

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 98 (1980)
Heft: 36: Der Gotthard-Strassentunnel

Artikel: Stauerfassung
Autor: Brunner, Kurt
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74189>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

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

Trotzdem lässt sich bereits heute feststellen, dass im Verlauf der Projektierungsarbeiten an diesem in dieser Art einzigartigen Projekt Erfahrungen gesammelt werden konnten, die nicht zuletzt auch dem *Seelisbergtunnel*, der *Südrampe im Tessin* und anderen Objekten der Nationalstrassen zugute kommen.

Wollte man die *Hauptanliegen der Projektierungs- und Planungsgruppen* zusammenfassen, so wären dies vor allem

- der *Ausbau der Arbeitshilfen*, um eine gute Übersicht und eine hohe Flexibilität in der Bewältigung des grossen Informationsumfangs zu gewinnen,
- eine *gewisse Standardisierung der Programmmoduln* für die Signalverarbeitung und Steuerung bei einem ausgewogenen Verhältnis zwischen konventioneller Darstellung auf Anzeigetafeln und Rechnerperipherie wie Videogeräten und Drucker und
- eine *Vereinheitlichung der Schnittstellen der Systeme* untereinander unter Ausnützung der heute gebotenen Möglichkeiten.

Literaturverzeichnis

- Funk, G. & Holm, J.*: «Modulfamilie ED 1000. Zur Lösung von Aufgaben industrieller Datentechnik». Brown Boveri Mitt., Bd. 63, Heft 9 1976
- Klein, R.*: «Fernwirk-Bausteine für Systeme der Netzführung». Brown Boveri Mitt., Bd. 66, Heft 3 1979
- Leuzinger, J. & Baumann, R.*: «Das Software-System Becos 10 für Unterstationen und kleine Leitstellen». Brown Boveri Mitt., Bd. 66, Heft 3 1979
- INDACTIC 33, Systemübersicht. Brown Boveri Druckschrift CH-E 8.0057.2 D
- INDACTIC 11. Brown Boveri Druckschrift HEDT 90970

- PDP 11 Processor Handbook. Digital Equipment Corp., 1978
- Terminals and Communications Handbook. Digital Equipment Corp., 1978
- Introduction to Minicomputer Networks. Digital Equipment Corp., 1974
- IBM 2780 Data Transmission Terminal. International Business Machines Corp. File 2780-09, GA 27-3005-3. 4th Edition, 1971
- Offer, U. & Schneider, U.*: «Vom Mini-computer bis zum Multiprozessorsystem mit den innovierten Zentraleinheiten der Siemens-Systeme 300». Siemens Zeitschrift, 51, 1977

Dass diese Massnahmen bereits bei der Projektierung der Anlagen, bei der Konzeptwahl und in der Präsentation der Projekte vor dem Bauherrn berücksichtigt werden müssen, versteht sich wohl von selbst. In diesem Sinn ist die Anlage, die im Gotthard-Strassentunnel realisiert wurde, ein Schritt auf dem richtigen Weg, der schliesslich nur ein

Ziel hat: Dem Verkehrsteilnehmer und dem Betriebspersonal optimale Voraussetzungen für die Benützung der Anlagen zu bieten.

Adresse des Verfassers: U. Fierz, dipl. Ing. ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich.

Stauerfassung

Von Kurt Brunner, Zürich

Warum Stauerfassung?

Dem Problem «Stau im Strassenverkehr» wird heute allgemein Beachtung geschenkt, nicht zuletzt, weil damit auch ein *Energieproblem* verbunden ist. Im Strassentunnel hat die Stauerfassung in erster Linie eine *sicherheitstechnische Bedeutung im Zusammenhang mit der Tunnelbelüftung*. Bei schwachem Verkehr arbeitet die Lüftung normalerweise auf niedriger Stufe, während sie bei starkem Verkehr auf hoher Stufe arbeiten muss. Wenn sich nun bei schwachem Verkehr ein Stau bildet, so gleicht dies lokal gesehen einer erheblichen Verkehrszunahme mit entsprechender CO-Produktion, für welche die eingestellte Lüftung nicht ausreicht.

Bei starkem Verkehr ist die relative Zunahme der CO-Produktion bei Stau wesentlich kleiner, weil die Lüftung bereits auf hoher Stufe arbeitet. Das Ziel besteht nun darin, in erster Linie Stau bei schwachem Verkehr rasch zu erkennen.

Die hardwaremässige Ausrüstung

Detektoren

Auf der Erfassungstrecke im Gotthard-Strassentunnel befinden sich im Abstand von ungefähr 500 m die Messquerschnitte. Jeder Messquerschnitt besteht aus vier Schleifendetektoren, wobei je Fahrstreifen ein Doppeldetektor installiert ist. Die Schleifen haben eine Länge von je 2 bis 3 m und einen Abstand von 1 m zueinander. Jede Schleife ist auf Unterbrechung und Kurzschluss überwacht. Die Störung eines Messquerschnittes wird in die Kopfstationen Göschenen und Airolo gemeldet.

