Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 50 (1959)
Heft: 6

Artikel: Beleuchtung zweier Strassentunnel auf der Strecke Thusis-Rongellen
Autor: Guanter, J. / Rieder, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057785

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Beleuchtung zweier Strassentunnel auf der Strecke Thusis—Rongellen

Von *J. Guanter*, Zürich, und *G. Rieder*, Chur

628.971.6 : 624.19(494.262.3)

Beleuchtete Strassentunnel im Alpengebiet für einen schnellen Motorfahrzeugverkehr sind in der Schweiz neu. Es werden die grundsätzlichen Überlegungen behandelt, die bei der Projektierung der Beleuchtungsanlage zweier Tunnel zwischen Thusis und Rongellen angestellt wurden, und es wird über die Ausführung der Einrichtungen mit den wichtigsten Einzelheiten, z. B. Lampen und Leuchten sowie deren Anordnung, über Leistung und Energieaufwand, Farbe der Tunnelwände, elektrische Anlage, Betrieb und Messungen berichtet.

Dans les alpes suisses, des tunnels routiers éclairés afin de garantir une circulation rapide des automobiles sont une nouveauté. L'article traite des points essentiels qui ont été pris en considération lors de l'établissement du projet d'éclairage pour deux tunnels de la route Thusis–Rongellen et décrit la mise au point de l'installation avec les détails les plus importants, tels que les lampes et les luminaires, ainsi que leur disposition, la puissance électrique et la consomation d'énergie totale, la couleur des parois des tunnels, l'installation électrique, l'exploitation et les mesures effectuées.

Ende November 1958 ist das neu erstellte Strassenstück zwischen Thusis und Rongellen auf der Verbindung zum Splügen- und zum St.-Bernhardin-Pass dem Verkehr übergeben worden. Es umgeht die Viamala, ist 2 km lang, weist eine Fahrbahnbreite von 7,5 m auf, beginnt unmittelbar ausserhalb Thusis mit einer neuen Brücke über die Nolla und enthält 2 Tunnel, von denen der untere (1) 223 m und der obere (2) 625 m lang ist (Fig. 1).

Es stand von Beginn der Projektstudien an fest, dass Tunnel solcher Länge auf wichtigen Verbindungen mit starkem und künftig noch zunehmendem Fahrverkehr mit einer künstlichen Beleuchtung versehen sein müssten. Das Bauamt des Kantons Graubünden veranlasste deshalb gegen Ende des Jahres 1953 die Ausarbeitung eines Vorprojektes, um Unterlagen zu bekommen, und zwar über die zweckdienlichste Lichtquelle, die Leuchtenart, deren Zahl und Anordnung in den Tunneln, ferner über die elektrische Leistung zur Bestimmung der Erstellungskosten der vollständigen Anlage mit Installation und Speisung sowie schliesslich über die jährlichen Betriebskosten, bestehend aus dem Aufwand für die elektrische Energie, den Lampenersatz, den Unterhalt der Installation und den Farbanstrich der Tunnel.

A. Grundsätzliches und Vorprojekt

1. Wahl der Beleuchtungsstärke

Die Bemessung der Stärke der künstlichen Beleuchtung an den Tunnelportalen und des Verlaufes der Beleuchtung gegen das Tunnelinnere ist das Kernproblem der Projektierung. Die Beleuchtungsstärke gegen das Tunnelinnere ändert mit dem Einfallswinkel und der Stärke des natürlichen Lichtes; sie ist ferner in starkem Mass vom Tunnelprofil abhängig. Von einer gewissen Strecke an muss künstliches Licht das Tageslicht ergänzen, und je tiefer man eindringt, um so schwächer braucht die zusätzliche Beleuchtung zu sein. Diese Abstufung wird durch den Adaptationsvorgang des Auges festgelegt. Dazu bedarf es einer gewissen Zeit, die um so länger dauert, je grösser die Helligkeit am Anfang des Adaptationsvorganges ist. Der umgekehrte Adaptationsvorgang von dunkel auf hell, der sich bei der Tunnelausfahrt abspielt, vollzieht sich rascher. Die der Adaptationszeit zugehörige Strecke, die ein Autofahrer zurücklegt, ist von seiner Fahrgeschwindigkeit abhängig.

Die verschiedenen Einflussfaktoren verunmöglichen es, eine Tunnelbeleuchtung so zu erstellen, dass sie allen Voraussetzungen gleich gut entspricht, besonders wenn noch die Forderung nach möglichst geringen Betriebs- und Unterhaltskosten im Vordergrund steht.

Beispiele bereits ausgeführter Beleuchtungsanlagen in gleichartigen Strassentunneln bestanden Ende 1953 in der Schweiz nicht. Man konnte zum überschlägigen Vergleichen zwei bestehende Anlagen in gleichartigen Strassentunneln bestanden zwischen den Quatieren Enge und Wiedikon) und in der betriebsfertigen der beiden Unterführungen beim Hauptbahnhof — heranziehen. Die Voraussetzungen für den Verkehr in Strassentunneln von Verbindungen über die Alpen und in Städten sind voneinander stark abweichend. Vor allem ist die Verkehrsdichte in Städten viel intensiver und das ganze Jahr hindurch mehr oder weniger ähnlich verteilt, wogegen Alpenstrassen grosse saisonbedingte Unterschiede in der Verkehrsdichte aufweisen. Die Bedingung geringster Betriebskosten zwingt also, die Beleuchtungsanlagen in Alpentunneln für eine mittlere Verkehrsdichte zu planen und auch Massnahmen vorzusehen, welche eine Reduktion der Betriebskosten zur Folge haben. Hierzu gehört z. B. die Beschränkung der Einfahrgeschwindigkeit der Autos in die Tunnel, damit die besonders kostspie-

