

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 86 (1968)
Heft: 49: Eduard Amstutz zum 65. Geburtstag, 2. Sonderheft

Artikel: Bauüberwachung und Sicherheit bei geschweissten Objekten
Autor: Steiner, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-70200>

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: 06.02.2025

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

die Korrosion nach nur fünfjährigem Betrieb bereits ein derartiges Ausmass angenommen hatte, dass täglich mehrere perforierte Radiatoren ausgewechselt werden mussten und niemand mehr sicher war, ob er am nächsten Tag normal in seinem Büro arbeiten konnte oder dieses von Heizwasser überschwemmt vorfinden würde.

Eine sorgfältige Untersuchung dieser Anlage ergab dann, dass der Wasserstrom durch das vorhandene offene Expansionsgefäss trotz völliger Drosselung des Regulierventils mehr als 10 l/min betrug, und das Wasser zeitweise, d. h. bei niederem Wasserstand im Ausgleichsgefäss, in freiem Fall durch die offene Luft hindurch einfluss. Zahlreiche am Vor- und am Rücklauf des Gefässes vorgenommene Sauerstoff-Feinbestimmungen zeigten, dass das aus dem System ins Expansionsgefäss einfließende Wasser fast sauerstofffrei war (0,02 bis 0,04 mg/l), während das Rücklaufwasser Sauerstoffmengen zwischen rund 0,4 bis 0,7 mg/l enthielt, also im Mittel über 0,5 mg/l Sauerstoff im Gefäss aufgenommen hatte. Dies bedeutet aber, dass bei solchem Betrieb der Heizung stündlich etwa 300 mg oder täglich etwa 7,2 g Sauerstoff ins Heizwasser eingeführt wurden. Diese Menge vermag rund 25 g Eisen zu korrodieren, was einer Zersetzung von rund 5 kg Eisen (oder Stahl) während einer Heizperiode von 200 Tagen entspricht.

Wenn nun diese an sich schon beträchtliche Menge Eisen gleichmässig im System abgebaut würde, wären ernsthafte Schäden kaum vor etwa 20 Jahren zu erwarten. Leider aber erfolgt die Sauerstoffkorrosion in solchen Heizanlagen erfahrungsgemäss immer nur an besonders bevorzugten Stellen, so vor allem in den untersten Partien der Radiatoren, wo geringfügige Schlamm- oder Rosteinlagerungen lokale Korrosionsherde bilden, die dann bei andauernder Sauerstoffzufuhr rasch zu starkem «Lochfrass» führen.

Die Heizungslieferanten suchen gewöhnlich die Ursache für solche Schäden in der Art und Zusammensetzung des eingespielten Heizungswassers und trachten danach, die Störungen durch

Zusätze von Phosphaten, Silikaten oder Verwendung von enthartetem Wasser (zumeist erfolglos) zu bekämpfen. Das Grundübel aber, die dauernde Sauerstoffzufuhr, ohne die ernsthafte Korrosionen in solchen Heizungen mit normalem Leitungswasser kaum möglich sind, wird völlig übersehen.

Sicherste und einfachste Massnahme zur Vermeidung solcher Schäden ist, dafür zu sorgen, dass die dauernde Sauerstoffaufnahme ins zirkulierende Heizwasser ganz oder doch fast vollständig unterbunden wird. Dies ist möglich, z. B. durch Verwendung von geschlossenen Druck-Ausgleichsgefässen, in denen eine elastische Membrane eine Trennwand zwischen Luft- und Wasserraum bildet. Eine andere Lösung, die zum Beispiel in grösseren Klimaanlageanlagen mit gutem Erfolg angewandt wird, ist die Überlagerung des Wassers im Expansionsgefäss mit einem unter leichtem Überdruck stehenden Stickstoffkissen, das den Sauerstoffzutritt zum Wasser verhindert. Aber auch mit offenen Ausgleichsgefässen lässt sich der Anschluss an das eigentliche Heizsystem so gestalten, dass nur äusserst geringe Sauerstoffmengen ins Heizwasser gelangen und das Ausgleichsgefäss trotzdem leicht erwärmt und dadurch vor Frostschäden geschützt bleibt.

Ob dies tatsächlich der Fall ist, kann auf relativ einfache Weise dadurch kontrolliert werden, dass der Sauerstoffgehalt im Heizungswasser genau bestimmt wird. Dieses sollte, am Rücklauf unter dem Expansionsgefäss gemessen, höchstens 0,1 mg/l Sauerstoff enthalten. Die Prüfung muss aber durch den damit vertrauten Wasserchemiker ausgeführt werden und sollte bei allen grösseren Anlagen sofort nach Inbetriebsetzung erfolgen. Sofern an der Anlage nachträglich keine Änderungen mehr vorgenommen werden und nicht andere, ganz ungewöhnliche korrosionsfördernde Verhältnisse wie zum Beispiel stark chloridhaltiges Wasser oder erhebliche Verunreinigungen durch Fremdmetalbestandteile (vor allem Kupfer) vorliegen, bietet diese einmalige Prüfung des Heizungswassers sichere Gewähr dafür, dass in der Heizung kein ernsthafter Lochfrass erfolgen kann.

Bauüberwachung und Sicherheit bei geschweissten Objekten

DK 621.791.052:620.17

Von **R. Steiner**, Vorsteher der Abt. Metalle der EMPA, Dübendorf-Zürich

Personelle Voraussetzungen

Manchem Aussenstehenden mag die Tätigkeit des Materialprüfers in vieler Hinsicht vorwiegend als eine Verwaltungsfunktion erscheinen, insbesondere dann, wenn sie im Rahmen einer staatlichen Anstalt erfolgt. Er wird kaum ahnen, mit welchem Interesse der verantwortungsfreudige Fachmann den fast täglich wechselnden Problemen, die ihn oft an die Grenze der Erkenntnis führen, gegenübersteht. Nicht jeder der in diesem Bereich Tätigen vermag jene Stufe innerer Teilnahme zu erreichen, auf der er nicht mehr bloss feststellt, sondern als teilhabender, kritisch und pflichtbewusst wertender Fachmann tätig ist, der seine Entscheidungen in Kenntnis einer Vielzahl von Einflussgrössen technischer und menschlicher Art trifft. Damit erst vermag er zum neutralen Mittler zwischen Interessentenvertretern technischer oder wirtschaftlicher Bereiche werden, der nicht nur Kennwerte von Bau- und Werkstoffen ermittelt, sondern auch ihre Bedeutung für das Verhalten von Tragwerken und Konstruktionen darzustellen versteht. Diese Einstellung wird es ihm gerade in schwierigen Fällen erleichtern, die am besten geeigneten Prüfverfahren anzuwenden, sie an die besonderen Verhältnisse anzupassen oder neuartige einzusetzen.

Von massgebender Bedeutung erscheint in diesem Zusammenhang die Erfahrung aus Schadenuntersuchungen, die bereits gewisse Anhaltspunkte hinsichtlich der Ursachen zu bilden gestatten. Mag vom Standpunkt des Rechts gesehen die Feststellung solcher Ursachen von Interesse sein, so sieht der Materialprüfer als Ingenieur vielmehr darin einen Anlass zur Gewinnung einer Übersicht sowie zur Vertiefung seiner Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Stoffeigenschaften, Verarbeitung und Verhalten des Materials im Tragwerk. Mit kritischem Geist wird er versuchen, die Untersuchungsmethoden bestmöglich nach den Bauwerkbedingungen auszurichten, die Grenzen ihrer Aussagefähigkeit zu erkennen und die voraussichtliche Eignung neuer Baustoffe und Verfahren zu erfassen, um damit selber einen bescheidenen Beitrag an das Problem der Sicherheit leisten zu können. In dem Masse wie er seine Kenntnisse des Materialver-

haltens in grössere Zusammenhänge zu stellen vermag, wird er seine Qualifikation für manche Probleme in den Bereichen Baustoffwahl, Herstellungs-, Verarbeitungs- und Verbindungsverfahren nachweisen und wesentliche Voraussetzungen für sinnvolle Kontrollen, nämlich Kenntnisse, Sorgfalt und Mut zu sachlicher Aussage, erfüllen.

Fehlertypen

Überlegungen zur Frage der Sicherheit von Tragwerken zeigen, dass ganz besonders dem groben Fehler neben systematischen und zufälligen Fehlern wesentliches Gewicht zukommt. Während die beiden letztgenannten Typen einer statistischen Betrachtung zugänglich sind, muss für die Erfassung der Bedeutung grober Fehler die Erfahrung beigezogen werden. Erfahrungsgemäss gründet die Ursache grober Fehler meistens im Menschen. Diese Fehler lassen sich durch Kontrollen feststellen. In Anbetracht der Vielzahl von Fehlermöglichkeiten drängt sich das Aufstellen einer einfachen Systematik auf, die die Wahl von Kontrollverfahren unter Berücksichtigung technischer, zeitlicher und finanzieller Faktoren erleichtern soll. Während etwa Berechnungsfehler durch Kontrollrechnungen, Konstruktions- bzw. Bemessungsfehler durch eine Nachprüfung von Zeichnungen, Ausführungs- und Verfahrensmängel mittels laufender oder periodischer Überwachung und Materialfehler durch geeignete Prüfverfahren mit genügender Wahrscheinlichkeit erfassbar erscheinen, lässt die Schadenforschung Beispiele erkennen, in denen auch eine subtile Überprüfung aller wesentlich erscheinenden Punkte schwerwiegende Unfälle oder Schäden nicht zu verhindern vermochte. Vor solchem Versagen der menschlichen Leistung wird der Ingenieur einerseits an die Begrenztheit seines Wissens erinnert und andererseits angespornt, alles Denkbare zum Erforschen der Ursachen zu unternehmen, um verbesserte Lösungen zu finden.

Eine gewisse Beruhigung bei der Beurteilung der Ursachen von Schäden mag in der Erkenntnis liegen, dass häufig erst ein Zusammenwirken mehrerer ungünstiger Faktoren zum Versagen

führt. Das noch ungenügende Wissen um bestimmte Verhaltensarten wichtiger Bau- und Werkstoffe (als Beispiel sei die Neigung gewisser Stähle zu verformungslosem Bruch genannt), gibt Anlass zu sorgfältiger Berücksichtigung der vorläufig bekannten Tatsachen bei der Materialwahl.

Kontrolle als Mittel zur Eliminierung von Fehlern

Nachdem die Wichtigkeit von Kontrollen für die weitgehende Ausschaltung von groben Fehlern als erwiesen erkannt ist, muss die Erörterung des Vorgehens nach Umfang, Sorgfalt, zeitlicher Ansetzung, verfügbaren technischen und personellen Mitteln und Kosten erfolgen. Im Zusammenhang mit der Bedeutung geschweisster Objekte sollen die folgenden Erörterungen insbesondere auf die Bereiche des Stahl-, Druckleitungs-, Behälter-, Kran- und Schermaschinen-Baues bezogen werden. Verschiedene Faktoren wie etwa die vermehrte Starrheit, der monolithische Charakter, die Konzentration auf ein Glied, die thermische Beeinflussung des Grundmaterials und die hohe Bedeutung der Ausführungsgüte heben hier die Schweissung aus den üblichen Verbindungsverfahren heraus und fordern im Rahmen der Überwachung besondere Massnahmen. Das in schweizerischen Verhältnissen geltende Prinzip der Verantwortung des Herstellers wird diesen veranlassen, bei Erfüllung seiner Sorgfaltspflicht die notwendigen Kontrollen zu treffen. Die für Objekte im Rahmen eines Werkvertrages geltende Bestimmung, der Besteller habe nach Ablieferung des Werkes dessen Beschaffenheit zu prüfen bzw. die Prüfung durch Sachverständige vornehmen zu lassen, kann auf Grund der Erfahrungen besonders bei geschweissten Tragwerken vielfach nicht genügen. Grundsätzlich sollten Kontrollen in allen Phasen der Herstellung und des Entwurfes eingeschaltet werden, um frühzeitig Fehler oder Ausgangspunkte für spätere Mängel zu erfassen. Bei aller Anerkennung des Nutzens werkeigener Überprüfungen lassen sich indessen in der Mehrzahl von Beanstandungen oder Schadenfällen Mängel nachweisen, die bei eingehender und sorgfältiger Kontrolle hätten erkannt werden müssen.

Der Gesetzgeber hat für Objekte, denen nach seiner Auffassung besondere Risiken innewohnen, die Überprüfung durch neutrale, vom Hersteller unabhängige Stellen vorgesehen (u. a. Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt; Schweiz. Verein von Dampfkessel-Besitzern; Eidg. Rohrleitungs-Inspektorat); auf Grund langjähriger Erfahrung ist diese Lösung als geeignet zu bezeichnen. Dabei ist die Tatsache von besonderem Interesse, dass sich die Frage nach der Verantwortlichkeit für die Güte des Objektes im allgemeinen ohne Schwierigkeiten beantworten lässt.

Bedeutung neutraler Kontrollen

In den letzten Jahren nutzen Unternehmungen, Ingenieurbüros, Versicherungen, in- und ausländische Behörden bei der Erstellung wichtiger Objekte die bestehenden Möglichkeiten in der Weise aus, dass sie vermehrt die Kontrolle neutralen Institutionen übertragen. Häufig sind es Teilprüfungen, deren Ergebnisse der Besteller in direkter Fühlungsnahme mit dem Lieferwerk erörtert. Im Gegensatz hierzu erwartet der Besteller in zunehmendem Masse aber eine immer weitergehende Mitwirkung der Kontrollinstanzen, die sich gerade bei anspruchsvollen Objekten zur eigentlichen Bauüberwachung oder Beratung in Sonderfragen (Baustoffwahl, Schweissverfahren) entwickelt. Dazu mag einerseits vielfach die fehlende Vertrautheit mit Einzelheiten der Baustoffwahl, der Schweissverfahren und der Gütebeurteilung den Anlass geben; andererseits kann die Einschaltung einer neutralen Instanz oft als Vermittler zwischen den unterschiedlichen Interessen von Nutzen sein. Immer aber stellt eine solche Beauftragung hohe Anforderungen an die Prüfinstitution hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Beweglichkeit, an die Mitarbeiter der Institution bezüglich ihres Charakters, ihrer Kenntnisse und ihres Willens, nach bestem Wissen und Gewissen der Sache zu dienen und den nicht unerheblichen Aufwand der Untersuchungen durch die erhöhte Wahrscheinlichkeit zuverlässigen Verhaltens des Objektes zu rechtfertigen.

Tatsächlich bildet in vielen Fällen die Kostenfrage praktisch einen bestimmenden Faktor. Selbstverständlich ergeben sich auch beim Hersteller, der die Bauüberwachung mit eigenen Mitteln durchführt, Kosten von ähnlicher Grössenordnung, die dann aber nicht oder mindestens nicht direkt vom Besteller zu tragen sind, während dieser Aufwendungen für eine neutrale Kontrolle normalerweise zu übernehmen hat.

Um die volle Bedeutung der Kontrollen zu erkennen, die grundsätzlich so umfassend sein müssten wie die Möglichkeiten des Auftretens von Fehlern, wären bei einer ersten Betrachtung die Kostenfrage und der Status der Überwachungsstelle als sekundär zu betrachten.

Vereinfachte Übersicht für Kontrollen

Als Grundlage für die weiteren Betrachtungen seien einige Gesichtspunkte für die Kontrollen im Schema der Tabelle 1 angeführt.

Diese Darstellung erhebt in keiner Weise Anspruch auf Vollständigkeit, um so weniger als von Fall zu Fall die Schwerpunkte anders liegen. Wesentlich erscheint die Forderung, den gesamten

Tabelle 1. Vereinfachte Übersicht der durchzuführenden Kontrollen

Bereich	Aufgabe	Beispiele, besondere Bemerkungen
<i>Entwurf und Konstruktion</i>	Lastannahmen überprüfen statische Berechnung konsultieren konstruktive Lösung studieren	Vergleich mit Normlasten, Lashäufigkeit, Temperatur, kritisch erscheinende Punkte, zulässige Spannung, grobe Mängel, Krafteinleitungen, mehrachsige Beanspruchung, Bedeutung allfälligen Versagens von Einzelteilen
	Wahl der Stahlgüte-Gruppe hinsichtlich Schweissarbeit und Trennbruchempfindlichkeit beurteilen	Dabei sind zu berücksichtigen: Materialdicke, Eigenspannungen, Kaltverformung usw.
	Einrichtungen und Herstellungseinzelheiten bewerten	Schweissverfahren, Elektrodentyp, Nahtvorbereitung
	Kontrollmöglichkeiten überprüfen Prüfanordnungen erörtern	visuelle Kontrolle, Ultraschall- und/oder Durchstrahlung Werkzeugnisse, Abnahme durch Neutrale, Erfassung besonderer Kennwerte (z. B. Verhalten unter Zugbeanspruchung senkrecht zur Blechoberfläche)
<i>Ausführung und Montage</i>	Bleche, Profileisen, vorfabrizierte Teile, Zusatzwerkstoffe kontrollieren	Oberflächen (Überwalgungen), Abmessungen, Kanten, Konformität mit Zeichnung bzw. Bestellung. Elektroden: Typ, Durchmesser, Trockenheit
	Zulassung der Schweisser für bestimmte Arbeiten prüfen, Ausweise kontrollieren, Schweissarbeiten überwachen	Kantenvorbereitung, Heften, Nahtaufbau, Schweissfolge, Schweisser beobachten bezüglich Sicherheit, Sorgfalt, Geschick Zustand der Einrichtungen, besondere Massnahmen wie Vorwärmen
<i>Nachprüfung</i>	Bauteile und Nähte kontrollieren (visuell und apparativ)	Formhaltigkeit, Nahtaussehen, Nahtmängel, innere Mängel (örtliche Fehler, Durchschweissung), Durchbiegung, elastische bzw. bleibende Dehnung
<i>Berichte</i>	erfolgte Abnahme bestätigen, Behebung allfälliger Mängel fordern	

Bereich von der Projektierung bis zur Abnahme hinsichtlich der Notwendigkeit und des Umfangs von Kontrollmassnahmen durchzudenken. Eine allgemeine Festlegung in Form von Prüfungsreglementen oder Pflichtenheften wird sich nur bei sehr komplexen oder häufig vorkommenden Fällen anbieten; ihr sinnvoller Gebrauch setzt die Mitwirkung von gut ausgebildeten Prüfern voraus, die auch grössere Zusammenhänge zu überblicken vermögen.

Kontrollinstanzen

Die Vielfalt der zu berücksichtigenden oder mindestens zu erörternden Faktoren wird es dem Besteller nicht leicht machen, optimale Lösungen für die Anordnung von Kontrollen zu finden. Soweit er nicht selber über Fachleute verfügt, wird er solche je nach Bedeutung der Objekte beziehen, um die Organisation einer angepassten Überwachung vorzubereiten. Erfahrung, Berücksichtigung der besonderen Verhältnisse und das Ausmass des Vertrauens in die Unternehmung werden ausschlaggebend für die Wahl des Vorgehens sein. Neutrale Institutionen, die im dauernden Kontakt mit Problemen des Verhaltens und der Wahl von Bau- und Werkstoffen, der Prüfung der Schweissung einerseits stehen und über eine langjährige Erfahrung in der Zusammenarbeit mit Unternehmungen, Behörden und Fachleuten andererseits verfügen, werden häufig für die Festlegung von Anforderungen, die Organisation von Überwachungen und die Durchführung von Kontrollen und Prüfungen beansprucht. Die enge Fühlungnahme zwischen den das Gebiet der metallischen Bau- und Werkstoffe betreuenden Abteilungen der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt und dem Schweizerischen Verein für Schweissttechnik ermöglicht auch für grössere Bauvorhaben den Einsatz sowohl einer entsprechenden Anzahl qualifizierter Kontrolleure auf Ingenieur-, Techniker- und Schweissfachmann-Stufe als auch die Bereitstellung der technischen Mittel für Baustellen- und Labor-Prüfungen. Beim Auftreten von technischen Schwierigkeiten streben die Mitarbeiter an Ort und Stelle im Rahmen ihrer Kompetenzen und Kenntnisse verantwortbare Lösungen an; ihre Beurteilungen und Stellungnahmen versuchen sie, auf Grund der Sicherheitsanforderungen sowie unter Würdigung des technisch Möglichen und tragwerkseitig Notwendigen zu geben.

Erfahrungen und Richtlinien

Das gemeinsame Streben aller Beteiligten am Bau von Tragwerken, Konstruktionen und Objekten muss dahingehen, ein mög-

lichst geringes Mass der Wahrscheinlichkeit von Schäden, Beanstandungen oder Versagen zu erreichen. Abgesehen von irreparablen Auswirkungen und dem Verlust an Vertrauen stehen meistens die Aufwendungen für die Behebung von Mängeln in keinem vernünftigen Verhältnis zu den Kosten, die eine sorgfältige Überwachung verursachen würde. Die zunehmende Komplexität der Objekte, die Verwendung hochfester Baustoffe, die immer weitergehende Ausnutzung und neue Arbeitsverfahren erschweren in Verbindung mit dem erheblichen Einfluss menschlicher Faktoren den Überblick und lassen leicht die Bedeutung wichtiger Einzelfaktoren vergessen. Im gleichen Masse wird das Bedürfnis nach Kontrollen wachsen, die sowohl grössere Zusammenhänge wie auch Einzelheiten erfassen sollen.

Die Erfahrung zeigt, dass bei zu weitgehender Integration der Bauvorgänge in einer Unternehmung die Gefahr des Übersehens von Mängeln sich erhöht, sei es dass interne Kontrollstellen fehlen, zu wenig Einfluss besitzen oder bestimmte Punkte zu schematisch prüfen und bewerten. Gerade in mittleren und kleineren Unternehmungen scheint der Aufbau wirksamer Kontrollmittel häufig auf Schwierigkeiten zu stossen.

Einige Empfehlungen für die Anordnung möglichst wirksamer Kontrollen ergeben sich aus folgenden Erörterungen: Die Anforderungen an die Qualität des Objektes sind frühzeitig festzulegen; sie dürfen nicht zu allgemein gehalten sein, sondern müssen oft wesentliche Einzelheiten erfassen. Geforderte Eigenschaften sollen kontrollierbar sein; Art der Überprüfung und zulässiges Fehlerausmass sind zu vereinbaren. Besondere Sorgfalt ist den Vereinbarungen über die Verformungsfähigkeit der Stähle (Schweissbarkeit, Zähigkeit) und der Güte der Schweissverbindungen zu widmen. Organisation und Kompetenzen der Überwachung sind zu regeln und die Verantwortung für die Güte der Ausführung eindeutig festzustellen. Für die Sicherung allfälliger Ansprüche (versteckte Mängel) und die Feststellung des Zustandes eignen sich periodische Kontrollen nach Fertigstellung.

Ausblick

Die geltenden Gesetze lassen dem Hersteller mit Recht ein weites Feld der Betätigung und fordern nur in begrenzten Bereichen eine Überwachung. In Kenntnis aller Faktoren und im Blick auf die rasche Entwicklung ist zu erwarten, dass sich Auftraggeber und Hersteller noch vermehrt mit dem Problem der Gütesicherung befassen werden.

Über den Einfluss der Portlandzementmarke auf die Frostbeständigkeit des Betons und des Mörtels

DK 666.942:536.485

Von R. Joosting, Vorsteher der Abt. Beton und Bindemittel der EMPA Dübendorf-Zürich

Schon seit längerer Zeit ist bekannt, dass die Zementmarke einen Einfluss auf die Frostbeständigkeit des Betons und des Mörtels ausüben kann [1], [3]. In den letzten Jahren wurden auf diesem Gebiet weitere Untersuchungen veröffentlicht, wobei es sich erwies, dass noch viele Probleme abzuklären sind [2], [4]. Bei den Untersuchungen der EMPA konnte festgestellt werden, dass unter Umständen auch die normalen Portlandzemente der verschiedenen schweizerischen Marken die Frostbeständigkeit eines Betons oder Mörtels mehr oder weniger stark beeinflussen. Die Versuche an Mörtelprismen $4 \times 4 \times 16$ cm mit einem Zementgehalt von 300 kg/m^3 , bezogen auf den fertigen Mörtel, zeigen, dass sich für die Feststellung des Frosteinflusses auf die Mörtelqualität der Elastizitätsmodul und die Biegezugfestigkeit am besten eignen [4]¹⁾. Auch die Würfeldruckfestigkeit kann als Mass benützt werden, wenn auch hier die Einwirkung des Frostes weniger ausgeprägt ist. Eine grössere Reihe gleichzeitig laufender Untersuchungen ergab, dass die Frosteinwirkung auf Beton und auf Mörtel im gleichen Sinne verläuft, wobei sie beim Beton jedoch weniger in Erscheinung tritt als beim Vergleichsmörtel. Um eine gute Reproduzierbarkeit der Frostversuche zu erzielen, werden die Proben in einer vollautomatischen Frosttruhe derart gelagert, dass sie gegen den direkten Kaltluftstrom geschützt sind. Tabelle 1 zeigt die Reproduzierbarkeit auf Grund von Frostversuchen für fünf Zementmarken; sie kann als sehr befriedigend beurteilt werden. Dabei wurden die

¹⁾ Die Versuche sind von B. Geiger, durchgeführt worden.

Tabelle 1. Reproduzierbarkeit von Frostversuchen

Mörtelprismen $4 \times 4 \times 16$ cm, vibriert; P 300; W/C = 0,63; Natursand 0 bis 5 mm.

Versuch ¹⁾	Mörtelproben, hergestellt mit den Zementmarken				
	A	L	K	D	M
	Elastizitätsmoduli in t/cm^2)				
A 1	341	362	392	360	378
A 2	349	374	376	364	358
B 1	304	322	326	325	212
B 2	320	318	333	328	152
	Biegezug in kp/cm^2				
C 1	68	67	71	64	41
C 2	65	67	67	63	37
	Druckfestigkeit in kp/cm^2				
D 1	300	304	345	266	277
D 2	310	294	331	278	246

Versuch A: vor Frostversuch, Alter 35 Tage
Versuche B, C und D: nach 200 Frostwechseln

¹⁾ Jeder Versuch wurde zweimal durchgeführt

²⁾ Spannungsstufe 25 bis 5 kp/cm^2