Fortlaufende Untersuchung der Fahrbahn

Autor(en): **Pflug, Leopold / Oesch, Serge**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 22

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75468

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

vom Konsens der Mittelmässigkeit, sind Plattheiten und Unwahrhaftigkeiten.

Die Ehrfurcht vor dem Geist aber verlangt, dass der Geist in seiner Gesamtheit akzeptiert werde, in seiner jeweils individuellen Ausprägung und mit dem Irrationalen, das in seiner Tiefe liegt.

Warum suchen wir beispielsweise die Wahrheit? Das gründet im Irrationalen, denn leben können wir doch gewiss, auch ohne die Wahrheit zu wissen. Warum wollen Menschen ein grosses Werk schaffen, wo doch dies sie geradezu daran hindert, sich dem Lebensgenuss hinzugeben? Wo sich der Menschengeist zur Geistestat aufschwingt, liegt dahinter immer etwas, das an der Oberfläche sichtbare Zweckmässigkeit, reine Wirtschaftlichkeit, einfaches Suchen nach irgendwelchen Vorteilen übersteigt. Auch dort, wo Zweckmässigkeit und Wirtschaftlichkeit unabdingbar sind, trifft dies zu. Aus dieser Wurzel entspringt auch der Wille, das was man tut, in einer schönen Form zu tun, und das ist sehr viel mehr als nur Spielerei.

Wenn ich heute auf mein berufliches Wirken zurückblicke und versuche, auf eine Kurzformel zu bringen, worum es mir eigentlich ging, dann treffe ich es am ehesten, wenn ich sage: «Mir ging es um die Schönheit.»

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *W. Traupel*, Schiedhaldenstrasse 44, 8700 Küsnacht.

Fortlaufende Untersuchung der Fahrbahn

Von Leopold Pflug und Serge Oesch, Lausanne

Allgemeines

Für das Leben und die Volkswirtschaft einer Nation ist der *Unterhalt des Strassennetzes* von entscheidender Bedeutung; ohne Strassen gibt es weder Personen- noch Gütertransport innerhalb des Landes; «via vita est» sagten schon die Römer, die es wissen mussten: Ihr politischer, wirtschaftlicher und kultureller Einflussraum entsprach nämlich einem Netz von 150 000 km ausgezeichnet gebauten und gepflegten Strassen [1].

In dieser Hinsicht spielt die periodische Untersuchung des Fahrbahnzustandes eine wesentliche Rolle. Die Art, die Häufigkeit und das Ausmass der Unterhaltsarbeiten werden massgebend durch die Beobachtung von Aussehen und Form *des Belags* festgelegt, weshalb diese Beobachtung durch zahlenmässig erfassbare Kriterien erhärtet werden muss. Durch die Betrachtung der Oberflächenverformung sowie des Fahrbahnquerschnittes kann die abnehmende Qualität eines Belages oder einer Fahrbahn verfolgt werden.

Der *Verformungs- oder Abnützungsgrad der Fahrbahn,* und somit seine Zulässigkeit in bezug auf die einschlägigen Normen, wird in jedem Querschnitt durch zwei wichtige Kenngrössen definiert:

- die Muldentiefe T und
- die Wassertiefe t gemäss SNV-Norm 640520a.

Für den verantwortlichen Ingenieur ist es von grösster Bedeutung, diese Parameter sowie ihre räumliche und zeitliche Entwicklung zu erfassen. Er ist deshalb auf eine leistungsfähige aber kostengünstige Untersuchungsmethode angewiesen. Die Auslegung einer entsprechenden Messausrüstung soll durch ihre Flexibilität die Anpassung an veränderliche Anforderungen erlauben; es kann nämlich wünschenswert und wirtschaftlich vertretbar sein, in einer ersten Phase die zu prüfende Strecke vorerst rein *qualitativ* zu untersuchen. Bei diesem ersten Schritt vermag der fahrende Praktiker sehr schnell die gesunden Bereiche von denjenigen zu unterscheiden, die als schadhaft zu betrachten sind.

