



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Abhängigkeit der Betondruckfestigkeit von Formenwerkstoff und Verdichtung

Dependence of the concrete pressure resistance on form material and condensing

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Kolbitsch

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

Dipl.-Ing. Dr. techn. Sinan Korjenic

am

Institut für Hochbau und Technologie

Zentrum für Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Emrah Büke

E 505 / 0626052

Lassallestrasse 22/20

A-1020 Wien

Wien, im Januar 2015

Emrah Büke

VORWORT

Mein größtes Lob und Dank gebührt Gott dem Weltenherren, der meine Gebete erhörte und mir in allen Bereichen meines Lebens half.

Diese Arbeit möchte ich meiner Mutter widmen.

Ohne Sie, Ihre Unterstützung, Ihre ermutigende Worte, Ihre Geduld, Ihre Toleranz, wäre ich ganz bestimmt nicht so weit gekommen. Ihr schulde ich den allerhöchsten Dank. Ich entschuldige mich aus tiefstem Herzen für manche harte Stunden in der ich ihr das Leben schwer gemacht habe. Es tut mir leid.

“Das Paradies liegt unter den Füßen der Mütter.“¹

“Das Mutterherz ist der schönste und unverlierbarste Platz des Sohnes, selbst wenn er schon graue Haare trägt. Und jeder hat im ganzen Weltall nur ein einziges solches Herz.“²

Für seine wertvolle Unterstützung bedanke ich mich mein Vater, der mich vor allem in finanzieller Hinsicht unterstützt hat.

Ein spezieller Dank gilt auch mein Bruder Emre für seine Geduld. Monatelang hat er, wegen mir/dieser Arbeit, auf sein Notebook verzichtet, da mein PC vor einige Monate den Geist aufgegeben hat.

Bei meinem jüngsten Bruder Enes, der vier Jahre alt war als ich mit dem Studium anfing, bedanke ich mich vor allem für seine ständig gute Laune. Er hat mich oft grundlos zum Lachen gebracht.

Zusätzlich bedanke ich mich an meinem Kollegen Farzam Movahed-Rad für die reibungslose Mitwirkung an diesem Projekt.

Und schließlich auch noch herzlichen Dank an Herrn Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. techn. Sinan Korjenic und an Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Kolbitsch, unter deren außerordentlich problemfreier Betreuung ich meine Diplomarbeit schreiben durfte.

¹ Hadith [= Zitate des Propheten Mohammed]

² Adalbert Stifter

ABHÄNGIGKEIT DER BETONDRUCKFESTIGKEIT VON FORMENWERKSTOFFEN UND VERDICHTEN

Emrah Büke

KURZFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit soll folgende Fragen nachgegangen werden:

- Welche Vor- & Nachteile haben die Formenwerkstoffe und haben Sie einen Einfluss auf die Druckfestigkeit von Betonproben?
- Mit welcher Rüttelfrequenz des Rütteltisches bekommt man beim Verdichten der Betonproben die besseren Druckfestigkeitswerte?
- Welche Auswirkung haben die Befestigungsmöglichkeiten der Formen am Rütteltisch auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden im Labor Betonwürfeln der Betongüten C16/20, C25/30 und C30/37 hergestellt, normgerecht behandelt und nach 28 Tagen abgedrückt.

Für die Qualitätsprüfung des Betons wurden Frischbetonprüfungen durchgeführt. Bei der Frischbetonprüfung wurden der Luftporengehalt, die Betontemperatur, das Ausbreitmaß, das Betonwicht und der Gesamtwassergehalt bestimmt.

Es wurden mindestens drei Proben je Serie, insgesamt 48 Proben, mit den Abmessungen 150x150x150 mm hergestellt, und daraus die mittlere Druckfestigkeit ermittelt.

Dabei wurden Betonproben in Formen aus Gusseisen, Kunststoff und in Hybrid (Marke Esty und Kombi) hergestellt. Desweiteren wurde untersucht, welche Auswirkungen es auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten hat, wenn die Probekörper magnetisch am Tisch befestigt oder händisch gegen den Tisch gehalten werden.

Die Betonproben wurden mit 4000 Schwingung/Min und 9000Schwingung/Min. verdichtet, um die Auswirkungen auf die Betondruckfestigkeiten zu ermitteln.

Der zweite Teil dieser Forschungsarbeit wurde von meinem Kollegen Farzam Movahed-Rad bearbeitet, in diesem Teil wird vor allem die Zylinderdruckfestigkeit untersucht.

DEPENDENCE OF THE CONCRETE PRESSURE RESISTANCE ON FORM MATERIALS AND CONDENSE

Emrah Büke

ABSTRACT

The emphasis of the work at hand is to pursue the questions:

- Which advantages and disadvantages do form materials have and do they have an influence on pressure resistance of concrete tests?
- With which frequency of the condensing table does one get better pressure resistance values while condensing the concrete tests for?
- Which effects do connection possibilities of the forms have on the condensing table over the pressure resistance and the laboratory assistant?

As a part of this masters' thesis concrete cubes of the concrete quality C16/20, C25/30 and C30/37 were produced. This cubes were treated conforming to standards and tested after 28 days.

Fresh concrete tests and compression tests were parts of the concrete quality inspection of this research. Due to the fresh concrete test the flowability, the concrete density, the air content, concrete temperature, concrete goblin and the whole water salary were determined. At least three tests were produced per series with the dimensions of 150x150x150mm and the middle pressure resistances were determined. All together 48 tests per series were provided.

Concrete tests in forms of downpour iron, plastic and hybrid, brand Esty and Kombi, were produced. In addition, it was examined which effects it has on the pressure resistance and on the laboratory assistant if the forms are fastened magnetically at the table or held by hand against the table.

The concrete tests were condensed with 4000 oscillation/min. and 9000 oscillation/min to determine the effects on the concrete pressure resistances.

The second part of this research project was worked out by my colleague Farzam Movahed-Rad. In his part especially the cylinder pressure resistance is examined.

Inhaltsverzeichnis

DIPLOMARBEIT	I
VORWORT	II
KURZFASSUNG	III
ABSTRACT	IV
1 Einleitung	1
2 Die Begriffsbestimmung des Beton	3
3 Die Unterteilung von Beton	4
3.1 Nach dem Erhärtungszustand des Betons:	4
3.1.1 Nach der Rohdichte:	4
3.1.2 Nach dem Ort der Herstellung:	4
3.1.3 Nach der Art des Einbringens:	5
3.1.4 Nach der Art der Verdichtung:	5
3.1.5 Nach der Art der Oberflächenbeschaffenheit:	5
3.1.6 In den ÖNormen wird der Beton eingeteilt:	5
3.1.7 Nach den Anforderungen an die Herstellung unterteilt man:	6
4 Gesteinskörnungen für Beton	7
4.1 Arten, Unterteilung	7
4.1.1 Kiessand	8
4.1.2 Brechsand und Splitt	8
4.1.3 Leichte Gesteinskörnungen für Beton	8
4.1.4 Schwere Gesteinskörnungen	11
4.1.5 Fasern	11
4.1.6 Unterteilung der Gesteinskörnungen in Korngruppen	11
4.2 Eigenschaften der Gesteinskörnungen für Beton	13
4.2.1 Allgemeine Anforderungen	13
4.2.4 Festigkeit	15
4.2.5 Frostbeständigkeit	17

4.3 Kornzusammensetzung.....	18
4.3.1 Allgemeine Anforderungen an die Korngrößenverteilung	18
4.3.2 Zuschlagkennwerte und Sieblinien	19
4.3.3 Sieblinienwerte	25
4.3.4 Eigenfeuchte der Zuschläge	25
5 Gesamtwasser	26
5.1 Allgemeine Anforderungen	26
6 Zusatzmittel und Zusatzstoffe.....	28
6.1 Zusatzstoffe	28
6.1.1 Arten von Zusatzstoffen	28
6.1.2 k-Wert-Ansatz	29
6.2 Zusatzmittel	30
7 Herstellung von Probemischungen im Labor für Prüfzwecke	32
7.1 Temperatur und Luftfeuchtigkeit.....	32
7.2 Geräte und Lagerräume	32
7.3 Betonkomponenten	32
7.4 Dosieren und Mischen.....	33
8 Probenahme von Frischbeton.....	34
8.1 Geräte	34
8.2 Probenahme	34
8.2.1 Probenahmeplan	34
8.2.2 Messung der Temperatur der Proben	34
8.2.3 Transport, Handhabung und Behandlung der Proben.....	35
9 Probekörper, Formen, Maße und Nachbehandlung	36
9.1 Form, Maße und zulässige Abweichungen von Probekörpern.....	36
9.1.1 Allgemeines	36
9.1.2 Würfel	36
9.1.3 Zylinder.....	37
9.2 Herstellung und Lagerung (Nachbehandlung) von Probekörpern	39
9.2.1 Geräte.....	39

9.2.2 Vorbereitung und Füllen der Formen.....	40
9.2.3 Verdichten des Betons	41
9.2.4 Lagerung der Probekörper	41
9.2.5 Transport der Probekörper	42
10 Frischbetonprüfung	43
10.1 Konsistenz.....	43
10.1.1 Ausbreitmaß	43
10.1.1.1 Geräte.....	43
10.1.1.2 Durchführung.....	46
10.1.1.3 Prüfergebnisse	48
10.2 Frischbeton-Rohdichte	49
10.2.1 Prüfverfahren.....	49
10.2.2 Geräte.....	49
10.2.3 Durchführung.....	50
10.3 Luftgehalt des Frischbetons	51
10.3.1 Druckausgleichsverfahren	51
10.3.2 Geräte.....	51
10.3.3 Durchführung.....	53
10.4 Gesamtwassergehalt des Frischbetons und der Gesteinskörnungen	55
10.4.1 Mikrowellenverfahren	55
10.4.2 Geräte.....	55
10.4.3 Durchführung der Prüfung.....	55
10.4.4 Prüfergebnisse	57
11 Forschungsarbeit:.....	58
11.1 Motivation	58
11.2 Kooperation	59
11.3 Terminmanagement	64
11.4 Versuchsreihen	65
11.5 Herstellen, Lagern und Abdrücken von Probekörpern in dieser Arbeit:	67
11.6 Ergebnisse	70

11.6.1 Ergebnisse in Tabellenform.....	70
11.6.2 Ergebnisse in Diagrammen	77
11.6.2.1 Vergleich mittlerer Druckfestigkeiten je nach Formenmaterial	78
11.6.2.2 Vergleich mittlerer Druckfestigkeiten je nach Verdichtungsfrequenz.....	80
11.6.2.3 Vergleich mittlerer Druckfestigkeiten je nach Befestigungsart.....	82
11.7 Schlussfolgerung.....	84
11.7.1 Vor - & Nachteile der Formenwerkstoffe	84
11.7.2 Die Auswirkung der Rüttelfrequenzen auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten.	90
11.7.3 Die Auswirkung der Befestigungsmöglichkeiten der Formen auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten.....	91
QUELLENVERZEICHNIS	92
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	100
TABELLENVERZEICHNIS	102

1 Einleitung

Aktuell werden für die Herstellung von Betonproben meist Würfel- und Zylinderformen aus Gusseisen verwendet.

In den Normen ist nicht festgelegt aus welchem Material die Formen bestehen sollen. Zugrundeliegend wird nur bestimmt, dass die Formen kalibriert sein müssen.

Des Weiteren sind in den Normen folgende Punkte nicht festgelegt.

- Mit welcher Drehzahl soll die Betonproben verdichtet werden?
 - „Rütteltisch mit einer Mindestfrequenz von ungefähr 40 Hz (2400 Schwingungen pro Minute), wobei die Wirksamkeit des Rütteltisches für eine praktisch vollständige Verdichtung des Frischbetons ausreichend sein muss. Die Verdichtung mit dem Rütteltisch gilt als Referenzverfahren.“³

- Wie sollen die Formen an den Tisch befestigt werden?
 - Möglichkeiten der Befestigung:
 - magnetisch am Tisch befestigt oder
 - händisch gegen den Tisch gehalten
 - „Verdichten mit dem Rütteltisch: Die Rüttelbehandlung muss mindestens für die Dauer angewendet werden, die für eine vollständige Verdichtung des Betons notwendig ist. Der Behälter sollte vorzugsweise am Tisch befestigt sein oder fest dageengehalten werden. Zu langes Rütteln, das den Verlust künstlich eingeführter Luftporen bewirken kann, ist zu vermeiden.“³

Im Rahmen dieser Diplomarbeit, „Abhängigkeit der Betondruckfestigkeit von Formenwerkstoff und Verdichtung“, wird untersucht, welche Auswirkungen die Würfelformen aus unterschiedlichen Materialien, auf die Betondruckfestigkeit haben. Dabei wurden Betonproben aus Gusseisen, Kunststoff- und Hybridformen (Marke: Esty und Kombi) hergestellt, abgedrückt und die Ergebnisse ausgewertet.

³ ONR 23303 01-09-2010: Prüfverfahren Beton (PVB) Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe

Zusätzlich wurde überprüft, welche Auswirkung die Rüttelfrequenzen auf die Druckfestigkeit haben. Desweiteren wurde untersucht, welche Auswirkungen es auf den Laboranten hat, wenn man die Probekörper magnetisch am Tisch befestigt oder händisch gegen den Tisch hält. In den Normen ist es ebenfalls nicht festgeschrieben worden, wie die Proben auf den Tisch befestigt sein sollen.

Die Betonproben wurden mit 4000 Schwingung/Min und 9000 Schwingung/Min. wurden die Betonproben verdichtet, um die mögliche Auswirkung auf die Betondruckfestigkeiten zu ermitteln.

Die Versuche wurden mit den Betongüten C16/20, C25/30 und C30/37 durchgeführt. Je Versuch wurden 48 Formen hergestellt, abgedrückt und die Ergebnisse ausgewertet.

2 Die Begriffsbestimmung des Beton

„Beton war schon in der Antike ein bewährter Baustoff. Die Phönizier, Griechen und Römer haben damit gebaut, wenn auch die Zusammensetzung nicht ganz der heutigen Betonzusammensetzung entsprach. Der heutige Beton wird aus Zement, Gesteinskörnungen (früher und auch heute noch häufig Betonzuschlag genannt), Wasser und meist noch mit Betonzusatzstoffen und Betonzusatzmitteln hergestellt. Das Gemisch aus Zement und Wasser bewirkt beim Frischbeton die Verarbeitbarkeit und den Zusammenhalt. Beim erhärteten Beton sichert es die Verkittung der Zuschlagkörner und damit das Zustandekommen der Festigkeit und der Dichteit des Betons.“⁴

„Im Gegensatz zu fast allen anderen Baustoffen wird Beton auf der Baustelle oder vom Betonlieferwerk hergestellt, d.h. die ausführende Firmen sind auch für die Qualität des Baustoffes zuständig. Eine Ausnahme davon bilden Betonfertigteile, Betonformstücke und Betonsteine, die vom Fertigteilwerk geprüft und einbaufertig angeliefert werden.

Aus den vielen Möglichkeiten der Zusammensetzung und Anwendung des Baustoffs Beton ergeben sich verschiedene Unterteilungen.“⁵

⁴ Reinhardt; Ingenieurbaustoffe [38]

⁵ Schneider; Frischbeton [2]

3 Die Unterteilung von Beton

3.1 Nach dem Erhärtungszustand des Betons:

Frischbeton: „Als Frischbeton wird der noch nicht erhärtete Beton bezeichnet. Frischbeton befindet sich in einem verarbeitbaren Zustand, kann transportiert, umgelagert, in eine Schalung eingebracht und verdichtet werde.“⁶

Festbeton: „Als Festbeton wird der weitgehend oder vollständig erhärtete Beton bezeichnet.“⁶

3.1.1 Nach der Rohdichte:

Tabelle 1: Einteilung des Betons nach der Rohdichte [2]

	Festbetonrohddichte (kg/dm³)	Gesteinskörnungen (Beispiele)
Leichtbeton	>0,8 ≤2,0	Naturbims, Hüttenbims, Blähton, Blähschiefer
Normalbeton	>2,0 ≤2,6	Sand, Kies, Kalkstein, Hochofenschlackensand, Hochofenstückschlacke
Schwerbeton	>2,6	Schwerspat, Eisenerz Stahlsand, Stahlschrott

3.1.2 Nach dem Ort der Herstellung:

Transportbeton: „hierbei wird der Beton, dessen Bestandteile außerhalb der Baustelle abgemessen und vorgemischt wurden, in einbaufertigem Zustand an der Baustelle angeliefert (Lieferbeton).“⁶

Baustellenbeton: hierbei wird der Beton bezeichnet, der auf der Baustelle vom Verwender des Betons für seine eigene Verwendung hergestellt wird.“⁶

Betonfertigteil: „Ein Betonfertigteil ist ein Bauteil aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton, das in einem Werk industriell oder auf der Baustelle vor Ort vorgefertigt wird und nachträglich, oft mit einem Kran, in seine endgültige Lage versetzt wird.“⁷

⁶ Schneider; Frischbeton [2]

⁷ Betonfertigteil [39]

3.1.3 Nach der Art des Einbringens:

Kranbeton: „Als Kranbeton wird der mittels Kran und Silo oder Kübel eingebrachter Beton bezeichnet.“⁸

Pumpbeton: Pumpbeton ist Beton, der mit Hilfe einer Betonpumpe gefördert wird. [40]

Fließbeton: „Fließbeton ist ein flüssiger Beton, der direkt (evtl. mittels Rutsche) in die Schalung gegossen wird und sich darin selbst verteilt.“⁸

Selbstverdichtender Beton (SVB): „Selbstverdichtender Beton ist ein Fließbeton, der nicht mehr verdichtet werden muss.“⁸ „Durch geeignete Rezepturen und Zusatzmittel ist es möglich, Beton herzustellen, der sich ohne von außen zugeführte Verdichtungsenergie (also ohne Rütteln) selbst verdichtet.“⁹

Spritzbeton: „Spritzbeton ist Beton, der mit Druckluft in Rohrleitungen oder Schläuchen zu einer Spritzdüse gefördert wird, mit der der Beton flächenartig aufgetragen und gleichzeitig verdichtet wird.“⁹ „Für die Ausgangsmischung wird je nach Spritztechnik zwischen Trocken- und Nassgemisch unterschieden.“⁸

3.1.4 Nach der Art der Verdichtung:

Stampf-; Stocher-; Rüttel-; Schock-; Schleuder-; Walzbeton [2]

3.1.5 Nach der Art der Oberflächenbeschaffenheit:

- Sichtbeton,
- Waschbeton, und
- steinmetzmäßig bearbeitete Betonoberflächen [2]

3.1.6 In den ÖNormen wird der Beton eingeteilt:

Tabelle 2: Einteilung des Betons laut Norm EN 1992 [2]

Önorm B4710-1 bzw. Önorm EN 206-1	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
--	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

⁸ Schneider; Frischbeton [2]

⁹ Liste gebräuchlicher Betone [40]

3.1.7 Nach den Anforderungen an die Herstellung unterteilt man:

- Erstprüfungsbeton (Beton E): „Beton, dessen Zusammensetzung in einer Erstprüfung so festgelegt wird, dass die für die Betonsorte erforderlichen Anforderungen erfüllt werden.“¹⁰
- Standardbeton; „Rezeptbeton (Beton R): Beton nach Zusammensetzung, dessen Zusammensetzung in einer am Ort der Verwendung des Betons gültigen Norm vorgegeben ist.“¹⁰

„Beton wird entsprechend der Art der Festlegung der Betonzusammensetzung und der Übereinstimmungslenkung in die Betonkategorien Erstprüfungsbeton und Rezeptbeton gemäß Önorm B4710-1 01-10-2007 Tabelle NAD 3 eingeteilt. Soweit für die erforderlichen Expositionsklassen und Druckfestigkeitsklassen beide Betonkategorien möglich sind, ist die Wahl der Betonkategorie dem Betonhersteller freigestellt. Rezeptbeton darf für Baulose bis maximal 50 m³ Beton verwendet werden.“¹⁰

„Rezeptbeton darf für Baulose bis maximal 50 m³ Beton verwendet werden. Normalbeton ohne Betonzusatzmittel oder Zusatzstoffe für die Expositionsklassen XC0, XC1 und XC2 gilt als Rezeptbeton, wenn nachstehender Mischvorgang und die Anforderungen der Önorm B4710-1 01-10-2007 Tabelle NAD 11 eingehalten und dokumentiert werden.

Die Wasser- und Zementzugabe hat mit kalibrierten Geräten zu erfolgen.

Mischvorgang: Zuerst wird ein Zementleim (Wasserzugabe je 100 kg Zement gemäß Önorm B4710-1 01-10-2007 Tabelle NAD 11) mit etwa der halben Menge der Gesteinskörnung (Korngemisch) gemischt. Diesem sehr weichen Zementleim-Gesteinskörnung-Gemisch wird dann die restliche Menge der Gesteinskörnung zugegeben, bis der Beton die gewünschte weiche (F45 oder weicher)

Verarbeitbarkeit hat. Wenn nach Ende des Mischvorganges der Beton zu steif ist, darf kein weiteres Wasser oder Zusatzmittel zugegeben werden; die Mische ist in diesem Fall zu verwerfen.“¹⁰

¹⁰ Önorm B 4710-1 01-10-2007 [3]

4 Gesteinskörnungen für Beton

„Gesteinskörnungen sind ein Gemenge von Körnern aus natürlichem oder künstlichem, dichtem oder porigem Gestein. Mengen- und volumenmäßig bildet der Zuschlag den Hauptbestandteil des Betons; daher bestimmen seine Eigenschaften auch wesentlich die des Betons.“¹¹

Es gilt folgende Normenlage:

- ÖNORM EN 12620 2014-02-15: regelt die Begriffe und Klassenbezeichnungen auf europäischer Basis
- ÖNORM B 3131 2011-08-11: legt die Anforderungen an Gesteinskörnungen für Österreich [3]

4.1 Arten, Unterteilung

- Normal- und Schwergesteinskörnung werden nach ÖNORM EN 12620 2014-02-15 (auch gemäß ÖNORM B 3131 2011-08-11) unterteilt; [3]
- Leichtgesteinskörnung werden nach ÖNORM EN 13055-1 2014-11-01 (auch gemäß ÖNORM B 3136 1996-06-01) unterteilt, [3]
- Recyclingzuschläge, die den für den herzustellenden Beton relevanten Anforderungen gemäß ÖNORM EN 12620 2014-02-15 entsprechen, für XF2 und XF4 nur dann, wenn Ausgangsbeton XF2 und XF4 war. [3]

„Gesteinskörnungen sind getrennt nach Art und Körnung so zu lagern, dass keine schädliche Entmischung auftritt und allfälliges Oberflächenwasser abfließen kann.“¹²

Nachfolgend werden einige wichtige und technologisch interessante Gesteinskörnungen besonders beschrieben.

¹¹ Schneider; Frischbeton [2]

¹² Önorm B 4710-1 01-10-2007 [3]

4.1.1 Kiessand

„Kiessande werden aus Fluss- oder Gletschergeschieben durch Baggern oder Saugen gewonnen, danach in den meisten Fällen in Aufbereitungsanlagen gewaschen, größere Gesteinsbrocken ggf. zu Splitt gebrochen, nach Korngruppen getrennt, ggf. wieder zusammengesetzt und noch einmal durchmischt.“¹³

4.1.2 Brechsand und Splitt

„Zuschlag aus natürlichem Felsgestein (z.B. Kalksplitt) oder künstlichen, schlackenartigen Erzeugnissen werden in Steinbrechern, Prallmühlen und Walzen zerkleinert und dann gesiebt. Mehrfaches Brechen der Natursteine führt zu gedrungenen Körnern, die gewaschen als "Edelsplitt" angeboten werden. Bei spezieller Verwendung sind höhere Preise und weitere Transportwege als bei Kiessand möglich.“¹³

„Gebrochene Zuschläge werden besonders dort verwendet, wo natürliche Kiesvorkommen fehlen oder das Verschleißverhalten maßgebend ist, z.B. im Betonstraßenbau, in der Betonsteinindustrie, aber auch bei Sichtbeton zur Erzielung dekorativer Effekte.“¹³

4.1.3 Leichte Gesteinskörnungen für Beton

„Leichte Gesteinskörnungen für gefügedichten Leichtbeton und haufwerksporigen Leichtbeton lassen sich in 4 Gruppen einteilen:“¹³

- natürliche organisch / anorganische leichte Gesteinskörnungen
- künstliche organisch / anorganische leichte Gesteinskörnungen [2]

„Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über Arten und Korneigenschaften von leichten Gesteinskörnungen.“¹³

¹³ Schneider; Frischbeton [2]

Tabelle 3: Leichte Gesteinskörnungen – Arten und Korneigenschaften [2]

Leichte Gesteinskörnungen	Kornrohddichte kg/m ³	Kornfestigkeit	Erreichbare Betonfestigkeitsklasse bei Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge
natürliche anorganische Leichtzuschlagstoffe			
Naturbims	400 - 900	gering	LC 8/9
Schaumlava	700 – 1 500	mittel	LC 20/22
Kalktuffe	1 900 – 2 700	mittel	LC 45/50
natürliche organische Leichtzuschlagstoffe			
Holzspäne, Holz- wolle	400 bis 600	gering	< LC 8/9
	400 bis 600	gering	< LC 8/9
künstliche anorganische Leichtzuschlagstoffe			
Blähton	600 – 1 600	gering bis hoch	LC 45/50
Blähschiefer	800 – 1 800	mittel bis hoch	LC 45/50
Hüttenbims	500 – 1 500	gering bis mittel	LC 20/22
Sinterbims	500 – 1 800	gering bis mittel	LC 20/22
Ziegelsplitt	1 200 – 1 800	mittel	LC 20/22
Blähglimmer	100 - 200	sehr gering	LB 5/50
Blähperlite	100 - 300	sehr gering	< LC 8/9
künstliche organische leichte Gesteinskörnungen			
Polystyrol- schaumkugeln	40	sehr gering	< LC 8/9

Naturbims „entstand als vulkanische Auswurfmasse mit besonders feinzelligem Gefüge“¹⁴

Schaumlava oder Lavaschlacke (auch Lavakies) „ist ein vulkanisches Lockergestein. Die Oberfläche ist offenporig und rau, die Poren sind überwiegend in sich geschlossene Einzelporen.“¹⁴

Holzspäne und Holzwohle „bestehen meist aus Spänen und Holzwohle aus Nadelholz, die vor der Verarbeitung mit Zementschlämme, Kalkschlämme oder Wasserglas "mineralisiert" werden, um zementschädliche Holzinhaltstoffe unschädlich zu machen.“¹⁴

¹⁴ Schneider; Frischbeton [2]

Blähton und Blähschiefer „werden aus Ton bzw. Tonschiefer hergestellt, die beim Brennen bei ca. 1100-1200°C durch Gasbildung aufblähen und dadurch porig werden, durch Sintern (Sinterung: Erhitzen eines pulverförmigen Materials bis in Schmelzpunktnähe; es erweicht und wird teigig. Sintergrenze: jener Temperaturbereich, wo das Rohmehl teigig und flüssig wird.) wird die Kornoberfläche weitgehend porenfrei. Blähton ist rundlich, Blähschiefer eckig.“¹⁵

Blähglas: „entsteht durch Aufbereitung von Recyclingglas. Durch ein spezielles Blähverfahren entstehen Granalien mit definierten Durchmessern zum Beispiel: 1 mm, 2 mm und 4 mm.“¹⁵

Hüttenbims „entsteht durch Aufschäumen der Hochofenschlackenschmelze. Hüttenbims ist wegen der meist grobporigen Kornoberfläche und der oft ungünstigen Kornform betontechnologisch ungünstig, weil er für gleiche Festigkeit mehr Zementleim benötigt.“¹⁵

Sinterbims „entsteht durch thermische Behandlung von Flugasche, Müll- und Feuerungsschlacken und weist idente Eigenschaften wie der Hüttenbims auf.“¹⁵

Ziegelsplitt „ist gebrochenes Ziegeltrümmerngut oder Ziegeleibruch.“¹⁵

Blähglimmer „entsteht durch Erhitzen (ca. 1000 - 1200°C) von glimmerreichen Tonmineralien mit hohem Gehalt an chemisch gebundenem Wasser. Durch das Blähen erfolgt eine Volumsvergrößerung auf das 20 bis 30 fache.“¹⁵

Blähperlit „entsteht durch Erhitzen (ca. 800 - 1000°C) von Perlit. Perlit ist ein wasserhaltiges vulkanisches Glas etwa von granitischer Zusammensetzung.“¹⁵

Polystyrolschaumkugeln, „expandiertes Polystyrol (EPS) bis etwa 4 mm Größe. Um eine bessere Haftung mit dem Zementstein zu erreichen, wird der Mischung entweder etwas Kalk oder ein Luftporenbildner beigegeben. Die Eigenschaften von Polystyrol, nämlich kein Wasser aufzunehmen und auch eine geringe Wasserdampfdurchlässigkeit übertragen sich auf den Beton.“¹⁵

Leichtbetonzuschläge sind in Österreich in folgenden Normen geregelt:

ÖNORM B 3313: 1980 10 01	Hochofenschlacke, Allgemeines
ÖNORM B 3314:1980 10 01	Hüttenbims und Hüttensplitt porös
ÖNORM B 3317:1980 10 01	Zuschläge aus Hochofenschlacke für Beton
ÖNORM EN 450: 2005 08 01	Flugasche für Beton
ÖNORM EN 13055-1 : 2004 11 01	Leichte Gesteinskörnungen Teil 1: Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel

¹⁵ Schneider; Frischbeton [2]

4.1.4 Schwere Gesteinskörnungen

„Der Schutz gegen γ - und Neutronenstrahlen im Reaktor- und Luftschutzbau erfordert besondere Zuschläge. Zur Abschirmung der γ -Strahlen werden schwere Elemente benötigt, die z.B. in Eisenerzen (Hämatit, Magnetit, Ilmenit), die als Gangart auch Baryt enthalten, vorkommen.“¹⁶

4.1.5 Fasern

„Fasern werden dem Zementstein bzw. dem Beton zugegeben, um die Zug- und Biegezugfestigkeit sowie die Verformbarkeit bei hoher Beanspruchung (Duktilität) zu erhöhen. Eine weitere interessante Anwendung ergibt sich aus der Zumischung von Polypropylenfasern zur Erhöhung des Abplatzverhaltens von Betonen unter Brandangriff. Früher sind nur Asbestfasern verwendet worden (z.B. Asbestzement - Weilplatten). In den letzten zehn Jahren ist jedoch eine intensive Forschungs- und Entwicklungstätigkeit zur Anwendung von Betonen mit verschiedensten Fasern zu beobachten. Asbest wird aus Gründen der Karzinomwirkung nicht mehr eingesetzt.

Eine kurze Übersicht über die häufigst verwendeten Faserarten und deren Eigenschaften ist aus der Tabelle 7 zu entnehmen.“¹⁶

4.1.6 Unterteilung der Gesteinskörnungen in Korngruppen

„Für die fachgerechte Betonherstellung ist eine Klassifizierung der Gesteinskörnungen und Überwachung ihrer Eigenschaften erforderlich. Nach den Prüfkorngrößen (Nennweite einer Sieböffnung in mm, durch die ein Korn gerade noch hindurchgeht) werden die Gesteinskörnungen in verschiedene Korngruppen eingeteilt. Prüfkorngrößen sind die Korngrößen, die nach ÖNORM EN 12620 für die Prüfsiebung festgelegt sind und die Korngruppen begrenzen. Eine Korngruppe ist die Bezeichnung einer Gesteinskörnung mittels unterer (d) und oberer (0) Siebgröße, ausgedrückt als d/D.“¹⁶

¹⁶ Schneider; Frischbeton [2]



Abb. 1: Normensiebsetz für die genormten Korngruppen [43]

„Ein Normsiebsetz setzt sich aus Sieben mit folgenden Nennweiten in mm zusammen.“¹⁷

- Maschensiebe in mm: 0,063 / 0,125 / 0,25 / 0,5 / 1,0 / 2,0
- Quadratlochsiebe in mm: 4 / 8 / 11,2 / 16 / 22,4 / 31,5 / 45 / 63 / 90 / 125

„Durch die jeweilige Verdoppelung der Lochweite von einem Sieb zum nächst größeren wird berücksichtigt, dass sich die Kornverteilung im gröberen Bereich auf die Eigenschaften des Betons weniger auswirkt als im feineren Bereich. Korngruppe 4/8 bedeutet, dass der überwiegende Teil der Körnung zwar durch das 8 mm Maschensieb fällt aber dann auf dem 4 mm Maschensieb liegen bleibt. Die angelieferten Korngruppen enthalten häufig größere oder kleinere Einzelkörner als sie nach den Grenzsieben aufweisen sollten. Diese werden als Über- und Unterkorn bezeichnet.“¹⁷

„Das Verhältnis D/d der Korngruppen darf nicht kleiner als 1,4 sein.“¹⁷

Betreffend der Kornzusammensetzung wird gemäß EN 12620 15-02-2014 unterschieden in

- Grobe Gesteinskörnungen
- Feine Gesteinskörnungen
- Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnungen 0/8mm

¹⁷ Schneider; Frischbeton [2]

- Korngemisch
- Füller (Gesteinsmehl)
- Gesteinskörnungen für besondere Anwendungsgebiete [44]

4.2 Eigenschaften der Gesteinskörnungen für Beton

4.2.1 Allgemeine Anforderungen

„Für die Verwendung eines Zuschlages für Beton nach ÖNORM B 4710-1 01-10-2007 sind die Anforderungen in ÖNORM EN 12620 15-02-2014 festgelegt.“¹⁸

„EN 12620 regelt die allgemeinen Definitionen und möglichen Klassifizierungen von Gesteinskörnungen, die ÖNORM B 3131 regelt die erforderlichen Klassen zur Herstellung von Beton gemäß ÖNORM B 4710-1. In der ÖNORM 4710-1 selbst sind die Anforderungen an die Gesteinskörnungen im Hinblick auf die Sieblinien und verschiedenen Expositionsklassen des Betons (Frost (XF - Klasse), mechanischer Angriff (XM - Klasse), Chloride (XDKlasse), Karbonatisierung (XC – Klasse)) angeführt.“¹⁸

Sie betreffen die

- Kornform (SI),
- Oberflächenbeschaffenheit,
- Frostbeständigkeit (F),
- Festigkeit
- schädliche Bestandteile,
- Sieblinien und Bezeichnung der Körnung,
- Eigenfeuchte des Zuschlages,
- Widerstand gegen Zertrümmerung (LA),
- Widerstand gegen Polieren (PSV),

Mindestanforderungen an Gesteinskörnungen bei den verschiedenen Umweltklassen bzw. empfohlene Betonsorten ist aus der Tabelle NAD6 der ÖNORM B 4710-1 zu entnehmen.

¹⁸ Schneider; Frischbeton [2]

4.2.2 Kornform

„Frischbeton soll ein Maximum an Verdichtungswilligkeit bei einer möglichst geringen Zementleimzugabe besitzen. Die Verdichtungswilligkeit wird unter anderem durch die Kornform beeinflusst. Die Kornform soll möglichst gedrungen sein.“¹⁹

„Die Art der Gesteinskörnung, die Korngröße und die Kategorien, zB plattige Kornform, Frostwiderstand, Widerstand gegen Abrieb, Feinstoffe, sind auszuwählen, gemäß Önorm B 4710-1 01-10-2007 Tabelle NAD 6 mit Anforderungen gemäß ÖNORM EN 12620 und ÖNORM B 3131, wobei Folgendes zu berücksichtigen ist:

- Ausführung der Arbeiten;
- Endverwendung des Betons;
- Umgebungsbedingungen, denen der Beton ausgesetzt wird;
- gegebenenfalls Anforderungen an Gesteinskörnung, die an der Bauteiloberfläche freiliegt, oder an Gesteinskörnung bearbeiteter Betonoberflächen.

Das Nennmaß des Größtkorns der Gesteinskörnung (D_{max}) bzw. (GK) ist unter Berücksichtigung der Betondeckung und der kleinsten Querschnittsmaße auszuwählen.“²⁰

4.2.3 Oberflächenbeschaffenheit

„Die Oberfläche der Körner muss sauber sein und insbesondere frei von Krusten, die Feinanteile oder organisches Material enthalten. Oberflächenkrusten schaden auch dann, wenn die Feinanteile unter den zulässigen Mengen liegen. Durch Verwitterung bedingte mürbe Krusten sowie Konglomerierungen geringer Festigkeit dürfen nur entsprechend den Anforderungen an die Festigkeit und Frostsicherheit vorhanden sein.

Zur Erreichung gleicher Verdichtungswilligkeit erfordert der Beton bei steigender spezifischer Oberfläche der Zuschläge mehr Zementleim (Begrenzung der Feinanteile). Die Oberflächenbeschaffenheit der Zuschlagstoffe beeinflusst die Haftung zwischen Zementleim und Korn. Eine raue Oberfläche verbessert die Biegezugfestigkeit, weniger die Druckfestigkeit.“¹⁹

¹⁹ Schneider; Frischbeton [2]

²⁰ Önorm B 4710-1 01-10-2007 [3]

4.2.4 Festigkeit

„Die Körner der Gesteinskörnungen müssen so fest sein, dass bei ihrer Verwendung die geforderte Betonfestigkeitsklasse erreicht werden kann. Gesteinskörnungen für Beton mit hohem Frostwiderstand müssen ausreichend frostbeständig sein.

Eine Übertragung der Festigkeit des in der Natur vorkommenden Gesteins auf körniges Material oder Zuschlaggemische ist bei frisch gebrochenem Zuschlag einfach, bei natürlich gekörnten Stoffen aber problematisch.

Die Prüfung des Druckzertrümmerungsgrades, der Schlagfestigkeit und der Spaltzugfestigkeit des Kornes ergibt nur Vergleichs- und Ersatzwerte, die nicht mit Sicherheit auf die Festigkeiten des Betons schließen lassen. Nach jüngsten Untersuchungen kann man mit dem dynamischen E-Modul des Kornes die Festigkeit des Betons besser als mit der Kornfestigkeit voraussagen.“²¹

„Die Kornfestigkeit natürlich entstandenen Sandes und Kieses oder daraus gebrochenen Sandes und Kieses ist wegen der vorausgegangenen aussondernden Beanspruchung durch die Natur für alle normalen Betonbeanspruchungen mit $>100\text{N/mm}^2$ ausreichend. Gesteinskörnungen aus gebrochenem Naturstein können bei Druckfestigkeiten von mindestens 100N/mm^2 im durchfeuchteten Zustand ebenfalls als ausreichend fest angesehen werden.

Für Betonfahrbahnen kann man als Richtwert die Druckfestigkeit von Zuschlag aus gebrochenem Gestein im durchfeuchteten Zustand für den Oberbeton $>150\text{ N/mm}^2$ und für den Unterbeton $>80\text{N/mm}^2$ annehmen. In Zweifelsfällen und stets für künstlich hergestellten Leichtzuschlag ist dessen Festigkeitsverhalten zu prüfen.“²¹

„Hinweise auf die Gesteinsfestigkeit ergeben sich durch Ritzen mit einem Messer oder durch einen leichten Hammerschlag. Bei künstlichen Zuschlägen ist ein besonderer Festigkeitsnachweis zu erbringen.“²¹

Eigendruckfestigkeit der Gesteinskörnungen beträgt je nach Gesteinsart:

80,0 - 400,0 N/mm^2 [2]

Eigendruckfestigkeit des Zementsteins: je nach Zementgüte und Wasserzementwert:

25,0 - 60,0 N/mm^2 [2]

²¹ Schneider; Frischbeton [2]

„Bei Leichtbeton überschneiden sich die Werte, so dass hier neben der Zementsteifigkeit auch die Kornfestigkeit für die Betonfestigkeit maßgebend ist.“²²

Tabelle 4: Eigenschaften der Betonkomponenten Zuschlag und Zementstein [2]

Stoffgruppe	Stoffart	Druckfestigkeit N/mm ²	E-Modul N/mm ² · 10 ³	Wärme- dehnungs- koeffizient 10 ⁻⁶ /K
Zuschläge für Normalbeton	Sandstein, quarzitisch gebunden	120 - 200	20 - 43	10,5 - 12,0
	Kalkstein, Dolomit	80 - 240	23 - 83	3,5 - 11,5
	Diabas, Syerit	120 - 260	70 - 90	6,5 - 8,5
	Granit	120 - 260	13 - 61	-
	Gneis	100 - 280	-	5,5 - 8,0
	Grauwacke	150 - 300	-	10,5 - 12,5
	Diorit, Gabbro	180 - 300	80 - 100	5,5 - 8,0
	Porphy, Basalt, Melaphyr	250 - 400	56 - 115	5,5 - 8,0
	Quarzit	125 - 430	60 - 85	11,0 - 12,5
Zuschläge für Leichtbeton	Naturbims	2 - 5	-	
	Hüttenbims	2 - 8	15 - 17	
	Blähton	5 - 10	9 - 16	4 - 6
	Lava	8 - 20	-	
	Ziegelsplitt	10 - 35	-	
	Schlacken	2 - 40	-	
Zementstein je nach W/Z-Wert nach 28 Tagen Feuchtlagerung	32,5	min 32,5		8 - 23
	42,5	min 42,5	6 - 30	je nach Feuchte
	52,5	min 52,5		

„Ungeeignet sind tonige, schiefrige, verwitterte, weiche Gesteine oder Gesteinsteile.“²²

²² Schneider; Frischbeton [2]

4.2.5 Frostbeständigkeit

„Frostgefährdet können Zuschläge sein, die rasch Wasser saugen, was durch Aufsetzen eines Tropfens auf das trockene Korn leicht feststellbar ist. Bei der Erstprüfung und Konformitätsprüfung im Rahmen der Eigenüberwachung sind Frost-Tau-Wechsel-Prüfungen im Laboratorium durchzuführen. Zur Prüfung der feinen Gesteinskörnungen werden Betonprobekörper aus dem zu prüfenden Sand und aus Normsand hergestellt und einem Vergleichsfrostversuch unterzogen. Grobe Gesteinskörnungen werden in Metalldosen geflutet und gefrostet, um danach den Grad der Verwitterung feststellen zu können.“²³

„Der Index gibt den Masseverlust der Gesteinskörnung in Prozent an. In Österreich sind abhängig von der jeweiligen Expositionsklasse die Kategorien F1 und F2 erforderlich. Bei manchen Expositionsklassen werden jedoch keine Anforderungen an die Frostbeständigkeit gestellt (FNR).

Frostbeständig sind i.a. alle natürlich vorkommenden Kiese und Sande und Zuschlag aus Gesteinen mit einer Eigendruckfestigkeit im durchfeuchteten Zustand von mindestens 150N/mm². Das Bestehen der Frost-Tau-Wechsel-Prüfungen bedeutet noch nicht, dass Betonflächen im Freien absolut schadensfrei bleiben. Unter anderem ist bei frostsicherem Beton der Luftporengehalt zu beachten (XF - Klasse). Wird eine besonders hochwertige Oberfläche gewünscht (z. B. Fahrbahndecken), so sind an die Gesteinskörnungen verschärfte Anforderungen zu stellen. Es dürfen nach ÖNORM B 4710-1 für Beton R (Rezeptbeton) nur die Expositionsklasse X0, XC1 und XC2 hergestellt werden.

Rezeptbetone sind alle Betone welche ohne vorherige Erstprüfung bis zur Festigkeitsklasse C20/25 hergestellt werden.“²³

„Der Beton E (Erstprüfungsbeton) wird für alle Verwendungszwecke und Festigkeitsklassen hergestellt. Betone mit einer Festigkeit $\geq 60\text{N/mm}^2$ werden als hochfeste Betone (Hochleistungsbetone) bezeichnet. Diese Betone werden nur nach umfangreichen Erstprüfungen hergestellt.“²³

²³ Schneider; Frischbeton [2]

4.3 Kornzusammensetzung

4.3.1 Allgemeine Anforderungen an die Korngrößenverteilung

„Man kann allgemein feststellen, dass die Gesamtoberfläche einer bestimmten Menge Zuschlag umso größer ist, je kleiner die Einzelkörner sind. Daraus könnte man folgern, dass das Korngemisch zum Einsparen von Zementleim mit einer möglichst kleinen Oberfläche, also aus möglichst großen Körnern zusammengesetzt sein sollte.

Ein solches Gemisch hat jedoch einen sehr großen Gehalt an Hohlräumen (Haufwerksporen), die zur Erzielung eines dichten Betons mit zusätzlichem Leim ausgefüllt werden müssten (erhöhte Zementkosten, erhöhtes Schwindmaß). Da außerdem die Zementsteifigkeit kleiner als die Zuschlagfestigkeit ist, ist ein zu großer Zementleimanteil der Betonendfestigkeit abträglich. Die Hohlräume müssen also zweckmäßigerweise statt nur mit Zementleim besser mit abgestuften kleineren Körnern ausgefüllt werden. Außerdem muss eine Mindestmenge an kleinen Körnern vorhanden sein, da grobe Gemische zu sperrig sind und sich schlecht verarbeiten lassen. Zur Ermittlung günstiger Kornzusammensetzung dient die Sieblinie. Darunter versteht man die grafische Darstellung der Kornzusammensetzungen von Gesteinskörnungen. Die Sieblinie gibt für jede Körnung den Rückstand auf den zugehörigen Prüfsieben an. Stetige Sieblinien haben einen lückenlosen Kornaufbau, bei unstetigen Sieblinien fehlen einzelnen Korngruppen. Beim Siebversuch auf einem Prüfsieb liegengebliebene Menge heißt Siebrückstand.“²⁴

„Als Einkorn bezeichnet man Körner mit nahezu gleicher Korngröße (Durchmesser des Größtkorns ist gleich zweimal Durchmesser des Kleinstkorns) mit Radius 35 Vol.-% Haufwerksporenraum, z.B. für haufwerksporige Leichtbetone. Das Füllkorn ist diejenige Korngröße, die gerade in die Zwickel zwischen den nächstgrößeren Körnern passt, wenn sie nacheinander eingebracht werden.

Theoretisch ist die Füllkorngröße gleich 0,225 des nächstgrößeren Korns. Es lassen sich Füllkorn-Reihen für die Verwendung mehrerer Durchmesser berechnen.“²⁴

²⁴ Schneider; Frischbeton [2]

„Unter Sperrkorn versteht man eine Korngröße, die kleiner als das Ausgangskorn (meist Größtkorn oder eine bestimmte Zwischenkorngröße), aber größer als das Füllkorn ist und die gegenseitige Berührung von Einkorn-Kugeln eines Haufwerks verhindert. Die sperrende Wirkung hängt vom Lagerungsfall der Ausgangskorngruppe und vom Sperrkorndurchmesser ab. Theoretisch ist die Sperrkorngröße größer 0,225 des nächstgrößeren Kornes. Das Größtkorn ist so groß zu wählen, wie es die Verarbeitung, die Bewehrung und die Abmessungen des Bauteils erlauben. Nenngröße des Größtkorns $< 1/4$ der kleinsten Bauteilmaße, bei einlagiger Bewehrung nicht größer als das 1,25 fache den kleinsten lichten Abstand der Stahleinlagen und/oder der Überdeckung, bei mehrlagiger Bewehrung und bei Verwendung von Spanngliedern kleiner als das 0,8-fache des kleinsten lichten Abstandes der Stahleinlagen oder der Spannglieder und/oder der Überdeckung. Die kleineren Körner müssen in einer solchen Menge vorhanden sein, dass sie die Hohlräume zwischen den größeren weitgehend ausfüllen (siehe Abbildung 2).“²⁵

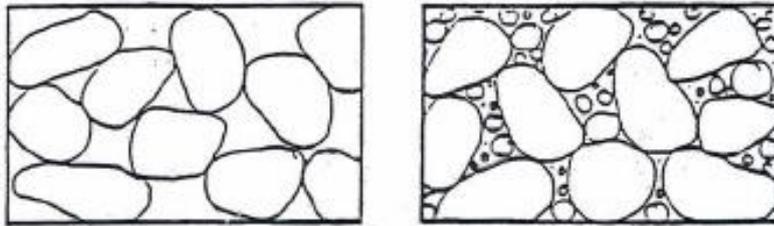


Abb. 2: Schema der Verminderung des Hohlraums bei einem Einkorngemisch durch Zugabe von kleinen Körnern [2]

4.3.2 Zuschlagkennwerte und Sieblinien

„Eine bestimmte Verarbeitbarkeit erfordert einen bestimmten Zementleimbedarf, der sich wiederum aus spezifischer Oberfläche und Packungsdichte des Zuschlags ergibt. Da die spezifische Oberfläche des Zuschlags nur mit beträchtlichem Aufwand zu messen ist, verwendet man in der Betontechnologie aus der Kornzusammensetzung abgeleitete Kenngrößen.

Mit ihnen lassen sich auch Zuschlaggemische beurteilen, die von einer vorgeschriebenen Sieblinie abweichen, da Kornzusammensetzungen mit gleichen Kennwerten betontechnologisch gleichwertig sind. Zur Ermittlung der Kennwerte für die Kornverteilung oder den Wasseranspruch ist der Siebdurchgang für 0,125 mm auszulassen. Als Kornanteil bei 0,5 mm ist i.a. der tatsächlich vorhandene Kornanteil zu berücksichtigen.“²⁵

²⁵ Schneider; Frischbeton [2]

„Lediglich bei Vergleich der Kennwerte mit denen der Regelsieblinien A, B, C ist der sich bei geradliniger Verbindung zwischen dem 0,25mm und dem 1mm Sieb bei 0,5mm ergebende Kornanteil einzusetzen. Soll die Kornzusammensetzung, d.h. die Sieblinie eines vorliegenden Korngemisches ermittelt werden, so ist es im vollständigen Siebsatz in einzelne Kornanteile zu trennen. Die Abbildung 3 zeigt als Beispiel die Sieblinie eines Korngemisches mit 16mm Größtkorn.“²⁶

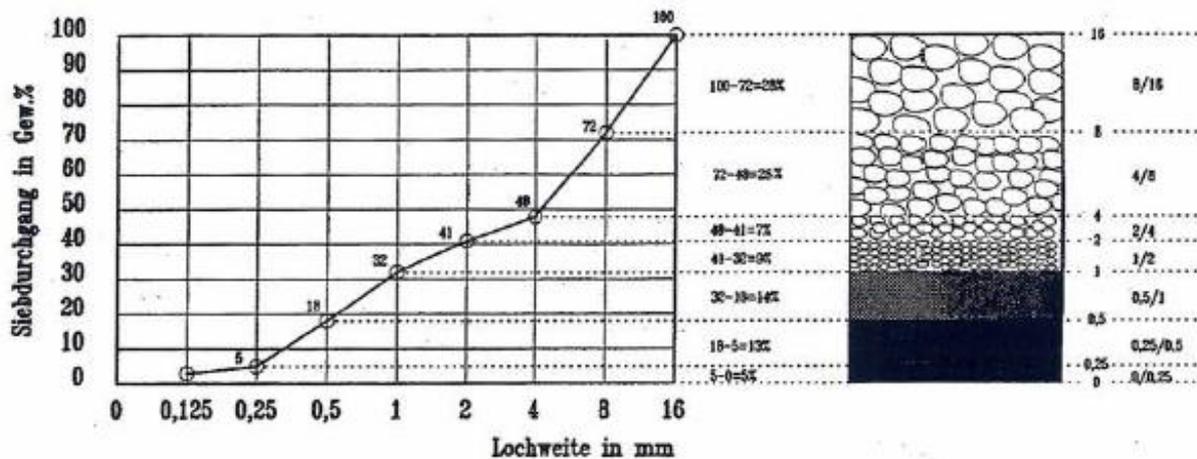


Abb. 3: Sieblinie bei 16 mm Größtkorn [2]

„Die Anwendung von Ausfallkörnungen erfolgt meist aus wirtschaftlichen Gründen, z.B. wenn Korngruppen in natürlichen Vorkommen fehlen sowie bei Wasch- und Sichtbeton. Verwendung auch im Straßenbau und bei höheren Betongütern, jedoch unter der Voraussetzung, dass die Betonmischung einwandfrei verarbeitbar ist (Erstprüfung).

Durch theoretische Überlegungen und systematische Untersuchungen wurden optimale Kornzusammensetzungen (Idealsieblinien) und noch zulässige Kornzusammensetzungen (Grenzsieblinien) gefunden. Als einfachste Idealsieblinie ergibt sich die sogenannte Fullerparabel. Zertrümmert man z.B. ein Kiesgemenge, das in einem Drucktopf eingesperrt ist über einen Stempel mit großer Druckkraft, so werden die Kieskörner zum Teil zerbrechen und man erhält ein Korngemenge mit niedrigem Hohlraumgehalt.“²⁶

²⁶ Schneider; Frischbeton [2]

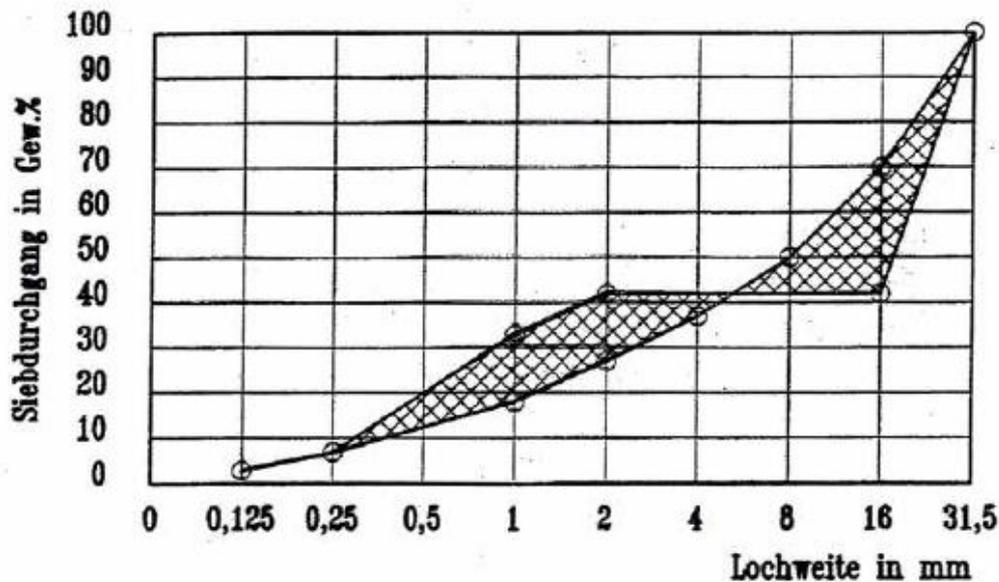


Abb. 4: Gleichwertige stetige und unstetige Sieblinien für Zuschlag 0/32 mm [2]

„Die Kornverteilung des so erhaltenen Gemenges lässt sich folgendermaßen mathematisch beschreiben:“²⁷

$$A = 100 * \left(\frac{d}{D}\right)^n [2]$$

- A Anteil einer Korngruppe 0/d in Prozent
- D Größtkorndurchmesser des Korngemenge
- d beliebiger Korndurchmesser zwischen Null und D
- n Exponent [2]

„Für $n=0,5$ ergibt sich die von Fuller als günstig erkannte Kornverteilung bei kugelförmiger Körnung (Fullerparabel) als einfachste Idealsieblinie. Hohlraumärmste Korngemenge ergeben sich bei $n=0,4$. Die praktisch verwendeten Korngemenge liegen bei $n=0,25$ bis $n=0,7$. In der ÖNORM B 4710-1 sind für Korngemische GK4, GK8, GK11, GK16, GK22, GK32 Regelsieblinien A, Bund C angegeben. Da die Idealsieblinie (Linie B) in der Betonpraxis nicht genau eingehalten werden kann, werden Bereiche zwischen den Sieblinien benutzt. Diese werden als günstig (zwischen A und B) und als brauchbar (zwischen B und C) bezeichnet. Die Abb. 5 bis Abb. 10 zeigen die Normsieveblinien.“²⁸

²⁷ Schneider; Frischbeton [2]

²⁸ Önorm B 4710-1 01-10-2007 [3]

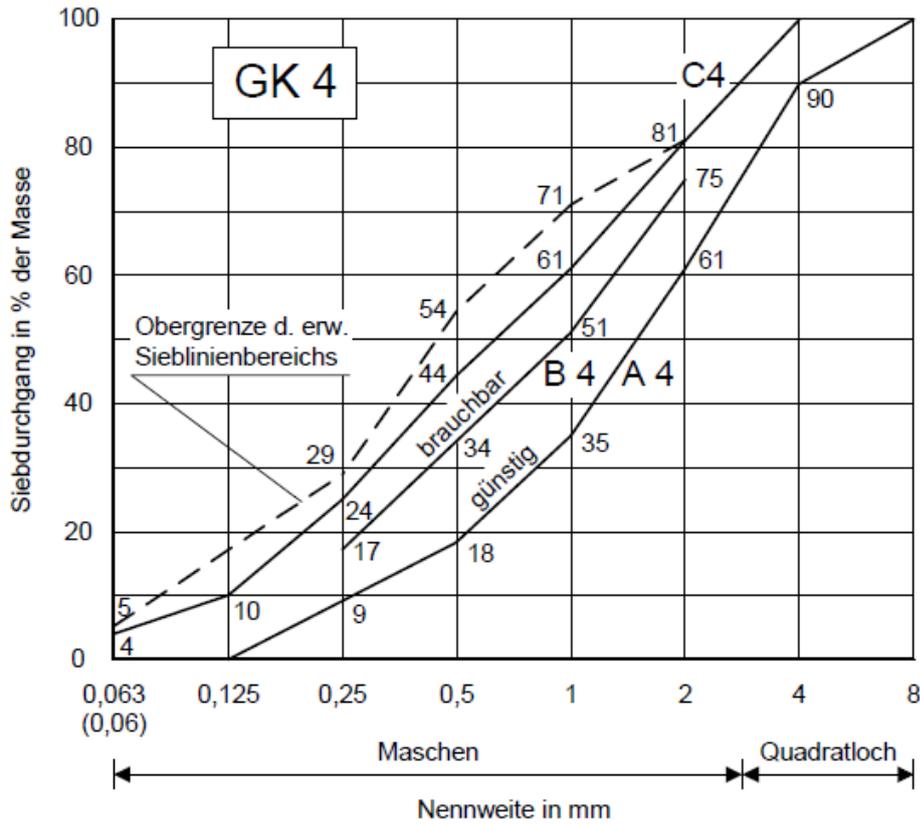


Abb. 5: Sieblinienbereiche GK-4 [3]

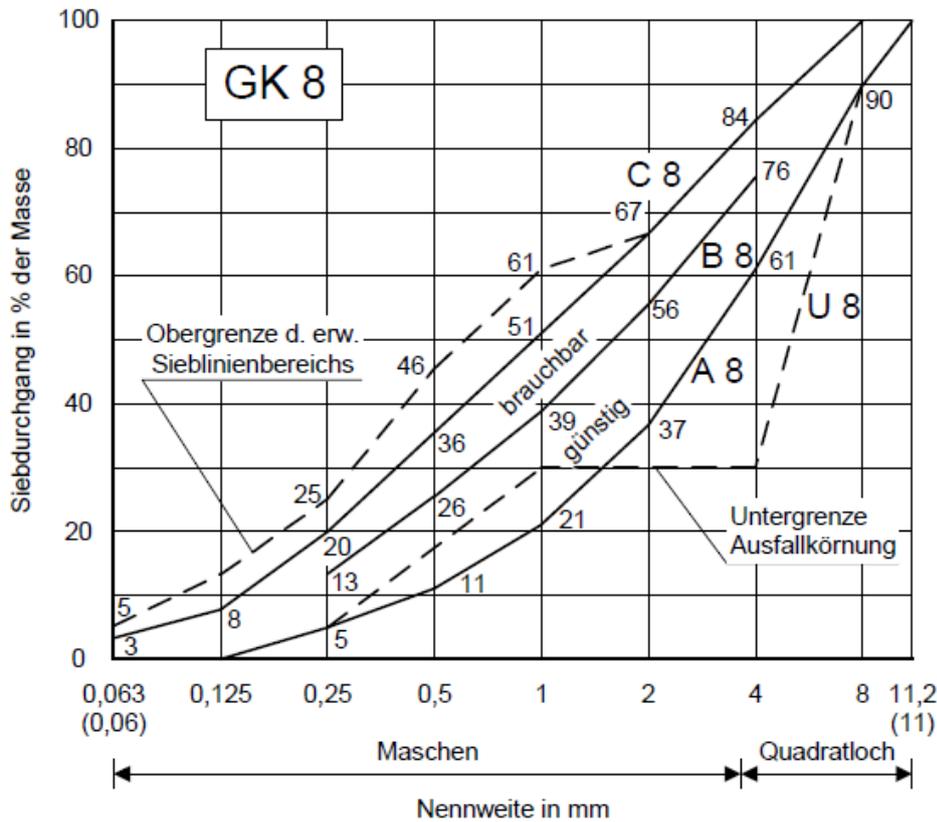


Abb. 6: Sieblinienbereiche GK-8 [3]

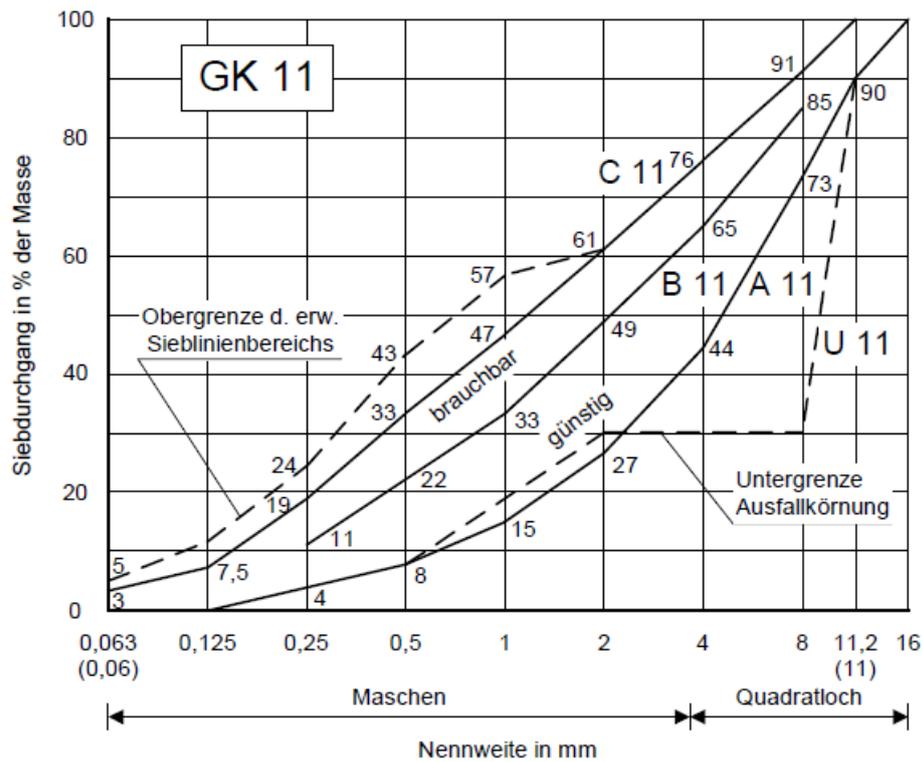


Abb. 7: Sieblijniengemische GK-11 [3]

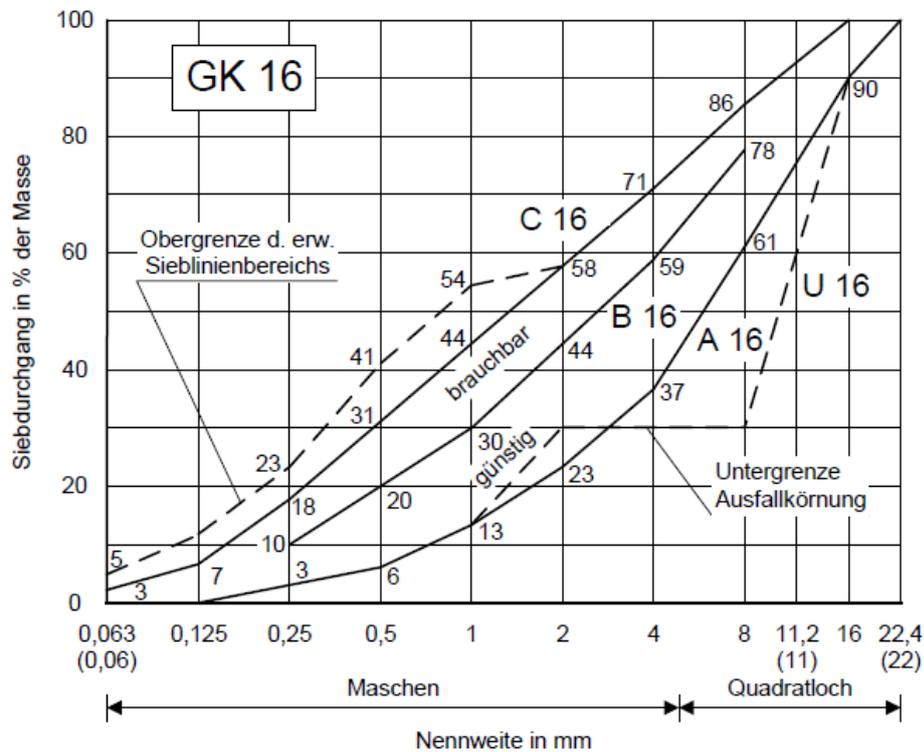


Abb. 8: Sieblijniengemische GK-16 [3]

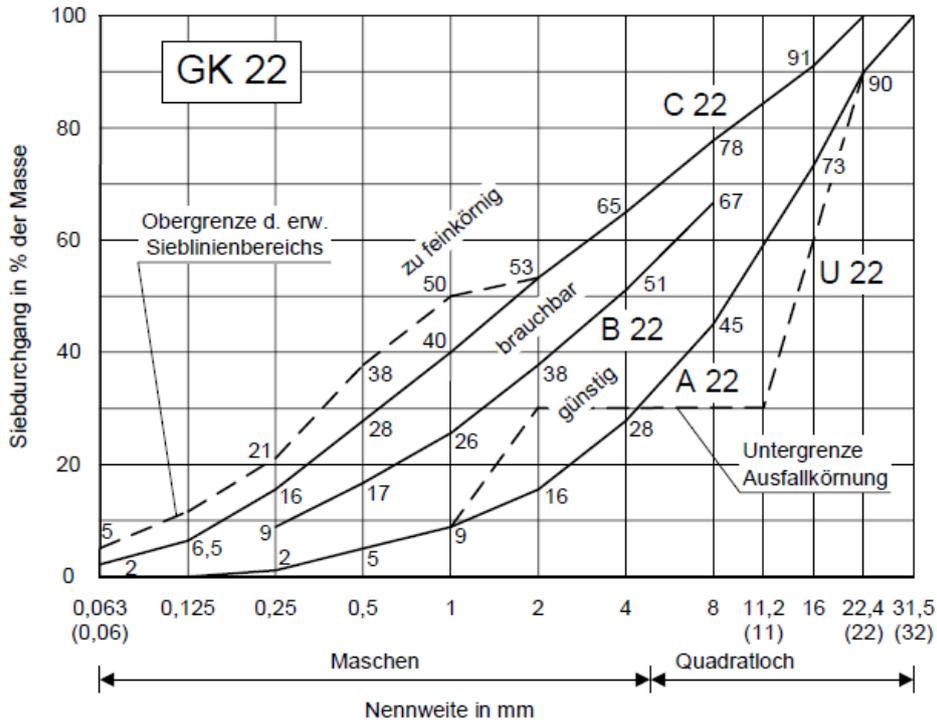


Abb. 9: Siebliengemische GK-22 [3]

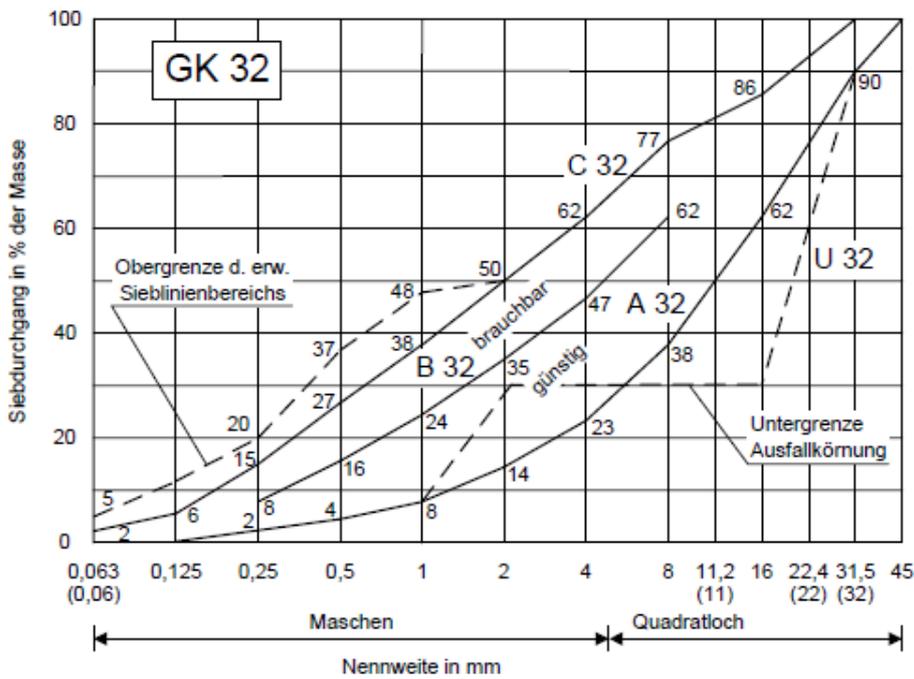


Abb. 10: Siebliengemische GK-32 [3]

„Die bei der Erstprüfung festgelegte Gesamtsieblinie der Gesteinskörnung ist bei der Bauausführung unter Einhaltung der höchstzulässigen Abweichungen gemäß Önorm B4710-1 01-10-2007 Tabelle NAD 5 beizubehalten. Für die einzelnen Betonsorten sind Mindestanforderungen hinsichtlich der Kornzusammensetzung einzuhalten (siehe Önorm B4710-1 01-10-2007 Tabelle NAD 4).“²⁹

4.3.3 Sieblinienwerte

„Zur Ermittlung des Wasserbedarfs einer Betonmischung und zur genaueren Kennzeichnung des Zuschlags mit definierter Sieblinie hat man sogenannte Sieblinienwerte eingeführt. Sieblinienwerte lassen sich nur bei Sieblinien mit gleichem Größtkorn (gleiche Anzahl von Sieben) vergleichen. Sieblinien mit niedrigen Sieblinienwerten sind dann sandreicher als solche mit hohen Sieblinienwerten (bei der Quersummenzahl umgekehrt). Da alle Korngruppen mit gleicher Wertigkeit in die Berechnung eingehen, sind Sieblinienwerte für die Beurteilung von Ausfallskörnungen wenig geeignet.“²⁹

4.3.4 Eigenfeuchte der Zuschläge

„Die Ermittlung der Eigenfeuchte der Zuschläge dient zur Berücksichtigung der Oberflächenfeuchte bei der Zugabewassermenge des Betons. Oberflächenfeuchte und Zugabewasser bilden den Wassergehalt des Frischbetons. Die Eigenfeuchte sollte vor Betonierbeginn und jedesmal dann bestimmt werden, wenn sie sich augenscheinlich geändert hat, z.B. durch Regen, nach Eingang einer neuen Lieferung usw.“²⁹

„Die Eigenfeuchte errechnet sich aus der Differenz des Gewichts der feuchten und der getrockneten Durchschnittsprobe. Die Mindestprobenmenge ist vom Größtkorn der Probe abhängig. Die praktische Durchführung erfolgt durch Trocknung in einem Ofen mit Luftumwälzung bei 105°C bzw. durch Trocknung in einem Mikrowellenofen bis zur Massenkonstanz. Die so ermittelte Eigenfeuchte umfasst die Oberflächenfeuchte und den größten Teil der Kernfeuchte des Zuschlags.

Die Kernfeuchte ist das in den Poren der Zuschlagkörner befindliche Wasser. Sie verdampft beim Trocknen weitgehend und muss deshalb beim Errechnen der Oberflächenfeuchte berücksichtigt, d.h. von der ermittelten Eigenfeuchte abgezogen werden.“²⁹

²⁹ Schneider; Frischbeton [2]

5 Gesamtwasser

5.1 Allgemeine Anforderungen

„Summe aus dem Zugabewasser, dem bereits in der Gesteinskörnung und auf dessen Oberfläche enthaltenen Wasser, dem Wasser in Zusatzmitteln und Zusatzstoffen, wenn diese in wässriger Form verwendet werden, und gegebenenfalls dem Wasser von zugefügtem Eis oder einer Dampfbeheizung“³⁰

„Geeignet als Zugabewasser sind Trinkwasser und alle in der Natur vorkommenden Wässer, soweit sie nicht Bestandteile enthalten, die die Erhärtung des Zementleims beeinträchtigen (z. B. Zucker) und/oder die den sich bildenden Zementstein angreifen. Bei bewehrten Betonbauteilen darf außerdem der Korrosionsschutz der Bewehrung nicht beeinträchtigt werden, z.B. durch Industrieabwässer oder Moorwässer. Einen ersten Anhalt über die Brauchbarkeit des Zugabewassers geben Geruch, Geschmack, Farbe und das Verhalten des Wassers beim Schütteln (bedenklich, wenn Schaum über längere Zeit beständig ist). Im Zweifelsfall ist eine Laboruntersuchung erforderlich.

Während bestimmte betonschädliche Stoffe schon in geringer Konzentration gefährlich werden können, wenn sie in fließendem Wasser immer wieder erneut an den Beton herangebracht werden, sind sie als Bestandteil des Anmachwassers bei der Betonherstellung meistens ungefährlich, da die chemischen Reaktionen bereits vor dem Erstarren ablaufen und dadurch keine Zerstörungen auftreten können. So können z.B. gesättigtes Gipswasser, kohlesäurehaltiges Grundwasser und Meerwasser als Zugabewasser verwendet werden, falls dies notwendig sein sollte. Der Schwefelgehalt des Wassers, ausgedrückt als S04-2, darf nicht mehr als 2000mg/l betragen.

Wenn alkaliempfindliche Zuschläge im Beton verwendet werden, darf der Alkaligehalt des Wassers, ausgedrückt als Na2O -Äquivalent, nicht mehr als 1500mg/l betragen. Wenn nachgewiesen werden kann, dass keine Gefahr einer Alkalireaktion im Beton besteht, oder wenn ein Grenzwert für das Na2O -Äquivalent im Beton erfüllt ist, gilt dieser Wert nicht.“³¹

³⁰ Önorm B 4710-1 01-10-2007 [3]

³¹ Schneider; Frischbeton [2]

„Gefährlich sind dagegen organische Verunreinigungen, wie z. B. Humine, Glycerin und Zucker, da sie bereits in Spuren das Erstarren bzw. das Erhärten erheblich beeinträchtigen können. (Diese Wirkung wird bei der Verwendung von Schalungspasten für Sichtbeton bzw. bei Erstarrungsverzögerer ausgenutzt.) Verunreinigungen durch Schwermetalle, wie z.B. Blei und Zink, beeinträchtigen schon in geringen Mengen die Erstarrungszeit und die Festigkeit. Höchstgehalte von schädlichen Stoffen im Zugabewasser sind in Tabelle 5 angegeben. Diese dürfen bei chemischen Analysen nicht überschritten werden.“³²

Tabelle 5: Anforderungen an schädliche Stoffe im Zugabewasser [2]

Stoff	Höchstgehalt in[mg/l]
Zucker	100
Phosphate	100
Nitrate	500
Blei	100
Zink	100

„Die Art des Angriffs kann entweder rein chemisch oder chemisch–physikalisch sein. Beide können auch gemeinsam wirken. Beim rein chemischen oder lösenden Angriff handelt es sich um einen reinen Lösungsvorgang durch weiches Wasser, Säuren, starke Basen, Salze oder Fette und Öle. Der chemische – physikalische oder treibende Angriff entsteht durch chemische Reaktion mit dem Zementstein, die zur Bildung neuer Verbindungen mit größerem Volumen und damit zum Treiben führt.

Als Zugabewasser für Beton kann im Übrigen jedes in der Natur vorkommende nicht verunreinigte Wasser angewendet werden, sofern der Salzgehalt (Abdampfrückstand) nicht über 3,5 % liegt.“³¹

Tabelle 6: Höchstchloridgehalt des Zugabewassers [2]

Endgültige Verwendung	Höchstchloridgehalt in [mg/l]
Vorgespannter Beton oder Einpressmörtel	500
Bewehrter Beton	1000
Unbewehrter Beton	4500

³² Schneider; Frischbeton [2]

6 Zusatzmittel und Zusatzstoffe

6.1 Zusatzstoffe

6.1.1 Arten von Zusatzstoffen

„Zusatzstoff: fein verteilter Stoff, der im Beton verwendet und während des Mischungsvorgangs des Betons zugegeben wird, um bestimmte Eigenschaften zu verbessern oder um bestimmte Eigenschaften zu erreichen.“³³

„Önorm B4710-1 01-10-2007 beinhaltet zwei Arten von anorganischen Zusatzstoffen.“³³

- nahezu inaktive Zusatzstoffe (Typ I) und
- puzzolanische oder latenthdraulische Zusatzstoffe (Typ II) (gemäß Önorm EN 206-1:2005, Abschnitt 3.1.23).

„Die allgemeine Eignung als Zusatzstoff Typ I ist nachgewiesen für“³³

- Gesteinsmehle nach Önorm EN 12620,
- Pigmente nach Önorm EN 12878.

„Die allgemeine Eignung als Zusatzstoff Typ II ist nachgewiesen für“³³

- Flugasche nach Önorm EN 450 (alle Teile),
- Silikastaub nach Önorm EN 13263-1,
- aufbereitete hydraulisch wirksame Zusatzstoffe nach ÖNORM B 3309,
- Hüttensandmehl nach ÖNORM EN 15167 (alle Teile).

³³ Önorm B 4710-1 01-10-2007 [3]

6.1.2 k-Wert-Ansatz

„Der k-Wert-Ansatz erlaubt den Austausch des Begriffes „Wassercementwert“ durch „Wasser/(Zement + k x Zusatzstoff)-Wert“ (W/B-Wert) für Zusatzstoffe des Typs II.

$$W/B = W/(Z + k * \text{Zusatzstoff})$$

Die maximalen Zugabe Mengen an hydraulisch wirksamen Zusatzstoffen bezogen auf den Bindemittelgehalt sind in untenstehender Tabelle 7 zusammengefasst.³⁴

Tabelle 7: Maximale Zugabemengen an hydraulisch wirksamen Zusatzstoffen bezogen auf den Bindemittelgehalt. [2]

Zementsorte	Flugasche nach EN 450	AHWZ nach B3309
CEM I	25%	30%
CEM II/A 32,5	15%	15%
CEM II/A 42,5	20%	20%
CEM II/B 32,5	0%	0%
CEM II/B 42,5	10%	10%

„Für Silicastaub gilt die Bedingung: Silicastaub/Zement $\leq 0,11$ “³⁴

Tabelle 8: k-Werte [2]

	Flugasche nach EN 450	Silicastaub nach pr EN13263	AHWZ nach B3309
k-Wert	0,4	2,0	0,8

„Aus den Tabellen 8 und Tabelle NAD 10, Önorm B4710-1 01-10-2007, lässt sich nun der max. anrechenbare Zusatzstoffanteil berechnen.“³⁴

³⁴ Schneider; Frischbeton [2]

6.2 Zusatzmittel

„Zusatzmittel sind flüssige oder pulverförmige Zusätze, die bei richtiger Dosierung durch chemische und/oder physikalische Wirkung bestimmte Betoneigenschaften günstig beeinflussen können. Die Zugabemenge darf 50 g/kg bezogen auf das Zementgewicht nicht überschreiten. Dieser Anteil wird bei der Mischungsberechnung üblicherweise nicht gesondert berücksichtigt. Falls die Gesamtmenge an flüssigen Zusatzmittel größer als 3 l/m³ Beton ist, muss die darin enthaltene Wassermenge bei der Berechnung des Wasserbindemittel-Wertes berücksichtigt werden.

In der folgenden Tabelle sind Zusatzmittel mit der erwarteten Wirkung und möglichen Nebenwirkungen angegeben:³⁵

³⁵ Schneider; Frischbeton [2]

Tabelle 9: Wirkungen von Zusatzmitteln [2]

<u>Kurzbezeichnung</u>	<u>Art des Zusatzmittels</u>	<u>erwartete Wirkung</u>	<u>mögliche Nebenwirkungen</u>
BV	Betonverflüssiger (Sulfatablauge, Eiweißabbauprodukte)	Verminderung des Wasseranspruchs, Verbesserung der Verarbeitbarkeit	erhöhtes Schwinden, Verzögern, Lufteinführung
LP	Luftporenbildner (Schaumittel, Öle, Fette, Kiefernwurzelharz)	Einführung kleiner, gleichmäßig verteilter Luftporen, Verbesserung der Verarbeitbarkeit	erhöhtes Schwinden, Festigkeitsminderung, Lufteinführung kann zu groß werden, Verzögerung
DM	Betondichtungsmittel (begrenzt quellfähige, wasserabweisende Substanzen)	Verminderung der Wasseraufnahme, Verminderung des Eindringens von Wasser	erhöhtes Schwinden, Umschlagen in der Wirkung
VZ	Erstarrungsverzögerer (anorganische oder organische Stoffe wie Stärke, Zuckerarten, Natriumphosphate, Gips, Borverbindungen)	Verzögerung des Erstarrens	erhöhtes Schwinden, Umschlagen in der Wirkung
ST	Stabilisierer (anorganische, wasserlösliche Verbindungen)	Verbesserung des Zusammenhaltvermögens und der Verarbeitbarkeit	
BE	Erstarrungsbeschleuniger (Alkalikarbonate, Aluminate, Ca-Chlorid, org. Stoffe)	Beschleunigung des Erstarrens	Festigkeitsminderung, Umschlagen der Wirkung
FM	Fließmittel (Superverflüssiger) Melaminharzbasis und Ligninsulfonate	Verflüssiger, Verminderung des Wasseranspruchs, W/Z - Wert < 0,4 möglich bei guter Verarbeitbarkeit	erhöhtes Schwinden
EH	Einpreßhilfen für Eipreßmörtel mit Spannbeton (Aluminiumpulver [treibende Komponente + Verflüssiger + verzögernde Komponente])	Vermindertes Absetzen, mäßiges Quellen, verbessertes Fließen, verminderter Wasseranspruch	Verzögerung

7 Herstellung von Probemischungen im Labor für Prüfzwecke

7.1 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

„Betonkomponenten, Laborräume und Geräte haben Temperaturen zwischen 15°C und 22°C aufzuweisen; die relative Luftfeuchtigkeit in den Laborräumen soll über 50 % liegen.“³⁶

7.2 Geräte und Lagerräume

„Für die Herstellung von Probemischungen sind erforderlich:

Ausrüstung/Gerätschaften zur Herstellung der relevanten Probekörper

Waage mit einer Ableseräzision von 10 g für die Betonausgangsstoffe und die Probekörper,

- Waage mit einer Ableseräzision von 0,1 g für die Betonzusatzmittel,
- Wasserlager für die Wasserlagerung der Probekörper mit einer Temperatur von (20 ± 2) °C,
- Raum für die Luftlagerung der Probekörper mit einer Temperatur von (20 ± 2) °C und, falls für ein entsprechendes Prüfverfahren gefordert, einer vorgegebenen relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 50 % und 80 %.“³⁶

7.3 Betonkomponenten

„Proben von Zement, Gesteinskörnungen und gegebenenfalls Zusatzmitteln und Zusatzstoffen sollten nach den einschlägigen Produktnormen, soweit diese anwendbar sind, entnommen und, wenn die Gefahr einer Entmischung vorhanden ist, vor ihrer Verwendung gründlich durchmischt werden. Die entnommenen Proben müssen dem Durchschnitt der zu verwendenden Betonkomponenten entsprechen. Bindemittel und Zusatzstoffe sind in jedem Falle trocken und bei längerer Lagerungsdauer in dicht schließenden Metall-, Kunststoff oder gleichwertigen Behältern aufzubewahren. Gesteinskörnungen sollten oberflächentrocken zum Einsatz kommen. Gesteinskörnungen, die so stark Wasser saugen, dass sich hierdurch bei Verwendung trockener Gesteinskörnungen die Konsistenz des damit hergestellten Frischbetons ändert, sollten kernfeucht verwendet werden oder es ist die Wasseraufnahme der Gesteinskörnungen zu berücksichtigen.“³⁶

³⁶ ONR 23303 01-09-2010 [4]

„Um eine vorgegebene Sieblinie sicher einhalten zu können, empfiehlt es sich, die Gesteinskörnungen auch dann in mehreren Korngruppen – davon mindestens eine im Kornbereich unter 4 mm – zuzugeben, wenn dies bei der tatsächlichen Betonproduktion nicht geschieht. Als Anmachwasser sind Trinkwasser sowie alle sonstigen in der Natur vorkommenden Wässer geeignet, außer sie enthalten Stoffe, die das Erhärten stören oder die Korrosion der Stahleinlagen fördern könnten (z. B. Industrieabwässer oder Moorwässer).“³⁷

7.4 Dosieren und Mischen

„Die Betonbestandteile sind mit Waagen zu dosieren. In Sonderfällen dürfen flüssige Zusatzmittel und Wasser auch volumetrisch dosiert werden, doch ist in solchen Fällen die Dichte dieser Zusatzmittel zu bestimmen und anzugeben.

Die Mischung muss so durchgeführt werden, dass eine homogene Mischung entsteht und keine Mischungsbestandteile verloren gehen. Das hergestellte Betonvolumen (verdichtet) hat zwischen 20 % und 75 % des Trommelvolumens des Mixers zu liegen und muss im Regelfall um mindestens 10% größer sein als das zur Durchführung der vorgesehenen Prüfungen erforderliche Volumen. Vor der Herstellung der ersten Mischung ist die Innenseite des Mixers leicht anzufeuchten. Sofern der Einfluss der Mischreihenfolge nicht untersucht wird und keine Bindemitteldosierung durchgeführt wird, sind vorzugsweise zunächst die groben Gesteinskörnungen, anschließend die feinen Gesteinskörnungen und der Zement in den Mischer zu geben und trocken vorzumischen; anschließend ist das Wasser in den Mischer zugeben. Bei Verwendung von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen sind die Verwendungsvorschriften der Hersteller zu beachten. Flüssige Zusatzmittel sind, wenn vom Hersteller nicht anders gefordert, mit dem Anmachwasser vorzumischen. Die Gesamtmischdauer nach Zugabe aller Materialien in den Mischer muss ausreichend zur Erzielung einer homogenen Mischung sein (i.A. zwischen zwei und drei Minuten). Betonproben, die z. B. zur Bestimmung der Konsistenz dem Mischer entnommen werden, dürfen unter der Voraussetzung, dass hierdurch die Mischungszusammensetzung, insbesondere der Wassergehalt und Luftgehalt der Mischung, nicht verändert wird, nach Durchführung der Messung wieder in den Mischer gegeben und untermischt werden. Wenn auch nach zweimaliger Nachdosierung von Wasser, Bindemitteldosierung oder anderen Mischungsbestandteilen die gewünschte Konsistenz nicht erreicht wird, so ist die Mischung zu verwerfen. Vor Entnahme aus dem Mischer ist der Beton nochmals kurz durchzumischen.“³⁷

³⁷ ONR 23303 01-09-2010 [4]

8 Probenahme von Frischbeton

8.1 Geräte

„Folgende Geräte werden verwendet:

- Probenahmeschaufel oder vergleichbares Probenahmegerät, geeignet für die Entnahme von repräsentativen Betoneinzelproben von mindestens 2 kg (z. B. Mehlschaufel), aus einem nicht absorbierenden Werkstoff, der von Bindemittelleim nicht angegriffen wird.
- Behälter (ein oder mehrere) aus einem nicht absorbierenden Werkstoff, der nicht von Bindemittelleim angegriffen wird, für die Aufnahme der Betoneinzelproben.
- Thermometer, um die Betontemperatur mit der Präzision von ± 1 °C zu messen.“³⁸

8.2 Probenahme

8.2.1 Probenahmeplan

„Die Geräte müssen vor der Verwendung gereinigt werden. Die Einzelprobe ist mit der Schaufel von der erforderlichen Stelle der Mischerfüllung oder Betonmasse zu entnehmen oder aus dem Betonfluss (über dessen ganzen Querschnitt) in einer Menge von mindestens 50l in ein nicht absorbierendes Gefäß oder eine nicht absorbierende Unterlage abzufüllen. Die Probe muss in einem geeigneten Behälter (z. B. Schiebetruhe) vor Austrocknen geschützt aufbewahrt werden; Datum und Zeitpunkt der Probenahme sind aufzuzeichnen.“³⁸

8.2.2 Messung der Temperatur der Proben

„Die Betontemperatur ist zum Zeitpunkt der Frischbetonprüfung im Behälter zu messen.“³⁸

³⁸ ONR 23303 01-09-2010 [4]

8.2.3 Transport, Handhabung und Behandlung der Proben

„In allen Phasen der Probenahme, des Transports und der Handhabung sind die Frischbetonproben gegen Verunreinigung, Wasseraufnahme bzw. -verlust und gegen extreme Temperaturen zu schützen.“³⁹

³⁹ ONR 23303 01-09-2010 [4]

9 Probekörper, Formen, Maße und Nachbehandlung

9.1 Form, Maße und zulässige Abweichungen von Probekörpern

9.1.1 Allgemeines

„Für jede Probekörperform, d. h. Würfel, Zylinder (gemäß Abb.11, Abb.12), sollte das gewählte Grundmaß d mindestens dem 3,5-fachen Größtkorn der Gesteinskörnung entsprechen. Ein Abgleichen von Probekörpern durch Materialauftrag ist unzulässig. Formen müssen wasserdicht und nicht saugend sein.“⁴⁰

9.1.2 Würfel

„Benannte Maße dürfen sich nicht von Nennmaßen unterscheiden.“⁴⁰

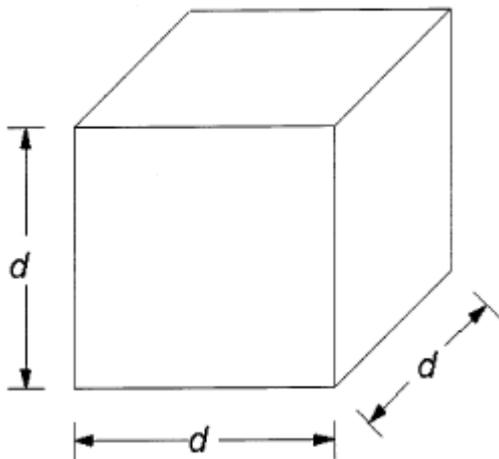


Abb. 11: Würfel [4]

⁴⁰ ONR 23303 01-09-2010 [4]

„Es bedeutet:

d Nennmaße; diese können betragen: 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm.

Zulässige Abweichungen:

- Die zulässige Abweichung vom benannten Maß d beträgt $\pm 0,5\%$.
- Die zulässige Abweichung der benannten Maße zwischen der oberen Fläche und der Grundfläche beträgt $\pm 1,0\%$.
- Die zulässige Abweichung der Ebenheit der Lasteintragungsflächen beträgt $\pm 0,0006d$ (in keinem Fall aber weniger als 0,1 mm),
- Die zulässige Abweichung von der Rechtwinkligkeit der Würfelseiten in Bezug auf die Grundfläche beträgt $\pm 0,1\text{mm}$.“⁴¹

9.1.3 Zylinder

„Benannte Maße dürfen innerhalb von $\pm 10\%$ des Nennmaßes gewählt werden.“⁴¹

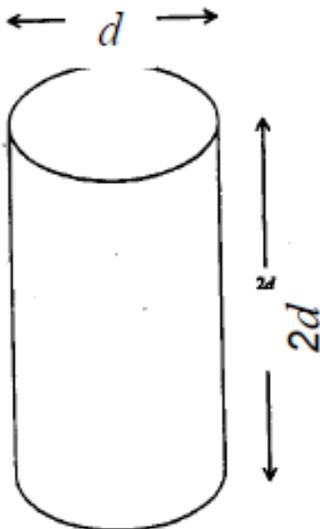


Abb. 12: Zylinder [4]

⁴¹ ONR 23303 01-09-2010 [4]

„Es bedeutet:

d Nennmaße; diese können betragen: 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm.

Zulässige Abweichungen:

- Die zulässige Abweichung des benannten Durchmessers d beträgt $\pm 0,5\%$.
- Die zulässige Abweichung der Ebenheit der Lasteintragungsflächen beträgt $\pm 0,0006 d$ (in keinem Fall aber weniger als 0,1 mm),
- Die zulässige Abweichung von der Rechtwinkligkeit der Seiten in Bezug auf die Grundfläche beträgt $\pm 0,1\text{mm}$.
- Die zulässige Abweichung der Höhe beträgt $\pm 5\%$.
- Die zulässige Geradheitsabweichung der Generatrix von Zylindern, die für Spaltprüfungen verwendet werden, beträgt $\pm 0,2\text{mm}$.⁴²

„Anwendbarkeit der zulässigen Abweichungen:

Probekörper mit in Formen gebildeten Endflächen oder mit geschliffenen Flächen müssen den zulässigen Abweichungen entsprechen.“⁴²

⁴² ONR 23303 01-09-2010 [4]

9.2 Herstellung und Lagerung (Nachbehandlung) von Probekörpern

9.2.1 Geräte

„Folgende Geräte werden verwendet:

- a) Formen:
- b) Aufsatzrahmen (freigestellt / optional)
- c) Verdichtungsgerät für Beton (eines der Folgenden):
 - Innenrüttler mit einer Mindestfrequenz von 120 Hz (7200 Schwingungen pro Minute). Der Rüttelflaschen-Durchmesser darf nicht mehr als etwa ein Viertel des kleinsten Maßes des Probekörpers betragen.
 - Rütteltisch mit einer Mindestfrequenz von 40 Hz (2 400 Schwingungen pro Minute), wobei die Wirksamkeit des Rütteltisches für eine praktisch vollständige Verdichtung des Frischbetons ausreichend sein muss
 - Stampfer mit kreisförmigem Querschnitt, gerade, aus Stahl, mit einem Durchmesser von ungefähr 16 mm, einer Länge von ungefähr 600 mm und mit gerundeten Enden
 - Verdichtungsstab aus Stahl mit einem quadratischen oder kreisförmigen Querschnitt von ungefähr 25mm und einer Länge von ungefähr 380 mm.
- d) Handschaufel: Breite etwa 100mm
- e) Glättkelle aus Stahl
- f) Mischbehälter, flache Schale (z.B.: Scheibtruhe, Labormischtrommel) mit einer nicht biegsamen Konstruktion und aus nicht absorbierendem Material, das vom Bindemittelleim nicht leicht angegriffen wird. Er ist so zu dimensionieren, dass der Beton gründlich mit einer Trapezkelle durchmischt werden kann.
- g) Trapezkelle (Schaufel, mit rechteckigem Blatt)
- h) nicht reagierende Entschalungsmittel
- i) Schlegel, mit weicher Oberfläche⁴³

⁴³ ONR 23303 01-09-2010 [4]

9.2.2 Vorbereitung und Füllen der Formen

„Sofern erforderlich, sollte vor dem Füllen die Innenfläche der Form mit einer dünnen Schicht aus einem nicht reagierenden Entschalungsmittel bedeckt werden, um zu verhindern, dass der Beton an der Form haftet. Abhängig von der Konsistenz des Betons und des Verdichtungsverfahrens, sind die Formen mit einer oder mehreren Schichten zu füllen, um eine vollständige Verdichtung zu erreichen. Bei selbstverdichtendem Beton ist die Form in einem Arbeitsgang zu befüllen und es darf weder während des Füllvorganges noch nach dem Befüllen der Form eine mechanische Verdichtung erfolgen.

Wenn ein Aufsatzrahmen verwendet wird, muss die zum Füllen der Form vorgesehene Betonmenge so bemessen sein, dass nach dem Verdichten eine Betonschicht im Aufsatzrahmen verbleibt. Die Dicke dieser Schicht muss 10 % bis 20 % der Höhe des Probekörpers betragen.

Beim Rütteln auf dem Rütteltisch ist der Probekörper in einer Schicht zu verdichten.“⁴⁴

⁴⁴ ONR 23303 01-09-2010 [4]

9.2.3 Verdichten des Betons

„Unmittelbar nach dem Einbringen in die Formen ist der Beton vollständig zu verdichten, wobei weder ein übermäßiges Entmischen noch eine Schlämmeschicht auftreten dürfen. Jede Schicht ist entweder durch mechanisches Vibrieren oder Handverdichtung zu verdichten:

Bei einer mechanischen Vibration ist die vollständige Verdichtung erreicht, wenn keine größeren Luftblasen mehr an der Oberfläche erscheinen und wenn die Oberfläche relativ glatt ist und ein glänzendes Erscheinungsbild ohne übermäßige Absonderungen zeigt.

Die Anzahl der Stöße pro Schicht, die für eine vollständige Handverdichtung notwendig ist, hängt von der Konsistenz des Betons ab.“⁴⁵

1) Verdichten mit dem Innenrüttler:

„In Österreich ist dieser Art der Verdichtung nicht zulässig. Beim Verdichten jeder Schicht mit einem Innenrüttler muss das Rütteln mindestens solange durchgeführt werden, bis der Beton vollständig verdichtet ist.

Ein übermäßiges Rütteln ist zu vermeiden, da es zu einem Freisetzen von eingeführten Luftporen führen kann. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Form nicht beschädigt wird. Der Rüttler sollte vertikal gehalten werden, wobei weder der Boden noch die Seitenflächen der Form berührt werden dürfen. Laborprüfungen haben gezeigt, dass große Vorsicht notwendig ist, um den Verlust künstlich eingeführter Luftporen zu vermeiden, wenn Innenrüttler verwendet werden.“⁴⁵

2) Verdichten mit einem Rütteltisch

„Das Rütteln ist nur solange durchzuführen, bis der Beton vollständig verdichtet ist. Dabei sollte die Form vorzugsweise am Tisch befestigt oder sicher gegen den Tisch gehalten werden. Ein übermäßiges Rütteln ist zu vermeiden, da es unter anderem zu Entmischungen führen kann.“⁴⁵

9.2.4 Lagerung der Probekörper

„Die Probekörper müssen bei einer Temperatur von (20 ± 5) °C mindestens 16 h, jedoch nicht länger als drei Tage in der Form verbleiben, wobei sie vor Stoß, Rütteln und Austrocknen zu schützen sind. Nach dem Entfernen aus der Form sind die Probekörper für die Prüfung der Druckfestigkeit bis zu einem Betonalter von sieben Tagen unter Wasser zu lagern danach Luftlagerung.“⁴⁵

⁴⁵ ONR 23303 01-09-2010 [4]

9.2.5 Transport der Probekörper

„Ein Transport von Proben in der Schalung vor einem Probenalter von 16 h ist nur dann zulässig, wenn eine Verschiebung des Frischbetons in der Form durch eine entsprechend steife mit der Form und der Betonoberfläche kraftschlüssige verbundene Abdeckung verhindert wird. In diesem Fall ist ein weiterer Probekörper (15-cm-Würfel) herzustellen und auf der Baustelle bei Temperaturen über den Gefrierpunkt vor Austrocknung geschützt zu lagern und innerhalb von 14 Tagen auszuschalen. Dieser Probekörper darf auf Grund der geänderten Lagerungsbedingungen nur bei negativem Prüfergebnis der transportierten Probekörper zur Ermittlung der Luftporenkennwerte und der Rohdichte verwendet werden. Bei negativem Ergebnis der transportierten Probekörper gilt das Ergebnis, von dem auf der Baustelle gelagerten Probekörper. Obige Festlegung zum Transport gilt für Probekörper zur Ermittlung der Druck-, Biegezug- und Spaltzugfestigkeit und der Rohdichte. Sie gilt auch für Probekörper zur Ermittlung der Luftporenkennwerte, der Wassereindringtiefe, des Elastizitätsmoduls und der Abreißfestigkeit, wenn der Frischbeton zum Zeitpunkt der Probekörperherstellung ein Ausbreitmaß unter einem geprüften Wert von 46 cm aufweist. Für Prüfungen der Frostklassen XF1, XF2, XF3, XF4 sowie der Längenänderung ist ein Transport von Proben in der Schalung vor einem Probenalter von 16 h unzulässig. Während des gesamten Transportes den entschalten Probekörper sind Feuchtigkeitsverlust und Abweichungen von der geforderten Lagerungstemperatur zu vermeiden. Die Probekörper sollten deshalb bei einer erforderlichen Lagerung unter Wasser z.B.: in feuchten Sand, feuchte Sägespäne oder feuchte Tücher verpackt oder in Wasser enthaltende, luftdichte Kunststoffsäcke verpackt werden. Bei Luftlagerung darf auch beim Transport keine Feuchtigkeit zugeführt werden.“⁴⁶

⁴⁶ ONR 23303 01-09-2010 [4]

10 Frischbetonprüfung

10.1 Konsistenz

10.1.1 Ausbreitmaß

„Diese Prüfung bestimmt die Konsistenz von Frischbeton durch Messung der Ausbreitung von Beton auf einer flachen Platte, die auf einen Rahmen fallengelassen wird.“⁴⁷ „Bei der Konsistenzklasse F66 und weicher ist das Verhalten (z.B. Abhebbarkeit vom Prüftisch) und das Aussehen des Ausbreitkuchens ein entscheidendes Kriterium für die Eignung des Betons und muss daher im Prüfbericht angegeben werden.“⁴⁸

„Gut geeignet sind Betone der Konsistenzklasse F66 und weicher dann, wenn nach Augenschein keine Entmischungen sichtbar sind und der Beton nach der Prüfung von der Tischoberfläche leicht entfernt werden kann.“⁴⁸

10.1.1.1 Geräte

„Ausbreittisch bestehend aus folgenden Teilen:

Beweglicher Tisch mit einer ebenen Platte mit den Maßen $(700 \pm 2)\text{mm} \times (700 \pm 2)\text{mm}$ zur Aufnahme des Betons, die mit Scharnieren an einem starren Rahmen befestigt ist, auf den sie aus einer festgelegten Höhe fallengelassen werden kann.“⁴⁷

Die obere Platte des Ausbreittisches muss eine Metalloberfläche mit einer Mindestdicke von 2mm aufweisen. Die Metalloberfläche darf nicht durch Bindemittelleim leicht angreifbar oder rostanfällig sein. Dieser bewegliche Teil muss eine Masse von $(16 \pm 0,5)$ kg aufweisen und darf mit einer Fische (lösbares Scharnier) befestigt sein, um eine Überprüfung des Gewichts zu ermöglichen. Die Platte muss so konstruiert sein, dass die Oberseite nicht verformt werden kann. Die obere Platte des Tisches und der Rahmen sind somit Scharnieren zu verbinden, dass Zuschläge nicht ohne weiteres zwischen die beiden Flächen geraten können.“⁴⁷

⁴⁷ Önorm EN 12350-5 15-07-2009 [14]

⁴⁸ ONR 23303 01-09-2010 [4]

„Die Ausbreittischmitte ist durch ein Kreuz parallel zu den Tischkanten und einen Kreis mit einem Durchmesser von (210 ± 1) mm zu markieren. Diese Markierung kann entfallen, wenn bei der Prüfung eine zentrische Aufstellung sichergestellt ist.“⁴⁹

„Die vorderen Ecken der Aufschlagtischplatte sind mit zwei starren Aufschlagklötzen zu versehen, die fest an der Unterseite anzuschrauben sind. Sie dürfen sich bei Feuchte nicht verformen und nicht absorbierend sein. Diese Klötze müssen die Last von der Tischplatte auf den Rahmen übertragen, ohne den Tisch zu verformen. Der Aufschlagrahmen muss so konstruiert sein, dass diese Last dann direkt auf die Oberfläche übertragen wird, auf die der Ausbreittisch gestellt wird, sodass nur eine geringe Tendenz besteht, dass die Tischplatte nach dem freien Fall zurückprallt.

Es sind Fußstützen anzubringen, um den Tisch bei Gebrauch zu stabilisieren.

Die Fallhöhe der Tischplatte, gemessen an der Mittellinie der Vorderkante der oberen Platte, ist mit Hilfe einer oder mehrerer Stopper auf (40 ± 1) mm zu begrenzen.

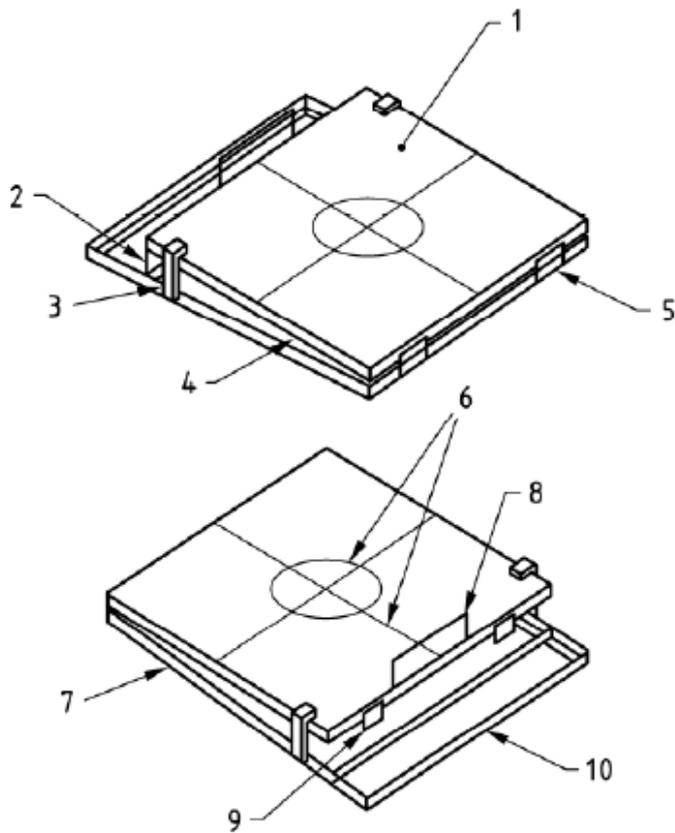
Zum Anheben der Tischplatte ist ein Handgriff oder eine Hubmechanik vorzusehen, um ein ruckfreies Anheben und einen freien Fall der Tischplatte über die gesamte Hubhöhe sicherzustellen.“⁴⁹

„Form aus Metall, die durch Zement nicht leicht angreifbar und nicht rostanfällig ist, und eine Mindestdicke von 1,5 mm aufweist. Das Innere der Form muss glatt und frei von Überständen, wie z. B. vorstehenden Nieten, und frei von Beulen sein. Die Form muss die Form eines Kegelstumpfs haben und folgende Innenmaße aufweisen:

- unterer Innendurchmesser: (200 ± 2) mm,
- oberer Innendurchmesser: (130 ± 2) mm,
- Höhe: (200 ± 2) mm.“⁴⁹

„Der Boden und das obere Ende müssen offen sein und parallel zueinander und rechtwinklig zur Kegelachse verlaufen. Die Form muss mit zwei Halteblechen oder Fußrasten am unteren Ende und darüber mit zwei Handgriffen versehen sein. Die Form darf am Tisch festgeklammert werden, sofern die Klammern wieder gelöst werden können, ohne dass die Form bewegt wird oder der sackende Beton beeinflusst wird.“⁴⁹

⁴⁹ Önorm EN 12350-5 15-07-2009 [14]



Es bedeutet:

- 1) Metallplatte
- 2) Hubhöhe, begrenzt auf (40 ± 1) mm
- 3) oberer Stopper
- 4) Aufschlagplatte
- 5) Scharniere (außen)
- 6) Markierung
- 7) Rahmen
- 8) Handgriff
- 9) unterer Stopper
- 10) Fußraster

Abb. 13: üblicher Ausbreittisch [4]

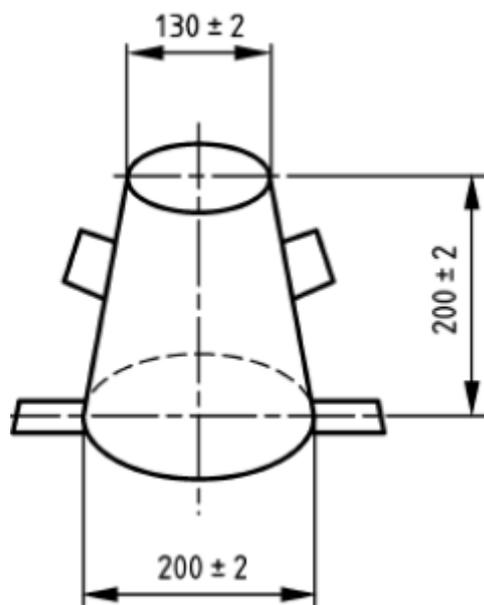


Abb. 14: Form (Maße in mm) [4]

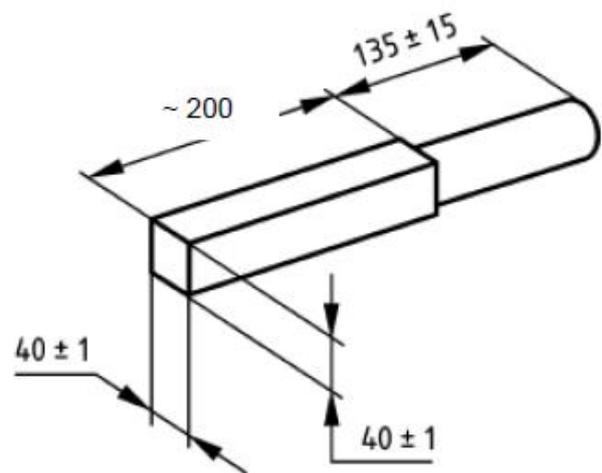


Abb. 15: Stößel (Maße in mm) [4]

- a) „Stößel aus hartem Material mit einem quadratischen Querschnitt von (40 ± 1) mm und einer Länge von etwa 200 mm. Weitere 120 mm bis 150 mm dürfen zu einem kreisförmigen Querschnitt gedreht sein, um einen Griff für den Stößel zu bilden
- b) Messlatte (oder Messschieber) mit einer Mindestlänge von 700 mm und einer 5-mm-Teilung über die gesamte Länge.
- c) Mischbehälter flache Schale (z.B.: Scheibtruhe, Labormischtrommel) aus unbiegsamem und nichtabsorbierendem Material, das durch Bindemittelleim nicht leicht angreifbar ist. Die Größe muss so bemessen sein, dass der Beton sorgfältig mit der Trapezkelle durchgemischt werden kann.
- d) Trapezkelle(Schaufel, mit rechteckigem Blatt)
- e) Feuchtes Tuch
- f) Schaufel mit einer Öffnungsweite von ungefähr 100 mm⁵⁰

10.1.1.2 Durchführung

„Der Ausbreittisch ist auf eine standfeste ebene horizontale Fläche frei von äußeren Erschütterungen oder Stoßbewegungen zu stellen. Es ist sicherzustellen, dass die am Scharnier befestigte Tischplatte über die gesamte Hubhöhe angehoben und im freien Fall bis zum unteren Aufschlagklotz geführt werden kann. Es ist zu überprüfen, ob der Tisch ausreichend gestützt ist, damit beim Fall auf den unteren Aufschlagklotz nur eine geringe Tendenz zum Zurückprallen der oberen Tischplatte besteht.

Unmittelbar vor der Prüfung sind Tisch und Form zu reinigen und anzufeuchten; sie müssen jedoch frei von überschüssiger Feuchte sein.

Es ist sicherzustellen, dass die Aufschlagklötze sauber sind. Die Form ist mittig auf die Tischplatte zu stellen und mit Hilfe der beiden Fußstützen auszurichten.

Die Form ist mit Hilfe der Schaufel in zwei gleiche Betonschichten zu füllen, wobei jede Schicht durch zehn leichte Stöße mit dem Stößel auszugleichen ist. Falls erforderlich, ist der zweiten Schicht Beton hinzuzufügen, um einen Überstand über dem Rand der Form zu erzielen. Die Betonfläche ist mit der Oberkante der Form bündig abzustreichen und die freie Tischplatte ist von überschüssigem Beton zu säubern.

30 Sekunden nach dem Abstreichen des Betons ist die Form an den Handgriffen langsam innerhalb von 1 bis 3 Sekunden vertikal hochzuziehen.“⁵¹

⁵⁰ ONR 23303 01-09-2010 [4]

⁵¹ Önorm EN 12350-5 15-07-2009 [14]

„Während der Prüfer zur Stabilisierung des Ausbreittisches auf dem Trittbloch des Aufstellrahmens steht, ist die Tischplatte langsam bis zum Anschlag anzuheben, ohne jedoch ruckartig daran zu stoßen. Dann ist die Platte bis zum unteren Anschlag frei fallen zu lassen.

Dieser Vorgang ist insgesamt 15-mal durchzuführen, wobei der Einzelvorgang jeweils nicht weniger als 1 Sekunde und nicht mehr als 3 Sekunde dauern darf. Mit der Messlatte oder dem Messschieber ist das Höchstausbreitmaß des Betons in zwei Richtungen, d_1 und d_2 , parallel zu den Tischkanten oder diagonal zu messen und die beiden Messungen sind auf 10 mm aufzuzeichnen.“⁵²

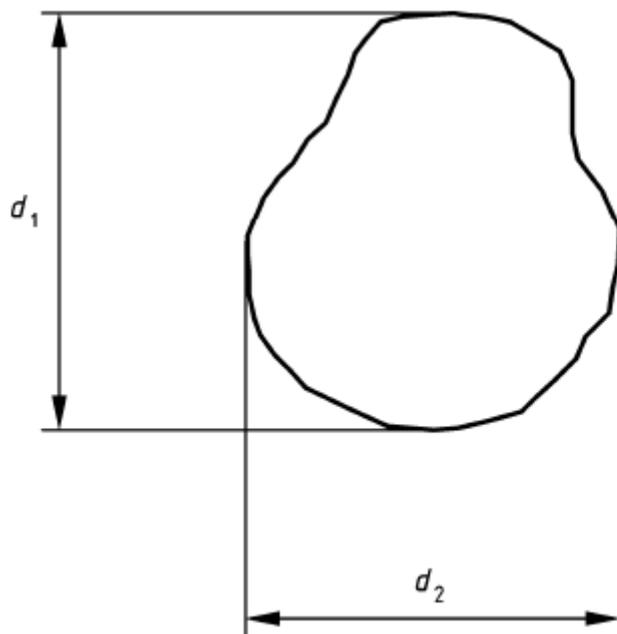


Abb. 16: Messung des Ausbreitmaßes [14]

„Die Ausbreitung des Betons ist auf Entmischung zu überprüfen. Der Bindemittelleim und die Gesteinskörnung können sich entmischen, wobei sich außen ein Leimring bilden kann. Entmischungen sind im Prüfbericht anzugeben und die Prüfung ist als unzureichend zu bezeichnen.“⁵³

⁵² Önorm EN 12350-5 15-07-2009 [14]

⁵³ ONR 23303 01-09-2010 [4]

10.1.1.3 Prüfergebnisse

„Das Ausbreitmaß f wird nach der folgenden Gleichung berechnet.“⁵⁴

$$f = (d_1 + d_2)/2 \quad [14]$$

„Dabei ist:

- d_1 die größte Ausbreitung des Betons parallel oder diagonal zu einer Kante des Ausbreittisches;
- d_2 die größte Ausbreitung des Betons normal zu d_1 .

Das Prüfergebnis ist auf 10 mm anzugeben.“⁵⁴

„Die Konsistenz von Beton wird in Klassen eingeteilt.

Wenn nicht anders vereinbart, sind in Österreich die Ausbreitmaßklassen gemäß Tabelle 6 Önorm B 4710-1 01-10-2007 in Klassen mit den Zielwerten F38 (plastisch), F45 (weich), F52 (sehr weich), F59 (fließfähig), F66 (sehr fließfähig), F73 (extrem fließfähig) anzuwenden. Die Werte des Ausbreitmaßes sind jeweils auf 10 mm zu runden.“⁵⁵

⁵⁴ Önorm EN 12350-5 15-07-2009 [14]

⁵⁵ Önorm B 4710-1 01-10-2007 [3]

10.2 Frischbeton-Rohdichte

„Die Prüfung ist stets gemeinsam mit einer Konsistenz-Prüfung durchzuführen. Die Prüfung ist stets bei der Herstellung von in Schalung hergestellten Probekörpern für Festbetonprüfungen durchzuführen.“⁵⁶

10.2.1 Prüfverfahren

„Der Frischbeton wird in einem biegesteifen und wasserdichten Behälter, dessen Volumen und Masse bekannt sind, verdichtet und gewogen.“⁵⁷

10.2.2 Geräte

- a) Behälter: ein wasserdichter Behälter mit ausreichender Biegesteifigkeit, aus einem Metall oder Kunststoff, der durch den Bindemittelleim nicht leicht angegriffen wird, mit einer glatten Innenfläche und einem glattgeschliffenen Rand. Rand und Boden müssen parallel verlaufen. Die kleinste Abmessung des Behälters muss mindestens das Vierfache der maximalen Nenngroße der groben Gesteinskörnung im Beton betragen, sie darf jedoch nicht kleiner als 150mm sein. Das Volumen des Behälters muss mindestens 5 l betragen.“⁵⁷
- b) Aufsatz (freigestellt): Es ist zulässig, das Einfüllen durch das Anbringen eines Aufsatzes am Behälter zu erleichtern.“⁵⁶
- c) Hilfsmittel für die Verdichtung, z. B. folgende:
 - Rütteltisch mit einer Mindestfrequenz von ungefähr 40 Hz (2 400 Umdrehungen je Minute), wobei die Wirksamkeit des Rütteltisches für eine praktisch vollständige Verdichtung des Frischbetons ausreichend sein muss;
 - Stab aus Stahl mit kreisförmigem Querschnitt, gerade, mit einem Durchmesser von ungefähr 16 mm, einer Länge von ungefähr 600mm und mit abgerundeten Enden;
 - Stampfer, mit quadratischem Querschnitt von ungefähr 25mm x 25mm und einer Länge von etwa 380mm;“⁵⁶

⁵⁶ ONR 23303 01-09-2010 [4]

⁵⁷ Önorm EN 12350-6 15-07-2009 [15]

- d) „Waage, mit der die Masse des verdichteten Betons auf 1 Gramm genau bestimmt werden kann.“⁵⁸
- e) „Stahllineal, dessen Länge mindestens 100mm länger sein muss als der maximale obere Innendurchmesser des Behälters.“⁵⁸
- f) „Probenahmeschaufel etwa 100mm breit.“⁵⁸
- g) „Glättkelle aus Stahl.“⁵⁸
- h) „Mischbehälter“⁵⁸
- i) „Trapezkelle“⁵⁸
- j) „Schlegel mit weicher Oberfläche.“⁵⁸

10.2.3 Durchführung

„In Abhängigkeit von der Konsistenz des Betons und des Verdichtungsverfahrens, muss der Behälter in zwei oder mehr Lagen gefüllt werden, um eine vollständige Verdichtung zu erzielen, ausgenommen im Fall von selbstverdichtendem Beton, bei dem der Behälter in einem Arbeitsgang gefüllt werden muss.“⁵⁹

„Wird ein Aufsatz beim Befüllen verwendet, so ist sicherzustellen, dass die zum Befüllen des Behälters benutzte Betonmenge nach dem Verdichten eine Betonschicht mit einer Dicke von 10% bis 20% der Behälterhöhe ergibt.“⁵⁸

„Unmittelbar nach dem Einbringen ist der Beton so zu verdichten, dass eine vollständige Verdichtung des Betons ohne übermäßiges Entmischen und Ausbluten erzielt wird.“⁵⁹ „Jede Schicht wird durch mechanisches Verdichten oder durch Handverdichtung verdichtet. Bei Verdichtung mit Rütteltisch ist der Beton in einer Schicht zu verdichten.“⁵⁸

„Beim Vorliegen von selbstverdichtendem Beton darf während oder nach dem Füllen des Behälters weder eine mechanische Verdichtung noch eine Verdichtung mit Hand erfolgen.“⁵⁹

„Verdichten mit dem Rütteltisch: Die Rüttelbehandlung muss mindestens für die Dauer angewendet werden, die für eine vollständige Verdichtung des Betons notwendig ist. Der Behälter sollte vorzugsweise am Tisch befestigt sein oder fest dagegegehalten werden. Zu langes Rütteln, das den Verlust künstlich eingeführter Luftporen bewirken kann, ist zu vermeiden.“⁵⁹

⁵⁸ ONR 23303 01-09-2010 [4]

⁵⁹ Önorm EN 12350-6 15-07-2009 [15]

„Handverdichtung mit einem Stab oder Stampfer:

Eine Handverdichtung ist in Österreich nur für Konsistenzen F59 oder weicher zulässig. Die Stöße mit dem Stab oder dem Stampfer sind gleichmäßig über den Querschnitt der Form zu verteilen. Es ist sicherzustellen, dass der Stab oder der Stampfer beim Verdichten der ersten Schicht nicht gewaltsam auf den Boden des Behälters auftrifft und des Weiteren nicht wesentlich in die vorangegangenen Schichten eindringt.“⁶⁰

„Oberflächenglättung:

Wenn ein Aufsatz verwendet wird, ist dieser unmittelbar nach dem Verdichten zu entfernen. Nach dem Verdichten der obersten Schicht wird diese mit einer Glättkelle geglättet und bündig mit dem Rand des Behälters abgestrichen. Die Oberfläche wird dann mit dem Stahllineal abgezogen, und der Rand und die Außenseiten des Behälters werden sauber gewischt.“⁶¹

10.3 Luftgehalt des Frischbetons

10.3.1 Druckausgleichsverfahren

„Ein bekanntes Luftvolumen wird bei bekanntem Druck in einer dicht verschlossenen Kammer mit dem unbekanntem Luftvolumen in der Betonprobe ausgeglichen. Dabei ist die Skalenteilung des Druckmessers (Manometer) für den resultierenden Druck auf den prozentualen Luftgehalt der Betonprobe kalibriert.“⁶²

10.3.2 Geräte

a) „Druckmessgerät; das besteht aus:

- Behälter: ein angeflanshtes zylindrisches Gefäß aus Stahl oder einem anderen harten Metall, das nicht mit dem Bindemittelleim reagiert, mit einem Nennvolumen von mindestens 5l und einem Durchmesser/Höhe-Verhältnis zwischen 0,75 und 1,25. Der äußere (abdichtende) Rand und die Innenflächen des Behälters müssen glattgeschliffen sein. Der Behälter muss wasserdicht sein; Behälter und Verschlussaggregat müssen außerdem für einen Prüfdruck von etwa 0,2 MPa (N/mm²) geeignet sein.“⁶²

⁶⁰ ONR 23303 01-09-2010 [4]

⁶¹ Önorm EN 12350-6 15-07-2009 [15]

⁶² Önorm EN 12350-7 15-07-2009 [16]

- „Verschlussaggregat“: ein angeflanschter biegesteifer Verschluss aus Stahl oder einem anderen harten Metall, das reaktionsträge gegenüber der Zementpaste ist, der äußere Rand und die untere Oberfläche des Flansches sowie die Innenflächen müssen glattgeschliffen sein. Das Verschlussaggregat muss den Behälter mit Hilfe einer Klemmvorrichtung druckdicht verschließen.“⁶³
- „Druckmesser“: Manometer, das am Verschlussaggregat angebracht ist, das für einen Luftgehalt von 0 % bis mindestens 8 %, vorzugsweise 10 % kalibriert ist. Die Skala des Manometers muss mindestens wie folgt unterteilt sein:
 - 0 % bis 3 %: 0,1 %
 - 3 % bis 6 %: 0,2 %
 - 6 % bis 10 %: 0,5 %“⁶³
- „Luftpumpe“: Druckpumpe, die in das Verschlussaggregat eingebaut sein darf.“⁶³

„Das Druckmessgerät muss bei der Prüfung kalibriert sein.“⁶³

b) „Eines der folgenden Hilfsmittel für die Verdichtung:

- Innenrüttler mit einer Mindestfrequenz von 120 Hz (7 200 Umdrehungen je Minute); der Durchmesser des Rüttlers darf ein Viertel der kleinsten Abmessung des Behälters nicht überschreiten;
- Rütteltisch mit einer Mindestfrequenz von 40 Hz (2 400 Umdrehungen je Minute),
- Stab aus Stahl, mit kreisförmigem Querschnitt, gerade, mit einem Durchmesser von ungefähr 16 mm, einer Länge von ungefähr 600 mm und abgerundeten Enden;
- Stampfer aus Stahl, mit quadratischem Querschnitt von etwa 25mm x 25mm und einer Länge von etwa 380mm.“⁶³

c) „Probenahmeschaufel, etwa 100mm breit;“⁶³

d) „Glättkelle aus Stahl;“⁶³

e) „Mischbehälter;“⁶³

f) „Rechteckig geöffnete Handschaufel;“⁶³

g) „Spritzflasche, geeignet, um Wasser durch das Ventil A oder Ventil B in den Behälter zu spritzen.“⁶⁴

⁶³ Önorm EN 12350-7 15-07-2009 [16]

⁶⁴ ONR 23303 01-09-2010 [4]

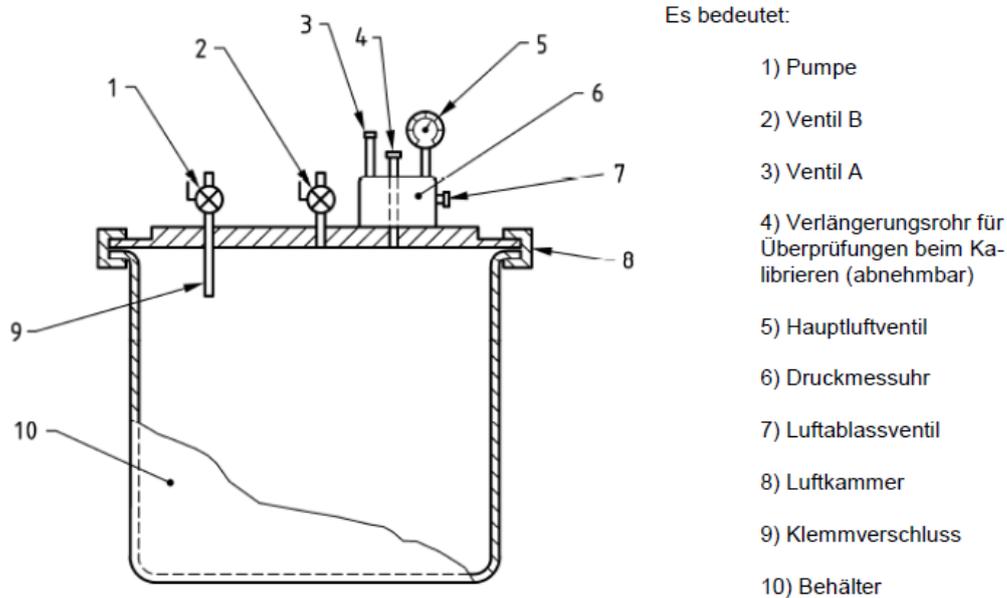


Abb. 17: Prüfgerät für das Druckausgleichsverfahren [4]

10.3.3 Durchführung

„Befüllen des Behälters und Verdichten des Betons:

Der Beton ist mit der Probenahmeschaufel in drei etwa gleichhohen Schichten so in den Behälter einzufüllen, dass möglichst wenig Luft eingeschlossen wird. Der Beton ist unmittelbar nach dem Einfüllen so zu verdichten, dass ein übermäßiges Entmischen und Bluten verhindert wird. Jede Schicht ist zu verdichten. Beim Verdichten mit dem Rütteltisch ist der Beton jedoch in einer Schicht einzufüllen und zu verdichten.

Die Materialmenge für die letzte Schicht muss möglichst so bemessen sein, dass der Behälter gerade ausreichend gefüllt wird, aber kein überschüssiger Beton entfernt werden muss. Eine kleine Menge zusätzlichen Betons kann zugefügt und verdichtet werden, um den Behälter zu füllen, jedoch sollte das Entfernen überschüssigen Materials vermieden werden.“⁶⁵

„Verdichten mit dem Rütteltisch:

Die Rüttelbehandlung muss mindestens für die Dauer angewendet werden, die für eine vollständige Verdichtung des Betons notwendig ist. Der Behälter sollte vorzugsweise am Tisch befestigt sein oder fest dagegehalten werden. Zu langes Rütteln, das den Verlust künstlich eingeführter Luftporen bewirken kann, ist zu vermeiden.“⁶⁵

⁶⁵ ONR 23303 01-09-2010 [4]

„Verdichten mit dem Stab oder dem Stampfer:

Diese Form der Verdichtung ist in Österreich nur für Konsistenzen F59 oder weicher zulässig. Die Stöße mit dem Stab oder dem Stampfer sind gleichmäßig über den Querschnitt der Form zu verteilen. Es ist sicherzustellen, dass der Stab oder der Stampfer beim Verdichten der ersten Schicht nicht gewaltsam auf den Boden des Behälters auftrifft und des Weiteren nicht wesentlich in die vorangegangenen Schichten eindringt. Je Schicht ist der Beton mindestens 25 Stößen auszusetzen. Um Lufteinschlüsse in Hohlräumen, nicht aber künstlich eingeführte Luftporen zu entfernen, ist nach dem Verdichten jeder Schicht mit dem Schlegel leicht an die Seitenwände des Behälters zu klopfen bis auf der Oberfläche keine großen Luftblasen mehr erscheinen und die Eindruckstellen des Stabes oder des Stampfers ausgefüllt sind.“⁶⁶

„Messen des Luftgehaltes:

Nach dem Verdichten des Betons wird dieser bündig mit dem oberen Rand des Behälters abgestrichen und mit der Glättkelle geglättet.

Die Flansche von Behälter und Verschluss sind gründlich zu reinigen. Das Verschlussaggregat wird aufgesetzt und mittels Klemmvorrichtung befestigt; dabei ist darauf zu achten, dass eine gute Druckabdichtung zwischen Behälter und Verschluss hergestellt wird. Das Hauptluftventil wird geschlossen und die Ventile A und B werden geöffnet. Durch Ventil A oder Ventil B wird mit einer Spritzflasche so lange Wasser eingefüllt, bis es aus dem anderen Ventil austritt. Mit dem Schlegel wird leicht gegen das Gerät geklopft und die enthaltene Luft vollständig ausgetrieben.“⁶⁶

„Das Entlüftungsventil der Luftkammer wird geschlossen und so lange Luft in die Luftkammer gepumpt, bis der Zeiger des Druckmessers anspricht. Nachdem sich die Druckluft in wenigen Sekunden auf Raumtemperatur abgekühlt hat, wird die Nullpunktsanzeige am Manometer durch Nachpumpen oder Ablassen von Luft stabilisiert. Während dieses Vorgangs wird mit dem Schlegel leicht gegen das Messgerät geklopft. Ventil A und Ventil B werden geschlossen, das Hauptluftventil wird geöffnet.

Nach dem Schließend s Hauptventils wird an die Behälterwände geklopft und anschließend das Hauptluftventil wieder geöffnet. Um die Anzeige zu stabilisieren, wird mit dem Finger leicht am Manometer geklopft, der Anzeigewert entspricht dann dem scheinbaren prozentualen Luftgehalt. Bevor der Verschluss entfernt wird, werden die Ventile A und B geöffnet, um den Druck zu abzulassen.“⁶⁶

⁶⁶ ONR 23303 01-09-2010 [4]

10.4 Gesamtwassergehalt des Frischbetons und der Gesteinskörnungen

10.4.1 Mikrowellenverfahren

„Dieses Verfahren ist zur Bestimmung des Gesamtwassergehaltes (= wirksamer Wassergehalt + Kernfeuchte) von Gesteinskörnungen und Frischbeton mit einem Größtkorn von höchstens 32mm anzuwenden. Die Masse der zu untersuchenden Probe (Gesteinskörnung, Frischbeton) wird vor und nach Trocknung bestimmt. Die Trocknung erfolgt im Mikrowellenherd. Der Gesamtwassergehalt wird aus dem Masseverlust berechnet. Mit diesem Prüfverfahren wird die Kernfeuchte der Gesteinskörnungen voll mitbestimmt.“⁶⁷

10.4.2 Geräte

„Es ist zu verwenden:

- a) Waage, mit der die zu ermittelnde Masse auf 1g genau bestimmt werden kann. Die Waage muss mindestens einmal jährlich kalibriert werden.
- b) Mikrowellenherd mit einer Leistung von mindestens 800 Watt, der für Probenteller mit einem Durchmesser von mindestens 28 cm, besser 32 cm geeignet ist.
- c) Probenteller aus einem für die Verwendung im Mikrowellenherd geeigneten Material mit einem Durchmesser von mindestens 28 cm, besser 32 cm, wenn der Mikrowellenherd dafür geeignet ist.“⁶⁷

10.4.3 Durchführung der Prüfung

„Die Prüfung ist vor Witterungseinflüssen geschützt durchzuführen.

Der Probenteller ist auf ganze Gramm genau zu wägen.“⁶⁷

„2±0,1 kg von dem entnommenen Probenmaterial sind lose, gleichmäßig verteilt, auf den Probenteller zu legen und auf ganze Gramm genau zu wägen. Es ist darauf zu achten, dass diese Teilprobe dem Probendurchschnitt entspricht. Während der folgenden Arbeitsschritte ist sicherzustellen, dass kein Probenmaterial, außer Wasser, verloren geht.

Der Probenteller mit der Probe ist in den Mikrowellenherd zu geben und die nach erwartetem Gesamtwassergehalt erforderliche Trocknungszeit ist einzustellen.“⁶⁷

⁶⁷ ONR 23303 01-09-2010 [4]

„Ein Unterschreiten dieser Trocknungszeit ist unzulässig.

Nach Ende der eingestellten Trocknungszeit ist die Probe mit dem Teller zu wägen und anschließend weitere 2min in der Mikrowelle zu trocknen. Die hierauf festgestellte Masse darf von der vorher bestimmten Masse um nicht mehr als 5g abweichen. Andernfalls ist eine neuerliche Probe zu verwenden und mit entsprechend verlängerter Trocknungszeit zu prüfen.

Die Trocknungszeit darf um nicht mehr als 10% überschritten werden, da sonst der Mikrowellenherd beschädigt werden kann und bei einem Papierteller als Probenhalter dieser verglöst werden kann.“⁶⁸

„Wenn nicht sichergestellt ist, dass der Probenhalter bei der Betontrocknung keine Masse verliert, ist der Probenhalter anschließend sorgfältig von der Probe zu reinigen und ebenfalls auf ganze Gramm genau zu wägen. Bei Probenhaltern aus Papier kann ein Wasserverlust von 5 % für die Berechnung verwendet werden.“⁶⁸

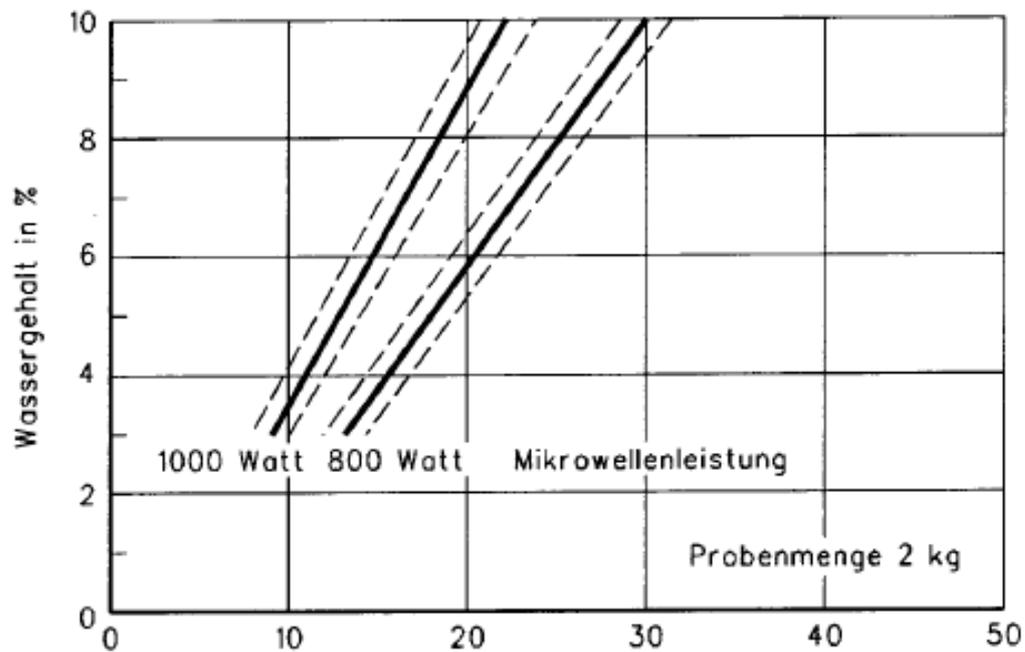


Abb. 18: Erforderliche Trocknungszeit in Minuten [2]

⁶⁸ ONR 23303 01-09-2010 [4]

10.4.4 Prüfergebnisse

„Aus den ermittelten Massen ist der Gesamtwassergehalt für Gesteinskörnungen und der Gesamtwassergehalt für Frischbeton gemäß den nachfolgenden Formeln zu ermitteln. Das Ergebnis in % ist auf 0,1% genau anzugeben.“⁶⁹

„Es bedeutet:

W_{ges}	Gesamtwassergehalt der Probe, angegeben in % oder bei Frischbeton auch in l/m^3
m_f	Masse der eingewogenen Probenmenge und des Probetellers, in g vor Prüfbeginn
t_f	Masse des Probetellers, in g vor Prüfbeginn
m_{tr}	Masse der getrockneten Probenmenge und des Probetellers nach der Trocknung, in g
t_{tr}	Masse des Probetellers nach der Trocknung, in g
ρ_{tr}	Frischbeton-Rohdichte in kg/m^3 ⁶⁹

Gesamtwassergehalt Gesteinskörnungen:

$$W_{\text{ges}} = \frac{m_f - t_f - m_{\text{tr}} + t_{\text{tr}}}{m_{\text{tr}} - t_{\text{tr}}} * 100 \text{ in \% der Masse} \quad [4]$$

Gesamtwassergehalt Frischbeton:

$$W_{\text{ges}} = \frac{m_f - t_f - m_{\text{tr}} + t_{\text{tr}}}{m_f - t_f} * 100 \text{ in \% der Masse} \quad [4]$$

„Aus dem Gesamtwassergehalt des Frischbetons in % und der Rohdichte des Frischbetons ist der Gesamtwassergehalt in l/m^3 gemäß nachfolgender Formel zu errechnen und auf 1 l/m^3 genau anzugeben.“⁶⁹

$$W_{\text{ges}} \left(\text{in } \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \right) = W_{\text{ges}} (\text{in \% der Masse}) * \rho_{\text{FB}} \quad [4]$$

⁶⁹ ONR 23303 01-09-2010 [4]

11 Forschungsarbeit:

In diesem Teil der Diplomarbeit werden die Untersuchungsberichte präsentiert.

11.1 Motivation

Aktuell werden für die Herstellung von Betonproben meist Würfel- und Zylinderformen aus Gusseisen verwendet.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit, "Abhängigkeit der Betondruckfestigkeit von Formenwerkstoff und Verdichten", wird untersucht, welche Auswirkungen die Formen aus unterschiedlichen Materialien, auf die Betondruckfestigkeit haben. Dabei wurden Betonproben mit Gusseisen, Kunststoff- und Hybridformen, Marke Esty und Kombi, hergestellt, abgedrückt und die Ergebnisse ausgewertet.

Zusätzlich wurde überprüft, welche Auswirkung die Rüttelfrequenzstärken auf die Druckfestigkeit haben. Desweiteren wurde untersucht, welche Auswirkungen auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten haben, wenn man die Probekörper magnetisch am Tisch befestigt oder händisch gegen den Tisch hält. Denn in den Normen ist es ebenfalls nicht festgeschrieben worden, wie die Proben auf den Tisch befestigt sein sollen.

Mit den Drehzahlen 4000 Schwingung/Min und 9000 Schwingung/Min. wurden die Betonproben verdichtet, um die Differenz, falls überhaupt welcher besteht, zwischen den Betondruckfestigkeiten zu ermitteln.

Die Versuche wurden mit der Betongüte C16/20, C25/30 und C30/37 durchgeführt. Je Versuch wurden 48 Proben hergestellt, abgedrückt und die Ergebnisse ausgewertet.

Mit diesen Forschungsergebnissen werden alle Unklarheiten betreffend Druckfestigkeit, Kosten und physikalische Einwirkungen auf den Laboranten geklärt.

11.2 Kooperation

Im Rahmen der Durchführung dieser Untersuchungen wurde mit folgende Firmen kooperiert.

Kooperationspartner:

- Firma Cemex-Österreich und
- Firma Testing

Firma Cemex-Österreich:

„Die Firma Cemex-Österreich ist Teil des mexikanischen Cemex Konzerns, einem Unternehmen, welches in den Sparten Zement, Beton und Kies tätig ist. Die Firma Cemex ist ein global führendes Baustoffunternehmen und der weltweit größte Hersteller von Fertigbeton.“⁷⁰

Für die Forschungsarbeit stellte die Firma Cemex alle notwendigen labortechnischen Gerätschaften bereit.

Die Räumlichkeiten sowie der Frischbeton in verschiedenen Sorten wurde von Cemex-Österreich für die Erarbeitung der Untersuchungen zur Verfügung gestellt.

⁷⁰ Firma Cemex: Betonlieferant [5]



Abb. 19: Cemex-Betonherstellwerk und Labor in Wien-Donaustadt



Abb. 20: Cemex-Betonherstellwerk und Labor in Steiermark-Krieglach



Abb. 21: Cemex-Labor



Abb. 22: Cemex-Labor Beton wird in die Scheibtruhnen eingefüllt

Firma Testing:

„Die Firma Testing produziert seit über dreißig Jahren Baustoffprüfgeräte und ist auf dem Weltmarkt sehr erfolgreich. Das Unternehmen fertigt Baustoff-Prüfgeräte europäische Normen. Darüber hinaus entwickelt und produziert die Firma Testing nicht genormte Prüfgeräte/-maschinen für Forschungsinstitute, Universitäten, Schulen sowie den allgemeinen Bedarf.“⁷¹

Die Firma Testing stellte für die Erarbeitung dieser Forschung folgende Werkstoffe und Geräte bereit.

- 6 Stück Würfelformen aus Gusseisen 150 x 150 x 150 [mm]
- 6 Stück Würfelformen Esty in Hybrid; Grundplatte aus Gusseisen und Mantel aus Kunststoff 150 x 150 x 150 [mm]
- 6 Stück Würfelformen Kombi aus Hybrid; Grundplatte aus Gusseisen und Mantel aus Kunststoff 150 x 150 x 150 [mm]
- 6 Stück Würfelformen aus Kunststoff 150 x 150 x 150 [mm]
- 1 Stück Rütteltisch mit Magnetspannvorrichtung, Zeitschaltuhr und regelbarer Drehzahl von 4000 Schwingung/Min. bis 9000 Schwingung/Min.
- Sowie die restlichen Formen für die Untersuchung der Zylinderdruckfestigkeiten, der parallel von meinen Studienkollegen bearbeitet wurde. (siehe Diplomarbeit: *"Abhängigkeit der Betondruckfestigkeit von Formenwerkstoff und Verdichten an Zylinderformen"*)



Abb. 23: Gusseisen-Würfelform [41]

⁷¹ Firma Testing: Lieferant der Baustoffprüfgeräte und –formen [6]



Abb. 24: Hybrid-Würfelform; Marke Esty; Grundplatte aus Gusseisen und Mantel aus Kunststoff [41]



Abb. 25: Hybrid-Würfelform; Marke Kombi; Grundplatte aus Gusseisen und Mantel aus Kunststoff [41]



Abb. 26: Kunststoff-Würfelform [41]



Abb. 27: Stück Rütteltisch mit Magnetspannvorrichtung, Zeitschaltuhr und regelbarer Drehzahl [42]

11.3 Terminmanagement

Die Versuche wurden in drei Versuchsreihen durchgeführt. Je Versuchsreihe wurden 48 Proben untersucht. Eine Versuchsreihe dauerte Tage. Am ersten Versuchstag wurden 24 Proben hergestellt. Am zweiten Versuchstag wurden die Proben des ersten Versuchstages ausgeschalt und in das Wasserbecken gegeben, danach wurden am selben Tag 24 neue Proben hergestellt. Diese Proben wurden am dritten Versuchstag ausgeschalt und unmittelbar danach ins Wasserbecken gestellt. Am vierten und fünften Versuchstagen wurden die Proben aus dem Wasserbecken genommen und für die nächsten 21 Tage luftgelagert. Am sechsten und siebenten Versuchstagen wurden die Proben abgedrückt und die Ergebnisse dokumentiert.

Die Versuche wurden mit der Druckfestigkeitsklasse C16/20, C25/30 und C30/37 durchgeführt, wobei die Ausbreitmaß, Luftporengehalt, Betontemperatur, Luftporengehalt und Wichte unabhängig vom Versuchstag ermittelt wurden.

11.4 Versuchsreihen

In der Önorm B4710-1 werden die Pflichten des Verfassers der Festlegungen, bezüglich der Betonsorte und zusätzlicher Festlegungen bestimmt. Laut Recherche und Erkundung, von den Cemex- Mitarbeiter & -Laboranten, werden die Druckfestigkeitsklassen, C16/20, C25/30 und C30/37, am meisten in Wien verkauft. Aus diesem Grund war es auch sinnvoll diese Betongüter, die wesentlich mehr wirtschaftliche Bedeutung haben als Andere, als Versuchsobjekte zum Einsatz zu bringen.

Tabelle 10: Versuchsreihen

	Datum	Ort	Anzahl der Formen	Betongüte
Erste Versuchsreihe	19.05.2014 & 20.05.2014	Cemex-Labor Donaustadt- Wien	24 + 24	C25/30 B1 GK16 F52 42,5N
Zweite Versuchsreihe	24.06.2014 & 26.06.2014	Cemex-Labor Donaustadt- Wien	24 + 24	C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N
Dritte Versuchsreihe	17.11.2014 & 18.11.2014	Cemex-Labor Krieglach-Steiermark	24 + 24	C30/37 B1 GK16 F52 42,5N

a) Erste Versuchsreihe: Beton: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

- C25/30: Festigkeitsklasse
 - i. 25: charakteristische Zylinderdruckfestigkeit
 - ii. 30: charakteristische Würfeldruckfestigkeit
- B1: Expositionsklasse; Wasserdruck bis 10m
- PUMI: Pumpbeton
- GK16 = Größtkorn 16cm
- F52 = Ausbreitmaß: sehr weich: 49-55cm
- 42,5N: Portlandhüttenzement

Tabelle 11: Betonkennwerte beim ersten Versuch

	19.05.2014	20.05.2014
Lufttemperatur	18,0°	25,2°
Betontemperatur	21,5°	25,8°
Luftporengehalt	2,90 %	2,70 %
Ausbreitmaß	49,0 cm	49,0 cm
Betonwichte (frisch)	23,36 kN/m ³	23,38 kN/m ³
Betonmenge	0,25 m ³	0,25 m ³
W/B-Wert	0,57	0,57
Gesamtwassergehalt	7,85 %	8,00 %

b) Zweite Versuchsreihe: Beton: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N

- C16/20: Festigkeitsklasse
 - i. 16: charakteristische Zylinderdruckfestigkeit
 - ii. 20: charakteristische Würfeldruckfestigkeit
- XC1: Expositionsklasse; ständig trocken, ständig nass
- GK16 = Größtkorn 16cm
- F45 = Ausbreitmaß: weich: 42-48cm
- 42,5N: Portlandhüttenzement

Tabelle 12: Betonkennwerte beim zweiten Versuch

	24.06.2014	26.06.2014
Lufttemperatur	26,0°	24,0°
Betontemperatur	21,5°	21,0°
Luftporengehalt	1,70 %	1,50 %
Ausbreitmaß	43,0 cm	44,0 cm
Betonwichte (frisch)	2380 kN/m ³	2399 kN/m ³
Betonmenge	0,25 m ³	0,25 m ³
W/B-Wert	0,7	0,7
Gesamtwassergehalt	7,20 %	7,05 %

- c) Dritte Versuchsreihe: Beton: C30/37 B1 GK16 F52 42,5N
- C30/37: Festigkeitsklasse
 - i. 30: charakteristische Zylinderdruckfestigkeit
 - ii. 37: charakteristische Würfeldruckfestigkeit
 - B1: Expositionsklasse; Wasserdruck bis 10m
 - GK16 = Größtkorn 16cm
 - F52 = Ausbreitmaß: sehr weich: 49-55cm
 - 42,5N: Portlandhüttenzement

Tabelle 13: Betonkennwerte beim dritten Versuch

	17.11.2014	18.11.2014
Lufttemperatur	9°	7°
Betontemperatur	16,3°	16,0°
Luftporengehalt	1,50 %	0,80%
Ausbreitmaß	53,0 cm	53,5 cm
Betonwichte (frisch)	2428 kN/m ³	2435 kN/m ³
Betonmenge	0,25 m ³	0,25 m ³
W/B-Wert	0,6	0,6
Gesamtwassergehalt	6,15%	7,70%

11.5 Herstellen, Lagern und Abdrücken von Probekörpern in dieser Arbeit:

Die Herstellung, Lagerung und das Abdrücken wurde normgerecht nach Önorm EN 12350-1 und ONR 23303 durchgeführt. Im ersten Teil dieser Diplomarbeit wurde der Ablauf Ablauf einer Betondruckfestigkeitsüberprüfung beschrieben.

- a) Vorbereiten: Vor dem Füllen wurde die Innenfläche der Formen mit einer dünnen Schicht aus einem nicht reagierenden Entschalungsmittel bedeckt, um zu verhindern, dass der Beton an der Form haftet.

- b) Verdichten: Unmittelbar nach dem Einbringen in die Formen wurde der Beton vollständig verdichtet, wobei weder ein übermäßiges Entmischen noch eine Schlammeschicht auftreten durfte.

Der Beton wurde laut Norm in zwei Schichten verdichtet. Bei der Hälfte der Formen wurde der Rütteltisch eingeschaltet, unmittelbar danach wurde die zweite Hälfte nachgefüllt. Somit wurde ein übermäßiges Rütteln der ersten Hälfte vermieden, da es sonst unter anderem zu Entmischungen und zu einem Freisetzen von eingeführten Luftporen führen konnte.

In dieser Arbeit wurde überprüft, welche Auswirkungen 4000 Schwingung/Min. und 9000 Schwingungen/Min., auf die Druckfestigkeit hat. Darüber hinaus wurde untersucht, welche Auswirkungen auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten haben, wenn man die Probekörper magnetisch am Tisch befestigt oder händisch gegen den Tisch hält.

Tabelle 14: Rüttelzeitdifferenz

		Rüttelzeitdifferenz					
		Händisch gegen den Tisch gehalten			Magnetisch am Tisch befestigt		
		4000 U/min	9000 U/min	Δ	4000 U/min	9000 U/min	Δ
Erste Versuchsreihe:	C25/30	35-45 sec.	20-30 sec.	bis zu 25 sec.	35-45 sec.	20-30 sec.	bis zu 25 sec.
Zweite Versuchsreihe:	C16/20	35-45 sec.	20-30 sec.	bis zu 25 sec.	35-45 sec.	20-30 sec.	bis zu 25 sec.
Dritte Versuchsreihe:	C30/37	35-45 sec.	20-30 sec.	bis zu 25 sec.	35-45 sec.	20-30 sec.	bis zu 25 sec.

Die Differenz der Rüttelzeit zwischen 4000 Schwingung/Min und 9000 Schwingung/Min ergibt bei den Würfelformen bis zu 25 Sekunden. Die langen Rüttelzeiten haben den Nachteil, dass es zu einer Entmischung kommen kann. Die Auswirkungen der Rüttelfrequenzen werden in den nächsten Kapiteln anhand der Ergebnisse von Druckfestigkeiten veranschaulicht. Für den Laboranten hat die Drehzahl 9000 Schwingung/Min den Vorteil, dass die Verdichtung schneller erfolgt.

Auf die Verdichtungszeit hat es keinen Einfluss, ob man die Formen am Tisch magnetisch befestigt oder manuell gegen den Tisch abstützt. Sehr wohl hat es Einfluss auf den Laboranten, bei dem die körperliche Tätigkeit wesentlich reduziert wird.

Die Magnetfunktion der modernen Rütteltische kann man nur bei Gusseisenformen oder Hybridformen ausnutzen. Bei Kunststoffformen ist diese Funktion unwirksam.

- c) Ausschalen: Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Formen; die ausschraubbare Formen, Gusseisenformen, und Formen mit Luftdruckgeräten zum Ausschalen (Hybrid- und Kunststoffformen).
- Gusseisenformen: die Form wird auseinander geschraubt. Die Betonproben werden herausgenommen und in den Wasserbecken gelegt. Unmittelbar danach werden die einzelnen Teile der Form gereinigt und verschraubt. Danach werden die Formen mit einer Schieblehre mikrometergenau 15x15x15 cm kalibriert.
 - Die Proben in Kunststoff- und Hybridformen werden unter Zuhilfenahme von Luftdruckgeräten aufgenommen. Wenn die Formen vor dem Eingießen des Betons unzureichend eingeölt, kann es während des Ausschalens auf den Ecken zu Rissen bzw. kleinen Brüchen oder Entkantungen kommen. Nach dem Ausschalen müssen die Eckpunkte sorgfältig geputzt und eingeölt werden. Im Gegensatz zu den Gusseisenformen dauert das Ausschalen nur ein Drittel der Zeit.
- d) Lagern: Laut Norm müssen die Probekörper bei einer Temperatur von $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ mindestens 16h, jedoch nicht länger als 3 Tage in der Form verbleiben, wobei sie vor Stoss, Rütteln und Austrocknen zu schützen sind. Nach dem Entfernen aus der Form wurden die Probekörper für die Prüfung der Druckfestigkeit bis zu einem Betonalter von 7 Tagen unter Wasser gelagert, danach wurden Sie 21 Tage luftlagelagert.
- e) Abdruck: Das Druckgerät wurde vor dem Abdrücken durch die Firma Testing kalibriert. Penibel genau wurden die Proben in den Druckkörper zwischen den Druckachsen hineingestellt. Da war es ausschlaggebend, dass die Druckachse mit der mittleren Achse der Proben übereinstimmt.

11.6 Ergebnisse

Alle wichtigen Informationen wurden in den folgenden Listen eingetragen. Alle Maßen sowie Gewichte, nach der Wasserlagerung und vor dem Abdrücken wurden ermittelt und aufgezeichnet. Nach 28 Tagen wurden die Proben abgedrückt und die aufnehmbare Druckkraft ermittelt und daraus die vorhandene Druckfestigkeit errechnet. Es wurden zu je Serie mindestens drei gleichartige Proben hergestellt, und daraus die mittlere Druckfestigkeit ermittelt. Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse in Tabellen und in Diagrammen visualisiert.

11.6.1 Ergebnisse in Tabellenform

Ergebnisse in Tabellenform zeigt die Gesamtergebnisse in allen Phasen der Forschungsentwicklung. Alle Angaben sowie die Druckfestigkeiten wurden hier eingetragen und bezwecken hiermit die mögliche Nachprüfung. Dies beweist auch, dass die Arbeiten mit höchster Sorgfalt durchgeführt und jede Einzelheiten penibel genau dokumentiert worden sind

Folgende Daten wurden eingetragen

- Bezeichnung
- Befestigungsart am Tisch (magnetisch/händisch)
- Drehzahl (4000 U/min. / 9000 U/min.)
- Material (Gusseisen, Kunststoff, Esty, Kombi)
- Länge, Breite, Höhe & Masse der Formen
- Masse voll mit Frischbeton der Formen
- Masse feucht Frischbeton
- Masse Betonwürfel nach dem Ausschalen am ersten Tag
- Masse Betonwürfel nach sieben Tagen unter Wasser
- Länge, Breite, Höhe & Masse der Formen nach 28 Tagen
- Aufnehmbare Druckkraft & daraus errechnete Druckfestigkeit
- Mittelwert der Druckfestigkeit

Tabelle 15: Ergebnisse der ersten Versuchsreihe: Beton C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

	Name	Frequenz: Händ. / Mag	Frequenz	Form	Material	Gewicht leer [kg] (Form)	Gewicht voll [kg]	Differenz Frischbeton [kg]	Betonwürfel trocken am 1.Tag [kg]	Gewicht nach 7 Tagen unter Wasser [kg]	Länge / Durchmesser Probe [cm]
1	GWMa41					13,08	21,04	7,96	7,91	7,96	15,10
2	GWMa42					12,47	20,28	7,81	7,79	7,83	15,05
3	GWMa43		4000			12,49	20,47	7,98	7,93	7,98	15,05
4	GWMa41-2					12,64	20,85	8,21	7,90	7,94	15,10
5	GWMa42-2					11,67	19,63	7,96	7,92	7,97	15,10
6	GWMa43-2					13,30	21,22	7,92	7,87	7,92	15,10
7	GWMa91	Händisch		Würfel	Gusseisen	12,43	20,30	7,87	7,86	7,91	15,00
8	GWMa92					12,47	20,36	7,89	7,87	7,90	15,00
9	GWMa93		9000			12,38	20,33	7,95	7,92	7,97	15,10
10	GWMa91-2					11,95	19,89	7,94	7,90	7,95	15,10
11	GWMa92-2					13,35	21,23	7,88	7,83	7,88	15,00
12	GWMa93-2					11,07	19,12	8,05	7,93	7,98	15,10
13	GWMa91					12,48	20,46	7,98	7,94	8,00	15,10
14	GWMa92		4000			12,46	20,43	7,97	7,93	7,98	15,00
15	GWMa93					12,43	20,48	8,05	7,95	8,00	15,00
16	GWMa91	Magnetisch		Würfel	Gusseisen	12,43	20,36	7,93	7,92	7,96	15,00
17	GWMa92		9000			12,47	20,44	7,97	7,94	7,99	15,00
18	GWMa93					12,38	20,32	7,94	7,89	7,94	15,10
19	KsWMa41					1,63	9,55	7,92	7,86	7,91	15,10
20	KsWMa42		4000			1,60	9,48	7,88	7,86	7,91	15,05
21	KsWMa43			Würfel	Kunststoff	1,52	9,44	7,92	7,79	7,85	15,00
22	KsWMa91					1,53	9,43	7,90	7,85	7,90	15,00
23	KsWMa92		9000			1,62	9,41	7,79	7,84	7,90	15,00
24	KsWMa93					1,61	9,56	7,95	7,89	7,95	15,05
25	EWMa41					4,11	12,12	8,01	7,96	8,01	15,10
26	EWMa42		4000			4,09	11,88	7,79	7,77	7,81	15,00
27	EWMa43					4,04	12,02	7,98	7,93	7,99	15,10
28	EWMa91	Händisch		Würfel	Esty	4,02	11,84	7,82	7,78	7,89	15,10
29	EWMa92		9000			4,15	12,01	7,86	7,84	7,90	15,10
30	EWMa93					4,13	11,96	7,83	7,81	7,86	15,05
31	EWMa41					4,11	12,21	8,10	8,05	8,10	15,10
32	EWMa42		4000			4,09	12,07	7,98	7,94	7,99	15,10
33	EWMa43					4,04	12,05	8,01	7,99	8,02	15,10
34	EWMa91	Magnetisch		Würfel	Esty	4,02	11,99	7,97	7,93	7,98	15,00
35	EWMa92		9000			4,15	12,16	8,01	7,98	8,02	15,10
36	EWMa93					4,13	12,08	7,95	7,92	7,97	15,10
37	KWMa41					5,29	13,16	7,87	7,85	7,90	15,10
38	KWMa42		4000			5,38	13,27	7,89	7,86	7,91	15,10
39	KWMa43					5,30	13,21	7,91	7,87	7,93	15,10
40	KWMa91	Händisch		Würfel	Kombi	5,20	13,18	7,98	7,91	7,96	15,10
41	KWMa92		9000			5,22	13,16	7,94	7,91	7,95	15,10
42	KWMa93					5,34	13,20	7,86	7,84	7,89	15,10
43	KWMa41					5,29	13,36	8,07	8,02	8,07	15,00
44	KWMa42		4000			5,38	13,45	8,07	7,99	8,04	15,00
45	KWMa43					5,30	13,29	7,99	7,97	8,01	15,00
46	KWMa91	Magnetisch		Würfel	Kombi	5,20	13,20	8,00	7,97	8,02	15,10
47	KWMa92		9000			5,22	13,25	8,03	8,00	8,04	15,00
48	KWMa93					5,34	13,34	8,00	7,97	8,02	15,10

Tabelle 16: Ergebnisse der ersten Versuchsreihe: Beton C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

	Name	Frequenz: Händ. / Mag	Frequenz	Form	Material	Breite Probe [cm]	Höhe Probe [cm]	Gewicht Probe am 28. Tag [kg]	aufnehmbare Druckkraft [kN]	Druckfestigkeit [N/mm ²]	Mittelwert Druckfestigkeit [N/mm ²]	
1	GWMa41					15,1	15,1	7,85	695	30,48		
2	GWMa42					15,05	15,1	7,71	705	31,13		
3	GWMa43		4000			15,1	15,1	7,85	715	31,46		30
4	GWMa41-2					15	15	7,82	710	31,55		
5	GWMa42-2					15	15,1	7,86	700	30,91		
6	GWMa43-2					15	15,1	7,82	715	31,78		
7	GWMa41	Händisch		Würfel	Gusseisen	15	15	7,82	715	31,78		
8	GWMa42					15	15	7,8	725	32,22		
9	GWMa43		9000			15,1	15,15	7,86	730	32,02		
10	GWMa41-2					15	15	7,83	715	31,57		
11	GWMa42-2					15	14,9	7,77	710	31,56		
12	GWMa43-2					15,1	15	7,85	710	31,14		
13	GWMa41					15	15,2	7,87	805	35,54		
14	GWMa42		4000			15	15,1	7,82	750	33,33		30
15	GWMa43	Magnetisch		Würfel	Gusseisen	15	15,2	7,88	710	31,56		
16	GWMa41		9000			15	15,1	7,83	805	35,78		
17	GWMa42					15	15,1	7,87	755	33,56		30
18	GWMa43					15,1	15,1	7,83	735	32,24		
19	KsWMa41					15,1	15,1	7,8	725	31,80		
20	KsWMa42		4000			15	15,1	7,75	745	33,00		30
21	KsWMa43	Händisch		Würfel	Kunststoff	15	15,1	7,72	725	32,22		
22	KsWMa41					15	15,1	7,79	770	34,22		
23	KsWMa42		9000			15	15	7,78	780	34,67		30
24	KsWMa43					15,05	15,1	7,85	770	34,00		
25	EWMa41					15,1	15,1	7,88	650	28,51		
26	EWMa42		4000			15	15,1	7,69	695	30,89		30
27	EWMa43	Händisch		Würfel	Esty	15,1	15,1	7,85	700	30,70		
28	EWMa41					15,1	14,9	7,73	695	30,48		
29	EWMa42		9000			15	15	7,8	725	32,01		30
30	EWMa43					15	15,05	7,75	745	33,00		
31	EWMa41					15,1	15,1	7,98	750	32,89		
32	EWMa42		4000			15	15,1	7,87	755	33,33		30
33	EWMa43	Magnetisch		Würfel	Esty	15,1	15,2	7,89	750	32,89		
34	EWMa41					15	15,1	7,87	785	34,89		
35	EWMa42		9000			15,1	15,1	7,9	775	33,99		30
36	EWMa43					15	15	7,86	780	34,44		
37	KWMa41					15,1	15,1	7,77	735	32,24		
38	KWMa42		4000			15,1	15,2	7,79	720	31,58		30
39	KWMa43	Händisch		Würfel	Kombi	15,1	15,1	7,79	715	31,36		
40	KWMa41					15,1	15,1	7,83	735	32,24		
41	KWMa42		9000			15	15,1	7,81	740	32,67		30
42	KWMa43					15,1	14,9	7,78	720	31,58		
43	KWMa41					15	15,2	7,95	730	32,44		
44	KWMa42		4000			15,1	15,1	7,92	745	32,89		30
45	KWMa43	Magnetisch		Würfel	Kombi	15	15,1	7,9	740	32,89		
46	KWMa41					15,1	15,2	7,89	760	33,33		
47	KWMa42		9000			15,1	15,1	7,92	775	34,22		30
48	KWMa43					15	15,1	7,9	755	33,33		

Tabelle 17: Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe: Beton C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N

Name	Frequenz: Händ. / Mag.	Frequenz	Form	Material	Gewicht leer [kg] (Form)	Gewicht voll [kg]	Differenz Frischbeton [kg]	Betonwürfel trocken am 1.Tag [kg]	Gewicht nach 7 Tagen unter Wasser [kg]	Länge Probe [cm]
1 GWMa41					13,08	20,48	7,40	7,94	7,99	15,05
2 GWMa42					12,47	20,54	8,07	7,97	8,02	15,05
3 GWMa43		4000			12,49	20,50	8,01	7,95	8,01	15,05
4 GWMa41-2					12,64	20,70	8,06	8,02	8,07	15,05
5 GWMa42-2					11,67	19,79	8,12	8,06	8,12	15,05
6 GWMa43-2					13,30	21,50	8,20	8,07	8,13	15,10
7 GWMa91	Händfisch		Würfel	Gusseisen	12,43	20,44	8,01	7,99	8,03	15,05
8 GWMa92					12,47	20,58	8,11	8,04	8,09	15,05
9 GWMa93					12,38	20,55	8,17	8,08	8,13	15,05
10 GWMa91-2		9000			11,95	19,95	8,00	7,95	8,01	15,05
11 GWMa92-2					13,35	21,33	7,98	7,93	7,99	15,00
12 GWMa93-2					11,07	19,08	8,01	7,95	8,00	15,10
13 GWMg41					12,48	20,64	8,16	8,07	8,13	15,05
14 GWMg42					12,46	20,45	7,99	7,93	7,98	15,05
15 GWMg43		4000		Gusseisen	12,43	20,49	8,06	7,95	8,01	15,05
16 GWMg91	Magnetisch		Würfel		12,43	20,50	8,07	8,04	8,09	15,00
17 GWMg92		9000			12,47	20,50	8,03	8,00	8,05	15,05
18 GWMg93					12,38	20,40	8,02	8,02	8,08	15,05
19 KsWMa41					1,63	8,64	7,01	7,98	8,03	15,00
20 KsWMa42		4000			1,60	9,20	7,60	8,06	8,11	15,05
21 KsWMa43				Kunststoff	1,52	9,54	8,02	7,96	8,03	15,00
22 KsWMa91	Händfisch		Würfel		1,53	9,67	8,14	8,09	8,14	15,00
23 KsWMa92		9000			1,62	10,00	8,38	8,19	8,23	15,05
24 KsWMa93					1,61	9,64	8,03	8,00	8,04	15,00
25 EWMa41					4,11	12,29	8,18	8,11	8,15	15,05
26 EWMa42		4000			4,09	12,20	8,11	8,05	8,11	15,00
27 EWMa43				Esty	4,04	12,19	8,15	8,08	8,13	15,05
28 EWMa91	Händfisch		Würfel		4,02	12,22	8,20	8,10	8,15	15,00
29 EWMa92		9000			4,15	12,41	8,26	8,13	8,18	15,00
30 EWMa93					4,13	12,15	8,02	8,00	8,04	15,00
31 EWMg41					4,11	12,20	8,09	8,04	8,10	15,00
32 EWMg42		4000			4,09	12,21	8,12	8,07	8,14	15,10
33 EWMg43				Esty	4,04	12,20	8,16	8,12	8,19	15,00
34 EWMg91	Magnetisch		Würfel		4,02	12,17	8,15	8,09	8,15	15,10
35 EWMg92		9000			4,15	12,25	8,10	8,04	8,10	15,05
36 EWMg93					4,13	12,25	8,12	8,07	8,13	15,10
37 KWMa41					5,29	13,53	8,24	8,04	8,09	15,05
38 KWMa42		4000			5,38	13,56	8,18	8,12	8,17	15,05
39 KWMa43				Kombi	5,30	13,57	8,27	8,16	8,20	15,05
40 KWMa91	Händfisch		Würfel		5,20	13,40	8,20	8,14	8,18	15,05
41 KWMa92		9000			5,22	13,44	8,22	8,17	8,21	15,05
42 KWMa93					5,34	13,60	8,26	8,22	8,27	15,10
43 KWMg41					5,29	13,50	8,21	8,14	8,20	15,05
44 KWMg42		4000			5,38	13,60	8,22	8,14	8,20	15,10
45 KWMg43				Kombi	5,30	13,59	8,29	8,18	8,24	15,05
46 KWMg91	Magnetisch		Würfel		5,20	13,50	8,30	8,20	8,26	15,05
47 KWMg92		9000			5,22	13,49	8,27	8,13	8,19	15,10
48 KWMg93					5,34	13,60	8,26	8,18	8,23	15,10

Tabelle 18: Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe: Beton C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N

Name	Frequenz: Händ. / Mag.	Frequenz	Form	Material	Breite Probe [cm]	Höhe Probe [cm]	Gewicht Probe am 28. Tag [kg]	aufnehmbare Druckkraft [kN]	Druckfestigkeit [N/mm ²]	Mittelwert Druckfestigkeit [N/mm ²]	>	20,00
1 GWMa41					15,05	15,00	7,86	680,00	30,02		>	20,00
2 GWMa42					15,10	15,00	7,89	680,00	29,92			
3 GWMa43		4000			15,05	15,00	7,88	710,00	31,35	33,09		
4 GWMa41-2					15,05	15,00	7,99	802,00	35,41			
5 GWMa42-2					15,10	15,00	8,04	775,00	34,10			20,00
6 GWMa43-2					15,10	15,05	8,03	860,00	37,72			
7 GWMa91	Händisch		Würfel	Gusseseisen	15,05	15,00	7,90	695,00	30,68			20,00
8 GWMa92					15,05	15,10	7,97	670,00	29,68			
9 GWMa93		9000			15,05	15,00	8,02	690,00	30,46			
10 GWMa91-2					15,05	15,00	7,91	825,00	36,42	33,38		
11 GWMa92-2					15,00	15,05	7,89	849,00	37,73			20,00
12 GWMa93-2					15,10	15,00	7,00	805,00	35,31			
13 GWMg41					15,05	15,00	8,03	810,00	35,76			20,00
14 GWMg42		4000			15,05	15,00	7,88	830,00	36,64	35,17		
15 GWMg43					15,05	15,05	7,91	750,00	33,11			
16 GWMg91	Magnetisch		Würfel	Gusseseisen	15,10	15,05	8,00	850,00	37,53			20,00
17 GWMg92		9000			15,05	15,10	7,96	880,00	38,85	38,00		
18 GWMg93					15,05	15,00	7,99	852,00	37,62			
19 KsWMa41					15,00	15,00	7,90	690,00	30,67			20,00
20 KsWMa42		4000			15,05	15,00	8,00	680,00	30,02	30,30		
21 KsWMa43					15,00	15,05	7,89	680,00	30,22			
22 KsWMa91			Würfel	Kunststoff	15,00	15,10	8,01	660,00	29,33			20,00
23 KsWMa92		9000			15,05	15,05	8,11	700,00	30,90	30,08		
24 KsWMa93					15,00	15,05	7,92	675,00	30,00			
25 EWMa41					15,10	15,10	8,03	645,00	28,38			20,00
26 EWMa42		4000			15,05	15,00	7,97	620,00	27,46	27,89		
27 EWMa43					15,05	15,00	8,00	630,00	27,81			
28 EWMa91			Würfel	Esty	15,05	15,05	8,02	650,00	28,79			20,00
29 EWMa92	Händisch	9000			15,00	15,05	8,06	655,00	29,11	28,86		
30 EWMa93					15,00	15,00	7,92	645,00	28,67			
31 EWMg41					15,00	15,00	8,00	785,00	34,89			20,00
32 EWMg42		4000			15,10	15,10	8,04	795,00	34,87	34,87		
33 EWMg43					15,00	15,05	8,09	784,00	34,84			
34 EWMg91			Würfel	Esty	15,10	15,05	8,06	820,00	35,96			20,00
35 EWMg92	Magnetisch	9000			15,05	15,00	8,00	842,00	37,17	36,16		
36 EWMg93					15,10	15,00	8,04	806,00	35,35			
37 KWMa41					15,05	15,00	7,97	655,00	28,92			20,00
38 KWMa42		4000			15,05	15,05	8,04	645,00	28,48	28,62		
39 KWMa43					15,05	15,05	8,08	645,00	28,48			
40 KWMa91	Händisch		Würfel	Kombi	15,05	15,05	8,05	665,00	29,36			20,00
41 KWMa92		9000			15,10	15,10	8,09	680,00	29,92	30,14		
42 KWMa93					15,10	15,00	8,15	710,00	31,14			
43 KWMg41					15,05	15,05	8,10	810,00	35,76			20,00
44 KWMg42		4000			15,10	15,05	8,10	802,00	35,17	35,12		
45 KWMg43					15,05	15,05	8,14	780,00	34,44			
46 KWMg91	Magnetisch		Würfel	Kombi	15,05	15,10	8,17	940,00	41,50			20,00
47 KWMg92		9000			15,05	15,00	8,09	845,00	37,18	38,36		
48 KWMg93					15,10	15,00	8,13	830,00	36,40			20,00

Tabelle 19: Ergebnisse der dritten Versuchsreihe: Beton C30/37 B1 GK16 F52 42,5N

	Name	Frequenz: Händ. / Mag	Frequenz	Form	Material	Gewicht leer [kg] (Form)	Gewicht voll [kg]	Differenz Frischbeton [kg]	Betonwürfel trocken am 1.Tag [kg]	Gewicht nach 7 Tagen unter Wasser [kg]	Länge Probe [cm]
1	GWMa41					12,97	21,04	8,07	8,03	8,08	15,00
2	GWMa42					12,63	20,66	8,03	7,98	8,02	15,00
3	GWMa43		4000			12,61	20,84	8,23	8,16	8,21	15,00
4	GWMa41-2					12,40	20,58	8,18	8,12	8,17	15,00
5	GWMa42-2					12,44	20,53	8,09	8,01	8,09	15,00
6	GWMa43-2			Würfel	Gusseisen	12,60	20,70	8,10	8,05	8,11	15,00
7	GWMa91	Händfisch				12,60	20,85	8,25	8,17	8,22	15,00
8	GWMa92					12,60	20,90	8,30	8,21	8,26	15,00
9	GWMa93		9000			12,52	20,79	8,27	8,18	8,23	15,00
10	GWMa91-2					12,69	20,82	8,13	8,06	8,10	15,00
11	GWMa92-2					12,79	21,08	8,29	8,20	8,25	15,00
12	GWMa93-2					12,35	20,79	8,44	8,37	8,32	15,00
13	GWMa91					12,97	21,27	8,30	8,23	8,27	15,00
14	GWMa92		4000			12,63	20,77	8,14	8,10	8,15	15,00
15	GWMa93			Würfel	Gusseisen	12,61	20,71	8,10	8,06	8,11	15,00
16	GWMa91	Magnetisch	9000			12,60	20,84	8,24	8,19	8,25	15,00
17	GWMa92					12,60	20,72	8,12	8,08	8,13	15,00
18	GWMa93					12,52	20,67	8,15	8,10	8,15	15,00
19	KsWMa41					1,63	9,78	8,15	8,09	8,14	15,00
20	KsWMa42		4000			1,60	9,77	8,17	8,11	8,15	15,00
21	KsWMa43			Würfel	Kunststoff	1,52	9,65	8,13	8,02	8,07	15,00
22	KsWMa91		9000			1,53	9,78	8,25	8,18	8,23	15,00
23	KsWMa92					1,62	9,88	8,26	8,21	8,26	15,00
24	KsWMa93					1,61	9,87	8,26	8,13	8,19	15,00
25	EWMa41					4,11	12,36	8,25	8,21	8,26	15,00
26	EWMa42		4000			4,09	12,31	8,22	8,13	8,17	15,00
27	EWMa43			Würfel	Esty	4,04	12,25	8,21	8,14	8,20	15,00
28	EWMa91		9000			4,02	12,20	8,18	8,12	8,16	15,00
29	EWMa92	Händfisch				4,15	12,29	8,14	8,07	8,11	15,00
30	EWMa93					4,13	12,34	8,21	8,15	8,20	15,00
31	EWMa91					4,11	12,36	8,25	8,20	8,26	15,00
32	EWMa92		4000			4,09	12,25	8,16	8,10	8,14	15,00
33	EWMa93			Würfel	Esty	4,04	12,43	8,39	8,32	8,37	15,00
34	EWMa91		9000			4,02	12,38	8,36	8,30	8,36	15,00
35	EWMa92					4,15	12,34	8,19	8,11	8,15	15,00
36	EWMa93					4,13	12,29	8,16	8,10	8,14	15,00
37	KWMa41					5,29	13,49	8,20	8,14	8,19	15,00
38	KWMa42		4000			5,38	13,63	8,25	8,16	8,20	15,00
39	KWMa43			Würfel	Kombi	5,30	13,51	8,21	8,13	8,17	15,00
40	KWMa91	Händfisch	9000			5,20	13,48	8,28	8,17	8,21	15,00
41	KWMa92					5,22	13,54	8,32	8,20	8,25	15,00
42	KWMa93					5,34	13,59	8,25	8,19	8,23	15,00
43	KWMa91		4000			5,29	13,61	8,32	8,25	8,29	15,00
44	KWMa92			Würfel	Kombi	5,38	13,58	8,20	8,14	8,19	15,00
45	KWMa93		9000			5,30	13,53	8,23	8,17	8,22	15,00
46	KWMa91			Würfel	Kombi	5,20	13,47	8,27	8,20	8,25	15,00
47	KWMa92	Magnetisch	4000			5,22	13,70	8,48	8,41	8,45	15,00
48	KWMa93		9000			5,34	13,70	8,36	8,29	8,33	15,00

Tabelle 20: Ergebnisse der dritten Versuchsreihe: Beton C30/37 B1 GK16 F52 42,5N

	Name	Frequenz: Händ. / Mag	Frequenz	Form	Material	Breite Probe [cm]	Höhe Probe [cm]	Gewicht Probe am 28. Tag [kg]	aufnehmbare Druckkraft [kN]	Druckfestigkeit [N/mm ²]	Mittelwert Druckfestigkeit [N/mm ²]	
1	GWMa41					15,00	15,00	7,95	1064	47,29		
2	GWMa42					15,00	15,00	7,89	1045	46,44		
3	GWMa43		4000			15,00	15,00	8,11	1038	46,13		37,00
4	GWMa41-2					15,00	15,00	8,06	1077	47,87		
5	GWMa42-2					15,00	15,00	7,98	1076	47,82		
6	GWMa43-2					15,00	15,00	7,99	1081	46,04		
7	GWMa91	Händisch		Würfel	Gusseisen	15,00	15,00	8,12	1098	48,80		
8	GWMa92					15,00	15,00	8,13	1125	50,00		
9	GWMa93		9000			15,00	15,00	8,14	1064	47,29		37,00
10	GWMa91-2					15,00	15,00	7,99	1017	45,20		
11	GWMa92-2					15,00	15,00	8,14	1036	46,04		
12	GWMa93-2					15,00	15,00	8,07	1083	46,13		
13	GWMa41					15,00	15,00	7,91	1095	48,67		
14	GWMa42		4000			15,00	15,00	8,03	1058	47,02		37,00
15	GWMa43			Würfel	Gusseisen	15,00	15,00	7,96	1075	47,78		
16	GWMa91	Magnetisch				15,00	15,00	8,10	1095	48,67		
17	GWMa92		9000			15,00	15,00	8,03	1028	45,69		37,00
18	GWMa93					15,00	15,00	8,01	1005	44,67		
19	KsWMa41					15,00	15,00	8,03	1089	48,40		
20	KsWMa42		4000			15,00	15,00	8,03	971	43,16		37,00
21	KsWMa43			Würfel	Kunststoff	15,00	15,00	7,99	1066	47,38		
22	KsWMa91	Händisch				15,00	15,00	8,10	1131	50,27		
23	KsWMa92		9000			15,00	15,00	8,12	1124	49,96		37,00
24	KsWMa93					15,00	15,00	8,12	1132	50,31		
25	EWMa41					15,00	15,00	8,13	1056	46,93		
26	EWMa42		4000			15,00	15,00	8,10	1023	45,47		37,00
27	EWMa43			Würfel	Esty	15,00	15,00	8,09	1036	46,04		
28	EWMa91	Händisch				15,00	15,00	8,06	1078	47,91		
29	EWMa92		9000			15,00	15,00	8,00	1145	50,89		37,00
30	EWMa93					15,00	15,00	8,08	1078	47,91		
31	EWMa41					15,00	15,00	8,10	1125	50,00		
32	EWMa42		4000			15,00	15,00	8,01	1101	48,93		37,00
33	EWMa43			Würfel	Esty	15,00	15,00	8,16	1085	48,22		
34	EWMa91	Magnetisch				15,00	15,00	8,20	1111	49,38		
35	EWMa92		9000			15,00	15,00	8,05	1113	49,47		37,00
36	EWMa93					15,00	15,00	7,99	1143	50,80		
37	KWMa41					15,00	15,00	8,05	1098	48,80		
38	KWMa42		4000			15,00	15,00	8,09	1099	48,84		37,00
39	KWMa43			Würfel	Kombi	15,00	15,00	8,08	1084	48,18		
40	KWMa91	Händisch				15,00	15,00	8,13	1102	48,98		
41	KWMa92		9000			15,00	15,00	8,15	1136	50,49		37,00
42	KWMa93					15,00	15,00	8,13	1138	50,58		
43	KWMa41					15,00	15,00	8,18	1107	49,20		
44	KWMa42		4000			15,00	15,00	8,13	1106	49,16		37,00
45	KWMa43			Würfel	Kombi	15,00	15,00	8,17	1107	49,20		
46	KWMa91	Magnetisch				15,00	15,00	8,17	1142	50,76		
47	KWMa92		9000			15,00	15,00	8,13	1135	50,44		37,00
48	KWMa93					15,00	15,00	8,22	1144	50,84		

11.6.2 Ergebnisse in Diagrammen

Es wurden mindestens drei gleichartige Proben hergestellt, und daraus die mittlere Druckfestigkeit ermittelt. Somit werden die mittleren Druckfestigkeiten der Proben miteinander verglichen werden.

Die Proben wurden wie folgt hergestellt:

- Aus unterschiedlichen Betongüten C16/20, C25/30 oder C30/37
- Händisch gegen den Rütteltisch haltend oder magnetisch am Tisch befestigt
- Mit der Drehzahl 4000 Schwingung/ Min. oder 9000 Schwingung/Min

Hierbei wurden wie folgt verglichen:

- Betonproben je nach Formmaterial, die händisch gegen den Rütteltisch haltend, verdichtet worden sind,
- Betonproben je nach Formmaterial, die magnetisch an den Rütteltisch befestigt, verdichtet worden sind
- Betonproben je nach Formmaterial, die mit der Drehzahl 4000 Schwingung/Min, verdichtet worden sind
- Betonproben je nach Formmaterial, die mit der Drehzahl 4000 Schwingung/Min, verdichtet worden sind
- Masse je nach Formmaterial
- Anschaffungskosten je nach Formmaterial
- Dauer von Ausschalung, Feinputz & Einölen je nach Formmaterial
- Lebenszyklus je nach Formmaterial

11.6.2.1 Vergleich mittlerer Druckfestigkeiten je nach Formenmaterial

1. Versuchsreihe: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

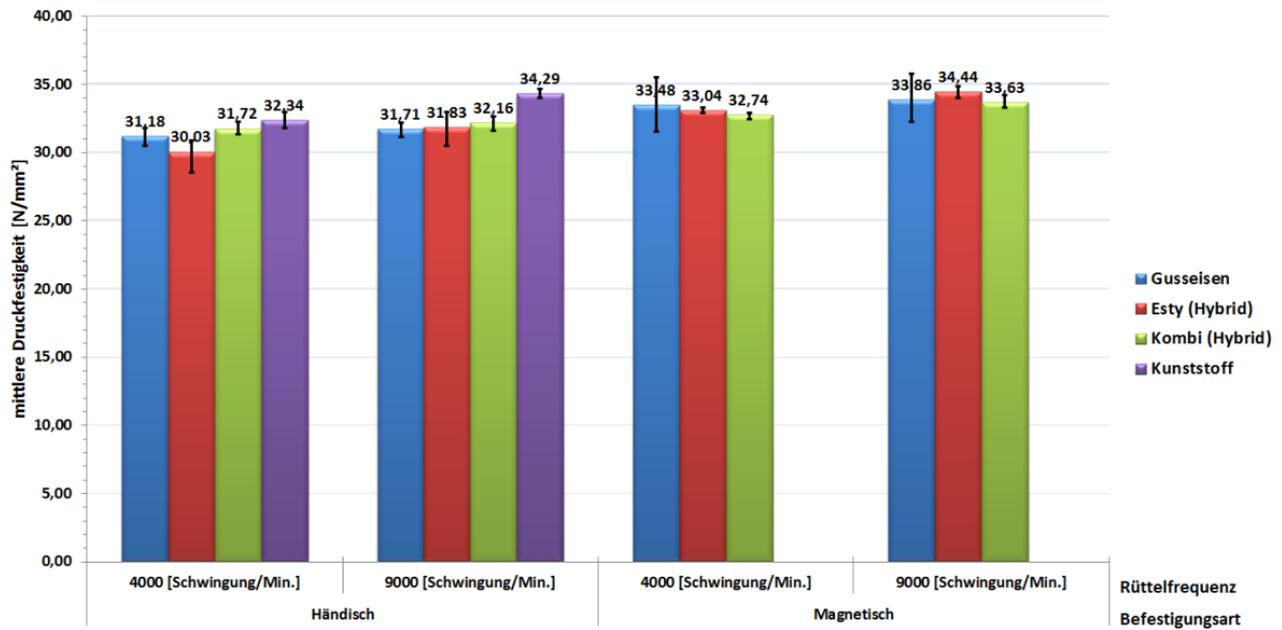


Abb. 28: 1. Versuchsreihe: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

2. Versuchsreihe: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N

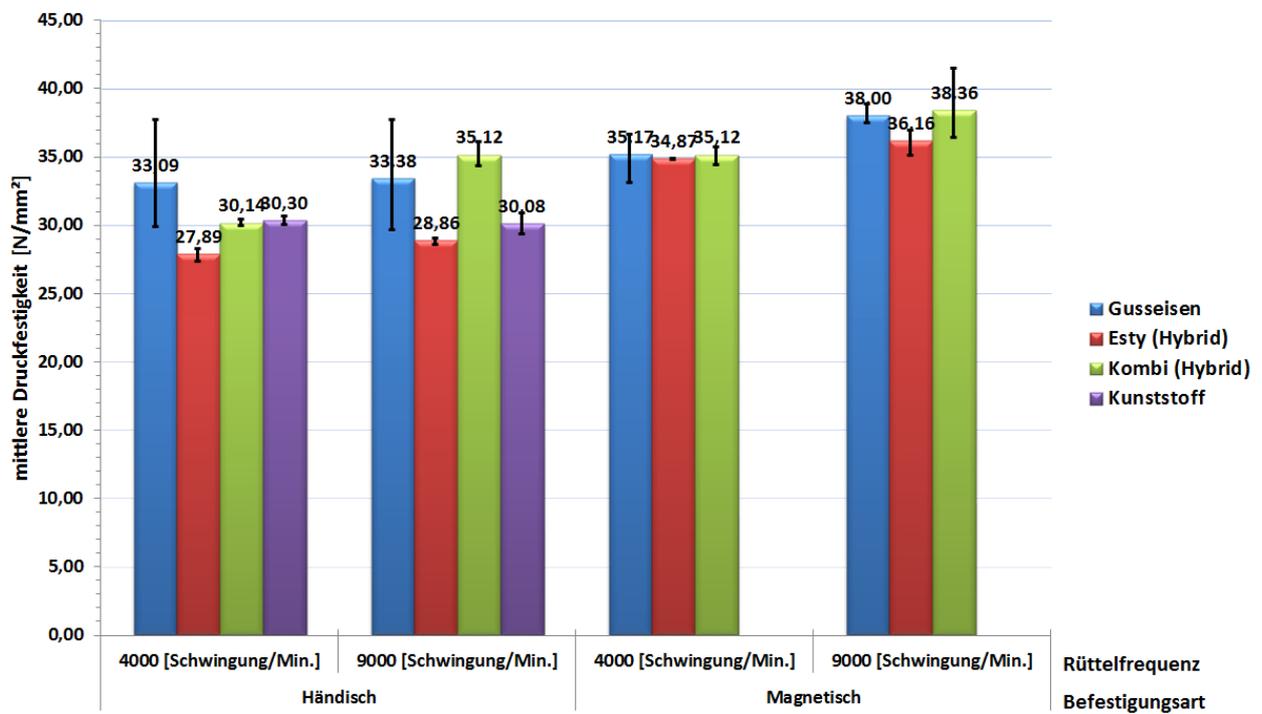


Abb. 29: 2. Versuchsreihe: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N

3. Versuchsreihe: C37/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

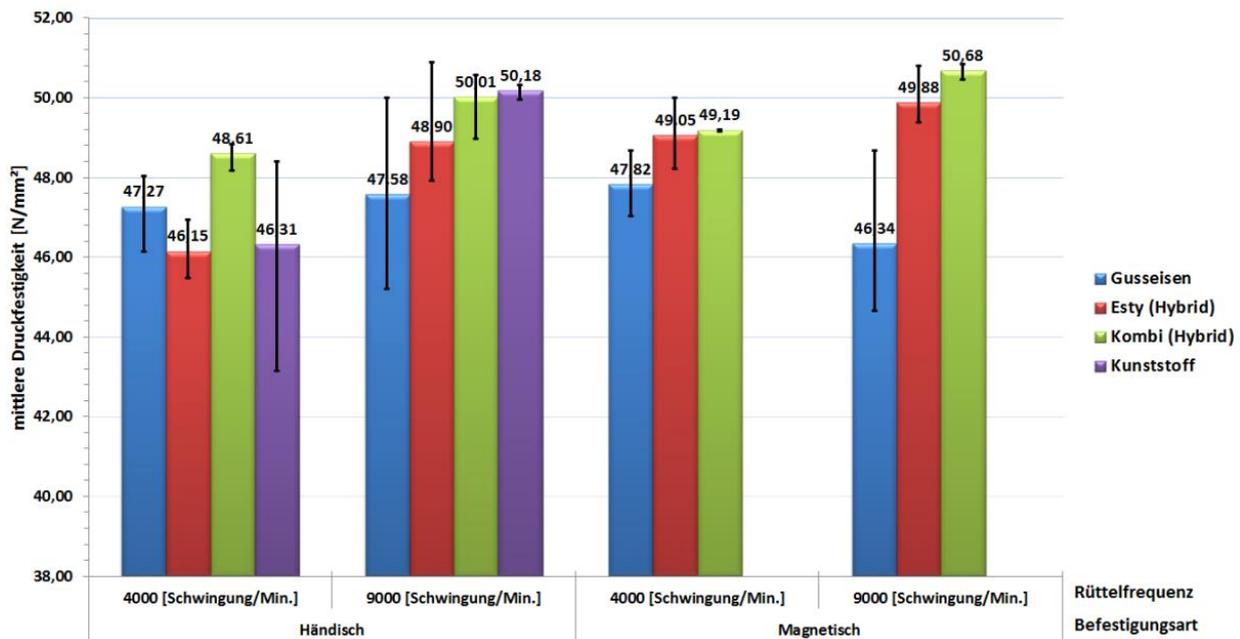


Abb. 30: 3. Versuchsreihe: C30/37 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

Erwähnenswert ist, dass in allen Fällen die Mindestdruckfestigkeit erreicht werden.

Interessant ist es, zu beobachten, dass die Betonproben unabhängig vom Formenwerkstoff unterschiedliche Höchstwerte erzielen. D.h. die Formenwerkstoffmaterial, Gusseisen, Kunststoff, Esty und/oder Kombi haben keinen oder nur unwesentlichen Einfluss auf die Druckfestigkeit. Darüber hinaus werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Formenwerkstoffe auf den Laboranten veranschaulicht.

11.6.2.2 Vergleich mittlerer Druckfestigkeiten je nach Verdichtungsfrequenz

1. Versuchsreihe: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

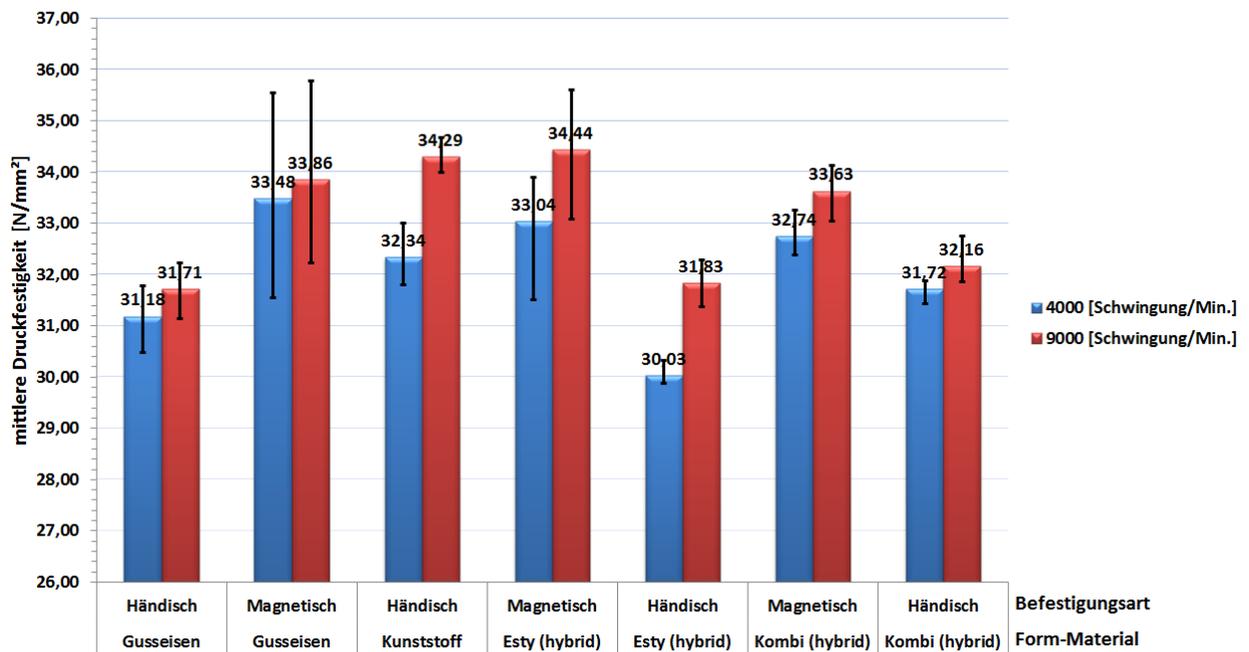


Abb. 31: 1. Versuchsreihe: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

2. Versuchsreihe: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N

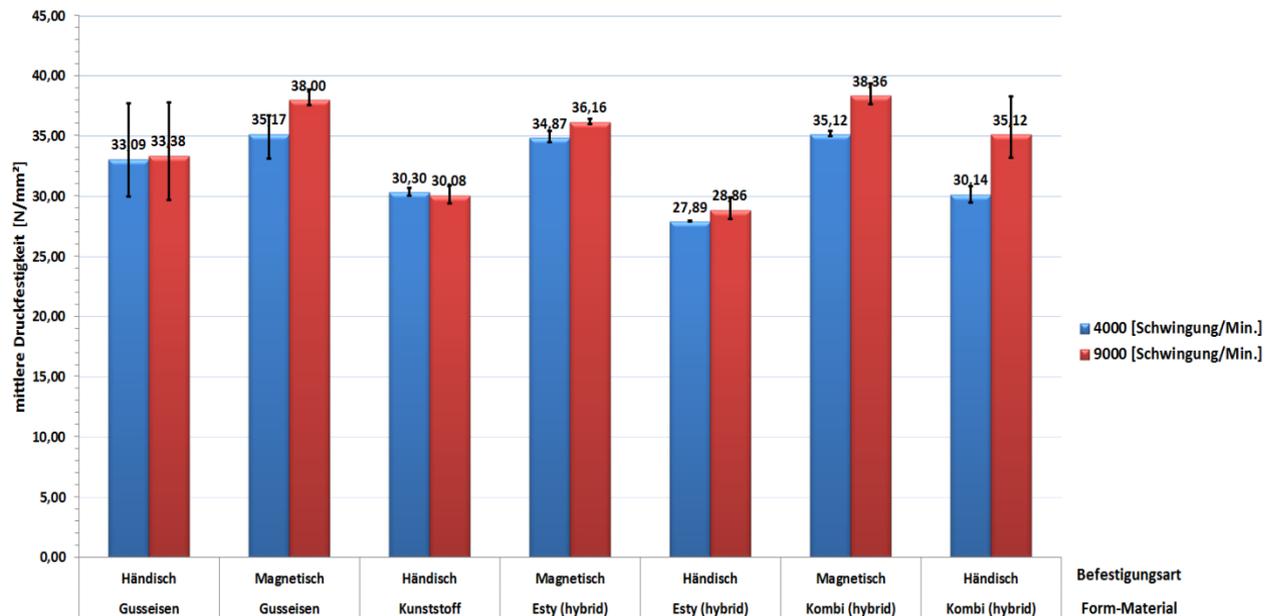


Abb. 32: 2. Versuchsreihe: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N

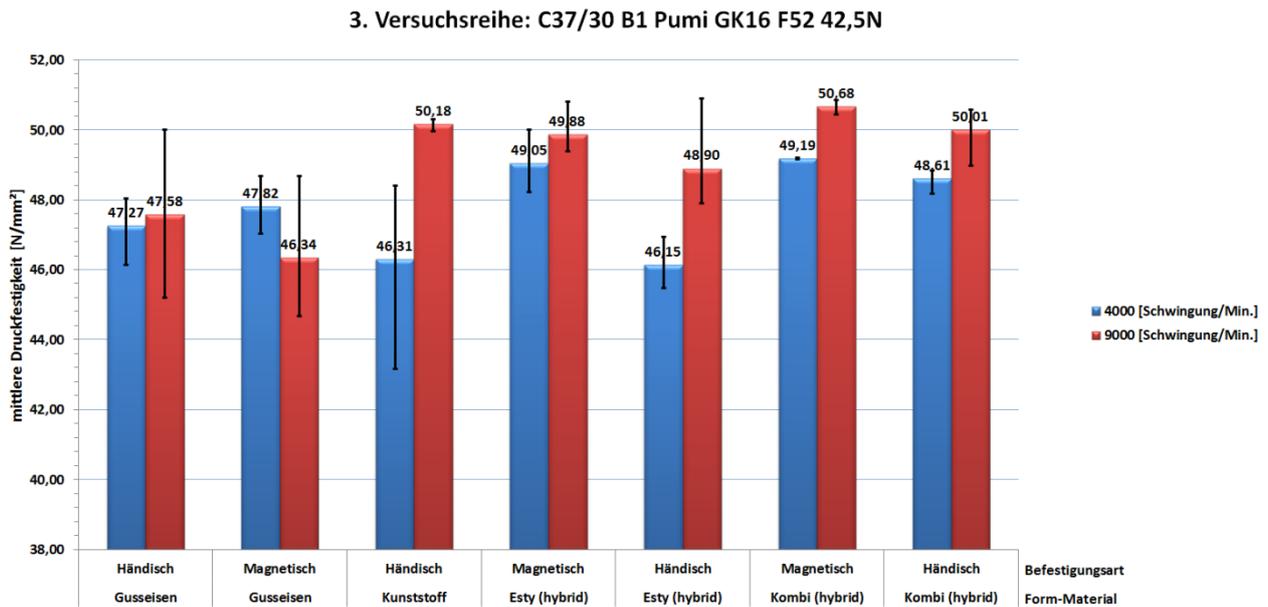


Abb. 33: 3. Versuchsreihe: C30/37 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

Wie in Kap. 11.6.2.1 erwähnt, erreichten alle Proben die Mindestdruckfestigkeit.

Gleich nach dem Einbringen des Betons in die Formen wurde der Beton normgerecht, siehe Kap. 9.2.3, verdichtet, wobei weder ein übermäßiges Entmischen noch eine Schlämmschicht auftreten durfte.

In diesem Kapitel wird gezeigt, welche Auswirkungen 4000 Schwingung/Min. bzw. 9000 Schwingungen/Min., auf die Druckfestigkeit haben und mit welcher Drehzahl man bessere Druckfestigkeitswerte erreicht. Bei 91% der Ergebnisse erzielte man mit der Drehzahl 9000 Schwingungen/Min., die roten Balken im Diagramm, die höheren Festigkeitswerte. Nur bei 9% der Ergebnisse hatten die blauen Balken, 4000 Schwingungen/Min., die höheren Werte. Daraus kann man schließen, dass die Festigkeitswerte mit der Drehzahl 9000 Schwingung/Min. höher sind.

11.6.2.3 Vergleich mittlerer Druckfestigkeiten je nach Befestigungsart

1. Versuchsreihe: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

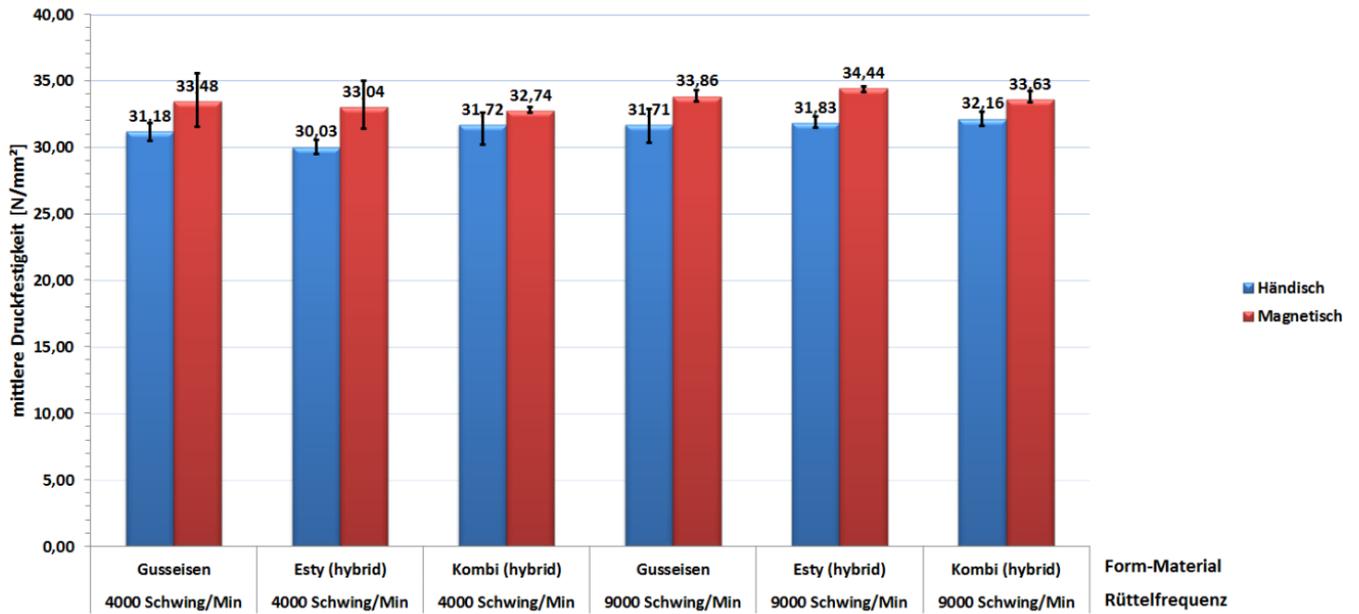


Abb. 34: 1. Versuchsreihe: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

2. Versuchsreihe: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N

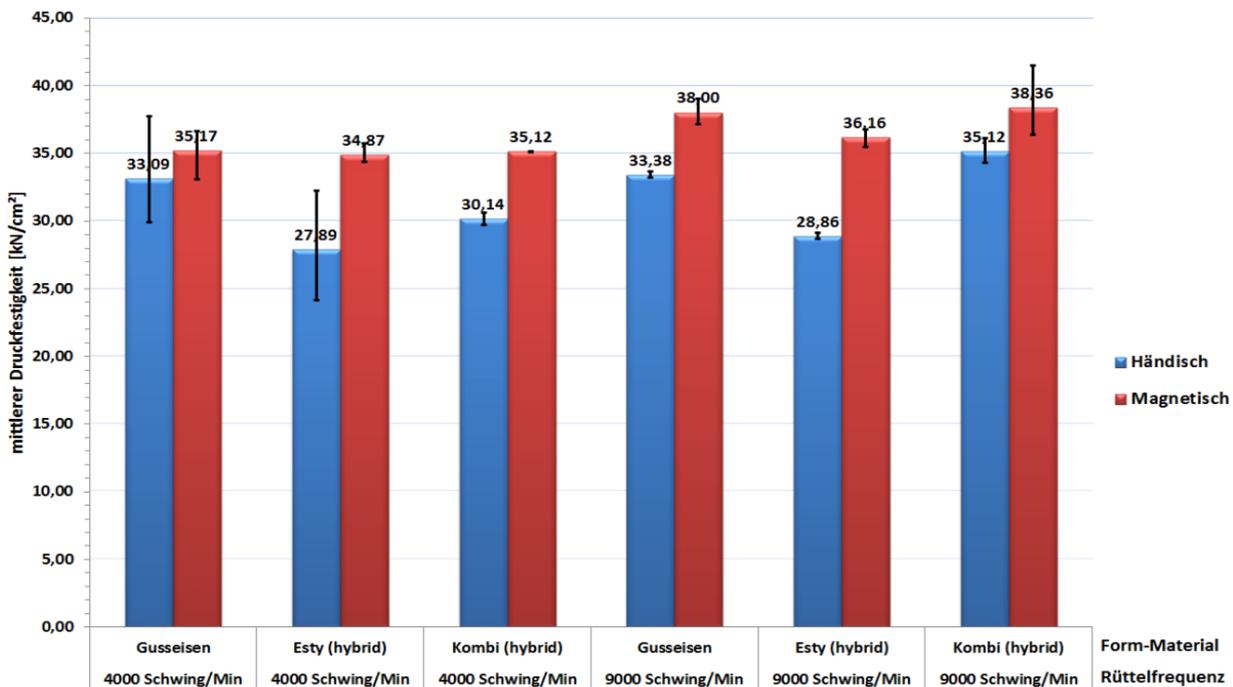


Abb. 35: 2. Versuchsreihe: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N

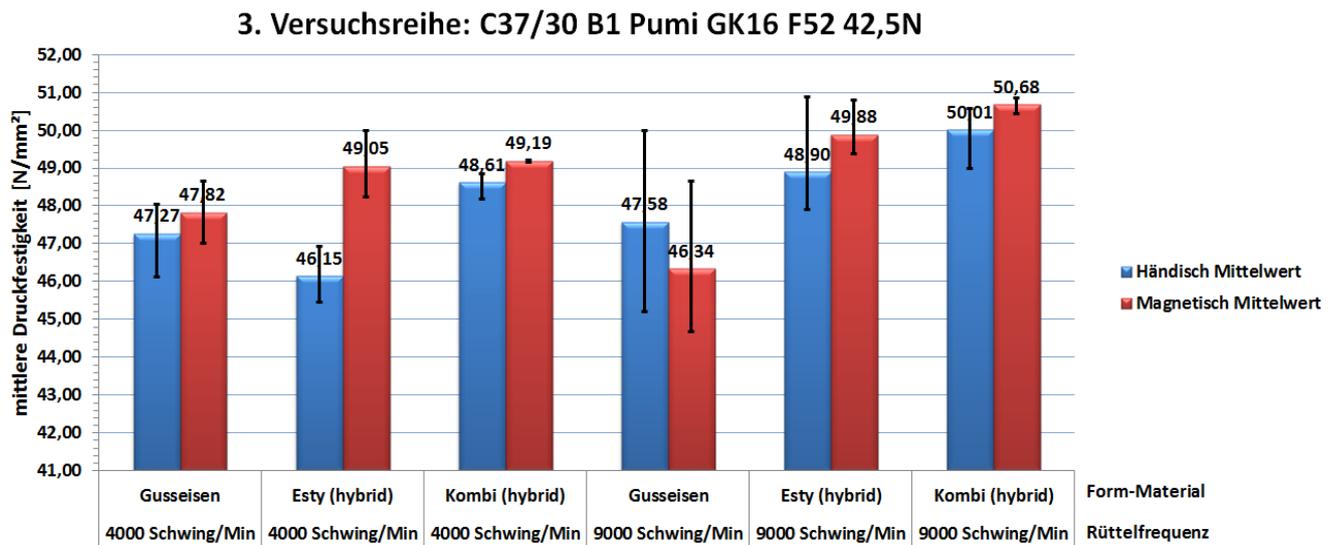


Abb. 36: 3. Versuchsreihe: C30/37 B1 Pumi GK16 F52 42,5N

Bei dem Vergleich, zwischen „händisch gegen den Tisch gehalten“ und „magnetisch am Tisch befestigt“, ist zu beobachten, dass bei 95% aller Probe die „magnetisch am Tisch befestigt“-Werte die höheren Festigkeitswerte erzielen.

Weitere Vor- und Nachteile in diesem Vergleich werden im Kapitel Schlussfolgerung detailliert beschrieben.

11.7 Schlussfolgerung

In diesem Kapitel werden alle Vor- und Nachteile der jeweiligen Versuchsobjekte beschrieben. Unter Anderem werden die Auswirkungen der Frequenzstärken und Befestigungsmöglichkeiten am Rütteltisch auf die Druckfestigkeit geschildert. Die Wirkung dieser Verdichtungsmöglichkeiten auf den Laboranten wird anhand der praktisch gewonnenen Erfahrungen veranschaulicht.

Die gewonnenen Erfahrungen werden in den Unterkapiteln dieses Kapitels behandelt:

- Vor- & Nachteile der Formenwerkstoffe
- Die Auswirkung der Rüttelfrequenz auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten
- Die Auswirkung der Befestigungsmöglichkeiten der Formen auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten

11.7.1 Vor - & Nachteile der Formenwerkstoffe

Folgende Diagramme helfen die Vor- und Nachteile der Formenwerkstoffe zu beschreiben. Neben die Druckfestigkeit haben Parameter wie Wirtschaftlichkeit und Bearbeitbarkeit großen Einfluss auf die Wahl eines Formenwerkstoffes. Aus diesem Grund werden mit den Säulendiagrammen die Preisunterschiede, Masse der Würfel (leer/voll), Dauer von Ausschalung / Feinputz / Einölen sowie die Lebenszyklus der Formenwerkstoffe dargestellt. Aus diesen Diagrammen kann ein Betonhersteller wichtige Informationen für die Wahl des Formenwerkstoffes entnehmen.

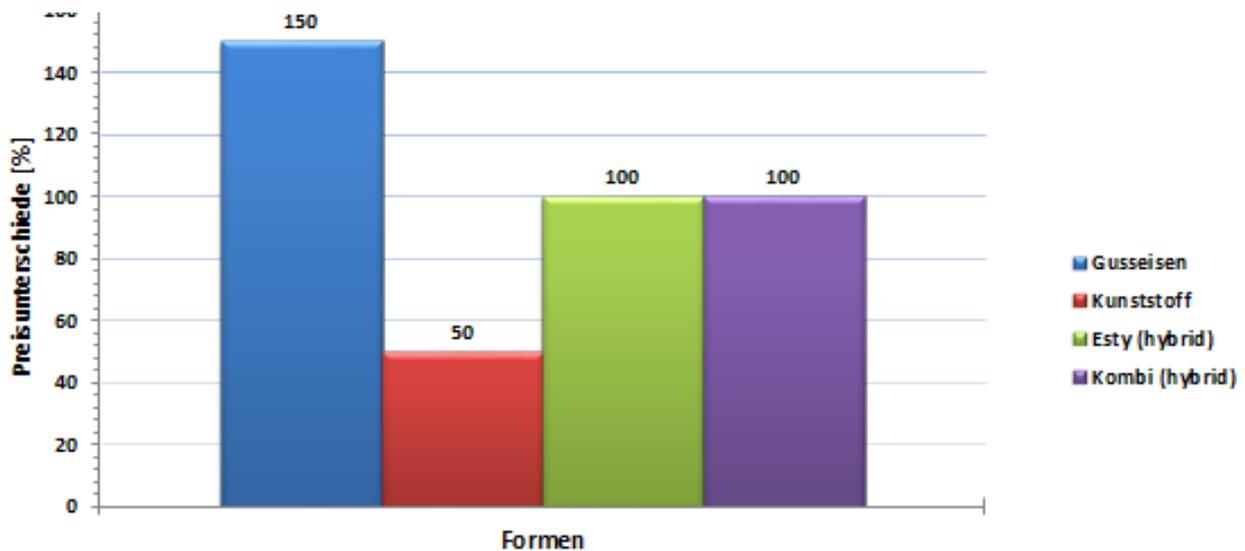


Abb. 37: Preisverhältnis zwischen den verschiedenen Formenwerkstoff

Die Ankaufspreise der Formen wurden vom Kooperationspartner, Firma Testing, der uns die Formen kostenlos bereitgestellt hat, angegeben. Es wurden von anderen Anbietern (THB – Technischer Handel Beckl und alibaba.com) Preisinformationen geholt. Man kommt auf das gleiche Preisunterschiede.

Wie hier, aus dem obigen Diagramm, zu erkennen, sind Gusseisenformen um das Dreifache teurer als die Kunststoffformen und das Zweifache teurer als die Hybridformen (Esty & Kombi). Jedoch benötigt man für die Ausschalung von Betonproben, die mit Kunststoffformen und/oder Hybridformen hergestellt worden sind, einen Luftdruckgerät. Laut Recherche und Auskünfte hat jeder Betonherstellerfirmen, der in Österreich ansässig ist, mindestens einen Luftdruckgerät in ihren Laboratorien. Ein Luftdruckgerät ist unvermeidlich für Betonhersteller- und Baufirmen.

Der Ankaufspreis eines Luftdruckgerätes liegt, laut Recherche bei verschiedenen Herstellerfirmen, je nach Marke/Art/Leistung zwischen 4.000€ bis 20.000€.

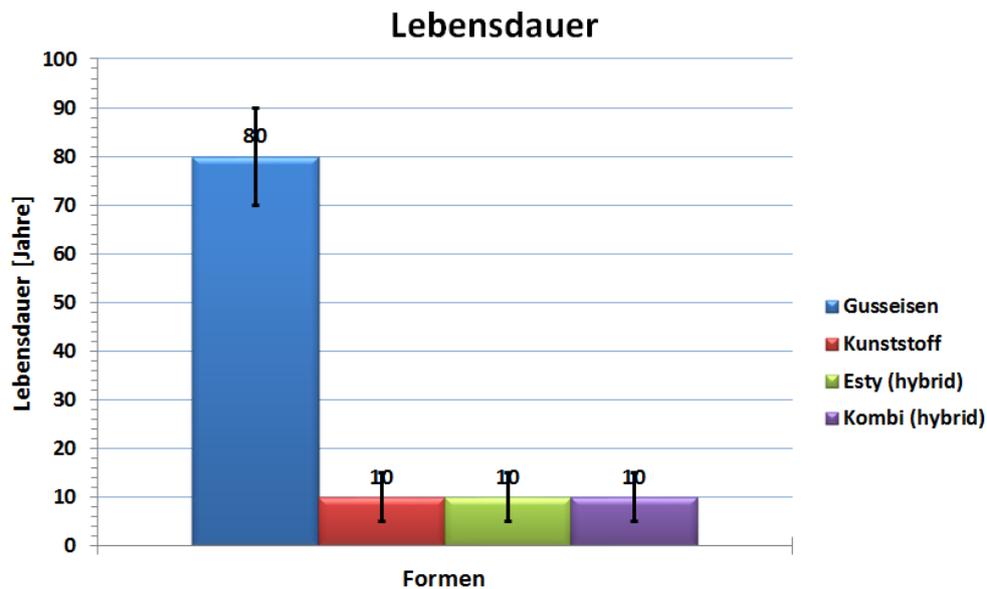


Abb. 38: Lebensdauer der Formenwerkstoffe in Jahrzehnten ausgedrückt

In Anbetracht meiner Recherche und Angaben der Firma Testing haben Kunststoff- & Hybridformen je nach Umgang mit dem Formenwerkstoff ein Lebensdauer von fünf bis zehn Jahren. Tatsächlich gibt es keine wissenschaftliche Arbeiten bzw. Erkenntnisse in Bezug zu Lebensdauer von Würfelformen für die Betonprobenherstellung. Für die Lebensdauer eines Gusseisenwürfels ist es abhängig von der Nutzung 80 Jahre, laut TU-Wien – Institut für Hochbau und Technologie, anzunehmen.

Die oben genannten Werte für die Lebensdauer sind Erfahrungswerte von Ingenieuren und Laboranten, die sich seit Jahren mit Betonprobenherstellung seit Jahren beschäftigen.

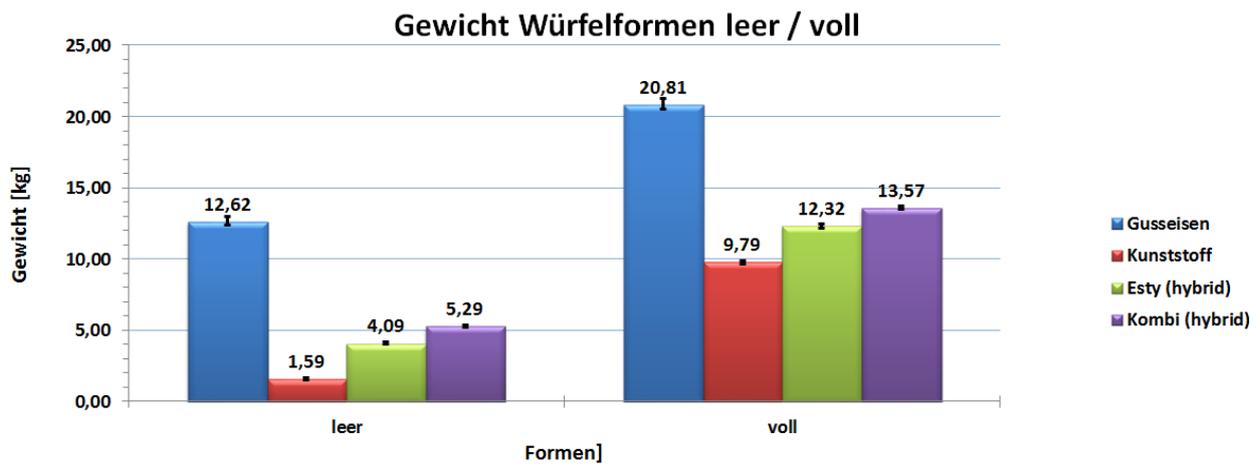


Abb. 39: Masse der Formenwerkstoffe (leer/voll)

Das Gewicht der Formen ist einer der entscheidenden Faktoren für die körperliche Beanspruchung der Laboranten. In dem obigen Säulendiagramm ist der Unterschied der Masse abhängig von den Formenmaterialien zu erkennen. Eine leere Kunststoffform ist achtmal leichter als eine leere Gusseisenform. Eine leere Gusseisenform hat die dreifache Masse eines Esty-Formes und die zweieinhalb-fache Masse einer Kombi-Form. Im Durchschnitt hat ein 28-Tag alter Betonwürfel eine Masse ca. 8kg. Im vollen Zustand der Formen, hat die Gusseisenform die doppelte Masse einer Kunststoffform, dies erfordert die doppelte körperliche Anstrengung des Laboranten.

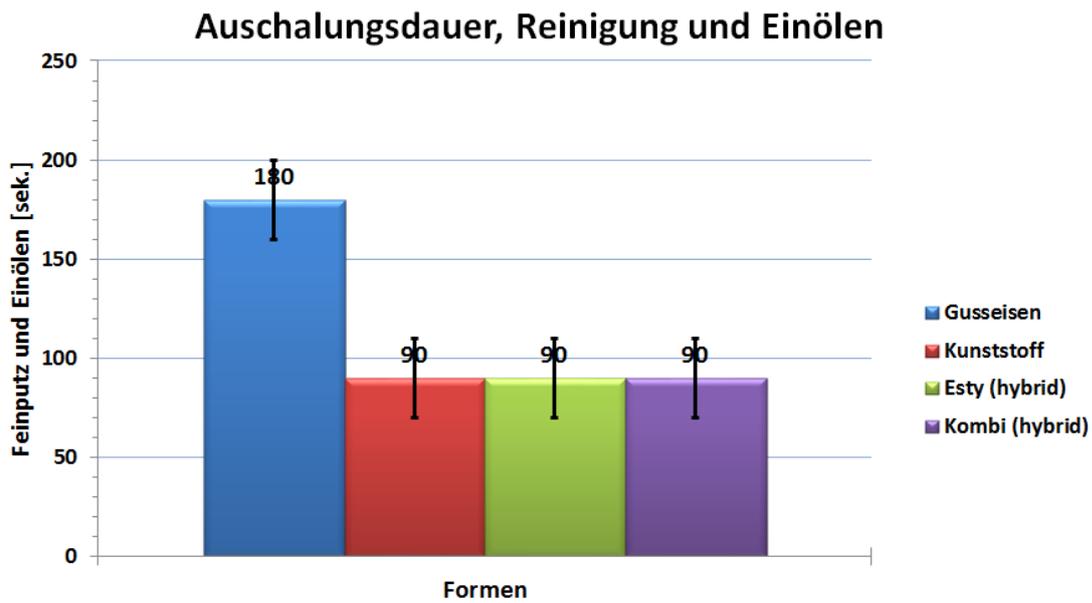


Abb. 40: Dauer von Ausschabung, Reinigung & Einölen je nach Formenwerkstoff

Die Dauer der Ausschabung, Reinigung & Einölen ist ein wesentlicher Faktor für die Manipulationszeit. In obigen Diagramm sind die Unterschiede für die jeweiligen Formen zu erkennen. Eine Gusseisenform wird in ca. 180 Sekunden ausgeschabt, gereinigt und eingeölt, wobei für die anderen Werkstoffmaterialien nur die Hälfte der Zeit gebraucht wird.

Fazit:

Tabelle 21: Bewertung der Formen je nach die vier wichtigsten Punkte: + positiv; ~ neutral; - negativ

Formen	Anschaffungskosten	Lebenszyklus	Masse	Bearbeitungsdauer
Gusseisen	-	+	-	~
Kunststoff	+	-	+	+
Esty	~	-	+	+
Kombi	~	-	+	+

Tabelle 22: Vor- & Nachteile zusammengefasst

	Vorteile	Nachteile
Gusseisen	<ul style="list-style-type: none"> - Konventionelle Methode - Keine Geräte für das Ausschalen notwendig - Hohe Nutzungsdauer 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Masse - Hohe Anschaffungskosten - Längere Dauer des Bearbeitens (Ausschalen, Putzen etc.) - Nach dem Zusammenbauen, muss der Form exakt kalibriert werden
Kunststoff	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Masse - Geringe Anschaffungskosten - Kürzere Manipulationsdauer (Ausschalen, Putzen etc) - Keine Kalibrierung nötig 	<ul style="list-style-type: none"> - Beim Ausschalen ist eine Luftdruckmaschine nötig - Genaues Einölen, (weder zu viel noch zu wenig) - Magnetische Befestigung am Rüttler nicht möglich
Esty	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Masse - Kürzere Manipulationsdauer (Ausschalen, Putzen etc) - Keine Kalibrierung nötig 	<ul style="list-style-type: none"> - Beim Ausschalen ist eine Luftdruckmaschine nötig - Genaues Einölen, (weder zu viel noch zu wenig)
Kombi	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Masse - Geringe Anschaffungskosten - Kürzere Dauer des Bearbeitens (Ausschalen, Putzen etc) - Keine Kalibrierung nötig 	<ul style="list-style-type: none"> - Beim Ausschalen ist eine Luftdruckmaschine nötig - Genaues Einölen, (weder zu viel noch zu wenig)

11.7.2 Die Auswirkung der Rüttelfrequenzen auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten.

Bei 91% der Ergebnisse erzielte man mit 9000 Schwingungen/Min die höheren Festigkeitswerte. Nur bei 9% der Ergebnisse ergeben 4000 Schwingungen/Min. die höheren Werte. Aus den Ergebnissen kann man schließen, dass das Verdichten mit der Drehzahl 9000 Schwingung/Min. höhere Festigkeiten bringt

Die vollständige Verdichtung ist erreicht, wenn keine größeren Luftblasen mehr an der Oberfläche erscheinen und wenn die Oberfläche relativ glatt, glänzend und keine übermäßigen Absonderungen zeigt. Da die Rüttelzeit in der Norm nicht festgelegt ist, muss der Laborant das Rütteln bis zum Erreichen der oben genannten Kriterien weiterführen.

„Rütteltisch mit einer Mindestfrequenz von ungefähr 40 Hz (2400 Schwingungen pro Minute), wobei die Wirksamkeit des Rütteltisches für eine praktisch vollständige Verdichtung des Frischbetons ausreichend sein muss. Die Verdichtung mit dem Rütteltisch gilt als Referenzverfahren.“ [ONR 23303: Prüfverfahren Beton (PVB) Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe]

Die Differenz der Rüttelzeit zwischen 4000 Schwingung/Min und 9000 Schwingung/Min ergibt bei den Würfelformen bis zu 25 Sekunden (siehe Kap. 11.5). Die langen Rüttelzeiten haben den Nachteil, dass es zu einer Entmischung kommen kann.

Für den Laboranten hat der Rüttelfrequenz 9000 Schwingung/Min den Vorteil, dass die Verdichtung schneller erfolgt. Dadurch kann die restliche Arbeitszeit für andere Zwecke eingesetzt und es fördert die Produktivität im Arbeitsplatz.

Daher ist das Verdichten mit der 9000 Schwingung/Min. zu empfehlen.

11.7.3 Die Auswirkung der Befestigungsmöglichkeiten der Formen auf die Druckfestigkeit und auf den Laboranten

In den Normen werden zur Befestigung der Formen am Rütteltisch keine Festlegungen getroffen.

Es wurde nur festgehalten:

„Verdichten mit dem Rütteltisch: Die Rüttelbehandlung muss mindestens für die Dauer angewendet werden, die für eine vollständige Verdichtung des Betons notwendig ist. Der Behälter sollte vorzugsweise am Tisch befestigt sein oder fest dageengehalten werden. Zu langes Rütteln, das den Verlust künstlich eingeführter Luftporen bewirken kann, ist zu vermeiden.“ [ONR 23303: Prüfverfahren Beton (PVB) Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe]

Bei dem Vergleich, zwischen „händisch gegen den Tisch gehalten“ und „magnetisch am Tisch befestigt“, wurde bei 95% der Proben- und Vergleichsergebnissen bei „magnetisch am Tisch befestigt“-Proben die höheren Festigkeitswerte erzielt.

Die Magnetfunktion der modernen Rütteltische kann man nur bei Gusseisenformen oder Hybridformen nutzen. Bei Kunststoffformen ist diese Funktion unwirksam.

Auf die Dauer der Verdichtungszeit hat es keinen Einfluss, wenn man die Formen am Tisch magnetisch befestigt oder händisch gegen den Tisch hält.

Sehr wohl hat es aber auf den Laboranten einen Einfluss, bei dem die körperliche Tätigkeit wesentlich reduziert wird.

QUELLENVERZEICHNIS

Literatur:

[2] Frischbeton

Hrsg. U. SCHNEIDER

Schriftenreihe des Instituts für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich für Baustofflehre, Werkstofflehre und Brandsicherheit; Technische Universität Wien 2011

[7] Festbeton

Hrsg. U. SCHNEIDER

Schriftenreihe des Instituts für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich für Baustofflehre, Werkstofflehre und Brandsicherheit; Technische Universität Wien 2011

[8] Bindemittel

HRSG. U. SCHNEIDER

Schriftenreihe des Instituts für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich für Baustofflehre, Werkstofflehre und Brandsicherheit; Technische Universität Wien 2011

[9] Betontechnologie 1

HRSG. U. SCHNEIDER

Schriftenreihe des Instituts für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich für Baustofflehre, Werkstofflehre und Brandsicherheit; Technische Universität Wien 2011

[10] Einführung in die historische Bauforschung

GROSSMANN G. Ulrich

Wissenschaftliche Baugesellschaft Darmstadt

[19] Beton im Hochbau

PAUSER A.

Verlag Bau+Technik

[20] Baustoffkunde

Dipl. Ing. WENDEHORST, 24. überarbeitete Auflage 1194

Vincentz Verlag Hannover

[21] Der Ingenieurbau

MEHLHORN Gerhard, 1996

Verlag Ernst & Sohn

[22] Baustoffkunde; Technologie der Bau und Werkstoffe

HUBER, HALBMAYER, HOLLINSKY, PASS, PÖHN, POMMER, WIETEK

Manz Verlag

[23] Bautabellen

KRAPFENBAUER

Verlag Jugend & Volk

[24] Handbuch für Bauingenieure;

ZILCH, DIEDERICHS, KATZENBACH

Springer Verlag

[25] Bautabellen für Ingenieure

SCHNEIDER; Auflage 2008

Werner Verlag

[32] Stahlbetonbau

VALENTIN, KIDERY; Auflage 2001

Manz Verlag

[33] Stahlbetonbau

LOHMEYER, BERGMANN, EBELING, Auflage 2006

Verlag Teubner Stuttgart

[34] Baustoffkenntnis

SCHOLZ, KNOBLAUCH, HIESE, Auflage 1995

Werner Verlag

[35] Betonkalender

BERGMEISTER, WÖRNER, Auflage 1996

Verlag Ernst & Sohn

[36] Konstruktiver Ingenieurbau und Hochbau

ZILCH, DIEDERICHS, KATZENBACH, BECKMANN

Springer Verlag

[37] Dauerhaftigkeit von Beton

STARK, WICHT

Springer Verlag

[38] Ingenieurbaustoffe]

REINHARDT, Auflage 2010

Verlag Ernst & Sohn

Normen:**[3] ÖNORM B 4710-1 01-10-2007**

Beton-, Stahlbeton-, Spannbetonbau

Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton)

[4] ONR 23303 01-09-2010

Prüfverfahren Beton (PVB)

Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe

[11] ÖNORM EN 12350-1 15-07-2009

Prüfung von Frischbeton

Teil 1: Probenahme

[12] ÖNORM EN 12350-2 15-07-2009

Prüfung von Frischbeton

Teil 2: Setzmaß

[13] ÖNORM EN 12350-4 15-07-2009

Prüfung von Frischbeton

Teil 4: Verdichtungsmaß

[14] ÖNORM EN 12350-5 15-07-2009

Prüfung von Frischbeton

Teil 5: Ausbreitmaß

[15] ÖNORM EN 12350-6 15-07-2009

Prüfung von Frischbeton

Teil 6: Frischbetonrohddichte

[16] ÖNORM EN 12350-7

Prüfung von Frischbeton

Teil 7: Luftgehalt-Druckverfahren

[26] ÖNORM EN 12390-1

Prüfung von Festbeton

Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen

[27] ÖNORM EN 12390-2

Prüfung von Festbeton

Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen

[28] ÖNORM EN 12390-3

Prüfung von Festbeton

Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörper

[29] ÖNORM EN 12390-4

Prüfung von Festbeton

Teil 4: Bestimmung der Druckfestigkeit – Anforderungen an Prüfmaschinen

[30] ÖNORM EN 1008

Beton-, Stahlbeton-, Spannbetonbau

Zugabewasser von Beton – Festlegungen für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton

[44] ÖNORM EN 12620 15-02-2014

Gesteinskörnungen für Beton

INTERNET:**[1] Baustoff Beton: Praxis im Betonlabor**

Verband der Schweizerischen Cementindustrie, Bern

http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cemsuisse.ch%2Fphp%2Fmodules%2Fmediamanager%2Fsendobject.php%3Flang%3Dde%26download%3DNHzLpZeg7t%2ClnJ6lzdelp96km56VIWRmZpOqdayYLGH4tjTy4am06iDf76Af4SN0NTY0oau3aWWpl3ly5Wn6A--&ei=cqqtVJPKDcbuUlulqJAN&usq=AFQjCNFZrFeIQKD5UdxHxuLX2P0Vs_yy1A&sig2=5niGcW3bsdO2dqEUJ8msmQ&bvm=bv.83134100,d.d24

[5] Firma Cemex: Betonlieferant für diese Arbeit

Österreich - Wien

<http://www.cemex.at/>

[6] Firma Testing: Lieferant der Baustoffprüfgeräte und -formen für diese Arbeit

Deutschland - Berlin

<http://www.testing.de/de/products/betonpruefgeraete-auswahl-der-testing-geraete>

[17] Lieferbeton der Fa. Cemex; Baustoffe der Fa. Cemex

Österreich - Wien

http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cemex.at%2F1735_DE.pdf%3Fexp%3D24567564057900&ei=TJ6tVPKQJeL_ygOwz4KoDw&usq=AFQjCNEVNmKoyacbfZJMkYQ4UoTlfoQpog&sig2=37bGISZcf dyU1qECPTQXjQ&bvm=bv.83134100,d.bGQ

[18] Kurzgefasste Inhalt der ÖNORM B 4710-1

Bautechnisches Versuchs- und Forschungsanstalt; Österreich - Salzburg

http://www.bvfs.at/htm/pub/download/neue_Betonnorm.pdf

[31] Frischbeton: Eigenschaften und Prüfungen

Beton-Marketing; Deutschland - Hannover

<http://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkb%3%A4tter/B4.pdf>

[39] Betonfertigteil

Wikipedia

<http://de.wikipedia.org/wiki/Betonfertigteil>

[40] Liste gebräuchlicher Betone

Wikipedia

http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_gebr%C3%A4uchlicher_Betone#Selbstverdichtender_Beton_28SVB.29

[41] Betonformen

Fa. Testing, Deutschland

<http://www.testing.de/de/products/betonformen-fuer-wuerfel-zylinder-und-balken>

[42] Rütteltische

Fa. Testing, Deutschland

<http://www.testing.de/de/products/ruetteltische>

[43] Normensiebsatz für die genormten Korngruppen

PCE Inst., Deutschland

<http://www.warensortiment.de/technische-daten-labortechnik/analysensiebmaschine-eml-315.htm>

VORTRÄGE UND SEMINARE**VORTRAG zum Thema Frischbeton:**

Der Vortrag behandelt die chemischen und physikalischen Grundlagen der Konstruktionsbaustoff Beton, ihre Technologie, Prüfung und Anwendung in der Praxis.

Es werden hier die wichtigsten Normal- und Spezialbetonsorten behandelt

Dr. Horvath

TU – Wien – Mai 2014

SEMINAR zum Thema Betontechnologie:

Zeugnis der Betonakademie wurde erworben:

Betontechnologie 1 wurde mit Abschlussprüfung erfolgreich teilgenommen

DI Ressler, Dr. Horvath, Dr Henrich

TU – Wien – Mai 2014

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Normensiebsatz für die genormten Korngruppen [43]	12
Abb. 2: Schema der Verminderung des Hohlraums bei einem Einkorngemisch durch Zugabe von kleinen Körnern [2]	19
Abb. 3: Sieblinie bei 16 mm Größtkorn [2]	20
Abb. 4: Gleichwertige stetige und unstetige Sieblinien für Zuschlag 0/32 mm [2].....	21
Abb. 5: Sieblinienbereiche GK-4 [3]	22
Abb. 6: Sieblinienbereiche GK-8 [3]	22
Abb. 7: Siebliniengemische GK-11 [3].....	23
Abb. 8: Siebliniengemische GK-16 [3].....	23
Abb. 9: Siebliniengemische GK-22 [3].....	24
Abb. 10: Siebliniengemische GK-32 [3].....	24
Abb. 11: Würfel [4].....	36
Abb. 12: Zylinder [4]	37
Abb. 13: üblicher Ausbreittisch [4].....	45
Abb. 14: Form (Maße in mm) [4] Abb. 15: Stößel (Maße in mm) [4]	45
Abb. 16: Messung des Ausbreitmaßes [14]	47
Abb. 17: Prüfgerät für das Druckausgleichsverfahren [4].....	53
Abb. 18: Erforderliche Trocknungszeit in Minuten [2].....	56
Abb. 19: Cemex-Betonherstellwerk und Labor in Wien-Donaustadt	60
Abb. 20: Cemex-Betonherstellwerk und Labor in Steiermark-Krieglach	60
Abb. 21: Cemex-Labor	61
Abb. 22: Cemex-Labor Beton wird in die Scheibtruhen eingefüllt	61
Abb. 23: Gusseisen-Würfelform [41]	62
Abb. 24: Hybrid-Würfelform; Marke Esty; Grundplatte aus Gusseisen und Mantel aus Kunststoff [41]	63
Abb. 25: Hybrid-Würfelform; Marke Kombi; Grundplatte aus Gusseisen und Mantel aus Kunststoff [41]	63
Abb. 26: Kunststoff-Würfelform [41]	63
Abb. 27: Stück Rütteltisch mit Magnetspannvorrichtung, Zeitschaltuhr und regelbarer Drehzahl [42].....	64
Abb. 28: 1. Versuchsreihe: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N	78
Abb. 29: 2. Versuchsreihe: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N	78
Abb. 30: 3. Versuchsreihe: C30/37 B1 Pumi GK16 F52 42,5N	79
Abb. 31: 1. Versuchsreihe: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N.....	80
Abb. 32: 2. Versuchsreihe: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N	80
Abb. 33: 3. Versuchsreihe: C30/37 B1 Pumi GK16 F52 42,5N.....	81

Abb. 34: 1. Versuchsreihe: C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N.....	82
Abb. 35: 2. Versuchsreihe: C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N	82
Abb. 36 : 3. Versuchsreihe: C30/37 B1 Pumi GK16 F52 42,5N	83
Abb. 37: Preisverhältnis zwischen den verschiedenen Formenwerkstoff	85
Abb. 38: Lebensdauer der Formenwerkstoffe in Jahrzehnten ausgedrückt.....	86
Abb. 39: Masse der Formenwerkstoffe (leer/voll).....	87
Abb. 40: Dauer von Ausschalung, Reinigung & Einölen je nach Formenwerkstoff	88

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Einteilung des Betons nach der Rohdichte [2]	4
Tabelle 2: Einteilung des Betons laut Norm EN 1992 [2]	5
Tabelle 3: Leichte Gesteinskörnungen – Arten und Korneigenschaften [2]	9
Tabelle 4: Eigenschaften der Betonkomponenten Zuschlag und Zementstein [2]	16
Tabelle 5: Anforderungen an schädliche Stoffe im Zugabewasser [2].....	27
Tabelle 6: Höchstchloridgehalt des Zugabewassers [2].....	27
Tabelle 7: Maximale Zugabemengen an hydraulisch wirksamen Zusatzstoffen bezogen auf den Bindemittelgehalt. [2].....	29
Tabelle 8: k-Werte [2]	29
Tabelle 9: Wirkungen von Zusatzmitteln [2]	31
Tabelle 10: Versuchsreihen	65
Tabelle 11: Betonkennwerte beim ersten Versuch.....	66
Tabelle 12: Betonkennwerte beim zweiten Versuch	66
Tabelle 13: Betonkennwerte beim dritten Versuch.....	67
Tabelle 14: Rüttelzeitdifferenz.....	68
Tabelle 15: Ergebnisse der ersten Versuchsreihe: Beton C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N	71
Tabelle 16: Ergebnisse der ersten Versuchsreihe: Beton C25/30 B1 Pumi GK16 F52 42,5N	72
Tabelle 17: Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe: Beton C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N .	73
Tabelle 18: Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe: Beton C16/20 XC1 GK16 F45 42,5N .	74
Tabelle 19: Ergebnisse der dritten Versuchsreihe: Beton C30/37 B1 GK16 F52 42,5N	75
Tabelle 20: Ergebnisse der dritten Versuchsreihe: Beton C30/37 B1 GK16 F52 42,5N	76
Tabelle 21: Bewertung der Formen je nach die vier wichtigsten Punkte: + positiv; ~ neutral; - negativ.....	89
Tabelle 22: Vor- & Nachteile zusammengefasst	89