Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 98 (1980)
Heft: 50: Zur Eröffnung des Seelisberg-Strassentunnels

Artikel: Ventilator-Schallprobleme am Seelisbergtunnel
Autor: Jörg, Urs
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74277

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: 08.10.2025

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

konvergiert ohne weitere Schwierigkeiten, wenn die gestellten Randbedingungen eine und nur eine Lösung zulassen und ein einzig möglicher Befehlssatz an alle verfügbaren Ventilatoren existiert.

Die wirkliche Situation wird aber häufig davon abweichen. Viele Randbedingungen sind variabel, zudem verfolgen einige dieser Bedingungen das Ziel der Wirtschaftlichkeit. Es können in gewissen Grenzbereichen zwei oder mehr Lösungen, die wirtschaftlich äquivalent sind, nebeneinander existieren, besonders wenn die Anlagenverfügbarkeit hoch ist und das System deswegenviele Freiheitsgrade besitzt.

Die maximale Anzahl der Iterationen ist beschränkt. In der Tat ist es besser, auf eine ausreichende Frequenz der Lüftungseingriffe zu achten, als die Zykluszeit zugunsten der Iterationshäufigkeit zu verlängern.

Literaturverzeichnis

[1] *Keller, E.:* «Die technischen Systeme im Seelisbergtunnel». In diesem Heft

[2] *Berner, M.:* «Gedanken über den Stellenwert und die Integration der Lüftung im Sicherheitskonzept». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 36, 1980

Adresse des Verfassers: *M. Berner*, dipl. Ing. ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich

Ventilator-Schallprobleme am Seelisbergtunnel

Von Urs Jörg, Zürich

Problemstellung

Der rund 9 km lange, vierspurige N2-Seelisbergtunnel wird querbelüftet, wobei der ganze Tunnel in fünf voneinander unabhängige Lüftungsabschnitte unterteilt ist. Dieses Konzept erforderte den Bau der vier unterirdischen Ventilationszentralen Rütenen, Hattig, Huttegg und Büel mit entsprechenden Lüftungsbauwerken auf dem Boden der Gemeinden Beckenried, Emmetten, Bauen und Seedorf.

Im Bereich der *Lufteintritts- und -austrittsöffnungen der Lüftungsbauwerke* wäre ohne besondere Massnahmen mit zum Teil beträchtlichen Schallemissionen der Ventilatoren zu rechnen. Die damit verbundenen *Immissionsprobleme vor allem in Wohngebieten* sind schon in der Projektierungsphase der Lüftungsbauwerke erkannt worden. So sind durch eine *geeignete Standortwahl der Bauwerke im Gelände* und eine *spezielle Formgebung der Lüftungsöffnungen* wichtige Voraussetzungen für eine wirksame Reduktion der durch die Ventilatoren verursachten Lärmimmissionen geschaffen worden.

Für das Abluftbauwerk der Lüftungszentrale Huttegg sind drei Standortvarianten ausgearbeitet worden. Die zur Ausführung gelangte Variante ist dabei aufgrund experimenteller Untersuchungen der Schallausbreitung im Gelände gewählt worden. Beim Lüftungsbauwerk Hattig (Bild 1) ist durch die senkrecht nach oben weisende Abluftöffnung ein hinsichtlich der Schallausbreitung umweltfreundliches Abluftbauwerk entstanden. Ebenso liessen sich beim Lüftungsbauwerk Büel durch eine schräg nach oben weisende Zuluftöffnung die Schallimmissionen in Flüelen bereits auch ohne den Einbau von Schalldämpfern wesentlich herabsetzen.