Eine zweite *quantitative* Phase wird der Detailuntersuchung der offenbar schadhaften Zonen gewidmet sein. Zu diesem Zweck nimmt eine Messeinrichtung die Querschnitte zahlenmässig auf und wertet sie aus, indem Muldentiefe T und Wassertiefe t berechnet werden. Die Messausrüstung kann anschliessend die gewonnenen Werte einer Strassen-Datenbank zuführen, wo sämtliche Kenndaten für das verwaltete Strassennetz zusammengetragen werden. Zu diesem Zweck hat unser Labor eine *optische Messeinrichtung* konzipiert und entwickelt, die die Feinuntersuchung der Strassenoberfläche ermöglicht. Die Aufzeichnung der Feintopographie erfolgt kontinuierlich in Echtzeit (Real Time).

Die Messmethode

Die angewandte Methode ruht auf dem *Moiré-Verfahren;* es werden ein Referenz- und ein der untersuchten Oberfläche angepasster Linienraster übereinandergelegt, so dass die Form oder die Verformung der geprüften Oberfläche lückenlos erfasst werden können [2, 3].

Für die Fahrbahnuntersuchung wird der Oberflächenraster von einem Diapositiv auf die Strasse abgebildet (Bild 1). Das Bild dieses Rasters (R_f) wird in der Bildebene des Aufnahmegerätes mit dem Referenzraster superponiert, so dass ein Moiré-Effekt entsteht. Die Moiré-Streifen sind - dank einer angepassten optischen Kombination - die Höhenkurven der untersuchten Oberfläche. Die geeignete Wahl der geometrischen Parameter ermöglicht es, diese Höhenkurven auf eine vorbestimmte Ebene zu beziehen. Durch diesen besonderen Umstand können kleine Höhenabweichungen von der Bezugsebene sichtbar gemacht werden: Die untersuchte Zone wird durch eine Anzahl N von schrägen Ebenen geschnitten (Bild 2). Diese optische Einteilung dient also

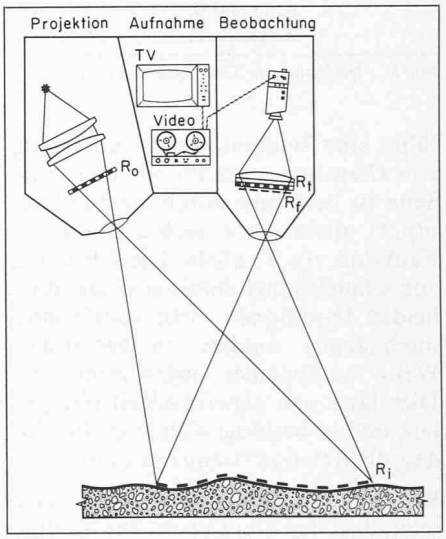


Bild 1. Prinzip der Messung

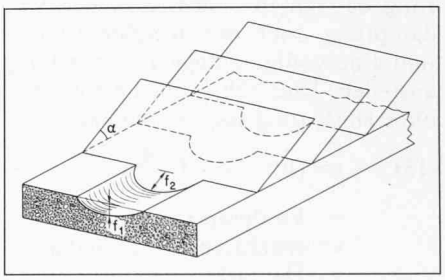
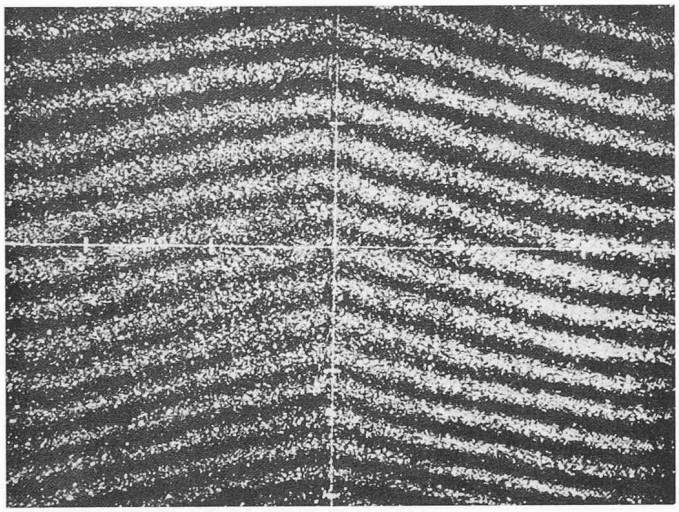


Bild 2. Verbesserung der Empfindlichkeit durch schräge Ebenen



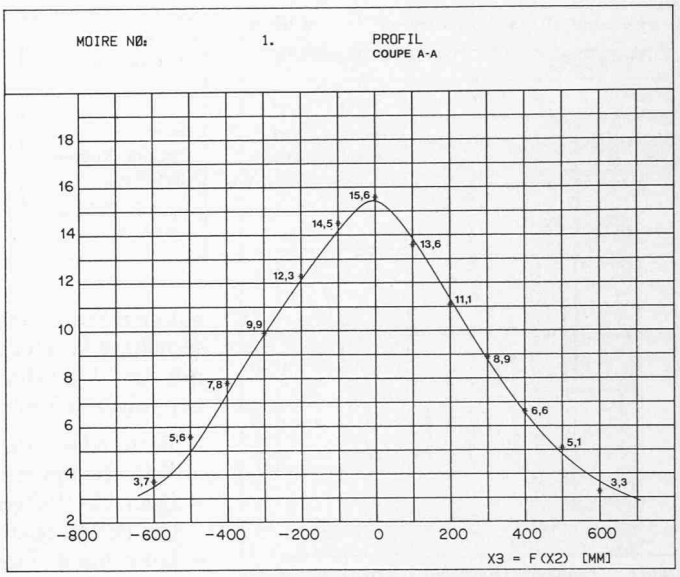


Bild 3a (oben). Moiré-Bild der Teststrecke im Institut
Bild 3b (rechts). Vergleich der mechanischen Messung mit dem Ergebnis des Moiré-Verfahrens



Bild 4. Der einsatzbereite Lastwagen mit der aufgebauten Messeinrichtung

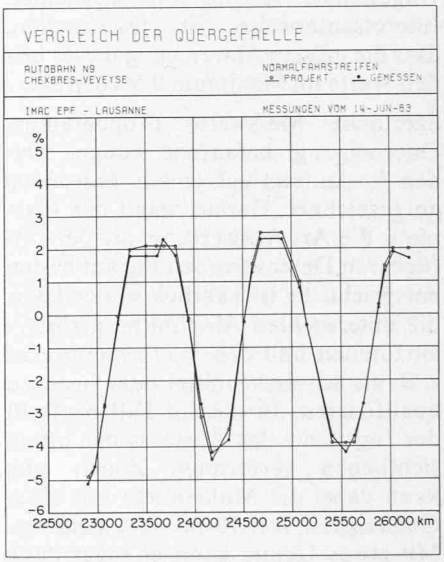


Bild 5. Vergleich der berechneten und effektiven Quergefälle auf einer Teilstrecke der N9

dazu, die aufgezeichneten geometrischen Abweichungen der Fahrbahn zu verstärken.

Die Genauigkeit und die Empfindlichkeit der Methode wurden sowohl theoretisch wie experimentell eingehend überprüft. Als Beispiel zeigt Bild 3a die Aufzeichnung eines Querprofils der Teststrecke in der Halle des IMAC. Der Vergleich mit der mechanischen Messung (Bild 3b) ergibt eine gute Übereinstimmung der anhand der vorgeschlagenen Messeinrichtung gemessenen Werte mit der herkömmlichen Komparatorenmessung.

Es muss jedoch bemerkt werden, dass die Dynamische Messung *in situ* nicht ganz so genau erfolgt. Immerhin zeigt die Erfahrung, dass die erzielte Genauigkeit den Anforderungen der Praxis durchaus zu genügen vermag.

Die Messeinrichtung

Eine Messeinrichtung wurde gemäss dem in Bild 1 erläuterten Prinzip angefertigt; sie wurde für die Beobachtung einer Fahrbahn von 4 m Breite ausgelegt, was einer Autobahnspur entspricht. In Fahrrichtung betrachtet, beträgt das Ausmass der beobachteten Zone 1 m.

Dieser *Prototyp* wurde auf die Ladebrücke eines Lastwagens aufgebaut; er lässt sich mittels eines beweglichen Gerüstes ausfahren. Beim Messen wird die Einrichtung ausgefahren, wobei ihre Ausmasse die schnellen Fahrzeuge nicht beeinträchtigen (Bild 4).

Die *Ausbildung der Spurrinnen* kann laufend während der Aufnahme auf einem Bildschirm verfolgt werden. Gleichzeitig nimmt das Gerät die befahrene Streckenlänge und die Querneigung auf.

Durch den Verzicht auf eine hohe Geschwindigkeit bei der Messung ist es möglich, die Auswirkung der Zentrifugalkraft in den Kurven wesentlich zu reduzieren; damit lässt sich die *Querneigung* mit ausreichender Genauigkeit mit einem Inklinometer messen. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h und einem Horizontalradius von 900 m entsteht auf diese Weise ein Messfehler von weniger als 0,5% (absolut gesehen) bei der Bestimmung der Querneigung, was in der Praxis ohne Bedeutung bleibt.

Als Beispiel zeigt Bild 5 die Aufzeichnung der Querneigung eines 3 km langen Abschnittes der N9 bei Chexbres. Als Vergleich wurde die beim Entwurf

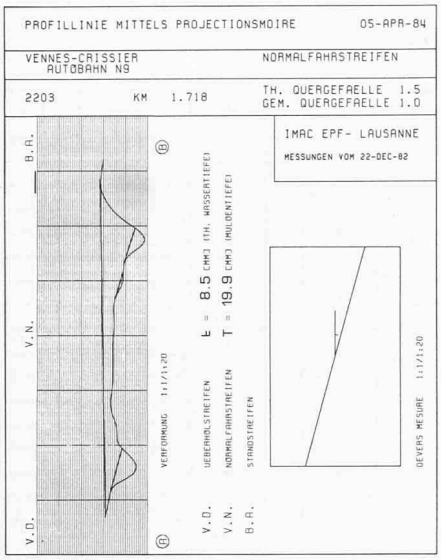


Bild 6. Typischer Querschnitt, gemessen auf der N9-Umfahrung von Lausanne

vorgesehene Neigung fein angedeutet. Interessanterweise ist festzustellen, dass die grösste Abweichung dieser beiden Werte im Maximum 0,5% beträgt.

Sämtliche Messwerte (Topographie, Querneigung, befahrene Länge) werden fortlaufend auf einem *Videoband* aufgezeichnet. Daraus wählt der Ingenieur die Art Auswertung, die der verfügbaren Datenverarbeitung am besten entspricht. Er ist nämlich in der Lage, die untersuchten Abschnitte qualitativ einzuteilen und den Verformungsgrad z. B. als schwach, mittel oder hoch zu qualifizieren. In diesem Fall beurteilt der Ingenieur das Ausmass der offensichtlichen verformten Zonen und kann dabei die Muldentiefe mit einer Genauigkeit von 10 bis 15% schätzen. Mit etwas Übung kann er sogar dank der gleichzeitigen Aufzeichnung der Querneigung Mulden- und Wassertiefe in Beziehung bringen.

Da er über eine kontinuierliche Aufzeichnung verfügt, kann der Praktiker die geprüften Abschnitte *beliebig oft* an seinem Arbeitstisch mühelos betrachten. Sehr rasch wird er auf diese Art eine gedankliche Übersicht des ihm anvertrauten Strassennetzes entwickeln können.

Das Informationsvolumen kann noch erweitert werden, indem man parallel zur Oberflächenaufzeichnung *ebenfalls den Situationsplan* der untersuchten Strasse auf einem Videoband aufnimmt. Während dieser Aufzeichnung gibt ein beweglicher Lichtpunkt jeweils den genauen Standort des Fahrzeuges während der Messung an.

Bei der Wiedergabe mit einem geeigneten *Mischpult* kann der Beobachter gleichzeitig die genaue Oberflächenbeschaffenheit des Belages sowie den entsprechenden Standort des Messwagens auf dem Situationsplan feststellen. Diese spätere Wiedergabe liefert somit den mit dem Unterhalt beauftragten Organen folgende Informationen:

- Vorhandensein, Lage, Ausmass und Tiefe der Spurrinnen,
- Querschnittslage und entsprechende Querneigung zu jedem Zeitpunkt,
- Umgebung, Trassegeometrie und Signalisation,
- Zusammensetzung und Legedatum des Belags,
- gegebenenfalls Unfallspuren oder örtlich beschränkte Schäden.

Werden die Ergebnisse dieser qualitativen Auswertungsphase, bei welcher die intuitive Erfassung der räumlichen Verhältnisse massgebend sind, als genügend betrachtet, so kann der Ingenieur auf die numerische Verarbeitung der aufgezeichneten Daten zurückgreifen. Die zahlenmässige Auswertung der Moiré-Streifen erlaubt die Aufzeichnung beliebiger Querschnitte, die entweder mit vorbestimmter Häufigkeit oder, auf offenbar schadenhafte oder verdächtige Zonen bezogen, abgerufen werden können.

Die Aufzeichnung des Querschnittes erfolgt automatisch, wobei das Programm ebenfalls die Mulden- und die Wassertiefen ermittelt. Diese für einen gegebenen Querschnitt massgebenden Werte werden gespeichert, damit sie der Datenbank zugeführt werden können.

Bild 6 zeigt einen typischen Querschnitt der N9 (Umfahrung von Lausanne); die Messung erfolgte vor den Instandstellungsarbeiten vom Sommer 1983.

Der Anwendungsbereich der Methode kann auch auf *andere Gebiete* als die Aufzeichnung der Spurrinnen erweitert werden; zum Beispiel kann bei der Abnahme eines Bauwerkes geprüft werden, wie genau die Oberfläche ausgeführt wurde. Weiter kann anhand des «Proof-Rolling»-Tests die Qualitätskontrolle eines Fundamentes im Hinblick auf die Form vorgenommen werden.

Erste Ergebnisse

Bis heute wurden mehrere Abschnitte des *waadtländischen Autobahnnetzes* geprüft, was einer Gesamtlänge von mehr als 200 km entspricht. Die am ärgsten strapazierte Strecke, Ende Dezember 1982 gemessen, wurde im Laufe des Sommers 1983 erneuert. Die damaligen Messergebnisse hatten die Dringlichkeit dieser Reparaturen deutlich aufgezeigt, betrug doch die Muldentiefe bis 38 mm und die Wassertiefe bis 24 mm. Es muss dabei bemerkt werden, dass dieser Abschnitt eine Längsneigung zwischen 2 und 5% aufweist, der Sonneneinstrahlung besonders exponiert und einem starken Schwerverkehr ausgesetzt ist (7 bis 8% des totalen Verkehrs der 40 000 Fahrzeuge/Tag, laut Statistik des Autobahnbüros).

Tabelle 1. Amplitude und Häufigkeit der Mulden- und Wassertiefen

Fahrrichtung	*Maximale Muldentiefe* T (mm)	*Häufigkeit der Mulden* $T \geq 10$ mm	$T \geq 20$ mm	*Maximale Wassertiefe* t (mm)	*Häufigkeit der Wassertiefen* $t \geq 4$ mm
Crissier–Vennes (aufwärts)	38	51	15	24	25
Vennes–Crissier (abwärts)	23,9	51	3	11,7	21

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die massgebenden Amplituden und Häufigkeiten der Kennwerte T und t. Diese Ergebnisse zeigen deutlich das Ausmass und die Häufigkeit der zahlreichen Schäden.

Es wird in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass die Norm SNV 640521a Wassertiefen von höchstens 4 mm zulässt; über diesen Wert hinaus kann die Wasseransammlung bei starkem Regen den Verkehr durch Aquaplaning gefährden.

