

Chloride im Beton und deren Bestimmung mittels Ionenchromatographie: Laboruntersuchungen: ein wichtiger Teilaspekt der Schadenanalyse

Autor(en): **Hüssy, Urs / Leu, Gerhard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 22

PDF erstellt am: **18.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85739>

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.

Chloride im Beton und deren Bestimmung mittels Ionenchromatographie

Laboruntersuchungen: Ein wichtiger Teilaspekt der Schadenanalyse

Chloride - hauptsächlich durch Anwendung von Tausalz bewirkt - schädigen die Stahlbetonbauten in einem erheblichen Masse. Der Gehalt an Chloridionen im Beton spielt daher bei Sanierungen von Bauwerken eine bedeutende Rolle und ist ein wichtiger Teilaspekt der Schadenanalyse des SIKa D/C/B. Nur relativ aufwendige Laboruntersuchungen an einer repräsentativen Anzahl Betonproben lassen eine verlässliche Aussage über Konzentration und Eindringtiefe zu, welche letztlich Sanierungsmassnahmen und -umfang entscheidend beeinflussen. Die Chloridbestimmung in der SIKa AG mittels automatisierter Ionenchromatographie zeichnet sich durch hohe Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit aus.

Einleitung

Die mangelnde Beständigkeit von Betonbauwerken gegenüber verschiedensten Einflüssen ist nach einer Reihe

VON URS HÜSSY UND
GERHARD LEU,
ZÜRICH

spektakulärer Vorkommnisse und der massiven Häufung von Schadensfällen in das Bewusstsein breiter Kreise auch ausserhalb der Fachwelt gerückt. Dabei soll aber auch nicht unerwähnt bleiben, dass der Baustoff Beton die moderne Bauweise ganz entscheidend mitgeprägt - ja eigentlich erst ermöglicht - hat und heute die weitaus grösste Verbreitung unter den konstruktiven Baustoffen aufweist.

Konstruktive Ingenieurbauwerke sind in der heutigen Zeit vielfältigsten Belastungen und Einwirkungen ausgesetzt. Nebst statischen und dynamischen Lasten wirken physikalische und chemische Beanspruchungen auf den Baustoff ein.

Die wichtigsten davon sind:

- fliessendes und stehendes Wasser
- Temperatur
- Luftverschmutzung
- Auftaumittel und Frost
- versch. chemische Angriffe
- organische Einwirkungen

Diesen Beanspruchungen gegenüber ist der ungeschützte oder qualitativ ungenügende Beton nicht resistent. Resultat sind Schäden unterschiedlichster Art und Intensität. Ein auf die Schadenursache abgestimmtes Sanierungskonzept

erfordert eine Schadenabklärung durch Spezialisten. Wichtige Teilaufgabe der Schadendiagnose sind Laborprüfungen und -analysen.

Nachfolgend wird die Problematik von Chloriden im Beton und deren Bestimmung als ein Teilaspekt bei der Bauwerksuntersuchung - wie sie das SIKa-Diagnostik-Center Beton (D/C/B) in Zusammenarbeit mit der Forschungsabteilung Analytik anbietet - behandelt.

Auftreten von Chloriden im Bauwesen

Chloride sind Salze der Salzsäure. Bei Wasserkontakt gehen sie in Lösung und zerfallen in positiv geladene Kationen und Chloridionen mit negativer Ladung (Anionen).

In den Beton gelangen sie auf unterschiedliche Weise:

- bei der Betonherstellung mit den Ausgangsstoffen (Zement, Zuschlagstoffe, Anmachwasser)
- bei Tausalzeinwirkung im Winterdienst
- im Brandfall bei PVC-Bränden
- durch Betonzusatzmittel (Abbindebeschleuniger der frühen 60er Jahre)
- bei Salzwasserkontakt (Bauten im Meerwasser)

Unsere heutige Verkehrsdichte und Mobilität verlangt nach einem dichten und sicheren Strassennetz. Für die Schwarzräumung im Winter werden Auftaumittel auf Chloridbasis - meist Natriumchlorid (NaCl) - eingesetzt.

Bei Brandfällen mit Polyvinylchlorid (PVC) entsteht Chlorwasserstoff, welcher mit dem Kalzium des Betons zu Kalziumchlorid reagiert.