Übertragungssystem

Die Vielzahl der zwischen den einzelnen Messstellen und den Kopfstationen zu übertragenden Meldungen legt aus wirtschaftlichen Gründen (Adereinsparung) die Verwendung eines *Multiplex-*

Verfahrens nahe. Installiert ist das bewährte Frequenzmultiplexsystem TST-20.

Verarbeitungssystem

Die Auswertung der Grundmessgrössen aus der Verkehrserfassung geschieht in der Kommandostation mit einer Rechneranlage.

Die Grundmessgrössen

Es sind dies

- *Verkehrsstärke* (Anzahl Fahrzeuge/ Zeiteinheit),
- *Verweilzeiten* der Fahrzeuge auf einer Schleife (Belegung), Summen in 20-ms-Takt über 10 s und diese Original-Messwerte exponentiell ausgeglichen,
- die *Geschwindigkeit über Doppelschleifen*. Sie wird je Fahrzeug gemessen, das einen Mindestabstand zum Vordermann von etwa 7 m (mit Einschränkungen auch 4 m) hat. Messtakt 20 ms, gemessener Fahrweg etwa 4 m. Der je Fahrzeug ermittelte Original-Messwert wird, ebenfalls je Fahrzeug, exponentiell ausgeglichen (gemittelt), es ergibt sich so eine stets auf letztem Stand befindliche mittlere

re Geschwindigkeit. Dies ist steuerungstechnisch günstiger als eine Mittelbildung über feste Zeitintervalle (kleinerer Speicherbedarf).

- die *Fahrzeug-Längen-Messung*, in Verbindung mit der Geschwindigkeitsmessung über Doppelschleifen. Längengrenzen für die Feststellung LKW oder Lastzug sind vorgebar. Zählung nach diesen Kategorien.

Möglichkeiten der Stauffassung

Die Grundidee jeder Methode ist ein *Vergleich zwischen wirklichen und erwarteten Verkehrsgrößen*. Beim Überschreiten einer definierten Abweichung wird Alarm gegeben.

Folgende Verfahren sind möglich:

- Überprüfung der ausgeglichenen Geschwindigkeit,
- Überprüfung der ausgeglichenen Schleifenbelegung,
- Vergleich der ausgeglichenen Schleifenbelegung zweier hintereinander liegender Messstellen,
- Vergleich der Fahrzeugsummen zweier hintereinander liegender Messstellen.

Die drei ersten Verfahren werden beim Gotthard-Strassentunnel praktiziert.

Überprüfung der ausgeglichenen Geschwindigkeit

Beim Unterschreiten einer festgelegten ausgeglichenen Fahrzeuggeschwindigkeit gibt die betreffende Messstelle spontan ein Stausignal ab.

Die Reaktionszeit dieses Verfahrens hängt vom Messstellenabstand, von der Verkehrstärke und von der Grösse und Art der Verkehrsbehinderung durch die Störung ab. Wesentlich ist ausserdem die Distanz der Störung zur erfassenden Messstelle. Der Messstellenabstand sollte daher möglichst klein sein (grosser Hardwareaufwand).

Überprüfung der ausgeglichenen Schleifenbelegung

Beim Überschreiten einer festgelegten ausgeglichenen Schleifenbelegung (z. B. > 80 Prozent) gibt die betreffende Messstelle spontan ein Stausignal ab. Die Reaktionszeit ist von den gleichen Grössen abhängig wie bei der Überprüfung der ausgeglichenen Geschwindigkeit.

Vergleich der ausgeglichenen Schleifenbelegungen zweier hintereinander liegender Messstellen

Mit einem geeigneten Glättungsfaktor α und den Messwertsummen $a(n-1)$, a_n benachbarter Intervalle ($n-1$), n erhalten wir geglättete Messwertsummen bzw. Belegungsgrade $\bar{a}(n-1)$, \bar{a}_n nach dem Ansatz:

$$\bar{a}_n = \bar{a}_{(n-1)} + \alpha \cdot [a_n - \bar{a}_{(n-1)}]$$

Es wird im folgenden nicht mehr besonders vermerkt, dass immer nur die *geglätteten Belegungsgrade* weiter verarbeitet werden.