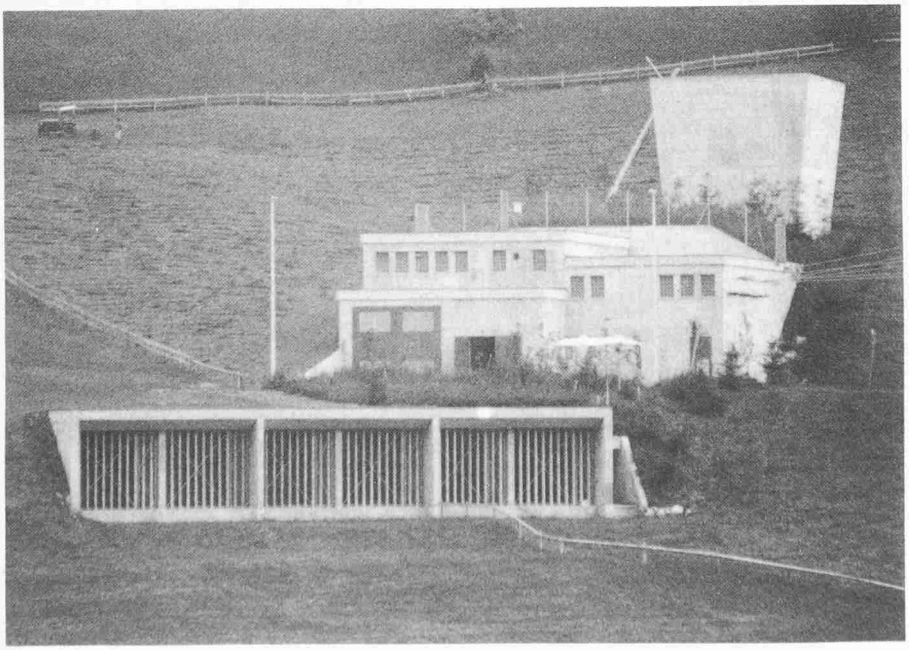

Bild 1. Lüftungsbauwerk Hattig mit Zuluftöffnung und Abluftkamin

Die während der Planungsphase zugrunde gelegten *zulässigen Immissionen* zeigten sich *nach rund zehn Jahren Bauzeit überholt*. Einerseits hatten zum Teil *neue Einzonungen* des Geländes im Bereich der Zu- und Abluftbauwerke stattgefunden und andererseits erachtete man aufgrund der *sensibilisierten öffentlichen Meinung* eine Verschärfung der zulässigen Lärmimmissionswerte als angebracht. Heute sind die im Einwirkungsbereich des Ventilatorlärms liegenden Geländeabschnitte durchwegs als Kurzonen (Kenn-Nr. I), ruhige Wohnzonen (Kenn-Nr. II) oder gemischte Wohnzone (Kenn-Nr. III) eingestuft. Aufgrund dieser Einzonungen und teilweise durchgeführter Istzustandserhebungen dürfen die in Tabelle 1 aufgeführten Lärmimmissionswerte beim massgebenden Wohnhaus nicht überschritten werden.

Zusätzlich zu diesen Anforderungen muss am Einwirkungsort der Schallpegel nach der ISO-Kurvenschar (NR-Kurve) frequenzabhängig begrenzt werden, da der Lärmcharakter der Ventilatoren nicht dem Strassenverkehrslärm, sondern dem *Industrielärm* gleichzusetzen ist.

Die Einhaltung obiger Vorschriften erforderte bei allen Lüftungsbauwerken mit Ausnahme des Abluftbauwerkes Hattig den Einbau von *Schalldämpfern*. Zur optimalen Auslegung der Schalldämpfer ist die genaue Kenntnis der frequenzabhängigen Schallausbreitung im Gelände notwendig. Um sowohl die komplexen topographischen Verhältnisse als auch die theoretisch schwierig zu erfassende Richtwirkung der Schallabstrahlung ins Freie mit der höchstmöglichen Genauigkeit zu erfassen,

Tabelle 1. Tolerierbare Lärmimmissionswerte

Los Rütenen:	L_{50} tags: 50 dB(A)	L_{50} nachts: 35 dB(A)
Los Hattig	L_{50} tags: 45 dB(A)	L_{50} nachts: 35 dB(A)
Los Huttegg:	L_{50} tags: 45 dB(A)	L_{50} nachts: 35 dB(A)
Los Büel:	L_{50} tags: 45 dB(A)	L_{50} nachts: 35 dB(A)