Aufgrund des Beschleunigungseffektes der Zementhydratation durch Kalziumchlorid (CaCl_2) wurde dieses in Abbindebeschleuniger in den 50er und frühen 60er Jahren eingesetzt. Anorganische und/oder organische, hochwirksame Additive sind die Hauptkomponenten der heutigen Abbindebeschleuniger.

Chlorideinwirkung durch Salzwasserkontakt spielt auch bei Meerwasserbauwerken und in erhöhtem Masse bei Meerwasserentsalzungsanlagen eine Rolle.

Von den aufgeführten Chlorideinwirkungen kommt dem Einsatz von Auftaumitteln in Winterdienst die weitaus grösste Bedeutung zu.

Wirkungsweise der Chloride im Beton

Die Chlorideinwirkung in den Beton erfolgt über das Poren- und Kapillarsystem. Dabei können zwei verschiedene Transportvorgänge unterschieden werden:

- Reine Diffusion. Die Chloridionen wandern durch das Konzentrationsgefälle.
- Wasserdiffusion. Der Transport erfolgt durch das diffundierende Wasser.

Die schädigende Wirkungsweise der Chloride im Beton hat zwei Ursachen:

- der Einsatz von Auftaumitteln kann zu einer Zerstörung des Betongefüges als Folge des Temperaturschocks führen.
- Chloride können einen Korrosionsangriff auf die Stahleinlagen ausüben.

Bei der Einwirkung von Tausalz wird dem Betonuntergrund die für das Auftauen von Eis notwendige Energie entzogen. Dies führt zu dieser schockartigen Abkühlung tieferliegender Schichten und somit zum Gefrieren des Porenwassers. Die daraus resultierenden Eigenspannungen im Beton können das Gefüge langsam zerstören.

Ein Korrosionsangriff auf die Stahleinlagen kann bei örtlich erhöhtem Chloridgehalt eintreten. (Bild 1) Chloridionen durchbrechen die schützende Passivschicht - auch in einem alkalischen Beton und ermöglichen die Bildung eines elektrochemischen Elementes.



Bild 1. Typischer Frost/Tausalz-Schaden einer stark befahrenen Betonfahrbahn (Werkphoto SIKA AG)

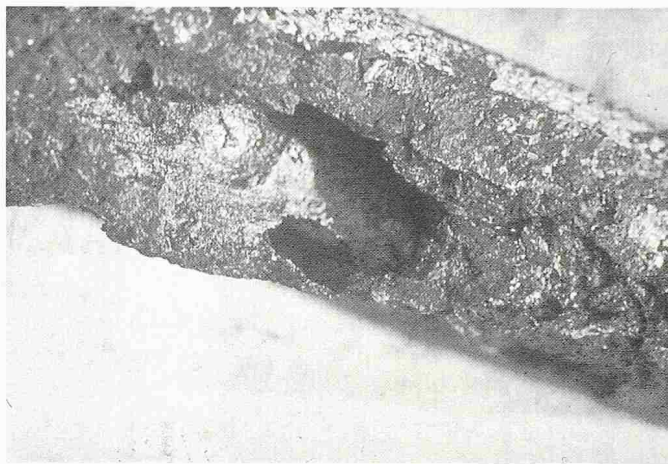


Bild 2. Armierungskorrosion infolge Chlorideinwirkung. Typisch ist die Erscheinung als Lochfrass (Werkphoto SIKA AG)

Die örtlich begrenzte kleine Anode führt zu einer in die Tiefe fortschreitenden Korrosion (Lochfrass).

Voraussetzung für die Korrosion von Stahl im Beton ist das Vorhandensein eines Elektrolyten mit hoher Leitfähigkeit, die Anwesenheit von Sauerstoff und eine ungehinderte Eisenauflösung (Bild 2).

Wie Eingangs erwähnt, gelangen die Chloridionen hauptsächlich durch Diffusion in den Beton, wobei die Eindringgeschwindigkeit primär durch die Kapillarporosität, welche wiederum hauptsächlich vom Wasser/Zement - Wert abhängt, bestimmt wird.

Probeentnahme und Aufarbeitung

Chloridbestimmungen sind ein wichtiger Teil der Schadstoffbestimmung bei Bauwerksuntersuchungen durch das Diagnostik-Center Beton der SIKA AG.