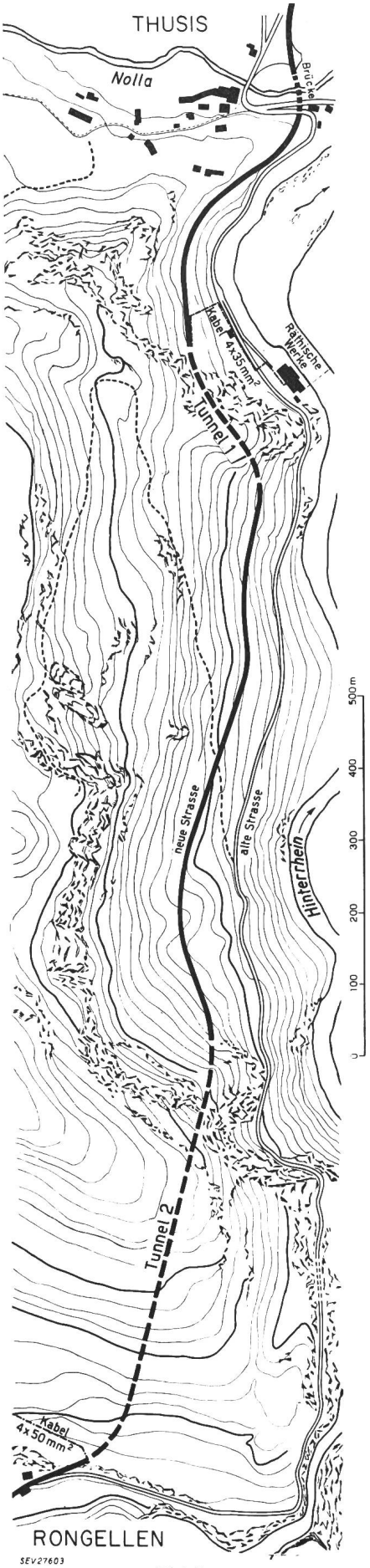

Fig. 1
Situationsplan der Strassenstrecke Thusis—Rongellen

lige Anfangsbeleuchtung entsprechend reduziert werden kann. Diese Geschwindigkeitsverminderung lässt sich baulich dadurch erzielen, dass z. B. Tunnel-Eingangsstrecken bestimmte Radien aufweisen, was übrigens auch dem ausfahrenden Automobilisten den Vorteil bietet. dass störende Blendung durch direkt einstrahlendes Sonnenlicht oder durch verschneite, sonnenbestrahlte Gegenhänge möglichst lange verzögert wird.

Die beiden Vergleichsanlagen wiesen folgende charakteristische Eigenschaften auf:

Beim *Ulmbergtunnel* von 240 m Länge betrug (und beträgt auch heute noch) die maximale Beleuchtungsstärke des künstlichen Lichtes aus den Fluoreszenzlampen in der Nähe der Portale etwa 230... 250 lx. Im Bericht der Technischen Prüfanstalten des SEV wird zu dieser Anlage bemerkt, dass der Beleuchtungsstärkeverlauf, herrührend vom natürlichen und vom künstlichen Licht, knapp der für sichere Fahrt bei mässiger Fahrgeschwindigkeit minimalen Beleuchtungsverteilung an Tunneleingängen entspricht. Die Beleuchtungseinrichtung im Ulmbergtunnel konnte der Projektierung nicht zu Grunde gelegt werden, selbst nicht für die angenommene Einfahrgeschwindigkeit der Fahrzeuge von 40 km/h. Beim endgültigen Projekt wurde sie mit 70 km/h eingesetzt.

In der *Unterführung* von 50 m Länge beim Hauptbahnhof Zürich (Bahnhofquai) bewirkt die künstliche Beleuchtung mit Fluoreszenzlampen an den Portalen eine Beleuchtungsstärke von 430 lx, die bis zur Mitte der Unterführung bis auf 730 lx steigt. Zusammen mit dem Tageslicht ergibt sich eine Beleuchtungsverteilung, die auch dem schnell fahrenden Automobilisten bei den am häufigsten vorkommenden Tageslichtverhältnissen ein sicheres Durchfahren der Unterführung ermöglicht. Höchstens bei intensivstem Sonnenlicht besteht der Wunsch nach einer noch stärkeren Einfahrtbeleuchtung. Weil aber die Strecke sehr kurz ist (bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h wird sie in 3 s durchfahren) lässt sich daraus noch kein Mangel ableiten, weil der Automobilist schon bei der Einfahrt (in der zweiten Unterführung kurz nachher) die Ausfahrtöffnung erblickt und sein Auge praktisch an die ursprüngliche Leuchtdichte adaptiert bleibt. Aus der Beleuchtungsanlage der Unterführung liess sich immerhin der Schluss ziehen, dass die Stärke des künstlichen Lichtes an den Portalen die Grössenordnung von etwa 400 lx erreichen soll.

Ausser den beiden Anlagen in Zürich waren auch einige aus dem Ausland bekannt, doch stammen sie entweder aus der Vorkriegszeit und genügen daher den heutigen Anforderungen des schnellen Fahrverkehrs nicht mehr, oder es handelt sich um neue Unterführungen in Großstädten [z. B. Brooklyn-Battery-Tunnel in New York (1950) und Strassentunnel de la Croix-Rousse in Lyon (1952)] mit einem intensiven Fahrverkehr, der jenen von Alpenstrassen vielfach übertrifft.

Mangels anderer Anlagen wurden zur Bestimmung der Beleuchtungsstärke an den Portalen und ihres Verlaufes gegen das Tunnelinnere die Angaben gemäss Fig. 2 der American Standard Practice for Street and Highway Lighting (1947) zu Grunde gelegt. Die tatsächlichen Profilmasse der Tunnel Thusis—Rongellen (Fig. 3) weichen zwar von den in Fig. 2 vorausgesetzten Abmessungen ab. Immerhin haben Messungen, die drei Jahre später an den durchgeschlagenen Tunneln durchgeführt wurden, eine gute Übereinstimmung zwischen der effektiven Eintrittsverteilung des natürlichen Lichtes in die Tunnelröhre und der Kurve T in Fig. 2 ergeben.

Der erforderliche Beleuchtungsverlauf für die Einfahrgeschwindigkeit von 40 km/h wurde nach Kurve B_{40} der Fig. 2 angenommen, und die Ergänzungsbeleuchtung mit künstlichem Licht nach der Differenzkurve $B_{40} - T$ bzw. nach der ihr angepassten Treppenkurve K_{40} bestimmt. An den Portalen ist also eine Zusatzbeleuchtung von etwa 400 lx nötig, die stufenweise gesenkt werden kann, so dass der Verlauf von natürlichem plus künstlichem Licht von über 2000 lx am Portal auf 25 lx nach 45...50 m Tiefe absinkt. Für die Fahrgeschwindigkeit von 40 km/h ergibt sich für diese Strecke eine Adaptationszeit von etwa 4,5 s.

2. *Wichtige Voraussetzungen*

Damit das Licht der Lampen durch die Tunnelwände gut reflektiert wird, müssen sie so hell wie möglich sein und auch dauernd in diesem Zustand erhalten werden, was einen regelmässigen Unterhalt bedingt. Ferner ist ein heller Bodenbelag der Fahrbahn (Beton) erforderlich. Diese helle Umgebung dient auch der Erhöhung der Kontrastwirkung von Hindernissen, die sich auf der Fahrbahn befinden können.

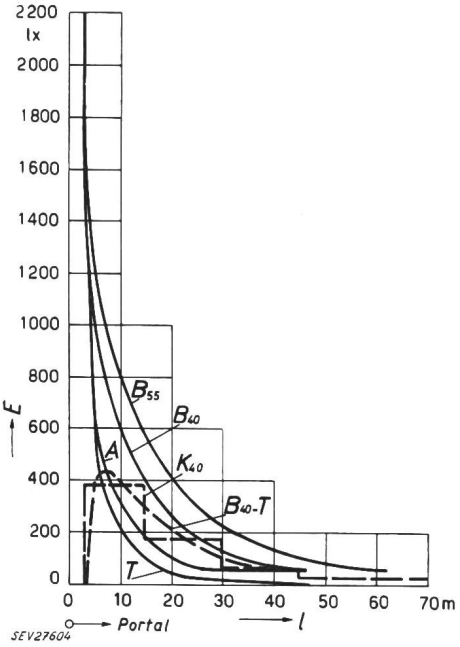

Fig. 2
Verlauf der Beleuchtungsstärke im Tunnelinnern für eine Einfahrgeschwindigkeit der Fahrzeuge von 55 km/h und umgerechnet von 40 km/h

l	Abstand vom Tunnelportal; E Beleuchtungsstärke
T	Eintritt des natürlichen Lichtes (bei mittleren Verhältnissen) für eine Portalbreite von 12,5 m und eine Höhe von 4,2 m
A	Minimalbedingung des Beleuchtungsverlaufes für natürliches und künstliches Licht beim Fahren mit höchster Konzentration für v = 55 km/h
B_{55}	Beleuchtungsverlauf für natürliches und künstliches Licht mit Sicherheitsfaktor 2 für v = 55 km/h
B_{40}	Beleuchtungsverlauf für natürliches und künstliches Licht mit Sicherheitsfaktor 2 für v = 40 km/h
B_{40}—T	Ergänzung des natürlichen durch künstliches Licht für v = 40 km/h
K_{40}	Der Kurve B_{40}—T angepasster Verlauf

Dem Projekt ist ein Reflexionsgrad von 50 % für Decke und Wände des Tunnels und von 15 % für den Boden zu Grunde gelegt. Werden die Wände in der mittleren Naturfarbe des Betons belassen, so reduzieren sich die Beleuchtungsstärken um etwa 17 %. Für Tunnelpartien mit nassen und daher dunkeln Betonflächen ist die Abnahme noch viel stärker.

3. *Lampen, Leuchten und deren Anordnung*

Als *Lichtquellen* kommen nur solche mit hoher Lichtausbeute und langer mittlerer Lebensdauer, sowie mit geringen spezifischen Lampenkosten (Rp./Brennstunde) in Frage. Glühlampen fallen deshalb ausser Betracht, obwohl sie mit den billigsten Leuchten auskommen und kein Vorschaltgerät benötigen. Bei Entladungslampen ist der Leuchtenpreis von der Lampenart (Natrium-, Quecksilber-, Leuchtstoff- oder Fluoreszenzlampen) abhängig.

Die *Anordnung der Leuchten* in den Tunneln ist zweireihig (Fig. 3 und 7) und durch die Beleuchtungsstärke bedingt, bei den Portalen dicht und gegen das Tunnelinnere immer lichter. Die Leuchten für Natriumlampen sind in zwei Ausführungen nötig (60 und 85 W), ebenso jene für Quecksilber-Leuchtstofflampen (125 und 250 W), und bei den Leuchten für Fluoreszenzlampen (40 W) sind solche für 2 bzw. 3 Lampen erforderlich.

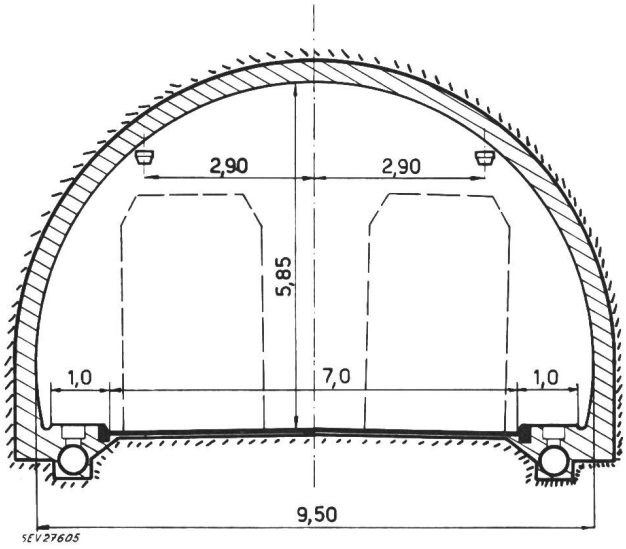

Fig. 3
Profil der Strassentunel Thusis—Rongellen

Das Verhältnis der Preise (Stand 1953) der Leuchten einschl. der zum Betrieb erforderlichen Vorschaltgeräte verhält sich für Natrium-, Fluoreszenz- und Quecksilber-Leuchtstofflampen etwa wie 100 : 85 : 70.

4. *Weitere Einflussfaktoren*

Die *Energiekosten* haben einen sehr bedeutenden Einfluss auf den jährlichen Betriebskostenaufwand. Dieser hängt von der erforderlichen Lampenzahl, der elektrischen Leistung, der jährlichen Benützungsdauer sowie vom kWh-Preis ab. Während der Nachtstunden ist mit einer wesentlich reduzierten Beleuchtung der Tunnel auszukommen. Eine mittlere Beleuchtungsstärke von 12 lx wird erzielt, wenn auf etwa 14...15 m Tunnellänge eine Lampe (bei Fluoreszenzbeleuchtung 2 Lampen) eingeschaltet bleibt. Es sind somit nur während der Tagesstunden (4000 h/Jahr) alle Lampen und ein Teil ganzjährig (8760 h) in Betrieb. Der jährliche Energieverbrauch für beide Tunnel steht für Quecksilber-Leuchtstoff-, Fluoreszenz- und Natriumlampen in einem Verhältnis von etwa 100 : 72 : 59 zueinander.

Die *Lampenersatzkosten* hängen von der mittleren Lebensdauer der Lampen und von deren Preis ab. Im Jahr 1953 standen diese Ersatzkosten in einem Verhältnis von 100 : 30 : 80 für Natrium-, Fluoreszenz- und Quecksilber-Leuchstofflampen zueinander.

Da die Fluoreszenzlampen mit 7500 h mittlerer Lebensdauer die weitaus längste Brenndauer der Entladungslampen aufzuweisen haben, sind auch die Kosten für die Vornahme der Auswechslung die geringsten. Zur Reduktion dieses Aufwandes auf einen Mindestbetrag ist die gruppenweise Auswechslung der Lampen nach Erreichung der «wirtschaftlichen» Lebensdauer, die bei etwa 6500 h Benützungszeit liegt, unbedingt zu empfehlen.

5. *Folgerung*

Wenn für das Vorprojekt auch noch nicht alle die Betriebskosten beeinflussenden Faktoren bekannt waren, so ermöglichten die beschriebenen Komponenten doch bereits den Schluss zu ziehen, dass zur Beleuchtung von Strassentunneln Fluoreszenzlampen die im Betrieb günstigste Lösung ergeben.

B. Endgültiges Projekt und Ausführung

Im Verlauf der Zeit, während der die Tunnel im Bau waren, kam immer mehr die Meinung auf, eine Beleuchtungsanlage für eine Einfahrgeschwindigkeit von 40 km/h könne den Anforderungen des immer rascher werdenden Verkehrs nicht entsprechen, und deshalb wurden die Beleuchtungsanlagen der Tunnel für eine Geschwindigkeit von 70 km/h geplant und erstellt.

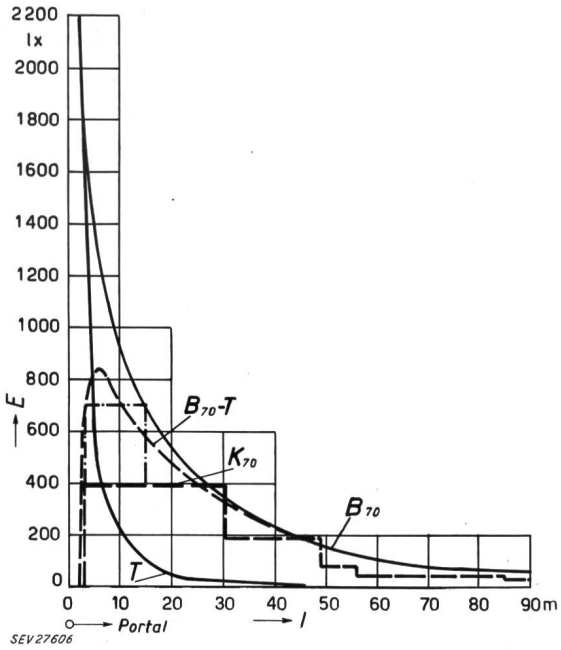

Fig. 4

Verlauf der Beleuchtungsstärke im Tunnelinnern für eine Einfahrgeschwindigkeit der Fahrzeuge von 70 km/h

l	Abstand vom Tunnelportal; E Beleuchtungsstärke
T	Eintritt des natürlichen Lichtes
B_{70}	Beleuchtungsverlauf für natürliches und künstliches Licht mit Sicherheitsfaktor 2 für v = 70 km/h
B_{70}—T	Ergänzung des natürlichen durch künstliches Licht v = 70 km/h
K_{70}	Der Kurve B_{70}—T angepasster Verlauf

Obwohl die künstliche Zusatzbeleuchtung bei den Portalen verstärkt werden sollte, wurde sie der wesentlich erhöhten Betriebskosten wegen bei einer Stärke von etwa 400 lx belassen, jedoch die Strecke mit der dichten Leuchtenanordnung und der ganze Adaptationsweg verlängert. Die Strecke mit 25 lx beginnt jetzt erst ab 85...90 m Tunneltiefe, was bei der erhöhten Einfahrgeschwindigkeit die praktisch gleiche Adaptationszeit ergibt.

1. *Lampen, Leuchten und deren Anordnung*

Es stehen in den beiden Tunneln *784 Fluoreszenzlampen 40 W* gelblichweisser Lichtfarbe (Fabrikat Osram L-40 W/23 aus der Lampenfabrik Winterthur) in Anwendung, davon 336 Lampen im Tunnel 1 und 448 Lampen im Tunnel 2. Ihr Lichtstrom nach 100 h Brennzeit ist 2650 lm; die mittlere Lebensdauer beträgt 7500 h; der Lichtstromverlust nach dieser Zeit liegt unter 20 %. Die endgültige Wahl der Lampenlichtfarbe erfolgte kurz vor der Eröffnung der Tunnel nach einem praktischen Versuch.

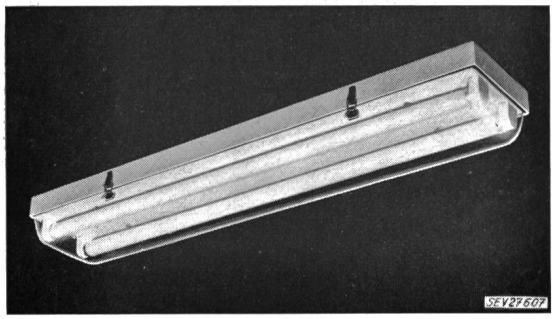

Fig. 5

Leuchte für 2 bzw. 3 Fluoreszenzlampen 40 W mit staub- und wasserdichtem Abschluss aus Plexiglas

Es sind zwei *Leuchtenarten* vorhanden, die eine für 3, die andere für 2 Lampen. Beide Modelle (Fig. 5: Fabrikat Alumag, aus einem Katalogmodell gemeinsam von Osram und Alumag entwickelt) haben ein einheitliches Aluminiumgehäuse und die gleiche Schale aus glattem, klarem Plexiglas. Diese Schale wird mit 4 Kniehebelverschlüssen staubdicht in die gummibelegten Fugen des Gehäuses gepresst. Die Leuchten sind auch spritzwasserdicht. Ihre Befestigung am Tunnelgewölbe erfolgt mit zwei einbetonierten, verzinkten Eisenträgern, die verstellbar sind und so die gute Ausrichtung der Leuchten ermöglichen.

Zum Betrieb der Lampen dienen ausschliesslich *induktive Vorschaltgeräte* in geschlossenen, gegen Korrosion geschützten Stahlprofilen in sogenannter Tropicausführung für nasse Räume, mit frei austretenden Drahtenden und eingebautem Hitzdrahtstarter (Fabrikat Knobel, Ennenda). Die Kompensation des Leistungsfaktors der Anlage erfolgt zentral. Die Geräte sind in die Leuchtengehäuse eingebaut, und die Drahtenden sind auf eine Klemme geführt, so dass der Anschluss der einzelnen Lampen nach Belieben möglich ist und die Unterteilung der Anlage in Taglampen bzw. Lampen für den durchgehenden Betrieb jederzeit geändert werden kann.

Die *Anordnung der Leuchten* erfolgt zweireihig mit einem gegenseitigen Abstand von 5,8 m (Fig. 3). Durch die Montage der Leuchten in Längsrichtung

weisen sie die geringste Leuchtdichte auf, so dass auch der Kontrast auf dem hellen Gewölbehintergrund klein wird und eine Blendung der Tunnelbenützer praktisch nicht auftritt (Fig. 6). In der Längsrichtung der Tunnel beginnen die Leuchten etwa 3 m von den Portalen entfernt in einer zuerst ununterbrochenen Folge, die gemäss Fig. 7 immer lockerer wird, um der Beleuchtungsstärkeverteilung nach Fig. 4 zu genügen.

Zwischen den beiden etwa 85...90 m langen Adaptationsstrecken befindet sich die Mittelstrecke, deren mittlere Beleuchtungsstärke am Tag etwa 25 lx beträgt. Sie besteht aus etwa 14 m langen Abschnitten, welche mit 2 gegenüberliegenden Leuchten, die 2 Lampen enthalten, versehen sind. Im Tunnel 1 sind es 3 Abschnitte von zusammen 43 m, im Tunnel 2 31 Abschnitte von rund 453 m.

Während der Nacht bleibt in den jeweils etwa 14 m voneinander entfernten Leuchten beider Reihen eine Lampe eingeschaltet. Bei einer mittleren Beleuchtungsstärke von etwa 12 lx liegt die Gleichmässigkeit $E_{min} : E_{max}$ etwa bei 1 : 3 bis 1 : 4.

2. *Lampen-, Leuchten- und Energieaufwand*

Den folgenden Tabellen I...III ist die Zahl der installierten Leuchten und Lampen sowie deren elektrische Leistungsaufnahme, ferner der jährliche Energieverbrauch und die Anzahl der erforderlichen Ersatzlampen zu entnehmen.

Installierte Lampen und Leuchten sowie deren Leistungsaufnahme in den Strassentunneln Thusis–Rongellen

Tabelle I

Leuchten		Fluoreszenz-Lampen 40 W					
mit 3 Lampen	mit 2 Lampen	Für Tag- und Nachtbeleucht.		Für Tagbeleuchtung		Total	
Zahl	Zahl	Zahl	kW	Zahl	kW	Zahl	kW
Tunnel 1							
108	6	30	1,5	306	15,3	336	16,8
Tunnel 2							
108	62	86	4,3	362	18,1	448	22,4
Total							
216	68	116	5,8	668	33,4	784	39,2

Jährlicher Energieverbrauch in den Strassentunneln Thusis–Rongellen

Tabelle II

		Tag- u. Nachtbeleuchtung	Tagbeleuchtung	Total kWh
Tunnel 1				
Lampen	Zahl	30	306	
Leistung	kW	1,5	15,3	
Brenndauer	h	8 760	4 000	
Verbrauch	kWh	13 140	61 200	74 340
Tunnel 2				
Lampen	Zahl	86	362	
Leistung	kW	4,3	18,1	
Brenndauer	h	8 760	4 000	
Verbrauch	kWh	37 668	72 400	110 068
		In Tunnel 1 + 2		184 408

3. *Anstrich der Tunnelwände und Wahl der Lichtfarbe*

Die Oberflächen der Tunnelwände müssen aus Reflexionsgründen möglichst glatt und sehr hell sein. Eine völlige Belegung mit Wandplatten käme

Ersatzlampen pro Jahr für die Strassentunnel Thusis–Rongellen

Tabelle III

		Tag- u. Nachtbeleuchtung	Tagbeleuchtung	Total Lampen
Brenndauer	h	8 760	4 000	
Wirtschaftliche Lampen-Lebensdauer	h	6 500*)	6 500	
Jahresbedarf pro installierte Lampe	Zahl	$\frac{8\,760}{6\,500} \approx 1{,}35$	$\frac{4\,000}{6\,500} \approx 0{,}62$	
Tunnel 1				
Installierte Lampen	Zahl	30	306	
Ersatzlampen	Zahl	40	190	230
Tunnel 2				
Installierte Lampen	Zahl	86	362	
Ersatzlampen	Zahl	116	224	340
			Für Tunnel 1 + 2	570

*) Wegen des ununterbrochenen Betriebes könnte hier mit einer wesentlich höheren Lebensdauer gerechnet werden, was die Zahl der Ersatzlampen verminderte.

aus Kostengründen ohnehin nicht in Betracht; sie setzt auch eine vollständige Abdichtung gegen Wasseraustritt voraus. Darum wurde ein Anstrich gewählt. Die Tunnel erhielten die übliche Betonverkleidung, wobei in Tunnel 1 die Schalbretter die glatte Oberfläche ergaben. In Tunnel 2 wurden Gewölbe und Wände grösstenteils mit Spritzbeton belegt, der aber zu rauh war und deshalb einen feineren Auftrag erforderte.

Zur Bestimmung des *Anstriches* für die Tunnelwände wurden während der Bauzeit fast zwei Jahre lang praktische Versuche im Tunnel 1 durchgeführt. Die Anforderungen an den Anstrich sind sehr hoch. Er muss von heller Farbe, matt, sehr haltbar und mit Wasser abwaschbar sein, damit er von Zeit zu Zeit von den Verschmutzungen gereinigt werden kann. Er darf nicht vergilben und muss den unvermeidlichen Wassereinbrüchen widerstehen können ohne sich störend zu verfärben, und schliesslich muss er zum Verarbeiten möglichst in Wasser löslich sein, keine komplizierten und verteuernden Vorarbeiten erfordern und mit Pinsel, Roller oder Spritzen aufgetragen werden können.

Gestützt auf die Versuchsergebnisse fiel die Wahl für den Anstrich des Gewölbes und der Tunnelwände bis 2 m über Boden auf «Aquavern» DF 1 / 111, eine weisse, leicht gelblich getönte Latex-Kunstharzdispersion, während die unteren Wandteile mit einem zweischichtigen «Etokat» VL 1806 und EtE 1/111, bzw. «Aquadur» bei nassen Partien, gestrichen wurden (Fabrikat Dr. Walter Mäder AG, Baden).

Die endgültige Wahl der *Lichtfarbe der Lampen* erfolgte im Tunnel 1 durch vergleichende Gegenüberstellung der Beleuchtungswirkung zweier Lichtfarben. Die Leuchten der einen Portalstrecke wurden mit Lampen reinweisser Lichtfarbe (4500 °K), die Leuchten des anderen Tunnelendes mit Lampen gelblichweisser Lichtfarbe (3500 °K) ausgerüstet. Im Licht der reinweissen Lampen hatten farbige Gegenstände fast gleiches Aussehen wie bei natür-

lichem Licht (des leicht bedeckten Himmels) vor dem Portal. Die gelblichweissen Lampen bewirkten dagegen an farbigen Gegenständen einen auffälligen Unterschied gegenüber dem Aussehen bei natürlichem Licht. Auch erschien der schwach gelbliche Wandton des Tunnels bei der gelblichen Lichtfarbe gelber als im Licht der reinweissen Lampen. Gerade aus diesem Grund fiel die Wahl auf die gelblichweissen Fluoreszenzlampen, denn der Automobilist wird durch den auffälligen Farbwechsel zwischen Aussen- und Innenbeleuchtung sehr deutlich auf eine neue Verkehrssituation aufmerksam gemacht, was die Unfallgefahr vermindert.

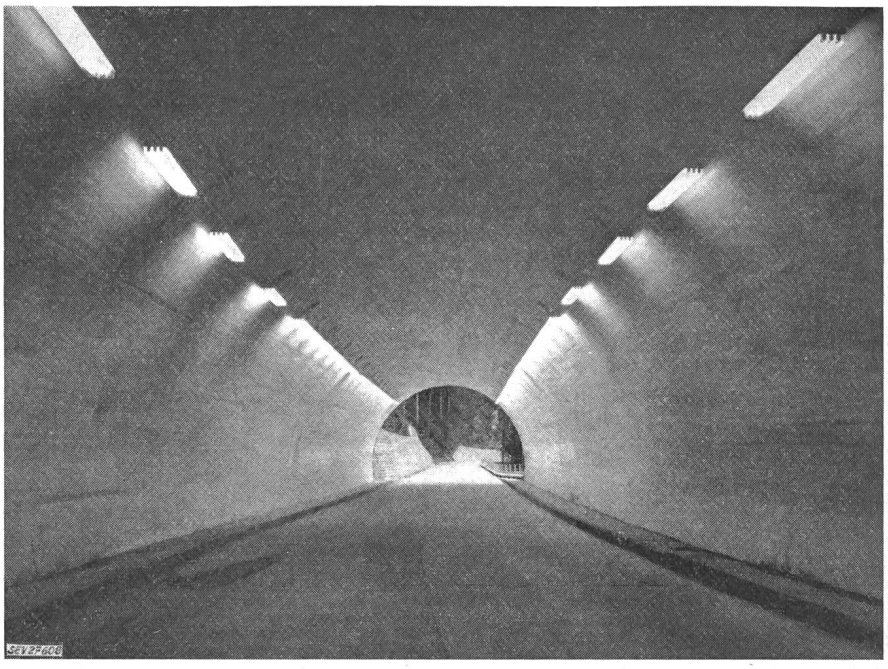

Fig. 6
Strassentunnel 1
Thusis—Rongellen
Nordportal Richtung Thusis

4. *Energielieferung*

Die Kosten der elektrischen Energie sind ein Hauptfaktor der Betriebskosten einer Tunnelbeleuchtungsanlage. Für das Elektrizitätswerk sind zur Gewährung eines *vorteilhaften Tarifes* wichtig:

1. Die Kenntnis des Anteiles an Sommer- und Winterenergie, der sich hier wie 60 : 40 verhält;
2. Die möglichst hohe Kompensation des Leistungsfaktors, der mit 0,95 angenommen wurde.

Eine so hohe Kompensation durch Einbau von Kondensatoren in die einzelnen Leuchten ist aber teuer und unwirtschaftlich; auch ist die Kontrolle erschwert. Aus diesen Gründen wurde die *zentrale Kompensation* gewählt, und es gelangten Kondensatoren (Fabrikat Xamax) gemäss Tabelle IV zur Anwendung.

5. *Zuleitungen*

Zur Speisung der Beleuchtung im Tunnel 1 wurde vom Maschinenhaus der Rhätischen Werke ein Kabel von 4×35 mm² Cu zur Verteilstelle mit Messeinrichtung im Schaltkasten beim Nordportal gezogen.

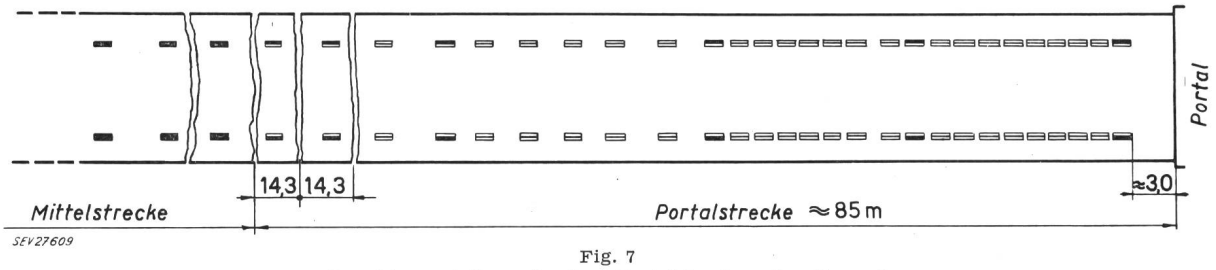

Fig. 7
Leuchtenverteilung in den Portalstrecken der Tunnel

Leuchten mit 3 Fluoreszenzlampen 40 W für Tagbeleuchtung

Leuchten mit 3 bzw. 2 Lampen für Tag- und Nachtbeleuchtung; nachts brennt nur eine Lampe

1 Lampe

Kondensatoren zur Verbesserung des Leistungsfaktors

Tabelle IV

Kompensationsart	Wirkleistung kW	Blindleistung kVar
Einphasig 220 V, 50 Hz für die Lampen der Tag- und Nachtbeleuchtung		
Tunnel 1	1,5	2,44
Tunnel 2 (je Verteilstelle)	2,2	3,55
Dreiphasig 3 × 380 V, 50 Hz für die Lampen der Tagbeleuchtung		
Tunnel 1	15,3	25,0
Tunnel 2 (je Verteilstelle)	9,0	14,5

Für den Tunnel 2 führt ein Kabel 4×50 mm² Cu von der Transformatorenstation Rongellen zum Schaltkasten des Südportals, wo die Energie gemessen wird. Hier befindet sich auch die Verteilstelle zur Speisung der Lampen der einen Tunnelhälfte, und von hier aus geht ein Kabel 4×35 mm² Cu zur zweiten Verteilstelle beim Nordportal, welche der Speisung der anderen Tunnelhälfte dient.

Die Kompensations-Kondensatoren sind in diesen Schaltkästen untergebracht.

6. *Installationen*

Der Einzug der Installationskabel war in im Beton verlegten Eternitrohren von 60 mm l. W. vorge-

sehen, mit Aussparungen für die Abzweigdosen. Es zeigte sich, besonders in den Teilstrecken, bei denen für die Betonauskleidung Metallschalungen verwendet wurden, dass ein genaues Verlegen der Rohre und Abzweigdosen wohl möglich ist, dass aber infolge der schlechten Befestigungsmöglichkeit leichte Verschiebungen und damit auch Brüche der Rohrleitung beim Einbringen und Vibrieren des Betons kaum zu vermeiden sind. Man konnte besonders im Tunnel 2 beobachten, dass bei Verschiebungs- oder Bruchstellen Wasser in die Rohre eindrang und dass damit, besonders wegen der Eisbildung im Winter, diese Leitungen für die Installation unbrauchbar wurden. Wenn auch die Ableitung des aus dem

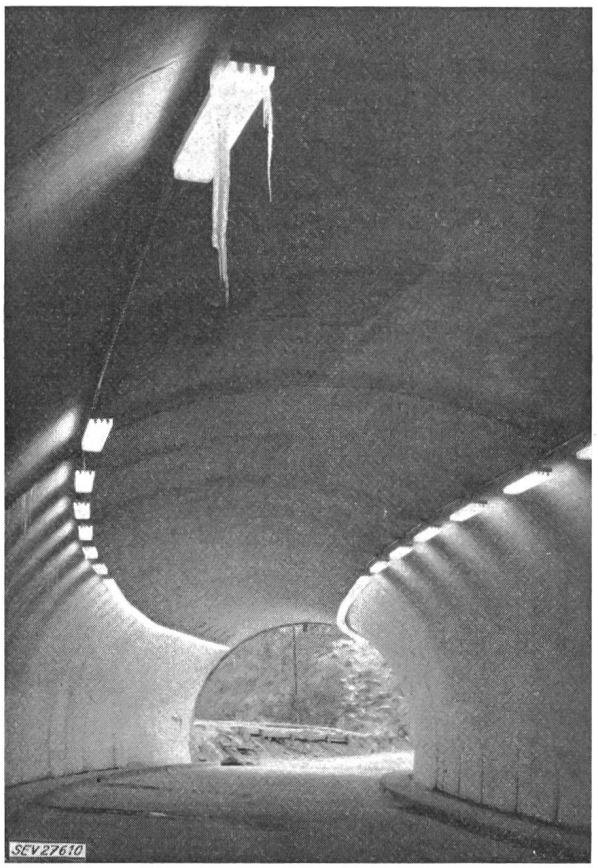

Fig. 8
Wasseraustrittstelle bei einer Leuchte mit Eisbildung im Winter

Berg austretenden Wassers vor dem Ausbetonieren mit Eternithalbschalen sorgfältig erfolgte, lässt es sich doch nicht vermeiden, dass eine kleine Restwassermenge andere Abflusswege sucht und findet, deren Beseitigung aber besondere Schwierigkeiten bietet (Fig. 8). Man entschloss sich deshalb während des Baues, besonders auf den mit Spritzbeton ausgekleideten und sonst gefährdeten Partien, die *offene Leitungsverlegung* mit Tdc-Kabeln in Hart-Thermoplastrohren zu wählen, welche auf Rohrschellen montiert wurden.

Wegen der zentralen Kompensation in den Schaltkästen mussten die Querschnitte der Verteilleitungen infolge der grösseren induktiven Belastung stark genug vorgesehen werden. Die Leistungsverteilung mit der Kompensationseinrichtung zeigt das Schema Fig. 9.

An Stelle der Abzweigdosen in den Gewölbeaussparungen traten solche, die direkt in die Leuchten eingebaut wurden und gleichzeitig die Verteilung der Lampen auf die einzelnen Polleiter ermöglichten.

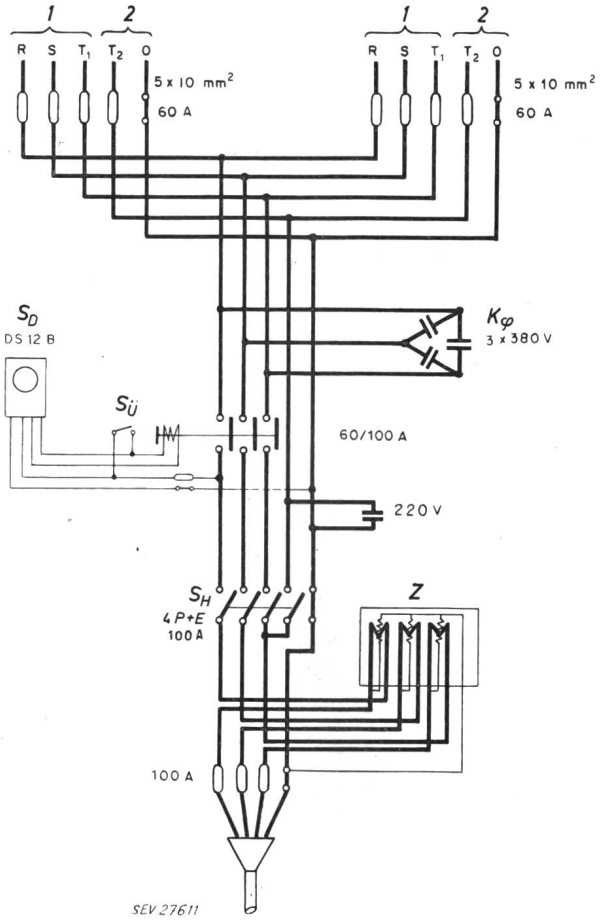

Fig. 9
Schaltschema der Verteilstellen
1 Tagbeleuchtung; 2 Tag- und Nachtbeleuchtung; K Phasenkompensator; S_D Dämmerschalter; $S_Ü$ Überbrückungsschalter; S_H Hauptschalter; Z Zähler

7. *Betrieb*

Die Einschaltung der Tagbeleuchtung in einer Stufe erfolgt über Dämmerungsschalter Typ DS 12 B (Fabrikat Elesta, Bad Ragaz). Von einer mehrstufigen Schaltung, die sich nach verschiedenen Tageshelligkeiten richtet, wurde bewusst abgesehen, da eine zu grosse Schalthäufigkeit die Lebensdauer der Fluoreszenzlampen beeinträchtigt. Der vermehrte Ersatz der Lampen ist aber mit erheblichen Kosten verbunden, wenn nicht eine gruppenweise Auswechslung möglich ist. Die Einsparung an elektrischer Energie dürfte wohl die Mehrkosten des öfteren, in kleiner Zahl erfolgenden Lampenersatzes mit den damit verbundenen Verkehrsstörungen nicht rechtfertigen. Sollten an den Portalen wesentlich höhere Beleuchtungsstärken als etwa 400 lx notwendig sein, so müsste die differenzierte Schaltung noch überprüft werden.

8. *Messungen*

Einige Tage vor Inbetriebnahme der Tunnel wurden einige stichprobenartige Beleuchtungsmessungen gemacht. Wie bei Tageslichtmessungen nicht

anders zu erwarten ist, wurden infolge rascher Witterungsänderungen stark unterschiedliche Messwerte ermittelt. Am offen liegenden Südportal des Tunnels 2 wurden bei leicht bewölktem Himmel mit Sonnenschein 11 000 lx gemessen, 15 m vor dem Portal sogar 28 000 lx (mit Schnee 36 000 lx). Am Nordende, das nicht frei liegt, sondern auf der einen Seite durch eine Felswand und auf der anderen durch Bäume beschattet ist, betrug bei ähnlichen Witterungsverhältnissen wie beim Südportal die Beleuchtungsstärke am Portal 4000 lx und 15 m davor 6500 lx.

Beim Tunnel 1 war am Südportal, das etwa 800 m vom Nordportal des Tunnels 2 entfernt liegt, die Beleuchtungsstärke etwa 3000 lx, 15 m davor 5000 lx, wobei keine Sonnenstrahlung mehr herrschte. Am Nordportal des Tunnels 1, wo die Beschattung der Umgebung noch stärker ist, betrug die Beleuchtungsstärke durch das natürliche Licht etwa 2000 lx

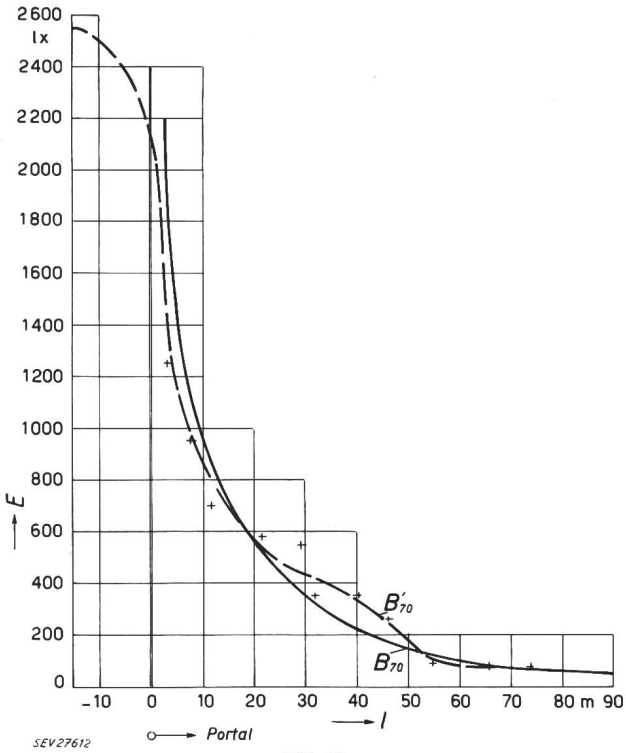

Fig. 10
Verlauf der Beleuchtungsstärke, hervorgerufen durch das natürliche und das künstliche Licht am Nordportal des Tunnels 1
l Abstand vom Tunnelportal; E Beleuchtungsstärke
B'_{70} gemessene Werte; B_{70} Vergleichswerte aus Fig. 4

und 15 m davor 2500 lx. Diese Werte stimmen ungefähr mit den in Fig. 2 und 4 für die Kurven T vorausgesetzten Werten überein, so dass der gemessene Verlauf der Beleuchtungsstärke B'_{70} mit dem Verlauf der Kurve B_{70} aus Fig. 4 verglichen werden kann. Diese Gegenüberstellung ist in Fig. 10 festgehalten.

9. *Signalisierung*

Bis heute fehlt eine offizielle Signalisierung von Überlandstrassentunneln, die den Motorfahrzeugführer verpflichtet, die Begrenzungslichter, wahrscheinlich noch besser die abgeblendeten Scheinwerfer, einzuschalten. Das plötzliche Aussetzen der Energiezufuhr könnte den unbeleuchteten Fahrzeugen zum Verhängnis werden, wenn sie sich plötzlich in völliger Dunkelheit befinden, während sie mit Geschwindigkeiten von 50...70 km/h fahren.

10. *Schlussbetrachtung*

Die Ausführung beleuchteter Strassentunnel im Alpengebiet ist in der Schweiz neu. Man darf den Kanton Graubünden dazu beglückwünschen, dass er in einer wichtigen Strassenverbindung zwei Tunnel beachtlicher Länge mit einer Beleuchtungsanlage versehen hat, die einen dichten und raschen Fahrverkehr bei Tag und Nacht zulässt.

Es ist sicher nicht schwer, beleuchtungstechnisch noch bessere Anlagen zu bauen; wesentlich schwerer ist es, eine Anlage zu planen und auszuführen, die beleuchtungs- und verkehrstechnisch befriedigt und dabei Betriebs- und Unterhaltskosten verursacht, die den Kantonen zugemutet werden dürfen.

Die ausgeführte Beleuchtungsanlage ist eine *Probeausführung*, an der Erfahrungen gesammelt werden müssen, insbesondere darüber, ob das gewählte Beleuchtungsniveau an den Portalen zweckmässig ist und ob die Beleuchtungsverteilung gegen das Tunnelinnere richtig verläuft. Ferner wird sich zeigen, wie sich die Leuchten und Vorschaltgeräte auf die Dauer bewähren, ebenfalls wie haltbar der Tunnelanstrich ist, wie oft er gewaschen werden kann und wann er erneuert werden muss, und schliesslich wird man Erfahrungen über das gruppenweise Auswechseln der Lampen sammeln. Auch wird man untersuchen müssen, ob es für alpine Strassentunnel Lösungen gibt, die eine Reduktion der starken und daher im Betrieb teuren Einfahrbeleuchtung ermöglichen.

Alle diese Erfahrungen werden der Beleuchtungsanlage des künftigen grossen Basistunnels von 6,5 km Länge zwischen Hinterrhein und San Bernardino zugute kommen. Aber auch für die Gestaltung der Beleuchtung anderer Strassentunnel, die teils schon im Bau, teils geplant sind, wird man aus den in den Tunneln Thusis—Rongellen ausgeführten Anlagen Nutzen ziehen können.

Adressen der Autoren:

J. Guanter, dipl. Ingenieur ETH, Prokurist der Osram AG, Limmatquai 3, Postfach Zürich 22.

G. Rieder, Elektroingenieur, Rätusstrasse 1, Chur.