Um Behinderungen zu erkennen, werden im ganzen Tunnelbereich je Fahrtrichtung die Belegungsgrade je zwei aufeinanderfolgender Detektoren verglichen. Ist der Wert B des Belegungsgrades am in Fahrtrichtung gesehenen vorderen Detektor wesentlich kleiner als der am dahinter liegenden Detektor D gemessene Wert A, ist eine erste Bedingung zur Interpretation einer Verkehrsstörung erfüllt. Das heisst nicht, dass der hinter dem Hindernis sich bildende Stau auch bis über den Detektor D reichen muss. Es wird meist nicht erwartet, bis infolge des angeflossenen unbehinderten Verkehrsanteils der erste nicht belegte Detektor den Belegungsgrad 0 erreicht hat. Da bei langsamen und langen oder bei dicht folgenden Fahrzeugen nach längerer Ruhe auf dem betroffenen Fahrstreifen, womöglich in Verbindung mit einer ungünstigen Zuordnung des Intervall-Rasters, Belegungsgrade erreicht werden, die vom System als Verkehrsbehinderung interpretiert werden könnten, ohne dass eine solche vorliegt, wird die Überschreitung eines Mindestwertes A als zusätzliche Bedingung festgelegt, die auch erfüllt sein muss, um eine Behinderung anzuzeigen. Unter den genannten Umständen kann eine Behinderung in den meisten Fällen innerhalb von zwei Minuten erkannt werden.

Vergleich der Fahrzeugsummen zweier hintereinander liegender Messstellen i und i+1

Man kann dieses Verfahren etwa folgendermassen beschreiben: An je zwei benachbarten Messquerschnitten werden in verschiedenen grossen Messintervallen die Summen der Fahrzeuge gespeichert. Dabei ist das entsprechende Messintervall an der in Fahrtrichtung gesehenen vorderen Messstelle n mal so gross wie das an der dahinter liegenden. Ein Fahrzeug wird somit an der vorderen Messstelle in n aufeinanderfolgenden Messintervallen registriert. Die Staufferfassungszeit E ist folgendermassen von n abhängig:

$$E = \frac{1}{1 - \frac{1}{n}} \cdot k_1 + k_2$$

$n > 1$, ganz

Hier ist zu bemerken, dass dieses Verfahren ziemlich viel Speicherplatz und Programmaufwand erfordert. Vernünftigerweise wird n mit drei festgelegt.

Das Messverfahren setzt voraus, dass die Geschwindigkeit der Fahrzeuge zwischen den beiden Messstellen variieren kann. Daher werden ausser der Soll-Geschwindigkeit auch die *minimal denkbare* und die *maximal denkbare Geschwindigkeit als Parameter* berücksichtigt. Die Staufferfassungszeit ist folgendermassen von diesen Geschwindigkeiten abhängig:

$$E = \left(\frac{1}{v_{\min}} - \frac{1}{v_{\max}} \right) \cdot k_3 + \frac{k_4}{v_{\max}}$$

$v_{\min} < v_{\text{soll}} < v_{\max}$

Es ist vor allem die minimal denkbare Geschwindigkeit, die sich auf die Staufferfassungszeit auswirkt.

Bei $v_{\text{soll}} = 80$ km/h wird z. B.

$$v_{\min} = 40 \text{ km/h und}$$

$$v_{\max} = 100 \text{ km/h festgelegt.}$$

Die Staufferfassungszeit ist ausserdem noch abhängig vom Abstand s der Messstellen:

$$E = s \cdot k_5$$

Das Staufferfassungsverfahren basiert nun auf dem Vergleich der in den entsprechenden Messintervallen registrierten Fahrzeugsummen. Bei der Abschnittsausfahrt werden je Messintervall mindestens die im entsprechenden Messintervall eingefahrenen Fahrzeuge registriert (schwacher Verkehr), im Maximum jedoch wesentlich mehr (starker Verkehr).

Eine *Verkehrsstörung* (Stau) wird dann zwischen den Messstellen i und $i+1$ erkannt, wenn die Anzahl der registrierten Fahrzeuge im Ausgangsmessintervall kleiner ist als im entsprechenden Eingangsmessintervall.

Aus dem Gesagten folgt, dass dieses Verfahren vor allem bei *ungleichmässig verteiltem schwachem Verkehr gute Re-*

Theoretische Erfassungszeiten für den Stau ohne Abfluss bei starkem Verkehr

v_{\min} in km/h	40	20	40	20
v_{soll} in km/h	80	80	60	60
v_{\max} in km/h	100	100	100	100
n	3	3	3	3
Messstellenabstand in m	500	500	500	500
Fahrzeit bei v_{soll}	22,5"	22,5"	30"	30"
Eingangsmessintervall	13,5"	36"	13,5"	36"
Erfassungszeit etwa	99"	234"	99"	234"

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 Über-gangzone) hängt von der Adaptationsleuchtdichte des Auges vor der Einfahrt sowie von der zulässigen Fahrzeugge-

schwindigkeit 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 Decke und Wandverkleidungsplatten möglich.

Die Arbeitsgruppe Beleuchtung kam sehr rasch zum Schluss, dass die Erfüllung dieser Forderungen, verbunden mit dem empfohlenen Leuchtdichtenniveau 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