Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 63 (1995)
Heft: 9

Artikel: Zusatzstoffe. Teil 6, Pigmente
Autor: Hermann, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153807

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: 15.07.2025

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

Zusatzstoffe: Pigmente

Teil 6

Beton lässt sich mit ausgewählten Farbpigmenten einfärben.

Das Grau des Betons ist sprichwörtlich. Es hat deshalb nicht an erfolgreichen Versuchen gefehlt, Betonoberflächen farbig zu gestalten. Diese reichen vom farbigen Anstrich über das Freilegen von farbigen Zuschlagstoffen bis zum hier behandelten Einfärben des Zementsteins durch farbige Pigmente. Pigmente zum Einfärben oder Aufhellen von Betonen und Mörteln sind feinkörnige Feststoffteilchen mit Durchmessern von etwa 0,1 bis 1,0 µm (10^{-4} bis 10^{-3} mm). Sie gehören aufgrund ihrer Eigenschaften zu den Betonzusatzstoffen, über die bereits in den letzten fünf «Cementbulletins» informiert wurde [1–5].

Die Mörtelproben geben einen kleinen Einblick in die Farbenvielfalt, die sich dem Anwender von Pigmenten eröffnet.

Foto: Kurt Haberstich, TFB

Anforderungen an Pigmente

An Pigmente in Beton werden hohe Anforderungen gestellt: Sie müssen unter den stark alkalischen Bedingungen beständig und wasserunlöslich, fest im Zementstein eingebettet sowie licht- und wärmebeständig sein. Zudem sollten sie eine relativ grosse Farbstärke aufweisen. Aufgrund jahrelanger Untersuchungen ist bekannt, dass nur wenige anorganische Pigmente diese strengen Anforderungen erfüllen, nämlich Oxidpigmente. Diese kommen teilweise in der Natur vor. Verwendet werden jedoch synthetische Pigmente. Diese sind zwar teurer, haben aber den Vorteil, rein zu sein und auch eine relativ enge Partikelgrössenverteilung aufzuweisen. Die wichtigsten Oxidpigmente zum Einfärben von Betonen und Mörteln sind in *Tabelle 1* zusammengefasst.

Aus *Tabelle 1* ist ersichtlich, dass Farbpigmente vor allem Eisenoxidverbindungen sind, die sich allerdings chemisch unterscheiden. Tatsächlich lassen sich Betone mit Eisenoxiden gelb, rot, braun und schwarz einfärben.

Die Farbe der Pigmente hängt nicht nur von ihrer chemischen Zusammensetzung, sondern auch von ihrer Teilchengrösse und ihrer Teilchenform ab. Ihre Durchmesser sind kleiner als 1 µm (0,001 mm); sie sind somit mindestens zehnmal feiner als Zementteilchen. Meistens sind sie würfel- bis kugelförmig; gelbes Eisenoxid ist nadelförmig.

Färben mit Pigmenten

Damit Beton dauerhaft eingefärbt bleibt, müssen die inerten Pigmentteilchen fest verankert sein. Dies geschieht einerseits dadurch, dass sie in den Poren des Zementsteins eingebettet sind. Andererseits bestehen auch sogenannte elektrostatische Wechselwirkungen zwischen

Der Anbau des Zürcher Opernhauses setzt durch den eingefärbten Sichtbeton Akzente.
Fotos: Kurt Hermann, TFB

ionischen Strukturen [7]. Die Farbe des Betons wird nicht nur durch die Art und die Menge des Pigments bestimmt. Vielmehr wirken sich viele weitere Faktoren unterschiedlich stark aus. Dazu gehören: Zementfarbe, Farbe des Zuschlags, Wasserzementwert, Schalung, Nachbehandlung.
Wenn die Pigmentkonzentration stufenweise gesteigert wird, nimmt die Farbintensität anfänglich linear zu, um dann immer stärker abzuflachen. Bei den am häufigsten verwendeten Pigmenten wird bei 6 bis 9 Massenprozent Pigment (bezogen auf Zementmasse) ein Sättigungswert erreicht; weitere Zugaben von Pigmenten bewirken keine Farbvertiefung mehr (siehe *Abbildung 1*). Die üblichen Dosierungen von Pigmenten liegen zwischen 3 und 5 Massenprozent (bezogen auf die Zementmasse).
Die Zementfarbe ist die Basisfarbe eines Betons, die durch das Pigment verändert wird. Bei dunklen Einfärbungen, also bei Schwarz oder einem dunklen Braun oder Rot ist der Einfluss des normalerweise grauen Portlandzements gering.

Farbe	Chemische Formel	Chemische Bezeichnung	Trivialname
Weiss	TiO_2	Titan(IV)-oxid	Titandioxid
Schwarz	Fe_3O_4	Eisen(II, III)-oxid	Eisenoxidschwarz
Rot	α-Fe_2O_3	Eisen(III)-oxid	Eisenoxidrot
Gelb	α-FeOOH	Eisen(III)-oxid-hydroxid	Eisenoxidgelb
Gelb	$(Ti, Ni, Sb)O_2$	Nickel-Titan-Antimonoxid	Nickelrutilgelb
Grün	α-Cr_2O_3	Chrom(III)-oxid	Chromoxidgrün
Blau	$CoAl_2O_4$	Cobaltaluminat	Cobaltblau
Braun	Mischung aus α-FeOOH und/ oder α-Fe_2O_3 mit Fe_3O_4		Eisenoxidbraun

Tab. 1 Die wichtigsten Oxidpigmente [6].

Wer helle, leuchtende Farben oder Pastellfarben haben will, muss den wesentlich teureren Weisszement einsetzen. Dies gilt besonders für Gelb-, Grün- und Blaupigmente [8]. Das Aufhellen von Portlandzement mit Titandioxid bringt nicht viel. Annähernd weisser Beton lässt sich nur mit Weisszement und geeigneten hellen Zuschlägen herstellen. Der Zusatz von einigen Massenprozenten Titandioxid erhöht jedoch die Nasshelligkeit von weissem Beton [8].
Die Farbe bzw. der Farbton eines Betons wird auch vom Wasserzementwert beeinflusst: Je höher der W/Z-Wert, desto brillanter sind die Farben bzw. je tiefer der W/Z-Wert, desto dunkler ist der Farbton [7]. Bei Waschbeton ist auch die Farbe der Grobzuschläge wichtig [9].
Für die Herstellung von schwarzem Beton wird neben Eisenoxid-

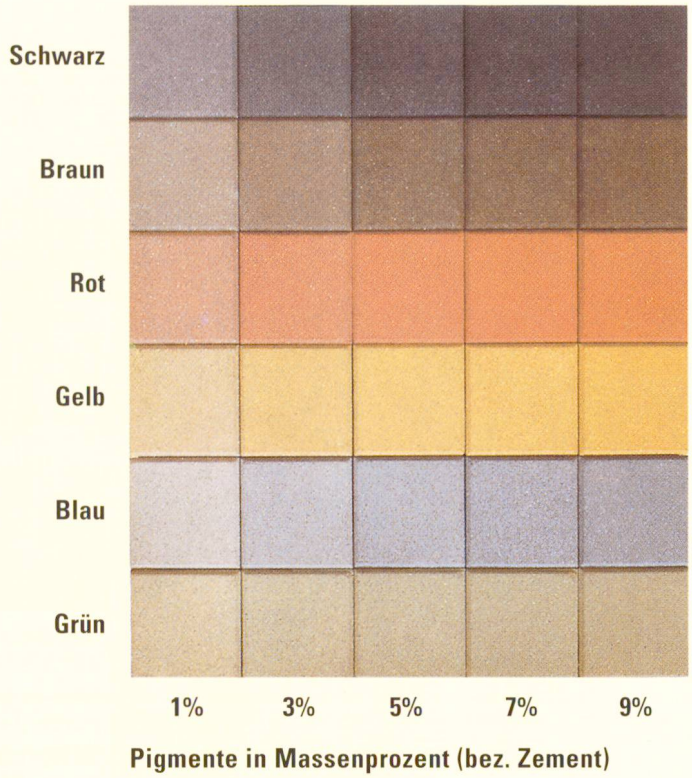


Abb. 1 Mit zunehmender Pigmentkonzentration nimmt die Farbintensität eines Betons zu, bis die sogenannte Sättigungskonzentration erreicht ist. Foto: Bayer AG

schwarz auch Russ verwendet [10]. Allerdings werden die hydrophoben (wasserabstossenden) Russteilchen nur sehr schwach im Zementstein gebunden. Dies zeigten beispielsweise Bewitterungsversuche, die vom deutschen Bundesamt für Materialforschung und -prüfung an schwarz eingefärbten Betonpflastersteinen durchgeführt wurden: Nach 24 Monaten Seeklima waren die mit Russ eingefärbten Proben deutlich ausgebleicht, während der Schwarzgrad der mit Eisenoxidschwarz pigmentierten Steine sich nur wenig verändert hatte.

Einflüsse auf Betoneigenschaften

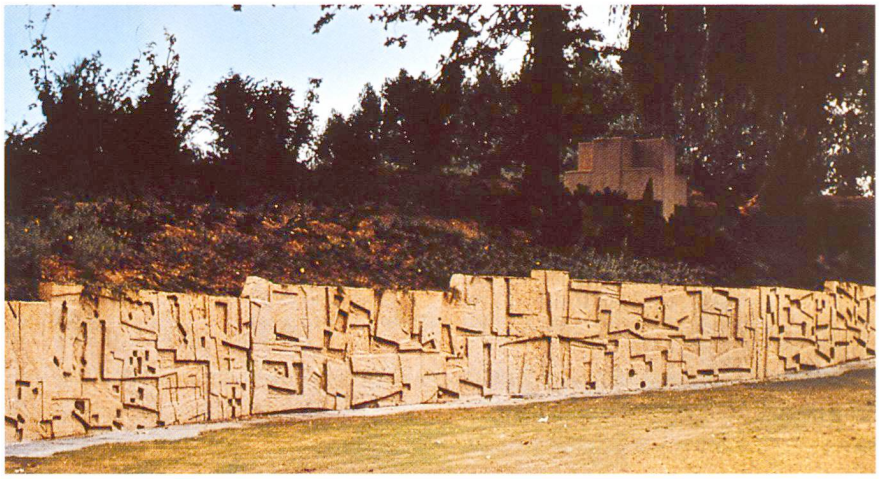
Anorganische Pigmente reagieren nicht chemisch, sie können aber die physikalischen Eigenschaften eines Betons beeinflussen. Da die Pigmente meistens in geringen Mengen eingesetzt werden, ist dieser Einfluss relativ gering und wird oft vernachlässigt. Die Verarbeitbarkeit von eingefärbtem Frischbeton wird nicht stark verändert, solange die Pigmentdosierungen niedrig sind. Die Pigmentteilchen erhöhen den Wasserbedarf nur wenig. Eine Ausnahme bildet gelbes Eisenoxid, dessen feine Nadeln wesentlich mehr Wasser binden (adsorbieren) als die anderen würfel- oder kugelförmigen Pigmente [11]. Da Eisenoxidgelb zudem relativ hoch dosiert werden muss, kann der Wasserbedarf um bis zu 20 % zunehmen [12].
Auf die Druckfestigkeit wirkt sich die Pigmentzugabe nicht negativ aus, wenn der W/Z-Wert im Vergleich zum Nullbeton nicht erhöht wird. Wenn Betone mit gleicher Konsistenz verglichen werden, bewirken die oben erwähnten gelben Pigmente einen Druckfestigkeitsverlust wegen der Erhöhung des W/Z-Wertes. Dieser negative Effekt bleibt aus, wenn die Konsistenz mittels Zugabe eines Verflüssigers (BV) oder eines

Zeit	Ursache	Farbton gegenüber Original
4 Wochen bis 4 Monate	Ausblühungen treten auf	milchig aufgehellt
1,5 bis 3 Jahre	Ausblühungen verschwinden	Originalfarbe
3–8 Jahre	Erosion	Farbtonsprung in Richtung der Eigenfarbe des Zuschlagkorns
ab 5 Jahren	Einsetzen der Verschmutzung	unregelmässig stark nachdunkelnd
ab 8 bis 10 Jahren	Pilzbefall, Moosbewuchs, Algen	gelb, braun, schwärzlich, grün

Tab. 2 Farbverändernde Vorgänge an eingefärbten Betonoberflächen (Bewitterungsversuche) [13].

Fotos: Bayer AG

Eingefärbter Ortbeton in Südafrika.



Strukturierte Stützmauer aus farbigem Ortbeton in Deutschland.

Sandgestrahlter eingefärbter Ortbeton (Italien).

Hochleistungsverflüssigers (HBV) an diejenige des Nullbetons angeglichen wird. Durch die Zugabe von BV oder HBV lässt sich der Frischbeton besser verdichten. Dadurch verbessern sich die Oberflächenbeschaffenheit und der Farbeindruck. Allerdings werden möglicherweise Ausblühungen gefördert [7].

Farbveränderungen

Eingefärbte Betonteile altern wie «normaler» Beton. Im Freien unterliegen sie vielfältigen Beanspruchungen. Man denke nur an die Sonneneinstrahlung (UV-Licht), die Feuchtigkeit oder die Temperaturwechsel. Die Folgen sind Farbveränderungen, die auf verschiedenen Effekten beruhen können. Einige von ihnen sind in *Tabelle 2* zusammengefasst. Am häufigsten diskutiert werden sicher Ausblühungen, die durch die Reaktion des bei der Hydratation des Zements gebildeten Calciumhydroxids mit dem CO_2 aus der Luft («Kohlensäure») entstehen. Auf farbigem Beton sind sie besonders gut zu erkennen und stören entsprechend stark. Neben Geduld – die meisten Ausblühungen verschwinden nach einiger Zeit – helfen verschiedene Verfahren [13]. So lassen sich Flecken und Ausblühungen auf einer farbigen Oberfläche durch Sand- oder durch Sand-/Wasserstrahlen entfernen. Mit Vorsicht anzuwenden ist das ebenfalls empfohlene Besprühen mit verdünnter Salzsäure. Alle Methoden erfordern vom Anwender viel Erfahrung. Deshalb sollten nur ausgewiesene Fachleute eingesetzt werden, damit die Freude am farbigen Beton nicht unnötig getrübt wird.

Hinweise für die Praxis

«Das Einfärben von Beton ist eine Kunst, die es zu erlernen gilt [14].» Angesichts der grossen Anzahl von

6 Symptom	Ursache	Vorbeugung
Pigmentnester	Alte, feuchte Pigmente (Feuchtigkeit kann durch Papiersäcke eindringen und Pigmente verklumpen)	Trocken lagern, «first in, first out»
	Falsche Dosierreihenfolge und zu kurze Mischzeit bei Pigmentpulvern	Pigmente den Zuschlägen zudosieren und trocken mischen
	Slurry mit Zement dosiert	Slurry den Zuschlägen zudosieren
	Unverträglichkeit zwischen Slurries und Zusatzmitteln	Verträglichkeit Slurry–Zusatzmittel prüfen, evt. auf Zusatzmittel verzichten
Scheckige Einfärbung	Pigmentlieferung fehlerhaft	Nur Pigmente mit Qualitätszertifikat verwenden
	Dosierfehler	– Pigmente automatisch abwägen – Slurries vor Gebrauch homogenisieren
	Wasserzementwert schwankt	Wasserzementwert genau steuern
	Pigmentdispergierung unterschiedlich	Pigment immer zum gleichen Zeitpunkt des Mischzyklus dosieren
	Farbschwankungen bei – Zement – Füller – Mehlkorn	Eingangskontrolle
	Fehlfunktion von Mischer und/oder Dosierorgan	Warten und reparieren

Tab. 3 Fehlerquellen und ihre Behebung beim Einfärben von Beton [14].

Parametern, die die Farbe eines mit Pigmenten eingefärbten Betons beeinflussen, ist dies nicht erstaunlich. Ausgedehnte Vorversuche unter möglichst wirklichkeitsnahen Bedingungen sind unerlässlich. Pigmente sind gegenwärtig in drei verschiedenen Anwendungsformen erhältlich:

- Pulver
- flüssige Suspensionen (Slurries)
- Granulate (Perlen mit 30 bis 500 µm Durchmesser [15])

Die geeignete Anwendungsform ergibt sich aus den Gegebenheiten beim Hersteller. Granulate haben den Vorteil, nicht zu stauben und frei zu fliessen. Sie werden im Frischbeton gleich gut wie oder sogar besser als die entsprechenden Pulver verteilt [15]. Slurries sind trotz hohen Pigmentkonzentrationen gut fliessfähig und stabil. Sie sollten trotzdem relativ rasch nach der Lieferung (1 bis 2 Monate) verarbeitet und vor dem Gebrauch immer durchmischt werden. Die Dosierung kann volumetrisch (Slurries und Granulate) oder gravimetrisch (alle drei Handelsformen) erfolgen. Als Reihenfolgen beim Mischen haben sich bewährt [16]:

- Zuschlag – Pulver oder Suspension – 10 bis 15 s mischen – Zement – Wasser bzw.
- Zuschlag – Grossteil des Wassers – Granulat (10 bis 15 s Mischzeit einhalten) – Zement – Rest des Wassers

Wichtig ist vor allem, dass immer die gleiche Reihenfolge beibehalten wird und die einzelnen Komponenten eine möglichst gleichmässige Qualität aufweisen. In *Tabelle 3* sind häufige Fehler und Vorschläge zur Vermeidung dieser Fehler zusammengestellt.

Die Nachbehandlung hat einen entscheidenden Einfluss auf die später auftretenden Ausblühungen. Bei Fertigteilen werden diese beispielsweise durch zu kalte oder zu nasse Lagerung direkt «gezüchtet». Die Schalung, die einige Zeit stehen bleibt, reicht für die Nachbehandlung von vertikalen Wänden aus Ortbeton aus. Sie soll an allen Stellen gleich lang belassen werden. Feuchtes Nachbehandeln nach dem Entfernen der Schalung kann die Farbe nachteilig beeinflussen. Empfohlen wird leichtes Sandstrahlen, um eine einheitliche Erscheinung vertikaler Flächen zu erreichen. Allerdings werden dadurch die Farben etwas abgestumpft [17]. Horizontale Flächen sollten nicht mit Kunststoffolien, feuchter Jute oder ähnlichen Materialien abgedeckt werden, da dadurch Flecken und Ausblühungen gefördert werden. Bewährt hat sich das Besprühen mit speziell entwickelten Curing compounds, die keine Gelbverfärbung ergeben [17, 18].

Umweltaspekte

Pigmente werden in Deutschland als inerte Stäube klassifiziert. Sie sind ungiftig (LD_{50} bei Ratten

> 10 g/kg). Die Hautverträglichkeit ist gut, auf Schleimhäuten wurden schwache Reizungen durch mechanische Wirkungen festgestellt [6]. Eisenoxide werden bei hohen Temperaturen nicht in gefährliche Stoffe umgewandelt. Verpackungsmaterial kann deshalb problemlos verbrannt werden [6].
Geringe Eisenoxidmengen färben das Wasser intensiv. Sie sind nicht fischtoxisch. Durch Anlagerungen an Pflanzen hemmen sie aber die Lichtaufnahme und stören so die Assimilation. Da sie sehr fein sind, setzen sie sich in Klärbecken langsam und meist unvollständig ab. Durch die Verwendung von sogenannten anionenaktiven Absetzmitteln wird ein «ziemlich vollständiges Absetzen» erreicht [6].

Anwendungen

Auf die Anwendungen von farbigem Beton wurde teilweise bereits hingewiesen. Sie wurden auch oft im «Cementbulletin» behandelt [19–24].

Grosse gleichmässig eingefärbte Flächen sind nicht einfach herzustellen. Sie würden sonst sicher noch wesentlich mehr als Gestaltungselemente im Hochbau eingesetzt. Bewährt haben sich rot eingefärbte Beläge bei Bushaltestellen oder Velowegen. Hauptabnehmer von Farbpigmenten sind aber die Hersteller von Betonwaren aller Art. Beispiele sind farbige Betonpflastersteine und -platten, Betondachziegel.

Kurt Hermann

Literatur

[1] *Hermann, K.*, «Zusatzstoffe», Cementbulletin **63** [4], 3–7 (1995).
[2] *Hermann, K.*, «Zusatzstoffe: Hydraulischer Kalk», Cementbulletin **63** [5], 3–7 (1995).
[3] *Hermann, K.*, «Zusatzstoffe: Flugaschen», Cementbulletin **63** [6], 3–7 (1995).
[4] *Hermann, K.*, «Zusatzstoffe: Silicastaub», Cementbulletin **63** [7], 3–7 (1995).
[5] *Hermann, K.*, «Zusatzstoffe: Füller», Cementbulletin **63** [8], 3–7 (1995).
[6] *Püttbach, E.*, «Pigmente für die Einfärbung von Beton», Betonwerk und Fertigteil-Technik **53** [2], 124–137 (1987).
[7] *Veit, A. M.*, «Vorschläge zur Verbesserung farbiger Betonwaren», Betonwerk und Fertigteil-Technik **60** [11], 92–100 (1994).
[8] *Schleusser, W.*, «Farbiger Beton: Möglichkeiten der Farbgebung mit Pigmenten», Betonwerk und Fertigteil-Technik **57** [8], 44–53 (1991).
[9] *Hodson, R. C.*, and *Kushner, D. D.*, «Ingredients, texture, and industrially-colored concrete», Concrete International **14** [9], 21–25 (1992).
[10] *Jungk, A. E., Kümmel, S.*, und *Zoch, F. H.*, «Eleganz in Schwarz – Welches Pigment für welchen Beton?», Betonwerk und Fertigteil-Technik **61** [1], 130–135 (1995).
[11] «Gekleurd beton», Betoniek **8** [12], 1–8 (1990).
[12] *Büchner, G.*, «Pigmente und die Betonherstellung», Betonwerk und Fertigteil-Technik **57** [8], 54–61 (1991).
[13] *von Szadkowski, G.*, «Bewitterung von farbigem Beton», Betonwerk und Fertigteil-Technik **57** [11], 50 (1991).
[14] *Jungk, A. E.*, und *Hauck, H. G.*, «Beton in Farbe – Mit kleinen Fehlern?», Betonwerk und Fertigteil-Technik **54** [5], 75–81 (1988).
[15] *Jungk, A. E.*, und *Wölfert, B.*, «Beton und Farben – ein Vergnügen?», Betonwerk und Fertigteil-Technik **55** [1], 30–36 (1989).
[16] *Plenker, H.-P.*, «Dosierung und Verteilung von Pigmenten in Beton», Betonwerk und Fertigteil-Technik **57** [9], 58–65 (1991).
[17] *Hurd, M. K.*, «Tips for coloring concrete», Concrete Construction **38** [5], 345–351 (1993).
[18] *Arnold, P. J.*, «Getting ahead with colored concrete», Concrete Construction **33** [9], 853–857 (1988).
[19] *Meier, B.*, «Skulpturenallee im Schwimmbad», Cementbulletin **58** [12], 1–10 (1990).
[20] *Trüb, U.*, «Das Einfärben von Beton», Cementbulletin **52** [3], 1–4 (1984).
[21] «Freundlicher Sichtbeton», Cementbulletin **51** [13], 1–8 (1983).
[22] «Farbige Beton-Pflastersteine», Cementbulletin **50** [1], 1–8 (1982).
[23] «Farbig getönter Beton», Cementbulletin **49** [13], 1–8 (1981).
[24] *Trüb, U.*, «Farbiges Band aus Beton», Cementbulletin **47** [24], 1–8 (1979).