Schlussfolgerungen

Der mit dem Unterhalt eines Strassennetzes beauftragte Ingenieur muss ständig über geeignete Informationen zur rationellen Verwaltung und Planung verfügen. Die entsprechenden Daten müssen *in knapper Form jederzeit zugänglich* sein.

Das hier beschriebene *Moiré-Verfahren* erbringt zur Bewältigung dieser Aufgabe die Vorteile der Echtzeit-Erfassung durch optische Methoden; ohne Berührung der geprüften Oberfläche liefert das Verfahren eine lückenlose Feinaufzeichnung der Fahrbahntopographie.

Das gewonnene Informationsvolumen ist ausserordentlich umfassend. Die Daten können entweder zur qualitativen Analyse der gesamten Fahrbahn herangezogen werden, wobei das geschulte Auge des Praktikers durch sein räumliches Vorstellungsvermögen unterstützt wird, oder numerisch zur automati-

schen Querschnittsaufzeichnung verarbeitet werden. Die numerische Auswertung schliesst die Ermittlung der Muldentiefe T und der Wassertiefe t ein: diese beiden Kennwerte können einer Datenbank zugeführt werden.

Dank

Unser Dank gilt den Herren *H. Vonlanthen*, Chefingenieur des Waadtländer Autobahnbüros, sowie *B. Graf*, Ingenieur, Leiter der Prüfanstalt der gleichen Verwaltung und verantwortlich für den Unterhalt des Waadtländer Autobahnnetzes. Die Beratung durch diese erfahrenen Praktiker hat wesentlich zur Anwendung des hier beschriebenen Prototyps beigetragen.

Adresse der Verfasser: Prof. Dr. *L. Pflug* und *S. Oesch*, dipl. Ing. ETH, c/o IMAC, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Dép. de Génie civil, 1015 Lausanne.

Literaturverzeichnis

[1] *Crottaz, R.:* Constructon de la superstructure routière. Tome I. EPF Lausanne, avril 1978

[2] *Pflug, L.:* «Une méthode de moiré au service de l'ingénieur routier». Bulletin technique de la Suisse romande, no. 26, décembre 1977

[3] *Pirodda, L.:* «Principi e applicazioni di un metodo fotogrammetrico basato sull'impiego del moiré». Rivista di Ingegneria, no. 12, décembre 1969

Einführung in die Empfehlung SIA 196 «Baulüftung von Untertagbauten»

Von Alex Haerter, Zürich

Entwicklung

Die *Baustellenbelüftung* ist für die Schweiz. Unfallversicherungsanstalt (Suva) und die ETH ein traditionsreiches Thema: Die Erfahrungen der 50er Jahre wurden 1960 als «Regeln für die Ventilationsanlagen im Stollenbau» [1] publiziert. Für die grossen Profile und langen Tunnel der 60er Jahre genügten sie aber nicht mehr, so dass 1970 neu erarbeitete Erkenntnisse im grauen Buch «Die Lüftung der Tunnel während dem Ausbruch» [2] bekannt gemacht wurden. Ausführlich wird darin der Frischluftbedarf beim Sprengvortrieb behandelt und dann in erfrischender Weise von den meistens sonderbaren Lüftungserfahrungen erzählt, die man auf den 8 ausgemessenen Baustellen antraf.

Die *weitere Entwicklung* verlief zweigleisig:
Die Suva schrieb den Unternehmern die notwendigen Frischluftmengen vor [3], passt sie laufend den Baumethoden an und macht in speziellen Fällen Empfehlungen für das zu verwendende Lüftungssystem. – Prof. *Grob* (ETHZ) und seine Mitarbeiter schlossen sich mit Lüftungsspezialisten zusammen und es wurden in mehreren bestehenden Luttensystemen im Detail die Verläufe der Luftmengen und Drücke gemessen. Diese Erfahrungen wurden in ein Berechnungssystem eingebaut [4], das dann vor 8 Jahren an der SIA-FGU-Tagung in Bern [5] und an einem Seminar in Sursee [6] vorgestellt wurde.

In Sursee wurde mit Begeisterung doziert und gerechnet, die Teilnehmer bekamen ihre rechnerische Sicherheit zur Dimensionierung eines Lüftungssystems, doch es kam dann die Frage: Reicht ein Seminar und eine SIA-Dokumentation aus, um landesweit das Niveau der Baustellenbelüftung anzuheben.

Eine Baulüftung kann aus drei Gründen unzulänglich sein:

1. Bei der *Projektierung* muss genügend Raum ausserhalb des Lichtraumprofils vorgesehen werden, um eine ausreichende Baustellenbelüftung installieren zu können, also bereits der Planer muss seinen Teil beitragen, um nicht eine kritische Lüftung vorprogrammiert zu haben.

2. Für den *Unternehmer* läuft die Baustellenbelüftung unter Unkosten, wo traditionsgemäss zuerst gespart wird. Wie Vortriebsmaschine und Transportfahrzeug ist aber auch die Lüftung eine Baustelleninstallation, die einen überlegten Einsatz und Unterhalt braucht, um ihre Leistung erbringen zu können. Nehmen alle Unternehmer diesen Standpunkt ein (er kann und wird von der Suva auch durchgesetzt werden), verteuert sich die Baustellenlüftung gegenüber heute, aber das gilt ja für alle Offerten. Eine Umfrage bei den Bundesämtern, die mit Tiefbauten zu tun haben, ergab, dass man auch gewillt ist, die Kosten für eine gute Baulüftung zu akzeptieren.

3. Bei Baustellenbesuchen sah man oft, dass der gute Wille da ist, eine Lüftung recht zu installieren und zu betreiben, doch es fehlte am *Verständnis*, worauf es ankommt.

Um diese drei kritischen Punkte abzudecken, kam seitens des SIA der Vorschlag (der auch von den Behörden und der Suva begrüsst wurde), den heutigen technischen Stand und das zweckmässige technische Vorgehen in einer SIA-Norm bzw.-Empfehlung festzuhalten. Seit Anfang 1983 ist die Empfehlung beim SIA in Deutsch und Französisch zu beziehen.

Literatur

[1] *Stahel, M.; Gessner, H.:* «Regeln für die Ventilationsanlagen im Stollenbau». VST. Hoch- und Tiefbau, 1960

[2] *Grob, H.; Gessner, H.; Schmid, L.; Rutishauser, F.; Bally, W.; Jutzi, W., et al.:* «Die Lüftung der Tunnel während dem Ausbruch». Vereinigung Schweiz. Tiefbauunternehmer, 1970

[3] Schweiz. Unfallversicherungsanstalt: «Richtlinie für die Bemessung und den Betrieb der künstlichen Lüftung bei der Durchführung von Untertagarbeiten Nr. 1484», Luzern, und «Richtlinien zur Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten bei der Durchführung von Untertagarbeiten Nr. 1977», Luzern

[4] *Haerter, A.; Burger, R.:* «Lüftung im Untertagbau». Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau an der ETH Zürich, Mitt. Nr. 39, 1978

[5] Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein: «Tunnel- und Stollenlüftung. Projektierung, Bau und Betrieb». Dokumentation SIA Nr. 14, 1976

[6] Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein: «Lüftung im Untertagbau. Richtlinien für die Bemessung und den Betrieb von Baulüftungen». Dokumentation SIA Nr. 19, 1976

Inhalt der Empfehlung

Im Abschnitt *Planung* wird zunächst festgehalten, dass das Bauprojekt die Installation einer ausreichenden Baulüftung ermöglichen muss. Die Ausschreibungsunterlagen haben die benötigten Informationen zur Lüftungsdimensionierung durch den Unternehmer zu liefern. Das Angebot soll das Lüftungsprojekt samt Installations-, Energie- und Unterhaltskosten enthalten, es wird in die Offertbeurteilung einbezogen.

Die Anwendungsbereiche der verschiedenen *Lüftungssysteme* werden gene-