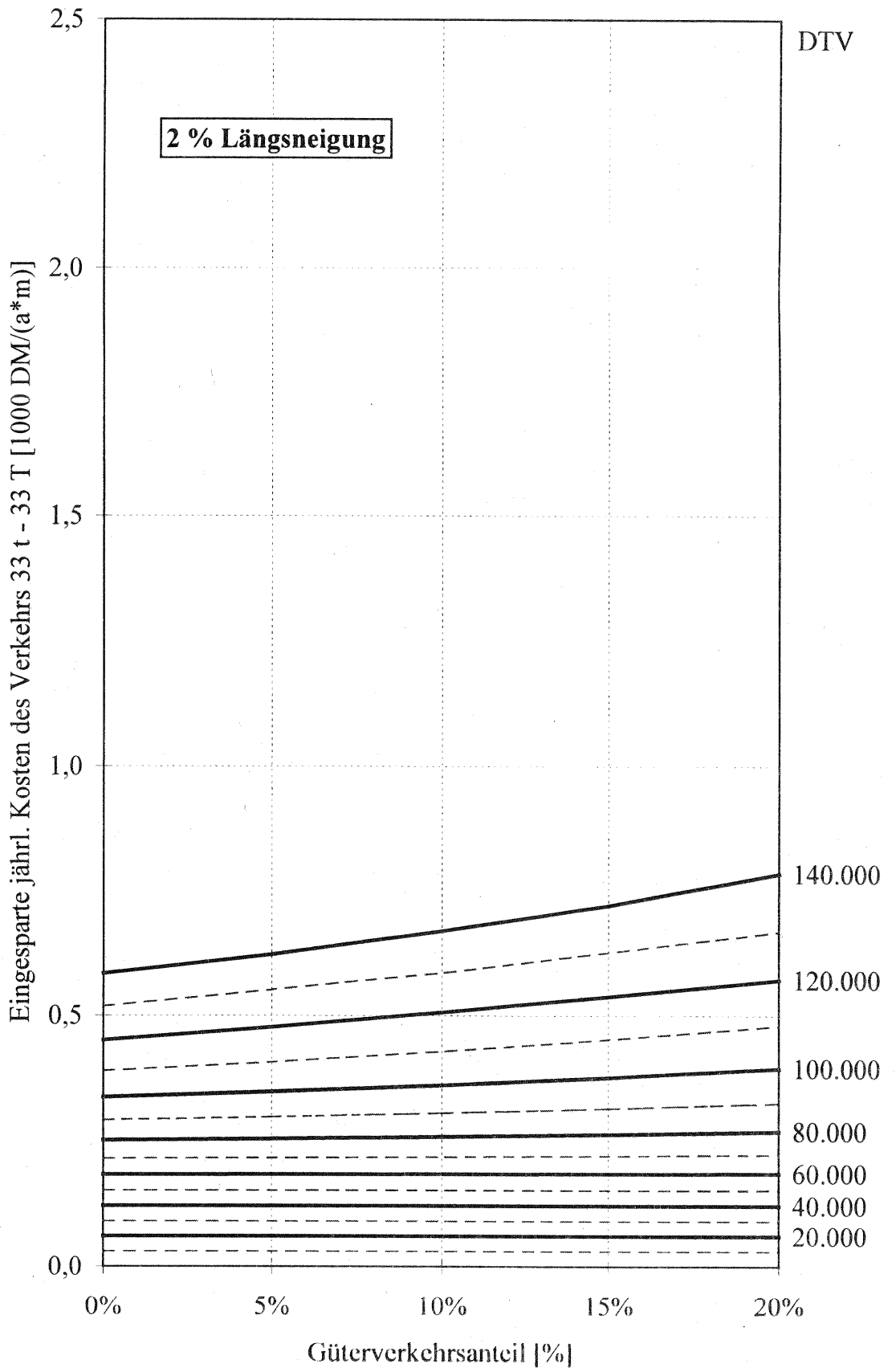


Bild 4-3

# Nutzen (Anlage 4b)

## 33 t - 33 T

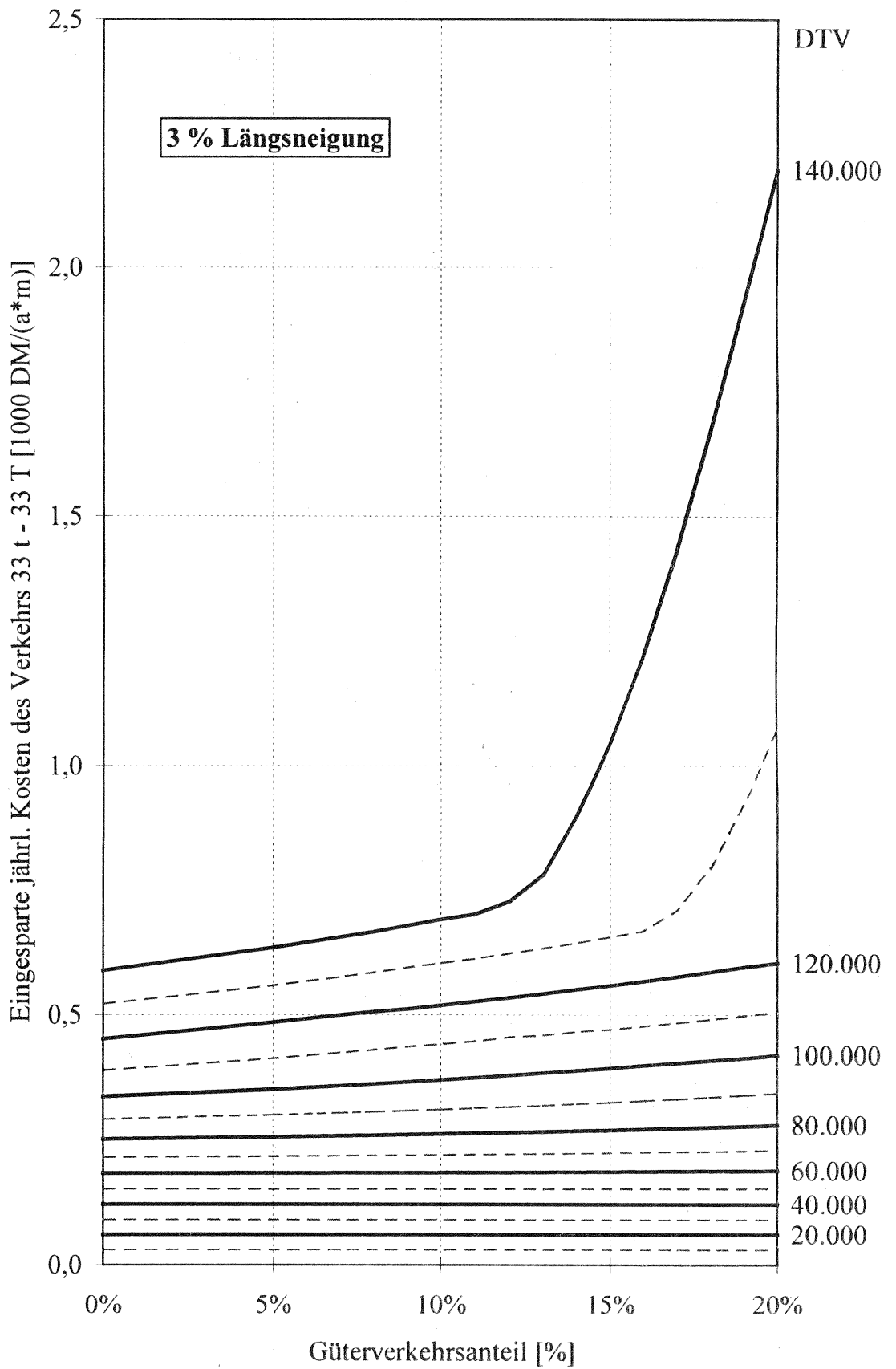


Bild 4-4

# Nutzen (Anlage 4b)

## 33 t - 33 T

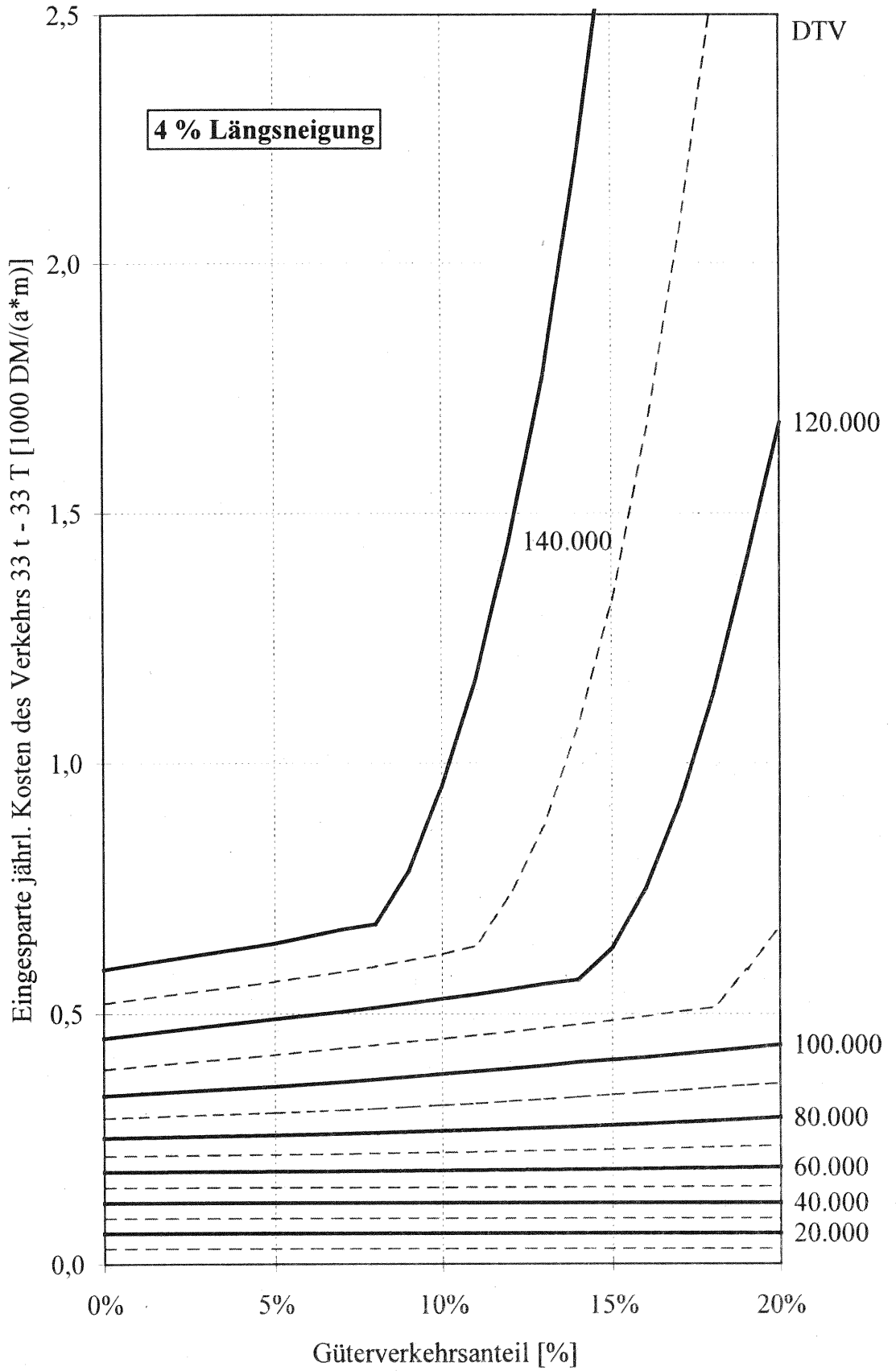


Bild 4-5