

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

Artikel: Über den Einfluss der Portlandzementmarke auf die Frostbeständigkeit des Betons und des Mörtels
Autor: Joosting, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-70201>

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: 02.02.2026

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

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 Schweisstchnik 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 Fehlerrausmass sind zu vereinbaren. Besondere Sorgfalt ist den Vereinbarungen über die Verformungsfähigkeit der Stähle (Schweisbarkeit, 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 kg/cm^2 | | | | | |
| C 1 | 68 | 67 | 71 | 64 | 41 |
| C 2 | 65 | 67 | 67 | 63 | 37 |
| Druckfestigkeit in kg/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 kg/cm^2

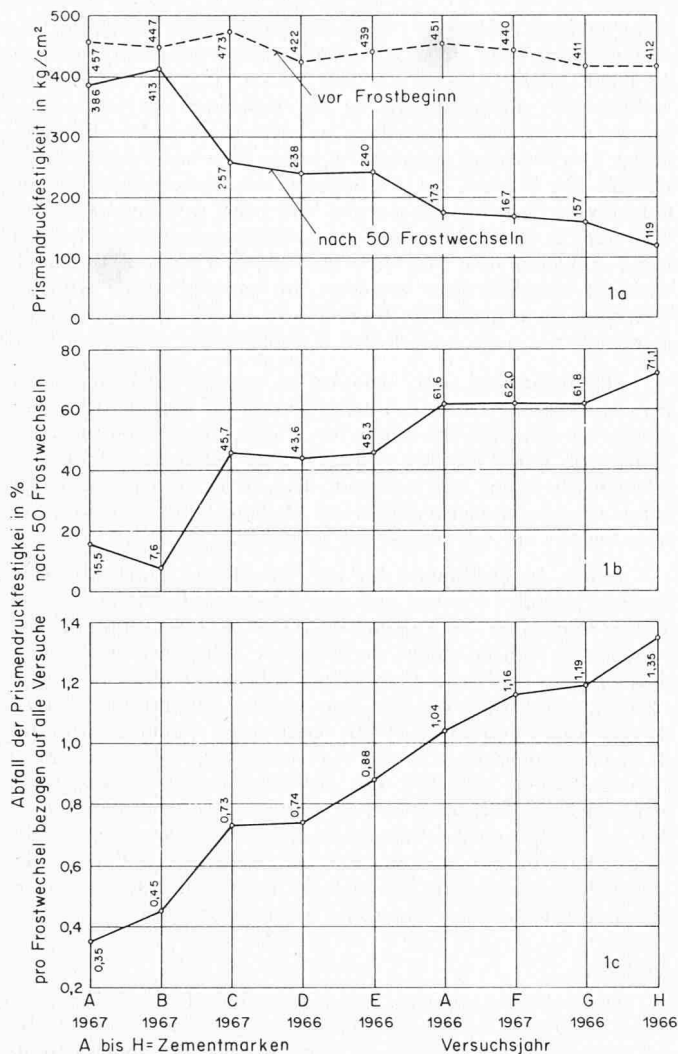


Bild 1a. Prismendruckfestigkeit von Probekörpern aus Normenmörtel, die mit verschiedenen Zementmarken hergestellt wurden

Bild 1b. Abfall der Prismendruckfestigkeit in Prozenten nach 50 Frostwechseln

Bild 1c. Mittlerer Abfall pro Frostwechsel, bezogen auf alle durchgeführten Versuche

Proben während 5½ Stunden in Luft von -20°C gefroren und nachher während 2½ Stunden in Wasser von +14°C aufgetaut.

In den Jahren 1966 und 1967 wurden an der EMPA im Auftrage der Bauherrschaften von Grossbaustellen mit je 10 Mustern von 8 normalen Portlandzementen Frostversuche an Normenmörtelprismen durchgeführt, wobei der Zement der Fabrik A sowohl im Jahre 1966 als auch im Jahre 1967 untersucht wurde. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Bild 1 aufgetragen. Aus versuchs-technischen Gründen hat man die Frosteinwirkungen auf die Mörtel-prismen anhand der Prismendruckfestigkeit bestimmt. Nach 50 Frostwechseln betrug der Abfall dieser Grösse beim Zement B 7,6%, während das Maximum von 71% beim Zement H auftrat. Die Versuche sind noch bis zu 100 Frostwechseln weitergeführt worden, wobei die unterschiedliche Frostbeständigkeit noch besser zum Ausdruck kam.

Diese Versuche zeigen, dass die normalen Portlandzemente schweizerischer Firmen, welche in ihren Normeneigenschaften ziemlich gleichmässig sind, bezüglich ihrer Frostbeständigkeitseigenschaften deutliche Unterschiede erkennen lassen. Zementmarke A, welche im Jahre 1966 hinsichtlich Abnahme der Prismendruckfestigkeit nach Versuchsende (rund 100 Frostwechseln) an sechster Stelle stand, konnte im Jahre 1967 auf die erste Stelle vorrücken. Die betreffende Fabrik hatte eine Änderung im Produktionsprozess vorgenommen. Es konnte aber nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden, dass diese Änderung die Ursache der Besserung ist. Professor K. Walz [2] hat schon darauf aufmerksam gemacht, dass einzelne Zemente eine erhöhte Luftporenbildung und damit einen erhöhten Frostwiderstand des Betons zur Folge haben. Was diese erhöhte Luftporen-

Tabelle 2. Einfluss eines luftporenbildenden Zusatzmittels auf die Frostbeständigkeit des Mörtels

Mörtelprismen 4 × 4 × 16 cm, Mörtel P 300, steifplastisch, Bausand 0 bis 5 mm. (Mittelwerte von je 3 Proben)

| Zement-marke | W/C-Wert | Elastizitätsmoduli in t/cm ² nach <i>n</i> Frostwechseln | | | | | |
|---|----------|---|---------------|-----|-----|-----|-----|
| | | <i>n</i> =0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 |
| <i>Mörtel ohne Zusatz</i> | | | | | | | |
| K | 0,61 | 291 | 299 | 293 | 306 | 314 | 309 |
| A | 0,61 | 288 | 283 | 270 | 283 | 246 | 200 |
| L | 0,63 | 310 | 291 | 292 | 263 | 224 | 174 |
| G | 0,60 | 308 | 281 | 111 | — | — | — |
| M | 0,61 | 277 | 196 | 86 | — | — | — |
| F | 0,61 | 293 | 240 | 83 | — | — | — |
| N | 0,63 | 288 | nicht messbar | | | | |
| <i>Mörtel mit einem luftporenbildenden Zusatz</i> | | | | | | | |
| K | 0,57 | 266 | 275 | 295 | 311 | 317 | 324 |
| A | 0,57 | 256 | 265 | 255 | 266 | 274 | 299 |
| L | 0,60 | 285 | 292 | 292 | 304 | 306 | 316 |
| G | 0,56 | 298 | 305 | 316 | 312 | 312 | 319 |
| M | 0,58 | 277 | 289 | 269 | 302 | 302 | 306 |
| F | 0,59 | 291 | 251 | 285 | 302 | 305 | 316 |
| N | 0,60 | 269 | 278 | 274 | 272 | 279 | 303 |

Tabelle 3. Frostversuche an ungeschützten Probekörpern mit ausländischen Zementen im Kaltluftstrom

Probekörper: 4 × 4 × 16 cm, P 300, Bausand 0 bis 5 mm, W/C = 0,63

| Zement-marke | spez. Oberfl. nach Blaine | Poren-Vol. % | Druckf. 28 Tage kp/cm² | Mineralbestand in % | | | |
|---|---------------------------|---------------|------------------------|---------------------|-----|-----|-----|
| | | | | C4A | C3A | C3S | C2S |
| X | 3480 | 3,2 | 651 | 14 | 1 | 56 | 13 |
| Y | 3470 | 3,5 | 637 | 10 | 9 | 50 | 18 |
| Z | 4470 | 4,1 | 676 | 7 | 10 | 53 | 19 |
| Elastizitätsmoduli (t/cm²) nach n Frostwechseln | | | | | | | |
| | n=0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| X | 317 | nicht messbar | — | — | — | — | — |
| Y | 322 | 189 | nicht messbar | — | — | — | — |
| Z | 300 | 305 | 313 | 288 | 309 | 324 | 248 |

Tabelle 4. Frostversuche an Probekörpern mit schweizerischen Portlandzementen, die gegen direkten Kaltluftstrom geschützt waren

Probekörper 4 × 4 × 16 cm; Normenmörtel 1:3; W/C = 0,38

| Zement-marke | spez. Oberfl. n. Blaine | Poren-Vol. % | Druckf. 28 Tage kp/cm² | Mineralbestand in % | | | |
|---|-------------------------|--------------|------------------------|---------------------|-----|-----|-----|
| | | | | C4A | C3A | C3S | C2S |
| L | 3090 | 3,8 | 568 | 8 | 12 | 47 | 21 |
| A | 2830 | 3,8 | 607 | 8 | 11 | 47 | 22 |
| K | 2860 | 3,2 | 616 | 7 | 11 | 44 | 29 |
| D | 2870 | 3,6 | 555 | 7 | 9 | 47 | 23 |
| M | 3010 | 3,4 | 607 | 8 | 11 | 36 | 30 |
| Elastizitätsmoduli (t/cm²) nach n Frostwechseln | | | | | | | |
| | n=0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| L | 311 | — | 294 | 298 | 301 | 311 | 300 |
| A | 320 | 310 | 296 | 302 | 303 | 312 | 315 |
| K | 306 | 316 | 317 | 319 | 316 | 316 | 314 |
| D | 317 | 297 | 294 | 293 | 309 | 302 | 307 |
| M | 318 | 304 | 295 | 282 | 266 | 248 | 177 |

bildung verursacht, ist noch unbekannt. Wenn sie mit einem luftporenbildenden Zusatzmittel erzeugt wird, kann man auch mit sehr wenig frostbeständigem Zement frostbeständige Mörtel herstellen.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse von Frostversuchen an Mörtelprismen aufgeführt, die mit 7 verschiedenen Zementmarken ohne und mit Zugabe eines porenbildenden Zusatzmittels hergestellt wurden. Daraus ist ersichtlich, dass die Prismen mit dem Zement N ohne Zusatzmittel keine 50 Frostwechsel ausgehalten haben, während bei den Prismen mit der Marke K auch nach 300 Frostwechseln auf Grund des Elastizitätsmoduls noch keine Frosteinwirkung festzustellen ist. Die Frostbeständigkeit, welche bei den Mörtelproben ohne Zusatz sehr unterschiedlich ist, wurde durch die Zugabe eines luftporenbildenden Zusatzmittels soweit verbessert, dass bis 300 Frost-

wechseln sämtliche Mörtelproben der 7 Zementmarken gleichwertige Resultate ergaben.

Eine weitere Untersuchung betrifft eine grössere Anzahl Zemente verschiedener Herkunft. Von diesen hat man die spezifische Oberfläche nach *Blaine* bestimmt, die chemische Analyse durchgeführt und daraus den Mineralbestand nach *Bogue* berechnet. Am Frischmörtel wurde das Porenvolumen gemessen und nach 28tägiger Erhärtung des Mörtels die Würfeldruckfestigkeit ermittelt. Schliesslich sind noch Frostversuche durchgeführt worden. Einige ausgewählte Resultate dieser Untersuchung sind in den Tabellen 3 und 4 aufgeführt. Die dort angegebenen Zahlen dürfen aber nicht miteinander verglichen werden, weil sowohl die Zusammensetzung des Mörtels als auch die Durchführung der Versuche unterschiedlich waren. Aus dieser Untersuchung ergeben sich folgende Schlüsse:

1. Ein eindeutiger Einfluss der spezifischen Oberfläche nach *Blaine* auf die Frostbeständigkeit ist nicht feststellbar. Es besteht die Möglichkeit, dass die Kornabstufung des Zementes eine gewisse Rolle spielt. Dies müsste noch durch Sedimentationsanalysen überprüft werden.
2. Das Porenvolumen des Mörtels ist abhängig von der Zementmarke und beeinflusst die Frostbeständigkeit. Die Ursache des grösseren oder kleineren Porenvolumens ist noch nicht abgeklärt.
3. Ein kleiner C_3A -Gehalt des Zementes verursacht eine schlechtere Frostbeständigkeit. Die C_3A -freien Zemente, so auch die schweizerischen Zemente mit erhöhter Sulfatbeständigkeit, wirken sich auf die Frostbeständigkeit ungünstig aus. Die Beispiele in Tabelle 3 zeigen aber, dass dies nicht das einzige Kriterium sein kann, da der Zement Y mit einem C_3A -Gehalt von 9% dennoch einen Mörtel mit einer schlechten Frostbeständigkeit ergab.
4. Nach den Ergebnissen der Tabelle 4 könnte unter Umständen auch noch das Verhältnis $C_3S:C_2S$ eine Bedeutung haben. Die 4 Zemente L, A, K und D weisen einen fast identischen Mineralbestand auf und auch die Ergebnisse der Frostversuche mit diesen Zementen

sind nahezu gleich, während mit dem Zement M, welcher ein anderes Verhältnis $C_3S:C_2S$ aufweist, der Frostversuch bedeutend schlechtere Resultate ergab.

Dass die Portlandzementmarke die Frostbeständigkeit des Betons und des Mörtels beeinflusst, ist anhand der vorliegenden Untersuchungen nachgewiesen. Die Frage nach der Grösse dieses Einflusses im Vergleich mit den anderen Kriterien für einen frostbeständigen Beton oder Mörtel, wie Petrographie und Kornaufbau des Zuschlagsmaterials, Wasser/Zement-Faktor, Verdichtung und Nachbehandlung, kann heute noch nicht beantwortet werden. Es ist anzunehmen, dass einige der letztgenannten Kriterien für die Frostbeständigkeit ein viel grösseres Gewicht haben als die Zementmarke.

Die Untersuchungen an der EMPA haben gezeigt, dass die Zementmarke die Frostbeständigkeit des Betons und des Mörtels beeinflussen kann und dass die Ursachen davon noch grösstenteils abgeklärt werden müssen. Durch die grosszügige Unterstützung der «Stiftung für wissenschaftliche, systematische Forschungen auf dem Gebiet des Betons- und Eisenbetonbaues» des Vereins Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten wird es möglich sein, weitere Versuche in Zusammenarbeit mit der Technischen Forschungs- und Beratungsstelle der schweizerischen Zementindustrie (TFB) in Angriff zu nehmen.

Literaturverzeichnis

- [1] Orth, J.: Die Frostbeständigkeit von Mass beton, «Schweizer Archiv» 23 (1957), H. 6, S. 179–188, H. 7, S. 215–231.
- [2] Walz, K.: Über den Einfluss des Zements auf den Widerstand des Betons gegen häufiges Durchfrieren. «Beton» 10 (1960), H. 4, S. 164–169.
- [3] Frey-Bär, O.: Technologie des Betons. «Wasser- und Energiewirtschaft» 53 (1961), H. 6/7, S. 159–163.
- [4] Joosting, R.: Untersuchung einiger für die Praxis wichtiger Zement- und Mörtel Eigenschaften, die von den SIA-Normen nicht erfasst werden. «SBZ» 83 (1965), H. 28, S. 489–492.

Wie entstand die Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt in Dübendorf?

Von W. Bühr, dipl. Ing. ETH, Technischer Adjunkt der EMPA, Dübendorf-Zürich

DK 061.6.001.1:378.962

Als im Jahre 1949 die Leitung der EMPA Prof. Ed. Amstutz anvertraut wurde, übernahm er zugleich die Aufgabe, die Neubauten dieser Annexanstalt der ETH der Verwirklichung entgegenzuführen. Wohl hatte man bereits Jahre vorher versucht abzuklären, wo diese Neubauten erstellt werden könnten, welcher Umfang ihnen gegeben werden sollte und was sie kosten dürften, doch war nichts Entscheidendes unternommen worden.

Prof. Amstutz erkannte vorerst, dass Neubauten für die Bearbeitung so unterschiedlicher Prüfaufgaben, wie sie den in Zürich beheimateten 18 Prüfteilungen der EMPA (Tab. S. 886) gestellt werden, nur dann befriedigend projektiert werden können, wenn der damaligen Eidg. Bauinspektion Zürich als der Vertreterin der Bauherrin und dem Architekten, W. Forrer in Zürich 8, ein wohl-durchdachtes, ausgereiftes Raumprogramm übergeben werden

