

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 48

Artikel: Korrosionsprobleme der Befestigungstechnik
Autor: Bindschedler, Daniel / Seghezzi, Hans-Dieter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76765>

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: 12.05.2025

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

bezogen werden müssen. Nur so wäre es möglich gewesen, fundierte Aussagen über einen allfälligen echten Neuverkehr – also nicht über verlagerte Ströme – abzuleiten.

Bild 8 erhellt die Entwicklung der Verkehrsvolumen an den wichtigsten Zählstellen.

Spezialuntersuchungen und Ausblick

Spezialuntersuchungen ergaben, dass der Einfluss der neuen Bauwerke auf das Unfallgeschehen positiv war. Auch wurde kein negativer Einfluss auf die Passagierfrequenzen der SBB festgestellt. Die N20 wird im Herbst 1987 bis zum Anschluss Bergermoos in Urdorf verlängert. Man erhofft sich davon vor allem eine Entlastung von Schlieren und Dietikon, wo die Förderung des

Busverkehrs (Busspuren u. a. m.) und die Verkehrsberuhigung in Zentren und Wohnquartieren diskutiert wird. Die Fertigstellung des Zürcher Autobahnringes mit Uetlibergtunnel und Zusammenschluss mit der N 3 (Zürich-Chur) wird Mitte der 90er Jahre erfolgen; gleichzeitig soll dann auch die N 4 im Knonauer Amt mit der N 20 verbunden sein, so dass die Stadt Zürich weiträumig umfahren werden kann.

Zum Schluss sei betont, dass derartige Vorher-Nachher-Erhebungen kombiniert mit einer laufenden Information der Gemeinden für die Politiker aller Stufen ausserordentlich wertvoll sind. Den Fachleuten verhelfen sie zum optimalen Betrieb des Strassennetzes und der Lichtsignale. Nicht zuletzt ist die Kenntnis der Verkehrsvolumen nötig, um den nun von Gesetzes wegen geforderten Kataster der Umweltbelastungen zu erstellen.

Literatur

Berichte Büro Jud zum obigen Thema mit den Titeln:

1. Kurzfassung, etwa 20 Seiten, Nov. 86.
 2. Schlussbericht, Dez. 86.
 3. Zusatzerhebungen für das Tiefbauamt und die Verkehrspolizei des Kantons Zürich, Dez. 86.
 4. Zusatzerhebungen für die Stadtpolizei Zürich, Dez. 86.
 5. Spezialauswertung SBB-Billetztstatistik, Dez. 86.
 6. Spezialauswertung Kapo- und Stapo-Unfallstatistik, Dez. 86.
- Fotos: KZTA/Jud.

Adresse des Verfassers: Eugen H. Jud, dipl. Ing. ETH/SIA/SVI, Fellow Institute of Transportation Engineers, Planungs- und Ingenieurbüro Jud, Bolzstrasse 29, 8006 Zürich.

Korrosionsprobleme der Befestigungstechnik

Die Aufgabe der Befestigung besteht in der permanenten Aufrechterhaltung einer bestimmten geometrischen Konfiguration von Untergrund und zu befestigendem Teil und in der Übertragung der auftretenden Kräfte. Diese Funktion muss in der Regel über viele Jahrzehnte gewährleistet bleiben, unabhängig von Witterungseinflüssen, Alterungsprozessen oder Korrosionsangriffen.

Bei der Auslegung von Befestigungen muss daher neben dem mechanischen Tragverhalten auch ihr Langzeitverhalten bei wechselnden Temperaturen und ihre Beständigkeit gegen korrosive Atmosphären in Rechnung gestellt werden.

Spezifische Korrosionsbedingungen bei Befestigungselementen

Während viele Bauteile einer mehr oder weniger homogenen Korrosionsbelastung ausgesetzt sind, stehen Befestigungselemente üblicherweise sowohl mit dem Untergrund und dem zu befestigenden Bauteil als auch mit der Atmosphäre in Kontakt. Sie können somit in den verschiedenen Zonen sehr unterschiedlichen Korrosionseinflüssen unterworfen sein.

Es sollte bedacht werden, dass sich Befestigungselemente meist an oder nahe der Oberfläche der Baustoffe befinden. Gerade in diesem Bereich können mit der Zeit chemische Veränderungen eintreten, die auch Auswirkungen auf das Korrosionsverhalten der Befestigungen haben: Zementmörtelfugen beispielsweise karbonatisieren im allgemeinen sehr rasch und bieten deshalb schon bald keinen Schutz mehr für Teile aus unlegiertem Stahl.

Die Beurteilung der Korrosionsgefährdung von der Aussenatmosphäre ausgesetzten Befestigungselementen scheint auf den ersten Blick recht einfach. In der Literatur finden sich Erfahrungswerte für die Korro-

sionsraten der verschiedenen Gebrauchsmetalle in unterschiedlichen Klimaten [1–3].

Es ist zu beachten, dass Befestigungselemente, in starkem Masse der Einwirkung von Meso- und Mikroklimaten die sowohl durch atmosphärische Bedingungen (Emissionen) als auch durch konstruktive Gegebenheiten entstehen, unterworfen sind. So sind viele Befestigungselemente (zumindest teilweise) nicht direkt der Aussenatmosphäre ausgesetzt, sondern befinden sich in Hohl- und Zwischenräumen, wie sie bei zweischaligen Bauwerken oder hinter vorgehängten Fassaden vorkommen. Die Korrosionsverhältnisse können dort je nach Belüftungsbedingungen sehr unterschiedlich und von denen der Aussenatmosphäre verschieden sein. Bei offenen Systemen mit mangelhafter Hinterlüftung ist in solchen Bereichen mit häufiger Kondenswasserbildung zu rechnen, was bei Bauteilen aus Zink und Stahl zu erheblichen Korrosionserscheinungen führen kann. Verschärft wird die Situation bei metallischen Befestigungen, wenn diese direkt mit der Aussenatmosphäre in Kontakt stehen. Bei Temperaturschwankungen und durch nächtliche Abstrahlung kühlen sich diese dann rascher ab als die Luft im Zwischenraum, so dass an der Befestigungselementoberfläche

die Gefahr der Kondenswasserbildung durch Taupunktunterschreitung gegeben ist. Enthält die in den Zwischenraum eindringende Luft Schadstoffe wie z. B. Chloride, so können sich diese im Laufe der Zeit aufkonzentrieren und bei anfälligen Werkstoffen durch Überschreiten einer kritischen Konzentration Korrosionserscheinungen hervorrufen, die bei Aussenanwendungen nicht auftreten, weil dort die Schadstoffe durch den Regen von Zeit zu Zeit wieder abgewaschen werden. Die wegen der fehlenden Abwaschfunktion des Regens ungewöhnlich hohe Streusalzbelastung ist übrigens in Verbindung mit den sauren Abgasen auch die Ursache für das Auftreten von Lochkorrosion an «nichtrostenden» Chromnickelstählen bei Anwendungen in Strassentunnels.

Arten von Korrosionsschäden

Von einem Korrosionsschaden spricht man, wenn die Funktion eines Bauteils oder eines ganzen Systems aufgrund eines Korrosionsprozesses beeinträchtigt wird [5]. So sind beispielsweise das Festfressen von Muttern bei lösbaren Verbindungen oder eine ästhetisch störende, durch oberflächliche Korrosion von Befestigungselementen hervorgerufene Rostfahnenbildung an einer Fassade als Korrosionsschäden zu betrachten, auch wenn die Tragfähigkeit der Befestigung dadurch nicht gefährdet ist. Befestigungselemente sind im praktischen Einsatz sehr komplexen Belastungen ausgesetzt. Je nach Werkstoff und Einsatzbedingungen können unterschiedliche Korrosionsarten auftreten und zu unterschiedlichen Korrosionsschäden führen. Einige Beispiele sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

□ Die gleichmässige Flächenkorrosion, wie sie beispielsweise an verzinkten Stahlteilen bei direkter Bewitterung auftritt, wird vielfach als die ungefährlichste Korrosionsart

Tab. 1. Beispiele für Korrosionserscheinungen an Befestigungselementen im Bauwesen

Korrosionsart	Werkstoff	Einsatzbedingungen	Mögliche Korrosionsschäden
Gleichmässige, bzw. flächige Korrosion	verzinkter Stahl Aluminium	- aussen, direkt bewittert - innen sowie in Zwischen- und Hohlräumen bei hoher Luftfeuchtigkeit - in karbonatisiertem Beton - in Holz - in stark alkalischen Baustoffen, z.B. Beton	- Ausfall der Befestigung infolge Querschnittsminderung - Festfressen von Gewindeteilen - Absprengen von Beton infolge Quellung von Korrosionsprodukten - Beeinträchtigung der Optik - Nachspreizstörungen bei Dübeln
Lokale Korrosion* narbenförmig	verzinkter Stahl	- bei ungünstigen Transport-/Lagerbedingungen - im Bohrlochbereich	wie bei gleichmässiger Korrosion, zusätzlich Abnahme der Dauerfestigkeit
Lochfrass	nichtrostende Stähle Aluminiumlegierungen	bei Einwirkung von Halogeniden (Chloride)	
Wasserstoffversprödung	unlegierte Stähle mit Festigkeiten > 1000 N/mm ² **	bei Einwirkung von Wasserstoff, z.B. aus Korrosionsreaktionen	plötzliches Versagen infolge Rissbildung ohne Querschnittminderung
Spannungsriisskorrosion	austenitischer Chromnickelstahl Kupferlegierungen (Messing)	bei Einwirkung von stark salz-(chlorid-)haltigen, sauren und/oder oxidierend wirkenden Elektrolytfilmen (Hallenbäder) beim Einwirken von ammoniakalischen Lösungen	

* durch Kontaktelementbildung kann die Entstehung lokaler Korrosionserscheinungen begünstigt werden

** Richtwert, nicht als absoluter Grenzwert zu betrachten

bezeichnet, da sich allfällige Korrosionsschäden im Normalfall durch die Bildung von Korrosionsprodukten zum voraus ankündigen [1]. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass sich die «Ungefährlichkeit» nur auf die frühzeitige Erkennbarkeit von Korrosion an sichtbaren oder ausgebauten Befestigungselementen resp. Befestigungselementteilen, nicht aber auf die Häufigkeit von Korrosionsschäden bezieht. Zudem können auch die während der langen Einsatzdauer entstehenden, oft sehr voluminösen Korrosionsprodukte negative Auswirkungen auf das Tragverhalten der Befestigungen haben.

□ Lochkorrosion, wie sie vor allem bei Werkstoffen, deren gute Korrosionsbeständigkeit auf der Bildung von Passivschichten beruht, typisch ist, kann im fortgeschrittenen Stadium wie die flächige Korrosion zu kritischen Querschnittverminderungen an metallischen Bauteilen führen. Gefährlicher ist aber meist die durch Kerbwirkungen verursachte Verringerung der Dauerfestigkeit bei dynamischer Beanspruchung.

□ Wasserstoffversprödung und Spannungsriisskorrosion sind prinzipiell als sehr gefährliche Korrosionsarten zu betrachten, da sie praktisch ohne äussere Anzeigen zum spontanen Bruch der Befestigungen führen können. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass diese Korrosionserscheinungen in der Baupraxis bisher nur unter wenigen, sehr spezifischen Einsatzbedingungen beobachtet werden.

Schutzmassnahmen

□ Einsatz von unter den gegebenen Bedingungen korrosionsfesten Materialien: Im Bauwesen handelt es sich dabei vorwiegend um nichtrostende Stähle, Aluminium- und Kupferlegierungen. Diese Materialien sind aber meist recht teuer, oder sie haben nur eine geringe Festigkeit.

□ Verwendung von Befestigungselementen mit Korrosionsschutzbeschichtungen: Hier-

bei gelangt in erster Linie verzinkter Stahl zum Einsatz. Zinkschichten haben unter atmosphärischen Bedingungen eine etwa 10mal höhere Korrosionsbeständigkeit als unlegierter Stahl und schützen diesen unter günstigen Bedingungen kathodisch. Bei feuerverzinkten Befestigungselementen (Stückverzinkung) besteht etwa 2/3 der Schutzschicht aus Eisen-Zinklegierungsschichten [6]. Diese sind zwar bezüglich Korrosionsschutz einer Reinzinkschicht vergleichbar, bilden jedoch im Gegensatz zu letzteren rote Korrosionsprodukte. Dies kann schon nach kurzer Einsatzdauer zu einer optischen Beeinträchtigung der Befestigung führen, obwohl das Grundmaterial noch nicht angegriffen ist. Bei genügender Resistenz gegen mechanische Beanspruchungen und ausreichender UV-Beständigkeit kommen vereinzelt auch Befestigungselemente mit organischen Beschichtungen zum Einsatz.

□ Verhinderung des Zutritts von korrosiven Medien: Dies kann durch nachträgliche Anstriche, Abdeckelemente oder andere konstruktive Massnahmen erreicht werden.

(Eine Versprödung der Bauteile durch Wasserstoff während des Produktionsprozesses – z.B. bei der Durchführung von Oberflächenbehandlungen – muss durch geeignete Massnahmen vermieden werden.)

□ Verhinderung von Kontaktkorrosion durch Isolation der beiden Kontaktpartner: Zu diesem Zweck werden meist Kunststoffunterlagscheiben verwendet. Unter ungünstigen Bedingungen (Überflutung der Befestigungen, dicke Elektrolytfilme, Beschädigungen bei der Montage) vermögen diese aber die Anforderungen nicht immer zu erfüllen. Vorteilhaft ist es, nicht nur den Kopf des Befestigungselements, sondern auch seinen Schaft vom Kontaktpartner zu isolieren. Dadurch wird der leitende Kontakt zwischen den beiden Metallen vollständig unterbunden, die Gefahr von Kontaktkorrosion gebannt. Abschliessend sei noch darauf

hingewiesen, dass Werkstoffe und Beschichtungen für optimal funktionierende Befestigungselemente sehr sorgfältig ausgewählt und aufeinander abgestimmt werden müssen. Jegliche nachträgliche Veränderung der Elemente vor der Montage, z.B. durch das Aufbringen von zusätzlichen Korrosionsschutzbeschichtungen, kann die mechanischen Eigenschaften der Befestigungselemente stark beeinflussen und sollte deshalb unterbleiben oder zumindest mit dem Hersteller abgesprochen werden.

Korrosion von Dübeln im Verankerungsbereich

Im Verankerungsbereich von Dübeln herrschen sehr spezifische Korrosionsbedingungen. Für mechanisch wirkende, metallische Dübel können diese bei Anwendung auf Beton folgendermassen charakterisiert werden:

Das Befestigungselement ist nicht eingemörtelt und somit nicht auf der ganzen, im Untergrundmaterial liegenden Länge fest von Beton umgeben. In den Spalt zwischen Bohrlochwand und Dübel können von aussen Feuchtigkeit und aggressive Medien eindringen und Korrosion an den Befestigungselementen verursachen.

Befestigungselemente reichen im Normalfall bis an die Oberfläche des Untergrundmaterials. Somit liegt meist ein Teilbereich des Dübels in karbonatisiertem Beton, wo Teile aus unlegiertem Stahl nicht durch eine Passivschicht vor Korrosion geschützt sind. Zudem erfolgt wegen des CO₂-Zutritts über den Luftspalt zwischen Dübel und Beton eine rasche Karbonatisierung der Bohrlochwand.

In einem Bewitterungsversuch wurde festgestellt, dass diese nach vier Jahren bereits bis in eine Tiefe von 2,5 cm karbonatisiert war. Im umliegenden Beton erstreckte sich die karbonatisierte Zone vergleichsweise bis in eine Tiefe von 8 mm.

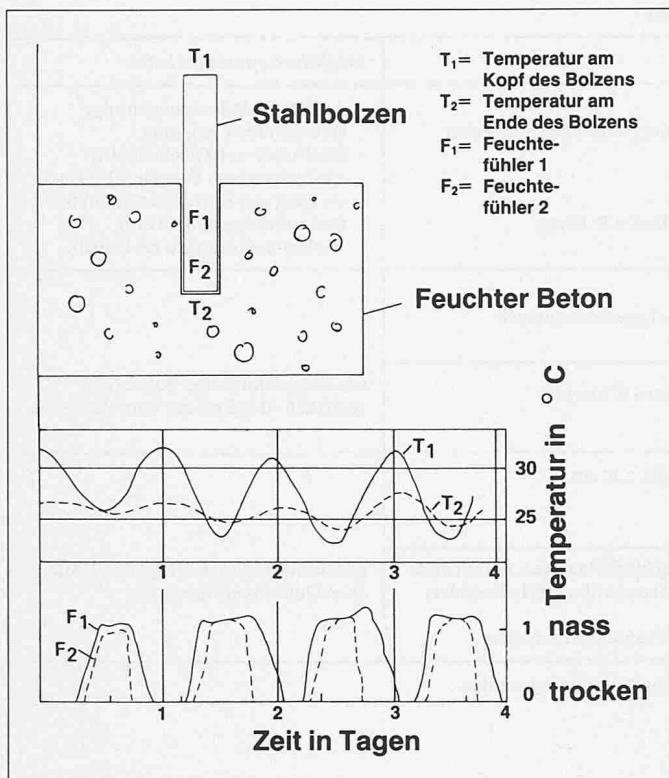
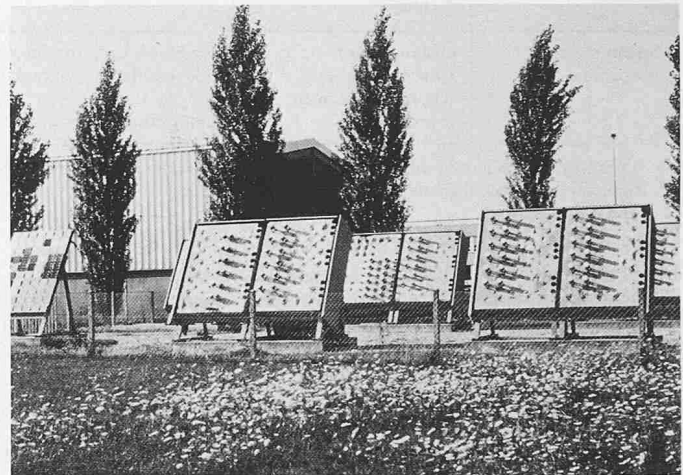
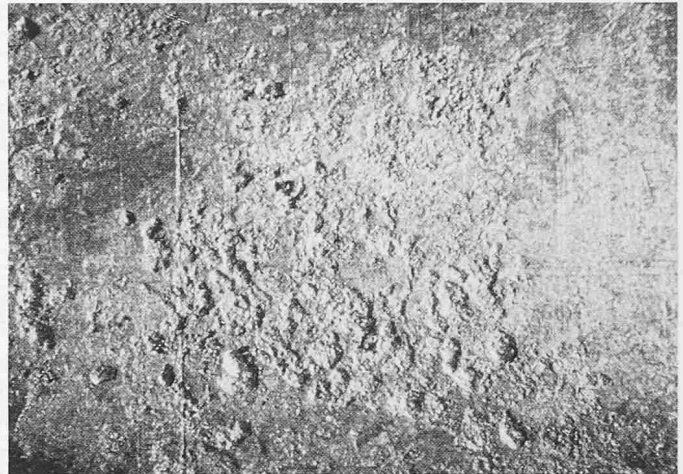


Bild 1. Modellversuch zum Nachweis der Kondenswasserbildung im Bohrlochbereich

Bild 2 (rechts oben). Flächenkorrosion von verzinktem Stahl

Bild 3 (rechts). Auslagerungsversuche von Dübeln für das Tragverhalten in Abhängigkeit der Korrosion



Dübel stellen bei vielen Anwendungen, wie z. B. bei der Befestigung vorgehängter Fassaden Wärme- resp. Kältebrücken dar. Bei Aussenanwendungen ist die relative Luftfeuchtigkeit im Bohrlochbereich sehr hoch, bei direkter Bewitterung konstant 80%, so dass schon bei relativ geringen Temperaturschwankungen, wie sie durch den Tag-Nacht-Rhythmus auftreten, mit der Unterschreitung des Taupunkts am Dübel gerechnet werden muss (Bild 1) [8]. Die damit verbundene Kondenswasserbildung verursacht auch im Bohrlochbereich Korrosion an Zink- und Stahlteilen.

Im Bohrlochbereich sind aufgrund der schlechten Belüftung und der Karbonatisierungseffekte örtlich unterschiedliche Bedingungen seitens des Angriffsmediums zu erwarten (Abnahme des Sauerstoffgehalts mit zunehmender Bohrlochtiefe, unterschiedlicher pH-Wert in alkalischen und karbonatisiertem Beton). Dies kann zur Bildung von Korrosionselementen (Belüftungszellen, Karbonatisierungszellen) führen und (in den anodischen Bezirken) lokal Korrosionserscheinungen an den Befestigungselementen [4, 9].

Aufgrund der geschilderten Verhältnisse ist es offensichtlich, dass auch für die im Bohrlochbereich liegenden Dübelteile den jeweiligen Einsatzbedingungen angepasste Korrosionsschutzmassnahmen getroffen werden müssen. Für Dübel stehen dabei im Vordergrund:

Einsatz beschichteter Befestigungselemente

Dabei werden in erster Linie verzinkte Stahldübel verwendet. Wird eine hohe Lebensdauer der Befestigung verlangt, so eignen sich galvanisch verzinkte Befestigungselemente mit typischen Schutzschichtdicken von 5–10 mm nur für trockene Innenanwendungen. Beim Einsatz solcher Elemente für Aussenanwendungen ist schon nach relativ kurzen Einsatzzeiten mit Korrosion am Grundmaterial zu rechnen. Diese äussert sich zunächst im Auftreten mulden- bis lochförmiger Angriffe (Bild 2), denen sich im Laufe der Zeit eine Flächenkorrosion überlagern kann.

In eigenen Auslagerungsversuchen wurden nach 4–7 Jahren direkter Bewitterung (Bild 3) an innerhalb des Betons liegenden Teilen je nach Aggressivität der Aussenatmosphäre maximale Angriffstiefen von 150–350 µ gemessen. Eine deutsche Untersuchung zeigt [7], dass aber auch dann erhebliche Korrosionserscheinungen im Bohrlochbereich auftreten können, wenn die Befestigungselemente nicht direkt der Aussenatmosphäre ausgesetzt sind, wie z. B. hinter vorgehängten Fassaden. Interessant ist dabei, dass die Dübel innerhalb des Betons wesentlich stärker korrodiert sein können als ausserhalb des Untergrundmaterials.

Eine deutliche Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit kann durch die Erhöhung der Schutzschichtdicke auf 45–70 mm, wie sie

bei feuerverzinkten Befestigungselementen üblich ist, erreicht werden. Sowohl bezüglich Beschichtungsmaterial als auch bezüglich Schichtdicke sind aber in der Praxis bei vielen Dübeltypen aus Funktionsgründen Grenzen gesetzt.

Verwendung korrosionsfester Werkstoffe

Nichtrostende austenitische Chromnickelstähle der Gruppe A2 und A4 [10] haben sich

Literaturhinweise

- [1] Theiler F.: SIA-Dokumentation 98, Zürich (1985), S. 39
- [2] Burgmann G. u. Grimme D.: Stahl und Eisen 100 (1980), S. 641
- [3] Oelsner G.: Galvanotechnik 73 (1982), S. 216
- [4] Käse H.: Die Korrosion der Metalle, Springer, Berlin (1979)
- [5] DIN 50900, Teil 1, April 1982
- [6] Plawer H.L.: DBZ, 1981 (II), 1.1
- [7] Rehm G., Lehmann R. u. Nürnberger U.: Bericht zu Forschungsauftrag IfBt IV/1-5-154/77, Stuttgart (1980)
- [8] Menzel K.: Bericht Nr. 5/3-83/16, IWB, Abt. Befestigungstechnik, Universität Stuttgart (1983)
- [9] Menzel K.: Bericht Nr. 5/8-85/22, IWB, Abt. Befestigungstechnik, Universität Stuttgart (1985)
- [10] DIN 267, Teil 11, Januar 1980
- [11] Stichel W.: Forschungsbericht 126, BAM, Berlin (1986)

im Bohrlochbereich auch bei sehr aggressiver Aussenatmosphäre, wo an den genannten Werkstoffen in ungünstigen Fällen lokale Korrosionserscheinungen auftreten können, gut bewährt.

Fernhalten von aggressiven Medien

In der Praxis ist die Korrosionsschutzmassnahme bei Verbundankern «automatisch» realisiert. Der bei den meisten Produkten verwendete Kunstharzmörtel verhindert eine Korrosion der metallischen Dübelbestandteile im Bohrloch.

Bei Dübelssystemen, die zwischen Dübelkörper und Bohrlochwand einen Spalt aufweisen, ist es möglich, dem Eindringen von korrosiven Medien in diesen Bereich durch eine Abdichtung des Bohrlochs nach aussen entgegenzuwirken. Andererseits kann aber dadurch die Entfeuchtung des Spalts behindert sein. Günstiger ist es deshalb, das Bohrloch nach dem Setzen des Dübels mit einem geschlossenenporigen Schaum, z. B. aus Poly-

urethanbasis oder mit dauerelastischen Korrosionsschutzmassen, z. B. auf Vaseline-, Petrolatum- oder Bitumbasis [11], vollständig zu verfüllen.

Es muss allerdings überprüft werden, inwieweit durch solche Massnahmen die Funktion der Dübel, z. B. deren Nachspreizverhalten, verändert wird.

Schlussbemerkung

Die Korrosion von Befestigungselementen ist häufig ein sehr komplexer Vorgang. Neben den äusseren korrosiven Einflüssen spielen dabei die Höhe und Art der Belastung, Befestigungselemente – spezifische Gegebenheiten und die jeweils herrschenden konstruktiven Verhältnisse eine wesentliche Rolle. Eine Beurteilung der Korrosionsgefährdung ist vielfach schwierig und oft nur aus der Erfahrung möglich. Herstellerempfehlungen und allgemeine Baurichtlinien, in

welchen diese Erfahrung zum Ausdruck kommt, sollten deshalb unbedingt beachtet werden. In Zweifelsfällen ist der Beizug eines Korrosionsfachmannes ratsam.

Für kritische Bauteile werden periodische Kontrollen gefordert (siehe z. B. Bild 1). Bei Befestigungselementen ist jedoch deren Durchführung aus praktischen und Kostengründen oft kaum realisierbar. In solchen Fällen muss dem Ausfallen schwerwiegender Schäden beim Ausfall einzelner Befestigungen durch geeignete konstruktive Massnahmen entgegengewirkt werden (kein Reissverschlussseffekt!).

Adresse der Verfasser: Daniel Bindschedler und Hans-Dieter Seghezzi, Hilti AG, 9494 Schaan/FL.

Schwingungsprobleme bei Bauwerken

Fortbildungskurs für Bauingenieure an der ETH Zürich

Das Institut für Baustatik und Konstruktion an der ETH Zürich veranstaltete am 26. und 27. März 1987 unter der Leitung von Prof. Dr. H. Bachmann einen Fortbildungskurs über durch Menschen und Maschinen induzierte Bauwerksschwingungen. Anlass dazu waren Erfahrungen und Erkenntnisse, welche Professor Dr. H. Bachmann mit seinen Mitarbeitern in den letzten Jahren aus Expertentätigkeit und eigener Forschung gewinnen konnte. Die Teilnahme von rund 250 Ingenieuren, beinahe ausschliesslich aus der Praxis, beweist die Aktualität des Themas. Denn in zunehmendem Mass treten unangenehme Schwingungsprobleme, ernsthafte Schadenfälle und kostspielige Sanierungen gerade im Hochbau auf.

Drei Gründe für diese Entwicklung wurden genannt:

1. Die stärkere Ausnützung der Materialeigenschaften unserer hochwertigen Baustoffe gestattet grössere Spannweiten, aber auch geringere Konstruktionsstärken. Der Anteil des Eigengewichtes an der Gesamtlastung hat sich oft reduziert. Massenarme und schlanke Tragwerke sind aber schwingungsanfälliger als massige, gedrungene und damit steifere Tragwerke.

2. Verschiedene dynamische Einwirkungen haben sich verändert oder sind intensiver geworden. Wenn beispielsweise in bestehenden Fabrikgebäuden ältere Maschinen durch neue, schneller laufende ersetzt werden, kann dies zu dynamischen Lasten in anderen Frequenzbereichen und damit zu unerwarteten Schwingungsproblemen führen.

3. Die Menschen sind auch auf Schwingungseinflüsse empfindlicher geworden. Die internationale Normung über zulässige Schwingungseinwirkungen auf den Menschen wird laufend verschärft. Heute müssen allenfalls Schwingungen reduziert werden, wo solche früher noch hingenommen wurden.

Zielsetzung: Der Kurs war absichtlich ausgerichtet auf die Bedürfnisse des vor allem im konstruktiven Hochbau praktisch tätigen Bauingenieurs. So beschränkte er sich auf Schwingungen von Bauwerken, welche durch Menschen oder durch Maschinen induziert werden. Menscheninduzierte Schwingungen entstehen durch rhythmische Bewegungen wie Gehen, Laufen, Hüpfen, Tanzen. Sie treten auf bei Fussgängerbauwerken, Bürogebäuden, Turn- und Sporthallen, Tanzlokalen, Konzertsälen, Tribünen usw. Maschineninduzierte Schwingungen entstehen durch rotierende, oszillierende oder stossende Maschinen. Im Kurs wurden kleine und mittlere Maschinen behandelt, die auf normalen Hochbaudecken montiert sind.

Vorlesungen

Der Ausbildungsstoff wurde von drei Kursreferenten in Form von Vorlesungen gehalten.

□ Grundlagen (Dr. D. Somaini): Merkmale dynamischer Lasten; mathematische Berechnung freier und erzwungener Schwingungen von Ein- und Mehrmassenschwin-

gern; verschiedene Methoden zur Behandlung erzwungener Schwingungen; Bauwerksverhalten unter stossartigen Lasten.

□ Menscheninduzierte Schwingungen (Prof. Dr. H. Bachmann): Dynamische Lasten aus Gehen, Laufen, Hüpfen und Tanzen; Lastmodelle; Auswirkungen auf Fussgängerbrücken, Bürogebäude, Tanzlokale, Turnhallen usw.; Massnahmen zur Verhinderung unerwünschter Schwingungen; konkrete Schadenfälle. Die Vorlesung vermittelte eine erstmalige systematische Gesamtdarstellung dieser Thematik.

□ Maschineninduzierte Schwingungen (Dr. W. Ammann): Dynamische Lasten von Maschinen mit rotierenden, oszillierenden und stossenden Teilen. Auswirkungen auf Bauwerke; Schwingungsisolation mit Feder-Dämpfer-Elementen; Lagerung von Maschinen auf Geschossdecken (Bild 1).

□ Praktische Ergänzungen (Prof. Dr. H. Bachmann): Dynamische Biegesteifigkeit ungerissener und gerissener Stahlbetonkonstruktionen, anzunehmende Dämpfungskennwerte, Bemessung von Schwingungstilgern.

□ Anhaltswerte (Dr. W. Ammann): «Zulässige» Schwingungseinwirkungen auf Menschen, Maschinen und Bauwerke; Normenwerte; Sondermassnahmen zur Schadenverhütung.

Die Referenten berücksichtigten die immer noch verbreitete Skepsis vieler Bauingenieure gegenüber dynamischen Problemen durch praxisnahe Anschaulichkeit und durch weitgehenden Verzicht auf Formel-Ballast. Es gelang ihnen dadurch, das Wesentliche herauszuschälen und ein grundlegendes Verständnis für dynamische Erscheinungen zu wecken. Die Kursteilnehmer hatten überdies Gelegenheit, in Übungen das Gelernte zu vertiefen und Fragen zu stellen.