Tabelle 2. Massgebende Luftfördermenge (%) der maximal möglichen Menge

	Seeröhre		*Bergröhre*
Tag	70%		35%
	35%	oder	70%
Nacht	50%		50%

wurde nach dem Bau der Zu- und Abluftbauwerke und nach der Montage der Ventilatoren, die *Schallausbreitung im Gelände experimentell ermittelt*. Die Schallversuche erlaubten ebenfalls die speziellen Ausbreitungsbedingungen, wie sie in *Seenähe bei Inversionslagen auftreten könen, zu berücksichtigen*.

Schallversuche

Bei genau definierten Ventilator-Betriebszuständen wurden sowohl an den Mündungsbauwerken als auch an Geländestellen, die hinsichtlich der Lärmeinwirkung kritisch sind, Schallmessungen durchgeführt. Die auf diese Weise experimentell ermittelte Schallausbreitung im Gelände zeigt den Zusammenhang zwischen der Schallemission am Lüftungsbauwerk und der Lärmimmission an einer bestimmten Geländestelle (Bild 2). Damit sind die für die Schalldämpferdimensionierung massgebenden Geländestellen und Frequenzen bekannt.

Zur Gewährleistung des Einhaltens des maximal zulässigen Schallpegels an der massgebenden Geländestelle ist somit nur die entsprechende Angabe des Schallpegels am Lüftungsbauwerk notwendig. Mit dieser Forderung der Einhaltung eines *maximalen Schallpegels am Lüftungsbauwerk* wird die eigentliche Auslegung der Schalldämpfer vom Immissionsort entkoppelt und ihre akustische Kontrolle und Abnahme vom Lieferanten gestaltet sich wesentlich einfacher.

Die Schallausbreitung im Gelände im Bereich um die Lüftungsbauwerke Rütenen, Hattig und Büel wurde mit den unter Vollast laufenden Ventilatoren ermittelt. Da im Baulos Huttegg im Zeitpunkt der Gelände-Schallausbreitungsmessungen die Ventilatoren noch nicht eingebaut waren, wurde der Ventilatorlärm *mit Lautsprechern hoher Ausgangsleistung simuliert*. Die Auswertung der auf Band aufgenommenen Schallmessungen erfolgte im Akustiklabor, wo unter Elimination von Fremdgeräuschen – solche, wie z. B. Baustellenlärm oder Hundegebell, lassen sich bei Messkampagnen nur selten vermeiden – die Lärmkenngrössen bestimmt wurden. Da bei der Festlegung der Grenzwerte der Schallpegel nach der ISO-Kurvernschar (NR-Kurve) frequenzabhängig begrenzt werden musste, wurde im weiteren eine Frequenzanalyse (Oktavbandfilter) durchgeführt.

Die Schallmessungen wurden für die Zuluft- und Abluftbauwerke getrennt durchgeführt. Die Schallüberlagerungen zum Immissionsort wurden anschliessend rechnerisch berücksichtigt.

Während den Lärmmessungen im Gelände wurden *zusätzlich Windmessungen* durchgeführt, damit auch meteorologische Einflüsse berücksichtigt werden konnten. Soweit bei den verschiedenen Lüftungsbauwerken nicht schon bei typischen Wetterlagen die Schallausbreitung erfasst wurde, wurden entsprechende Korrekturen angebracht, um auch bei häufigen, für den Immissionsort ungünstigen Wetterlagen die Einhaltung der Grenzwerte zu garantieren.

Auslegung der Schalldämpfer

Da die erforderliche Lüftungsmenge im Seelisbergtunnel durch eine zweistufige Drehzahlsteuerung der Ventilatoren und eine variable Flügelstellung gefahren werden kann, muss zur Bemessung der Schalldämpfer festgelegt werden, bei welchen *Betriebszuständen* die Lärm-Grenzrichtwerte am Immissionsort eingehalten werden müssen.

