

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 102 (1984)  
**Heft:** 22

**Artikel:** Verschiedene Systeme der Staubabscheidung bei der Baulüftung von Untertagebauten: Staubabscheidung in Abluftströmen vor dem Austritt in die Umgebung  
**Autor:** Vuilleumier, Jean-Claude  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-75472>

### **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:** 28.01.2026

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

sen. Die auftretenden Wasserverluste von ca. 10% werden durch Frischwasserzufuhr ergänzt.

Der sich in der Wasseraufbereitungs-Einheit absetzende *Schlamm* wird z. B.

- a) mittels Kratzband-Austragungseinrichtung in einen Auffangtrichter ausgetragen, um von dort mittels einer Pumpe dem Förderband zugeführt und abgefordert zu werden.
- b) oder wöchentliche händische Reinigung des Schlammbeckens
- c) durch Auspumpen des Schlammes mit der vorhandenen Saugpumpe auf die Förderbandanlage.

## Dimensionierung und Einbauregeln

Für das einwandfreie Funktionieren einer Nass-Entstaubungsanlage sind folgende Grundregeln zu beachten:

1. Die Luftgeschwindigkeit in der Ansaugleitung darf nicht kleiner als 20 m/s sein (vgl. Bild 2).
2. Die Wasserinjektion über die Düsen muss 0,5 l/m<sup>3</sup> Luft bei ca. 4 bar betragen, d. h. bei einer Entstaubungsanlage mit einer Leistung von 150 m<sup>3</sup>/min ist der Wasserbedarf 150 × 0,5 = 75 l/min. Dies entspricht 4,5 m<sup>3</sup>/Std.
3. Die Schlammsaugpumpe muss Unterdruck im Schlammammelgehäuse erzeugen, und zwar mindestens 0,2 bar.
4. Der Druckverlust in der Hochdruck-Nassentstaubungsanlage beträgt 1000 mm WS. Berücksichtigt man zusätzlich die Druckverluste in der Ansaugleitung, ist die Lüfterstation mindestens auf ein  $\Delta p$  von 1200–1350 mm WS zu dimensionieren. Wird diese Druckdifferenz überschritten, reißen die Lüfter in ihrer Kennlinie ab – sie laufen im instabilen Bereich. Diese Erscheinung ist hörbar, wenn die Lüfter «pumpen».

Tabelle 1. Prüfbericht 44/81

Volumenstrom [m <sup>3</sup> /min]	Konzentration		Verschmutzungsgrad des Umlaufwassers [g/l]
	Rohluft [mg/m <sup>3</sup> ]	Reinluft [mg/m <sup>3</sup> ]	
400	2000	3,474	2,4
400	2000	3,686	3,4

Da bei diesem Vorgang die Wettermenge auf weniger als die Hälfte sinken kann, ist die Stauberfassung nicht mehr gewährleistet, ganz abgesehen davon, dass sich der Entstaubungsgrad enorm verschlechtert.

Bei Einhaltung oder Erfüllung dieser obenerwähnten Grundregeln kann eine gleichbleibende Funktion, unabhängig von den Betriebsverhältnissen, höchste Staubabscheide-Wirkungsgrade bei geringem Wartungsaufwand garantiert werden.

Und nun ein Wort zur Dimensionierung und Einbaugrundregel: Voraussetzung für eine gute Entstaubungsleistung ist im weiteren, die *Staubquelle* soweit wie möglich abzudichten, um den Staub aus diesem Raum mit einer relativ kleinen Luftmenge absaugen zu können.

Im mechanischen Vortrieb haben wir gute Resultate erzielen können, indem konsequent nur der Bohrkopfraum entstaubt wurde. Bandübergabestellen können *nicht* mit derselben Anlage entstaubt werden. Das Unterdruck-Gleichgewicht würde dadurch gestört.

Es würde an dieser Stelle zu weit führen, über die Dimensionierung einer Entstaubungsanlage zu orientieren. Hingegen darf gesagt werden, dass bis zu einem Stollendurchmesser von 6 m folgende *Faustregel* zur Anwendung gebracht werden darf:

$$\text{Luftbedarf für die Entstaubung} = 10\text{--}14 \text{ m}^3/\text{min je m}^2 \text{ Ausbruchfläche}$$

Bild 3 zeigt eine generelle Anordnung.

Tabelle 2. Betriebskosten für Nassentstauber (Beispiel)

<b>Investitionskosten</b>	
kompl. einer betriebsbereiten Nassentstaubungsanlage	sFr. 125 000.-
Q = 150 m <sup>3</sup> /min	
<b>Betriebskosten</b>	
Stollenquerschnitt	10 m <sup>2</sup>
Stollenlänge	7.8 km
Bauzeit	205 Arbeitstage (Durchlauf)
Ausbruch in Fest-m <sup>3</sup>	77 200 m <sup>3</sup>
bei Stromkosten von 6 Rp/kW:	11 070.-
Inst. Leistung: 50 kW	
Ersatzteilkosten:	3 480.-
Umbaukosten: 48 M.h à Fr. 50.-	2 400.-
	<u>16 950.-</u>
Reine Betriebskosten = 22 Rp/m <sup>3</sup>	
Reine Ersatzteilkosten = 4,5 Rp/m <sup>3</sup>	

## Abscheidungsgrad

Der Steinkohlen-Bergbauverein in Essen führt die Prüfungen der Nassentstaubungs-Anlagen periodisch durch. Es liegen Untersuchungsberichte vor. Der Abscheidungsgrad liegt stets bei ca. 99,826%.

Dazu ist zu erwähnen, dass der Verschmutzungsgrad des Umlaufwassers in direktem Zusammenhang des Entstaubungswirkungsgrades steht (Tabelle 1).

## Betriebskosten

Auf Grund einer seriösen Nachkalkulation diene ein Beispiel zur Erläuterung (Tabelle 2).

Teilschnittmaschine nicht an einen gegebenen Querschnitt gebunden, sie sollte sich der Einsatzvielfalt anpassen können. Meistens ist die Amortisation einer Anlage beim ersten Einsatz nicht möglich. Dem muss bei der Investition Rechnung getragen werden.

Viele kleine oder kurze Vortriebe werden heute in bewohnten Gebieten mit *Teilschnittmaschinen* verwirklicht. Bei solchen Arbeiten stellt sich die Frage, ob eine mitgehende Entstaubung sinnvoll ist. Die Ventilation muss auf jeden

## Staubabscheidung in Abluftströmen vor dem Austritt in die Umgebung

Von Jean-Claude Vuilleumier, Lyss

### Maximale Immissionskonzentration

Bevor die Entstaubung projektiert wird, müssen die verschiedenen Aspekte einer Baustelle so genau wie möglich

erörtert werden. Sind alle technischen Fragen geklärt, so ist gezwungenermaßen auch die wirtschaftliche Seite zu analysieren. Dabei spielt die Wiederverwendbarkeit eine wesentliche Rolle. Im Gegensatz zur Entstaubung einer Vollschnittmaschine ist diejenige einer

Fall erstellt werden. Lutten sind billiger und leichter als Rohre. Ein Nachläufer ist für kurze Strecken eine aufwendige und oft störende Installation. Daher ist es zweckmässiger, eine stationäre Entstaubungsanlage mit wachsender Rohrlängslänge aufzubauen. Gleichzeitig erhält man dabei eine saugende Ventilation, die bei Dieselbetrieb nicht rein scholastisch ist, aber dennoch meistens genügt.

Lange hat man den Staub bei saugender Bewetterung einfach in die Umgebung abgegeben. Mit zunehmender Mechanisierung hat die Staubbeltung wesentlich zugenommen, so dass auch ohne die grüne Welle etwas zur Beseitigung des Staubes gemacht werden musste.

Anstelle der allen bekannten MAK-Werte (maximale Arbeitskonzentration) ist *übertage die maximale Immissionskonzentration* (MIK-WERT) einzuhalten. Ich will hier nicht auf die Einzelheiten der TA-Luft (Techn. Anleitung zur Reinhaltung der Luft) eingehen, sondern kurz anhand eines Beispiels die Aufgabe erläutern.

Der *Staubniederschlag* wird in einem bestimmten Umkreis der Staubquelle (Emission) gemessen. Für Baustellen gilt die sogenannte Langzeiteinwirkung (IW 1) für nicht gefährdende Stäube  $350 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{d}$ . Das heisst, dass sich rund um die Baustelle nichts mehr ansammeln darf. Dazu kommt die Bestimmung über die verdünnte Konzentration von gefährlichen Stäuben. Behörden haben also auf jeden Fall die Möglichkeit, entsprechende Massnahmen zu verlangen. Auf der *Baustelle «Milchbuckeltunnel»*, auf die ich später noch zurückkommen werde, war ein Messwagen der Stadt Zürich stationiert, in welchem die genannten Werte gemessen wurden.

Rechnen wir kurz einen Fall durch: Eine Teilschnittmaschine erzeugt  $1,5 \text{ g/m}^3$  Gesamtstaub. Sie arbeitet voll während 6 Stunden im Tag. Das Absaugvolumen beträgt  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Das ergibt eine totale Staubmenge von  $324 \text{ kg/d}$ . Je nach Luftverhältnis auf der Baustelle ist die Verdünnung sehr verschieden. Nehmen wir für die unmittelbare Umgebung einen mittleren Verdünnungsfaktor von 10 und eine Baustellendimension von  $5000 \text{ m}^2$ . Der Staubniederschlag erreicht  $6,48 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$  und ist demzufolge knapp zwanzigmal höher als zugelassen. Zählt man die übrigen Baustellenimmissionen dazu, so haben ganz bestimmt die Nachbarn das Wort.

Diese Sachlage führte vor einigen Jahren zu der Entwicklung eines *neuen Entstauberkonzepts*. Das Ziel war: gros-

ser Luftdurchsatz mit kleinem Druckverlust, einfache und kompakte Anlage mit hohem Abscheidegrad. Aus baulichen, betrieblichen und preislichen Gründen wählten wir die Nassentstaubung. Die gleichen technischen Erfordernisse der Stauberfassung gelten auch, wenn die Anlage stationär ist. Die Absaugung bleibt in der kleinstmöglichen Distanz der Staubquelle.

### Nassentstauber ausserhalb der Baustelle

Ein kurzer Strassentunnel wird in einer Art *deutscher Bauweise* aufgeföhren. Die Luftmenge musste also den Einzelquerschnitten zuerst und dem vollen Querschnitt in der letzten Phase angepasst werden. Zusätzlich wurde in mehreren Stollen gleichzeitig gearbeitet. Die Luftgeschwindigkeit betrug mindestens  $0,3$  und max.  $0,5 \text{ m/s}$ . Ausserhalb der Baustelle wurde ein Nassentstauber Sepax L 25 installiert. Er wies folgende Kenndaten auf: Volumenstrom  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ , max. Druckverlust  $2800 \text{ Pa}$ , mit  $75 \text{ kW}$  für den Axialventilator und gesamt  $16,5 \text{ kW}$  für die Pumpen. Der Schallpegel durfte nicht über  $70 \text{ dB(A)}$  betragen. Die Suva machte die üblichen Messungen, die wie folgt ausfielen: Gesamtstaub  $99,64\%$ , Feinstaub  $99,66\%$ , Quarz  $99,49\%$ . Die Umtriebe und die Energiebilanz waren äusserst klein: kein Umstellen der Anlage und nur  $3,66 \text{ kW je m}^3$  Luftdurchsatz. Nach einem Zwischenaufenthalt in Frankreich wurde vor kurzem diese Anlage auf der Baustelle «Hirschengraben» in Betrieb genommen.

Das zweite Beispiel zeigt die Ausrüstung einer *typischen Kleinbaustelle*. Die erforderliche Luftmenge wurde mit  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  veranschlagt, und die Gesamtlänge der Saugleitung wuchs auf knapp  $200 \text{ m}$ , aber mit vielen Krümmern. Die errechneten Druckverluste in der Rohrleitung sowie der vorgesehene Eigendruckverlust des Entstaubers ergaben einen Wert von etwa  $4,6 \text{ kW/m}^3$ . Wir hatten das Glück, auf dieser Baustelle eine theoretische Entwicklung zu erproben. In jedem Ventilator entstehen Laufrad-Gitterkräfte, welche durch technische Massnahmen zurückgewonnen werden müssen. Nutzt man diese Erscheinung gewollt zur Drallerzeugung, so erhält man auf Kosten eines etwas verminderten Wirkungsgrades eine Zentrifuge. Wir bauten deshalb einen Ventilator, der gleichzeitig ein Zentrifugalabscheider ist. Im Sepax A 8 übernimmt das spezielle Radialrad den Luftdurchsatz und den Abscheidedrall. Das Resultat war über Erwarten gut. Eigene Messungen haben ergeben:

$800 \text{ mg/m}^3$  im Rohgas und  $3,5 \text{ mg/m}^3$  im Reingas. Die Anlage ist äusserst einfach und kompakt. Wären nicht Laub und kleine Zweige in den Wasserkreislauf gelangt, wäre der Ersteinsatz pannenlos verlaufen. Dieses Gerät kann sowohl als Entstauber wie auch als gewöhnlicher Ventilator eingesetzt werden.

Eines möchte ich in bezug auf *Übertageaufstellung von Nassentstauber* hervorheben: Die kalte Jahreszeit bringt zwei Probleme mit sich, die recht einfach zu lösen sind, aber nicht vergessen werden dürfen:

1. Dem Einfrieren des Wassers in den Pumpen muss begegnet werden (3 Möglichkeiten: allabendliche Leerung, Heizung der Pumpen oder Frostschutzzugabe).
2. Das eventuelle Kondensieren der feuchten Abluft könnte von Laien als fürchterliche Umweltverschmutzung verschrien werden, obwohl die Luft sauber ist. Ein angebauter Tropfenabscheider kann Abhilfe schaffen.

### Entstauber im Pilotstollen

Kommen wir nun zur zweiten Einsatzmöglichkeit von Abluftentstaubern. Oft wird heutzutage dem eigentlichen Tunnelbau ein *Pilotstollen* vorausgeschickt. Es ist dann völlig klar, dass dieser Stollen zu einer grossen Lutte umfunktioniert werden kann, sofern die Achse schlaue gewählt wurde. Die Ventilation des grossen Querschnitts wird somit einfach und billig. Der *Einsatz eines Entstaubers* auf einer solchen Baustelle ist anders anzupacken als in den vorangegangenen Betrieben. Die Staubbeltung ist wesentlich kleiner, denn die Luftgeschwindigkeit im Pilotstollen ist relativ klein und ermöglicht eine Sedimentation des Grobstaubes. Nur in den letzten Metern trifft die volle Belastung auf die Entstaubungsanlage. Demzufolge muss auf Kosten des Abscheidegrades der Anlage der Druckverlust auf ein Minimum reduziert werden. Die erste Anlage dieser Art wurde im Pilotstollen des «Milchbuckeltunnels» eingebaut. Ohne nennenswerte Pannen tat sie während des ganzen Vortriebes ihren Dienst. Die aufgewendete Gesamtenergie betrug  $2,7 \text{ kW/m}^3$ . Der Volumenstrom war mit  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  anfänglich eher grosszügig, bei zunehmender Schutterungslänge aber ungenügend. Die gleiche Situation kennt man ja auch bei der blasenden Ventilation. Abhilfe kam dann mit einem parallelaufenden Ventilator. Diese Anlage versah anschliessend ih-

ren Dienst auf der Baustelle «Tramtunnel» in Zürich. Die grosszügige Einstellung der Investoren hat sich somit gelohnt.

Es ist unsere Aufgabe und unser Ziel, dem Unternehmer eine baustellengerechte Lösung des Staubproblems anzubieten, sei dies Übertage oder wie schon lange auch Untertage. In den letzten Jahren haben wir das Kapitel Energie-

kosten sehr ernst genommen und haben mit dem neuen Entstauber gleichzeitig den Anlagepreis erheblich senken können, ohne auf gute bis sehr gute Abscheidegrade verzichten zu müssen. Zum Schluss sei den Teilschnittmaschinen-Herstellern nahegelegt, sich des Stauberfassungsproblems bereits bei Entwicklung der Maschinen ernsthaft anzunehmen.

Drei Vorträge, gehalten anlässlich der FGUVST-Tagung «Baulüftung von Untertagebauten» am 7. Dez. 1983 an der ETH Zürich

Adressen der Verfasser: H. Butz, Ing. HTL, Eltecna AG, Ingenieurbüro für Industrieanlagen, Postfach, 8048 Zürich; R. Wälti, Ing. HTL, Büro für Bau- und Verfahrenstechnik, Inhaber der Rowa AG, Untertage-Spezialmaschinen und Anlagebau, Alte Eschenbacherstr. 5, 8716 Schmerikon; J.-Cl. Vuilleumier, J.-Cl. Vuilleumier AG, 3250 Lyss.

## Unbekannte Beiträge Robert Maillarts zur Konstruktion dünner Betonschalentragwerke

Von David P. Billington, Princeton

David P. Billington, Professor für Ingenieurwissenschaften an der Universität Princeton im Staate New Jersey (USA), ist neben seiner praktischen Tätigkeit ein profunder Kenner (und Liebhaber) der Technikgeschichte. Insbesondere hat es ihm das Werk des Schweizer Brückenbauers Robert Maillart (1872–1940) angetan und ihn zu einem Buch angeregt, das seinesgleichen im technikgeschichtlichen Schrifttum sucht («Robert Maillart's Bridges. The Art of Engineering». Princeton University Press, 1979). Nicht genug damit. Der Autor geht weiter zurück in der Geschichte und hat ein Jahr später in einem Zeitschriftenaufsatz auch das Werk «Wilhelm Ritter: Teacher of Maillart and Ammann» gewürdigt (Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Structural Division, Vol. 106, No. ST5, 1980). Offensichtlich ist Billington im Begriff, eine Biographie des ehemaligen ETH-Professors zu schreiben und so gleichsam zu den Grundlagen vorzustossen, auf welche die dereinst weltberühmten Schweizer Brückenbauer gründeten. Billington kennt die Schweiz aus eigener Anschauung; mehrmals weilte er zu Studienaufenthalten an der ETH Zürich. Auf seine Veranlassung hin ist in Princeton auch der zeitgenössische Schweizer Brückenbau in Ausstellungen und Kolloquien dargestellt worden. Der nachfolgende Aufsatz, aus dem Amerikanischen von K. Ziegler-Hagger übersetzt, ist dem Jahresbericht 1981 der Schweiz. Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten entnommen.

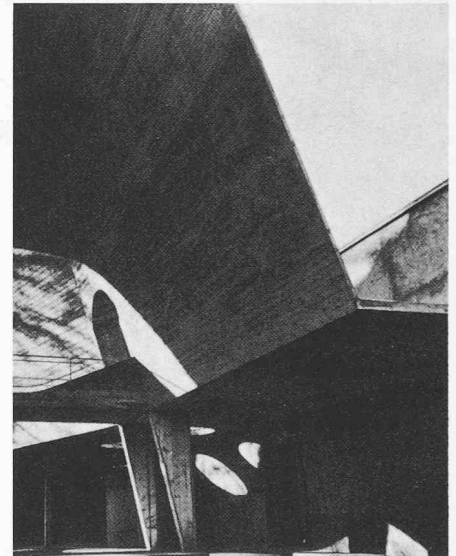


Bild 1.

### Brücken und Hochbauten

Die Berühmtheit Robert Maillarts als Brückenbauer hat seine neuen Ideen für *Tragsysteme des Hochbaus*, insbesondere für dünne Schalentragwerke in Beton, etwas in den Hintergrund gerückt. Hier möchte ich nun zeigen, dass Maillart *wesentliche* Beiträge zu *Entwurf* und *Berechnung* von Betonschalentragwerken geleistet hat, noch vor den berühmten Arbeiten von *Dischinger* und *Finsterwalder* in *Deutschland*; seine berühmte *Zementhalle in Zürich* aus dem Jahre 1939 stellt für ihn nicht nur eine einzigartige und ungewöhnliche Lösung dar, sondern auch einen Höhepunkt und Wendepunkt seines Schaffens.

Maillarts hervorragende Karriere als Bauingenieur begann mit einem schlanken Schalentragwerk, das, obwohl heute vergessen, damals rasch als einzigartig und bedeutsam erkannt Hochbauten abgeht. Dünne Schalen ge-

wurde; seine Laufbahn endete wiederum mit einem dünnen Schalentragwerk, das ebenfalls grosse Berühmtheit erlangte. Dazwischen schuf er eine kleinere Anzahl von Schalentragwerken und entwarf einige weitere. Bemerkenswerterweise zeigen alle diese Schalentragwerke dieselbe *Originalität* wie seine Brücken, die jedoch vielen seiner Kollegen dem Ingenieur die Gelegenheit, *Schönheit und Nützlichkeit zu vereinen*, denn hier kann das Tragwerk zur Form werden, die Feinheit des Tragsystems lässt sich *optisch* ausdrücken. Mit der Zürcher Zementhalle schuf Maillart ein Tragwerk, das zugleich die gesamte Form darstellte und unmittelbar die ausserordentliche Feinheit zum Ausdruck brachte, die nur dann möglich ist, wenn es das Ziel des Ingenieurs ist, *Stärke und Festigkeit eher durch die Formgebung als durch die Masse zu erreichen* (Bild 1). Sein Weg zu diesem vollendeten Kunstwerk begann im Jahre 1902 mit der Gründung der Firma Maillart und Co. in Zürich.

### Die Gasbehälter in St. Gallen

Zwischen dem 1. Februar und dem 15. Juni 1902 lebte die Firma Maillart mehr von Zuversicht als von Aufträgen. Endlich, gegen Ende Juni, erhielt Maillart seinen ersten Auftrag, nämlich zwei Gasbehälter *aus Stahlbeton* für die Stadt St. Gallen zu bauen. Die Stadt hatte ein Projekt ausgearbeitet (Bild 2) und hatte den Unternehmern erlaubt, alternative Vorschläge einzureichen, was Maillart auch tat (Bild 3) [1]. Da mehrere Varianten eingereicht wurden, zog die Stadt Prof. *François Schüle* (1860–1925) als Berater zu. Schüle, der gerade *Ludwig Tetmajer* (1850–1905) als Leiter der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) in Zürich abgelöst hatte, war im Begriff, in der Schweiz zum führenden Experten in Stahlbeton zu werden. Er empfahl Maillarts Variante, die im Sommer und Herbst 1902 gebaut wurde. Diese beiden Schalentragwerke haben historische Bedeutung; zum ersten weil sie zu jener Zeit die grössten dünnen, zylindrischen Schalentragwerke in Stahlbeton