



---

Anschrift	Panoramaweg 1
	88441 Mittelbiberach
Telefon	07351/16 85 16
Telefax	07351/57 96 72
E-mail:	rolf.wohlfahrt@t-online.de

---

## 0 Inhalt

- 1 Allgemeines
- 2 Verwendete Unterlagen
- 3 Planmäßige Bauausführung
- 4 Untersuchungen
- 5 Wertung

## 1 Allgemeines

Mit dem Schreiben vom 05.04.2014 (Eingang am 13.04.2016) erteilte das Hochbauamt der Stadt Biberach den Auftrag, die tragenden Teile der Mali-Turnhalle im Untergeschoss zu untersuchen, um eine Entscheidungsgrundlage zu erhalten für die anstehende Sanierung der Turnhalle. Hierzu fand am 31.03.2016 eine erste Begehung des Untergeschosses der Turnhalle statt, um einen ersten Eindruck von der Gebäudesubstanz zu gewinnen. Am 08.04.2016 wurden die Untersuchungen durchgeführt.

## 2 Verwendete Unterlagen

- [1] Vom Architekturbüro Kull und Voitun wurden zwei Pläne zur Verfügung gestellt:  
Sporthalle Untergeschoss, Plan Nr. 1c  
Sporthalle Schnitt A-A, Plan Nr. 4c
- [2] DIN 1045:1959-11 Bauwerke aus Stahlbeton
- [3] DIN EN 13791:2008-05 Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen

- [4] Beton - Herstellung nach Norm, Arbeitshilfe für Ausbildung, Planung und Baupraxis, Schriftenreihe der Zement- und Betonindustrie, 21. Auflage, Verlag Bau + Technik GmbH, 2016

### 3 Planmäßige Bauausführung

Die Mali-Turnhalle wurde im Zeitraum 1965/66 errichtet und ist rund 50 Jahre alt. Die damals gültige Norm für Bauwerke aus Stahlbeton war die DIN 1045 in der Ausgabe November 1959 [2]. In den Bildern 1 und 2, Beilagen 1 und 2 sind der Grundriss und der Vertikalschnitt angegeben (aus [1]).

Nach Durchsicht der verfügbaren Tragwerkspläne durch Herrn Paul Landthaler wurden von ihm folgende Angaben im Schreiben vom 06.04.2016 gemacht:

Bodenplatte:

Für die Bodenplatte existiert kein Plan

Anschluss Bodenplatte-Außenwände:

Für diesen Anschluss gibt es keine Angaben in den Plänen, ob ein Fugenblech oder eine Aufkantung vorgesehen wurden.

Wände:

D = 24 cm

Beton B300; Betonstahl BSt IIIa + IVb (bauzeitlich)

Betondeckung planmäßig 2,0 cm, teilweise aufgrund Bewehrungsfehler nur ca. 1,0 cm

Stützen:

Beton B300; Betonstahl BSt IIIa (bauzeitlich)

Betondeckung 2,0 cm

Mit Beton B300 wurde damals ein Beton bezeichnet, der eine Druckfestigkeit von mindestens 300 kp/cm<sup>2</sup> (30 N/mm<sup>2</sup>) besaß, geprüft im Alter von 28 Tagen an Würfeln mit der Kantenlänge 20 cm.

Betonstahl BSt IIIa war eine naturharte Betonstahlsorte mit der Streckgrenze 4.200 kp/cm<sup>2</sup> (420 N/mm<sup>2</sup>) für Stäbe bis  $\bar{d}$  18 mm und 4.000 kp/cm<sup>2</sup> (400 N/mm<sup>2</sup>) für Stäbe größer  $\bar{d}$  18 mm. Die Zugfestigkeit betrug mindestens 5.000 kp/cm<sup>2</sup> (500 N/mm<sup>2</sup>).

Betonstahl IVb war ein kaltgestreckter Sonderbetonstahl für Bewehrungsmatten. Für diese Stahlsorte wurde eine Mindeststreckgrenze von 5.000 kp/cm<sup>2</sup> (500 N/mm<sup>2</sup>) gefordert.

Nach den Plänen und den weiteren Angaben zu urteilen war das gesamte Tragwerk einheitlich aus der genannten Betonsorte und den Betonstahlsorten hergestellt worden. Daher wurden umfangreiche Untersuchungen im Technikbereich und einzelne Untersuchungen im Nutzbereich (Lager, Küche) des Untergeschosses durchgeführt. Im Technikbereich waren die Betonteile nicht verkleidet und nicht verputzt, so dass die ursprünglichen Betonflächen untersucht werden konnten. Der Boden war nicht tragend und wurde deshalb nur augenscheinlich untersucht.

Der planmäßige Grundwasserstand lag bei 530,20 m. Herr Wilk (Hochbauamt der Stadt Biberach) stellte die Grundwasserablesungen aus benachbarten Pegeln zur Verfügung (Bilder 3 und 4, Beilage 3). Danach lagen die zuletzt gemessenen Grundwasserstände bei

530,82 m	Pegel 4201 Wilhelm-Leger-Straße, Malischule
530,53 m	Pegel 4209 Adenauerallee, Stadion

## 4 Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden am 08.04.2016 durchgeführt. Zur Orientierung und Markierung der Untersuchungsstellen diente der Grundrissplan aus [1]. Darin wurden die Untersuchungsstellen fortlaufend nummeriert (Bild 1).

An den Untersuchungsstellen 1 bis 5 standen unbehandelte Betonflächen von Stützen und Wandscheiben in der ursprünglichen Ausführung zur Verfügung. Dort wurden folgenden Prüfungen durchgeführt:

- Bestimmung der Betonfestigkeitsklasse mit Rückprallhammer an geschliffenen Flächen,
- Bestimmung der Karbonatisierungstiefe durch Einsprühen der Betonbruchfläche mit Phenolphthalein,
- Bestimmung der Betondeckung durch Prüfung mit dem Bewehrungssucher Hilti Ferroskan 200,
- Bestimmung des Korrosionszustands an der freigelegten Bewehrung.

### Untersuchungsstelle 1

Bild 5, Beilage 4 zeigt eine Ansicht des Flurs, in dem sich die Untersuchungsstellen 1 bis 5 befanden. Bild 6, Beilage 4 zeigt die Untersuchungsstelle mit der geschliffenen Fläche. An einer Ecke wurde eine Bruchfläche geschlagen. Die Karbonatisierungstiefe war größer als 3

cm und hatte die Längsbewehrung erreicht. Der Bägel  $\bar{d}$  8 mm aus Stahl III hatte an der  $\pm$ -  
óersten Stelle eine Betondeckung von nur 5 mm. Dort war leichter oberflächiger Rost zu be-  
obachten. Die Längsbewehrung war ohne Rostspuren (Bild 7, Beilage 5).

Die Betondeckung, die an drei Flächen aufgenommen worden war (Bild 8, Beilage 5), be-  
wegte sich zwischen 5 mm und 68 mm, im Mittel 22 mm. Im Bild 8 sind die Aufnahmesignale  
dargestellt. Ein hohes Signal ergibt eine niedrige Betondeckung. Die Betondeckung wird von  
oben nach unten bis zum Beginn des Signals abgelesen.

Die Präfung mit dem Räckprallhammer ergab folgende Räckprallwerte:

46 44 42 43 56 43 52 44 45 48 44    Median 44

#### Untersuchungsstelle 2

Bild 9, Beilage 6 zeigt eine Ansicht der Untersuchungsstelle 2. An der Ecke wurde eine  
Bruchfläche geschlagen. Die Karbonatisierungstiefe betrug mehr als 4 cm. Bewehrung wur-  
de nicht freigelegt (Bild 10, Beilage 6). Die Betondeckung wurde an vier Flächen aufgenom-  
men (Bild 11, Beilage 7). Die Werte bewegten sich zwischen 8 mm und 84 mm, im Mittel 31  
mm.

Die Präfung mit dem Räckprallhammer ergab folgende Räckprallwerte:

46 42 38 45 34 40 39 49 40 40 47    Median 40

#### Untersuchungsstelle 3

Bild 12, Beilage 7 zeigt eine Ansicht der Untersuchungsstelle 3. An der Ecke wurde eine  
Bruchfläche geschlagen. Die Karbonatisierungstiefe betrug 22 mm. Bewehrung wurde nicht  
freigelegt (Bild 13, Beilage 8). Die Betondeckung wurde an vier Flächen aufgenommen (Bild  
14, Beilage 8). Die Werte bewegten sich zwischen 7 mm und 84 mm, im Mittel 45 mm.

Die Präfung mit dem Räckprallhammer ergab folgende Räckprallwerte:

48 42 51 46 54 47 44 38 40 40 34    Median 44

#### Untersuchungsstelle 4

Bild 15, Beilage 9 zeigt eine Ansicht der Untersuchungsstelle 4. An der Ecke wurde eine  
Bruchfläche geschlagen. Die Karbonatisierungstiefe betrug 36 mm. Bewehrung wurde nicht  
freigelegt (Bild 16, Beilage 9). Die Betondeckung wurde an vier Flächen aufgenommen (Bild  
17, Beilage 10). Die Werte bewegten sich zwischen 13 mm und 82 mm, im Mittel 53 mm.

Die Prüfung mit dem Räckprallhammer ergab folgende Räckprallwerte:

49 52 47 39 46 46 48 45 43 45 43 Median 46

#### Untersuchungsstelle 5

Bild 18, Beilage 10 zeigt eine Ansicht der Untersuchungsstelle 5. An der Ecke wurde eine Bruchfläche geschlagen. Die Karbonatisierungstiefe war größer als 4 cm. Ein Stab der Längsbewehrung war sichtbar. Die Betondeckung an dieser Stelle betrug 20 mm (Bild 19, Beilage 11). An dem Stab waren keine Korrosionsspuren. Die Betondeckung wurde an vier Flächen aufgenommen (Bild 20, Beilage 11). Die Werte bewegten sich zwischen 8 mm und 74 mm, im Mittel 35 mm.

Die Prüfung mit dem Räckprallhammer ergab folgende Räckprallwerte:

34 38 44 44 40 42 34 49 48 47 42 Median 42

#### Untersuchungsstelle 6

An der Stelle 6 war der Boden feucht. Die Feuchtigkeit kam nicht von außen, sondern rührte von einem undichten Abwasserrohr her (Bilder 21 und 22, Beilage 12).

#### Untersuchungsstelle 7

Es handelte sich um eine Doppelstange unter dem Unterzug unter dem Hallenboden an einer Bauwerksfuge (Bild 23, Beilage 13). Die Kiessandschicht wurde bereichsweise entfernt bis das Grundwasser zum Vorschein kam. An der äußeren Fläche war der vermutlich höchste Grundwasserstand zu sehen, etwa 40 cm über dem aktuellen Grundwasserstand (Bild 24, Beilage 13). Der Beton zeigte keine Verfärbungen, Fehlstellen oder Abplatzungen, die auf eine Korrosionsaktivität an der Bewehrung hinweisen würden.

#### Untersuchungsstelle 8

Hier befand sich eine einfache Stange unter dem Unterzug unter dem Hallenboden. Die Kiessandschicht wurde bereichsweise entfernt bis zum Grundwasserspiegel (Bild 25, Beilage 14). Der Beton zeigte keine Verfärbungen, Fehlstellen oder Abplatzungen, die auf eine Korrosionsaktivität an der Bewehrung hinweisen würden.

#### Untersuchungsstelle 9

Es handelte sich um eine Doppelstange unter dem Unterzug unter dem Hallenboden an einer Bauwerksfuge (Bild 26, Beilage 14). Die Kiessandschicht wurde bereichsweise entfernt bis das Grundwasser zum Vorschein kam. Der Beton zeigte keine Verfärbungen, Fehlstellen

oder Abplatzungen, die auf eine Korrosionstätigkeit an der Bewehrung hinweisen würden.

#### Untersuchungsstelle 10

Auf dem Boden war viel Feuchtigkeit zu sehen. Diese Feuchtigkeit hatte ihre Ursache in einem undichten Abwasserrohr (Bilder 27 und 28, Beilage 15).

#### Untersuchungsstelle 11

Hier waren Verfärbungen in der Wand zu sehen. Es wurden Probeflächen freigelegt und es kam Beton und Ziegel als Untergrund zum Vorschein. Im Beton und im Ziegel waren keine Verfärbungen. Die Verfärbungen waren nur im Putz.

An der Betonfläche wurden Prüfungen mit dem Räckprallhammer vorgenommen. Es wurden folgende Räckprallwerte gemessen:

52 53 53 46 50 45 54 44 44 46 41     Median 46

#### Untersuchungsstelle 12

An der Tär wurden intensive Verfärbungen festgestellt (Bilder 33 bis 36, Beilagen 18 und 19). Entlang der Wand deuteten sich Abplatzungen im Putz an. Die Verfärbungen waren nur im Putz. Im Auftrag des Hochbauamtes war vorher der Estrich in einem Streifen entfernt worden, um den Bodenaufbau festzustellen. Auf der Betonplatte war eine bituminöse Abdichtung, darüber eine Korkschicht (ca. 25 mm bis 28 mm dick) und dann der Estrich mit einem Bodenbelag (Bild 37, Beilage 20). Die bituminöse Abdichtung endete kurz vor der aufgehenden Wand. Somit konnte Feuchtigkeit aus dem Betonboden in den Putz gelangen. Aus dem Betonboden wurde eine Probe entnommen und in einen PE-Beutel verpackt. Im Labor wurde die Probe bis zum Darrgewicht getrocknet. Es wurde ein Feuchtigkeitsgehalt von 11,2 % gemessen.

#### Untersuchungsstelle 13

Hier befand sich eine Stütze, an deren Fußpunkt der Estrich bereichsweise entfernt worden war (Bild 38, Beilage 20). Die Putzleiste (Eckleiste) war angerostet. Der Putz wurde entfernt und der Beton bis zur Bewehrung abgeschlagen. An der Bruchfläche wurde die Karbonatisierungstiefe zu 10 mm gemessen. An der Bewehrung wurde keine Korrosion festgestellt (Bild 39, Beilage 21).

#### Untersuchungsstelle 14

Die hier untersuchte Stütze (Bild 40, Beilage 21) war mit einer wärmedämmenden Schicht (Polystyrolschaum) und mit Putz ummantelt. Am Stützenfuß wurden diese Schichten ent-

fernt, bis der Beton zum Vorschein kam. Die entnommenen Putz- und Polystyrolteile fühlten sich feucht an. Aus der Bodenplatte wurde eine Betonprobe entnommen. Der im Labor bestimmte Feuchtigkeitsgehalt betrug 5,1 %.

## 5 Wertung

Zusammenfassend können folgende Aussagen getroffen werden:

### Betonfestigkeitsklasse

Aus den Prüfungen mit dem Räckprallhammer an den Untersuchungsstellen 1 bis 5 kann eine Festigkeitsklasse hergeleitet werden, die aber lediglich einen orientierenden Charakter hat, weil das Ergebnis durch die hohe Karbonatisierungstiefe verfälscht werden könnte. Die Auswertung erfolgt nach DIN EN 13791 [3].

Medianwerte  $R_m$  an den Stellen 1 bis 5: 44 40 44 46 42

$\min R_m = 40 \text{ h } 40 \text{ " } \text{ C30/37}$

Präfbereichswert  $R_{mm} = 44 \text{ h } 43 \text{ " } \text{ C30/37}$

Der Beton kann also in die Festigkeitsklasse C30/37 eingeordnet werden mit den zuvor beschriebenen Einschränkungen.

### Karbonatisierungstiefe

An den freiliegenden Betonteilen ist die Karbonatisierungstiefe weit fortgeschritten und hat die Bewehrungslage erreicht.

An den durch Putz und/oder Dämmschicht ummantelten Stützen ist die Karbonatisierungstiefe deutlich geringer, so dass die Bewehrung noch im alkalischen Bereich liegt und vor Korrosion geschützt ist.

### Korrosion der Bewehrung

An einem Biegel, der mit einer Betonschicht von ca. 5 mm abgedeckt ist, liegt nur eine oberflächige Korrosion vor. Bei den übrigen freigelegten Bewehrungsstäben wurde keine Korrosion festgestellt. Die Verfärbungen an den Wänden beziehen sich nur auf den Putz und sind keine Anzeichen für Korrosion der Bewehrung. Die Bodenplatte ist sehr feucht. Die Feuchtigkeit zieht von der Bodenplatte in den angrenzenden Putz, verdunstet dort und hinterlässt aufgenommene Stoffe aus dem Bodenaufbau.

### Betondeckung

Entsprechend der damaligen üblichen Bauausführung liegt die Betondeckung in einem Streubereich, der sein Minimum bei 5 mm hat und ist nach heutigen Maßstäben ungenügend. Allerdings führte dieser Umstand wegen der günstigen Umgebungsbedingungen bisher nicht zu Veränderungen an der Bausubstanz.

### Dauerhaftigkeit

Die Angriffsrisiken für tragende Betonbauteile werden heute mit Hilfe von Expositionsklassen beschrieben. Für ein Betonbauteil, das Bewehrung enthält und Luft sowie Feuchtigkeit ausgesetzt ist, liegt das Risiko der Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung mit den Expositionsklassen XC1 bis XC4 vor. Für Bauteile, die sich in trockener oder ständig in nasser Umgebung befinden, ist das Risiko am geringsten. Beispiele für solche Bauteile sind: Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden); Beton, der ständig in Wasser getaucht ist [4]. Diesen Bauteilen wird die Expositionsklasse XC1 zugeordnet

Um diesem Risiko zu widerstehen, werden an den zu verwendenden Beton gewisse Anforderungen gestellt:

maximaler Wasser-Zementwert w/z bzw. (w/z) <sub>eq</sub>	0,75
minimale Festigkeitsklasse	C 16/20
Mindestzementgehalt	240 kg/m <sup>3</sup>

Das mit diesen Zahlen belegte Anforderungsniveau ist niedrig und wird von üblichen Betonsorten erreicht. Insofern war der bei der Turnhalle verwendete Beton bei den dort herrschenden Umgebungsbedingungen durchaus in der Lage, die Dauerhaftigkeit in den vergangenen 50 Jahren zu gewährleisten. Hinzu kommt, dass der Werkstoff Beton gerade in einer Unterwasserumgebung die beste Festigkeitsentwicklung zeigt, wenn es sich nicht um aggressive Wasser handelt.

Bei den Untersuchungen im Untergeschoss wurden keine Anzeichen vorgefunden, die auf eine Herabsetzung der ursprünglich vorhandenen Standsicherheit in diesem Bereich hindeuteten.

Für die bevorstehenden Jahre ist das Schadensrisiko größer als in den vergangenen Jahren, weil die Karbonatisierung fortgeschritten ist und der Korrosionsschutz durch die Alkalität des Betons nicht mehr gegeben ist. Die Karbonatisierung verbessert andererseits das Betongefüge, macht es dichter und behindert den für die Korrosion notwendigen Zutritt von Sauerstoff. Das Gefährdungspotential für die Bewehrung in einer trockenen Umgebung und für Bauteile in Grundwasser ist gering. Wesentlich problematischer sind die Bauteile mit wechselnd nasser und trockener Umgebung. Das sind die Stützen im Grundwasser, wenn sich

der Grundwasserstand ändert. Bisher wurden an den drei untersuchten Stützen keine Veränderungen vorgefunden, so dass aktuell keine Gefahr für die Standsicherheit besteht. Für die Zukunft werden keine Vorsorgemaßnahmen an den tragenden Bauwerksteilen im Untergeschoss empfohlen. Es sollten jedoch alle bekannten Risikofaktoren (z. B. undichte Abwasserleitungen) ausgeschaltet werden. Es werden regelmäßige Bauwerksinspektionen mit Inspektionsintervallen von höchstens 5 Jahren empfohlen, um rechtzeitig auf mögliche Veränderungen reagieren zu können.

Prof. Dr.-Ing. R. Wohlfahrt

Das Gutachten wurde in einer unterschriebenen Ausfertigung und zusätzlich als pdf-Datei dem Auftraggeber übergeben.