Die Belüftung des Seelisbergtunnels ist so ausgelegt worden, dass auch bei maximalem Spitzenverkehr, Verkehrsstokkungen im Tunnel oder bei Katastrophenfällen eine ausreichende Ventilation gewährleistet wird. Da solche Fälle und der damit verbundene Vollastbetrieb der Ventilatoren sehr selten auftreten, erschien es nicht zweckmässig, die Schalldämpfer auf den maximal möglichen Schallpegel bei Vollast der Ventilatoren auszulegen. Vielmehr wurden die Schalldämpfer auf einen unter normalen Verhältnissen auftretenden maximalen Lüftungsbetrieb dimensioniert. Am Immissionsort kann es dadurch zu Mehrbelastungen kommen. Diese erscheinen aber als zumutbar, da solche Lärm-Spitzenbelastungen nur sehr selten und während kurzer Zeit auftreten.

Gestützt auf Verkehrsprognosen, Jahres- und Tagesganglinien des Verkehrs wurden im Einvernehmen mit dem *Bundesamt für Umweltschutz* die in Tabelle 2 aufgeführten Ventilationsbe-

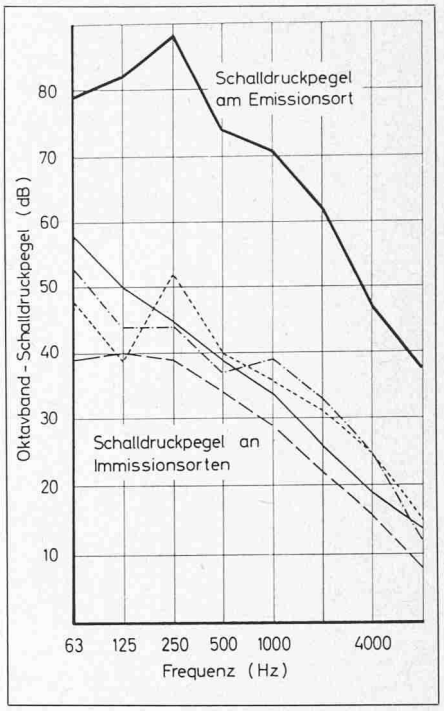

Bild 2. Gemessene Schalldruckpegel an einem Lüftungsbauwerk und an einigen Wohnhausstandorten bei gleicher Schallemission. Die Differenz zwischen der Emissions- und den Immissionskurven ergibt die entsprechende Geländedämpfung

triebszustände als massgebend erachtet. Luftmengen bis 50 Prozent werden mit einer Drehzahl von 490/Min., Luftmengen über 50 Prozent mit der doppelten Drehzahl gefördert. Da sich die Ventilatorschalleistung mit der 5. Potenz der Umfanggeschwindigkeit ändert, bewirkt diese Drehzahlverdoppelung eine Zunahme des Schalleistungspegels um etwa 15 dB. Für die Schalldämpferauslegung ist es deshalb entscheidend, dass die massgebenden Luftvolumenströme bei Nachtbetrieb mit der niederen Drehzahlstufe gefahren werden können.

Am Mündungsbauwerk wurde die Ventilatorschallemission bei den massgebenden Tages- und Nachtbetriebszuständen frequenzabhängig gemessen. Mit der Kenntnis der Schallabnahme zur massgebenden Geländestelle konnte damit der Frequenzverlauf am Immissionsort bei den oben genannten Betriebszuständen ermittelt werden (Bild 3). Bei einer Überschreitung der ISO (NR)-Kurven gibt die Differenz zwischen Messkurve und entsprechender Grenzkurve die notwendige Schalldämpfung für den Tages- bzw. den Nachtbetriebszustand in den einzelnen Oktavbändern an. Für die Auslegung der Schalldämpfer ist jeweils der grössere der beiden Werte zugrunde gelegt worden, wobei zusätzlich noch eine Sicherheitsreserve von 3 dB, mit der Messungenauigkeiten abgedeckt werden sollen, berücksichtigt wurde. Bereits bei den tiefen Frequenzen 63 Hz und 125 Hz sind Dämpfungen notwendig. Aufgrund der Absorptionseigenschaften von Mineralwolle-Kulissen-

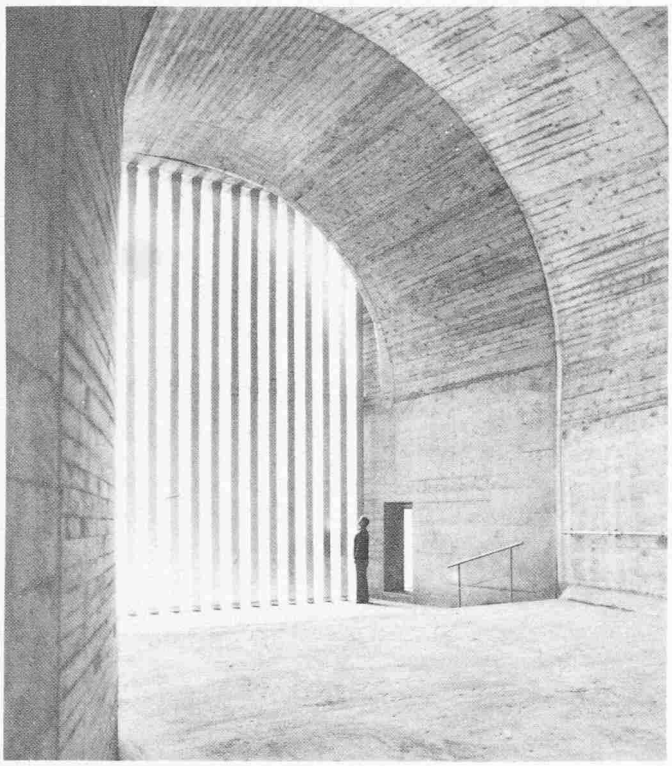

Bild 4. Die montierten Schalldämpfer im Zuluftbauwerk Rütenen (Blick gegen die Lufteintrittsöffnung)

Bild 5. Montage der Kulissen-Schalldämpfer beim Abluftbauwerk Rütenen

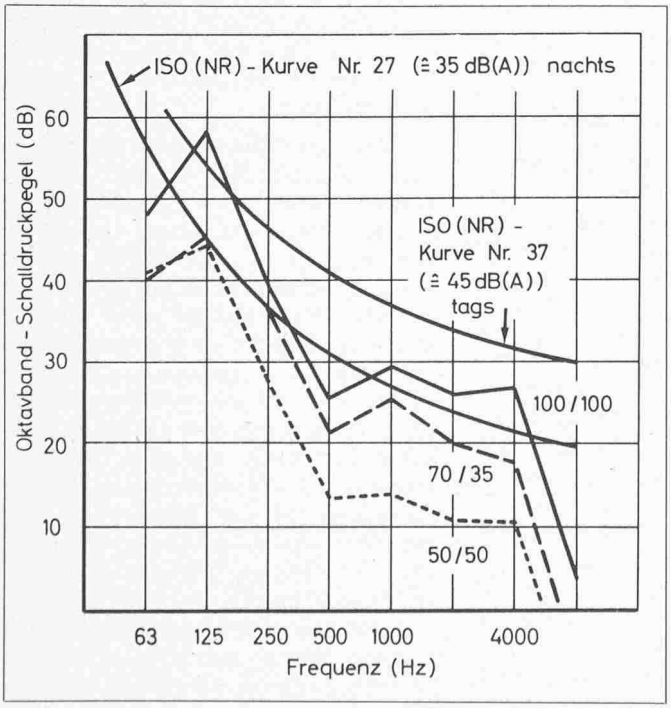

Bild 3. Gemessener Oktavband-Schalldruckpegel zweier Ventilatoren bei drei verschiedenen Betriebszuständen an einer für die Schalldämpferauslegung massgebenden Geländestelle. Die Zahlenwerte geben die geförderte Luftmenge in Prozenten der maximal möglichen Luftmenge an. Die Schalldämpfer müssen so ausgelegt werden, dass die angegebenen ISO-Grenzwertkurven vom Ventilatorschall der entsprechenden Betriebszustände (nachts 50/50, tags 70/35) nicht überschritten werden

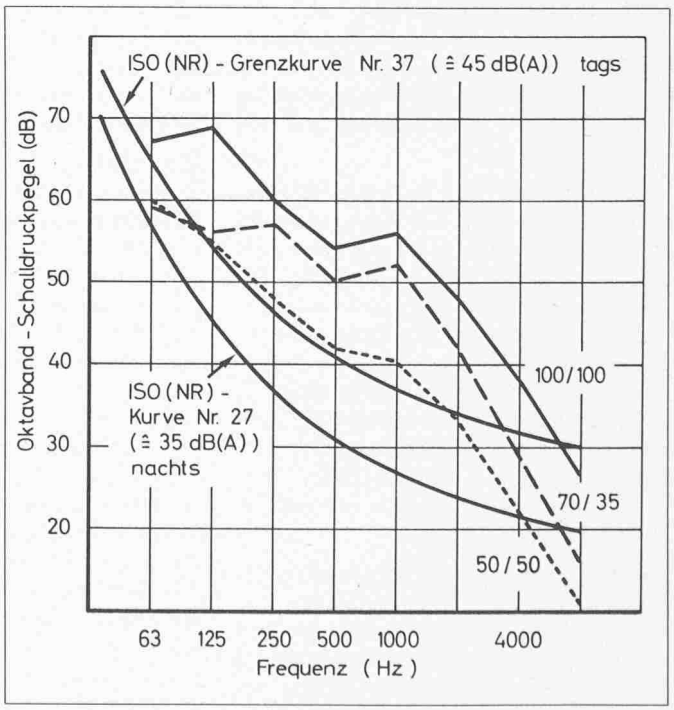

Bild 7. Oktavband-Schalldruckpegel am Immissionsort nach der Montage der Schalldämpfer. Die Situation vor der Montage zeigt Bild 3. Für die Auslegung dieses Schalldämpfers war der Nachtwert der 125 Hz-Frequenz massgebend (vgl. auch Legende zu Bild 3)

schalldämpfern richtet sich ihre Auslegung praktisch nur nach diesen tiefen Frequenzen. Die dadurch notwendigen Kulissendicken liegen zwischen 200 mm und 300 mm bei Kulissenlängen bis zu 4500 mm (Bild 4 und 5). Die grossen Abmessungen der Schalldämpfer, die an einigen Stellen bis zu 13 m hoch sind, erforderten zum Teil Transporte und Montagen unter schwierigen Verhältnissen (Bild 6).

Schallgedämpfter Ventilatorläm

Nach der beendeten Montage wurden Ventilatorschallmessungen an den Lüftungsbauwerken bei den massgebenden Betriebszuständen durchgeführt. Damit konnte einerseits geprüft werden, ob die Schalldämpfer die am Lüftungsbauwerk verlangten Dämpfwerte erbringen und andererseits ob die an den massgebenden Immissionsorten anzuwendenden Grenzwerte auch tatsächlich eingehalten werden (Bild 7). Alle Schallmessungen bei den massgebenden Ventilator-Betriebszuständen ergaben die geforderte Einhaltung der entsprechenden ISO (NR)-Grenzkurven. Es zeigte sich, dass der an den Immissionsorten herrschende Schalldruckpegel sogar bei Vollast der Ventilatoren die Tages-dB(A)-Grenzwerte einhält und die entsprechenden frequenzabhängigen Schalldruckkurven nach der ISO-Kurvenschar (NR-Kurve) nur in den tiefen Frequenzen geringfügig überschreitet.

Die Ergebnisse der Schallmessungen mit den eingebauten Schalldämpfern veranschaulichen sehr eindrücklich, wie sich mit sorgfältig durchgeführten Schallausbreitungsmessungen im Gelände Schalldämpfungsmassnahmen optimal vorausplanen lassen. Dies ist vor allem dort von Bedeutung, wo die Schalldämpferkosten sehr hoch sind, wo eine nachträgliche Verbesserung der Dämpfung nicht mehr oder nur mit hohem finanziellem Aufwand möglich ist oder wo zu grosse Schalldämpfer einen unwirtschaftlichen Betrieb (hier beispielsweise zu hohe Druckverluste an den Ventilatoren) verursachen würden.

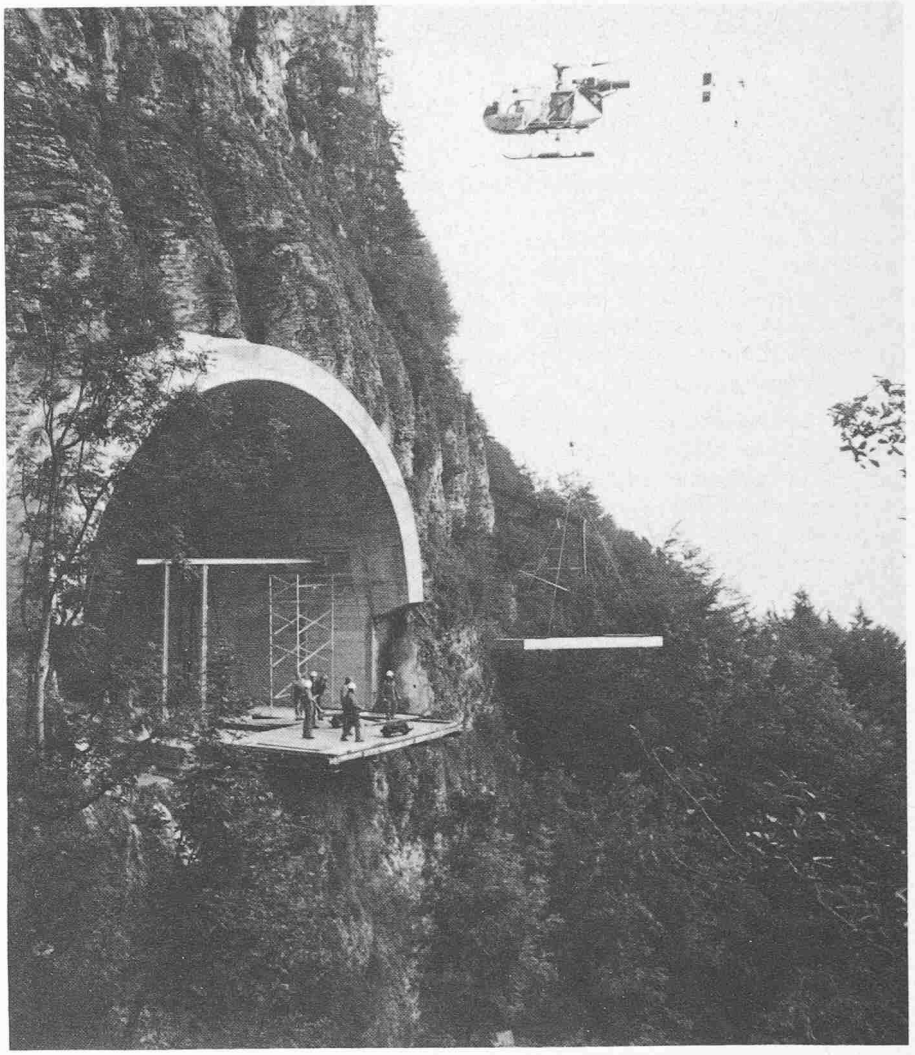

Bild 6. Schalldämpfertransporte nach dem recht unzugänglichen Abluftbauwerk Huttegg (Bauen)

Adresse des Verfasser: *Dr. U. Jörg*, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich