Die Beleuchtung im Fahrraum aus lichttechnischer und wirtschaftlicher Sicht

Autor(en): **Müller, Egon**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 36: **Der Gotthard-Strassentunnel**

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74190

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

sultate liefert bzw. *empfindlich reagiert*. Möglicherweise wird sogar der Stillstand eines Einzelfahrzeuges erkannt. Bei starkem Verkehr werden im ungünstigsten Fall zwei Mal *n* Eingangsmessintervalle und die Fahrzeit zwischen zwei benachbarten Messstellen benötigt, um einen Stau zu erkennen.
Die Soll-Geschwindigkeit hat nur indirekt über die minimal denkbare Geschwindigkeit einen Einfluss auf die Erfassungszeit.

Schlussbemerkungen

Heute sind diverse Ansätze zur Lösung des Stauerfassungsproblems bekannt. Die Möglichkeiten reichen von *reinen Hardwarelösungen* (Messstellen in relativ kleinem Abstand, Stausignal direkt mittels gemessener Grössen) bis zu *mehr oder weniger reinen Softwarelösungen* (Messstellen in relativ grossem Abstand, Stausignal mittels umfangreicher Auswertung). Aufgrund der technischen Möglichkeiten werden in Zukunft die softwaremässigen Lösungen zur Anwendung kommen. Es lassen sich verschiedenartige Auswertungsverfahren kombinieren, so dass die relevanten Stausituationen auch bei vergleichsweise grossem Messstellenabstand zuverlässig erfasst werden können. Es ist jedoch festzuhalten, dass der verkehrstechnische Prozess hier eindeutige Grenzen setzen wird.

Adresse des Verfassers: *K. Brunner*, Ing. HTL, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich.

Die Beleuchtung im Fahrraum aus lichttechnischer und wirtschaftlicher Sicht

Von Egon Müller, Zürich

Die Tunnelbeleuchtung ist einer der, weil für jedermann sichtbar, am meisten beachteten Anlageteile. Ihr Zweck ist es, sicherzustellen, dass der Verkehrsfluss den Tunnel bei der signalisierten Höchstgeschwindigkeit mit etwa demselben Grad an Sicherheit und einem ähnlichen Fahrkomfort zu passieren vermag wie die angrenzenden Strassenabschnitte. Dies bedingt, dass die Verkehrsteilnehmer über das Auge mit einer ausreichenden Menge von Informationen bezüglich des Verlaufes der Fahrbahn sowie eventuelle vorhandener Hindernisse, einschliesslich der Fahrzeuge und ihrer Bewegungen, versorgt werden. Die lichttechnischen Minimalanforderungen, die zur Erreichung dieser Ziele notwendig sind, können den Leitsätzen der *Schweiz. Lichttechnischen Gesellschaft* (SLG) sowie den Empfehlungen der *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) entnommen werden. Trotz des Vorliegens von empfohlenen lichttechnischen Werten von anerkannten Fachgremien, hatte deren Festlegung für die Planung einen grossen Zeitaufwand in Form von Sitzungen, Besichtigungen und Messungen zur Folge. Da die *Empfindung des Lichtes subjektiv* ist, das heisst von jedermann anders wahrgenommen wird, sind in einem beschlussfassenden Gremium die Ansichten verschieden und es bereitete Mühe, jedermann von der Notwendigkeit eines *Kompromisses* auf der Basis der Leitsätze zu überzeugen.
Der Aufwand für die Beleuchtung der Adaptationen (Einfahr- und Übergangszone) hängt von der Adaptationsleuchtdichte des Auges vor der Einfahrt sowie von der zulässigen Fahrzeuggeschwindigkeit ab. Während die zulässige Geschwindigkeit mit 80 km/h bekannt war, wurden am Südportal durch das *Amt für Mass und Gewicht* (AMG), heute *Eidg. Amt für Messwesen*, Messungen zur Festlegung der Adaptationsleuchtdichte durchgeführt. Die nach den CIE-Empfehlungen vorgenommenen, am 27. Febr. und 2. Juli 1974 durchgeführten Messungen ergaben Adaptationsleuchtdichten zwischen 5000 cd/m² und 8500 cd/m².
Da das CIE-Verfahren nicht über alle Zweifel erhaben ist und wirtschaftliche Erwägungen mitberücksichtigt wurden, einigte man sich, den Berechnungen eine *Adaptationsleuchtdichte von 3000 cd/m² zugrunde zu legen. Um die Erkennbarkeit von Hindernissen in der Einfahrzone zu verbessern, wurde die Lichtverteilung der verwendeten Leuchten kontrastfördernd ausgelegt. Als Lichtquelle werden Natrium-Hochdrucklampen 400 W und 250 W* verwendet.
Der *Aufwand für die Beleuchtung der Mittelzone steigt proportional mit der Tunnellänge*. Für eine so aussergewöhnliche Länge, wie sie im Gotthardtunnel vorhanden ist, gewinnen nebst den lichttechnischen auch *betriebs- und unterhaltstechnische Anforderungen* an Gewicht. So können den Unterlagen der 1. Sitzung der Arbeitsgruppe Beleuchtung vom 25. Mai 1973 sowie dem technischen Bericht vom Dez. 1973 die folgenden *Anforderungen* entnommen werden:

- Das Auftreten von *«Flimmereffekten»*, hervorgerufen durch periodische Leuchtdichteunterschiede, ist zu vermeiden.
- Die Anschaffungs- und Installationskosten, besonders aber die Kosten für Wartung und Unterhalt sowie für den Energieaufwand, sind in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen zu halten.
- Betriebs- und Wartungsprobleme sind im Hinblick auf Kosten und Zeitaufwand genau zu prüfen. Besonders wichtig ist die mittlere Lebensdauer der Lampen, da bei der grossen Tunnellänge mit Gegenverkehr ein Gruppenersatz mit im Minimum etwa dreijährigem Austauschzyklus anzustreben ist.
- Es ist nur eine seitliche Leuchtenanordnung in den Ecken zwischen Dekke und Wandverkleidungsplatten möglich.

Die Arbeitsgruppe Beleuchtung kam sehr rasch zum Schluss, dass die Erfüllung dieser Forderungen, verbunden mit dem empfohlenen Leuchtdichteniveau von 3 cd/m², nur mit *Fluoreszenzlampen* möglich ist. Um weitere Erkenntnisse zu erhalten, konnten im Oktober 1973 im *San Bernardinotunnel dynamische Beleuchtungsversuche* mit verschiedenen Anordnungen und Fahrbahnleuchtdichten durchgeführt werden. Die untersuchten Anordnungen waren:

- beidseitig durchgehendes Lichtband,
- einseitig durchgehendes Lichtband (Ost + West),
- beidseitig unterbrochenes Lichtband

Die Leuchtdichten variierten zwischen 1,5 cd/m² und 9 cd/m².

Die Ergebnisse der Versuche zeigten folgendes:

- Die Montage eines einseitig durchgehenden Lichtbandes ist vertretbar.
- Beidseitig unterbrochene Lichtbänder sind nicht empfehlenswert (Flimmereffekt).
- Beidseitig durchgehende Lichtbänder ergeben visuell das beste Resultat.

Aufgrund von wirtschaftlichen Erwägungen fasste man die Lösung mit einem einseitigen, durchgehenden Lichtband ins Auge. Um eine, wenn

auch nur kurze, praktische Erfahrung zu erhalten, konnte im San Bernardinotunnel eine Betriebsperiode realisiert werden, in der die Durchfahrtsbeleuchtung mit einem einseitigen durchgehenden Lichtband betrieben wurde. Zudem wurden im Januar 1975 durch das AMG im *Melide-Grancia-Tunnel* lichttechnische Messungen an einer *Modellbeleuchtung* durchgeführt.

Aufgrund der Erkenntnisse aller Abklärungen, die mehr als zwei Jahre in Anspruch nahmen, wurde die Lieferung und Montage der Beleuchtungsanlagen mit zugehörigen Steuerungen im Herbst 1975 zur freien Bewerbung öffentlich ausgeschrieben. Die wesentlichsten *Randbedingungen* für die Mittelzone waren:

- Durchgehendes Fluoreszenz-Lichtband,
- Einseitige Anordnung über dem östlichen Gehweg,
- Regulierbarkeit aller Lampen derart, dass eine Fahrbahnleuchtdichte von 1 und 3 cd/m² erzielt wird. Die technische Lösung der Regulierbarkeit wurde dem Offertsteller freigestellt.

Es wurden von sechs Firmen Offerten eingereicht. Die Offerten enthielten total 27 Variantenvorschläge.

Zur Überprüfung der abgegebenen Garantiewerte sowie Eignung des offerierten Montagesystems wurden die beiden erstrangierten Firmen eingeladen, im Gotthardtunnel eine Musterstrecke von je 125 m Länge zu installieren. Parallel dazu wurde das offerierte Material dieser beiden Firmen bei der EMPA einem *Korrosionstest* unterzogen.

Noch während die Abklärungen an den Musterstrecken im Gange waren, reichte eine Firma, die nicht in die engere Wahl fiel, eine gerichtliche Beschwerde ein, die aber durch das Bundesgericht abgewiesen wurde. Aus diesem nicht terminierten Zwischenfall resultierte eine *Verzögerung der Vergabe von beinahe einem Jahr*, so dass diese erst im Herbst 1977 erfolgen konnte.

Dank dem gewählten montagefreundlichen System sowie einem allseitig grossen Einsatz konnte die Verspätung in der Folge wieder aufgeholt werden. Die Leuchten sind mit einem Kabel mit Steckkupplung sowie einer Abgangsdose versehen (Bild 1). Diese Lösung gestattete es, die Leuchten mit eingesetzter Lampe auf die Baustelle zu liefern, wo die Montage erfolgen konnte, ohne die Leuchten zu öffnen.

Die Betriebsspannung der installierten Leuchten beträgt 300 V. Sie ist notwendig, um beim gewählten Steuersystem eine einwandfreie Zündung der Lampen auch bei Umgebungstemperaturen von −25°C sicherzustellen. Die Speisung der Leuchten erfolgt aus Verteilungen in den Schutzräumen. Aus jedem Schutzraum werden etwa 200 Leuchten gespeist und gesteuert. Die Steuerbefehle werden im allgemeinen zentral aus einem der Kommandoräume erteilt und in den Schutzräumen ausgeführt und gespeichert. Hier kann die Steuerung auf «Lokal» umgeschaltet und der zugehörige Leuchtenabschnitt von Hand gesteuert werden. Eventuell während dieser Zeit eintreffende Befehle aus dem Kommandoraum werden gespeichert, so dass bei Rückstellung der Steuerung auf «Fern» der gespeicherte Zustand angenommen wird.

Die Steuerung der Adaptationszonen erfolgt in Funktion der Aussenhelligkeit getrennt für die Portale Göschenen und Airolo.

Die *Beleuchtung in der Mittelzone (Bild 2) wird in Funktion der Verkehrsstärke reguliert*, wobei die folgenden Werte zugrunde gelegt wurden:

Verkehrsstärke X	*Fahrbahnleuchtdichte*
$X \leqslant 320$ Fz/h	1 cd/m²
$X > 320$ Fz/h	3 cd/m²

Da für die kritische Verkehrsstärke X, bei der die Umschaltung erfolgen soll, keine Erfahrungswerte vorliegen, ist die Steuerung so ausgelegt, dass dieser Wert mühelos verändert werden kann.

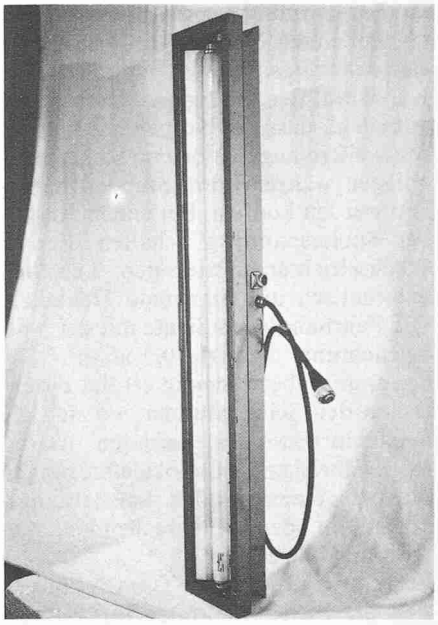


Bild 1. Fluoreszenzleuchte 1×40 W mit Kabel und Steckkupplung

Obwohl der Gotthard-Strassentunnel mit einer äusserst zuverlässigen Energieversorgung ausgestattet ist, muss mit zeitweiligen *Spannungsunterbrüchen* gerechnet werden. Sie können sowohl den *ganzen* Tunnel umfassen, als auch *partiell*, infolge eines Defektes in der tunnelinternen Verteilung, auftreten. Diese Unterbrüche bewirken einen Ausfall der Tunnelbeleuchtung und damit verbunden eine plötzliche Reduktion der Sichtweite. Bei einem Fahrzeuglenker kann dies zu Fehlreaktionen und als Folge davon zu einem Unfall führen. Nebst Fahrzeugen, die wenigstens mit einer eigenen Beleuchtung ausgestattet sind, die bei der Durchfahrt eingeschaltet ist, muss im Tunnel mit *Fussgängern (Pannenfahrzeuge)* gerechnet werden. Um diese Gefahrenquellen auszuschalten, ist der Tunnel mit einer *Notbeleuchtung* versehen. Sie ist in die Normalbeleuchtung integriert, so dass keine speziellen Notleuchten installiert werden mussten. Jede zehnte Leuchte der Fluoreszenzbeleuchtung wird dauernd von einem *Wechselrichter* gespeist. Bei vorhandenem Netz erhält der Wechselrich-



Bild 2. Beleuchtung der Mittelzone

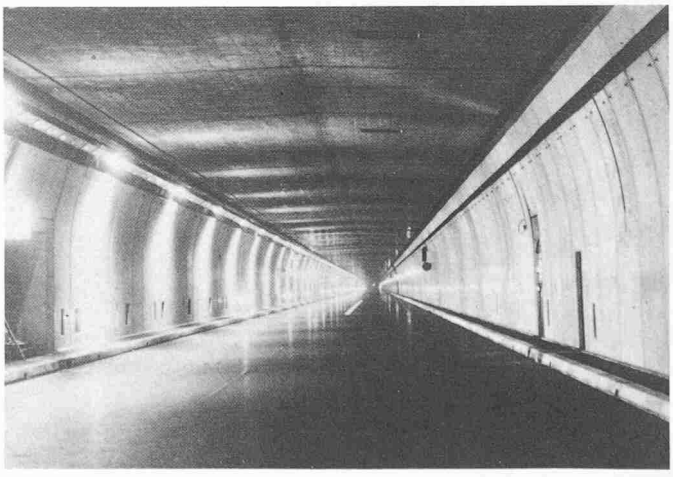


Bild 3. Notbeleuchtung mit eingeschalteter Brandnotbeleuchtung

ter die Spannung von einem Gleichrichter. Bei einem Netzausfall übernehmen *Batterieanlagen* diese Funktion. Die Kapazität der Batterieanlagen ist so ausgelegt, dass die Notbeleuchtung sowie weitere angeschlossene Sicherheitsanlagen während drei Stunden betrieben werden können. Bei einem Ausfall der Speisespannung schalten die am Wechselrichter betriebenen Leuchten automatisch auf maximale Helligkeit. Die Fahrbahnleuchtdichte mit der Notbeleuchtung beträgt 0,5 cd/m². Die Spannungsüberwachung erfolgt dezentral in den Schutzräumen, wo sich die Schalteinrichtungen befinden. Damit ist gewährleistet, dass lokale Störungen nicht zu einem totalen Beleuchtungsausfall in den entsprechenden Abschnitten führen.

Bei einem Brand im Tunnel können sich die Sichtverhältnisse infolge von Rauch im Bereich der Tunneldecke stark verschlechtern. Es ist zudem möglich, dass infolge von *Hitzeeinwirkungen* die Beleuchtungsinstallationen so stark beschädigt werden, dass die Normal- und Notbeleuchtung ausfallen. Um wenigstens sicherzustellen, dass Automobilisten den Verlauf der Fahrbahn erkennen können und Fussgänger den nächstgelegenen Schutzraum aufsuchen können, ist eine spezielle *Brandnotbeleuchtung* installiert. Sie besteht aus *Glühlampenleuchten*, die auf der Ostseite des Tunnels 50 cm über dem Gehweg in Abständen von rund 50 m montiert sind (Bild 3). Die Speisung der Glühlampen erfolgt mit 220 V Gleichstrom ab denselben Batterien, welche die Wechselrichter bei Netzausfall speisen. Aus Sicherheitsgründen werden die Brandnotleuchten bei jedem Netzausfall im entsprechenden Abschnitt eingeschaltet.

Die Montage und Installation der Beleuchtungsanlagen nahm total zwei Jahre in Anspruch. Eine beachtliche Leistung, die nur dank der vorbildlichen Arbeit aller beteiligten Instanzen möglich war.

Tabelle 1. Technische Daten der Tunnelbeleuchtung

	Einheit	*Adaptation Airolo*	*Adaptation Göschenen*	*Mittelzone*
Anzahl NaH-Lampen	Stk.	162	106	
Anzahl Fl-Lampen	Stk.	1400	1600	10 800
Anschlusswerte				
Progr. 1	kW	6,0	7,4	
Progr. 2	kW	20,4	33,5	
Progr. 3	kW	58,5	44,7	
Progr. 4	kW	72,9	54,7	
Progr. 5	kW	92,0	90,5	
Progr. 6	kW	145,4	116,0	
Stufe I	kW			67,0
Stufe II	kW			226,8
Stufe III	kW			451,5
Stufe IV	kW			669,6
Fahrbahnleuchtdichte [1]				
Progr. 1	cd/m²	0,5	0,35	
Progr. 2	cd/m²	1	0,70	
Progr. 3	cd/m²	10	7,0	
Progr. 4	cd/m²	60	47	
Progr. 5	cd/m²	110	87	
Progr. 6	cd/m²	210	167	
Stufe I	cd/m²			0,5
Stufe II	cd/m²			1
Stufe III	cd/m²			3
Stufe IV	cd/m²			4,5
Leuchtdichteausbeute				
bezogen auf elektr. Leistung	$\frac{cd/m^2}{W/m^2}$	2,5[2]	–	0,48–0,74

[1]) Geplante Betriebswerte in der Einfahrzone
[2]) Einfahrzone

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass es gelungen ist, eine gute und flexible Beleuchtungsinstallation zu realisieren. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wesentlichen technischen Daten der Tunnelbeleuchtung. Es ist nun Sache der Betreiber, durch Auswertung der Betriebsstatistiken und nachfolgende Anpassung der Steuerung, diese Flexibilität auszunützen, um die Betriebskosten so niedrig wie möglich zu halten, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen.

Adresse des Verfassers: *E. Müller*, dipl. Ing. ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich.