

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 114 (1996)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Betonabtrag mittels der Höchstdruckwasserstrahl-Technik  
**Autor:** Rechsteiner, Anton / Hess, Balz / Wolfscher, Roland  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78908>

### **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:** 01.04.2025

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

Anton Rechsteiner, Balz Hess und Roland Wolfseher, Zürich

# Betonabtrag mittels der Höchst- druckwasserstrahl-Technik

**Die Aufträge in der Baubranche verlagern sich immer stärker in Richtung Instandsetzung und Instandhaltung von bestehenden Bauten. Dabei spielt das Abtragen von Beton und das Freilegen von Bewehrungen eine bedeutende Rolle. Das Abtragen soll möglichst selektiv und schonend erfolgen, so dass der gesunde Untergrund unbeschädigt erhalten bleibt und der Verbund zwischen Beton und Bewehrung nicht gelockert wird. Diesen Anforderungen scheint ein Verfahren entgegenzukommen, das mit einem Wasserstrahl bei Drücken zwischen 750 und 2700 bar arbeitet. Das in der Schweiz seit etwa 10 Jahren eingesetzte Höchst-  
druckwasserstrahl-Verfahren soll hier erklärt und mit anderen Beton-  
abtrag-Verfahren verglichen werden.**

## Beschreibung des Verfahrens

Ein Hochdruck-Wasserstrahl ist ein Strahl grosser Geschwindigkeit, der in einer Düse mit einem geringen Durchmesser erzeugt wird. Eine wichtige Voraussetzung ist dabei der hohe Druck des Wassers, der je nach Anwendung zwischen einigen hundert oder gar einigen tausend bar Druck liegen kann. Die Höhe der kinetischen Energie dieses Wasserstrahls reicht aus, um Materialien wie Stahl, Beton, Kunststoffe und im speziellen komplexe Verbundwerkstoffe zu schneiden oder ihre Oberfläche abzutragen.

## Einflussparameter

Nach [1] können die Einflussparameter in zwei Gruppen, die primären und die sekundären Parameter, unterteilt werden. Die primären (1), Strahldruck, Strahldurchmesser, Wassermenge, Strahlzerfall und Strahlauflerung, sind in erster Näherung unabhängig vom zu bearbeitenden Untergrundmaterial. Sie hängen nur von der Druckerzeugung, der Förderleitung und der Düse ab.

Die geometrischen Verhältnisse zwischen der Düse und dem abzutragenden Material prägen die sekundären Einflussparameter Strahlabstand, Vorschubgeschwindigkeit und Strahlwinkel.

## Verhalten von Beton beim Wasserstrahlen

Die Gesetzmässigkeiten des Verhaltens von Beton während dem Höchst-  
druck-Wasserstrahlen sind noch ungenügend bekannt. Die Betonstruktur ist inhomogen, und somit sind Vergleiche zur Bruchmechanik klassischer Werkstoffe nicht zulässig. Die folgenden zwei Annahmen erlauben jedoch einige mögliche Vorgänge zu beschreiben. Zum einen ist Beton ein sprödes Material, dessen Versagensmechanismen bruchmechanisch beschrieben werden können, und zum anderen ist Beton ein permeables Medium, indem Flüssigkeitstransporte ohne weiteres stattfinden können. Durch die hier gegebene Belastung treten einige Besonderheiten auf, die es zu beachten gilt:

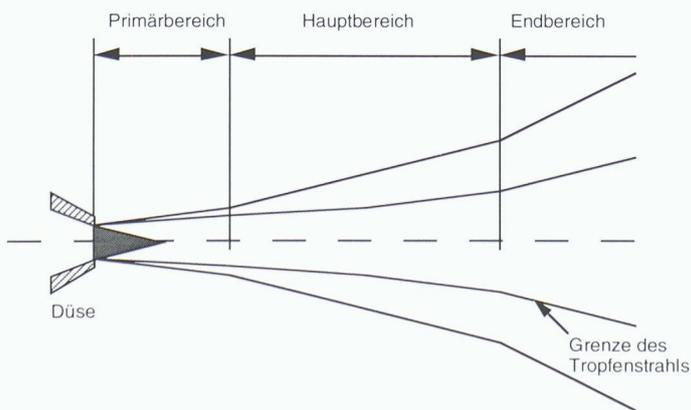
- Extrem kleine räumliche Abmessung der belasteten Flächen
- Kurze Belastungsdauer

- Sehr hohe Belastungsgeschwindigkeit
- Hohe Umgebungsdrücke
- Hohe Umgebungsfeuchtigkeit
- Überlagerung von statischen und dynamischen Belastungsanteilen

Die folgenden makroskopischen Vorgänge laufen während dem Höchst-  
druck-Wasserstrahlen auf der Betonoberfläche ab:

Der auf die Oberfläche auftreffende Strahl erzeugt einen Staudruck, der sich aus der Grösse der belasteten Fläche, den geometrischen Verhältnissen des Strahlgutes und den verschiedenen Wirkungsmechanismen ergibt. Da in der Betonoberfläche in der Regel feinste Schwindrisse vorhanden sind, kann das unter Staudruck stehende Wasser dort eindringen und einen hydrostatischen Druck ausüben. Der weitere Rissfortschritt ist dann im wesentlichen auf die hydrodynamische und hydrostatische Druckverstärkung in Kerben und Spalten zurückzuführen. Übersteigt nun die Beanspruchung einen örtlichen materialspezifischen Wert, so findet nach der Vereinigung einzelner Risse zu grösseren Rissflächen durch Herauslösen einzelner Partikel ein erster makroskopischer Abtrag statt. Dieser Wert kann bei einigen homogenen Werkstoffen durch den Spannungsintensitätsfaktor abgeschätzt werden. Bei einem inhomogenen Werkstoff wie Beton ist dies nicht mehr möglich. Die am Beton ermittelten Festigkeitswerte stellen Mittelwerte dar und gelten daher nur für den jeweiligen Querschnitt. Da für den Abtrag die mikroskopischen Verhältnisse massgebend sind, existieren in jedem Querschnitt Stellen, die von diesem Mittelwert stark abweichen. An diesen Schwachstellen kommen nun die oben beschriebenen Mechanismen zum Tragen. Der Höchst-  
druck-Wasserstrahl ist in der Lage, dort einen Riss auszulösen und ihn zu einer flächigen Rissstruktur zu erweitern.

Beton setzt sich aus einer Zementmatrix und Zuschlagkörnern zusammen. Dies sind Komponenten mit ungleichen Eigenschaften und werden deshalb vom Wasserstrahl unterschiedlich stark abgetragen. Die weichere Komponente, die Zementmatrix, wird vor allem in der Tiefe abgetragen. Bei einem hohen Zuschlaganteil von Kieskörnern sind grobe Abplatzungen die Regel, wodurch ein voluminöser Abtrag begünstigt und ein Tiefenabtrag erschwert wird.



**Anwendungsmöglichkeiten**

Das Höchstdruck-Wasserstrahl-Verfahren ermöglicht durch das Verändern der primären und sekundären Einflussparameter den Einsatz für viele verschiedene Aufgaben an den unterschiedlichsten Werkstoffen. Als Einsatzmöglichkeiten lassen sich das Trennen, Schneiden, Kerben, Schlitzen, Bohren, Entgraten, Verschweissen, Sprengen und das flächige Abtragen aufzählen. Die nahezu punktförmige Belastung des Materials bewirkt einen punktförmigen Abtrag, der durch die Bewegung der Düse, sei diese nun kreisförmig oder geradlinig, zu einem flächenhaften Abtrag übergeht.

Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von abrasiven Zusätzen im Wasserstrahl, was die erosive und kavitative Wirkung noch weiter erhöht. Die Einsatzmöglichkeiten werden nur durch die Phantasie des Anwenders oder durch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens begrenzt. Aus theoretischer Sicht und praktischer Erfahrung gibt es daher kein Material, das auf Dauer dem Höchstdruck-Wasserstrahl widerstehen kann.

**Einsatz im Bauwesen**

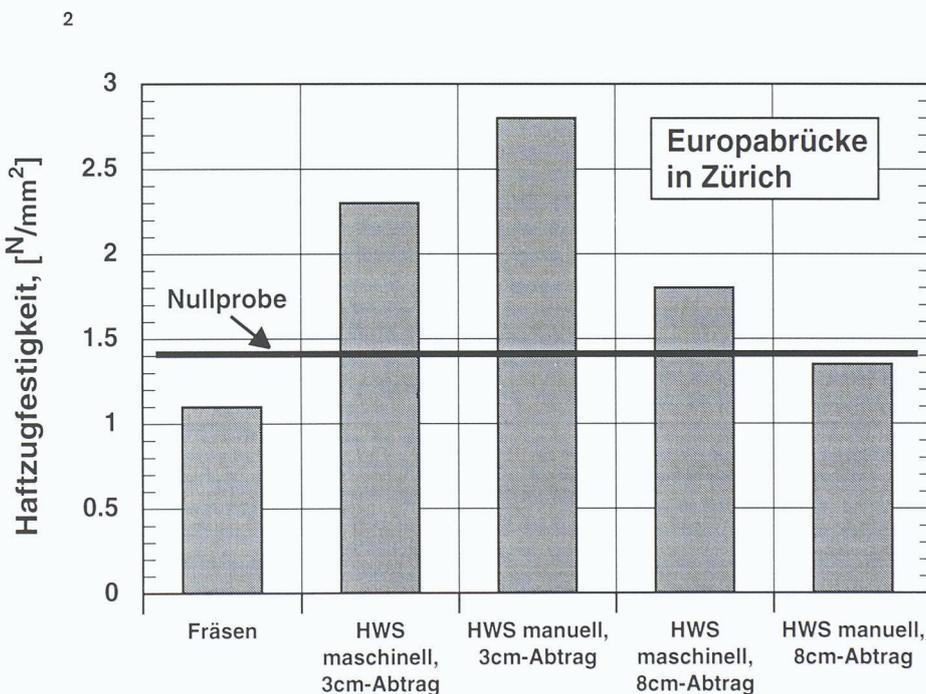
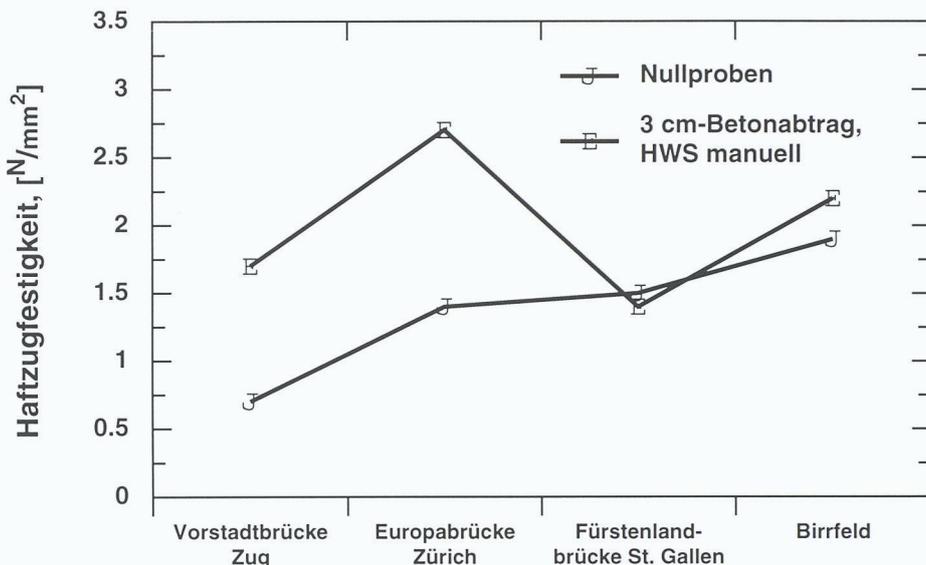
Die klassischen Einsatzgebiete des Höchstdruck-Wasserstrahlens sind das Reinigen, Aufrauhen und Abtragen von Oberflächenschichten. Man kann diese drei Bearbeitungsarten mit der Abtragsdicke unterscheiden [1]:

- < 1 mm = Reinigen (Abtragen von artfremdem Material)
- 1-3 mm = Aufrauhen (durch Abtragen von artemgenem Material)
- > 3 mm = Abtragen

Als Strahlparameter werden für das Abtragen empfindlicher Natursteinoberflächen, für dicke Betonschichten oder für das Freischneiden von Bewehrungsstählen Drücke zwischen 750 und 2700 bar und Wassermengen zwischen 10 und 240 l/min gewählt. Das Verhältnis Druck zu Wassermenge wird immer so gewählt, dass bei einem hohen Druck eine kleine Wassermenge und bei einem kleinen Druck eine grosse Wassermenge eingesetzt wird. Dieses Verhältnis hängt vor allem von der vorgegebenen Bearbeitungstiefe ab.

Beispiele für die Untergrundvorbehandlung von Betonoberflächen sind der Abtrag von chloridverseuchtem Beton einer bestimmten Dicke, die Entfernung der Zementhaut oder einer Beschichtung und der Abtrag von geschwächten Schichten.

Dieses Verfahren hat gegenüber anderen Betonabtragverfahren einige entscheidende Vorteile. Der wohl wichtigste ist der erschütterungsfreie Abtrag, der



die Bewehrung schont und den Untergrund weitgehend rissfrei hinterlässt. Dies wurde in jüngster Zeit teilweise bezweifelt, weil nach erfolgtem Abtrag immer wieder Risse gefunden werden. Dies hat den Schweizerischen Fachverband für Hydrodynamik am Bau (SFHB) veranlasst, eine umfassende Studie in Auftrag zu geben. Die Ergebnisse [2] zeigen deutlich, dass schwaches Material gezielt abgetragen werden kann, ohne den Untergrund zu beschädigen und dessen Tragfähigkeit zu vermindern. In umfangreichen Versuchen wurden an mehreren Objekten verschiedene Bearbeitungsarten durchgeführt. An jedem Objekt wurde zudem die Festigkeit der Oberfläche vor und nach dem Abtrag gemessen. Die graphische Darstellung der Haftzugversuche (2) zeigt deutlich, wie an allen Objekten nach dem Abtrag mittels

des Höchstdruck-Wasserstrahlverfahrens die Festigkeit gesteigert wird, indem das schlechte Material ohne Schädigung des Untergrunds abgetragen wird. Am Beispiel der Europabrücke (3) konnte zusätzlich gezeigt werden, dass Verfahren wie Fräsen den Untergrund stark belasten und dessen Festigkeit im Vergleich zur Nullprobe beeinträchtigen.

**Praktische Empfehlungen**

Der Druck, die Literleistung bzw. Wassermenge und der Düsendurchmesser sind die wichtigsten Größen, die vor einem Einsatz der Höchstdruck-Wasserstrahl-Technik festgelegt werden müssen.

Die folgende Zusammenstellung umfasst einige der wichtigsten Empfehlungen, die beim Einsatz dieses Verfahrens beachtet werden sollten:

<b>Druckwasserstrahl-Technik (maschinell oder manuell)</b>	<p><i>Vorteile:</i>            kostengünstig, da hohe Arbeitsleistung            Abtragtiefen bis zu 80 cm (in mehreren Stufen)            vibrationsfreier Abtrag ohne Körperschall            Freilegen von Armierungen ohne Beschädigung und Loslösung aus dem Untergrund            gleichzeitige Reinigung des Untergrundes            Funken- und Staubbefreiheit            geringe Rückstosskräfte (hoher Druck und geringe Wassermenge)            Abtrag erfolgt selektiv            geringe Risseintragung und somit keine Traggrundschädigung</p> <p><i>Nachteile:</i>            hoher Luftschallanteil            schwieriges Anpassen der Betriebsparameter an die Betonqualität            Wasser muss zu- und abgeführt werden</p>
<b>Mechanisches Fräsen (maschinell)</b>	<p><i>Vorteile:</i>            geometrisch relativ genauer Abtrag möglich            kostengünstig, da hohe Arbeitsleistung</p> <p><i>Nachteile:</i>            hoher Werkzeugverschleiss            hohe Lärmentwicklung (v.a. Körperschall)            Abtrag nur in der Horizontalen möglich            Gefahr der Beschädigung der Armierung</p>
<b>Spitzen (pneumatisch oder elektrisch)</b>	<p><i>Vorteile:</i>            geometrisch relativ genauer Abtrag möglich</p> <p><i>Nachteile:</i>            teure und arbeitsintensive Methode            Gefahr der Beschädigung der Armierung            hoher Körperschall</p>

4

2

Vergleich der Haftzugfestigkeit vor dem Abtrag mit derjenigen nach einem Abtrag von 3 cm Beton durch Höchstdruckwasserstrahlen [2]

3

Haftzugfestigkeiten beim Betonabtrag durch Fräsen im Vergleich mit Höchstdruckwasserstrahlen (HWS) [2]

4

Vergleich der wichtigsten Betonabtragverfahren

- Um eine hohe Abtragsleistung zu erzielen, ist eine hohe Strahlleistung erforderlich. Dies kann durch einen tiefen Druck und eine hohe Literleistung erreicht werden. Wegen den hohen Rückstosskräften wird in diesem Fall vor allem maschinell gearbeitet.

- Für eine grosse Bearbeitungstiefe ist es wirtschaftlicher, eine grosse Düse bei kleinem Druck und hoher Literleistung zu verwenden anstelle von mehreren kleinen Düsen. Mehrere Überfahrten mit hoher Vorschubgeschwindigkeit sind im allgemeinen effektiver gegenüber einer geringen Vorschubgeschwindigkeit.

- Für eine hohe Flächenleistung, aber geringe Bearbeitungstiefe ist der Einsatz meh-

rerer kleiner Düsen bei hohem Druck und kleiner Literleistung vorteilhafter. Da die Rückstosskräfte klein sind, kann in diesem Fall auch manuell gearbeitet werden.

- Im praktischen Einsatz ist ein gleichmässiger kleiner Strahlabstand besonders effektiv.

- Beim mehrmaligen Überfahren einer Fläche sollte die Düse jeweils in der Tiefe nachgestellt werden, was natürlich nur bis zum Erreichen der Armierung möglich ist.

#### **Vergleich mit anderen Betonabtragverfahren**

Das Höchstdruck-Wasserstrahlen hat in den letzten Jahren andere Abtragmethoden wie Fräsen und Spitzen stark verdrängt. Dies liegt v.a. an oben erwähnten

Gründen und noch weiteren Vorteilen, die in (4) aufgeführt sind. Nebst den Vorteilen sind darin auch Nachteile aufgeführt, die, falls z.B. ein geometrisch exakter Abtrag verlangt ist oder die Wasserzufuhr unmöglich ist, dazu führen, dass ein Verfahren wie Fräsen zur Anwendung kommt.

#### **Zusammenfassung und Ausblick**

Überall dort, wo es darum geht, durch Abtragen einen Hohlraum ohne Beeinträchtigung des umgebenden Materials herzustellen, ist der Einsatz dieser Technik grundsätzlich möglich. Im speziellen ist das Höchstdruck-Wasserstrahlen für das Freilegen von Bewehrungsstäben geeignet, weil der Verbund in der freigelegten Zone nicht gestört wird (5 und 6). Zudem konnte gezeigt werden, dass mit dem Höchstdruck-Wasserstrahlen sowohl oberflächennahe, dünne Zonen entfernt als auch Abträge in die Tiefe vorgenommen werden können und die Haftzugfestigkeit jeweils gesteigert wird.

Die Wahl der drei Parameter Wasserdruk, Wassermenge und Düsendurchmesser bestimmt massgebend den Erfolg einer Anwendung und wird hauptsächlich von der Bearbeitungstiefe bestimmt. Soll diese möglichst gross sein, so ist ein tiefer Druck mit einer hohen Literleistung zu kombinieren. Für kleinere Bearbeitungstiefen, wie das Entfernen einer Beschichtung oder der Zementhaut, wird ein hoher Druck und eine kleine Wassermenge gewählt.

Die geringe Abmessung und die hohe Energiedichte des Höchstdruck-Wasserstrahls sind der hauptsächlich Grund für das vielfältige Anwendungspotential dieser Technik. Dabei sind Anwendungsmöglichkeiten denkbar, wie z.B.

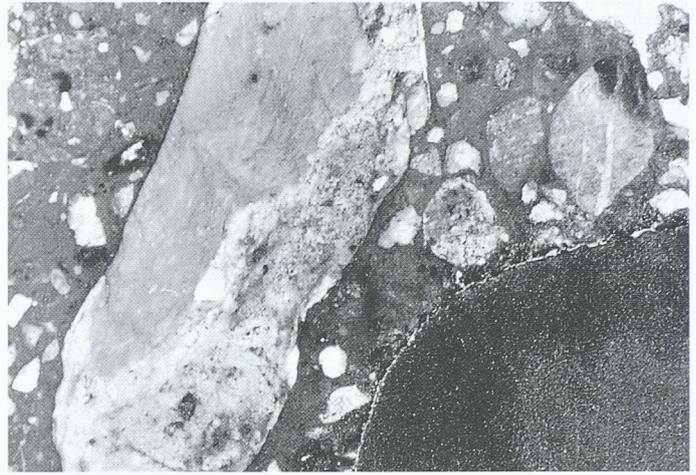
- das erschütterungsfreie und zielgenaue Ausräumen von Fugen,
- die computergesteuerte Kanalsanierung durch Roboter oder
- die Instandsetzung von asbesthaltigen Bauteilen, bei der Asbest nicht in die Luft übergeht, sondern als Schlamm anfällt.

Das Verfahren ist trotz seiner Einsatzdauer von etwa 10 Jahren immer noch recht teuer, weil man vor allem im Hochbau gezwungen ist, manuell zu arbeiten. Es ist durchaus noch Spielraum zur Effizienzsteigerung und damit zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit vorhanden. Im Vordergrund steht dabei eine bessere Anpassung der Parameter an die Betonqualität und die Bearbeitungstiefe. Dies kann beispielsweise durch eine Regelung des Düsenabstandes während dem Abtragen erreicht werden.



5

Betonabtrag von 80 mm mittels Hochdruckwasserstrahlen an der Europabrücke in Zürich



6

Hydrodynamisch freigelegter Bewehrungsstab ohne erkennbare Verbundstörung

Aufgrund erheblicher technischer Probleme, die es noch zu lösen gilt, existiert eine derartige Regelung heute noch nicht. Aus ökologischen Gründen werden in der Zukunft noch weitere Probleme, wie der hohe Luftschall und der Trinkwasserverbrauch zu lösen sein.

Adresse der Verfasser:

Anton Rechsteiner, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH,  
Roland Wolfseber, Dr. sc. techn. dipl. Ing. ETH,  
Balz Hess, Wolfseber und Partner AG, Weberei-  
strasse 68, 8134 Adliswil.

#### Literatur

[1]

Werner, M.: Einflussparameter und Wirkungsmechanismen beim Abtrag von Mörtel und Beton mit dem Hochdruckwasserstrahl, Dissertation der TH Aachen, 1991

[2]

Wolfseber, R., Hess, B.: Mittels Hydrodynamik Stahlbetonoberflächen sanieren, Schweizer Baublatt, Nr. 80, 34-36, 1994

#### Weitere Literatur

Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit, Richtlinie Nr. 6504: Bau

von Höchstdruckwasserstrahl-Geräten (HWG), Richtlinie Nr. 6505: Betrieb von Höchstdruck-Wasserstrahl-Geräten (HWG), EKAS, Juli 1991

Momber, A.: Untersuchungen zum Verhalten von Beton unter der Belastung durch Druckwasserstrahlen, VDI Verlag, Reihe 4: Bauingenieurwesen, Nr. 109

Rusterholz H.: Innovative Bauerneuerung, Festschrift zum 60. Geburtstag von Robert Fehrig, 1991, 65-67

Sanader, V.: Mitteilungsblatt der Eidgenössischen Koordinationskommission für Arbeitssicherheit, Nr. 27, 1994