Chloridionen können durch Direktkontakt, Spritzwasser oder Sprühnebel auf das Bauwerk eindringen. Bei der Wahl der Entnahmestellen ist der Intensität der Belastung nach Möglichkeit Rechnung zu tragen. Dabei kommt der Erfahrung des Schadenexperten besondere Bedeutung zu. Die Probeentnahme erfolgt mittels Kernbohrungen, Bohrmehlentnahme durch Trockenbohrung oder Abschlagen von Betonstücken. Am weitaus häufigsten ist die Probengewinnung durch Diamantbohrung mit Wasserspülung. Dabei wird ein geringfügiger Teil Chloridionen an der Schneidefläche ausgespült. Untersuchungen in Deutschland und eigene Versuche haben gezeigt, dass der Einfluss von Nassbohrungen vernachlässigbar gering ist.

Tabelle 1. Chlorideindringung am Beispiel eines Parkdecks

Betontiefe	Cl ⁻ - Gehalt in % bezogen auf das Zementgewicht					
	A	B	C	D	E	Ø
0 - 1	0,68	1,25	1,80	0,92	2,58	1,45
1 - 2	0,70	1,20	1,85	1,10	2,30	1,43
2 - 3	0,72	1,10	1,90	1,28	1,96	1,39
3 - 4	0,76	1,05	1,04	1,45	1,62	1,36
4 - 5	0,80	0,95	2,02	1,60	1,24	1,32
5 - 6	0,62	0,72	1,65	1,32	0,85	1,03
6 - 7	0,48	0,45	1,14	0,65	0,54	0,65
7 - 8	0,30	0,16	0,65	0,20	0,22	0,31

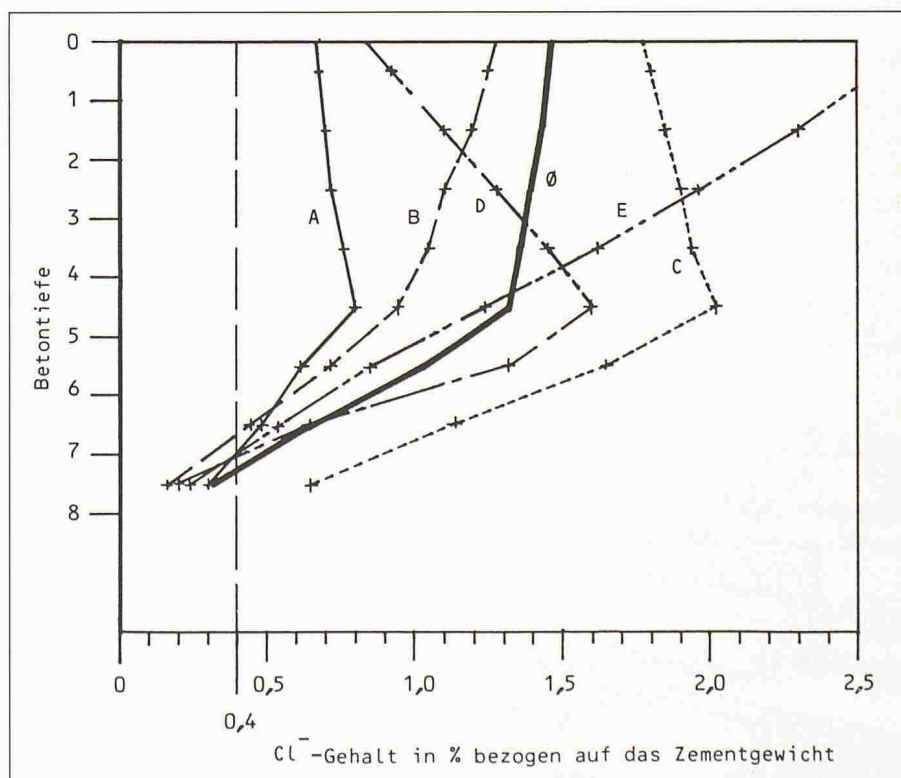




Bild 3. Probeentnahme für Chloridbestimmung mittels Diamantbohrung (Werkphoto SIKA AG)

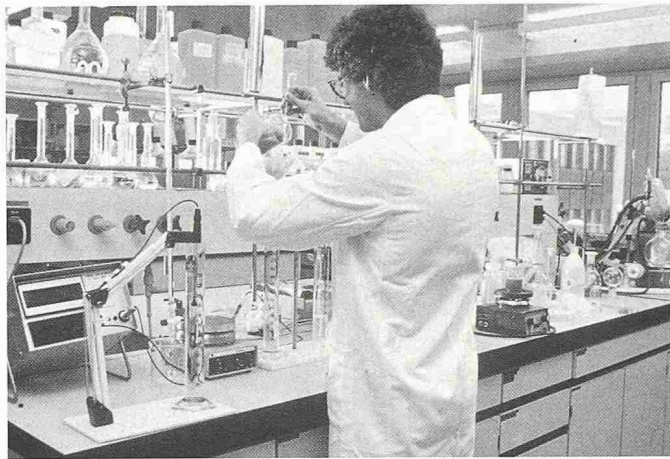


Bild 4. Aufbereitung des Probenmaterials im Analytischen Labor. Nach dem Kochen wird die Probe über einen Faltenfilter dekantiert (Werkphoto SIKA AG)

Die Bestimmung erfolgt im Tiefenprofil durch Schneiden der Bohrkerne in Scheiben von je 10 mm Stärke (Bild 3). So kann die genaue Konzentration in Abhängigkeit zur Betontiefe ermittelt werden. Nach Trocknung werden die Betonrondellen zerkleinert und zu Feinpulver gemahlen (Tabelle 1).

Analytische Bestimmung des Chloridgehaltes

Verschiedene Wissenschaftler und internationale Arbeitskreise haben sich mit Bestimmungsverfahren des Chloridgehaltes in Bauwerken befasst. Dies gilt nicht nur für Bauwerke aus Stahlbeton und Spannbeton wie Strassenbrücken, sondern ebenfalls für alle andern Bauwerke auf die Chloride einwirken können (Meerwasserbauten, Bauteile die bei Bränden mit chloridhaltigen Gasen in Kontakt kommen). In der Literatur werden die verschiedensten Analysemethoden zur Bestimmung von Chloriden in erhärtetem Beton beschrieben. Die wichtigsten sind: Ge-

samtchloridgehalt durch Röntgenfluoreszenzanalyse, salpetersäure- und heisswasserlösliches Chlorid mit anschließender Quantifizierung mittels Ionensensitive Elektrode, Ionenchromatographie, Argentometrie und Colorimetrie. SIKA hat einige dieser Methoden getestet und sich auf folgende Analysemethoden, die durch Ringversuche überprüft worden ist festgelegt:

Quantitative Analysen zur Bestimmung der Chloridkonzentration in erhärtetem Beton werden bei SIKA mittels Ionenchromatographie (IC) bestimmt, wobei wie folgt vorgegangen wird: Die zu untersuchende, fein gemahlene Betonprobe wird zu 15 g (auf 1 mg genau) in ein 250 ml Becherglas eingewogen (Doppelbestimmung). Zu der Probe werden anschliessend 100 ml Reinstwasser (Leitfähigkeit: >18 Megohm-cm) zugegeben und unter kräftigem Rühren auf der Heizplatte auf Siedehitze gestellt. Anschliessend lässt man die Probe stehen (5 Min.) und dekantiert über einen Faltenfilter ab. Das Filtrat wird direkt in einem 250 ml Messzylinder aufgefangen (Bild 4). Der

verbleibende Rückstand im Becherglas wird erneut mit 100 ml Reinstwasser versetzt und weitere 10 Min. gekocht. Am Ende der Kochzeit wird die ganze Suspension samt Magnetrührer auf den Filter gegeben (wenn nötig mehrmals mit heissem Reinstwasser digerieren). Anschliessend wird der Filtrückstand mehrmals mit heissem Reinstwasser gespült, bis im Messzylinder ein Volumen von ca. 190 ml erreicht ist. Nun wird die Probelösung direkt im Messzylinder unter Rühren mit Schwefelsäure 1:5 auf einen pH-Wert von 6,5 eingestellt. Die Probelösung wird anschliessend in einen 250 ml Messkolben übergespült, thermostatisiert und bis zur Marke aufgefüllt. Die so massanalytisch hergestellte Probelösung wird anschliessend mittels Ionenchromatographie untersucht, wobei neben dem zu bestimmenden Chlorid auch andere Anionen wie NO_x (Nitrit und Nitrat) im selben Analysenrun bestimmt werden können (Bild 5). SIKA hat die IC als Analysemethoden ausgewählt, weil sie am besten zu automatisieren ist. Analysiert wird bei SIKA zur Zeit mit einem Autosampler, der 96 Proben aufneh-

Bild 5. Chloridbestimmung mittels Ionenchromatographie im Labor (Werkphoto SIKA AG)

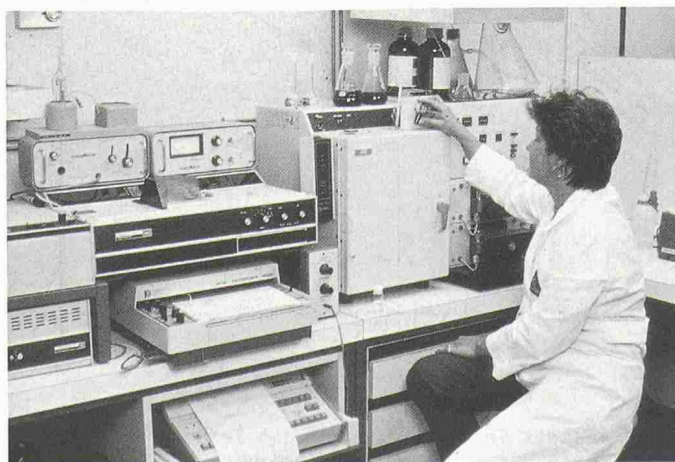
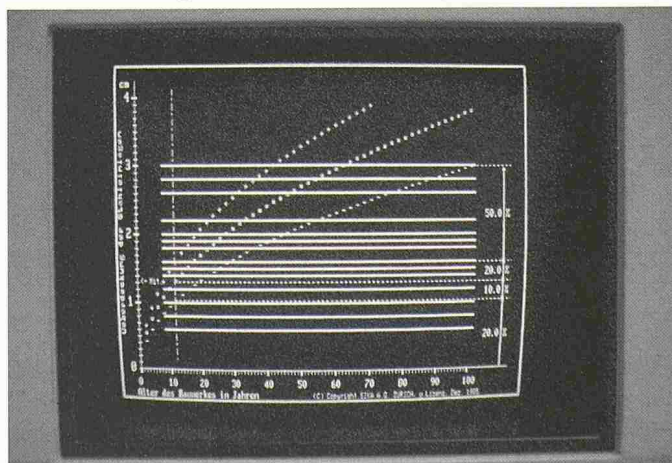


Bild 6. Ist-Zustand eines Bauwerkteiles. Computergrafik von Stahlüberdeckungen und Carbonatisierungsverlauf



men kann. Die Analysenzeit beträgt 18 Minuten je Probe. Die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Analysenergebnisse sind bei solchem Autosampling sehr gross. Ein weiterer entscheidender Faktor zur Wahl dieser Methode ist die Entlastung von geschultem Personal mit Routineanalysen sowie deren Kosteneinsparung.

Konsequenzen für das Bauwerk

Ein für jedes Bauwerk verbindlicher Grenzwert für die tolerierbare Chloridmenge im Beton kann nicht angegeben werden. Der Grenzwert ist abhängig von der Bindekapazität des Zementes (hauptsächlich des Tricalciumaluminates C_3A) und somit also von dessen chemischer Zusammensetzung. Die in der meisten Literatur angegebenen Grenzwerte von 0,4-Massen-% für schlaff armierten Beton, resp. 0,2-Massen-% für Spannbeton, bezogen auf das Zementgewicht, können deshalb nicht als absolut betrachtet werden. Höheres Bindevermögen der Zementbestandteile können den Wert nach oben verschieben, die durch Carbonatisierung freigesetzten, anfänglich gebundenen Chloridionen, bewirken eine Korrektur nach un-

ten. Zudem ist den klimatischen Bedingungen Rechnung zu tragen. So können bei unzureichender Feuchtigkeitzufuhr durchaus höhere Chloridkonzentrationen toleriert werden.

Bei Stahlbetonbauteilen mit erhöhtem Chloridgehalt besteht eine grosse Korrosionswahrscheinlichkeit. Wegen der hygroskopischen (wasserbindenden) Eigenschaft der Chloride sind korrodierte Bereiche besonders sorgsam instandzustellen. Die Vermeidung von Armierungskorrosion durch Chloride kann nur durch Abtrag der betroffenen Betonschichten oder durch Aufbringen einer wasserdichten Schutzschicht erfolgen. Bleibt der Cl^- -Gehalt im Beton, wird sich dabei aufgrund der Diffusionsmechanismen die Chloridkonzentration mit der Zeit einheitlich über den gesamten Querschnitt verteilen. Fehlende Langzeiterfahrung lassen jedoch das Entfernen des Betons mit erhöhtem Chloridgehalt als sichere Massnahme erscheinen.

Integrierter Bestandteil einer Schadenanalyse

Wie bereits eingangs erwähnt, bilden die Schäden, infolge starker Chlorid-

versalzung, einen wichtigen Teilaspekt in der Gesamtbeurteilung von Bauwerken. Weitere Kriterien sind:

- Betonüberdeckung der Armierungseisen
- Carbonatisierungstiefen
- Physikalische Prüfungen der Betonqualität (Druckfestigkeit, Stempelabreissfestigkeit, Wasseraufnahme usw.).
- Rissaufnahmen, Gefügebeurteilungen
- Weitere Schadstoffe wie SO_2 , NO_x usw.
- Potentialfeldmessung (Armierungskorrosion)

Oftmals erfolgt die Schadendiagnose im Zusammenhang mit einer Gesamtuntersuchung. Dabei werden konstruktive Begebenheiten, eine statische Nachprüfung, Planungs- und Nutzungsänderungen usw. durch einen Ingenieur bearbeitet und die betontechnologische Zustandsanalyse von Experten durchgeführt (Bild 6).

Adresse der Verfasser: U. Hüssy, Diagnostik-Center Beton, Gerhard Leu, Forschung + Entwicklung, Abt. Analytik, SIKa AG, 8048 Zürich.

Beton unter Stossbelastung

Der Beitrag befasst sich mit Berechnungsarten für die Dimensionierung, Versuchsergebnissen sowie mit einfachen, für die Praxis anwendbaren Beziehungen, die den Einfluss der Dehngeschwindigkeit der mechanischen Grössen darlegen.

Stossbelastungen

Belastungen von kurzer Dauer, aber meist grosser Intensität, treten beabsichtigt oder unbeabsichtigt auf. Das Rammen von Gründungspfählen ist ein Beispiel für beabsichtigte Stossbelastungen; Explosionen, das Auftreten von Gegenständen auf eine Konstruktion (Auto, Flugzeug, Felsbrocken) und Sabotageakte erzeugen unbeabsichtigte

der Belastung abhängig, aber auch von der Steifigkeit und Härte der Konstruktion. Beim Auftreten von Gegenständen bestimmen Masse, Geschwindigkeit und Steifigkeit des stossenden Körpers und der angestossenen Konstruktion deren Belastung. Wenn die Kontaktzone beim Aufprall leicht verformt, wird ein schneller Stoss abgebremst und die Dehngeschwindigkeit wird geringer. Tabelle 1 zeigt die Grössenordnung der Dehngeschwindigkeit für einige typische Stossbelastungen.

Zum Vergleich: Die statische Druckprüfung von Beton (genauer: monoton zunehmende Dehnung bis zur Höchstlast) wird mit einer Dehngeschwindigkeit von etwa 10^{-5} s^{-1} ausgeführt. Die für Beton interessanten Belastungen hören etwa bei 10^2 s^{-1} auf, da sehr

schnelle Stösse aufgrund der (relativ geringen) Härte und Steifigkeit des Betons gedämpft werden.

Berechnungsarten

Je nach der Bedeutung der Stossbelastung auf die Dimensionierung einer Konstruktion werden verschiedene Berechnungsarten angewandt [1]. Am einfachsten ist die Festlegung eines Stossfaktors, der theoretisch bestimmt oder experimentell an Modellen oder wirklichen Konstruktionen gemessen wird und mit dem man die statische Bela-

Tabelle 1. Dehngeschwindigkeit typischer Stossbelastungen

Ursache der Belastung	Dehngeschwindigkeit, s^{-1}
Verkehr	$10^{-6} \dots 10^{-4}$
Gasexplosion	$5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$
Erdbeben	$5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-1}$
Rammen von Pfählen	$10^{-2} \dots 10^0$
Flugzeugaufprall	$5 \cdot 10^{-2} \dots 2 \cdot 10^0$
Harter Stoss	$10^0 \dots 5 \cdot 10^{-1}$
Höchstgeschwindigkeitsstoss	$10^2 \dots 10^6$

VON HANS W. REINHARDT,
DARMSTADT

Stossbelastungen. Der zeitliche Spannungs- oder Dehnungsanstieg im Material der Konstruktion ist von der Art