

# DIPLOMARBEIT

## Einsatz von Recyclingbeton bei Gleistragplatten im urbanen Schienenverkehrswesen

Ressourcenschonung & Abfallwirtschaft, Betonentwicklung & Frischbeton-  
prüfung von Recyclingbeton

Mayr Martin      5AHBTT      Betreuer: Dipl.-Ing. Dr. techn. Christoph Hackspiel

Literaturrecherche für Recyclingbeton, Spezifikation der Prüfkörper & Fest-  
betonprüfung von Recyclingbeton

Nofirth Alexander      5AHBTT      Betreuer: Dipl.-Ing. Dr. techn. Christoph Hackspiel

### **Projektpartner/innen:**

Wiener Linien GmbH & Co KG  
MA 39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien  
Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik  
Ressourcen Management Agentur (RMA)

ausgeführt im Schuljahr 2021/22

---

Abgabevermerk:

Übernommen von:

Datum:

# Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Wien, am 30. März 2022

**Verfasser / Verfasserinnen:**

Mayr Martin

Nofirth Alexander

# Kurzfassung

Der Einsatz von Recyclingbeton strebt zwei Ziele zugleich an: Die Wiederverwendung von Abbruchmaterialien sowie die Einsparung von abiotischen Rohstoffen, wie Sanden und Kiesen. Sande und Kiese sind jene festen Rohstoffe, die weltweit am meisten gefördert und gehandelt werden. Mit einem weltweiten Bedarf an Sand von 50 Milliarden Tonnen pro Jahr, weist jede Person einen durchschnittlichen Tagesbedarf von 18 Kilogramm auf. Die Nachfrage steigt stetig. Die Reserven schrumpfen. Sand für das Baugewerbe wird knapp. Die Gewinnung erfolgt in empfindlichen Ökosystemen und zieht Konsequenzen mit sich: Flüsse werden geschädigt, die Verwüstung von Küsten wird vorangetrieben und Inseln verschwinden. Diese Problematik bezeichnen die Vereinten Nationen als eine der wichtigsten Herausforderungen in der Nachhaltigkeit im 21. Jahrhundert. Um die Biodiversität zu schützen, wie es die Europäische Kommission fordert, muss der zu hohe Landschaftsverbrauch eingeschränkt werden. Hochwertige Recycling-Baustoffe stellen einen gleichwertigen Ersatz von natürlichen Materialien dar. Durch das Rezyklieren von Betonabbruchmassen können Abbauflächen von natürlichen Ressourcen reduziert und Deponieflächen eingespart werden, wodurch der Landschaftsverbrauch sinkt. Die Errichtung einer Deponie führt ebenso zur Belastung des Landschaftsbilds, Zerstörung von Lebensräumen und Emission von Schadstoffen.

Das der Diplomarbeit zugrundeliegende Ziel stellt die Erkenntnisse über das Potential des Einsatzes von Baurestmassen in der Betonherstellung im Bereich des städtischen Schienennahverkehrs dar. Den Wiener Linien soll hiermit eine wissenschaftlich fundierte Basis geboten werden, um den Einsatz von rezyklierten Baurestmassen im Straßenbahnwesen zu evaluieren. Die Erkenntnisse stammen aus der Beantwortung theoretischer Fragestellungen, die mittels der Durchführung von Versuchen empirisch untermauert werden. Der Fokus liegt auf dem Einsatz von rezyklierten Baurestmassen in Form von Gleistragplatten, welche mit bereits abgebrochenen Elementen hergestellt werden sollen.

In Abstimmung mit den Wiener Linien konnte ein Anforderungsprofil für die Gleistragplatten der Schienenfahrzeuge erstellt werden. Diesem Anforderungsprofil liegen Pläne und ein Lieferschein der Wiener Linien zugrunde. Es soll ein Beton lt. ÖNORM B 4710-1:2018 für die Gleistragplatten mit folgender Kennzeichnung:

"C 25/30 / B5 / F52 / GK22 / ES / RB-A1"

eingesetzt werden, wobei die maximal verwendbaren Mengen an Zusatzmitteln und der Anhang E der ÖNORM B 4710-1:2018 außer Acht gelassen werden. Der maximale Wasser-Bindemittel Gehalt soll einen Wert von 0,5 nicht überschreiten. Des Weiteren soll der Beton nach drei Stunden Abbindezeit eine Frühfestigkeit von mindestens  $3,0 \text{ N/mm}^2$  aufweisen. Um den maximal einsetzbaren Gehalt an recycelter Gesteinskörnung zu ermitteln, wurden Mischungsverhältnisse mit den bereits erwähnten Anforderungen für 0 %, 34 % und 60 % recycelter Gesteinskörnung erstellt. Im Anschluss wurden folgende genormte Prüfun-

gen durchgeführt, um die Veränderungen der Frischbeton- / und Festbetoneigenschaften in Abhängigkeit des verwendeten Anteiles von recycelter Gesteinskörnung beobachten zu können:

- Frischbetonprüfungen
  - Konsistenz
  - Frischbeton-Rohdichte
  - Luftgehalt des Frischbetons
  - Bestimmung des W/B-Wertes
- Druckfestigkeit von Probekörpern
  - 7-Tage Druckfestigkeit
  - 28-Tage Druckfestigkeit
- E-Modul
- Wassereindringtiefe in Probekörper
- Frost-Tausalzbeständigkeit



# Abstract

The use of recycled concrete aims to reach two goals: reusing rubble and saving resources such as sand and gravel. Sand and gravel are globally the most extracted and traded solid materials. The demand of sand is rising constantly. According to the United Nations Environment Program 50 billion tons are needed every year worldwide. Henceforth, each person needs 18 kilograms per day on average. Therefore, resources are shrinking. Sand is getting a rare resource for building purposes. Extracting takes place in sensitive ecosystems and comes with consequences: Rivers are damaged, havoc is wreaked in coastal areas and islands are wiped away. The United Nations name this problem one of the most important sustainability challenges in the current century. The European Commission calls for the protection of biodiversity. Therefore, the increasing land use has to be reduced. High-quality recycled materials serve as an equivalent alternative to natural building materials. When recycling concrete rubble, areas for sand mining and debris depositing can be reduced. The construction of a disposal site also harms the scenery, destroys habitats, and emits pollutants.

This diploma thesis aims to analyze the potential of the use of recycled concrete as an aggregate in urban railway construction. The outcome of this work will allow Wiener Linien, which is Vienna's main public transport operator, to evaluate the benefits of the use of recycled concrete in the tram sector on a scientific basis. The knowledge sources from answering theoretical questions, which is supported by empirical research. The focus is set on the use of recycled concrete in form of track base plates which will be produced from demolished elements.

In coordination with Wiener Linien, a requirement profile for the track base plates of the rail vehicles was drawn up. This requirement profile is based on plans and a delivery note from Wiener Linien. Concrete according to ÖNORM B 4710-1:2018 for the track base plates with the following identification:

"C 25/30 / B5 / F52 / GK22 / ES / RB-A1"

should be used, whereby the maximum of usable amounts of additives and Annex E of ÖNORM B 4710-1:2018 is disregarded. The maximum water-binder ratio should not exceed a value of 0,5. Furthermore, after a setting time of 3 hours, the concrete should have an early strength of at least 3,0 N/mm<sup>2</sup>. In order to determine the maximum usable content of recycled mineral aggregate, mixing ratios with the aforementioned requirements for approximately 0 %, 30 % and 60 % of substituted recycled mineral aggregate are created. The following standardized tests are then carried out, in order to observe the changes in the fresh concrete and hardened concrete properties depending on the proportion of recycled aggregate used:

- fresh concrete tests

consistency

fresh concrete bulk density

air content of the fresh concrete

determination of the W/B value

- compressive strength of test specimens
  - 7-day compressive strength
  - 28-day compressive strength
- coefficient of elasticity
- depth of water penetration into test specimen
- freezing, thawing and de-icing tests

# Vorwort

An dieser Stelle wollen wir uns bei sämtlichen Personen bedanken, die uns während der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben, sowohl mit der nötigen fachlichen Kompetenz als auch der Zeit, welche die Beteiligten investiert haben.

Ein ganz besonders großer Dank gilt unserem Diplomarbeitsbetreuer Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Hackspiel, der uns bei sämtlichen aufgetretenen Fragen im Laufe der Diplomarbeit rund um die Uhr zur Verfügung stand und einen wesentlichen Beitrag aus organisatorischer Sicht bei der Zusammenarbeit mit den Wiener Linien geleistet hat.

Ein großer Dank geht an die Wiener Linien, welche uns die Möglichkeit geboten haben, Teil einer Reihe von ressourcenschonenden Projekten für die Stadt Wien zu werden und mitverantwortlich für die Entstehung dieser Arbeit sind. Insbesondere wollen wir Herrn DI Dr.techn. Markus Ossberger, Frau Dipl.-Ing. Lena Radics, Herrn Ing. DI (Ba) Michael Banovits, Frau Dipl.-Ing. Dr. Christine Bauer-Vasko und Frau Dipl.-Ing. Dr. Lisa-Marie Sinn danken.

Für die Unterstützung mit technischem Fachwissen und der Möglichkeit, einen Einblick in die Tätigkeiten und Berufsfelder in den Räumlichkeiten der MA 39 (Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien) zu bekommen, wollen wir den Herren Dipl.-Ing. Andreas Tichy und Ing. Herbert Kurz einen großen Dank aussprechen.

Außerdem wollen wir Herrn Mag. Hans Daxbeck und Frau Dipl.-Ing. Nathalia Kisliakova für die Unterstützung danken.

Außerordentlichen Dank wollen wir ebenfalls Herrn O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. MSc. Ph.D. Dr.phil. Dr.techn. Konrad Bergmeister aussprechen, welcher einen wichtigen Input mit spezialisiertem Fachwissen im Bereich Recyclingbeton geliefert hat.

## **DIPLOMARBEIT DOKUMENTATION**

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Namen der Verfasser/innen | Mayr Martin<br>Nofirth Alexander   |
| Jahrgang Schuljahr        | 5ABHTT<br>2021/22  |
| Thema der Diplomarbeit    | Einsatz von Recyclingbeton bei Gleistragplatten im urbanen Schienenverkehrswesen   |
| Kooperationspartner/innen | Wiener Linien GmbH & Co KG<br>MA 39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien<br>Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik<br>Ressourcen Management Agentur (RMA) |

|                  |  |
|------------------|--|
| Aufgabenstellung | Das der Diplomarbeit zugrundeliegende Ziel stellt die Erkenntnisse über das Potential des Einsatzes von Baurestmassen in der Betonherstellung im Bereich des städtischen Schienennahverkehrs dar. Den Wiener Linien soll hiermit eine wissenschaftlich fundierte Basis geboten werden, um den Einsatz von rezyklierten Baurestmassen im Straßenbahnwesen zu evaluieren. Die Erkenntnisse stammen aus der Beantwortung theoretischer Fragestellungen, die mittels der Durchführung von Versuchen empirisch untermauert werden. Der Fokus liegt auf dem Einsatz von rezyklierten Baurestmassen in Form von Gleistragplatten, welche mit bereits abgebrochenen Elementen hergestellt werden sollen. |
|------------------|--|

|              |  |
|--------------|--|
| Realisierung | Zur Realisierung der Diplomarbeit werden auf Basis der Anforderungen an die Gleistragplatten und der einzelnen Bestandteile des Recyclingbetons Mischungsverhältnisse mit unterschiedlichen Recyclinganteilen erstellt. Anhand dieser Mischungen werden sowohl Frischbeton- als auch Festbetonprüfungen durchgeführt, um die Eigenschaften des entwickelten Betons zu überprüfen. Abschließend wird eine Aussage über das Potential von Recyclingbeton im Einsatz bei Gleistragplatten im urbanen Schienenverkehrswesen getroffen. |
|--------------|--|

|            |  |
|------------|--|
| Ergebnisse | Die Inhalte dieser Diplomarbeit geben einen Einblick, dass die Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung keine unlösbare Aufgabe darstellt und nur zu geringfügigen Defiziten bei den Eigenschaften führt, bei korrekter Anwendung. Die normativen Bestimmungen aus der ÖNORM B 4710-1 haben hier also noch Spielraum und können in Zukunft angepasst werden. Der Einsatz von rezyklierter Gesteinskörnung bei den Gleistragplatten ist bis zu einer Auswechslung von etwa 30 % - 35 % empfehlenswert, ohne zu große Defizite in den Eigenschaften zu verzeichnen. |
|------------|--|

Typische Grafik, Foto etc.  
(mit Erläuterung)


HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- UND VERSUCHSANSTALT WIEN III  
CAMILLO SITTE BAUTECHNIKUM

MISCHUNGSVERHÄLTNIS

Blatt:

MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                      |               |                         |                    |            |             |
|--|----------------------|---------------|-------------------------|--------------------|------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK22_30%_15.11.21 |               |                         |                    |            |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 75,0 kg              |               |                         |                    |            |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                      |               |                         |                    |            |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4          | RC M1 4/16 | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 945,9                | 997,3         | 1031,8                  | 835,3              | 835,3      | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 906,7                | 988,6         | 1030,8                  | 830,3              | 830,3      | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                      |               |                         |                    |            |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand         |            |             |
|  | 35%                  | 53%           |                         | 12%                |            |             |
|  |                      | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |                    |            |             |
|  |                      | 25%           | 28%                     |                    |            |             |
| RC   | 25%                  | 25%           |                         | 100%               |            |             |
| NEU  | 75%                  | 75%           |                         | Gesamtauswechslung |            |             |
|  |                      |               |                         | 34,00%             |            |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                      |               |                         |                    |            |             |
|  | 0/4 N                | 4/8 N         | 8/16 N                  | 0/4 RC             | 4/16 RC    | 16/32 RC    |
|  | 15,921 kg            | 10,997 kg     | 12,221 kg               | 5,118 kg           | 7,750 kg   | 7,019 kg    |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,887 l              |               |                         |                    |            |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                      |               |                         |                    |            |             |
| Zement                                     | 11,24 kg             |               |                         |                    |            |             |
| Wasser                                     | 4,73 kg              |               |                         |                    |            |             |
| Gestein                                    | 58,14 kg             |               |                         |                    |            |             |
| Beschleuniger                              | 2,75%                | 0,31 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 237,76 ml          |            |             |
| LP - Bildner                               | 2,00%                | 0,22 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 218,25 ml          |            |             |
| Verflüssiger                               | 1,25%                | 0,14 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 128,90 ml          |            |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 4,96 kg              |               |                         |                    |            |             |
| 15.11.2021                                 | Mayr M.              | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |                    |            |             |
| Datum                                      | Prüfer               | Prüfer (opt.) | Prüfer                  |                    |            |             |

 Eingabefelder  
Ausgabefelder

Mischungsverhältnis Recyclingbeton vom 15. November 2021 mit einer Substitution von 34 % rezyklierter Gesteinskörnung.

Teilnahme an Wettbewerben,  
Auszeichnungen

n. a.

Möglichkeiten der  
Einsichtnahme in die Arbeit

n. a.

Approbation  
(Datum / Unterschrift)

Prüfer/Prüferin

Direktor/Direktorin  
Abteilungsmitglied/Abteilungsleiter

## **DIPLOMA THESIS**

### **Documentation**

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Author(s)             | Mayr Martin<br>Nofirth Alexander  |
| Form<br>Academic year | 5AHBTT<br>2021/22   |
| Topic                 | Use of recycled concrete for base track plates in urban railway construction  |
| Co-operation partners | Wiener Linien GmbH & Co KG<br>MA 39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien<br>Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik<br>Ressourcen Management Agentur (RMA)  |
| Assignment of tasks   | This diploma thesis aims to analyze the potential of the use of recycled concrete as an aggregate in urban railway construction. The outcome of this work will allow Wiener Linien, which is Vienna's main public transport operator, to evaluate the benefits of the use of recycled concrete in the tram sector on a scientific basis. The knowledge sources from answering theoretical questions, which is supported by empirical research. The focus is set on the use of recycled concrete in form of track base plates which will be produced from demolished elements. |
| Realisation           | For the realisation of this diploma thesis mixing ratios with different amounts of substitution are calculated based on the requirements and components for the track base plates. Several fresh concrete and compressive strength concrete tests are conducted in order to determinate the characteristics of the developed concrete. Furthermore, a conclusion over the potential for the use of recycled concrete in the urban railway construction is stated.   |
| Results               | The contents of this diploma thesis provide an insight that the use of recycled aggregates is not an impossible task and only leads to minor quality characteristic deficits when used correctly. The normative specifications from ÖNORM B 4710-1 still have some margin here and can be adjusted in the future. The use of recycled mineral aggregate for the track base plates is recommended up to a substitution of about 30 % - 35 % without registering any major deficits in the characteristics.   |

Illustrative graph, photo  
(incl. explanation)

HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHR- UND VERSUCHSANSTALT WIEN III  
CAMILLO SITTE BAUTECHNIKUM

MISCHUNGSVERHÄLTNIS

Blatt:

MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                      |               |                         |                    |            |             |
|--|----------------------|---------------|-------------------------|--------------------|------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK22_30%_15.11.21 |               |                         |                    |            |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 75,0 kg              |               |                         |                    |            |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                      |               |                         |                    |            |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4          | RC M1 4/16 | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 945,9                | 997,3         | 1031,8                  | 835,3              | 835,3      | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 906,7                | 988,6         | 1030,8                  | 830,3              | 830,3      | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                      |               |                         |                    |            |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand         |            |             |
|  | 35%                  | 53%           |                         | 12%                |            |             |
|  |                      | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |                    |            |             |
|  |                      | 25%           | 28%                     |                    |            |             |
| RC   | 25%                  | 25%           |                         | 100%               |            |             |
| NEU  | 75%                  | 75%           |                         | Gesamtauswechslung |            |             |
|  |                      |               |                         | 34,00%             |            |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                      |               |                         |                    |            |             |
|  | 0/4 N                | 4/8 N         | 8/16 N                  | 0/4 RC             | 4/16 RC    | 16/32 RC    |
|  | 15,921 kg            | 10,997 kg     | 12,221 kg               | 5,118 kg           | 7,750 kg   | 7,019 kg    |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,887 l              |               |                         |                    |            |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                      |               |                         |                    |            |             |
| Zement                                     | 11,24 kg             |               |                         |                    |            |             |
| Wasser                                     | 4,73 kg              |               |                         |                    |            |             |
| Gestein                                    | 58,14 kg             |               |                         |                    |            |             |
| Beschleuniger                              | 2,75%                | 0,31 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 237,76 ml          |            |             |
| LP - Bildner                               | 2,00%                | 0,22 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 218,25 ml          |            |             |
| Verflüssiger                               | 1,25%                | 0,14 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 128,90 ml          |            |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 4,96 kg              |               |                         |                    |            |             |
| 15.11.2021                                 | Mayr M.              | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |                    |            |             |
| Datum                                      | Prüfer               | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |                    |            |             |

 Eingabefelder  
 Ausgabefelder

Mixing ratio of recycled concrete from Nov. 15<sup>th</sup>, 2021 with a substitution of 34 % recycled mineral aggregate.

Participation in competitions  
Awards

n. a.

Accessibility of  
Diploma Thesis

n. a.

Approval  
(Date / Signature)

Examiner

Head of College / Department

# Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| <b>Eidesstattliche Erklärung</b>                          | <b>I</b>   |
| <b>Kurzfassung</b>  | <b>II</b>  |
| <b>Abstract</b>   | <b>IV</b>  |
| <b>Vorwort</b>  | <b>VI</b>  |
| <b>Diplomarbeit Dokumentation</b>                         | <b>VII</b> |
| <b>Diploma Thesis Documentation</b>                       | <b>IX</b>  |
| <b>1 Ressourcengewinnung &amp; -einsparung</b>            | <b>1</b>   |
| 1.1 Verbrauch . . . . .                                   | 1          |
| 1.2 Auswirkungen . . . . .                                | 2          |
| 1.3 Handlungsmöglichkeiten . . . . .                      | 3          |
| 1.4 Normen & Richtlinien . . . . .                        | 4          |
| 1.4.1 Abfallrahmenrichtlinie der EU . . . . .             | 4          |
| 1.4.2 Bundesverfassungsgesetz . . . . .                   | 4          |
| 1.4.3 Abfallwirtschaftsgesetz . . . . .                   | 4          |
| 1.4.4 Recyclingbaustoffverordnung . . . . .               | 4          |
| 1.4.5 Deponieverordnung . . . . .                         | 5          |
| 1.4.6 Richtlinie Recycling-Baustoffe . . . . .            | 5          |
| 1.4.7 Weitere Normen, Gesetze und Richtlinien . . . . .   | 6          |
| <b>2 Recyclingbeton im Allgemeinen</b>                    | <b>7</b>   |
| 2.1 Komponenten des Recyclingbetons . . . . .             | 7          |
| 2.1.1 Zuschlagstoff . . . . .                             | 7          |
| 2.1.2 Bindemittel . . . . .                               | 9          |
| 2.1.3 Zugabewasser . . . . .                              | 9          |
| 2.1.4 Zusatzmittel . . . . .                              | 10         |
| 2.1.5 ÖNORM B 3140 . . . . .                              | 12         |
| 2.1.6 ÖNORM B 4710-1 Anhang E . . . . .                   | 12         |
| 2.1.7 Bestimmungen zur Substitution . . . . .             | 14         |
| 2.1.8 Regelungen bzgl. der statischen Bemessung . . . . . | 14         |
| <b>3 Grundlagenermittlung</b>                             | <b>17</b>  |
| 3.1 Anforderungen . . . . .                               | 17         |
| 3.1.1 Druckfestigkeit . . . . .                           | 18         |
| 3.1.2 Betonkurzbezeichnung . . . . .                      | 18         |



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.1.3    | Konsistenz . . . . .                                   | 21        |
| 3.1.4    | Größtkorn . . . . .                                    | 22        |
| 3.1.5    | Festigkeitsentwicklung . . . . .                       | 23        |
| 3.1.6    | Recyclingmaterial . . . . .                            | 24        |
| 3.2      | Bestandteile . . . . .                                 | 24        |
| 3.2.1    | Zuschlagstoffe . . . . .                               | 24        |
| 3.2.2    | Bindemittel . . . . .                                  | 27        |
| 3.2.3    | Zugabewasser . . . . .                                 | 27        |
| 3.2.4    | Zusatzmittel . . . . .                                 | 27        |
| 3.3      | Prüfungen . . . . .                                    | 29        |
| 3.3.1    | Frischbetonprüfungen . . . . .                         | 29        |
| 3.3.2    | Festbetonprüfungen . . . . .                           | 33        |
| <b>4</b> | <b>Rezepturermittlung</b>                              | <b>38</b> |
| 4.1      | Anforderungen . . . . .                                | 38        |
| 4.2      | Variablen . . . . .                                    | 38        |
| 4.2.1    | Zuschlagstoffe . . . . .                               | 38        |
| 4.2.2    | Bindemittel . . . . .                                  | 38        |
| 4.2.3    | Wasser . . . . .                                       | 39        |
| 4.2.4    | Zusatzmittel . . . . .                                 | 39        |
| 4.3      | Mischungsverhältnis Erstellung . . . . .               | 40        |
| 4.3.1    | Mischungsbeschränkungen . . . . .                      | 40        |
| 4.3.2    | Parameterzusammenführung . . . . .                     | 41        |
| 4.3.3    | Parametereingabe . . . . .                             | 42        |
| 4.4      | Versuche & Adaption . . . . .                          | 42        |
| 4.4.1    | Versuchsdurchführung & Verarbeitungshinweise . . . . . | 42        |
| <b>5</b> | <b>Prüfungen / Ergebnisse</b>                          | <b>44</b> |
| 5.1      | Frischbetonprüfungen . . . . .                         | 44        |
| 5.1.1    | Konsistenz . . . . .                                   | 44        |
| 5.1.2    | Frischbetonrohddichte . . . . .                        | 45        |
| 5.1.3    | LP-Gehalt . . . . .                                    | 46        |
| 5.1.4    | Zementgehalt . . . . .                                 | 47        |
| 5.1.5    | W/B-Wert . . . . .                                     | 47        |
| 5.2      | Festbetonprüfungen . . . . .                           | 49        |
| 5.2.1    | Druckfestigkeit . . . . .                              | 49        |
| 5.2.2    | Festbetonrohddichte . . . . .                          | 51        |
| 5.2.3    | LP-Gehalt . . . . .                                    | 51        |
| 5.2.4    | W/B-Wert . . . . .                                     | 52        |
| 5.2.5    | Bruchbilder . . . . .                                  | 52        |
| 5.2.6    | Elastizitätsmodul . . . . .                            | 53        |
| 5.2.7    | Wasserundurchlässigkeit . . . . .                      | 53        |
| 5.2.8    | Frost-/ Tausalz Beständigkeit . . . . .                | 53        |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung</b>                                 | <b>55</b> |
| 6.1      | Interpretation / Schlussfolgerung . . . . .            | 55        |
| 6.2      | Aussichten / Ausblick . . . . .                        | 56        |
| 6.2.1    | Betoneigenschaften . . . . .                           | 56        |
| 6.2.2    | Zuschlagstoff . . . . .                                | 56        |
| 6.2.3    | Bindemittel . . . . .                                  | 56        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.2.4 Zusatzmittel . . . . .                     | 57         |
| 6.3 Conclusio . . . . .                          | 57         |
| <b>Literatur</b>                                 | <b>61</b>  |
| <b>A Oberbauquerschnitt</b>                      | <b>66</b>  |
| <b>B Prüfbericht Rezyklierte Gesteinskörnung</b> | <b>73</b>  |
| <b>C Produktdatenblätter</b>                     | <b>83</b>  |
| <b>D Sieblinien</b>                              | <b>92</b>  |
| <b>E Mischungsverhältnisse</b>                   | <b>101</b> |
| <b>F Prüfungsberichte Frischbetonprüfungen</b>   | <b>122</b> |
| <b>G Prüfungsberichte Festbetonprüfungen</b>     | <b>131</b> |

# Kapitel 1

## Ressourcengewinnung & -einsparung

Martin Mayr

### 1.1 Verbrauch

Die Bevölkerung des Globus nimmt stetig zu. Prognosen der UN zufolge, soll die Bevölkerung, wie in Abb. 1.1 dargestellt, mit Stand 2010 bis zum Jahr 2025 bei bereits 8,17 Mrd. Menschen liegen und bis 2100 bei bereits über 10,9 Mrd. [1]

Mit steigender Bevölkerung nimmt ebenso die Zahl an benötigten Rohstoffen und anfallenden Abfällen zu. Alleine in der Europäischen Union werden jährlich pro Person etwa 15 bis 16 Tonnen Primärrohstoffe benötigt, was ein Anstieg von über 260 % seit dem Jahr 1960 ist. [3] Das sorgt immer wieder für Engpässe und Verknappungen dieser Rohstoffe. Auch die Menge an anfallendem Abfall ist nicht zu vernachlässigen. In den Jahren zwischen 1990 und 2019 ist das gesamte Abfallaufkommen in Österreich um annähernd 100 %

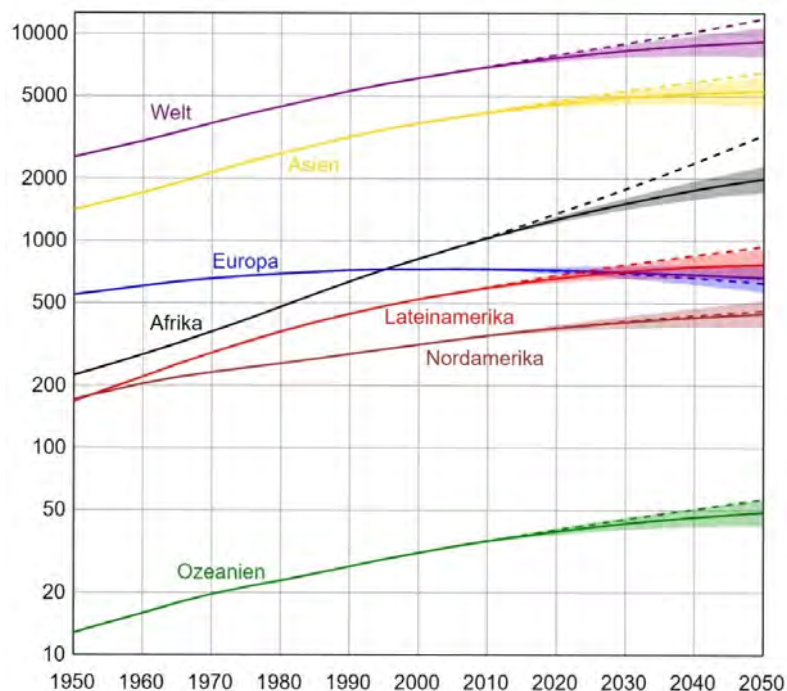


Abbildung 1.1: UNO-Bevölkerungsanalyse und -prognose nach Kontinenten [2]

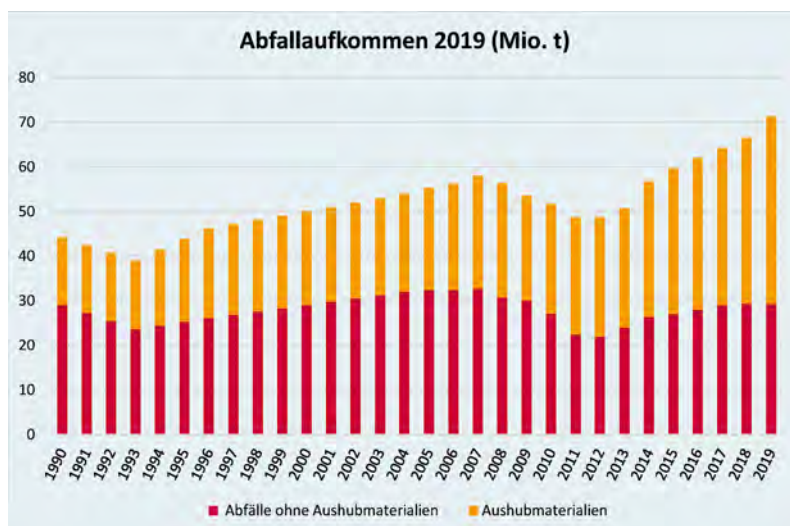


Abbildung 1.2: Abfallaufkommen in Österreich zwischen 1990 und 2019 [4]

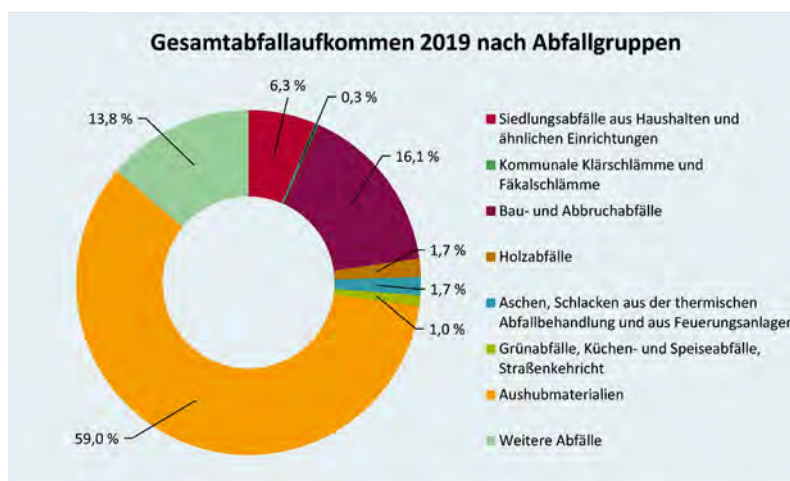


Abbildung 1.3: Abfallaufkommen in 2019 nach Abfallgruppen getrennt [4]

gestiegen, wie es aus Abb. 1.2 zu entnehmen ist. [4]

Einer der größten Faktoren ist hierbei das Bauwesen. Wie in Abb. 1.3 dargestellt, sind in Österreich rund 59 % der anfallenden Abfälle Aushubmaterialien und etwa 16,1 % der Abfälle Bau- und Abbruchmaterialien. [4] In der gesamten EFTA-Zone sind etwa 48 % der Abfälle aus der Baubranche und weitere 15 % stammen aus dem Bergbau und der Gewinnung von Primärrohstoffen. [3]

Ziel ist sowohl den Bedarf an Primärressourcen zu senken, das Aufkommen an Abfall zu minimieren, den anfallenden Abfall so gut es geht zu rezyklieren und hochwertige Bauprodukte daraus zu schaffen.

## 1.2 Auswirkungen

Sand und Gesteinskörnung, die massebezogenen Hauptbestandteile von Beton und tragfähigen Schichten im Bauwesen, sind begrenzte Ressourcen und limitiert in ihrer Verfüg-

barkeit. Sie sind essenziell für die Errichtung von Gründungen im Hochbau oder kritischer Infrastrukturprojekte wie Brücken und Tunnel, ohne welche die städtische Raumentwicklung stark eingeschränkt wäre. Zwei Beispiele hierfür sind die Länder China und Indien, welche derzeit stark in ihre Infrastruktur investieren, um die Lebensqualität der Bevölkerung so schnell wie möglich zu verbessern. Daher beträgt auch die Zementproduktion der beiden Länder summiert 65,1 % der gesamten Produktion weltweit. Die Gewinnung von Primärrohstoffen hat allerdings einige Kehrseiten. Der Abbau von Sand findet oftmals illegal statt und wird häufig von zwangsverpflichteten Menschen in Entwicklungsländern durchgeführt. Die dort herrschenden "Sand Mafias" achten weder auf die Arbeitssicherheit noch auf die Arbeitsbedingungen der Arbeitenden, welche meist unter unmenschlichen Bedingungen arbeiten müssen. Das System der Sandgewinnung ist einzig und allein profitorientiert. Die örtlichen Regierungen und die örtliche Exekutive sind durch Absprachen oder Korruptionsvorfälle meist sehr unbeeindruckt von den vorherrschenden Zuständen. Es ist weltweit eines der größten, weitgehend unreglementierten Geschäfte, welches große ökonomische und ökologische Folgen hat. Besonders stark sieht man die Auswirkungen aus ökologischer Sicht. Sand wird massenhaft kommerziell abgebaut, um Tourismus-Hotspots wie Hotels zu beliefern und künstliche Strände aufzuschütten. Hierbei spielt die Nachhaltigkeit keine Rolle. Wenn dann noch berücksichtigt wird, dass durch die in den letzten Jahrzehnten vermehrt errichteten Kraftwerke entlang von Flussläufen der Transport von Gesteinsablagerungen stark unterbunden wird, fehlen zwischen 50 % und 95 % an natürlicher Sandlieferung am Ende mancher Gewässer. Dies bleibt nicht unbemerkt, und so sind einige Strände und sogar ganze Küstenregionen in akuter Gefahr. Es wird weitgehend das empfindliche, örtliche Ökosystem beschädigt. Vor allem das marine Ökosystem sowie die Biodiversität stehen hier besonders stark im Fokus. [5]

### 1.3 Handlungsmöglichkeiten

Um das empfindliche Ökosystem nicht weiter zu belasten und einen nachhaltigen Unterschied zu machen, haben die Vereinten Nationen im Oktober 2018 zu einer Runde von fachkundigen Personen geladen und die Ergebnisse in Form eines Berichtes veröffentlicht. Laut diesem sind für ein nachhaltiges Handeln drei Herangehensweisen erforderlich. Als erstes solle der unnötige Verbrauch von primären Rohstoffen, wie beispielsweise Sand, vermieden werden. Dies kann durch folgende Lösungsansätze erreicht werden:

- Nachhaltige, kompakte Städteplanung
- Vermeidung von besonders aufwändigen Prestigeprojekten
- Grüne Infrastruktur anstatt konventioneller Infrastruktur
- Einsparung von herkömmlichen Beton
- Optimierung von Beton bezogen auf die Lebensdauer
- Investition in Wartung & Pflege von Infrastruktur

Weiters sollen rezyklierte und alternative Baustoffe an jenen Stellen eingesetzt werden, wo primäre Ressourcen weiterhin notwendig sind. Einerseits können Abbruchmaterialien der Bauindustrie als Schütt- oder Füllmaterialien wiederverwendet werden, was auch als "downcycling" bezeichnet wird, andererseits durch eine Aufbereitung als hochwertige Baustoffe, in Form von beispielsweise Recyclingbeton, was dann als "upcycling" bezeichnet wird. Als letztes wird das Vermindern des Abbaus von primären Ressourcen durch normative Standards und "Best Practice" Methoden beschrieben. Hierbei sollen Standards sowie Gesetze auf internationaler, nationaler, interregionaler und regionaler Ebene definiert werden und ein Kooperieren von sowohl staatlichen als auch privaten Institutionen erleichtert

werden. [5]

## 1.4 Normen & Richtlinien

In Österreich gibt es einige gesetzliche Bestimmungen, welche die Konzepte, Ziele und Maßnahmen zur Vermeidung und Entsorgung von Abfällen regeln.

### 1.4.1 Abfallrahmenrichtlinie der EU

Die Abfallrahmenrichtlinie der EU (RL2008/98/EG in der Fassung RL 2018/851/EU) setzt auf fünf hierarchisch gegliederte, zentrale Punkte im Umgang mit Abfällen.

- Vermeidung von Abfällen
- Vorbereitung auf die Wiederverwendung
- Recycling von Abfällen
- Sonstige Verwertung von Abfällen
- Entsorgung von Abfällen

Die Richtlinie ist in der Europäischen Union in nationales Recht umzusetzen und schrieb in einer Zielvorgabe bis zum Jahr 2020 die Wiederverwendung von mindestens 70 % der nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfälle (ausgenommen Bodenaushub) vor. [6]

### 1.4.2 Bundesverfassungsgesetz

Im Bundesverfassungsgesetz (BVG) bekennt sich Österreich

„zur Bewahrung der Umwelt als Lebensgrundlage des Menschen, zur Reinhaltung der Luft, des Wassers und des Bodens und zur Vermeidung von Störungen durch Lärm.“<sup>1</sup>

### 1.4.3 Abfallwirtschaftsgesetz

Das Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002) „Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft“ löste 2002 das AWG (Abfallvermeidung vor Abfallverwertung vor Abfallbeseitigung) aus dem Jahr 1990 ab, welches auch die Grundlage für das AWG 2002 war. Es ist die nationale Anwendung der Abfallrahmenrichtlinie der EU und hat daher auch sehr ähnliche Zielsetzungen. Zentrale Aspekte sind die Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanzen und deren Umwelt zu minimieren, ebenso wie die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen. Bei Ressourcen wie Wasser, Energie, Boden und Deponievolumen ist ein schonender Umgang anzustreben. Um die Realisierung dieser Ziele zu ermöglichen, wurde ein Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP) vorgeschrieben, der die Vorgaben zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen enthält. [7]

### 1.4.4 Recyclingbaustoffverordnung

Die Recyclingbaustoffverordnung (RBV) aus dem Jahr 2015 bildet die Basis für eine sinnvolle Kreislaufwirtschaft in Österreich zur Steigerung der Materialeffizienz, wobei der Schwerpunkt hier auf der Wiederverwertung von Bauteilen liegt. Vermieden werden sollen

---

<sup>1</sup>Siegfried Schneller. „Baustoff-Recycling im Hochbau“. Deutsch. Masterarbeit. Wien, Österreich: Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, März 2013. URL: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/11014>.

| Qualitätsklasse                       | Beschreibung   | Ungebundene Anwendung <sup>1)</sup> ohne gering durchlässige, gebundene Deck- oder Tragschicht | Ungebundene Anwendung <sup>1)</sup> unter gering durchlässiger, gebundener Deck- oder Tragschicht | Herstellung von Beton ab der Festigkeitsklasse C 12/15 oder der Festigkeitsklasse C 8/10 ab der Expositionsklasse XC1 | Herstellung von Asphaltmischgut |
|---------------------------------------|--|--|---|---|---------------------------------|
| U-A<br>(ungebunden – A)               | Gesteinskörnungen für den ungebundenen sowie für den hydraulisch oder bituminös gebundenen Einsatz   | Ja   | Ja  | Ja  | Ja                              |
| U-B<br>(ungebunden – B)               | Gesteinskörnungen für den ungebundenen sowie für den hydraulisch oder bituminös gebundenen Einsatz   | Nein   | Ja <sup>2)</sup>  | Ja  | Ja                              |
| U-E<br>(ungebunden – E)               | Gesteinskörnungen für den ungebundenen sowie für den hydraulisch oder bituminös gebundenen Einsatz   | Ja <sup>2)3)</sup>   | Ja <sup>2)</sup>  | Ja  | Ja                              |
| H-B<br>(für hydraulische Bindung – B) | Gesteinskörnungen ausschließlich zur Herstellung von Beton ab der Festigkeitsklasse C 12/15 oder der Festigkeitsklasse C 8/10 ab der Expositionsklasse XC1 | Nein   | Nein  | Ja  | Nein                            |
| B-B<br>(für bituminöse Bindung – B)   | Gesteinskörnungen (insbesondere Ausbaupasphalt) zur Herstellung von Asphaltmischgut  | Nein   | Nein <sup>4)</sup>  | Nein  | Ja                              |
| B-C<br>(für bituminöse Bindung – C)   | Gesteinskörnungen (insbesondere Ausbaupasphalt) zur Herstellung von Asphaltmischgut  | Nein   | Nein  | Nein  | Ja <sup>5)</sup>                |
| B-D<br>(für bituminöse Bindung – D)   | Gesteinskörnungen (insbesondere Ausbaupasphalt) zur Herstellung von Asphaltmischgut  | Nein   | Nein <sup>4)</sup>  | Nein  | Ja <sup>5)6)</sup>              |
| D<br>(Stahlwerksschlacke D)           | Gesteinskörnungen aus Stahlwerksschlacken direkt aus der Produktion ausschließlich zur Herstellung von Asphaltmischgut                                     | Nein   | Nein  | Nein  | Ja <sup>6)</sup>                |

**Abbildung 1.4:** Tabellarische Zuordnung der Qualitätsklassen zu den Einsatzbereichen und Verwendungsverboten [9]

die Wiederverwendung von umweltschädlichen Stoffen wie Asbest, FCKWs und Phenolen. Um die Umweltverträglichkeit der rezyklierten Baustoffe gewährleisten zu können, müssen diese analysiert werden und einer Qualitätsklasse entsprechend zugeordnet werden. Die Qualitätsklassen werden grundsätzlich nach dem Einsatz bzw. der Nutzung unterschieden und innerhalb der Nutzungen nach bestimmten Grenzwerten von chemischen Belastungen. Die einzelnen Nutzungen sind in Abbildung 1.4 dargestellt. Die Grenzwerte der chemischen Belastungen sind in der Recyclingbaustoffverordnung nachzulesen. Für die Verwendung von Gesteinskörnung für Recyclingbeton darf nur auf Abbruchmaterial der Klassen U-A, U-B, U-E und H-B zurückgegriffen werden. [8]

#### 1.4.5 Deponieverordnung

Die Deponieverordnung aus dem Jahr 2008 behandelt das Deponieren von Abfällen unter Berücksichtigung von Gefahren auf Mensch, Tier und Umwelt. Sie unterscheidet in nicht gefährliche und gefährliche Abfallstoffe und bestimmt materialbezogene Grenzwerte. [8]

#### 1.4.6 Richtlinie Recycling-Baustoffe

Die Richtlinie des Österreichischen Baustoff-Recycling Verbandes (ÖBRV) bezieht sich auf die Anforderungen und Reglementierungen für die Herstellung von Recycling-Baustoffen. Sie ist rechtlich nicht bindend. Die laufende Kontrolle der Baustoffe bezüglich ihrer Güteklasse findet hier durch den Österreichischen Güterschutzverband Recycling-Baustoffe (GSV) statt. Die überprüften Qualitätsanforderungen müssen sowohl bei der Anlieferung als auch bei der Sortierung, der Aufbereitung und der Lagerung erfüllt sein. Bei den Güteklassen kann in fünf Klassen unterschieden werden. [8]

**Güteklasse 1**

Recycling-Baustoff für die Verwendung von oberen und unteren gebundenen Tragschichten im Straßenbau sowie bei hydraulisch gebundenen Tragschichten

**Güteklasse 2**

Recycling-Baustoff für die Verwendung von unteren ungebundenen Tragschichten im Straßenbau sowie bei hydraulisch gebundenen Tragschichten

**Güteklasse 3 & 4**

Recycling-Baustoff für die Verwendung von hydraulisch gebundenen Tragschichten und für Schüttmaterialien im Straßenbau sowie bei Parkplätzen

**Güteklasse 5** Recycling-Baustoff für die Verwendung von oberen und unteren ungebundenen Tragschichten im Straßenbau

**1.4.7 Weitere Normen, Gesetze und Richtlinien**

Zu den bereits genannten normativen Bestimmungen gibt es noch zahlreiche weitere Gesetze, Normen und Richtlinien in Österreich, welche das Entsorgen, Recyceln und Deponieren von Abfällen regeln. [7]

- Abfallnachweisverordnung
- Abfallverzeichnisverordnung
- Altlastensanierungsgesetz
- Baurestmassentrennverordnung
- Festsetzungsverordnung gefährlicher Abfälle
- Länderspezifische Abfallwirtschaftsgesetze



# Kapitel 2

## Recyclingbeton im Allgemeinen

Alexander Nofirth

Recyclingbeton besteht wie konventioneller Beton aus dem Zuschlagstoff, Bindemittel und Zugabewasser sowie etwaigen Zusatzmitteln. Bei der Herstellung von Recyclingbeton wird ein Teil des Zuschlagstoffs durch eine Gesteinskörnung substituiert, die nicht eigens dafür gewonnen wurde.

### 2.1 Komponenten des Recyclingbetons

#### 2.1.1 Zuschlagstoff





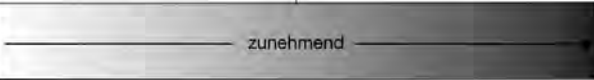
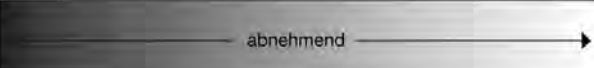
Der Zuschlagstoff ist bei der Herstellung von Recyclingbeton äußerst relevant, da der Beton erst die entsprechende Festigkeit erfährt, indem die Gesteinskörnung das stabile Gerüst bildet, das durch das Bindemittel gänzlich umhüllt wird. Verunreinigungen der Gesteinskörnung können gravierende Konsequenzen für die Eigenschaften des Betons mit sich bringen. [8] [10] Allgemein erfolgt die Klassifikation der Gesteinskörnung nach geometrischen, physikalischen sowie chemischen Eigenschaften: der Kornform, Korngröße, Festigkeit, Rohdichte, Herkunft und dem Gefüge der Gesteinskörnung. [11] [12]

#### Kornform und Gefüge

Bei der Kornrauigkeit wird die Ausformung der Oberfläche des einzelnen Kornes analysiert. Eine Unterscheidung findet zwischen Rundkorn und gebrochenem Korn statt. Bei einer gedrungenen Kornform wird die Verarbeitbarkeit und Verdichtbarkeit des Betons erhöht, während der Anspruch an Wasser und Zementleim sinkt. Mit einem Korn, das tendenziell platt und länglich ist, nimmt die Oberfläche in Relation zum Volumen zu. Dadurch steigt ebenso der Bedarf an Zementleim, der zur Benetzung der Oberfläche notwendig ist. Je kantiger und rauer die Kornoberfläche ist, umso stärker nimmt die Verarbeitbarkeit des Betons ab. [11] Die rezyklierte Gesteinskörnung weist einen höheren Hohlraumgehalt als die natürliche Gesteinskörnung auf. Dies resultiert aus der rauen Oberfläche und nicht kubischen Form der Körner des gebrochenen Materials. [13]

#### Korngrößenverteilung und Packungsdichte

Die Klassifikation der Gesteinskörnung hinsichtlich der Größe erfolgt durch Korngruppen. Die Definition der jeweiligen Korngruppe basiert auf dem Kleinst- und Größtkorn. Eine Rücksichtnahme auf das zulässige Unter- und Überkorn ist entsprechend zu gewährleisten. Die einzelnen Korngruppen dienen zur Formung von Korngemischen, um das Porenvolumen des Zuschlagstoffes zu reduzieren. Die Verteilung der Korngrößen wird einerseits durch

|                               | nicht gebrochen  |   | gebrochen  |   |
|-------------------------------|--|---|--|---|
|                               | kugelig /<br>gedrungen   | länglich /<br>plattig   | kantig /<br>gedrungen  | länglich /<br>splittig  |
| Kornform                      |   |  |  |  |
| Oberflächen-<br>rauigkeit     | glatt  |   | rau  |   |
| Wasseranspruch/<br>Leimbedarf |  |   |  |   |
| Verarbeit-<br>barkeit         |  |   |  |   |

**Abbildung 2.1:** Auswirkungen der Kornform der Gesteinskörnung auf den Bedarf an Zementleim sowie die Verarbeitbarkeit des Betons [14]

die Sieblinie des Ausgangsmaterials, andererseits durch die Korngrößenverteilungslinie des Zuschlagstoffes abgebildet. Die Abszisse klassifiziert die Siebweiten der Korngrößen; die Ordinate dient dem Auftragen des Durchgangs durch das zu betrachtende Sieb. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit wird ein logarithmischer Maßstab für die Lochweiten angesetzt. [14] Generell weisen Gesteinskörnungen eine höhere Festigkeit als die Zementschlemme auf. Das Interesse an einer hohen Packungsdichte resultiert aus der einhergehenden Steigerung der Festigkeit sowie Reduktion des Bindemittelbedarfs. Weist etwa ein Beton ein Gefüge auf, das von gleich großen Körnern dominiert ist, bildet sich eine hohe Anzahl an Zwischenräumen, die durch den Zementleim auszufüllen sind. Wird hingegen der Feinkornanteil erhöht, um die Packungsdichte zu steigern, vergrößert sich der Bindemittelbedarf. Bei einem zu hohen Anteil an Feinkorn in der Gesteinskörnung besteht das Risiko, dass nicht alle Körner durch den Zementleim vollständig eingehüllt werden. Dies würde die Konsistenz des Betons steifer werden lassen. [12]

### Kornrohichte

Die Zuschlagstoffe für die Betonherstellung werden ebenso nach der Rohdichte unterteilt. Normalzuschläge weisen eine Rohdichte von 2200 bis 3200 kg/m<sup>3</sup> auf. Hierfür wird meist natürliche Gesteinskörnung verwendet, die aus kugeligem und glattem Sand sowie Kies aus Flusssedimenten und Moränen besteht. Ansonsten kommt die gebrochene Gesteinskörnung in Steinbrüchen sowie künstlichen Gesteinskörnungen vor. Leichtzuschläge verfügen über eine Rohdichte geringer 2200 kg/m<sup>3</sup> und werden für die Herstellung von Leichtbeton und Leichtmörteln verwendet. Eingesetzt werden hierfür natürliche Gesteinskörnungen, wie Bims, Tuff, Lavasand, Lavakies und Kieselgur ebenso wie künstliche Gesteinskörnung, etwa Blähschiefer, Blähton, Blähglas, Blähglimmer, Blähperlite, Steinkohlenflugasche, Ziegelsplitt, Hüttenbims und Kesselsand. Schwerzuschläge mit einer Rohdichte höher als 3200 kg/m<sup>3</sup> finden bei der Herstellung von Schwerbeton Anwendung. Natürliche Gesteinskörnung, wie Baryt, Magnetit, Hämatit und Limonit, kommt genauso zum Einsatz wie künstliche Gesteinskörnung, Schrott und Schwermetallschlacke zum Beispiel. [14] [12]

## Herkunft

Der Ort der Gewinnung verweist auf die Entstehung sowie Zusammensetzung der Gesteinskörnung. Hinsichtlich der Herkunft der Gesteinskörnung wird in der Recycling-Baustoffverordnung zwischen drei Gesteinskörnungen für Recycling-Baustoffe differenziert: die rezyklierte, natürliche sowie industriell hergestellte Gesteinskörnung. Die natürliche Gesteinskörnung wurde zuvor nicht für bautechnische Zwecke verwendet, wie etwa Einkehrsplitt. Die industriell hergestellte Gesteinskörnung besteht aus Abfällen von industriellen Produktionen, beispielsweise die bei der Stahlproduktion entstehende Schlacke. Die rezyklierte Gesteinskörnung wurde zuvor für bautechnische Zwecke eingesetzt. Darunter fällt technisches Schüttmaterial, Asphalt und Beton. In diese Kategorie sind auch die Oberbauplatten einzuordnen, die einen Kernaspekt dieser Diplomarbeit darstellen. [15]

### 2.1.2 Bindemittel

Zement dient als hydraulisches Bindemittel zur Betonherstellung. Ein wesentliches Reaktionsprodukt der Hydratation von Zement sind Calciumsilikathydrate. Diese stellen unlösliche und stabile Verbindungen dar, die zur Bildung von feinen nadelförmigen Kristallen führt, die den wassergefüllten Raum zwischen den Feststoffpartikeln des Betons ausfüllt. Zudem resultiert deren Verzahnung in der entsprechenden Festigkeit des Zementleims. Deshalb beeinflusst die Größe des Zwischenraums respektive der Wasser-Zement-Wert den zeitlichen Verlauf der Bildung des Gefüges maßgeblich. Die Prä-Induktionsperiode ist gekennzeichnet durch eine kurzandauernde, intensive Hydratation und findet nach der Berührung mit Wasser statt. Alkalisulfate lösen sich annähernd gänzlich. Calciumsulfate lösen sich zum Teil. Kurze, hexagonale säulenförmige Ettringitkristalle werden durch die Reaktion von Sulfat- und Calcium-Ionen mit Tricalciumaluminat auf den Klinkerpartikeln gebildet. Des Weiteren führt das Tricalciumsilicat zur Bildung von Calciumsilicathydraten in kolloidaler Form. Der Abschluss der ersten Periode resultiert aus einer schlanken Schicht aus Hydrationsprodukten auf den Klinkerpartikeln. In der Induktionsperiode geht keine Hydratation vonstatten. Es besteht noch kein festes Gefüge, da der Raum zwischen den Zementpartikeln nicht durch die ersten Hydrationsprodukte ausgefüllt wird, die dafür eine unzureichende Größe aufweisen. Die Zementpartikel sind weiterhin verschieblich, weshalb der Zementleim lediglich einen minimalen Zuwachs an Steifigkeit erfährt. Nach circa ein bis drei Stunden fängt der Zementleim an zu erstarren. Dies passiert aufgrund der Bildung äußerst feiner Calciumsilicathydratkristalle auf den Klinkerpartikeln. Die Beschleunigungsperiode startet circa nach vier Stunden mit der Endung der Induktionsperiode. Es tritt abermals eine intensive Hydratation der Klinkerphasen ein, die zwölf bis 24 Stunden andauert. Das Grundgefüge wird aus Calciumsilikathydrat-Faserbüscheln bzw. -Blattstrukturen, plattigem Calciumhydroxid und länglichen Ettringitkristallen gebildet. Die Räume zwischen den Zementpartikeln werden durch die Größe der Kristalle überwunden. Die Poren werden fortlaufend geschlossen, und das Gefüge erfährt weiterhin eine Verdichtung. Des Weiteren steigt die Verfestigung an, während die Hydrationsrate sinkt. [16]

### 2.1.3 Zugabewasser

Das Zugabewasser ist wegen der Funktion als Aktivator bei der Hydratation von Bedeutung. Die korrekte Dosierung des Wassers ist nicht zuletzt für den Wasser-Bindemittel-Wert essenziell, der einen maßgeblichen Einfluss auf die Eigenschaften des Betons nimmt. Es ist zu gewährleisten, dass das Zugabewasser über keine Verunreinigung verfügt. Dies könnte sich äußerst negativ auf die Eigenschaften des Betons auswirken. Beim Einsatz von rezyklierter Gesteinskörnung ist neben der Oberflächenfeuchtigkeit auch die Kernfeuchte zu

berücksichtigen, die wegen der porösen Oberfläche höher als bei der natürlichen Gesteinskörnung ist. Im Gegensatz zur Oberflächenfeuchtigkeit löst die Kernfeuchte keine Reaktion des Zements hervor, da diese in der Gesteinskörnung verharret. [8] Es empfiehlt sich, rezyklierte Gesteinskörnungen mit einer niedrigen Kernfeuchte vor der Frischbetonherstellung zu befeuchten, um dem Aufsaugen des Zugabewassers entgegenzuwirken. Der Zement benötigt ausreichend Wasser, um vollständig abzubinden. Ein Defizit an Wasser würde sich negativ auf die Konsistenz und Verarbeitbarkeit auswirken. Bei der Verarbeitbarkeit des Frischbetons ist erkennbar, dass sich das Ausbreitmaß eines Recyclingbeton tendenziell rascher verringert als bei Normalbeton. Dies wird auf eine nachträgliche Wasseraufnahme durch das Granulat zurückgeführt. Während der Herstellung wird der Großteil an Wasser aufgesogen. [13]

#### **2.1.4 Zusatzmittel**

Die Zusatzmittel in der Betonherstellung sind Stoffe, die in niedrigen Dosen zur chemischen sowie physikalischen Einflussnahme auf konkrete Eigenschaften des Frisch- und Festbetons dienen. Die Anwendung erfolgt durch den Einsatz eines Pulvers oder einer Flüssigkeit bzw. Suspension. Angaben zu den Mischungsverhältnissen sind ebenso wie die Vorgaben zur Verarbeitung und Nachbehandlung von immenser Bedeutung und einzuhalten. Das weite Spektrum an Zusatzmitteln lässt sich anhand von Wirkungsgruppen klassifizieren. Die Effektivität des Zusatzmittels ist maßgeblich von der Zementmenge, Zementart, Verarbeitungsqualität sowie dem Zementgehalt und Wassergehalt abhängig. [10]

#### **Luftporenbildner und Betongefüge**

Betone, die ein geschlossenes Gefüge aufweisen, verfügen über ein Restporenvolumen von ein bis zwei Prozent. Dabei sind die Hohlräume zwischen sämtlichen Zuschlagskörnern durch den Zementleim verfüllt. Daraus resultiert ein unregelmäßiges Gefüge, das einer vollständigen Füllung der Luftporen entgegenwirkt. Zur Reduktion der Wärmeleitfähigkeit und Rohdichte des Betons trägt ein hoher Luftporenanteil bei, der durch den Einsatz von Zuschlagstoffen aus einer eng begrenzten Korngruppe erreicht wird. Luftporenbeton weist ein geschlossenes Gefüge mit einer großen Menge an Luftporen auf, deren durchschnittliche Größe im Bereich eines Zehntel Millimeters liegt. Die Erzeugung erfolgt mit dem Einsatz des Luftporenbildners als Zusatzmittel, das die abgeschlossenen Mikroporen bewirkt. Daraus resultiert ebenso eine Änderung des Porengefüges. Durch diese Mikroporen steigert sich die Verarbeitbarkeit, da den festen Komponenten ein einfacheres Gleiten ermöglicht wird. Als negative Konsequenzen sind eine Reduktion der Festigkeit sowie ein verstärktes Schwinden zu nennen. Die Herstellung eines Porenbetons findet unter der Zugabe von gasbildenden Zusatzmitteln statt. Die Bildung von Poren im Größenbereich eines halben bis zu anderthalb Millimetern wird damit erreicht. [10]

#### **Betonverflüssiger**

Durch den Einsatz eines Betonverflüssigers können zwei Ziele verfolgt werden. Entweder dient die Anwendung zur Reduktion der erforderlichen Menge an Zugabewasser oder zur Erhöhung der Verarbeitbarkeit des frischen Betons, ohne den Wassergehalt anzutasten. Die Wirkungsweise des Betonverflüssigers kann mit der eines Gleitmittels verglichen werden: Die Reduktion der inneren Reibung des Gemenges geht mit dem Senken der Oberflächenspannung des Wassers einher. Aufgrund eines etwaig verstärkten Schwindvorgangs kann es zu einer verzögerten Erstarrung des Betons kommen. [10]

**Fließmittel**

Fließmittel werden als äußerst wirksame, verflüssigende Zusatzmittel eingesetzt, um die Verarbeitbarkeit zu erhöhen und den Bedarf an Zugabewasser deutlich zu dezimieren. Speziell zur Herstellung von Beton mit einer plastischen und weichen Konsistenz finden Fließmittel Anwendung. [10]

**Verzögerer**

Mit der Zugabe von Erstarrungsverzögerern wird bewirkt, dass der Zementleim deutlich langsamer den Erstarrungsprozess durchläuft. Bei einer inkorrekten Dosierung, vor allem einer Überdosierung, tritt der gegenteilige Effekt ein. Verzögerer kommen zum Einsatz bei Betonierarbeiten, die mit der Gefahr eines vorzeitigen Abbindens des frischen Betons einhergehen. Dies ist beispielsweise bei zeitintensiven Anlieferungswegen zum Einsatzort, bei flächigen bzw. voluminösen Bauteilen ohne Arbeitsfugen und an Tagen mit entsprechenden Wetterbedingungen der Fall. [10]

**Beschleuniger**

Die Anwendung von Beschleunigern bezweckt die Reduktion des zeitlichen Bedarfs für den Erstarrungs- sowie Erhärtungsprozess des Betons. Darin ergründet sich die Klassifikation in Erstarrungsbeschleuniger und Erhärtungsbeschleuniger. Erstarrungsbeschleuniger kommen speziell bei Abdichtungsmaßnahmen zum Einsatz, während der Einsatz von Erhärtungsbeschleunigern als allgemein zu beschreiben ist. Dass der Gebrauch keine negativen Auswirkungen auf die Festigkeit des Betons aufweist, kann nicht gewährleistet werden. Bei einer inkorrekten Dosierung ist ein gegenteiliger Effekt als der angedachte zu erwarten. [10]

**Einpresshilfe**

Zusatzmittel, die bei Einpressvorgängen unterstützend wirken, beinhalten Stoffe mit einer dezent verzögernden Treib- bzw. Quellwirkung. Der Nutzen erschließt sich in der Reduktion des Bedarfs an Zugabewasser sowie der Erhöhung der Fließfähigkeit. [10]

**Dichtungsmittel**

Dichtungsmittel unterscheiden sich entsprechend des Anwendungsziels durch die jeweilige Wirkungsweise. Mit dem Einsatz von Dichtungsmitteln werden die Wasserundurchlässigkeit sowie Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe verbessert. [10]

**Stabilisierer**

Die Anwendung von Stabilisierern reduziert das Entmischen und Bluten des frischen Betons. Sichtbetone weisen ein homogeneres Farbbild auf, und die Friktion bei Pumpvorgängen wird reduziert. Eine Überdosierung bewirkt eine reduzierte Verarbeitbarkeit des Frischbetons. [10]

**Schaumbildner**

Der Einsatz von Schaumbildnern vergrößert den Luftporengehalt in der Betonstruktur. [10]

### Chromatreduzierer

Chromatreduzierende Zusatzmittel dienen zur Herstellung von Betonen mit chromatreichen Zementen zur Verminderung von allergischen Reaktionen bei Hautkontakt. [10]

### Wasserzusatzmittel

Zusatzmittel für das Wasser, das für die Säuberung von Mischfahrzeugen genutzt wurde, ermöglichen das Rezyklieren des Waschwassers. [10]

#### 2.1.5 ÖNORM B 3140

Die ÖNORM B 3140 "Rezyklierte Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Anwendungen sowie für Beton" wurde im November 2020 in ihrer derzeit gültigen Fassung ausgegeben. Sämtliche Zuschlagstoffe bei der Recyclingbeton-Herstellung haben den Mindestanforderungen der ÖNORM B 3140 zu entsprechen. Die Einteilung der rezyklierten Gesteinskörnung erfolgt in die nachfolgenden Gruppen:

|                |   |
|----------------|---|
| R <sub>c</sub> | Betone, Betonprodukte, Mörtel, Betonmauersteine   |
| R <sub>u</sub> | ungebundene Gesteinskörnungen, Natursteine, hydraulisch ungebundene Gesteinskörnungen                                     |
| R <sub>b</sub> | Mauerziegel (Mauersteine sowie Ziegel), Kalksandsteine, nichtschwimmende Porenbetone                                      |
| R <sub>a</sub> | bitumenhaltige Materialien  |
| R <sub>g</sub> | Glas  |
| FL             | schwimmendes Material (Angabe als Volumsanteil)   |
| X              | sonstige Materialien  |
|                | - bindige Materialien (Tone und Aushub)   |
|                | - diverse Materialien: eisenhaltige sowie nicht eisenhaltige Metalle, nichtschwimmende Hölzer, Kunststoffe und Gipse [17] |

Die Klassifikation der Bestandteile von rezyklierten Gesteinskörnungen nach der ÖNORM B 3140 basiert auf der ÖNORM EN 12620 und kennt die Kategorien, welche in Abbildung 2.2 dargestellt sind. [17]

Lediglich der Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen, die den Mindestanforderungen der ÖNORM B 3140 entsprechen ist zulässig. Diese werden in Abb. 2.3 & 2.4 dargestellt. [17]

#### 2.1.6 ÖNORM B 4710-1 Anhang E

Bei der ÖNORM B 4710-1 "Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Verwendung und Konformität - Teil 1: Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206 für Normal- und Schwerbeton" handelt es sich um einen essenziellen Teil des Normenwerks im Betonbau. Im Anhang E wird die Verwendung von rezyklierten Zuschlagstoffen entsprechend der ÖNORM B 3140 behandelt. Die Klasse der rezyklierten Gesteinskörnung ist in der Betonsortenkennzeichnung ab einer Substitution von fünf Massenprozent der natürlichen Gesteinskörnung ersichtlich zu machen. Dieser Grenzwert wird ebenso für die Informationspflicht über den Einsatz von Recyclingbeton gegenüber den Bauwerbenden bzw. etwaigen Vertretenden herangezogen. Eine Mischung von unterschiedlichen Klassen an rezyklierter

| Materialbezeichnung | Beispiel   | Kategorien nach Bestandteilen |                   |                   |                   |                   |                    |
|---------------------|--|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|                     |  | Rc                            | Rc +Ru            | Rb <sup>a</sup>   | Ra                | X + Rg            | FL                 |
| RB-A1               | sortenreiner Betonbruch, z. B. im Fertigteilwerk, Betonstraßen                     | Rc90                          | Rcu95             | Rb <sub>NR</sub>  | Ra <sub>1-</sub>  | XRg <sub>1-</sub> | FL <sub>0,2-</sub> |
| RB-A2               | Betonbruch   | Rc90                          | Rcu <sub>NR</sub> | Rb <sub>NR</sub>  | Ra <sub>10-</sub> | XRg <sub>1-</sub> | FL <sub>2-</sub>   |
| RG-A3 <sup>b</sup>  | wiederaufbereitete, natürliche Gesteinskörnungen, z. B. gebrochener Gleis-schotter | Rc <sub>NR</sub>              | Rcu95             | Rb <sub>NR</sub>  | Ra <sub>5-</sub>  | XRg <sub>1-</sub> | FL <sub>0,2-</sub> |
| RH-B                | aufbereiteter Hochbausplitt (mindestens 50 % Betonanteile)                         | Rc50                          | Rcu70             | Rb <sub>30-</sub> | Ra <sub>5-</sub>  | XRg <sub>1-</sub> | FL <sub>2-</sub>   |
| RMH-C               | aufbereitete mineralische Hochbaurestmasse   | Rc <sub>NR</sub>              | Rcu <sub>NR</sub> | Rb <sub>NR</sub>  | Ra <sub>10-</sub> | XRg <sub>1-</sub> | FL <sub>2-</sub>   |

<sup>a</sup> Masseanteil von glasierter Keramik höchstens 5 %  
<sup>b</sup> Masseanteil von mindestens 50 % Ru

Abbildung 2.2: Kategorien der Bestandteile von rezyklierten Gesteinskörnungen [17]

| Bezug zur ÖNORM EN 12620:2014 |   | Bei CE-Kennzeichnung anzugebende Kategorien <sup>a</sup> bzw. Werte  |   |
|-------------------------------|---|--|---|
| Abschnitt                     | Merkmal   |  |   |
| 6.4.1                         | Bestandteile gemäß ÖNORM EN 12620, die das Erstarrungs- und Erhärtungsverhalten des Betons verändern:   |  |   |
|                               | a) Humusgehalt gemäß ÖNORM EN 1744-1:1998, 15.1   | bestanden  |   |
|                               | b) Fulvosäuregehalt (bei Anzeige eines hohen Humusgehaltes) gemäß ÖNORM EN 1744-1:1998, 15.2. Diese Prüfung ist nur durchzuführen, falls die Prüfung gemäß a) nicht bestanden wird. | bestanden  |   |
|                               | c) Druckfestigkeitsprüfung – Erstarrungszeit gemäß ÖNORM EN 1744-1:1998, 15.3. Diese Prüfung ist nur durchzuführen, falls die Prüfung gemäß b) nicht bestanden wird.                | bestanden  |   |
|                               | d) Leichtgewichtige, organische Verunreinigungen gemäß ÖNORM EN 1744-1:1998, 14.2   | feine Gesteinskörnung: ≤ 0,3 % der Masse, ≤ 0,5 % der Masse, angegebener Wert, keine Anforderung   | grobe Gesteinskörnung: ≤ 0,1 % der Masse, angegebener Wert, keine Anforderung |
|                               | e) Einfluss auf den Erstarrungsbeginn von Zement gemäß ÖNORM EN 1744-6  | A <sub>10</sub><br>Wenn diese Kategorie eingehalten wird, kann davon ausgegangen werden, dass die Anforderungen gemäß 6.4.1, a) und b) erfüllt sind. |   |
| 6.4.2.1                       | Zerfall von Dicalciumsilikat gemäß ÖNORM EN 1744-1  | keine Anforderung; bei Verdacht auf Hochofenstüchschlacke kein Zerfall gemäß ÖNORM EN 1744-1:2013, 19.1  |   |
| 6.4.2.2                       | Eisenerfall gemäß ÖNORM EN 1744-1   | keine Anforderung; bei Verdacht auf Hochofenstüchschlacke kein Zerfall gemäß ÖNORM EN 1744-1:2013, 19.2  |   |
| 6.5                           | Karbonatgehalt von feinen Gesteinskörnungen, CO <sub>2</sub> -Gehalt gemäß ÖNORM EN 196-2   | auf Anforderung anzugeben: ≤ 5,0 %, ≤ 15,0 %, keine Anforderung  |   |

<sup>a</sup> Die Kategorie „NR“ oder „nicht gefordert“ führt in der Herstellererklärung zur Angabe „NPD“ („no performance determined“).  
<sup>b</sup> Bei Gesteinskörnungen, mit denen Erfahrung bei der Betonherstellung vorliegt, gilt SC<sub>10</sub> ohne gesonderten Nachweis als erfüllt.  
<sup>c</sup> Aufgrund der Begrenzung des Feinanteilsgehaltes (f<sub>s</sub>) gilt diese Anforderung als bestanden.  
<sup>d</sup> Im Allgemeinen an der Korngruppe 8/16, wenn die anderen gleichwertig sind. Der Nachweis der Frostbeständigkeit durch eine Prüfung der Wasseraufnahme nach ÖNORM EN 1097-6 ist nicht zulässig.

Abbildung 2.3: Mindestanforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen [17]

Gesteinskörnung ist nicht zulässig. Die Anwendungsbereiche von Betonen mit rezyklierter Gesteinskörnung sind ebenso in der ÖNORM B 4710-1 geregelt. Die Anwendung von Recyclingbeton ist nicht gestattet für die Herstellung von vorgespannten Bauteilen, ermüdungsgefährdeten Bauteilen, Bauteilen mit einer höheren Festigkeitsklasse als C 40/50 sowie Bauteilen, die treibenden Kräften zu widerstehen haben. Der Einsatz von Beton mit der Gesteinsklasse RH-B, die einen Ziegelanteil von maximal 30 % aufweist, ist lediglich zulässig für Bauteile, die sich in einem trockenen Anwendungsgebiet befinden, eine Druck-

| Bezug zur ÖNORM EN 12620:2014 |   | Bei CE-Kennzeichnung anzugebende Kategorien <sup>a</sup> bzw. Werte  |
|-------------------------------|---|--|
| Abschnitt                     | Merkmal   |  |
| 4.2                           | Korngrößen zur Festlegung von Korngruppen   | 0, 1, 2, 4, 5, 8, 11, 16, 22, 32, 45 und 63 (Grundsiebsatz + Ergänzungssiebsatz 1)                         |
| 4.3                           | Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN 933-1   | $G_{C,85/20}$ , $G_{C,90/15}$ , $G_{F,85}$ , $G_{F,90}$  |
| 4.3                           | Verminderte Grenzabweichungen für die vom Hersteller angegebene typische Kornzusammensetzung von feinen Gesteinskörnungen           | gemäß ÖNORM EN 12620:2014, Tabelle C.1   |
| 4.4                           | Kornform von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-3  | $F_{NR}$   |
| 4.4                           | Kornform von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-4  | $SI_{15}$ , $SI_{20}$ , $SI_{40}$ oder $SI_{NR}$   |
| 4.5                           | Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-7  | $SC_{10^0}$ , $SC_{NR}$  |
| 4.6                           | Gehalt an Feinanteilen gemäß ÖNORM EN 933-1   | grob: $f_1$ ;<br>Korngemisch: $f_2$ ;<br>fein: $f_3$   |
| 4.7                           | Qualität der Feinanteile  | bestanden; keine Anforderung   |
| 5.2                           | Widerstand gegen Zertrümmerung von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 1097-2:1998, Abschnitt 5, geprüft an der Korngruppe 8/11 | $LA_{20}$ , $LA_{NR}$  |
| 5.3                           | Widerstand gegen Verschleiß von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 1097-1  | $M_{NR}$   |
| 5.4.1                         | Widerstand gegen Polieren gemäß ÖNORM EN 1097-8   | $PSV_{20}$ , $PSV_{NR}$  |
| 5.4.2                         | Widerstand gegen Oberflächenabrieb gemäß ÖNORM EN 1097-8:1998, Anhang A   | $AAV_{NR}$   |
| 5.4.3                         | Widerstand gegen Abrieb durch Spikereifen gemäß ÖNORM EN 1097-9   | $AN_{NR}$  |
| 5.5                           | als $\rho_a$ angeben; geforderte Bandbreite 0,06 Mg/m <sup>3</sup> (z. B. 2,70 Mg/m <sup>3</sup> bis 2,76 Mg/m <sup>3</sup> )       |  |
| 5.7.1                         | Frost- und Tauwiderstand von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 1367-1   | $F_1^a$ , $F_2^a$ , $F_{NR}$   |
| –                             | Frost- und Tauwiderstand von feinen Gesteinskörnungen gemäß ONR 23303   | $FS_1$ ; keine Anforderung   |
| 5.7.2                         | Raumbeständigkeit - Schwinden infolge von Austrocknen gemäß ÖNORM EN 1367-4   | bestanden ( $\leq 0,075$ %)  |
| 5.7.3                         | Alkali-Kieselsäure-Reaktivität gemäß ÖNORM B 3100   | Beanspruchungsklasse 1 oder 2, keine Anforderung   |
| 5.8                           | Klassifizierung der Bestandteile von groben, rezyklierten Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-11                                   | gemäß Tabelle 2  |
| 6.2                           | Gehalt an säurelöslichen Chloriden gemäß ÖNORM EN 1744-5  | chloridfrei (bei Chlorid-Gehalten $\leq 0,01$ %) bzw. ermittelter Wert, anzugeben auf 0,01 % genau         |
| 6.3.1                         | Gehalt an säurelöslichen Sulfaten gemäß ÖNORM EN 1744-1   | $AS_{0,8}$   |
| 6.3.2                         | Gesamtschwefelgehalt gemäß ÖNORM EN 1744-1:1998, Abschnitt 11   | bei Verdacht auf Hochofen-Stüchschlacke: $\leq 2$ % der Masse, andere Gesteinskörnungen: keine Anforderung |
| 6.3.3                         | Gehalt an wasserlöslichen Sulfaten gemäß ÖNORM EN 1744-1  | $SS_{0,2}$   |

Abbildung 2.4: Mindestanforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen [17]

festigkeit geringer als C 30/37 anstreben sowie nahezu gänzlich auf Druck beansprucht werden. [18]

### 2.1.7 Bestimmungen zur Substitution

Rezyklierte Kornfraktionen mit einem geringeren Durchmesser als zwei Millimeter sind mittels der Methode der Nassaufbereitung wiederaufzubereiten. Sonstige Methoden der Aufbereitung werden nicht gestattet, sofern kein Nachweis einer Eignung mittels einer Prüfung erfolgt. Zudem sind Unsicherheiten bei der Betrachtung des Bedarfs an Zugabewasser nicht zulässig, die außerhalb des entsprechenden Rahmens liegen. Die Korngemische sind aus getrennt aufbereiteten Kornfraktionen zu bilden, wobei Kornfraktionen mit einem Größtkorn kleiner als zwei Millimeter keine Anwendung finden. Zudem sind die Bestimmung der Tabelle 2.5 aus der ÖNORM B 4710-1 einzuhalten. [18]

Die maximale Austauschrate ist von zwei Parametern abhängig: der Qualitätsklasse der rezyklierten Gesteinskörnung sowie den angestrebten Expositionsklassen. Die Substitution ist lediglich in der spezifischen Korngruppe und im Rahmen der maximalen Austauschrate normativ zulässig. Die entsprechende Substitution wird relativ auf die Masseanteile bezogen. Das Verfahren zur Ermittlung der Anteile basiert auf dem Volumen der natürlichen Gesteinskörnung, das prozentuell durch den Volumenanteil der rezyklierten Gesteinskörnung ersetzt wird. Die maximal zulässigen prozentualen Masseanteile sind den Tabellen 2.6 & 2.7 zu entnehmen. [18]

### 2.1.8 Regelungen bzgl. der statischen Bemessung

Die Bestimmungen für die Bemessung von Recyclingbeton-Bauteilen entsprechen im Allgemeinen jenen, die ebenso für die Bemessung von Bauelementen aus Primärbeton herangezogen werden. Lediglich bei der Berechnung des Elastizitätskoeffizienten wird ein zusätzlicher Faktor angesetzt, um die physikalischen Eigenschaften des rezyklierten Zuschlagstoffes zu berücksichtigen. [8]



| Sieblinien-<br>klasse SK <sup>a</sup> | Zulässige Betonsorte<br>unter Bezug auf<br>Festigkeits- und<br>Expositionsklassen | Anforderungen an die Kornzusammensetzung                                     |  |  |
|---------------------------------------|---|--|--|--|
|                                       |   | Mindestanzahl der Korngruppen bei  |  | Sieblinienbereich  |
|                                       |   | GK ≥ 22 mm   | GK ≤ 16 mm   |  |
| 1                                     | Sämtliche Betonsorten   | insgesamt 3 Korn-<br>gruppen, davon<br>1 Korngruppe bis<br>4 mm <sup>c</sup> | insgesamt 2 Korn-<br>gruppen, davon<br>1 Korngruppe bis<br>4 mm <sup>c</sup> | Sieblinie bis 4 mm im Wesent-<br>lichen in der oberen Hälfte des<br>günstigen Bereichs, darüber<br>stetige Sieblinie bzw. Ausfall-<br>körnung <sup>b</sup> |
|                                       | Sämtliche Festigkeits-<br>klassen und X0, XC1, XC2                                |  |  | Sieblinie bis 4 mm im Wesent-<br>lichen im günstigen Bereich,<br>darüber stetige Sieblinie bzw.<br>Ausfallkörnung <sup>b</sup>                             |
| 2                                     | Sämtliche Betonsorten,<br>ausgenommen ≥ C50/60<br>und XF4, XA2, XA3               | insgesamt 2 Korngruppen, davon<br>1 Korngruppe bis 4 mm <sup>c</sup>         |  | Sieblinie bis 4 mm im Wesent-<br>lichen in der oberen Hälfte des<br>günstigen Bereichs, darüber<br>stetige Sieblinie bzw. Ausfall-<br>körnung <sup>b</sup> |
|                                       | Sämtliche Festigkeits-<br>klassen und X0, XC1, XC2                                |  |  | Sieblinie bis 4 mm im Wesent-<br>lichen im günstigen Bereich,<br>darüber stetige Sieblinie bzw.<br>Ausfallkörnung <sup>b</sup>                             |
| 3                                     | ≤ C25/30 und X0, XC1, XC2,  | Korngemisch  |  | günstiger und brauchbarer<br>Bereich   |
| 0                                     | ≤ C12/15 und X0 und<br>Rezeptbeton  | Korngemisch  |  | günstiger, brauchbarer und<br>erweiterter Sieblinienbereich  |

<sup>a</sup> Wird die für die Betonherstellung verwendete Gesteinskörnung vom Betonhersteller selbst produziert, ist die werkseigene Produktionskontrolle gemäß ÖNORM EN 12620 durchzuführen. Die Anforderungen an die Gesteinskörnungen gemäß Tabelle 14 bzw. Tabelle 15 sind einzuhalten.

<sup>b</sup> Abweichungen dürfen die geforderten Eigenschaften des Betons nicht beeinträchtigen.

<sup>c</sup> Mindestens eine Korngruppe mit höchstens 4 mm Größtkorn, die andere(n) mit mindestens 2 mm Kleinstkorn (bei Spritzbeton sind die in der jeweiligen Regel festgelegten Anforderungen einzuhalten). Die Kombination von Korngruppen mit Korngemischen ist für die Sieblinienklassen SK1 und SK2 nicht zulässig.

Abbildung 2.5: Anforderungen an die Zusammensetzung des Zuschlagstoffes [18]

| Materialbezeichnung der rezyklierten Gesteinskörnung gemäß ÖNORM B 3140 | Gesteinskörnung          | Expositionsklassen |                 |                 |     |     |     |                  |                  |                  |     |     |                  |     |     |                  |     |     |     |     |     |
|---|--------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----|-----|-----|------------------|------------------|------------------|-----|-----|------------------|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|   |                          | X0 <sup>a</sup>    | XC1             | XC2             | XC3 | XC4 | XF1 | XF2 <sup>b</sup> | XF3 <sup>b</sup> | XF4 <sup>b</sup> | XD1 | XD2 | XD3 <sup>b</sup> | XW1 | XW2 | XA1 <sup>c</sup> | XA2 | XA3 | XM1 | XM2 | XM3 |
|   |                          | %                  | %               | %               | %   | %   | %   | %                | %                | %                | %   | %   | %                | %   | %   | %                | %   | %   | %   | %   | %   |
| RB-A1   | Grob                     | 50                 | 50              | 50              | 50  | 50  | 50  | 30               | 30               | 30               | 50  | 30  | 30               | 50  | 50  | 50               | 0   | 0   | 30  | 0   | 0   |
|   | Fein <sup>d</sup>        | 25                 | 25              | 25              | 25  | 25  | 25  | 15               | 15               | 15               | 25  | 15  | 15               | 25  | 25  | 25               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | Korngemisch <sup>d</sup> | 38                 | 38              | 38              | 0   | 0   | 0   | 0                | 0                | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| RB-A2   | Grob                     | 50                 | 50              | 50              | 50  | 30  | 0   | 0                | 0                | 0                | 0   | 0   | 0                | 50  | 30  | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | Fein <sup>d</sup>        | 25                 | 25              | 25              | 25  | 15  | 0   | 0                | 0                | 0                | 0   | 0   | 0                | 25  | 15  | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | Korngemisch <sup>d</sup> | 38                 | 38              | 38              | 0   | 0   | 0   | 0                | 0                | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| RG-A3   | Grob                     | 50                 | 50              | 50              | 50  | 50  | 30  | 30               | 30               | 50               | 30  | 30  | 50               | 50  | 50  | 0                | 0   | 30  | 0   | 0   | 0   |
|   | Fein <sup>d</sup>        | 25                 | 25              | 25              | 25  | 25  | 15  | 15               | 15               | 25               | 15  | 15  | 25               | 25  | 25  | 0                | 0   | 15  | 0   | 0   | 0   |
|   | Korngemisch <sup>d</sup> | 38                 | 38              | 38              | 0   | 0   | 0   | 0                | 0                | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| RH-B  | Grob                     | 50 <sup>e</sup>    | 35 <sup>e</sup> | 35 <sup>e</sup> | 0   | 0   | 0   | 0                | 0                | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | Fein <sup>d</sup>        | 25 <sup>e</sup>    | 20 <sup>e</sup> | 20 <sup>e</sup> | 0   | 0   | 0   | 0                | 0                | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | Korngemisch <sup>d</sup> | 38 <sup>e</sup>    | 25 <sup>e</sup> | 25 <sup>e</sup> | 0   | 0   | 0   | 0                | 0                | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |

<sup>a</sup> Ein erhöhter Austausch ist zulässig bei den Typen RB-A1, RB-A2 und RG-A3:  
 - bis zu 100 % bei groben Gesteinskörnungen bei Beton ≤ C16/20,  
 - bis zu 100 % bei feinen Gesteinskörnungen und Korngemischen bei Beton ≤ C8/10,  
 - bis zu 75 % bei feinen Gesteinskörnungen und Korngemischen bei Beton ≤ C12/15;  
 bei Typ RH-B:  
 - bis zu 75 % bei groben Gesteinskörnungen bei Beton ≤ C16/20,  
 - bis zu 75 % bei feinen Gesteinskörnungen und Korngemischen bei Beton ≤ C8/10,  
 - bis zu 70 % bei feinen Gesteinskörnungen und Korngemischen bei Beton ≤ C12/15.  
<sup>b</sup> Die rezyklierte Gesteinskörnung darf nur verwendet werden, wenn der ursprüngliche Beton nachweislich auch dieser Expositionsklasse entsprochen hat.  
<sup>c</sup> Bei treibendem Angriff (XAT) ist die Zugabe nicht zulässig.  
<sup>d</sup> Bei Betonen mit GK ≤ 8 mm und mit rezyklierten Gesteinskörnungen sind diese maximal zulässigen Zugabemengen um 50 % zu reduzieren.  
<sup>e</sup> Nur bei Anwendung im Trockenem und den weiteren Einschränkungen gemäß E.1 (9).

Abbildung 2.6: Bestimmungen für die Substitution abhängig von der Expositionsklasse [18]

| Materialbezeichnung der rezyklierten Gesteinskörnung gemäß ÖNORM B 3140 | Gesteinskörnung   | Betonkurzbezeichnung <sup>b</sup> |    |                 |    |                 |                 |   |                 |    |    |     |     |     |                    |
|---|-------------------|-----------------------------------|----|-----------------|----|-----------------|-----------------|---|-----------------|----|----|-----|-----|-----|--------------------|
|   |                   | B1                                | B2 | B3 <sup>a</sup> | B4 | B5 <sup>a</sup> | B6 <sup>a</sup> | B6/<br>C <sub>3</sub> A-frei <sup>a</sup> | B7 <sup>a</sup> | B8 | B9 | B10 | B11 | B12 | HL-SW <sup>a</sup> |
|   |                   | %                                 | %  | %               | %  | %               | %               | %   | %               | %  | %  | %   | %   | %   | %                  |
| RB-A1   | Grob              | 50                                | 30 | 30              | 30 | 30              | 0               | 0   | 30              | 50 | 50 | 30  | 30  | 30  | 0                  |
|   | Fein <sup>c</sup> | 25                                | 15 | 15              | 15 | 15              | 0               | 0   | 15              | 25 | 25 | 15  | 15  | 15  | 0                  |
| RB-A2   | Grob              | 50                                | 0  | 0               | 0  | 0               | 0               | 0   | 0               | 50 | 50 | 0   | 0   | 0   | 0                  |
|   | Fein <sup>c</sup> | 25                                | 0  | 0               | 0  | 0               | 0               | 0   | 0               | 25 | 25 | 0   | 0   | 0   | 0                  |
| RG-A3   | Grob              | 50                                | 30 | 30              | 30 | 30              | 0               | 0   | 30              | 50 | 50 | 30  | 30  | 30  | 0                  |
|   | Fein <sup>c</sup> | 25                                | 15 | 15              | 15 | 15              | 0               | 0   | 15              | 25 | 25 | 15  | 15  | 15  | 0                  |
| RH-B  | Grob              | 0                                 | 0  | 0               | 0  | 0               | 0               | 0   | 0               | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0                  |
|   | Fein <sup>c</sup> | 0                                 | 0  | 0               | 0  | 0               | 0               | 0   | 0               | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0                  |

<sup>a</sup> Die rezyklierte Gesteinskörnung darf nur verwendet werden, wenn der ursprüngliche Beton nachweislich auch dieser Expositionsklasse entsprochen hat.  
<sup>b</sup> Bei treibendem Angriff (XAT) ist die Zugabe nicht zulässig.  
<sup>c</sup> Bei Betonen mit GK ≤ 8 mm und mit rezyklierten Gesteinskörnungen sind diese maximal zulässigen Zugabemengen um 50 % zu reduzieren.

Abbildung 2.7: Bestimmungen für die Substitution abhängig von der Betonkurzbezeichnung [18]

# Kapitel 3

## Grundlagenermittlung

### 3.1 Anforderungen

Alexander Nofirth

Die folgenden Anforderungen an den im Rahmen dieser Diplomarbeit zu entwickelnden Beton ergeben sich für die Herstellung der Gleistragplatten. Nach der ÖNORM B 4710-1:2018 ist ein Beton mit der nachfolgenden Bezeichnung herzustellen:

"C 25/30 / B5 / F52 / GK22 / ES / RB-A1"

Der Anhang E der ÖNORM B 4710-1:2018 ist exkludiert, um die normativen Bestimmungen bezüglich des maximalen Gehalts an rezyklierter Gesteinskörnung im Rahmen dieser Diplomarbeit zu evaluieren. Des Weiteren ist in die Entwicklung eine charakteristische Druckfestigkeit des Recyclingbetons von 30 N/mm<sup>2</sup> nach dem Verstreichen von drei Stunden ab dem Einbringen miteinzubeziehen. Dies wird durch den praktischen Einsatz des Recyclingbetons begründet, da den Wiener Linien lediglich ein kurzer Zeitrahmen für die Durchführung der Arbeiten am Gleiskörper zur Verfügung steht. Ansonsten hätte dies Konsequenzen für die Aufrichterhaltung des Straßenbahnbetriebs.

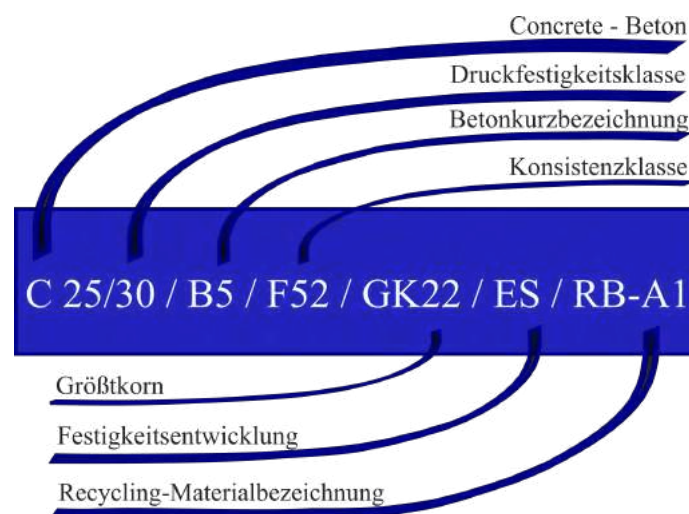


Abbildung 3.1: Anforderungen an den rezyklierten Beton [19]

### 3.1.1 Druckfestigkeit

Die Klassifikation von Betonen anhand der Druckfestigkeit erfolgt gemäß der ÖNORM B 4710-1 in Festigkeitsklassen, deren Einteilung in der Abb. 3.2 abgebildet ist. Die Bezeichnung basiert auf dem Nennwert der charakteristischen Druckfestigkeit von entweder Würfeln mit einer Kantenlänge von 150 mm oder Zylindern mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Höhe von 300 mm. An die Herstellung der Prüfkörper schließt eine 28-tägige Lagerung nach der ÖNORM EN 12390-1 an. [18] Die entsprechende Prüfung des Betons hinsichtlich des Widerstands gegen Druckbeanspruchung ist in der Diplomarbeit im Kapitel 3.3.2 beschrieben. Damit haben die kubischen Prüfkörper des zu entwickelnden Betons charakteristische Druckfestigkeiten von mindestens 30 N/mm<sup>2</sup> aufzuweisen.

| Druckfestigkeitsklasse | Charakteristische Druckfestigkeit<br>von Zylindern $f_{ck,cyl}$ , mindestens | Charakteristische Druckfestigkeit<br>von Würfeln $f_{ck,cube}$ , mindestens |
|------------------------|--|---|
|                        | N/mm <sup>2</sup>  | N/mm <sup>2</sup>   |
| C8/10                  | 8  | 10  |
| C12/15                 | 12   | 15  |
| C16/20                 | 16   | 20  |
| C20/25                 | 20   | 25  |
| C25/30                 | 25   | 30  |
| C30/37                 | 30   | 37  |
| C35/45                 | 35   | 45  |
| C40/50                 | 40   | 50  |
| C45/55                 | 45   | 55  |
| C50/60                 | 50   | 60  |
| C55/67                 | 55   | 67  |
| C60/75                 | 60   | 75  |
| C70/85                 | 70   | 85  |
| C80/95                 | 80   | 95  |
| C90/105                | 90   | 105   |
| C100/115               | 100  | 115   |

Abbildung 3.2: Einteilung der Druckfestigkeitsklassen [18]

### 3.1.2 Betonkurzbezeichnung

Die Kombination von einzelnen Expositionsklassen wird durch die Betonkurzbezeichnung vorgenommen. [18] Die Gleistragplatten sind in der praktischen Anwendung mehreren Einwirkungen zufolge der Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Deshalb wird mit der Entwicklung des Recyclingbetons die Kurzbezeichnung B5 angestrebt, dessen abgedeckte Umweltklassen sind der Abb. 3.3 zu entnehmen.

Die Expositionsklassen stellen die Klassifikation der Umgebungsbedingungen auf ein Bauteil dar. [18] Die Einordnung ist der Abb. 3.4 zu entnehmen.

Durch die Betonkurzbezeichnung B5 werden die Expositionsklassen XC4, XW2, XD2, XF2, XF3 sowie XA1L vorgegeben. [18] Die jeweiligen Definitionen können in Referenz zu den angrenzenden Klassen den Abb. 3.5 bis 3.8 entnommen werden.

Bei Expositionsklassen, die den chemischen Angriff durch den natürlichen Boden oder das Grundwasser beschreiben, wird grundsätzlich die Differenzierung in den treibenden und lösenden Angriff vorgenommen. Die Bildung der Bezeichnung erfolgt durch die Kombination der Angriffsart sowie dem Angriffsgrad. [18] In der Abb. 3.9 werden die Expositionsklassen bei chemischem Angriff detaillierter aufgeschlüsselt.

| Betonkurzbezeichnung | abgedeckte Expositionsklasse                  | min. anr. BM      | W/B Wert | Luftgehalt bei GK22 |
|----------------------|---|-------------------|----------|---------------------|
|                      |   | kg/m <sup>3</sup> | max.     | [%]                 |
| B1                   | XC3 / XW1 (A)                                 | 280               | 0,60     | -                   |
| B2                   | XC4 / XW1 / XD2 / XF1 / XA1L (A)              | 300               | 0,55     | -                   |
| B3                   | XC4 / XW1 / XD2 / XF3 / XA1L (A)              | 300               | 0,55     | 2,5 - 6,5           |
| B4                   | XC4 / XW2 / XD2 / XF1 / XA1L (A)              | 300               | 0,50     | -                   |
| B5                   | XC4 / XW2 / XD2 / XF2 / XF3 / XA1L (A)        | 320               | 0,50     | 2,5 - 6,5           |
| B6                   | XC4 / XW2 / XD3 / XF2 / XF3 / XA2L (A)        | 360               | 0,45     | 2,5 - 6,5           |
| B6 C3Afrei           | XC4 / XW2 / XD3 / XF2 / XF3 / XA2L / XA2T (A) | 360               | 0,45     | 2,5 - 6,5           |
| B7                   | XC4 / XW2 / XD3 / XF2 / XF4 / XA1L (A)        | 340               | 0,45     | 4,0 - 8,0           |
| B8                   | XC3 / XW1 / UB1 (A)                           | 300               | 0,60     | -                   |
| B9                   | XC3 / XW1 / UB2 (A)                           | 300               | 0,60     | -                   |
| B10                  | XC4 / XW1 / XD2 / XF1 / XA1L / UB1 (A)        | 300               | 0,55     | -                   |
| B11                  | XC4 / XW1 / XD2 / XF1 / XA1L / UB2 (A)        | 300               | 0,55     | -                   |
| B12                  | XC4 / XW2 / XD2 / XF1 / XA1L / UB1 (A)        | 300               | 0,50     | -                   |
| HL-SW                | XC4 / XW2 / XD3 / XF3 / XA3L / XA3T (A)       | *                 | 0,34     | -                   |

\* siehe hierzu ÖNORM B4710-1

**Abbildung 3.3:** Aufschlüsselung der jeweiligen Kurzbezeichnung des Betons [20]

- X0** ..... kein Korrosions- oder Angriffsrisiko
- XC** ..... Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung
- XW** ..... Wasserundurchlässigkeit (drückendes Wasser)
- XD** ..... Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser
- XF** ..... Frostangriff mit oder ohne Taumittel
- XA** ..... chemischer Angriff (treibend, lösend)
- XM** ..... Verschleißbeanspruchung

**Abbildung 3.4:** Auflistung der Expositionsklassen [20]

Neben den Expositionsklassen wird durch die Betonkurzbezeichnung ebenso ein Mindestwert für den anrechenbaren Bindemittelgehalt bei GK22 vorgegeben. Dieser beträgt bei B5 sowie GK22 320 kg/m<sup>3</sup>. Der anrechenbare Mindestbindemittelgehalt kann bei GK32 um 5,0 % verringert werden; bei GK16 ist dieser um 5,0 %, bei GK8 um 15 % und bei GK4 um 25 % zu erhöhen. Das Runden des anrechenbaren Mindestbindemittelgehalt ist auf jeweils 5,0 kg/m<sup>3</sup> zulässig. Zudem sind die maximal zulässigen Wasser-Bindemittel-Werte abhängig von der Betonkurzbezeichnung normativ geregelt. Aus der Vorgabe eines Wasser-Bindemittel-Werts von 0,50 bei der Kurzbezeichnung B5 ergibt sich, dass die Menge an Bindemittel zumindest die Menge des tatsächlichen Wassergehalts um den Faktor 2,0 zu übersteigen hat. Des Weiteren werden in der ÖNORM B 4710-1 die Anforderungen an den Luftgehalt sowie Luftporenkennwert in Abhängigkeit des Größtkorns sowie der Expositionsklasse bzw. Betonkurzbezeichnung festgehalten, wie es in der Abb. 3.10 dargestellt



| Bez.   | Beschreibung der Umgebung   | Beispiele für die Zuordnung   |
|--|---|---|
| <b>kein Korrosions- oder Angriffsrisiko</b>                  |   |   |
| <b>X0</b>  | für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall; ausgenommen bei Frostangriff mit und ohne Taumittel, Abrieb oder chemischer Angriff | unbewehrte Fundamente ohne Frost, Füll- und Ausgleichsbeton ohne Frost, Beton in Gebäuden mit sehr geringer rel. Luftfeuchte von max. 35% |
| <b>Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung</b> |   |   |
| <b>XC1</b>   | trocken oder ständig nass   | Beton in Gebäuden (Wohn- und Bürobereich), einschließlich Küche, Bad, Waschküche; Fundamente ständig im Grundwasser                       |
| <b>XC2</b>   | nass, selten trocken  | langzeitig wasserbenetzte Betonoberflächen; vielfach bei Gründungen, z.B. Fundamente im Grundwasserwechselbereich                         |
| <b>XC3</b>   | mäßige Feuchte  | Beton in Gebäuden mit mäßiger oder hoher Luftfeuchte, z.B. gewerbliche Küchen, Bäder,...; vor Regen geschützter Beton im Freien           |
| <b>XC4</b>   | wechselnd nass und trocken  | wasserbenetzte Betonoberflächen, die nicht der Klasse XC2 zuzuordnen sind, z.B. Außenbauteile mit direkter Beregnung                      |

**Abbildung 3.5:** Angeforderte Expositionsklasse hinsichtlich der Karbonatisierung [20]

| Bez.   | Beschreibung der Umgebung  | Beispiele für die Zuordnung   |
|--|----------------------------|---|
| <b>Wasserundurchlässigkeit (drückendes Wasser)</b>                           |                            |   |
| <b>XW1</b>   | Wasserdruckhöhe bis 10m    | Wasserbauten und dichte Betonbauwerke, die mäßigem Wasserdruck ausgesetzt sind                                    |
| <b>XW2</b>   | Wasserdruckhöhe über 10m   | Wasserbauten und dichte Betonbauwerke, die hohem Wasserdruck ausgesetzt sind                                      |
| <b>Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser</b> |                            |   |
| <b>XD1</b>   | mäßige Feuchtigkeit        | Betonoberflächen, die chloridhaltigem Sprühnebel ausgesetzt sind  |
| <b>XD2</b>   | nass, selten trocken       | Schwimmbäder, Beton der chloridhaltigen Industrieabwässern ausgesetzt ist   |
| <b>XD3</b>   | wechselnd nass und trocken | Bauteile, die erhöhter Chloridbelastung (z.B. Spritzwasser) ausgesetzt sind, Parkdecks, Fahrbahndecken, Salzlager |

**Abbildung 3.6:** Angeforderte Expositionsklassen hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit sowie der Beanspruchung durch Chloride [20]

ist. Ausnahmen bestehen durch das Nachweisen der Einhaltung der restlichen Bestimmungen bei einem höheren Frischbetonluftgehalt mittels einer Eignungs- bzw. Konformitäts-/Identitätsprüfung. In diesem Fall ist der Luftgehalt zulässig, solange der Grenzwert für GK22 von 8,0 % nicht überschritten wird. Bei einer Eignungsprüfung ist ein Vorhaltemaß bei L300 und AF nach ÖNORM B 4710-1 Anhang A einzuhalten. Sollte kein Luftporenbeton hergestellt werden, sind die Expositionsklassen XF2 sowie XF4 gemäß ONR 23303 zu prüfen. [18]

| Frostangriff mit oder ohne Taumittel |  |   |
|--------------------------------------|--|---|
| <b>XF1</b>                           | mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel | senkrechte und über 5% geneigte Betonoberflächen und Untersichten, die Feuchtigkeit und Frost ausgesetzt sind   |
| <b>XF2</b>                           | mäßige Wassersättigung, mit Taumittel  | senkrechte und über 5% geneigte Betonoberflächen und Untersichten, die Feuchtigkeit und Frost und taumittelhaltigem Sprühnebel ausgesetzt sind  |
| <b>XF3</b>                           | hohe Wassersättigung, ohne Taumittel   | annähernd waagerechte Bauteile, die Feuchtigkeit und Frost ausgesetzt sind, und dem Frost ausgesetzte Wasserbauten (z.B. Kläranlagen)   |
| <b>XF4</b>                           | hohe Wassersättigung, mit Taumittel    | Verkehrsflächen mit annähernd waagerechten Betonflächen, die Frost und Taumitteln direkt ausgesetzt sind, und Bauteile, die direkt taumittelhaltigem Spritzwasser und Frost ausgesetzt sind |

Abbildung 3.7: Angeforderte Expositionsklassen hinsichtlich des Frostangriffs [20]

| Bez.                    | Beschreibung der Umgebung                                 | Beispiele für die Zuordnung  |
|-------------------------|---|--|
| Chemischer Angriff      |   |  |
| <b>XA1</b>              | chemisch schwach angreifende Umgebung (treibend / lösend) | -  |
| <b>XA2</b>              | chemisch mäßig angreifende Umgebung (treibend / lösend)   | -  |
| <b>XA3</b>              | chemisch stark angreifende Umgebung (treibend / lösend)   | -  |
| Verschleißbeanspruchung |   |  |
| <b>XM1</b>              | mäßige Verschleißbeanspruchung                            | Straßenbeläge von Wohnstraßen  |
| <b>XM2</b>              | schwere Verschleißbeanspruchung                           | Straßenbeläge von Hauptverkehrsstraßen, Verkehrsflächen mit schwerem Gabelstaplerverkehr |
| <b>XM3</b>              | extreme Verschleißbeanspruchung                           | Beläge von Flächen, die häufig mit Kettenfahrzeugen befahren werden; Tosbecken           |

Abbildung 3.8: Angeforderte Expositionsklasse hinsichtlich des chemischen Angriffs [20]

Bei Betonsorten mit den Expositionsklassen XF2, XF3 sowie XF4, die ohne künstliche Luftporen hergestellt werden, ist der Widerstand gegen die entsprechenden Umwelteinwirkungen am Festbeton gemäß ONR 23303 nachzuweisen. [18]

### 3.1.3 Konsistenz

Die Konsistenz des Frischbetons ist maßgeblich für die Verarbeitbarkeit. Die Wahl erfolgt in Bedachtnahme auf die technischen Hilfsmittel, die beim Einbringen und Verdichten zur Anwendung kommen. Die Klassifizierung basiert auf dem Ausbreitmaß des Frischbetons, wie es in der Abb. 3.11 aufgelistet ist. [14]

Bei der Herstellung eines Betons, der den Anforderungen der ÖNORM B 4710-1 sowie der Ausbreitklasse F52 zu entsprechen hat, wird das Ausbreitmaß bei der Frischbetonprü-

Grenzwerte für die Expositionsclassen bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser gemäß ÖNORM B 4710-1:2018, Tabelle 4:

| Angriffsart  | Chemisches Merkmal   | Referenzprüfverfahren       | XA1                              | XA2                                | XA3                          |
|--------------|--|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Grundwasser  |  |                             |                                  |                                    |                              |
| Treibend (T) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l                         | ÖNORM EN 196-2              | von 200 bis 600                  | über 600 bis 3.000                 | über 3.000 bis 6.000         |
| Lösend (L)   | pH-Wert  | ÖNORM M 6612 <sup>a</sup>   | von 6,5 bis 5,5                  | unter 5,5 bis 4,5                  | unter 4,5 bis 4,0            |
| Lösend (L)   | CO <sub>2</sub> mg/l angreifend                            | ÖNORM EN 13577 <sup>b</sup> | von 15 bis 40                    | über 40 bis 100                    | über 100 bis zur Sättigung   |
| Lösend (L)   | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l                          | ÖNORM ISO 7150-1            | von 15 bis 30                    | über 30 bis 60                     | über 60 bis 100              |
| Lösend (L)   | Mg <sup>2+</sup> mg/l                                      | ÖNORM EN ISO 7980           | von 300 bis 1.000                | über 1.000 bis 3.000               | über 3.000 bis zur Sättigung |
| Lösend (L)   | <sup>d</sup> dH  | ÖNORM EN 13577 <sup>b</sup> | 0 bis 3                          | –                                  | –                            |
| Boden        |  |                             |                                  |                                    |                              |
| Treibend (T) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg <sup>c</sup> insgesamt | ÖNORM EN 196-2 <sup>d</sup> | von 2.000 bis 3.000 <sup>e</sup> | über 3.000 <sup>e</sup> bis 12.000 | über 12.000 bis 24.000       |
| Lösend (L)   | Säuregrad nach Baumann-Gully, in ml/kg                     | ÖNORM EN 16502              | über 200                         | in der Praxis nicht anzutreffen    |                              |

**Fußnoten für diese Tabelle**  
 a) ÖNORM M 6612 beschreibt ein der ISO 4316 gleichwertiges Verfahren.  
 b) Zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes muss das Nationale Vorkort der ÖNORM EN 13577:2007 berücksichtigt werden.  
 c) Tonböden mit einer Durchlässigkeit von weniger als 10<sup>-1</sup> m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.  
 d) Das Prüfverfahren beschreibt die Auslaugung von SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> durch Salzsäure. Das Verfahren der Wasserauslaugung darf stattdessen angewendet werden, wenn am Ort der Verwendung des Betons Erfahrung hierfür vorhanden ist.  
 e) Falls die Gefahr der Anhäufung von Sulfationen im Beton – zurückzuführen auf wechselndes Trocknen und Durchfeuchten oder kapillares Säugen – besteht, ist der Grenzwert von 3.000 mg/kg auf 2.000 mg/kg herabzusetzen.

Abbildung 3.9: Detailliertere Darstellung der Expositionsclassen hinsichtlich des chemischen Angriffs [21]

| Größtkorn | Expositionsklasse bzw. Betonkurzbezeichnung |       | Expositionsklasse bzw. Betonkurzbezeichnung |       |        |
|-----------|---|-------|---|-------|--------|
|           | XF2/XF3 bzw. B3/B5/B6                       |       | XF4 bzw. B7                                 |       |        |
|           | Luftgehalt <sup>a</sup>                     | L300  | Luftgehalt <sup>b</sup>                     | L300  | AF     |
| GK4       | 4,0 bis 8,0                                 | ≥ 1,3 | 7,0 bis 11,0                                | ≥ 2,3 | ≤ 0,18 |
| GK8       | 4,0 bis 8,0                                 | ≥ 1,2 | 6,0 bis 10,0                                | ≥ 2,1 |        |
| GK11      | 4,0 bis 8,0                                 | ≥ 1,1 | 6,0 bis 10,0                                | ≥ 2,0 |        |
| GK16      | 3,0 bis 7,0                                 | ≥ 1,1 | 4,5 bis 8,5                                 | ≥ 1,9 |        |
| GK22      | 2,5 bis 6,5                                 | ≥ 1,0 | 4,0 bis 8,0                                 | ≥ 1,8 |        |
| GK32      | 2,5 bis 6,5                                 | ≥ 1,0 | 4,0 bis 8,0                                 | ≥ 1,7 |        |
| GK63      | 2,0 bis 6,0                                 | ≥ 1,0 | 3,0 bis 7,0                                 | ≥ 1,7 |        |

**Fußnoten für diese Tabelle**  
 a) Der Luftgehalt muss bei XF2 und XF3 mindestens 9 % des Bindemittel-Leimvolumens betragen.  
 b) Der Luftgehalt muss bei XF4 mindestens 13 % des Bindemittel-Leimvolumens betragen.

Abbildung 3.10: Bestimmungen hinsichtlich des Größtkorns sowie Luftgehalts in Abhängigkeit der Betonkurzbezeichnung [21]

fung auf den Bereich zwischen 490 und 550 mm zugelassen. [18]

### 3.1.4 Größtkorn

Der Beton wird genauso durch das Größtkorn der Gesteinskörnung klassifiziert. Die normgemäße Angabe setzt sich aus der Bezeichnung “GK“ und dem Größtkorn in Millimeter zusammen. Das Größtkorn wird durch einen Durchgang von mindestens 90 % im obersten Sieb definiert. Das bedeutet, dass als Überkorn am obersten Sieb höchstens 10,0 % Rückstand verbleiben dürfen. Die Wahl des Größtkorn richtet sich nach den Vorgaben durch



| Ausbreitmaßklassen |                  |                 |
|--------------------|------------------|-----------------|
| ABM Klassen in A   | Ausbreitmaß [mm] | Beschreibung    |
| F38                | 350 - 410        | steif plastisch |
| F45                | 420 - 480        | plastisch       |
| F52                | 490 - 550        | weich           |
| F59                | 560 - 620        | sehr weich      |
| F66                | 630 - 690        | fließfähig      |
| F73                | 700 - 760        | sehr fließfähig |

**Abbildung 3.11:** Klassifikation des Frischbetons hinsichtlich des Ausbreitmaßes [20]

das Mischen, Fördern, Einbringen sowie Verarbeiten des Betons. Des Weiteren hat das Größtkorn kleiner als das Viertel der kleinsten Bauteilabmessung zu sein. Bei Stahlbetonbauteilen bestehen ebenso Bestimmungen für das maximale Größtkorn in Abhängigkeit der Betondeckung, den Abständen sowie der Anzahl der Bewehrungslagen. [18] [14]

### 3.1.5 Festigkeitsentwicklung

Die Relation der mittleren Druckfestigkeit nach zwei Tagen zur mittleren Druckfestigkeit nach 28 Tagen beschreibt die Festigkeitsentwicklung des Betons. Ermittelt werden diese Werte entweder durch die Eignungsprüfung oder durch bereits untersuchtes Verhalten von Beton mit ähnlichen Mischungszusammensetzungen. Die Einteilung erfolgt in die vier Klassen:

- ES: schnell
- EM: mittel
- EL: langsam
- E0: sehr langsam [18]

Die Festigkeitsentwicklung ist vor allem bei der Nachbehandlung und dem Ausschalen zu berücksichtigen. Die Nachbehandlung hat die Prävention vor frühzeitigem Austrocknen der Betonoberfläche, den Schutz vor starkem Abkühlen oder Erwärmen der Betonoberfläche sowie der Verhinderung von raschen Temperaturänderungen an der Oberfläche zum Zwecke. In der ÖNORM B 4710-1 ist die Mindestdauer der Nachbehandlungszeit geregelt, die in der Abb. 3.12 angegeben ist. Diese basiert auf mittleren Tagestemperaturen von über +12 °C. Daher werden Tage mit einer mittleren Tagestemperatur von +5 °C bis +12 °C lediglich als 0,7 Tage und jene mit einer mittleren Tagestemperatur von 0 °C bis +5 °C als 0,3 Tage beim Verstreichen der Mindest-Nachbehandlungszeit berücksichtigt. Ein zu rasches Austrocknen des Betons ist auch nicht im Anschluss an die Mindestnachbehandlungszeit zulässig. [18]

Exemplarisch für die Nachbehandlung des Betons stehen das Feuchthalten des Bauteils, Abdecken mit Folien oder Bauschutzmatten, Aufsprühen von flüssigen Nachbehandlungsmitteln und Belassen der Schalung. In der RVS 11.06.42 wird die Zulassungsprüfung der Nachbehandlungsmittel geregelt. Die entsprechenden Ausschalfrieten können der ÖNORM B 4710-1 entnommen werden. Zu beachten sind durch die Umgebungstemperatur bedingte Verlängerungen und Verkürzungen der Ausschalffrist. Des Weiteren ist darauf hinzuweisen, dass neben Gründen der Standsicherheit auch weitere Aspekte zu berücksichtigen sein kön-

| Zulässige Betonsorte  | Mindestdauer der Nachbehandlung bei Festigkeitsentwicklungsstufe |        |         |         |
|---|--|--------|---------|---------|
|   | ES   | EM     | EL      | E0      |
| X0  | 12h  | 12h    | 24h     | 2 Tage  |
| sämtliche Festigkeits-<br>klasse (XC1, XC2, XC3,<br>XW1, XF1, XA1, XM1) | 2 Tage   | 3 Tage | 4 Tage  | 7 Tage  |
| alle anderen Betonsorten  | 3 Tage   | 7 Tage | 10 Tage | 14 Tage |

**Abbildung 3.12:** Mindestdauer der Nachbehandlung hinsichtlich der Festigkeitsentwicklungsstufe sowie Betonsorte [20]

nen. [18] Das Berücksichtigen der Festigkeitsentwicklung ist bei der dieser Diplomarbeit zugrundeliegenden Entwicklung des Recyclingbetons von zentraler Bedeutung, denn die Wiener Linien geben drei Stunden nach dem Einbringen eine charakteristische Druckfestigkeit von  $30 \text{ N/mm}^2$  vor. Dies resultiert aus der Anwendung des Recyclingbetons, da die Arbeiten am Gleiskörper in einem kurzen Zeitraum zu erfolgen haben. Würde der Recyclingbeton der geforderten Festigkeitsentwicklung nicht entsprechen, könnte sich dies auf den Betrieb der jeweiligen Straßenbahnlinie negativ auswirken.

### 3.1.6 Recyclingmaterial

Ab einer fünfprozentigen Substitution von natürlicher Gesteinskörnung durch rezyklierte Gesteinskörnung ist dies in der Bezeichnung des Recyclingbetons zu vermerken. Die Klassifikation des Materials erfolgt gemäß der ÖNORM B 3140 und ist im Kapitel 2.1.5 näher erläutert. [18] Das Recyclingmaterial, das im Zuge dieser Diplomarbeit Anwendung findet, ist im Kapitel 3.2.1 im Detail beschrieben.

## 3.2 Bestandteile

Alexander Nofirth

### 3.2.1 Zuschlagstoffe

#### Natürliche Gesteinskörnung

Die natürliche Gesteinskörnung zur Betonherstellung wurde den Schüttgütern am Bauhof des Camillo Sitte Bautechnikums entnommen. Die Unterteilung erfolgt in drei Korngruppen: 0/4, 4/8 sowie 8/16. Es handelt sich dabei um Rundkorn.

#### Rezyklierte Gesteinskörnung

Die rezyklierte Gesteinskörnung zur Betonherstellung wurde von der staatlich akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle MAPAG fremdüberwacht. Die Eigenüberwachung wurde durch die Firma PORR durchgeführt. Der Beurteilungsnachweis zur Deklarationsprüfung

ist dieser Diplomarbeit im Anhang B beigelegt. Die Prüfung erfolgte im Rahmen der Eignungsprüfung gemäß ÖNORM EN 13242. Die Probenahmen wurden nach ÖNORM EN 932-1 sowie die Probenteilung nach ÖNORM EN 932-2 durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten gemäß RVS 08.15.01, ÖNORM B 3140, der Recyclingbaustoffverordnung sowie der Richtlinie für Recyclingbaustoffe. [22]

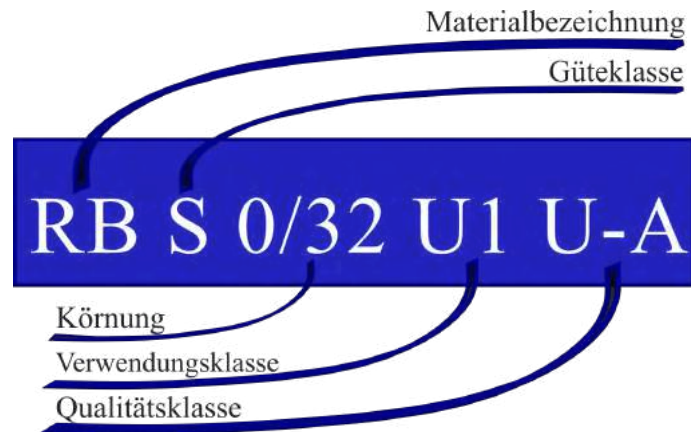


Abbildung 3.13: Kennzeichnung der rezyklierten Gesteinskörnung [19]

Das untersuchte Recyclingmaterial wurde gemäß ÖNORM B 3140 als RB S 0/32 U1 U-A klassifiziert. Damit handelt es sich um eine rezyklierte Gesteinskörnung, die für den ungebundenen sowie den hydraulisch oder bituminös gebundenen Einsatz geeignet ist. [17] Gemäß ÖNORM EN 13242 weist die Gesteinskörnung eine Zulassung für die Verwendung in ungebundenen sowie hydraulisch gebundenen Gemischen für den Ingenieur- und Straßenbau auf. [23]

### Zusammensetzung der groben rezyklierten Gesteinskörnung

Die Abb. 3.14 verdeutlicht, dass die zulässigen Bestandteile nach der ÖNORM B 3140 eingehalten wurden sowie 98 % auf die Betonmasse entfallen. [22] Die theoretische Bedeutung wurde im Kapitel 2.1.5 abgehandelt.

| Einteilung der Bestandteile in grober recycelter Gesteinskörnung EN 933-11 |                       |                      |       |                      |                 |                         |                      |         |       |
|--|-----------------------|----------------------|-------|----------------------|-----------------|-------------------------|----------------------|---------|-------|
|  | FL                    | X                    | Rc    | Rc+Ru+Rg             | Ru              | Rb                      |                      | Ra      | Rg    |
|  | schwimmende Partikel  | sonstige Materialien | Beton | Beton, Gestein, Glas | Gesteinskörnung | Ziegel glasart. Keramik | nur glasart. Keramik | Asphalt | Glas  |
|  | [cm <sup>3</sup> /kg] | [M-%]                | [M-%] | [M-%]                | [M-%]           | [M-%]                   | [M-%]                | [M-%]   | [M-%] |
| 4/63   | 0,2                   | 0,0                  | 98    | 98                   | 0,1             | 0,1                     | 0,0                  | 1,7     | 0,0   |
| zulässige Bestandteile ÖN B 3140   | ≤ 5                   | ≤ 1                  | ≥ 95  | NR                   | ---             | NR                      | ≤ 5                  | NR      | ≤ 2   |

Abbildung 3.14: Bestandteile der groben rezyklierten Gesteinskörnung [22]

### Korngrößenverteilung

Die Abb. 3.15 stellt die Verteilung der Korngrößen in der rezyklierten Gesteinskörnung dar. Das Überkorn bildet dabei einen Massenanteil von 8,0 %. Der Gehalt an Feinanteilen

beträgt 1,8 Massenprozent und entspricht damit der Klasse f 3. [22], [24]

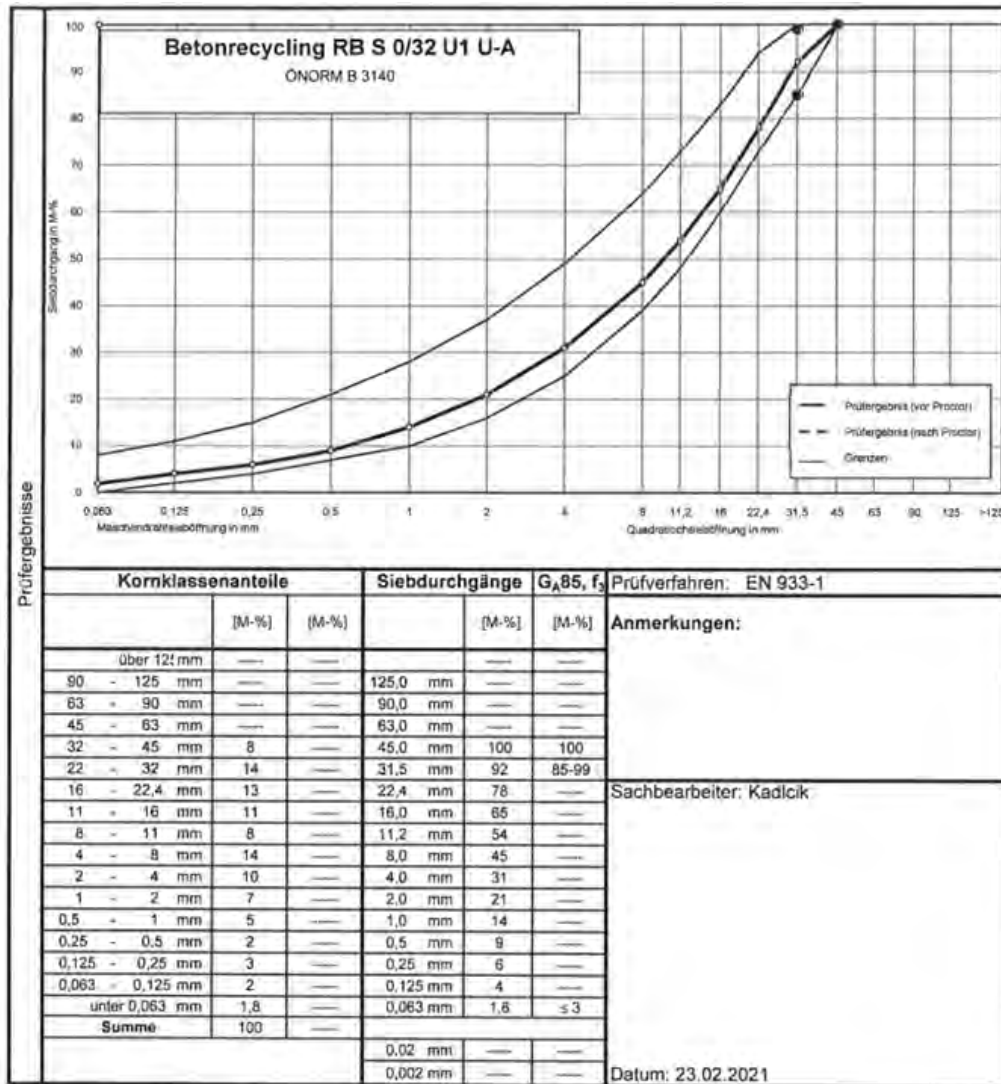


Abbildung 3.15: Sieblinie der rezyklierten Gesteinskörnung [22]

### Kornform

Mittels des Einsatzes eines Kornform-Messschiebers zur Ausmessung von Gesteinskörnern erfolgt ein Vergleich mit standardisierten Formen. Der Anteil ungünstiger respektive nicht kubisch geformter Körner mit einer Längen-Breiten-Relation größer als 3 : 1 wird ermittelt. Der prozentuale Massenanteil wird berechnet und durch die Kornformkennzahl bzw. dem Shape Index ausgewiesen. Die Durchführung der Prüfung ist in ÖNORM EN 933-4 beschrieben. [24] Bei der vorliegenden Gesteinskörnung wurde der Anteil schlecht geformter Körner mit einem größeren Durchmesser als 4,0 mm ermittelt. Die Gesteinskörnung weist eine Kornformkennzahl von 6 auf. [22]

### **Gebrochene Grobkörnung**

Gemäß ÖNORM EN 933-5 erfolgt die Bestimmung des Anteils von gebrochenen Körnern im Grobkorn der Gesteinskörnung. [25] Die Ermittlung des Anteils an Körnern mit einer gebrochenen Oberfläche größer als 50 % wurde mit 98 Masseprozent verzeichnet. Drei Masseprozent entfallen auf den Anteil mit größer als 90 % gerundeter Oberfläche. Damit ist die rezyklierte Gesteinskörnung mit C 90/3 zu bezeichnen. [22]

### **Zertrümmerungswiderstand**

Der Los-Angeles-Versuch dient zur Ermittlung des Widerstands einer betonierten oder asphaltierten Oberfläche gegenüber einer schlagenden Beanspruchung bzw. Zertrümmerung. Die rezyklierte Gesteinskörnung bei GK 8/11 weist nach ÖNORM EN 1097-2 einen Los-Angeles-Koeffizient von 27 auf. Der Sollwert ist als kleiner 30 zu bezeichnen. [22] [26]

### **Wasseraufnahme**

Gemäß ÖNORM EN 1097-6 Abschnitt 7 wurden vier Eigenschaften der rezyklierten Gesteinskörnung hinsichtlich der Aufnahme von Wasser untersucht. Eine scheinbare Rohdichte von  $2,65 \text{ mg/m}^3$  sowie eine Rohdichte auf ofentrockener Basis von  $2,38 \text{ mg/m}^3$  wurden ermittelt. Die Rohdichte auf wassergesättigter ofentrockener Basis beträgt  $2,48 \text{ mg/m}^3$ . Die rezyklierte Gesteinskörnung mit GK 31,5/63 weist eine Wasseraufnahme nach einer 24-stündigen Wasserlagerung von 4,3 Massenprozent auf. Dieser Wert liegt über dem Sollwert von kleiner gleich 4,0. [22] [27]

### **Frost-Tau-Wechselbeständigkeit**

Mit der Wasseraufnahme als Vorversuch für die Frost-Tau-Wechselbeständigkeit wird die rezyklierte Gesteinskörnung der Kategorie F 4 zugewiesen. Dem entsprechend stellt sich ein Massenverlust von maximal 4,0 Prozent ein. [22]

#### **3.2.2 Bindemittel**

Die Herstellung sämtlicher Betone erfolgt durch den Einsatz eines Zements mit der Kennzeichnung CEM II/A-S 42,5 R WT 42 nach ÖNORM EN 197-1. Dabei handelt es sich um einen frühhochfesten Portlandzement mit durchschnittlichen Abbindezeiten sowie einem raschen Erhärtungsverlauf. [28]

In der Abb. 3.17 sind die Eigenschaften des Bindemittels dargestellt, die durch das mit der Herstellung beauftragte Unternehmen "Lafarge Zementwerke" ermittelt und eigenüberwacht wurden. Die Fremdüberwachung erfolgt durch das Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie. [29] Das Produktdatenblatt ist dieser Diplomarbeit im Anhang C beigefügt.

#### **3.2.3 Zugabewasser**

Zur Herstellung sämtlicher Betone wurde den Leitungen der Camillo Sitte Versuchsanstalt, die durch das Wiener Wasserversorgungsnetz gespeist werden, Trinkwasser entnommen.

#### **3.2.4 Zusatzmittel**

Nachdem die theoretischen Grundlagen der Zusatzmittel bereits im Kapitel 2.1.4 behandelt wurden, sind im Folgenden jene Zusatzmittel angeführt, die zur konkreten Herstellung



Abbildung 3.16: Kennzeichnung des Bindemittels [19]

| Eigenschaften<br>gem. laufender Eigenüberwachung          | Richtwerte | Normanforderungen      |                        |
|---|------------|------------------------|------------------------|
|   |            | ÖNORM<br>EN 197-1:2011 | ÖNORM<br>B 3327-1:2005 |
| Dichte in kg/dm <sup>3</sup>                              | 3,05       | -                      | -                      |
| Druckfestigkeit (bei 20° C) in MPa (= N/mm <sup>2</sup> ) | 1 Tag      | 20                     | ≥ 11                   |
|   | 2 Tage     | 30                     | -                      |
|   | 7 Tage     | -                      | ≥ 20                   |
|   | 28 Tage    | 59                     | ≥ 42,5 ≤ 62,5          |
| Biegezugfestigkeit (bei 20° C) 28 Tage in MPa             | -          | -                      | -                      |
| Mahlfeinheit (Blainewert) in cm <sup>2</sup> /g           | 4.700      | -                      | ≤ 5% Schwankung        |
| Erstarrungsbeginn (bei 20° C) in min                      | 130        | ≥ 60                   | ≥ 90                   |
| Bluten in cm <sup>3</sup> nach 120 min                    | 6          | -                      | ≤ 15                   |
| Wärmeentwicklung in J/g Zement nach 15 h                  | 250        | -                      | ≤ 310                  |
| Sulfatbeständigkeit bzw. C <sub>2</sub> A-frei            | nein       | -                      | -                      |

Abbildung 3.17: Eigenschaften des Zements [29]

der Betone dienen. Die jeweiligen Produktdatenblätter sind dieser Diplomarbeit im Anhang C beigelegt. Im Allgemeinen ist das Einhalten von ausreichenden Mischzeiten zu gewährleisten.

### Luftporenbildner

Die Anwendung des Luftporenbildners ist durch eine gleichmäßige und verteilte Bildung von Mikroluftporen begründet. Des Weiteren steigert der Einsatz des Luftporenbildners die Verarbeitbarkeit und Geschmeidigkeit des Betons. Eine Reduktion des Wasser-Bindemittel-Werts geht einher. Durch eine Überdosierung besteht die Gefahr einer Abminderung der Festigkeit des Betons. Der dünnflüssige Luftporenbildner ist dem Anmachwasser beizugeben, wobei die Menge des Anmachwassers durch den Anteil des Luftporenbildners zu verringern ist. Die Erzeugung dieses Mischöls basiert auf einem Wurzelharz. [30]

### Fließmittel

Bei dem Fließmittel für erhöhte Festigkeit handelt es sich um ein chloridfreies, wasser- verdünnbares, flüssiges Zusatzmittel, das Naphthalinsulfonat als Grundstoff aufweist. Das Fließmittel bewirkt die Erhöhung der Endfestigkeit sowie die Verflüssigung des Frischbe-

tons zur Erleichterung der Verarbeitung. Durch den Einsatz des bräunlichen Zusatzmittels mit einem approximativen pH-Wert von 8 werden keine Luftporen eingeführt. Dieses Fließmittel wird der Mischung direkt zugegeben. [31]

### **Beschleuniger**

Als Beschleuniger wird ein chloridfreier, flüssiger Schnellbinder eingesetzt, um die Erstarrungs- und Erhärtungszeit des Betons zu reduzieren. Dabei ist das Ausmaß der Reduktion von der Zementsorte sowie der Zementmenge abhängig. Des Weiteren beschleunigen höhere Temperaturen den Erstarrungsprozess. Die höchstzulässige Dosierung beträgt 5,0 % des Zementgewichts. Der pH-Wert des Schnellbinders liegt über 10. Dieser Beschleuniger ist erst im Anmachwasser zu lösen bevor die Beifügung zur Mischung vorgenommen wird. [32]

### **Dichtungsmittel**

Das Betondichtmittel stellt eine hochkonzentrierte, dunkelbraune, chloridfreie, wasserverdünnbare Flüssigkeit dar. Der Einsatz des Dichtungsmittels erfolgt, um die Wasserundurchlässigkeit des Betons zu erreichen. Gemäß ÖNORM B 4710-1 bewirkt die Anwendung die Reduktion der Wasseraufnahme sowie die Wasserundurchlässigkeit des Betons. Zudem wird das Herabsetzen des Wasser-Bindemittel-Werts durch die Verflüssigung des Mischguts ermöglicht. Des Weiteren wird der Entmischung sowie dem Bluten des Frischbetons entgegengewirkt. Die Resistenz des Betons gegen aggressive Stoffe wird ebenso erhöht. Der pH-Wert des Dichtungsmittels liegt bei etwa 7. Das Betondichtmittel wird dem Mischgut während des Mischvorgangs beigefügt. Die Beigabe erfolgt entweder durch das Zugabewasser oder dem direkten Schütten ins Mischgut. Die Einstellung der geforderten Konsistenz wird durch die fachgerechte Dosierung des Zugabewassers bewerkstelligt, wobei die Verflüssigungswirkung des Betondichtmittels zu beachten ist. [33]

## **3.3 Prüfungen**

### **Martin Mayr**

Um die Qualitäten der Anforderungen an den rezyklierten Beton aus Kapitel 3.1 gewährleisten zu können muss dieser einigen Prüfungen unterzogen werden. Hierbei sind sowohl Frischbeton als auch Festbetoneigenschaften ausschlaggebend. Folgend werden die einzelnen Prüfungen für die Bestimmung der spezifischen Eigenschaften näher erläutert.

#### **3.3.1 Frischbetonprüfungen**

Frischbetonprüfungen werden mit Proben, welche gemäß ÖNORM EN 12350-1 [34] entnommen wurden, durchgeführt. Die Prüfungen finden auf Basis der Normenreihe ÖNORM EN 12350 statt.

#### **Konsistenz**

Die Konsistenzbestimmung für Frischbeton gemäß ÖNORM EN 12350-4 [35] & ÖNORM EN 12350-5 [36] dient zur Ermittlung der Verdicht-/ und Verarbeitbarkeit des Betones beim Einbringen. Durch die Vorgabe gemäß Kapitel 3.1 ist in diesem Fall allerdings das Überprüfen des Betones mittels Verdichtungsmaß nicht sinnvoll, da dieser für genannte Prüfung zu weich wäre. [14] Bei der Konsistenzbestimmung wird sich im Rahmen dieser Diplomarbeit auf das Ausbreitmaß gemäß ÖNORM EN 12350-5 [36] bezogen. Bei der

| Ausbreitmaßklasse | Ausbreitmaß [mm] | Beschreibung    |
|-------------------|------------------|-----------------|
| F38               | 350 bis 410      | steif plastisch |
| F45               | 420 bis 480      | plastisch       |
| F52               | 490 bis 550      | weich           |
| F59               | 560 bis 620      | sehr weich      |
| F66               | 630 bis 690      | fließfähig      |
| F73               | 700 bis 760      | sehr fließfähig |

**Tabelle 3.1:** Ausbreitklassen [18]

Prüfung wird ein Kegelstumpf auf einen sauberen, waagrecht eingerichteten Ausbreittisch gestellt und vorerst bis zur Hälfte mit Beton gefüllt. Anschließend wird die erste Schicht durch zehn leichte Stöße mit einem hölzernen Stößel verdichtet. Dieser Vorgang wird bei einer zweiten Schichte, welche den Kegelstumpf bis zur Oberkante füllt, wiederholt. Nach dem Abziehen der Oberfläche wird der Kegelstumpf entfernt und der Ausbreittisch 15 mal aus einer Höhe von 40 mm fallen gelassen. Danach wird der Durchmesser  $d_i$  des ausgebreiteten Betones zwei Mal orthogonal zueinander gemessen und das Ausbreitmaß  $f$  kann mittels der Formel 3.1 berechnet werden.

$$f = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3.1)$$

Durch das Ausbreitmaß  $f$  kann nun die Konsistenzklasse mittels Tabelle 3.1 bestimmt werden.

### Rohdichte

Die Rohdichte des Frischbetones wird gemäß ÖNORM EN 12350-6 [37] bestimmt. Dabei wird ein sauberes Gefäß, dessen Volumen und Gewicht bekannt ist, mit Beton gefüllt und anschließend verdichtet. Der Beton muss lagenweise, vollständig verdichtet werden, ohne dass es zu einem übermäßigen Ausbluten, Entmischen oder Verlust von künstlichen Luftporen kommt. Nach dem Verdichten und anschließendem Abziehen der Oberfläche wird das Gefäß samt Inhalt gewogen und die Frischbetonrohichte kann mit der Formel 3.2 ermittelt werden.

$$\rho_{f,b} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.2)$$

- $\rho_{f,b}$  die Rohdichte des Frischbetons in kg/m<sup>3</sup>
- $m_1$  die Masse des leeren Dichtebestimmungsbehälters in kg
- $m_2$  die Masse des vollständig mit verdichtetem Beton gefüllten Luftporentopfes in kg
- $V$  das Volumen des Dichtebestimmungsbehälters in m<sup>3</sup>

### Luftporengehalt

Der Luftporengehalt wird gemäß ÖNORM EN 12350-7 [38] zweckmäßig nach dem Druckausgleichsverfahren mit einem Luftgehaltsprüfgerät bestimmt. Eine weitere Möglichkeit



wäre noch das Wassersäulenverfahren. Beim Druckausgleichsverfahren wird Frischbeton wie bei der Rohdichtebestimmung, in einem sauberen Gefäß mit bekanntem Volumen verdichtet und die Oberfläche abgezogen. Im Anschluss wird eine Prüfapparatur, wie in Abb. 3.18, auf das Gefäß aufgesetzt und luftdicht verschlossen. Der entstehende Hohlraum in der Apparatur über dem Beton wird mit Wasser gefüllt und unter Druck gesetzt. Mithilfe des Ablassventils wird das Manometer auf den Nulldruck gestellt. Nach dem Einstellen kann das Hauptventil geöffnet werden. Der entstehende Druckunterschied kann anschließend vom Manometer abgelesen werden und entspricht dem scheinbaren prozentualen Luftgehalt  $A_1$ .

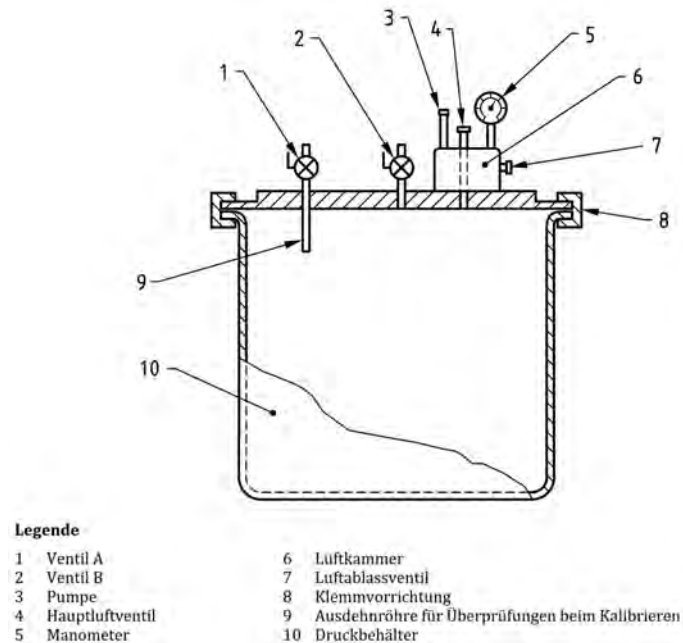


Abbildung 3.18: Prüfgerät für das Druckausgleichsverfahren [37]

### Zementgehalt

Um den Zementgehalt bestimmen zu können, müssen die Mengen der einzelnen Bestandteile des Betons sowie die Frischbetonrohddichte bekannt sein. Der Zementgehalt kann anschließend mit der Formel 3.3 errechnet werden. [14]

$$z = 1000 * \rho_{f,b} * \frac{m_z}{m_z + m_{g,h} + m_w} \quad (3.3)$$

|              |   |
|--------------|---|
| $z$          | Zementgehalt des Frischbetons in $\text{kg}/\text{m}^3$ |
| $\rho_{f,b}$ | Frischbetonrohddichte in $\text{kg}/\text{dm}^3$        |
| $m_z$        | Masse des Zementes in kg                                |
| $m_{g,h}$    | Masse der feuchten Gesteinskörnung in kg                |
| $m_w$        | Masse des Zugabewassers in kg                           |

### Wassergehalt

Für die Feststellung des tatsächlichen Wassergehaltes muss, wie bei der Bestimmung des Zementgehaltes, die Frischbetonrohddichte bekannt sein. Als erstes wird durch einen Versuch

der relative Wasseranteil des Betons festgestellt. Dazu wird eine Betonprobe mit etwa 2,0 kg in einer Mikrowelle bei 800 Watt für 20 Minuten erhitzt. Davor und danach wird das Gewicht der Probe bestimmt und der relative Wasseranteil, wie in Formel 3.4, berechnet.

$$\Delta m_w = \frac{m_{b,h} - m_{b,t}}{m_{b,h}} \quad (3.4)$$

|              |  |
|--------------|--|
| $\Delta m_w$ | Relativer Wassergehalt                   |
| $m_{b,t}$    | Masse der Frischbetonprobe trocken in kg |
| $m_{b,h}$    | Masse der Frischbetonprobe feucht in kg  |

Im Anschluss kann der tatsächliche Wassergehalt, wie in Formel 3.5, berechnet werden. [14]

$$w = 1000 * \rho_{f,b} * \Delta m_w \quad (3.5)$$

|              |   |
|--------------|---|
| $w$          | tatsächlicher Wassergehalt in kg/m <sup>3</sup> |
| $\rho_{f,b}$ | Frischbetonrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>     |
| $\Delta m_w$ | relativer Wassergehalt                          |

### **W/Z Wert**

Für den Wasserzementwert muss im Vorhinein der Zementgehalt und der tatsächliche Wassergehalt bestimmt werden. Anschließend ist der Wasserzementwert wie in Formel 3.6 oder 3.7 zu berechnen. [14]

$$w/z = \frac{w}{z} \quad (3.6)$$

|       |   |
|-------|---|
| $w/z$ | Wasserzementwert                                |
| $w$   | tatsächlicher Wassergehalt in kg/m <sup>3</sup> |
| $z$   | Zementgehalt in kg/m <sup>3</sup>               |

$$w/z = 1000 * \rho_{f,b} * \frac{\Delta m_w}{z} \quad (3.7)$$

|              |   |
|--------------|---|
| $w/z$        | Wasserzementwert                            |
| $\rho_{f,b}$ | Frischbetonrohddichte in kg/dm <sup>3</sup> |
| $\Delta m_w$ | relativer Wassergehalt                      |
| $z$          | Zementgehalt in kg/m <sup>3</sup>           |

### 3.3.2 Festbetonprüfungen

Festbetonprüfungen werden mit Proben, welche gemäß ÖNORM EN 12390-1 [39] & ÖNORM EN 12390-2 [40] entnommen, hergestellt und gelagert wurden, durchgeführt. Die Prüfungen finden auf Basis der Normenreihe ÖNORM EN 12390 statt.

#### Rohdichte

Die Festbetonrohddichte wird gemäß ÖNORM EN 12390-7 [41] durchgeführt. Für die Berechnung gemäß Formel 3.8 müssen zuerst die Masse und das Volumen des Probekörpers ermittelt werden. Die Masse des zu prüfenden Körpers kann mittels einer Waage bestimmt werden. Für die Ermittlung des Volumens gibt die Norm drei Möglichkeiten an.

1. Berechnung durch Wasserverdrängung (Referenzverfahren)
2. Berechnung durch Istmaße, welche gemäß ÖNORM EN 12390-1 [39] bestimmt wurden.
3. Berechnung durch benannte Maße, welche in kalibrierten Formen gemäß ÖNORM EN 12390-1 [39] hergestellt wurden.

$$\rho_{b,h} = \frac{m}{V} \quad (3.8)$$

|              |  |
|--------------|--|
| $\rho_{b,h}$ | Festbetonrohddichte in kg/m <sup>3</sup>   |
| $m$          | Masse des Probekörpers in kg               |
| $V$          | Volumen des Probekörpers in m <sup>3</sup> |

#### Druckfestigkeit

Für die Druckfestigkeit gemäß ÖNORM EN 12390-3 [42] müssen Probewürfel mit einer Kantenlänge von 150 mm hergestellt werden. Im Allgemeinen werden die Würfel nach 28 Tagen, wenn sie ausreichend ausgehärtet sind, geprüft. Um die Frühfestigkeit festzustellen, können Probekörper allerdings auch schon nach 2 Tagen oder 7 Tagen geprüft werden. Normativ sollten die Würfel nach dem ersten Tag ausgeschalt und bis zu ihrer Prüfung unter Wasser gelagert werden. Die Berechnung findet hier gemäß Formel 3.9 statt. In Österreich gibt es die Möglichkeit, bzw. hat es sich etabliert, dass die Probekörper bis zum 7. Tag unter Wasser gelagert werden und im Anschluss in einem Trockenschrank bei 20 °C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit bis zu ihrer Prüfung gelagert werden. Die Berechnung findet hier gemäß Formel 3.10 statt. Bei der Prüfung selbst wird der Probekörper in eine Prüfeinrichtung gemäß ÖNORM EN 12390-4 [43] eingespannt und mit einer kontinuierlichen Belastungsgeschwindigkeit von 0,6 (± 0,2) MPa/s bzw. N/mm<sup>2</sup> \* s bis zum Bruch belastet. An der Prüfmaschine kann im Anschluss die Höchstkraft beim Bruch abgelesen werden.

$$f_{c,cube} = \frac{F}{A_c} \quad (3.9)$$

|              |   |
|--------------|---|
| $f_{c,cube}$ | Betondruckfestigkeit bei Wasserlagerung in MPa bzw. N/mm <sup>2</sup> |
| $F$          | Höchstkraft beim Bruch in N   |
| $A_c$        | Fläche des Probekörper in mm <sup>2</sup>                             |

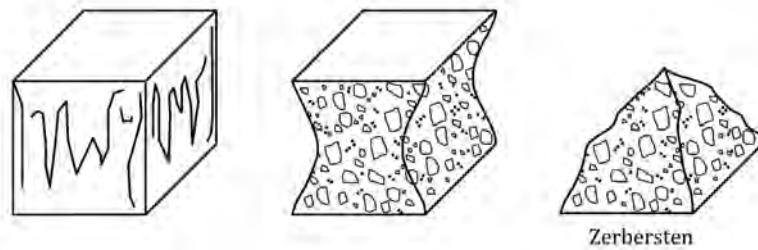


Abbildung 3.19: Zufriedenstellende Bruchbilder bei Würfelprismen [42]

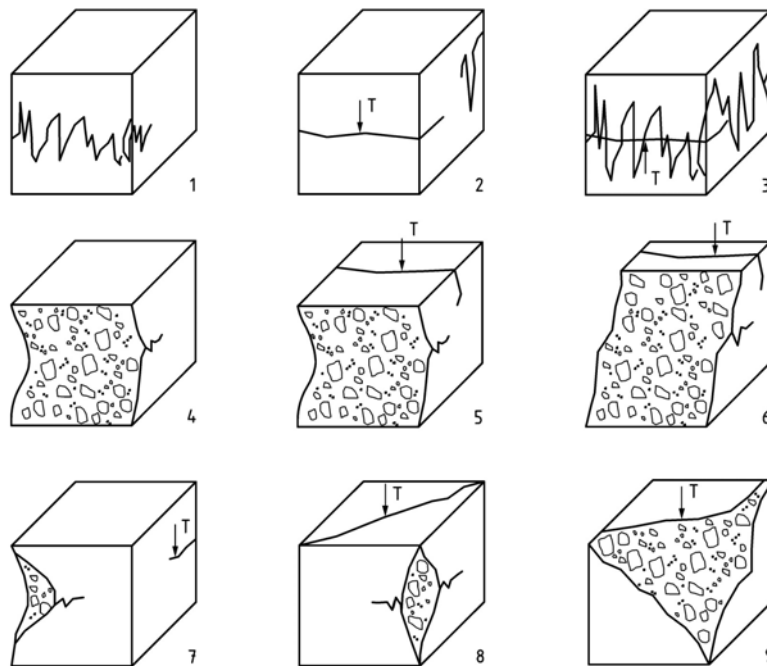


Abbildung 3.20: Nicht zufriedenstellende Bruchbilder bei Würfelprismen [42]

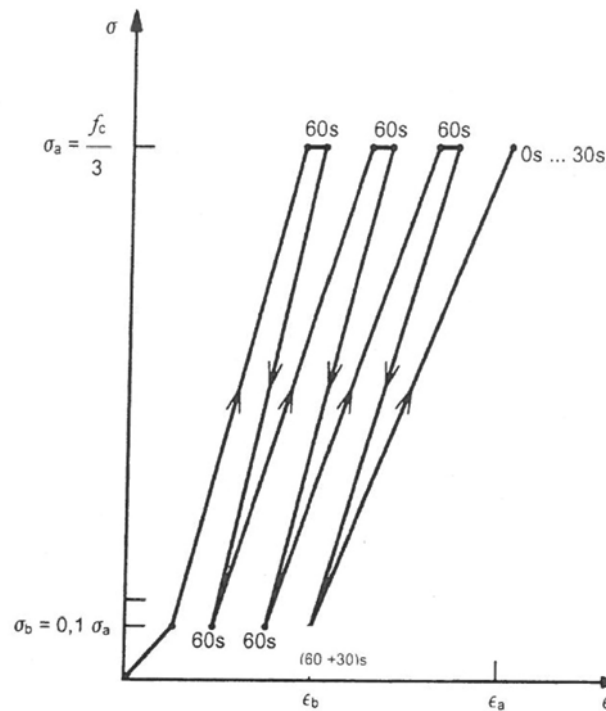
$$f_{c,dry} = \frac{F}{A_c} * 0,92 \quad (3.10)$$

|             |   |
|-------------|---|
| $f_{c,dry}$ | Betondruckfestigkeit bei Luftlagerung in MPa bzw. N/mm <sup>2</sup> |
| $F$         | Höchstkraft beim Bruch in N   |
| $A_c$       | Fläche des Probekörper in mm <sup>2</sup>                           |

Als letztes müssen die Probekörper noch hinsichtlich ihres Bruchbildes begutachtet werden. Die Norm gibt hier einige Beispiele für zufriedenstellende (Abb. 3.19) und nicht zufriedenstellende (Abb. 3.20) Bruchbilder an.

### Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul gemäß ÖNORM EN 12390-13 [44] oder auch Sekantenmodul bildet ein Verhältnis der durch Last erzeugten Spannungen und den daraus resultierenden Deh-



**Abbildung 3.21:** Schema für Belastungszyklus für statischen Elastizitätsmodul [45]

nungen. Für die Berechnung gemäß Formel 3.11 wird die Spannungsdifferenz aus Vor- und Oberlast, wobei die Vorlast 10 % der Oberlast beträgt, herangezogen.

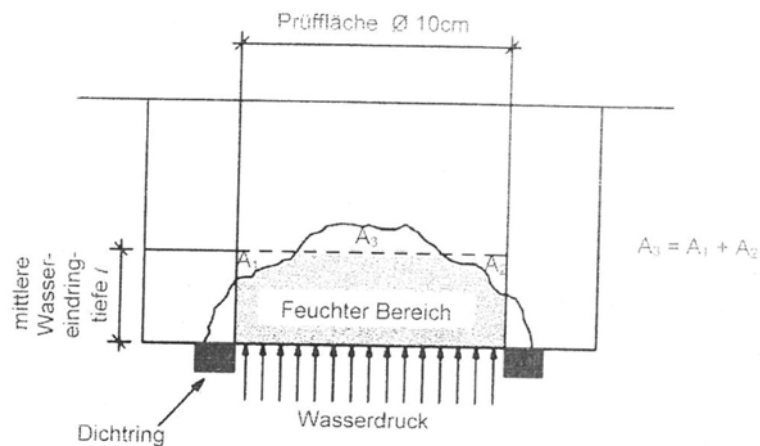
$$E_{C,s} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \quad (3.11)$$

- $E_{C,s}$     Elastizitätsmodul unter Druckbelastung
- $\Delta\sigma$     Spannungsdifferenz zwischen Vor- und Oberlast
- $\Delta\varepsilon$     Dehnungsdifferenz zwischen Vor- und Oberlast

Bei der Prüfung werden die Probekörper in eine Prüfvorrichtung gemäß ÖNORM EN 12390-4 [43] eingespannt, die Messinstrumente angebracht und die Vorlast von  $\sigma_b = 0,1 \cdot \sigma_a$  aufgebracht. Anschließend werden die Proben mit einer mittleren Belastungsgeschwindigkeit von  $0,6 (\pm 0,4)$  MPa/s bzw. N/mm<sup>2</sup> \* s bis zur Oberspannung von  $\sigma_a = f_c/3$  belastet und anschließend wieder entlastet. Dieser Vorgang wird mindestens zwei Mal wiederholt. Ein Beispiel für ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm ist in Abbildung 3.21 dargestellt.

### Wassereindringtiefe

Die Wassereindringtiefe wird gemäß ÖNORM EN 12390-8 [46] ermittelt. Sie gibt die Eindringtiefe des Wassers in den Beton unter einem bestimmten Druck in einem festgelegten Zeitraum in mm an. Bei der Prüfung wird ein hohler Zylinder mit einem Innendurchmesser von 10,0 cm auf den Würfel gesetzt. Anschließend wird der Zylinder mit Wasser befüllt und für 14 Tage mit zwei verschiedenen Druckstufen unter Druck gesetzt. Danach



**Abbildung 3.22:** Prüfung der Wassereindringtiefe [46]

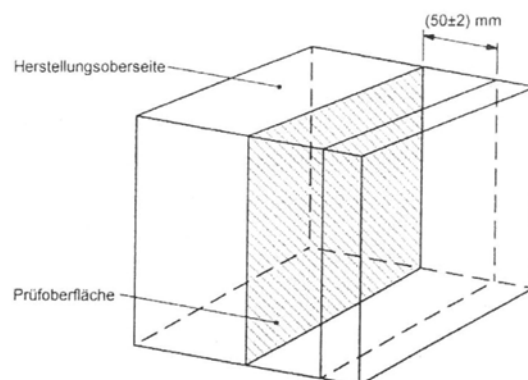
wird das Prisma mittig auseinander geschnitten und die mittlere Eindringtiefe des Wassers gemessen. (siehe Abb. 3.22)

### Frost-/ Tausalz Beständigkeit

Die Frost-Tausalz-Widerstandsprüfung findet in Österreich gemäß ONR CEN/TS 12390-9 [47] statt, die drei Prüfverfahren mit unterschiedlichen Prüfkörpern vorgibt.

- Plattenprüfverfahren (Referenzverfahren)
- Würfelprüfverfahren (Alternativprüfverfahren)
- CF- und CDF-Prüfverfahren (Alternativprüfverfahren)

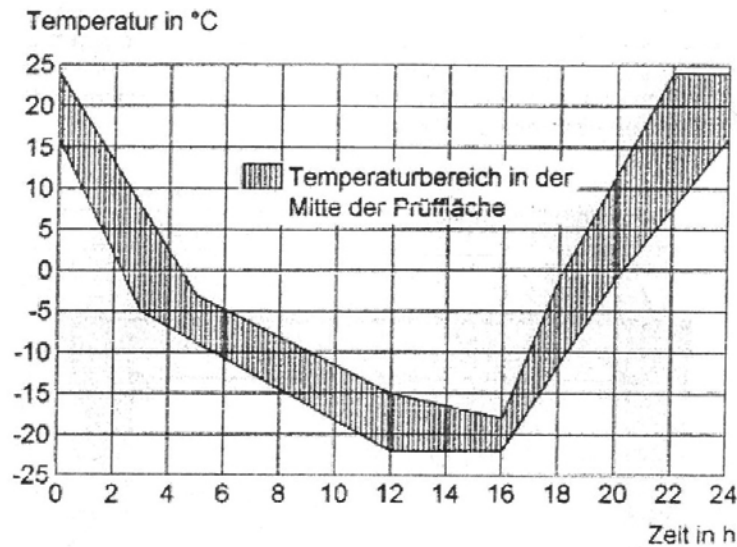
Aufgrund der einfachen Herstellung, wird sich im Rahmen dieser Diplomarbeit auf das Würfelprüfverfahren beschränkt. Die Prüfung ist für die Beurteilung einer Beständigkeit für die Frostklassen XF2 sowie XF4 gemäß ÖNORM B 4710-1 [18] geeignet. Bei der Prüfung werden ein vorher hergestellter Nullbeton und vier Prismen mit einer Kantenlänge von 150 mm, wie in Abb. 3.23, geschnitten.



**Abbildung 3.23:** Lage des Probekörpers und der Prüffläche im gesättigten Würfel [45]

Anschließend werden die Prismen an allen Seiten, mit Ausnahme der Prüffläche, gegen Wärme- sowie Feuchteverlust geschützt und auf der zu prüfenden Fläche eine 3 mm dicke,

3 %ige NaCl-Lösung aufgebracht. Nach den Vorbereitungsmaßnahmen können die Frost-Tau-Zyklen beginnen, wie in Abb. 3.24 dargestellt. Ein Zyklus benötigt 24 Stunden und wird insgesamt 56 Mal wiederholt.



**Abbildung 3.24:** Zeit-Temperatur-Zyklus in der Prüfflüssigkeit am Mittelpunkt der Prüfoberfläche [45]

Nach 7, 14, 28, 42 und 56 Frost-Tau-Zyklen werden die Probekörper abgebürstet und die Masse des bei 110°C getrockneten, abgewitterten Materials kumulativ berechnet. Die Masse des abgewitterten Materials, bezogen auf die Prüffläche, kann anschließend wie in Formel 3.12 bestimmt werden.

$$S_n = \frac{M_n}{A} * 10 \quad (3.12)$$

$S_n$  Masse des abgewitterten Materials, bezogen auf die Prüffläche nach dem n-ten Frost-Tau-Zyklus in  $\text{kg}/\text{m}^2$

$M_n$  kumulative Masse des abgewitterten Materials in g

$A$  Prüfoberfläche in  $\text{cm}^2$

Die Probekörper entsprechen einer Beständigkeit der Frostklasse XF2 sowie XF4, wenn

- die gesamte Abwitterung des zu untersuchenden Betons nach 56 Frost-Tau-Wechseln um maximal  $100 \text{ g}/\text{m}^2$  größer als jene des Nullbetons ist bzw.
- der Nullbeton Abwitterungen bis zu  $300 \text{ g}/\text{m}^2$  aufweist und der zu untersuchende Beton eine gesamte Abwitterung um maximal  $200 \text{ g}/\text{m}^2$  größer als jene des Nullbetons hat.

# Kapitel 4

## Rezepturermittlung

Martin Mayr

### 4.1 Anforderungen

Die Anforderungen an den Recyclingbeton und die damit verbundenen Anforderungen für die Betonmischungen sind in Kapitel 3.1 näher beschrieben.

### 4.2 Variablen

#### 4.2.1 Zuschlagstoffe

Für die Herstellung des Recyclingbetons wurden insgesamt vier verschiedene Zuschlagstoffe verwendet. Die ersten drei sind Gesteinskörnungen mit den Korngruppen 0/4, 4/8 sowie 8/16, welche vom Camillo Sitte Bautechnikum zur Verfügung gestellt wurden und als Material für den Nullbeton dienen. Bei diesen Gesteinskörnungen handelt es sich um ein Rundkorn. Bei der vierten Körnung handelt es sich um eine rezyklierte Gesteinskörnung, welche von den Wiener Linien zur Verfügung gestellt wurde. Nähere Informationen zum Aufbruchmaterial stehen in Kapitel 3.2. Hierbei handelt es sich um ein Kantkorn. Zu Beginn der Arbeiten an dieser Diplomarbeit wurden alle Gesteinskörnungen gesiebt, um Sieblinien zu erstellen. Die Sieblinien der vier Gesteinskörnungen befinden sich in Anhang D. Auf Empfehlung von Herrn DI Dr. Franz Denk und Herrn DI Hans-Jürgen Zeiler von der Firma Wopfinger Transportbeton GmbH wurde das rezyklierte Gesteinsmaterial in drei Kornfraktionen aufgeteilt. Die daraus resultierenden Kornklassen 0/4, 4/16 und 16/32 wurden für die Berechnung rechnerisch aufgesplittet und durch Siebungen physisch getrennt. Im Anschluss konnte mithilfe einer Excel Tabelle, in welcher die prozentualen Anteile der einzelnen Korngruppen und Kornklassen eingegeben wurden, eine entsprechende Sieblinie für 0 %, 34 % und 60 % Auswechslungsrate erstellt werden. Die genauen Sieblinien der einzelnen Mischungsverhältnisse sind im Anhang E dieser Diplomarbeit zu sehen. Darüber hinaus wurde von jedem Gestein die Rohdichte ermittelt, welche für die spätere Ermittlung der benötigten Menge an Gestein erforderlich ist. Die Rohdichten sind in Tabelle 4.1 abgebildet. Die Ermittlung fand nicht normativ statt.

#### 4.2.2 Bindemittel

Als Zement kommen bei den Anforderungen aus Kapitel 3.1 nur jene aus Abb. 4.1 mit der Betonkurzbezeichnung B5 in Frage. Als Bindemittel wurde daher im Rahmen dieser Diplomarbeit ein Zement mit der Bezeichnung



| Gesteinskörnung | Rohdichte              |
|-----------------|------------------------|
| Rundkorn 0/4    | 2782 kg/m <sup>3</sup> |
| Rundkorn 4/8    | 2801 kg/m <sup>3</sup> |
| Rundkorn 8/16   | 2603 kg/m <sup>3</sup> |
| Kantkorn 0/32   | 2166 kg/m <sup>3</sup> |

**Tabelle 4.1:** Rohdichten der Gesteinskörnungen [19]

“ CEM II / A-S 42,5 R WT 42 “

nach ÖNORM EN 197-1 [28] verwendet.

|  | B1               | B2             | B3 <sup>b</sup>  | B4             | B5 <sup>b,c</sup> | B6 <sup>d</sup>               | B7 <sup>c,d,e</sup> | B8 <sup>u</sup> | B9 <sup>u</sup> | B10 <sup>u</sup> | B11 <sup>u</sup> | B12 <sup>u</sup> | HL-SW                                  |
|--|------------------|----------------|------------------|----------------|-------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|--|
| Max. W/B-Wert <sup>‡</sup>   | 0,60             | 0,55           | 0,55             | 0,50           | 0,50              | 0,45                          | 0,45                | 0,60            | 0,60            | 0,55             | 0,55             | 0,50             | 0,31 <sup>r</sup><br>0,34 <sup>s</sup> |
| Anrechenbarer Bindemittelgehalt <sup>b</sup> , mind. (in kg/m <sup>3</sup> ) | 280              | 300            | 300              | 300            | 320               | 360                           | 340                 | 300             | 300             | 300              | 300              | 300              | - <sup>t</sup>                         |
| Bindemittelgehalt, mind. (in kg/m <sup>3</sup> )                             | -                | -              | -                | -              | -                 | -                             | -                   | 350             | 375             | 350              | 375              | 350              | -                                      |
| Luftgehalt, mind. (in %)   | -                | -              | 2,5 <sup>i</sup> | -              | 2,5 <sup>i</sup>  | 2,5 <sup>i</sup>              | 4,0 <sup>i</sup>    | -               | -               | -                | -                | -                | -                                      |
| L300 <sup>j</sup> (ONR 23303), mind. (in %)                                  | -                | -              | 1,0              | -              | 1,0               | 1,0                           | 1,8                 | -               | -               | -                | -                | -                | -                                      |
| AFi (ONR 23303), max. (in mm)  | -                | -              | -                | -              | -                 | -                             | 0,18                | -               | -               | -                | -                | -                | -                                      |
| Andere Anforderungen   | -                | -              | -                | -              | -                 | lösender Angriff <sup>k</sup> | -                   | -               | -               | -                | -                | -                | -                                      |
| Gesteinskörnung  | siehe Tabelle 15 |                |                  |                |                   |                               |                     |                 |                 |                  |                  |                  |  |
| CEM I  | +                | +              | +                | +              | +                 | +                             | +                   | +               | +               | +                | +                | +                | +m u                                   |
| CEM II/A-S   | +                | +              | +                | +              | +                 | +                             | +                   | +               | +               | +                | +                | +                | +n u                                   |
| CEM II/A-V   | +                | +              | +                | +              | +                 | +                             | +                   | +               | +               | +                | +                | +                | +n u                                   |
| CEM II/A-W   | +                | Δ              | Δ                | +              | Δ                 | Δ                             | Δ                   | +               | +               | Δ                | Δ                | Δ                | x                                      |
| CEM II/A-L <sup>w</sup> , CEM II/A-LL  | +                | +              | +                | +              | +                 | +                             | +                   | +               | +               | +                | +                | +                | x                                      |
| CEM II/A-M   | +                | +              | +                | +              | +                 | +                             | +                   | +               | +               | +                | +                | +                | +n u                                   |
| CEM II/A-D   | +                | +              | -q               | +              | -q                | +                             | xq                  | +               | +               | +                | +                | +                | +n u                                   |
| CEM II/B-S   | +                | +              | +                | +              | +                 | +                             | +                   | +               | +               | +                | +                | +                | +n u                                   |
| CEM II/B-V   | +                | +              | +                | +              | Δ                 | +                             | Δ                   | +               | +               | +                | +                | +                | +n u                                   |
| CEM II/B-L, CEM II/B-LL  | Φ                | x              | x                | x              | x                 | x                             | x                   | Φ               | Φ               | x                | x                | x                | x                                      |
| CEM II/B-M   | +v               | Δ <sup>v</sup> | Δ <sup>v</sup>   | Δ <sup>v</sup> | Δ                 | Δ                             | Δ                   | +               | +               | Δ <sup>v</sup>   | Δ <sup>v</sup>   | Δ <sup>v</sup>   | +n u                                   |
| CEM III/A  | Φ                | +              | +                | Φ              | Δ                 | +                             | Δ                   | Φ               | Φ               | +                | +                | +                | x                                      |
| CEM III/B  | Φ                | Δ              | Δ                | Φ              | Δ                 | +                             | Δ                   | Φ               | Φ               | Δ                | Δ                | Δ                | x                                      |

**Abbildung 4.1:** Grenzwerte bei GK 22 für die Zusammensetzung, die Eigenschaften von Beton und die Verwendung der Zemente bei den verschiedenen Betonkurzbezeichnungen [18]

#### 4.2.3 Wasser

Als Wasser für den Beton wurde reguläres Leitungswasser verwendet.

#### 4.2.4 Zusatzmittel

Als Zusatzmittel wurde ein Luftporenbildner, ein Fließmittel und ein Beschleuniger, welche alle in Kapitel 3.2 genauer beschrieben sind, verwendet. Die Menge wurde ursprünglich mit der empfohlenen Menge lt. Produktbeschreibung verwendet und im Zuge der Frischbetonversuche angepasst. Bei den Zusatzmitteln ist normalerweise darauf zu achten, dass eine Menge von 50 ml/kg Bindemittel pro Zusatzmittel und eine Gesamtmenge von 60 ml/kg Bindemittel nicht überschritten wird, wobei es nicht immer möglich war, diesen Punkt im Rahmen der Diplomarbeit einzuhalten. [14]

| Expositionsklasse | Mindestzementgehalt   |
|-------------------|-----------------------|
| XC4               | 280 kg/m <sup>3</sup> |
| XD2               | 320 kg/m <sup>3</sup> |
| XF2               | 300 kg/m <sup>3</sup> |
| XA1L              | 280 kg/m <sup>3</sup> |

**Tabelle 4.2:** Mindestzementgehalt bei Betonkurzbezeichnung B5 [14]

## 4.3 Mischungsverhältnis Erstellung

### 4.3.1 Mischungsbeschränkungen

Für die Mindest- und Maximalgrenzwerte, betreffend der einzelnen Komponenten, wurden die Grenzwerte der ÖNORM B 4710-1 [18] entnommen, wie in den Tabellen 4.2, 4.3 und 4.4 dargestellt.

Um die vergrößerte Oberfläche der rezyklierten Zuschlagstoffe auszugleichen, wurde beschlossen, den Mindestzementgehalt aus Tabelle 4.2 um 15 kg/m<sup>3</sup> zu erhöhen, was einen Mindestzementgehalt von 335 kg/m<sup>3</sup> ergibt. Der daraus resultierende Maximalwassergehalt mit einem W/B-Grenzwert von 0,50 aus Tabelle 4.3, beträgt 167,5 kg/m<sup>3</sup>. Der Mindestluftporengehalt für die Betonkurzbezeichnung B5 kann aus der Tabelle 4.4 abgelesen werden und beträgt  $\geq 4,0$  %.

**Abbildung 4.2:** Fortgesetzt [18]

|  |
|--|
| Es bedeutet: +: einsetzbar; x: nicht einsetzbar; Δ: mit Nachweis gemäß Fußnote „o“ einsetzbar; Φ: = mit Nachweis gemäß Fußnote „p“ einsetzbar.   |
| <sup>a</sup> Beton für die Expositionsklassen XC1 und XC2 darf nur dann mit künstlichen Luftporen hergestellt werden, wenn der maximale W/B-Wert eingehalten wird und für die Berechnung dieses W/B-Wertes der wirksame Wassergehalt um 75 % des tatsächlichen Luftgehaltes (in l/m <sup>3</sup> ) erhöht wird. Diese Anforderung gilt für Betone, die die Anforderungen für XF2, XF3 oder XF4 erfüllen, als nachgewiesen.   |
| <sup>b</sup> Für Festigkeitsklassen ab C35/45 darf der Beton auch ohne künstliche Luftporen hergestellt werden, wenn die vergleichbare Beständigkeit der Klassen XF2 und XF3 mit der in ONR 23303 vorgesehenen Prüfung im Zuge der Eignungsprüfung nachgewiesen wird.  |
| <sup>c</sup> Bei sulfathaltigen Taumitteln ist die Beständigkeit nicht gegeben.  |
| <sup>d</sup> Verlängerte Nachbehandlungsdauer gemäß <a href="#">Tabelle H.1</a> .  |
| <sup>e</sup> Bei Betonstraßen gemäß RVS 08.17.02 nur CEM II/...-S (DZ) gemäß ÖNORM B 3327-1.   |
| <sup>f</sup> HL-SW   |
| <sup>g</sup> W/B-Wert: wirksamer Wassergehalt, dividiert durch den anrechenbaren Bindemittelgehalt. Beim Wassergehalt ist das Flüssigkeitsvolumen (Wassergehalt) der Zusatzmittel größer als 3 l/m <sup>3</sup> Beton und der Betonzusätze (zB bei Verwendung von Silikastaub in Slurry-Form) voll in Rechnung zu stellen.   |
| <sup>h</sup> Anrechenbarer Bindemittelgehalt (B) = Zementgehalt + (k × anrechenbarer Zusatzstoffgehalt) (siehe <a href="#">5.2.5.2</a> ); Bindemittelgehalt = Zementgehalt + gesamter Zusatzstoffgehalt.   |
| <sup>i</sup> Siehe <a href="#">5.4.3</a> .   |
| <sup>j</sup> Anforderung bei der Eignungsprüfung gemäß <a href="#">Anhang A</a> . Diese Werte sind bei der Konformitätsprüfung nicht nachzuweisen. L300 und AF müssen bei XF4, und B7 bei der Eignungsprüfung nachgewiesen werden. Weiters müssen L300 und AF nachgewiesen werden, wenn Beton mit Luftporen mit Fließmitteln und/oder Verflüssigern und/oder Verzögerern hergestellt wird und kein Nachweis über die Verträglichkeit der Zusatzmittelkombination (siehe <a href="#">5.2.6</a> ) vorliegt. Zur Berechnung des Abstandsfaktors ist der Bindemittelgehalt als „Zement“ gemäß ONR 23303 bzw. ONORM EN 480-11 zu verwenden. |
| <sup>k</sup> Bei lösendem Angriff XA2L sind Gesteinskörnungen bzw. eine Mischung aus feinen Gesteinskörnungen mit Größtkorn ≤ 4 mm und einem CO <sub>2</sub> -Gehalt (bestimmt nach ÖNORM EN 196-2) von höchstens 15 % zu verwenden.   |
| <sup>l</sup> CEM I max. 3 % C <sub>3</sub> A   |
| <sup>m</sup> CEM I C <sub>3</sub> A-frei   |
| <sup>n</sup> Nur CEM II .../ C <sub>3</sub> A-frei, jedoch nur dann zulässig, wenn für diesen Zement der Nachweis der Sulfatbeständigkeit analog ÖNORM B 3309-1 vom Zementhersteller erbracht wird.  |
| <sup>o</sup> Diese Zemente sind geeignet, wenn mit diesen Zementen und mit der in dieser Tabelle geforderten Betonzusammensetzung ein Nachweis mit den Prüfverfahren gemäß ONR 23303:2010, Abschnitte 9.9 bis 9.11 (XF4 gilt auch für XF2) vorliegt.   |
| <sup>p</sup> Der anrechenbare Mindestbindemittelgehalt ist um 20 kg/m <sup>3</sup> zu erhöhen.   |
| <sup>q</sup> CEM II/A-D darf bei Frostangriff mit und ohne Taumittel (XF2, XF3, XF4) nur verwendet werden, wenn der Beton ohne künstliche Luftporen mit einem maximalen W/B-Wert 0,35 hergestellt wird.  |
| <sup>r</sup> Eignungsprüfung   |
| <sup>s</sup> Konformitätsprüfung, Identitätsprüfung  |
| <sup>t</sup> Zementgehalt im Allgemeinen: ≤ 430 kg/m <sup>3</sup> , Silikastaub-Gehalt: ≥ 7 % der Zementmasse  |
| <sup>u</sup> WT33 C <sub>3</sub> A-frei, bei Wanddicken bis 40 cm auch bis WT42 C <sub>3</sub> A-frei  |
| <sup>v</sup> Bei einem CO <sub>2</sub> -Gehalt des Zements > 10 % ist der anrechenbare Mindestbindemittelgehalt um 20 kg/m <sup>3</sup> zu erhöhen.  |
| <sup>w</sup> Bei der Verwendung eines CEM-II/A-L-Zementes ist die Prüfung gemäß Fußnote „o“ erforderlich, außer der TOC-Wert des für den im Zement verwendeten Kalkstein liegt bei ≤ 0,20 % gemäß ÖNORM EN 13639:2005.   |

| Expositionsklasse | W/Z-Grenzwert |
|-------------------|---------------|
| XC4               | 0,60          |
| XD2               | 0,50          |
| XF2               | 0,55          |
| XA1L              | 0,60          |

**Tabelle 4.3:** W/Z-Grenzwert bei Betonkurzbezeichnung B5 [14]

| Expositionsklasse | Mindestluftporenghalt |
|-------------------|-----------------------|
| XF2               | $\geq 4,0 \%$         |

**Tabelle 4.4:** Mindestluftporenghalt bei Betonkurzbezeichnung B5 [14]

### 4.3.2 Parameterzusammenführung

Für die Ermittlung eines endgültigen Mischungsverhältnisses wurden die Mischungsbeschränkungen aus Kapitel 4.3.1 benötigt. Die Zusammensetzung der einzelnen Gesteinskörnungen kann aus dem Kapitel 4.2.1 entnommen werden. Über die prozentualen Anteile der Korngruppen bzw. Kornklassen und der einzelnen Rohdichten konnte mithilfe der Formel 4.1 die mittlere Rohdichte der Gesteinskörnung ermittelt werden.

$$\rho_{g,m} = \frac{\sum \rho_{g,i} * \Delta m_{i,\%}}{\sum \Delta m_{i,\%}} \quad (4.1)$$

$\rho_{g,m}$  mittlere Rohdichte der Gesteinskörnung in kg  
 $\rho_{g,i}$  Rohdichte einer Korngruppe bzw. Kornklasse in kg  
 $\Delta m_{i,\%}$  prozentualer Masseanteil der Korngruppe bzw. Kornklasse

Über die mittlere Rohdichte und die restlichen Variablen konnte nun mithilfe der Formel 4.2 die benötigte Menge an Gesteinskörnung ermittelt werden. Über diese lassen sich anschließend sämtliche Bestandteile in Form von Listen, wie bei den Mischungsverhältnissen in Anhang E ersichtlich, zusammenfassen.

$$m_g = \rho_{g,m} * \left[ 1000 - \left( \frac{z}{\rho_z} + w + p \right) \right] \quad (4.2)$$

$m_g$  Gesamtmasse der benötigten Gesteinskörnung mit mittlerer Rohdichte in kg/m<sup>3</sup>  
 $\rho_{g,m}$  mittlere Rohdichte der Gesteinskörnung in kg/m<sup>3</sup>  
 $z$  Zementgehalt in kg/m<sup>3</sup>  
 $\rho_z$  Rohdichte des Zementes in kg/m<sup>3</sup>  
 $w$  Wassergehalt in kg/m<sup>3</sup>  
 $p$  Luftgehalt in %

Als letzter Schritt musste vom Zugabewasser noch die Menge des Luftporenbildners abgezogen werden, da dieser zur Menge des anrechenbaren Wassergehalts zählt sowie die Menge der oberflächlichen Gesteinsfeuchtigkeit, welche vor jedem Versuch zu ermitteln war.

### 4.3.3 Parametereingabe

Wenn alle Variablen und Parameter in Form einer Excel Tabelle verknüpft werden, lassen sich über die Eingabe der prozentualen Masseanteile der Gesteinskörnung, der Gesteinsfeuchtigkeit und der Menge an Zusatzmitteln alle anderen Anteile des Mischungsverhältnisses ausgeben. Für die Diplomarbeit wurden über 15 verschiedene Mischungsverhältnisse erstellt, wobei für eine Versuchsreihe eine oder drei Verhältnisse entstanden sind. Für jeden Versuch wurde ein Referenzbeton mit 0 % Gesteinsauswechslung hergestellt, welcher als Referenz dienen soll. Sobald die Frischbetoneigenschaften etwa den Anforderungen des Recyclingbetons entsprachen, wurden zwei weitere Mischungsverhältnisse mit einer Gesteinsauswechslung von etwa 30 % und 60% erstellt. Anhand der Ergebnisse der Prüfungen sollten anschließend die Einbußen der Frisch- und Festbetoneigenschaften mit zunehmendem Recyclinganteil ermittelt werden.

## 4.4 Versuche & Adaption

Bei jedem Versuch ist vor der Durchführung die Oberflächenfeuchtigkeit der Gesteinskörnung gemessen und bei betreffendem Mischungsverhältnis berücksichtigt worden. Anschließend wurden bei jeder Mischung Frischbetonprüfungen durchgeführt. Anhand dieser Prüfungen konnte das Mischungsverhältnis angepasst werden, um die Eigenschaften des Betons an die gestellten Anforderungen anzupassen. Zu den Mischungsverhältnissen ist zu sagen, dass der Zementgehalt, W/B-Wert und die Menge an Zusatzmitteln bei allen Mischungen einer Versuchsreihe immer gleich waren. Die einzigen Parameter, welche die Mischungen einer Versuchsreihe differenzierten, waren die massebezogenen Anteile an Gesteinsauswechslung durch die rezyklierte Gesteinskörnung und die Menge der verwendeten Zusatzmittel. Häufig auftretende Probleme waren:

- Zu hoher Luftporengehalt
- Zu geringes Ausbreitmaß bei 60 %iger Auswechslungsrate und damit verbundene schlechte Verarbeitbarkeit
- Zu geringe Rohdichte
- Sehr schnelles "Anziehen" des Betons und damit verbundene schlechte Verarbeitbarkeit

Nach einer Reihe an Frischbetonversuchen wurden auch Probekörper für die Festbetonprüfungen gemäß Kapitel 3.3 hergestellt. Diese wurden parallel zu den weiterlaufenden Frischbetonversuchen und Adaptionen geprüft. Insgesamt wurden 46 Prismen an zwei Terminen hergestellt und im Laufe von vier Monaten geprüft. Die Ergebnisse dazu befinden sich in Anhang G.

### 4.4.1 Versuchsdurchführung & Verarbeitungshinweise

Ein wichtiger Punkt bei der Herstellung von Recyclingbeton ist die korrekte Mischungsreihenfolge. Eine normative Regelung für das Zusammenmischen von Recyclingbeton gibt es in Österreich nicht. Hier findet aktuell die ÖNORM B 4710-1 [18] Anwendung und unterscheidet nicht zwischen regulärer und rezyklierter Gesteinskörnung. Bei der Mischung

vom 09. Dezember 2021 aus Anhang E liegt im Anhang F kein Prüfprotokoll vor. Grund hierfür waren diverse Änderungen bei den Mischungsbedingungen. Bei der Mischung wurde Gesteinskörnung verwendet, welche über die Nacht von Schnee bedeckt war, die Reihenfolge der Zugabe der einzelnen Bestandteile geändert und die Mischmaschine gegen einen Zwangsmischer ausgewechselt wurde. Die Frischbetoneigenschaften waren bei erwähnter Mischung so stark verändert, dass ein Prüfen nicht möglich war. Bei der Verwendung von rezykliertem Gesteinskörnung sollte diese erst nach dem Beimengen der restlichen Gesteinskörnung hinzugefügt werden. Ein weiterer Verarbeitungshinweis, welcher während dem Mischen aufgefallen ist, dass die Zementmenge sich besser mit der Gesteinskörnung verbindet und weniger an den Oberflächen der Mischungsvorrichtung kleben bleibt, wenn der Zement nicht gänzlich auf einmal beigemischt wird, sondern dies schrittweise in zwei oder drei Etappen vor und während dem Beigeben des Recyclingmaterials geschieht. Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Herstellung von Recyclingbeton ist die Oberflächenfeuchtigkeit zum Zeitpunkt des Mischens. Diese beeinflusst bei Recyclingbeton die Frischbetoneigenschaften deutlich stärker als bei herkömmlichem Beton. Ein Phänomen, welches hierbei auftreten kann ist, dass die Gesteinskörnung dem Recyclingbeton beim Mischen die Feuchtigkeit deutlich stärker entzieht als gewöhnlich und sowohl die Konsistenz als auch die Hydratation des Betons stark darunter leiden. Empfehlenswert ist es daher, die Gesteinskörnung am Vortag zu benässen, um den Oberflächenfeuchtegehalt zu erhöhen.

# Kapitel 5

## Prüfungen / Ergebnisse

### 5.1 Frischbetonprüfungen

Martin Mayr

Die Prüfungen für die Feststellung der Frischbetoneigenschaften wurden gemäß Kapitel 3.3.1 durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Prüfungen zu den verschiedenen Mischungsverhältnissen aus Kapitel 4 befinden sich in Form von Protokollen im Anhang F. Im folgenden Kapitel sind Graphiken zu den Frischbetoneigenschaften dargestellt, wobei die Farben der Punkte das Herstellungsdatum der Mischung darstellen. Die zugeordneten Farben zu den Terminen sind in Abbildung 5.1 dargestellt.

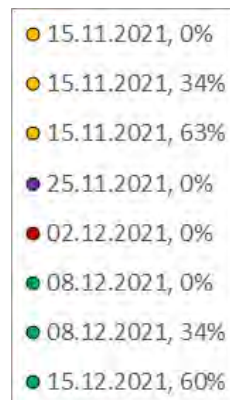


Abbildung 5.1: Legende Farbzugehörigkeit der Punkte [19]

#### 5.1.1 Konsistenz

Die Konsistenz nimmt mit steigendem Recyclinganteil, wie in Abbildung 5.2 dargestellt, bis zu einer Austauschrate von 34 % nicht ab und befindet sich innerhalb der geforderten Grenzen gemäß Kapitel 3.1. Bei den Mischungsverhältnissen mit einer Auswechslungsrate von 34 % beträgt der rezyklierte Feinkornanteil 8,75 % der Gesamtmasse. Bei einer Austauschrate von 60 % ist ein klarer Abfall des Ausbreitmaßes  $f$  bemerkbar. Der rezyklierte Feinkornanteil beträgt hier beim ersten Versuch 28,0 % der Gesamtmasse, was etwa dem Dreifachen der Masse als bei einer Auswechslungsrate von 34 %, entspricht. Beim zweiten Versuch beträgt der rezyklierte Feinkornanteil 22 %, was etwa dem 2,5-fachen der Gesamtmasse als bei einer Auswechslungsrate von 34 %, entspricht.

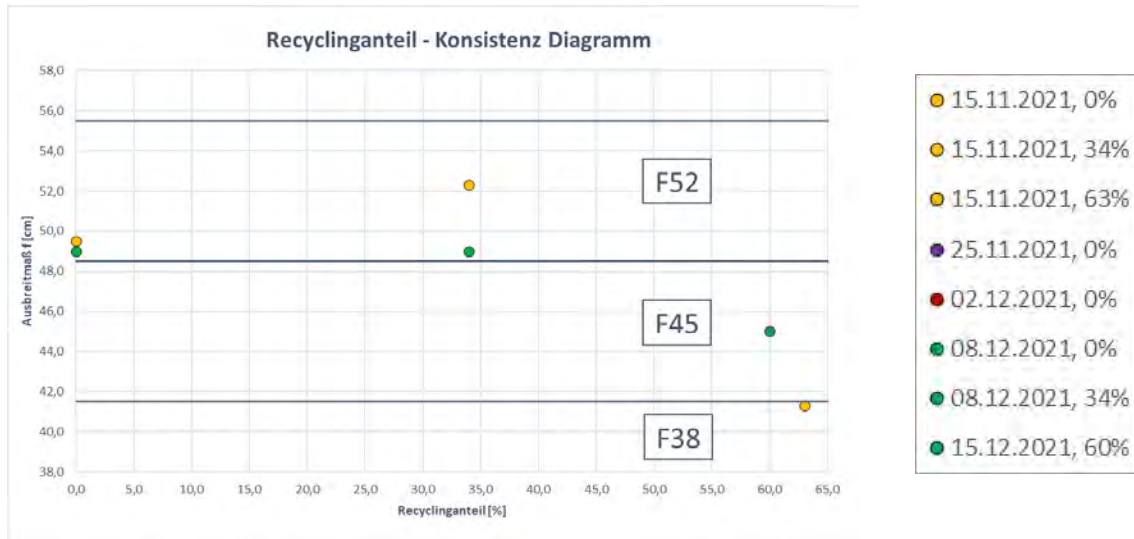


Abbildung 5.2: Ausbreitmaß  $f$  in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19]

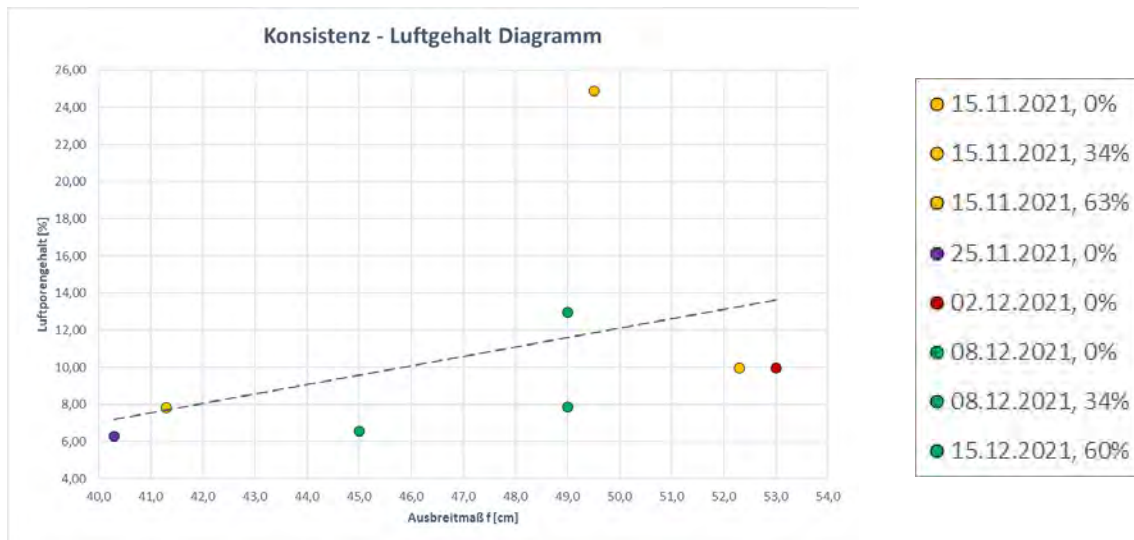


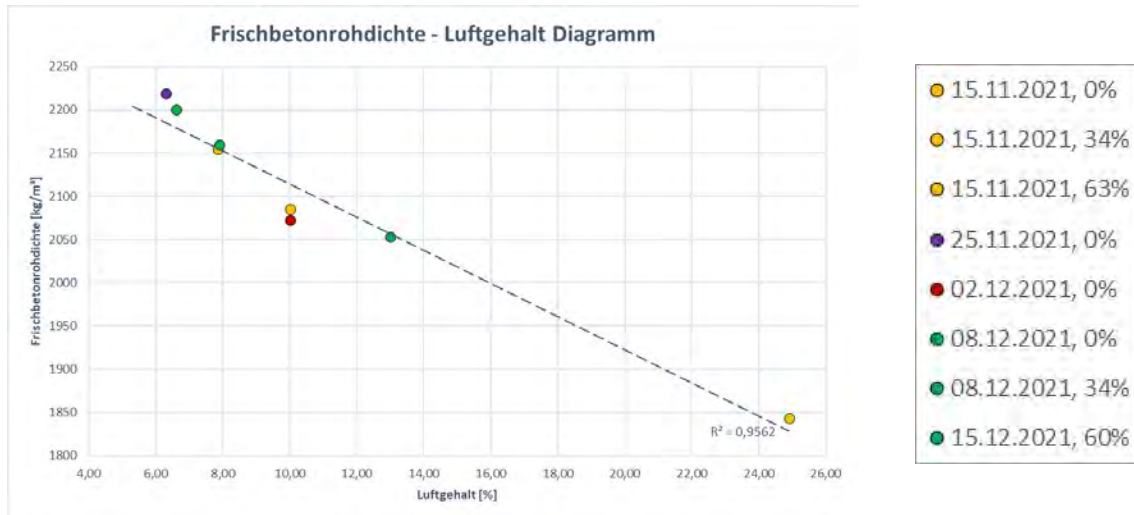
Abbildung 5.3: Ausbreitmaß  $f$  in Abhängigkeit des Luftgehalts [19]

Über die Konsistenz in Abhängigkeit des Luftporengehalts, wie in Abbildung 5.3 dargestellt, ist zu sagen, dass ein Anstieg des Ausbreitmaßes  $f$  von etwa 1,98 cm pro 1 Vol.% bei linearem Zusammenhang zu verzeichnen ist, wobei die Werte deutlich streuen.

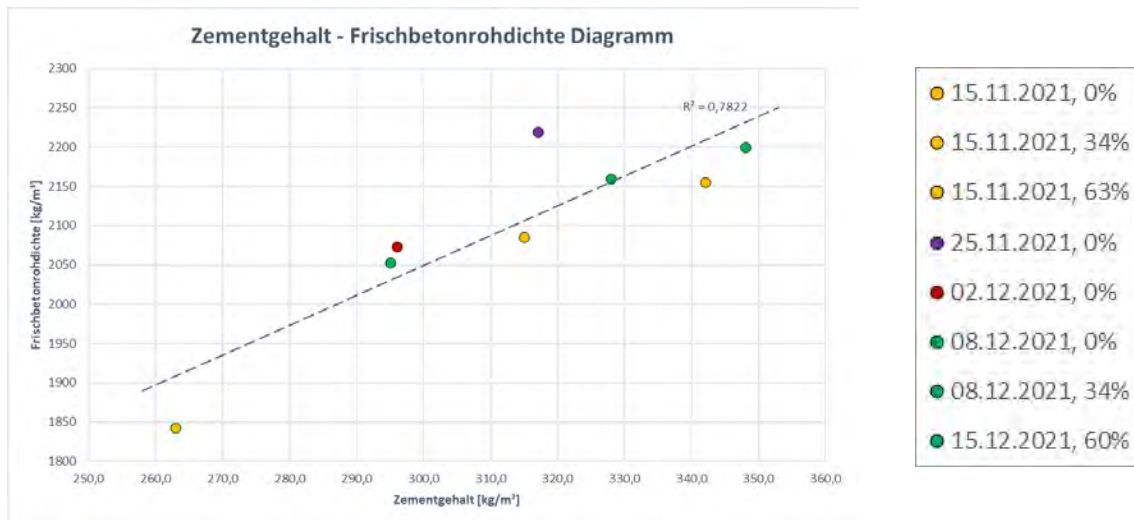
### 5.1.2 Frischbetonrohddichte

Bei der Frischbetonrohddichte lässt sich ein sehr starker, linearer Zusammenhang mit dem Luftporengehalt herstellen, wie in der Abbildung 5.4 abgebildet. Die Rohddichte nimmt um etwa  $19,2 \text{ kg/m}^3$  pro 1 Vol.% ab. Ausreißer finden sich bei den Prüfungsergebnissen nicht wieder.

Zwischen der Frischbetonrohddichte und dem Zementgehalt besteht ein direkter, linearer Zusammenhang, was aus der Formel 3.3 hervorgeht. Dieser Zusammenhang spiegelt sich stark in der Abbildung 5.5 wider, da sämtliche zusammenhängende Punkte auf einer



**Abbildung 5.4:** Frischbetonrohddichte in Abhängigkeit des Luftgehalts [19]



**Abbildung 5.5:** Frischbetonrohddichte in Abhängigkeit des Zementgehalts [19]

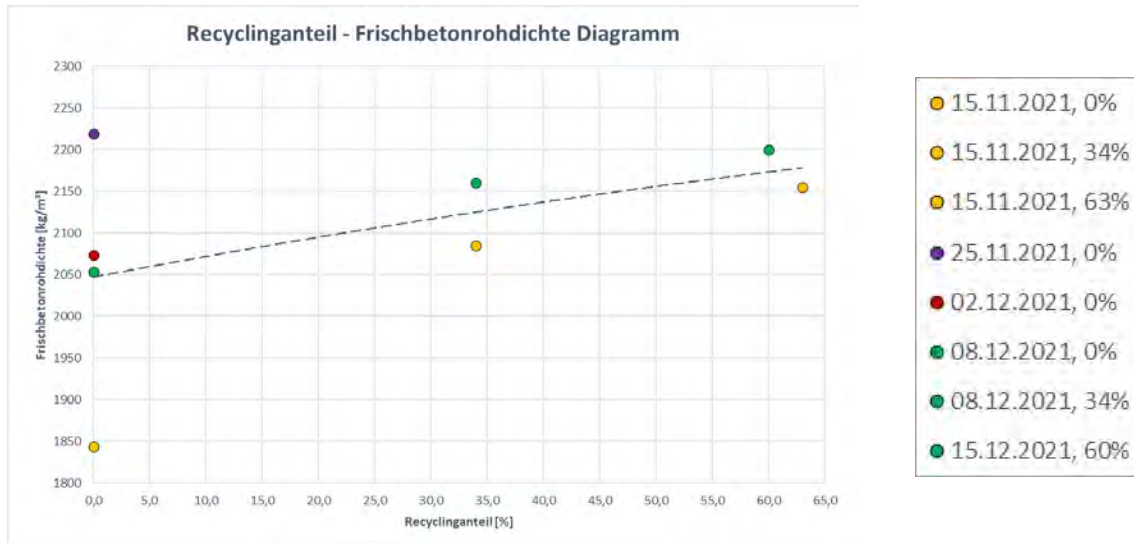
Geraden liegen.

Aus der Abbildung 5.6 ist ein geringfügig parabolischer Zusammenhang zwischen dem Recyclinganteil des Betons und der Frischbetonrohddichte zu erkennen. Bei einer Zunahme von 10 % Recyclinganteil ist ein Anstieg von etwa 15 - 20 kg/m<sup>3</sup> zu verzeichnen.

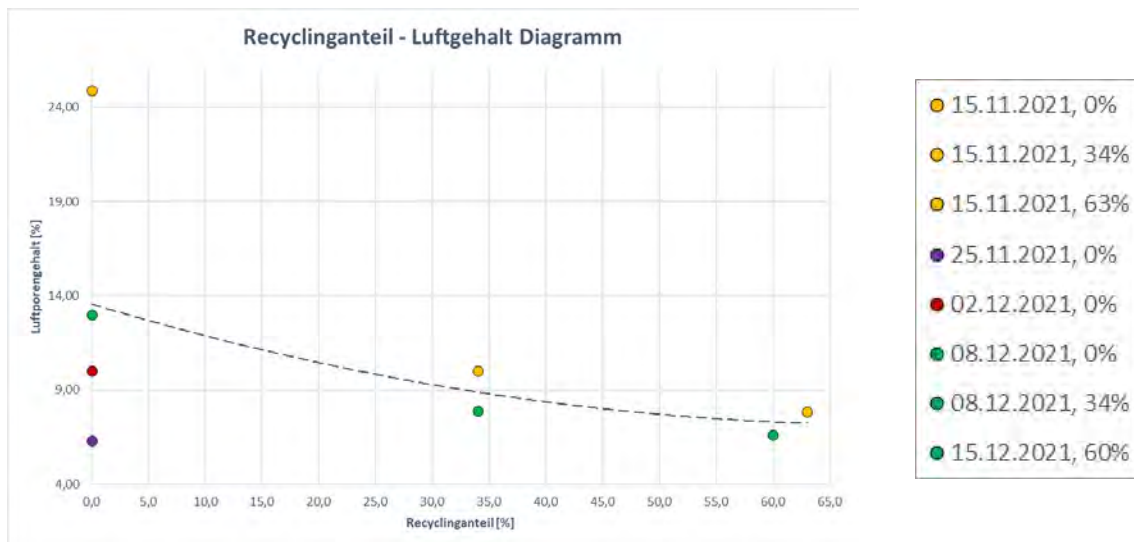
### 5.1.3 LP-Gehalt

Der parabolische Zusammenhang zwischen Recyclinganteil und Frischbetonrohddichte wird besonders stark erkenntlich bei der Betrachtung der Interaktion zwischen Recyclinganteil und Luftporengehalt. Die Abbildung 5.7 zeigt, dass der Luftporengehalt mit zunehmendem Recyclinganteil deutlich abnimmt.





**Abbildung 5.6:** Frischbetonrohddichte in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19]



**Abbildung 5.7:** Luftporenanteil in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19]

### 5.1.4 Zementgehalt

Der Zementgehalt nimmt, wie in Abbildung 5.8 ersichtlich, mit zunehmendem Luftporengehalt, genau wie die Frischbetonrohddichte, linear ab, wobei die Werte hier wesentlich stärker streuen als bei der Rohddichte.

Auch in Abbildung 5.9 verhält sich der Zementgehalt in Abhängigkeit des Recyclinganteils ähnlich wie die Frischbetonrohddichte. Der Zementgehalt nimmt bei einer Steigerung des Recyclinganteils von 10 % um etwa  $8,5 \text{ kg/m}^3$  zu.

### 5.1.5 W/B-Wert

Über den Wasser - Bindemittelwert lassen sich keine Aussagen in Abhängigkeit des Recyclinganteils machen, wie es in Abbildung 5.10 dargestellt ist. Die Werte haben keinen

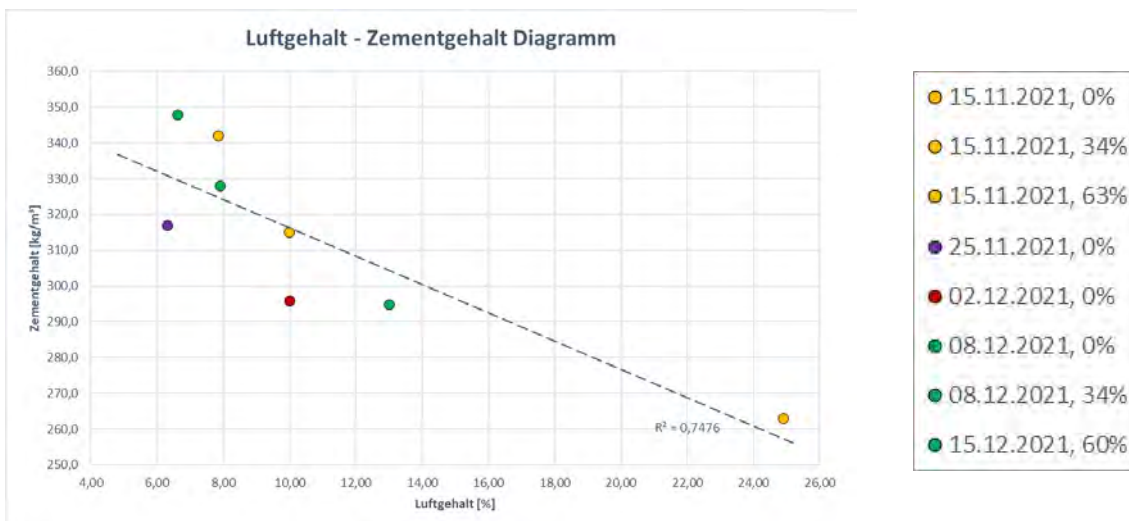


Abbildung 5.8: Zementgehalt in Abhängigkeit des Luftgehalts [19]

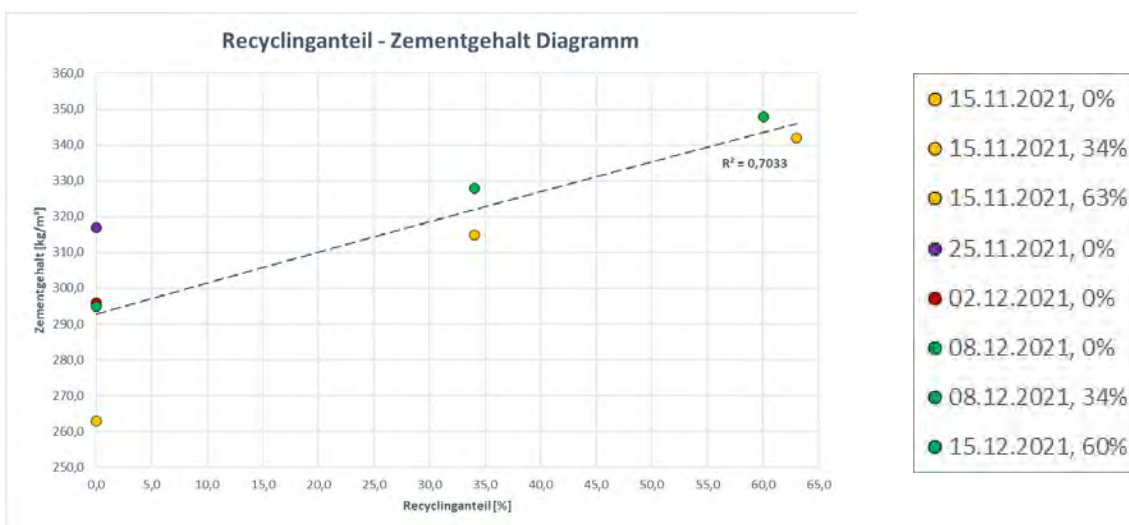


Abbildung 5.9: Zementgehalt in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19]

klaren Zusammenhang und wirken unbeeinflusst von der rezyklierten Gesteinskörnung.

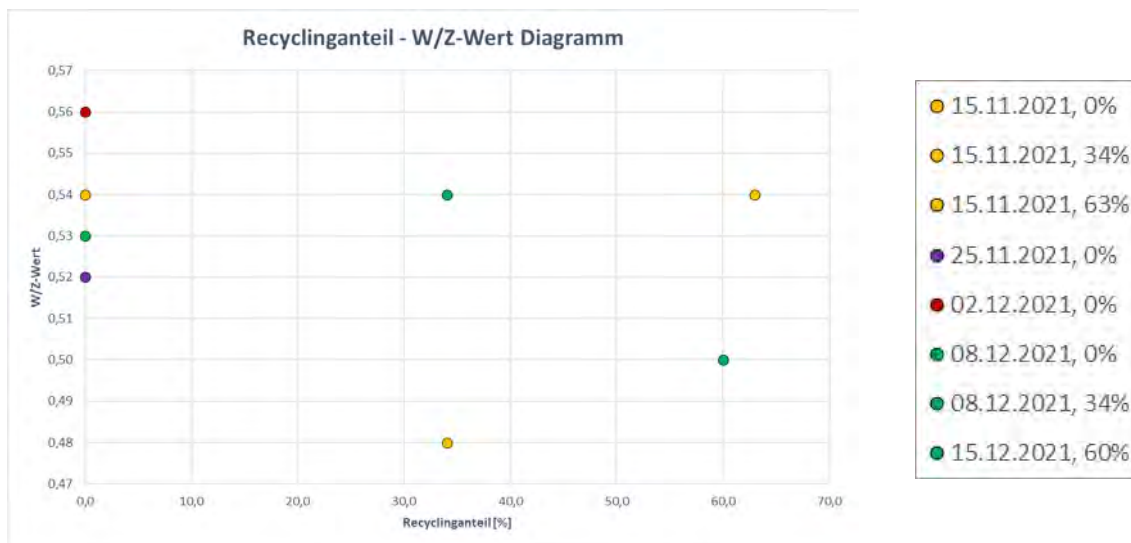


Abbildung 5.10: Wasserbindemittelwert in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19]

## 5.2 Festbetonprüfungen

Alexander Nofirth

Die Prüfungen für die Feststellung der Festbetoneigenschaften wurden gemäß Kapitel 3.3.1 durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Prüfungen zu den verschiedenen Mischungsverhältnissen aus Kapitel 4 befinden sich in Form von Protokollen im Anhang G.

### 5.2.1 Druckfestigkeit

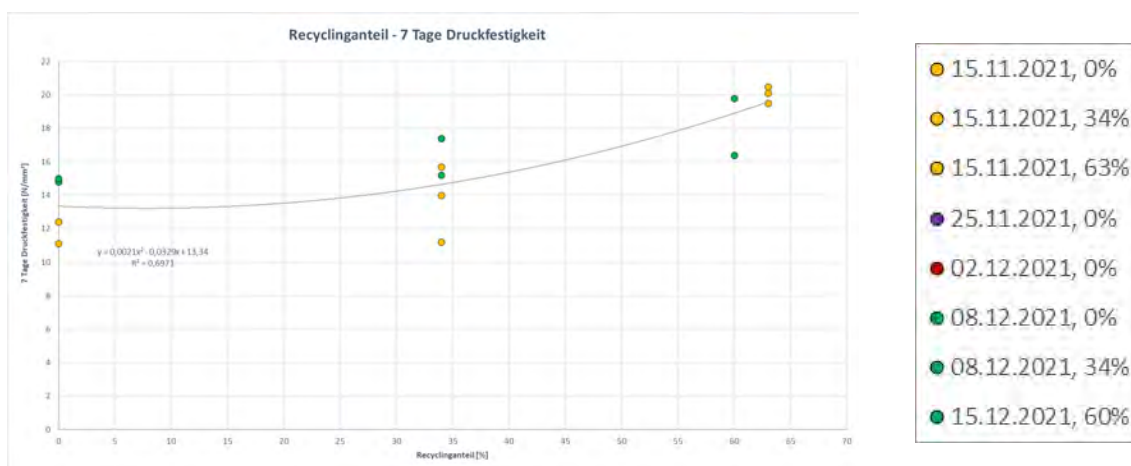
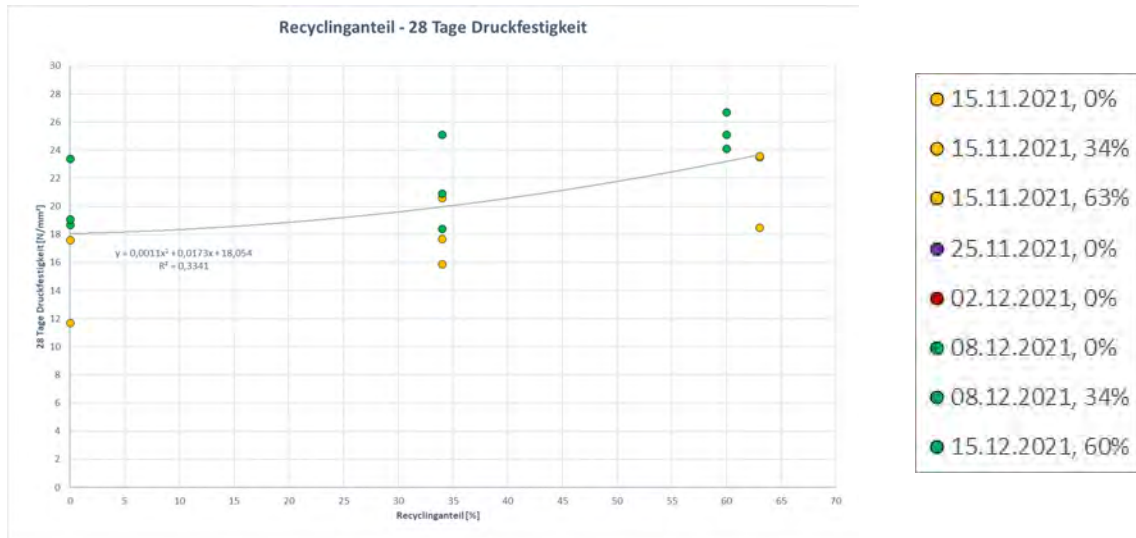


Abbildung 5.11: 7 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19]

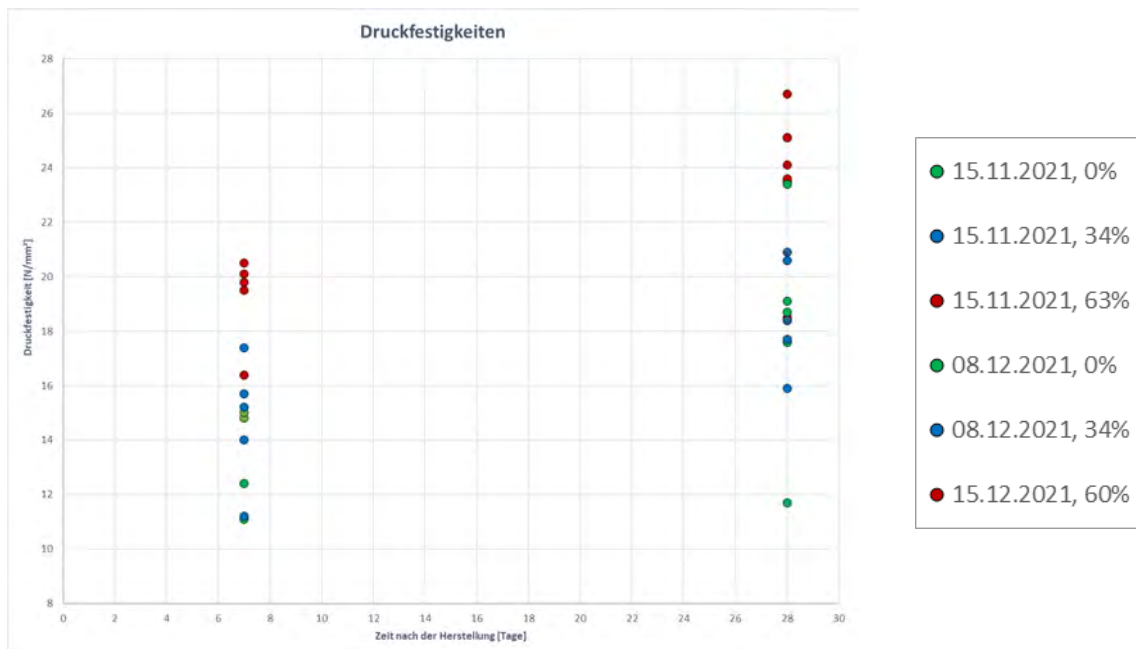
Die Diagramme 5.11 und 5.12 zur Druckfestigkeit zeigen einen Zuwachs sowohl bei der 7-Tage-Druckfestigkeit als auch der 28-Tage-Druckfestigkeit durch das Erhöhen des Anteils an rezyklierter Gesteinskörnung in der Betonherstellung. Trotz der Streuung beim Vergleich der Mischungsrezepturen, ist die durch die rezyklierte Gesteinskörnung bedingte

Steigerung der Druckfestigkeit eindeutig herauszulesen.



**Abbildung 5.12:** 28 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19]

Die Grafik 5.13 veranschaulicht die Ergebnisse der beiden Druckfestigkeitsprüfungen 7 und 28 Tage nach der Herstellung der Probekörper. Zur besseren Verdeutlichung erfolgt die Farbkodierung nach dem Anteil rezyklierter Gesteinskörnung.



**Abbildung 5.13:** Übersicht über die Ergebnisse der 7 Tage Druckfestigkeitsprüfung sowie 28 Tage Druckfestigkeitsprüfung [19]

### 5.2.2 Festbetonrohddichte

Die Diagramme 5.14 und 5.15 stellen den Zusammenhang zwischen der Festbetonrohddichte und der jeweiligen Druckfestigkeit dar. Die Grafiken verweisen auf die Relation, dass mit dem Anstieg der Rohddichte eine Zunahme der Druckfestigkeit einhergeht.

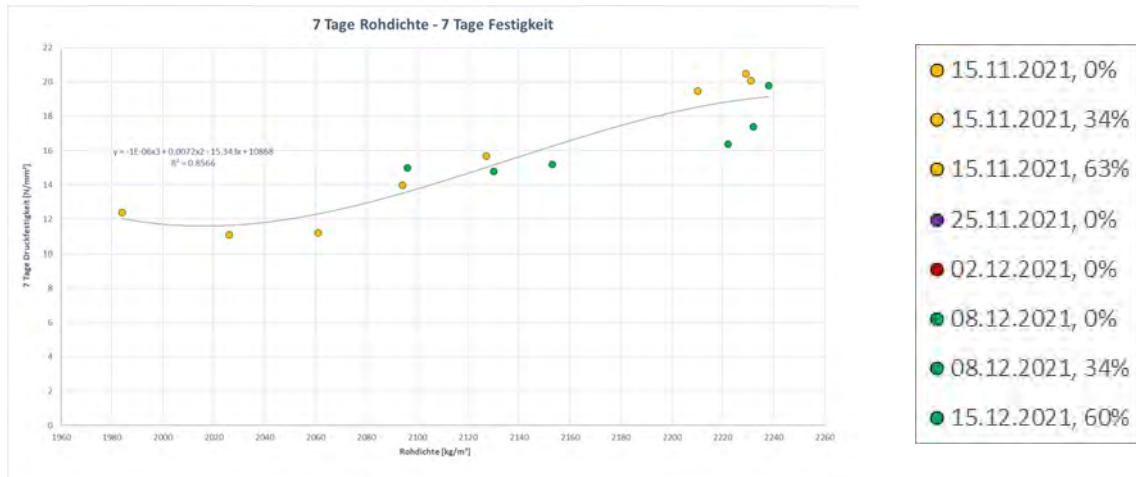


Abbildung 5.14: 7 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit der 7 Tage Rohddichte [19]

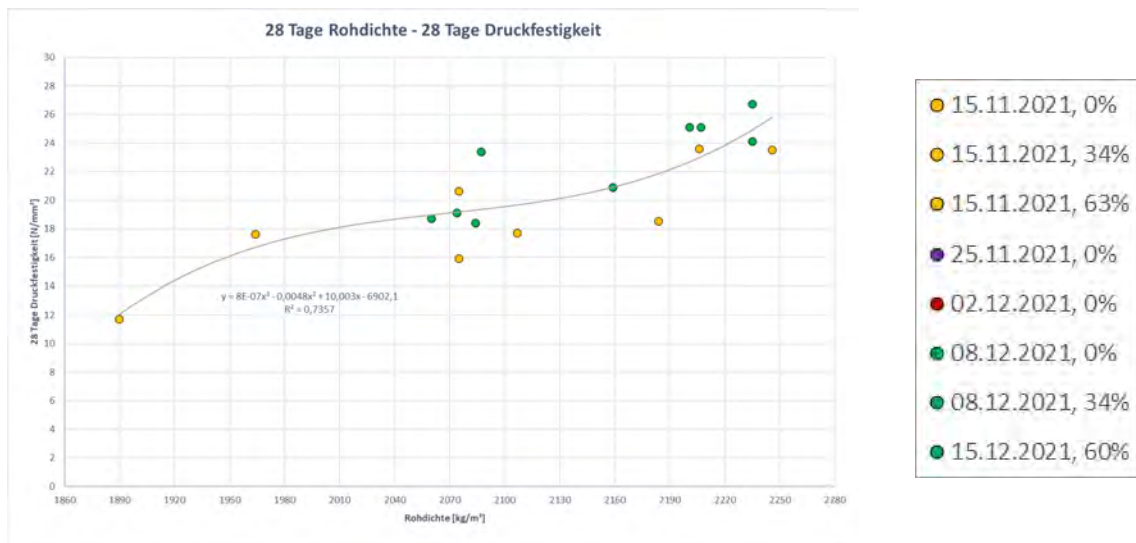


Abbildung 5.15: 28 Tage Festigkeit in Abhängigkeit der 28 Tage Rohddichte [19]

In dem Diagramm 5.16 ist eine direktere Relation zwischen dem Anteil an rezykliertem Zuschlagstoff und der Rohddichte 28 Tage nach der Betonherstellung erkennbar. Eine Steigerung des Recyclinganteils deutet auf eine Zunahme der 28 Tage Druckfestigkeit hin.

### 5.2.3 LP-Gehalt

Bei der Betrachtung des Zusammenhangs zwischen dem Luftporengehalt und der 28 Tage Druckfestigkeit im Diagramm 5.17 ist eine Abnahme der Druckfestigkeit mit dem Zuwachs des Luftporengehalts abzulesen.

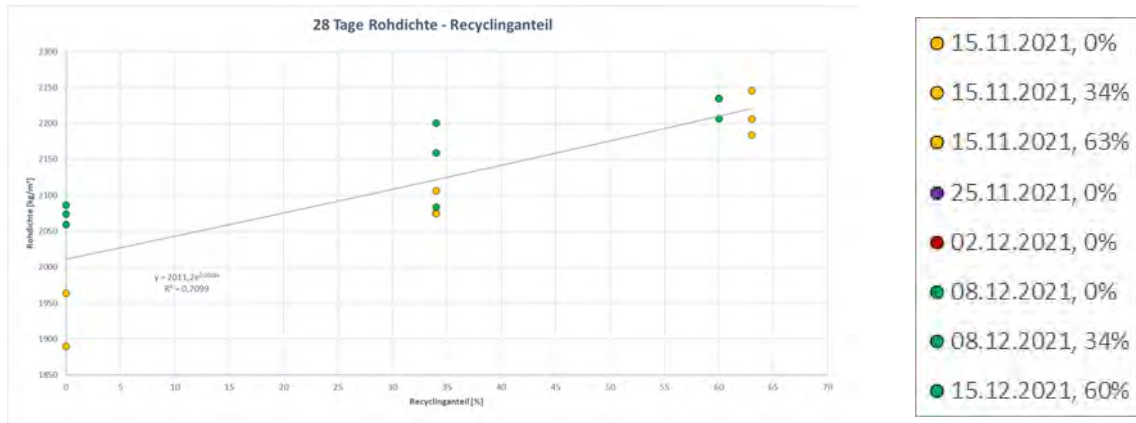


Abbildung 5.16: 28 Tage Rohdichte in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19]

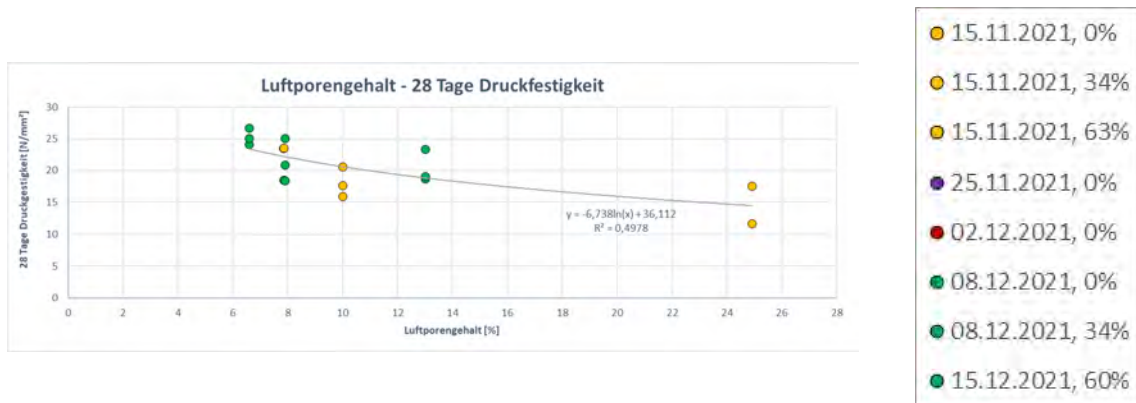


Abbildung 5.17: 28 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Luftporengehalts [19]

### 5.2.4 W/B-Wert

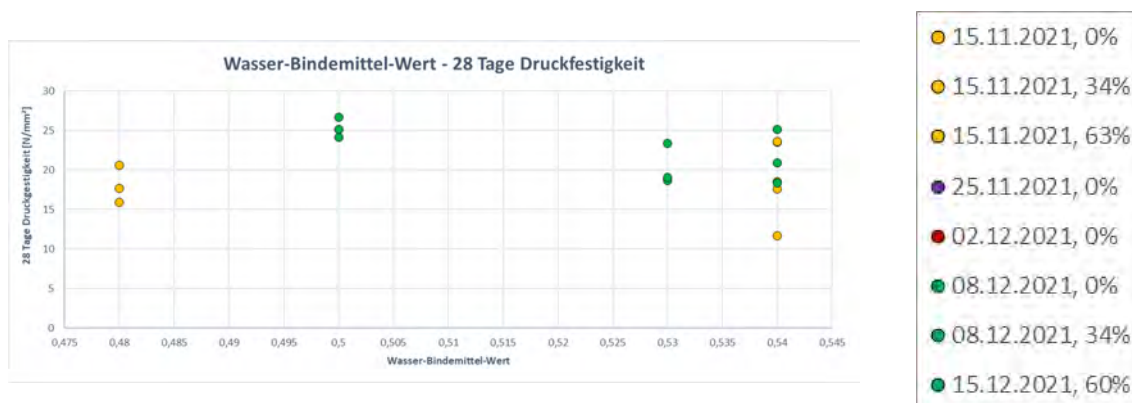
Im Diagramm 5.18 wird auf die 28 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Wasser-Bindemittel-Werts eingegangen. Aufgrund etlicher, weiterer Parameter in der Betonherstellung und der Streuung der Ergebnisse lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang ermitteln.

### 5.2.5 Bruchbilder

Werden die Bruchbilder der Probekörper der Druckfestigkeitsprüfung mit den Beispielen der ÖNORM EN 12390-4 [43] verglichen, weisen nahezu sämtliche Probekörper ein der ersten Darstellung ähnliches, zufriedenstellendes Bruchbild auf. Ein marginaler Anteil der Bruchbilder der Probekörper ähnelt der ersten Darstellung der nicht zufriedenstellenden Bruchbilder.

Die Abbildung 5.21 veranschaulicht die Gegenüberstellung der Bruchbilder der Probekörper in Abhängigkeit des Recyclinganteils. Bei diesem Vergleich ist kein direkter Zusammenhang zwischen dem Recyclinganteil und dem Bruchbild des Probekörpers feststellbar.





**Abbildung 5.18:** 28 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Wasser-Bindemittel-Werts [19]



**Abbildung 5.19:** Jenes Bruchbild aus der ÖNORM EN 12390-4, welches bei den Druckfestigkeitsprüfungen am häufigsten auftritt [43]

### 5.2.6 Elastizitätsmodul

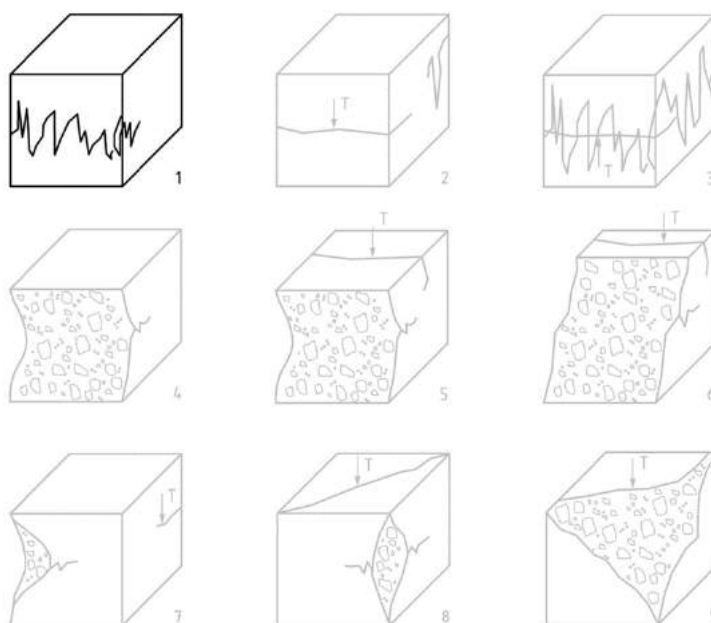
Aufgrund von technischen Schwierigkeiten konnten die Versuche leider nicht während des Zeitraumes der Diplomarbeit in der Versuchsanstalt durchgeführt werden.

### 5.2.7 Wasserundurchlässigkeit

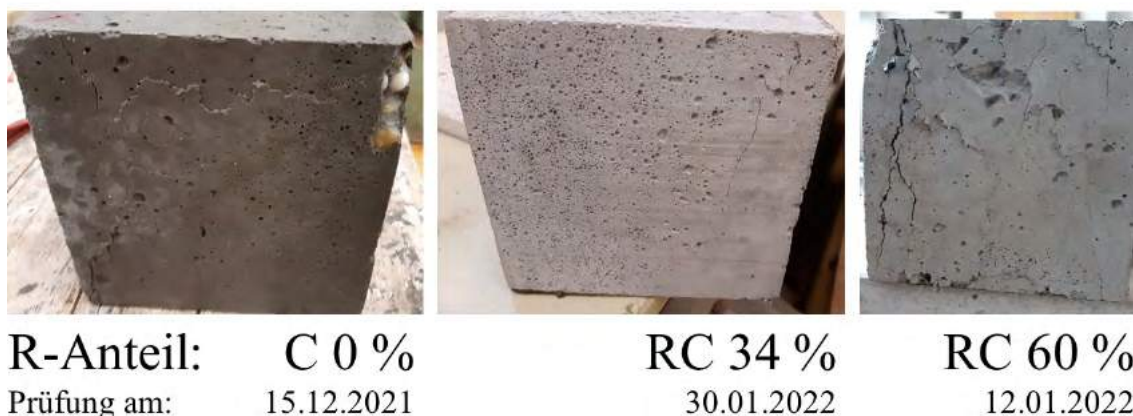
Aufgrund von technischen Schwierigkeiten konnten die Versuche leider nicht während des Zeitraumes der Diplomarbeit in der Versuchsanstalt durchgeführt werden.

### 5.2.8 Frost-/ Tausalz Beständigkeit

Die Frost-/ Tausalzbeständigkeitsprüfungen finden zum Zeitpunkt der Abgabe der Diplomarbeit noch in den Laboren der MA 39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien statt, wodurch keine Ergebnisse im Rahmen der Diplomarbeit veröffentlicht werden können.



**Abbildung 5.20:** Jenes Bruchbild aus der ÖNORM EN 12390-4, das sich ebenso bei den Druckfestigkeitsprüfungen ausbildete [43]



**Abbildung 5.21:** Gegenüberstellung der Bruchbilder der Probekörper mit unterschiedlichen Recyclinganteilen [19]



# Kapitel 6

## Zusammenfassung

Martin Mayr & Alexander Nofirth

### 6.1 Interpretation / Schlussfolgerung

Die folgende Interpretation bezieht sich auf die Ergebnisse aus Kapitel 5 und soll den Zusammenhang der einzelnen Eigenschaften, welche im Laufe der Prüfungen ermittelt worden sind, beschreiben.

Bevor auf die einzelnen Parameter und Ergebnisse eingegangen werden kann, ist noch folgendes zu sagen. Durch den Einsatz von feinkörniger, recycelter Gesteinskörnung ist die Streuung der Einzelwerte im Vergleich zu herkömmlichen Betonprüfungen innerhalb der Branche sehr hoch und die Druckfestigkeiten relativ gering. Dies unterstützt die Aussagen von anderen wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema Recyclingbeton, wie jene von Bödefeld und Reschke [48] oder Binder und Fuchs [8]. Als zweiter Punkt, welcher die Prüfungsergebnisse der Diplomarbeit noch maßgeblich beeinflusst hat, ist der Luftporengehalt des Frischbetons zu nennen. Durch den dauerhaft erhöhten Luftporengehalt zufolge des Luftporenbildners hat sich folglich ein etwas vermindert kompaktes Korngefüge innerhalb des Betons gebildet, was zu einer geringen Rohdichte und somit auch einem verringerten Wasser- und Zementgehalt geführt hat. Vor allem aber hat dies zu merklichen Einbußen bei der Druckfestigkeit geführt. Lösungsvorschläge, um diese Fehlerquellen zu vermeiden, werden im Kapitel 6.2 näher erläutert, in Form von Verbesserungsvorschlägen für künftig neu erstellte Betonrezepte und weitere Prüfungen, welche Aufschluss über noch unbekanntete Eigenschaften von Recyclingbetonen geben sollen.

Die erste Eigenschaft, welche sofort bei der Herstellung auffällt, ist die drastische Abnahme der Konsistenz bei zunehmend rezykliertem Feinkornanteil. Bei Mischungsverhältnissen mit etwa 8 % rezykliertem Feinkornanteil waren die Auswirkungen kaum merkbar, was sich auch in den Prüfergebnissen widerspiegelt. Bei einer Menge von 28 % rezykliertem Feinkornanteil waren die Auswirkungen allerdings deutlich sichtbar. Als Grund hierfür, würde die vergrößerte Oberfläche der rezyklierten Gesteinskörnung bei einer Kornform als Kantkorn nahe liegen.

Eine weitere Eigenschaft, ungeachtet des Recyclinganteils, ist die Zunahme der Konsistenz bei steigendem Luftporengehalt. Dies ist in diverser Literatur, wie beispielsweise von Weber [14], beschrieben und wird durch die Ergebnisse der Diplomarbeit gestützt. Eine Änderung der Eigenschaften, welche von anderen wissenschaftlichen Arbeiten zum aktuellen Zeitpunkt beinahe gar nicht beschrieben wird und im Laufe dieser Diplomarbeit zum

Vorschein getreten ist, ist die Abnahme des Luftporengehalts mit zunehmendem Recyclinganteil. Ein eindeutiger Grund für dieses Verhalten kann durch diese Diplomarbeit nicht genannt werden. Es ist auch nicht klar, ob diese Abnahme dem rezyklierten Feinkornanteil zuzuschreiben ist oder eine allgemeine Eigenschaft von rezyklierter Gesteinskörnung ist. Besonders stark wirkt sich diese Eigenschaft bei den sehr hohen Luftporengehalten auf die Druckfestigkeit aus. Der Druckfestigkeitsanstieg bei zunehmendem Recyclinganteil kann hierdurch sehr gut erklärt werden. Ein weiterer Grund für die erhöhte Druckfestigkeit bei erhöhten Austauschraten ist die bessere Verzahnung von Kantkörnern, aus welchen die rezyklierte Gesteinskörnung besteht.

## **6.2 Aussichten / Ausblick**

### **6.2.1 Betoneigenschaften**

Zur detaillierten Untersuchung der Herstellung von Gleistragplatten bzw. Unterbauplatten aus Recyclingbeton bedarf es weiteren Prüfungen sowie Versuchen. Im Besonderen gilt dies für die Druckfestigkeit nach 56 Tagen, da Unterschiede in der Festigkeitsentwicklung des Recyclingbetons gegenüber jener des konventionellen Betons auftreten können. In Bezugnahme auf das Schwind- sowie Kriechverhalten ist die Durchführung von Versuchen ebenso von Interesse, um die Erfordernisse einer Erhöhung der Packungsdichte bzw. Vorbehandlung der Gesteinskörnung in Zementmilch zu beurteilen. Außerdem würden Prüfungen zur Ermittlung des Elastizitätskoeffizienten den Rückschluss auf das Verhalten des Recyclingbetons in Relation zu konventionellem Beton ermöglichen. Zur Beurteilung des Recyclingbetons unter Lastwechseln bedarf es Versuche mit dynamischer / zyklischer Beanspruchung. Des Weiteren werden die Ergebnisse der Frost-Tausalz-Prüfung durch die Magistratsabteilung 39 weitere Erkenntnisse über den Widerstand des Recyclingbetons gegen Umwelteinflüsse liefern.

### **6.2.2 Zuschlagstoff**

Weitere Untersuchungen des sortenreinen Materials der aufgebrochenen Gleistragplatten würden die Entwicklung des Recyclingbetons insofern begünstigen, indem die Mischungsrezeptur dementsprechend optimiert sowie genauere Annahmen über die Eigenschaften des Recyclingbetons getroffen werden könnten. Ebenso ist dabei der Vorgang des Brechens von Relevanz, da dieser einen essentiellen Einfluss auf die Kornform aufweist. Des Weiteren besteht die Empfehlung, keine Substitution des Feinkorns 0/2 durch rezyklierte Gesteinskörnung vorzunehmen, wie es aus Fachgesprächen sowie der Literaturrecherche zu entnehmen war.

### **6.2.3 Bindemittel**

Auf Basis mehrerer Fachgespräche wurde die Empfehlung ausgearbeitet, einen Zement mit der Kennzeichnung CEM II/C oder CEM III/A zu wählen, nachdem dieser die Hohlräume besser ausfüllen soll. Des Weiteren liegt eine Senkung des Wasser-Bindemittel-Werts auf kleiner gleich 0,45 nahe, um die Anforderungen hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit des Betons zu gewährleisten. Hinsichtlich der Wasser- sowie Gaspermeabilität sind ebenso Untersuchungen erforderlich, um diesbezügliche Aussagen detaillierter darzulegen.

#### 6.2.4 Zusatzmittel

Zudem sind weitere Versuche hinsichtlich des Luftporengehalts des Betons durchzuführen, um auf Basis dessen eine Adaption der Betonrezeptur zu ermöglichen.

### 6.3 Conclusio

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurden zahlreiche theoretische Fragestellungen bearbeitet und eine Vielzahl von Prüfungen durchgeführt, um eine Aussage über die Verwendbarkeit von rezyklierter Gesteinskörnung bei den Gleistragplatten im Schienenverkehrswesen treffen zu können.

Im Laufe der Prüfungen ist deutlich sichtbar geworden, dass bestimmte Faktoren, wie die Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung mit erhöhten Feinanteilen, eine besonders große Rolle spielen. Die Auswirkungen dieser Faktoren können allerdings durch Gegenmaßnahmen oder das Weglassen besagter Bestandteile wesentlich verbessert werden. Die Inhalte dieser Diplomarbeit geben einen Einblick, dass die Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung keine unlösbare Aufgabe darstellt und nur zu geringfügigen Defiziten bei den Eigenschaften führt, bei korrekter Anwendung. Die normativen Bestimmungen aus der ÖNORM B 4710-1 [18] haben hier also noch Spielraum und können in Zukunft definitiv angepasst werden.

Die Versuchsergebnisse aus Kapitel 5 und die Interpretation aus Kapitel 6.1 lassen darauf schließen, dass der Einsatz von etwa 30 % - 35 % rezyklierter Gesteinskörnung zu keinen relevanten Defiziten in den Eigenschaften führt. Für den Einsatz ist es allerdings wichtig, die Maßnahmen aus Kapitel 6.2 zu berücksichtigen. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Verwendung von sortenreinem Betonaufbruch der gleichen Güte und der Verwendung von herkömmlicher Gesteinskörnung bei der Kornfraktion 0/2. Bei weiterer Erforschung der Eigenschaften von Recyclingbeton, wie in Kapitel 6.2 vorgeschlagen, ist eine sinnvolle Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung bis zu einer Auswechslungsrate von etwa 40 % bis 50 %, bei gleichen Anforderungen, nicht auszuschließen.

# Abbildungsverzeichnis

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | UNO-Bevölkerungsanalyse und -prognose nach Kontinenten [2]  | 1  |
| 1.2  | Abfallaufkommen in Österreich zwischen 1990 und 2019 [4]  | 2  |
| 1.3  | Abfallaufkommen in 2019 nach Abfallgruppen getrennt [4]   | 2  |
| 1.4  | Tabellarische Zuordnung der Qualitätsklassen zu den Einsatzbereichen und Verwendungsverboten [9]                      | 5  |
| 2.1  | Auswirkungen der Kornform der Gesteinskörnung auf den Bedarf an Zementleim sowie die Verarbeitbarkeit des Betons [14] | 8  |
| 2.2  | Kategorien der Bestandteile von rezyklierten Gesteinskörnungen [17]   | 13 |
| 2.3  | Mindestanforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen [17]  | 13 |
| 2.4  | Mindestanforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen [17]  | 14 |
| 2.5  | Anforderungen an die Zusammensetzung des Zuschlagstoffes [18]   | 15 |
| 2.6  | Bestimmungen für die Substitution abhängig von der Expositionsklasse [18]   | 16 |
| 2.7  | Bestimmungen für die Substitution abhängig von der Betonkurzbezeichnung [18]  | 16 |
| 3.1  | Anforderungen an den rezyklierten Beton [19]  | 17 |
| 3.2  | Einteilung der Druckfestigkeitsklassen [18]   | 18 |
| 3.3  | Aufschlüsselung der jeweiligen Kurzbezeichnung des Betons [20]  | 19 |
| 3.4  | Auflistung der Expositionsklassen [20]  | 19 |
| 3.5  | Angeforderte Expositionsklasse hinsichtlich der Karbonatisierung [20]   | 20 |
| 3.6  | Angeforderte Expositionsklassen hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit sowie der Beanspruchung durch Chloride [20]  | 20 |
| 3.7  | Angeforderte Expositionsklassen hinsichtlich des Frostangriffs [20]   | 21 |
| 3.8  | Angeforderte Expositionsklasse hinsichtlich des chemischen Angriffs [20]  | 21 |
| 3.9  | Detailliertere Darstellung der Expositionsklassen hinsichtlich des chemischen Angriffs [21]                           | 22 |
| 3.10 | Bestimmungen hinsichtlich des Größtkorns sowie Luftgehalts in Abhängigkeit der Betonkurzbezeichnung [21]              | 22 |
| 3.11 | Klassifikation des Frischbetons hinsichtlich des Ausbreitmaßes [20]   | 23 |
| 3.12 | Mindestdauer der Nachbehandlung hinsichtlich der Festigkeitsentwicklungs-klasse sowie Betonsorte [20]                 | 24 |
| 3.13 | Kennzeichnung der rezyklierten Gesteinskörnung [19]   | 25 |
| 3.14 | Bestandteile der groben rezyklierten Gesteinskörnung [22]   | 25 |
| 3.15 | Sieblinie der rezyklierten Gesteinskörnung [22]   | 26 |
| 3.16 | Kennzeichnung des Bindemittels [19]   | 28 |
| 3.17 | Eigenschaften des Zements [29]  | 28 |
| 3.18 | Prüfgerät für das Druckausgleichsverfahren [37]   | 31 |
| 3.19 | Zufriedenstellende Bruchbilder bei Würfelprismen [42]   | 34 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.20 | Nicht zufriedenstellende Bruchbilder bei Würfelprismen [42] . . . . .  | 34 |
| 3.21 | Schema für Belastungszyklus für statischen Elastizitätsmodul [45] . . . . .  | 35 |
| 3.22 | Prüfung der Wassereindringtiefe [46] . . . . .   | 36 |
| 3.23 | Lage des Probekörpers und der Prüffläche im gesättigten Würfel [45] . . . . .  | 36 |
| 3.24 | Zeit-Temperatur-Zyklus in der Prüflüssigkeit am Mittelpunkt der Prüfoberfläche [45] . . . . .  | 37 |
| 4.1  | Grenzwerte bei GK 22 für die Zusammensetzung, die Eigenschaften von Beton und die Verwendung der Zemente bei den verschiedenen Betonkurzbezeichnungen [18] . . . . . | 39 |
| 4.2  | Fortgesetzt [18] . . . . .   | 40 |
| 5.1  | Legende Farbzugehörigkeit der Punkte [19] . . . . .  | 44 |
| 5.2  | Ausbreitmaß $f$ in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19] . . . . .  | 45 |
| 5.3  | Ausbreitmaß $f$ in Abhängigkeit des Luftgehalts [19] . . . . .   | 45 |
| 5.4  | Frischbetonrohddichte in Abhängigkeit des Luftgehalts [19] . . . . .   | 46 |
| 5.5  | Frischbetonrohddichte in Abhängigkeit des Zementgehalts [19] . . . . .   | 46 |
| 5.6  | Frischbetonrohddichte in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19] . . . . .  | 47 |
| 5.7  | Luftporenanteil in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19] . . . . .  | 47 |
| 5.8  | Zementgehalt in Abhängigkeit des Luftgehalts [19] . . . . .  | 48 |
| 5.9  | Zementgehalt in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19] . . . . .   | 48 |
| 5.10 | Wasserbindemittelwert in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19] . . . . .  | 49 |
| 5.11 | 7 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19] . . . . .   | 49 |
| 5.12 | 28 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19] . . . . .  | 50 |
| 5.13 | Übersicht über die Ergebnisse der 7 Tage Druckfestigkeitsprüfung sowie 28 Tage Druckfestigkeitsprüfung [19] . . . . .  | 50 |
| 5.14 | 7 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit der 7 Tage Rohddichte [19] . . . . .  | 51 |
| 5.15 | 28 Tage Festigkeit in Abhängigkeit der 28 Tage Rohddichte [19] . . . . .   | 51 |
| 5.16 | 28 Tage Rohddichte in Abhängigkeit des Recyclinganteils [19] . . . . .   | 52 |
| 5.17 | 28 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Luftporengehalts [19] . . . . .  | 52 |
| 5.18 | 28 Tage Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Wasser-Bindemittel-Werts [19] . . . . .  | 53 |
| 5.19 | Jenes Bruchbild aus der ÖNORM EN 12390-4, welches bei den Druckfestigkeitsprüfungen am häufigsten auftritt [43] . . . . .  | 53 |
| 5.20 | Jenes Bruchbild aus der ÖNORM EN 12390-4, das sich ebenso bei den Druckfestigkeitsprüfungen ausbildete [43] . . . . .  | 54 |
| 5.21 | Gegenüberstellung der Bruchbilder der Probekörper mit unterschiedlichen Recyclinganteilen [19] . . . . .   | 54 |

# Tabellenverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Ausbreitklassen [18] . . . . .                                    | 30 |
| 4.1 | Rohdichten der Gesteinskörnungen [19] . . . . .                   | 39 |
| 4.2 | Mindestzementgehalt bei Betonkurzbezeichnung B5 [14] . . . . .    | 40 |
| 4.3 | W/Z-Grenzwert bei Betonkurzbezeichnung B5 [14] . . . . .          | 41 |
| 4.4 | Mindestluftporengehalt bei Betonkurzbezeichnung B5 [14] . . . . . | 41 |

# Literatur

- [1] Department of Economic United Nations und Population Division Social Affairs. „World Population Prospects The 2015 Revision“. Englisch. In: *United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division* (2015).
- [2] *Weltbevölkerung*. Nov. 2021. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Weltbev%C3%B6lkerung>.
- [3] European Quality Association for Recycling e.V. *Baustoffe-Recycling - Europäischer Markt gütegesicherter RC-Baustoffe*. URL: [http://www.eqar.info/fileadmin/eqar/paper/EQAR\\_Baustoff-Recycling\\_D\\_6er.pdf](http://www.eqar.info/fileadmin/eqar/paper/EQAR_Baustoff-Recycling_D_6er.pdf).
- [4] Letzter Zugriff: 31.01.2022 22:20. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/abfall/abfall-daten>.
- [5] *Sand and Sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources*. Englisch. 2019.
- [6] *Abfallrahmenrichtlinie der EU*. Richtlinie. Mai 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>.
- [7] Siegfried Schneller. „Baustoff-Recycling im Hochbau“. Deutsch. Masterarbeit. Wien, Österreich: Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, März 2013. URL: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/11014>.
- [8] Mathias Binder und Franziska Fuchs. „Recycling von Mineralischem Bauschutt- Technische Qualitäten/Marktanalyse/Hemmnisse“. HTL1 Bau und Design Linz, 2020/21.
- [9] *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Pflichten bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen (Recycling-Baustoffverordnung – RBV)*. Deutsch. BGBl. II Nr. 181/2015 idF. 290/2016. Sep. 2019.
- [10] Daniel von Kirchner. *Der Baustoff Beton. Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren*. Deutsch. Schriftliche Hausarbeit zur Prüfung für das Lehramt an Haupt- und Realschulen. Oldenburg, Deutschland, Nov. 2004.
- [11] *Gesteinskörnung*. Jänner 2019. URL: <http://www.beton.wiki/index.php?title=Gesteinsk%C3%B6rnung>.
- [12] *Gesteinskörnung*. Apr. 2021. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gesteinsk%C3%B6rnung>.
- [13] Sandy Schubert und Cathleen Hoffmann. *Grundlage für die Verwendung von Recyclingbeton mit Mischgranulat*. cemsuisse - Verband der Schweizerischen Zementindustrie, 2011.
- [14] Robert K. Weber. *Guter Beton*. Deutsch. Verlag Bau+Technik GmbH i. L., 2014.

- [15] *Erläuterungen zur Recycling-Baustoffverordnung*. Deutsch. BMLFUW-UW.2.1.6/0008-V/2/2018. März 2018.
- [16] *Zement*. Jänner 2022. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Zement>.
- [17] *ÖNORM B 3140:2020-11, Rezyklierte Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Anwendungen sowie für Beton*. Deutsch. Norm. Nov. 2020.
- [18] *ÖNORM B 4710-1:2018-01, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Verwendung und Konformität - Teil 1: Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206 für Normal- und Schwerbeton*. Deutsch. Norm. ÖNORM B 4710-1:2018-01. Jänner 2018.
- [19] *In Eigenarbeit erstellte Abbildungen, Tabellen und Grafiken*. 2021/22.
- [20] *Zusammenfassung der ÖNORM B 4710-1:2018-01*. Deutsch. Zusammenfassung der ÖNORM B 4710-1:2018-01. Theresienfeld, Österreich.
- [21] *Betonnorm ÖNORM B 4710-1 Know-how*. Deutsch. Teil einer Schriftenreihe. Wassereindringtiefe, Österreich, 2019.
- [22] MAPAG Materialprüfung GmbH. *Prüfbericht - Beurteilungsnachweis zur Deklarationsprüfung*. Prüfung der rezyklierten Gesteinskörnung im Rahmen der Eignungsprüfung gemäß ÖNORM EN 13242. Gumpoldskirchen, Österreich, Feb. 2021.
- [23] *ÖNORM EN 13242-13:2021-11, Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für Ingenieur- und Straßenbau*. Deutsch. Norm. Feb. 2014.
- [24] *ÖNORM EN 933-4:2008-10, Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 4: Bestimmung der Kornform - Kornformkennzahl*. Deutsch. Norm. Oktober 2008.
- [25] *ÖNORM EN 933-5:2005-04, Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 5: Bestimmung des Anteils an gebrochenen Körnern in groben Gesteinskörnungen*. Deutsch. Norm. Apr. 2005.
- [26] *ÖNORM EN 1097-2:2020-06, Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung*. Deutsch. Norm. Juni 2020.
- [27] *ÖNORM EN 1097-6:2020-10, Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme*. Deutsch. Norm. Oktober 2020.
- [28] *ÖNORM EN 197-1:2018-12, Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement*. Deutsch. Norm. Dezember 2018.
- [29] *Der Grüne - Produktdatenblatt*. Eigenschaften des Zements gemäß der Eigenüberwachung. Lafarge Zementwerke GmbH, 2021.
- [30] *Botament ZF 71 - Produktdatenblatt*. Angaben über den Luftporenbildner. Bottrop, Deutschland: Botament Systembaustoffe GmbH und Co. KG.
- [31] *Ravenit BV 77*. Technische Information des Fließmittels. Wels, Österreich: Avenarius-Agro GmbH, Aug. 2018.
- [32] *Ravenit BE Schnellbinder*. Technische Information des Beschleunigers. Wels, Österreich: Avenarius-Agro GmbH, Oktober 2016.
- [33] *Ravenit DM-F Betondichtmittel*. Technische Information des Dichtungsmittels. Wels, Österreich: Avenarius-Agro GmbH, Oktober 2016.
- [34] *ÖNORM EN 12350-1:2019-11, Prüfung von Frischbeton - Teil 1: Probenahme und Prüfgeräte*. Deutsch. Norm. Nov. 2019.



- [35] *ÖNORM EN 12350-4:2019-11, Prüfung von Frischbeton - Teil 4: Verdichtungsmaß.* Deutsch. Norm. Nov. 2019.
- [36] *ÖNORM EN 12350-5:2019-08, Prüfung von Frischbeton - Teil 5: Ausbreitmaß.* Deutsch. Norm. Aug. 2019.
- [37] *ÖNORM EN 12350-6:2019-09, Prüfung von Frischbeton - Teil 6: Frischbetonrohddichte.* Deutsch. Norm. Sep. 2019.
- [38] *ÖNORM EN 12350-7:2019-11, Prüfung von Frischbeton - Teil 7: Luftgehalt - Druckverfahren.* Deutsch. Norm. Nov. 2019.
- [39] *ÖNORM EN 12390-1:2012-11, Prüfung von Festbeton - Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen.* Deutsch. Norm. Nov. 2012.
- [40] *ÖNORM EN 12390-2:2019-11, Prüfung von Festbeton - Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen.* Deutsch. Norm. Nov. 2019.
- [41] *ÖNORM EN 12390-7:2021-01, Prüfung von Festbeton - Teil 7: Rohddichte von Festbeton.* Deutsch. Norm. Jänner 2021.
- [42] *ÖNORM EN 12390-3:2019-11, Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern.* Deutsch. Norm. Nov. 2019.
- [43] *ÖNORM EN 12390-4:2020-04, Prüfung von Festbeton - Teil 4: Bestimmung der Druckfestigkeit - Anforderungen an Prüfmaschinen.* Deutsch. Norm. Apr. 2020.
- [44] *ÖNORM EN 12390-13:2021-11, Prüfung von Festbeton - Teil 13: Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul).* Deutsch. Norm. Nov. 2021.
- [45] *ONR 23303:2010-09, Prüfverfahren Beton (PVB) Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe.* Deutsch. ON-Regel. Sep. 2010.
- [46] *ÖNORM EN 12390-7:2021-01, Prüfung von Festbeton - Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck.* Deutsch. Norm. Sep. 2019.
- [47] *ONR CEN/TS 12390-9:2017-02, Prüfung von Festbeton - Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand - Abwitterung.* Deutsch. ON-Regel. Feb. 2017.
- [48] Jörg Bödefeld und Thorsten Reschke. *Verwendung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen bei Verkehrswasserbauten.* Techn. Ber. 2011.

# Begleitprotokoll zur Diplomarbeit

## Thema des übergeordneten komplexen Aufgabenbereichs oder Projekts:

Einsatz von Recyclingbeton bei Gleistragplatten im urbanen Schienenverkehrswesen

## Individuelle Themenstellung:

Ressourcenschonung & Abfallwirtschaft, Betonentwicklung & Frischbetonprüfung von Recyclingbeton

Betreuerin/Betreuer: Dipl.-Ing. Dr. techn. Christoph Hackspiel

E-Mail-Adresse: c.hackspiel@bautechnikum.at

Telefonnummer: +43 676 9249755

Name der Diplomandin/des Diplomanden und Klasse: Mayr Martin  
5AHBTT

E-Mail-Adresse: m.mayr@bautechnikum.at

Telefonnummer: +43 681 81685059

Name der Kooperationspartnerin/des Kooperationspartners u. Ansprechperson: Wiener Linien GmbH & Co KG  
Dipl.-Ing. Lena Radics

E-Mail-Adresse: lena.radics@wienerlinien.at

Telefonnummer: +43 1 7909 100

Teammitglieder: Mayr Martin / Nofirth Alexander

| Datum der Besprechung | Teilnehmer/innen der Besprechung        | Vereinbarungen  | Termin zur Erledigung | Paraphe     |               |
|-----------------------|---|---|-----------------------|-------------|---------------|
|                       |   |   |                       | Betreuer/in | Schüler/innen |
| 08.04.2021            | Mayr, Nofirth, Hackspiel                | Leistungsportfolio erstellen                          | 02.07.2021            |             |               |
| 28.06.2021            | Mayr, Nofirth, Hackspiel                | Sieblinienversuche & Anforderungen                    | 16.07.2021            |             |               |
| 16.07.2021            | Mayr, Nofirth, Hackspiel, Wiener Linien | Literaturrecherche von Recyclingbeton                 | 30.09.2021            |             |               |
| 30.09.2021            | Mayr, Nofirth, Hackspiel, Wiener Linien | MV Erstellung, Frischbetonversuche & Prüfungsadaption | 26.11.2021            |             |               |
| 24.11.2021            | Mayr, Nofirth, Hackspiel, Wiener Linien | Versuchsdurchführung sämtlicher Prüfungen             | 10.01.2022            |             |               |
| 01.02.2022            | Mayr, Nofirth, Hackspiel, Wiener Linien | Schriftliche Ausarbeitung                             | 07.03.2022            |             |               |

Datum: \_\_\_\_\_

Unterschrift der Schülerin/des Schülers: \_\_\_\_\_

# Begleitprotokoll zur Diplomarbeit

**Thema des übergeordneten komplexen Aufgabenbereichs oder Projekts:**

Einsatz von Recyclingbeton bei Gleistragplatten im urbanen Schienenverkehrswesen

**Individuelle Themenstellung:**

Literaturrecherche für Recyclingbeton, Spezifikation der Prüfkörper & Festbetonprüfung von Recyclingbeton

Betreuerin/Betreuer: Dipl.-Ing. Dr. techn. Christoph Hackspiel

E-Mail-Adresse: c.hackspiel@bautechnikum.at

Telefonnummer: +43 676 9249755

Name der Diplomandin/des Diplomanden und Klasse: Nofirth Alexander  
5AHBTT

E-Mail-Adresse: a.nofirth@bautechnikum.at

Telefonnummer: +43 677 62508768

Name der Kooperationspartnerin/des Kooperationspartners u. Ansprechperson: Wiener Linien GmbH & Co KG  
Dipl.-Ing. Lena Radics

E-Mail-Adresse: lena.radics@wienerlinien.at

Telefonnummer: +43 1 7909 100

Teammitglieder: Nofirth Alexander / Mayr Martin

| Datum der Besprechung | Teilnehmer/innen der Besprechung        | Vereinbarungen  | Termin zur Erledigung | Paraphe     |               |
|-----------------------|---|---|-----------------------|-------------|---------------|
|                       |   |   |                       | Betreuer/in | Schüler/innen |
| 08.04.2021            | Nofirth, Mayr, Hackspiel                | Leistungsportfolio erstellen                          | 02.07.2021            |             |               |
| 28.06.2021            | Nofirth, Mayr, Hackspiel                | Sieblinienversuche & Anforderungen                    | 16.07.2021            |             |               |
| 16.07.2021            | Nofirth, Mayr, Hackspiel, Wiener Linien | Literaturrecherche von Recyclingbeton                 | 30.09.2021            |             |               |
| 30.09.2021            | Nofirth, Mayr, Hackspiel, Wiener Linien | MV Erstellung, Frischbetonversuche & Prüfungsadaption | 26.11.2021            |             |               |
| 24.11.2021            | Nofirth, Mayr, Hackspiel, Wiener Linien | Versuchsdurchführung sämtlicher Prüfungen             | 10.01.2022            |             |               |
| 01.02.2022            | Nofirth, Mayr, Hackspiel, Wiener Linien | Schriftliche Ausarbeitung                             | 07.03.2022            |             |               |

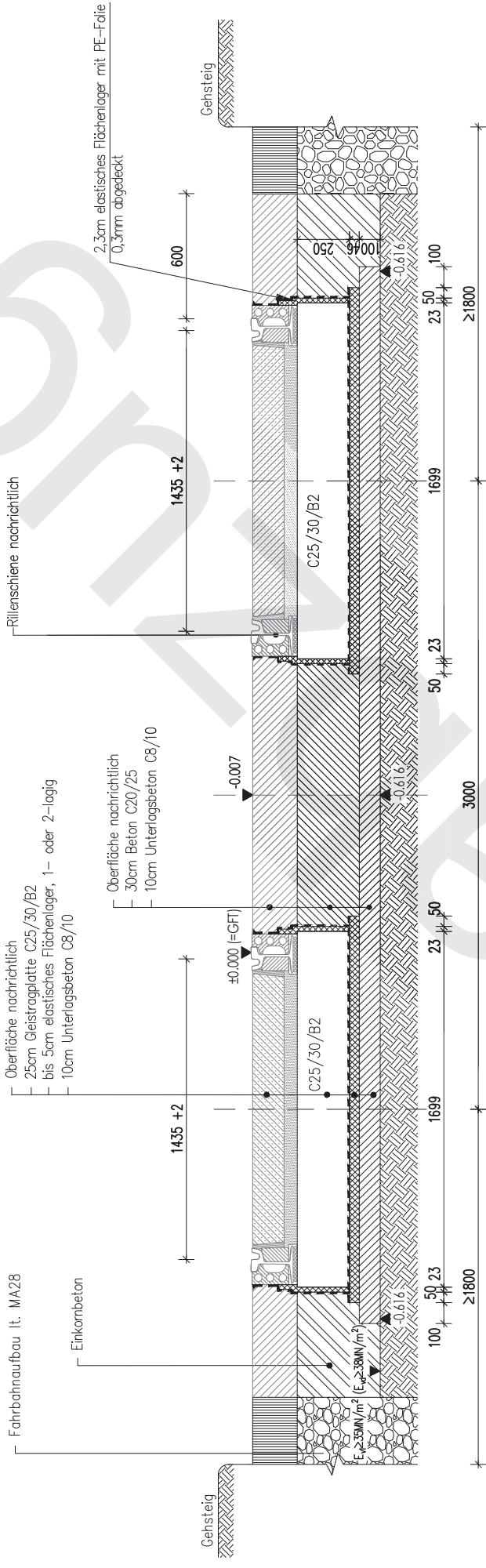
Datum: \_\_\_\_\_

Unterschrift der Schülerin/des Schülers: \_\_\_\_\_

# Anhang A

## Oberbauquerschnitt

Der folgende Anhang zeigt Regelpläne des Oberbaus der Wiener Straßenbahnen. Diese wurden von den Wiener Linien übermittelt und dienten als Grundlage für die Zusammenstellung der Anforderungen an den während dieser Diplomarbeit entwickelten Recyclingbeton.



Für Empfehlungen zur Untergrundverbesserung siehe Plan 210/Blatt 1

Bodenkennwerte:  
 $E_{v1} \geq 35 \text{ MN/m}^2$  ... stat. Lastplattenversuch  
 $E_{vd} \geq 38 \text{ MN/m}^2$  ... dyn. Lastplattenversuch (laufende Kontrolle!)  
 $D_{pr} = 100\%$  ... relative Proctordichte

Betongüte:  
 Bei Neubautrecken ohne Betrieb: Änderung der Güte von B2 auf B5

Für Oberflächendetails siehe Plan 005/Blatt 1  
 Für Schienendetails siehe Plan 006/Blatt 1

Generell ist beim Einbau darauf zu achten, dass gegebenenfalls lokal durchweichte Bodenschichten entfernt und ausgetauscht werden, um die Wirksamkeit des Masse-Feder-Systems nicht zu reduzieren.

|  |  |  |                          |  |
|--|--|--|--------------------------|--|
| <b>OBERBAU-REGELPLÄNE DER WIENER STRASSENBAHN</b>  | PLANNUMMER<br><b>1:20</b>  |  | MASSSTAB<br><b>1:20</b>  |  |
|  | REFERENT<br><b>WIENER LINIEN GMBH &amp; CO KG – WIENER LINIEN GMBH<br/>         HAUPTABTEILUNG BAU UND ANLAGENMANAGEMENT</b> |  | PLANNUMMER<br><b>002</b> |  |
| <b>WIENER LINIEN GMBH &amp; CO KG – WIENER LINIEN GMBH<br/>         HAUPTABTEILUNG BAU UND ANLAGENMANAGEMENT</b> | ABTEILUNGSLEITER<br>ANFÜHRUNG  |  | Blatt 1                  |  |
|  | Ing. Christian Feder<br>Dr. Andreas Oberbauer  |  | Okt. 2020                |  |

Fahrbahnaufbau lt. MA28

15cm Großflächenplatte  
6cm Splitt 5/8mm  
30cm Gleisrauplatte C25/30/B5  
mit Scheinfuge e=7,5m

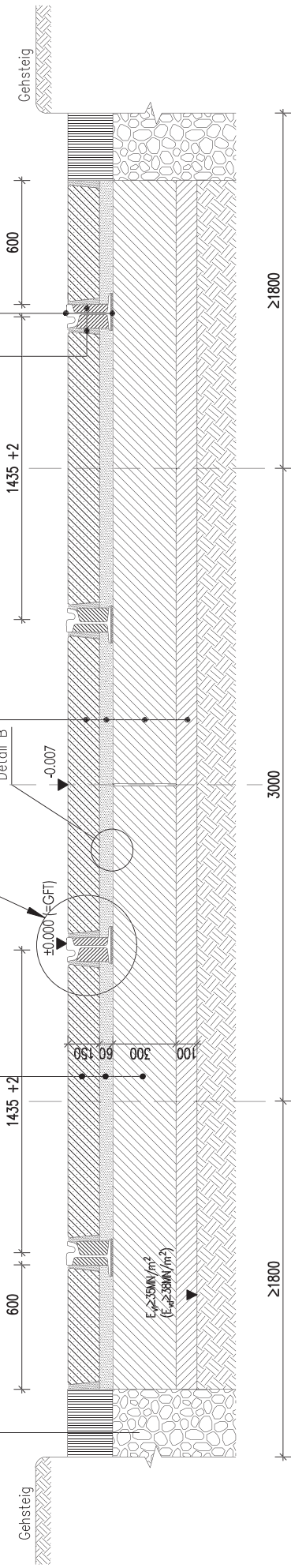
15cm Großflächenplatte  
6cm Splitt 5/8mm  
30cm Gleisrauplatte C25/30/B5  
mit Scheinfuge e=7,5m  
10cm Unterlagsbeton C8/10

Rillenschiene-Profil 60Ri3(Ri210/95+80)  
bzw. 63Ri1(Ri210/95+80a)  
10mm Gummigranulat

Edelsplitt 3/5mm  
Einlagestein

Detail A

Detail B

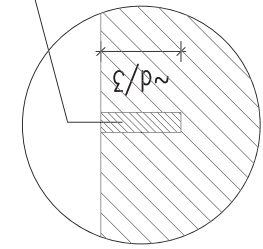


Bodenkennwerte:  
 $E_{v1} \geq 35 \text{ MN/m}^2$ ...stat. Lastplattenversuch  
 $E_{vd} \geq 38 \text{ MN/m}^2$ ...dyn. Lastplattenversuch (laufende Kontrolle.)  
 $D_{pr} = 100\%$ ...relative Proctordichte

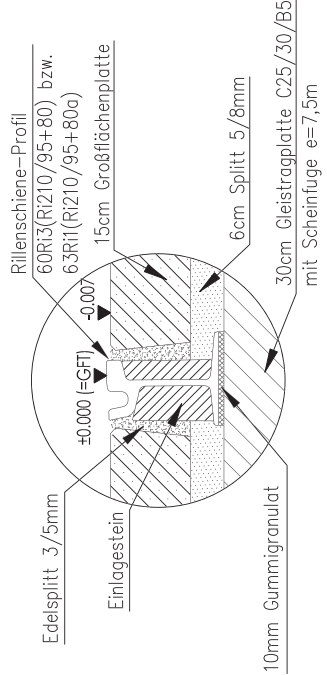
### HALTESTELLENBEREICH

1300 bis Gleisachse bzw.  
 B6-B61-1-0003 Lichtraum Straßenbahn  
 540 26 498 26 1435 +2 26  
 ≤+0.15  
 200  
 Randbordelement  
 Mörtelbett  
 Aufbeton  
 Beton bzw. ungebundene Tragschicht

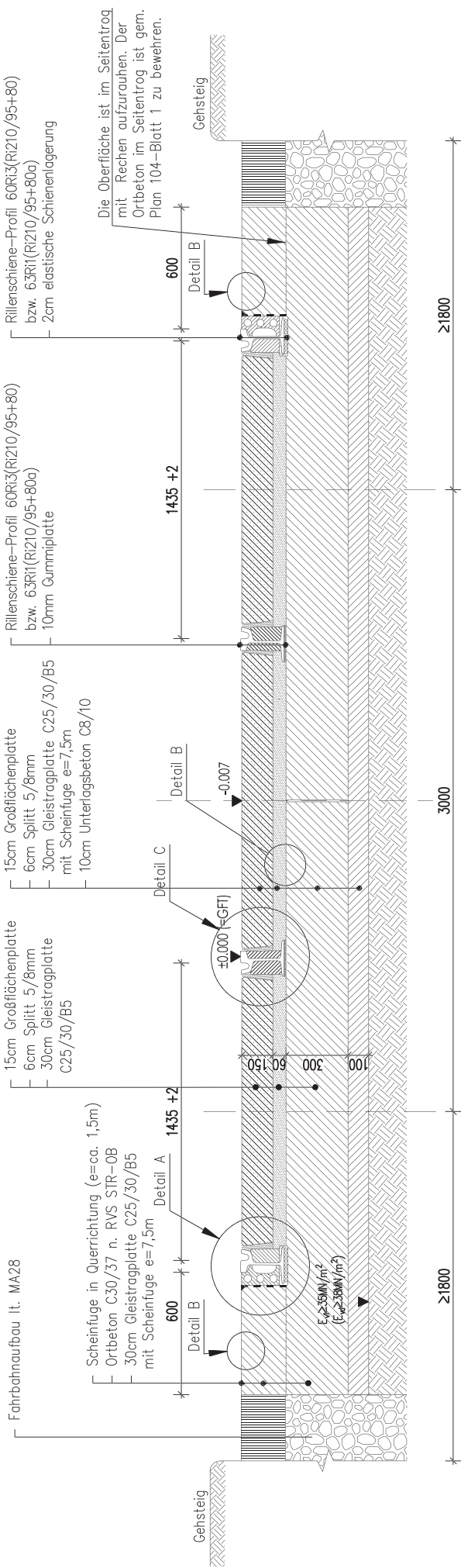
### DETAIL B



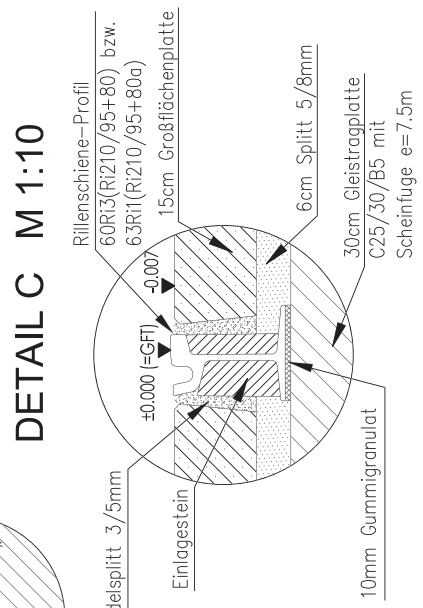
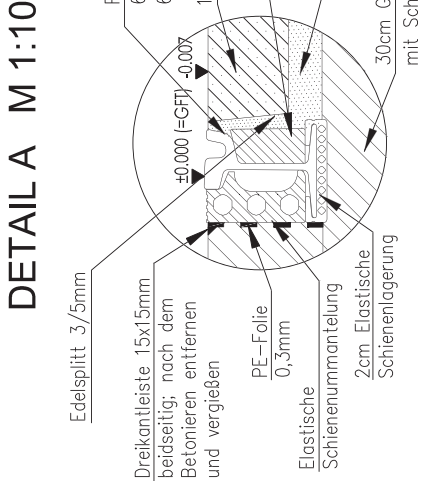
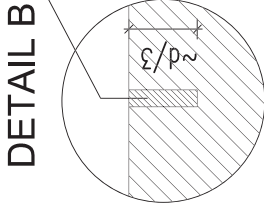
### DETAIL A M 1:10



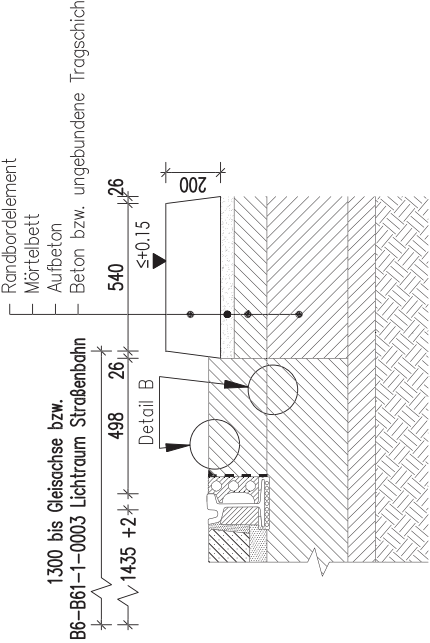
|  |  |  |  |  |   |  |                      |
|--|--|--|--|--|---|--|----------------------|
|  | <b>WIENER LINIEN GMBH &amp; CO KG – WIENER LINIEN GMBH<br/>                 HAUPTABTEILUNG BAU UND ANLAGENMANAGEMENT</b>   |  | REFERENT<br><br>Dipl.-Ing. Edgar Fuchsmesser | ABTEILUNGSLEITER<br><br>Dipl.-Ing. Edgar Fuchsmesser | ANÄNDERUNG<br>A: März 2012 Änderung Gummigranulat<br>B: Jan 2015 Ergänzung Scheinfuge, Aktualisierung Darstellungen<br>C: Aug 2016 Korrektur Abstand Scheinfuge | MASSSTAB<br>1:10/20<br>PLANNUMMER<br>001 | Blatt 1<br>Aug. 2016 |
|  | PLANNHALT<br><b>SCHALLGEDÄMMTER OBERBAU<br/>                 mit RILLENSCHIENE 60Ri3(Ri210/95+80) bzw. 63Ri1(Ri210/95+80a),<br/>                 FT-SEITENTROG und FT-MITTELTROG</b> |  |  |  |   |  |                      |

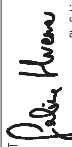


**Bodenkennwerte:**  
 $E_{rd} \geq 35 \text{ MN/m}^2$ ...stat. Lastplattenversuch  
 $E_{rd} \geq 38 \text{ MN/m}^2$ ...dyn. Lastplattenversuch (aufende Kontrolle!)  
 $D_{pr} = 100\%$ ...relative Proctordichte



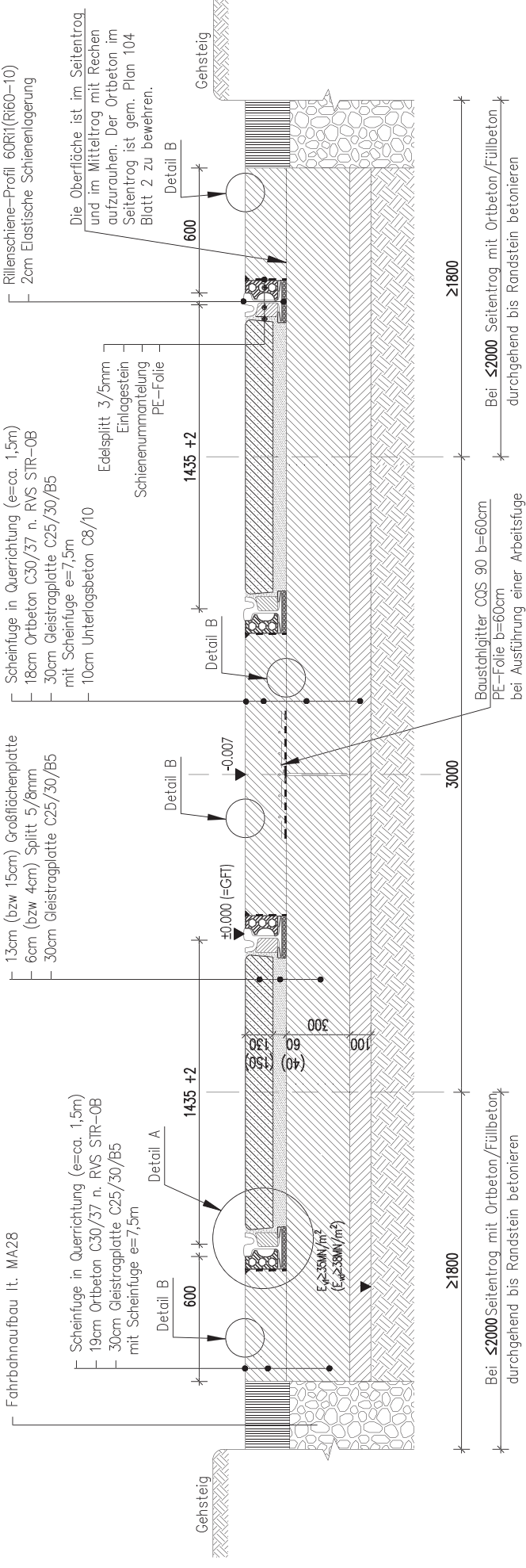
## HALTESTELLENBEREICH



|   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
| <b>OBERBAU-REGELPLÄNE DER WIENER STRASSENBAHN</b>   |   | MASSSTAB<br><b>1:10/20</b> |
| <b>WIENER LINIEN GMBH &amp; CO KG - WIENER LINIEN GMBH HAUPTABTEILUNG BAU UND ANLAGENMANAGEMENT</b>   |   | PLANNUMMER<br><b>001</b>   |
| <b>REFERENT</b><br><br>Dipl.-Ing. Edgar Fuchsmesser<br>DL Sabine Humer |   | Blatt 3<br>Aug. 2016       |
| <b>SCHALLGEDÄMMTER OBERBAU mit RILLENSCHIENE 60Ri3(Ri210/95+80) bzw. 63Ri1(Ri210/95+80a) OB-SEITENTROG und FT-MITTELTROG</b>                                |   |                            |
| ANÄNDERUNG  | Inhalt  | Datum                      |
| A   | Änderung Einzelrichtmussch  | März 2012                  |
| B   | Änd. Detail Scheinfuge, Eg. elektr. Schienenummantelung, Aktualisierung Darstellung | Jan 2015                   |
| C   | Ergänzung Hinweis auf Seitenlagerelement  | Aug 2016                   |

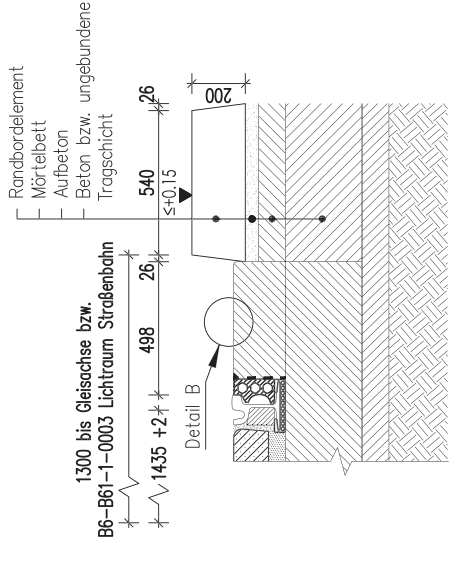


Fahrbahnaufbau lt. MA28

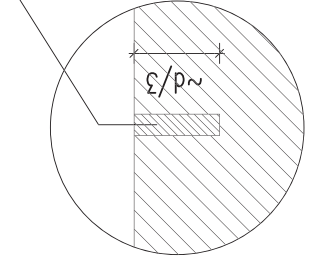


**Bodenkennwerte:**  
 $E_{v1} \geq 35 \text{ MN/m}^2$ ...stat. Lastplattenversuch  
 $E_{vd} \geq 38 \text{ MN/m}^2$ ...dyn. Lastplattenversuch (laufende Kontrolle!)  
 $D_{pr} = 100\%$ ...relative Proctordichte

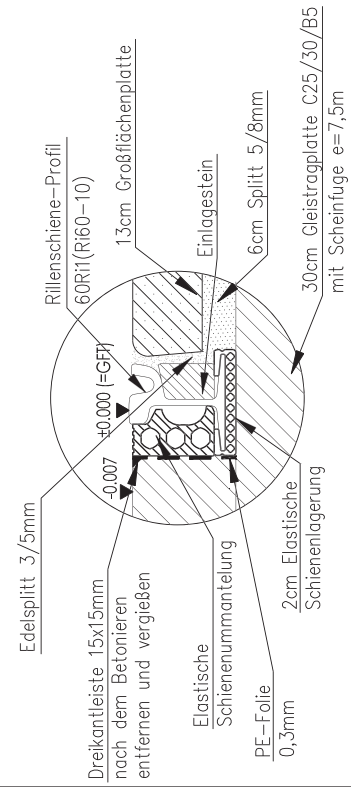
### HALTESTELLENBEREICH



### DETAIL B



### DETAIL A M 1:10



|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <b>OBERBAU-REGELPLÄNE DER WIENER STRASSENBAHN</b>  |  | <b>SCHALLGEDÄMMTER OBERBAU MIT RILLENSCHIENE 60R11(R160-10), SCHIENENUMMANTELUNG, OB-SEITENTROG UND OB-MITTELTRAG</b>   |  |
| PLANINHALT   |  | MASSSTAB 1:10/20<br>PLANNUMMER 002  |  |
| REFERENT <i>Julian Hauer</i><br>Dipl.-Ing. Edgar Faschmeister                            |  | Blatt 1<br>Aug. 2016  |  |
| WIENER LINIEN GMBH & CO KG - WIENER LINIEN GMBH HAUPTABTEILUNG BAU UND ANLAGENMANAGEMENT |  | Inhalt<br>A. Maßstab: Ergänzung PE-Folie und Dreikantleiste<br>B. (Aug. 2015) Ergänzt: Scheinfuge in GTP und 13cm Eindeckplatte, Aktualisierung Darstellung<br>C. (Aug. 2016) Ergänzung Hinweis auf Seitentrogbewehrung |  |





**Betongüte:**  
Bei Neubausrecken ohne Betrieb: Änderung der Güte von B2 auf B5

- 15cm Großflächenplatte
- 6cm Splitt 5/8mm
- 25cm Gleitplatte C25/30/B2
- ~ 5cm Gummigranulatmatte 2-lagig mit PE-Folie 0,3mm abgedeckt
- 10cm Unterlagsbeton C8/10

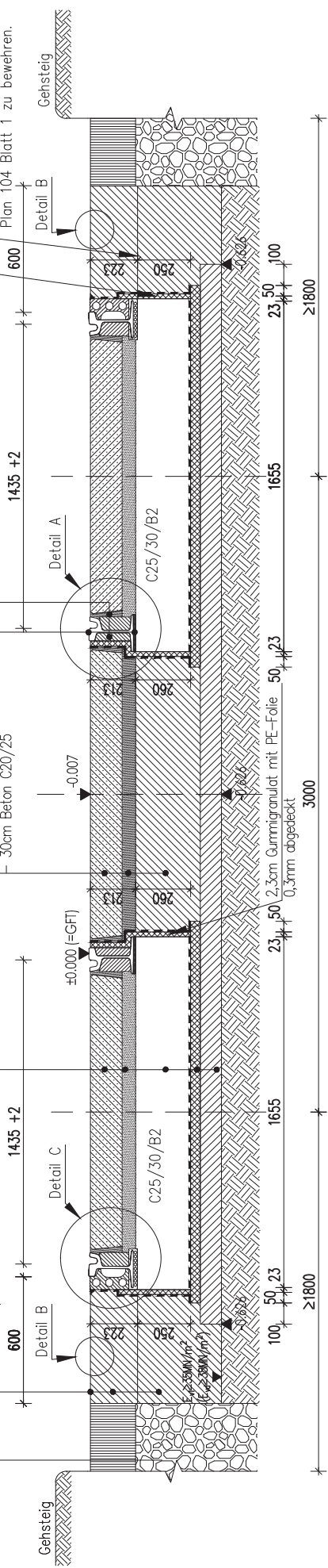
Fahrbahnaufbau lt. MA28

- Scheinfuge in Querrichtung (e=ca. 1,5m)
- Ortbeton C30/37 n. RVS STR-OB
- Beton C20/25

- Rillenschiene - Profil 60Ri3(Ri210/95+80) bzw. 63Ri1(Ri210/95+80a)
- 10mm Gummigranulat
- Edelsplitt 3/5mm Einlagestein

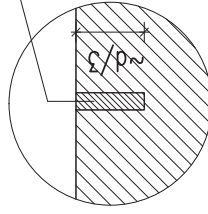
- 15cm Großflächenplatte
- 6cm Splitt 5/8mm
- 30cm Beton C20/25

Die Oberfläche ist im Seitentrog mit Rechen aufzuräumen. Der Ortbeton im Seitentrog ist gem. Plan 104 Blatt 1 zu bewehren.



**HALTESTELLENBEREICH**

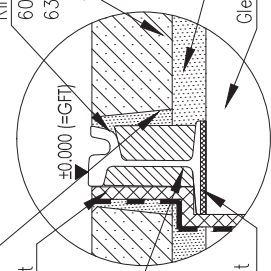
**DETAIL B**  
Scheinfuge inkl. Fugenverguss in Querrichtung: Abstand wie Plattenteilung (ca.1,50m) Oberfläche Besenstrich



**Bodenkennwerte:**  
 $E_{p1} \geq 35MN/m^2$ ...stat. Lastplattenversuch  
 $E_{vd} \geq 38MN/m^2$ ...dyn. Lastplattenversuch (laufende Kontrolle!)  
 $D_{pr} = 100\%$ ...relative Proctordichte

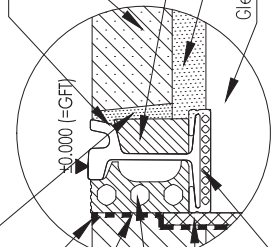
**DETAIL A M 1:10**

- Edelsplitt 3/5mm
- 2,3cm Gummigranulat mit PE-Folie 0,3mm abgedeckt
- Einlagestein
- 10mm Gummigranulat
- Rillenschiene-Profil 60Ri3 60Ri3(Ri210/95+80) bzw. 63Ri1(Ri210/95+80a)
- 15cm Großflächenplatte
- 6cm Splitt 5/8mm
- Gleitplatte C25/30/B2

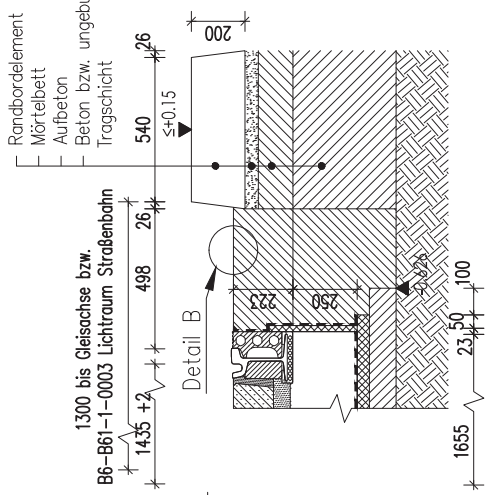


**DETAIL C 1:10**

- Edelsplitt 3/5mm
- Dreikantleiste 15x15mm beidseitig; nach dem Betonieren entfernen und vergießen
- PE-Folie 0,3mm
- Elastische Schienenummantelung
- 2,3cm Gummigranulat mit PE-Folie 0,3mm abgedeckt
- 2cm Elastische Schienenlagerung
- Rillenschiene-Profil 60Ri3(Ri210/95+80) bzw. 63Ri1(Ri210/95+80a)
- 15cm Großflächenplatte
- Einlagestein
- 6cm Splitt 5/8mm
- Gleitplatte C25/30/B2



1300 bis Gleisachse bzw. B6-B61-1-0003 Lichtraum Straßenbahn



**OBERBAU-REGELPLÄNE DER WIENER STRASSENBAHN**



**WIENER LINIEN GMBH & CO KG - WIENER LINIEN GMBH HAUPTABTEILUNG BAU UND ANLAGENMANAGEMENT**

REFERENT: *Edgar Fuchsmayr*  
Dipl.-Ing. Edgar Fuchsmayr

ABTEILUNGSLEITER: *[Signature]*

ÄNDERUNG

| Inhalt | Datum    | Inhalt   |
|--------|----------|--|
| A      | Ma.2012  | Änderung Gummigranulat   |
| B      | Jan.2015 | Ergänzung elastische Schienenummantelung, Aktualisierung Darstellungen |
| C      | Aug.2016 | Ergänzung Hinweis auf Seitentrogbewehrung                              |

PLANNHALT: **HOCHSCHALLGEDÄMMTER OBERBAU 25cm (L-MFS, 25cm GTP) MIT RILLENLSCHIENE 60Ri3(Ri210/95+80) bzw. 63Ri1(Ri210/95+80a), OB-SEITENTROG und FT-MITTELTRAG**

MASSSTAB: 1:10/20  
 PLANNUMMER: 003

Blatt 2  
 Aug. 2016

Fahrbahnaufbau lt. MA28

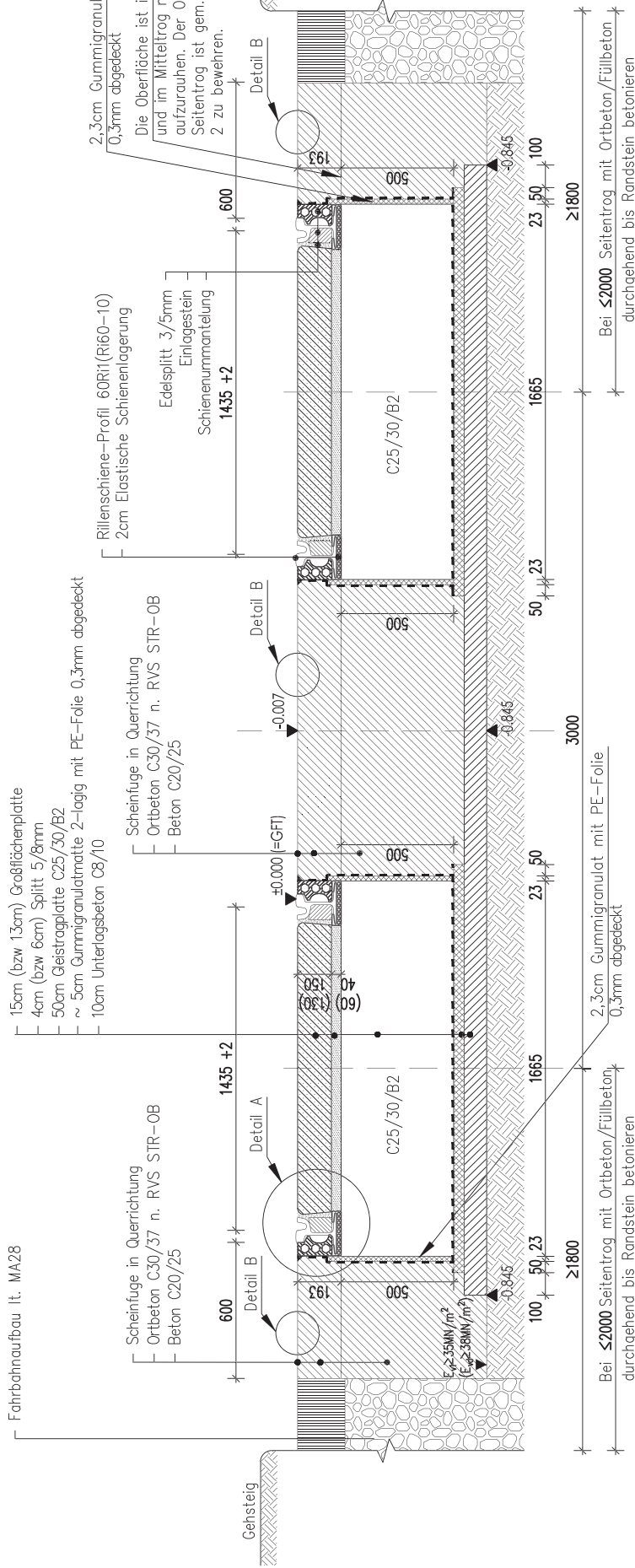
- 15cm (bzw 13cm) Großflächenplatte
- 4cm (bzw 6cm) Splitt 5/8mm
- 50cm Gleistragplatte C25/30/B2
- ~ 5cm Gummigranulatmatte 2-lagig mit PE-Folie 0,3mm abgedeckt
- 10cm Unterlagsbeton C8/10

- 2,3cm Gummigranulat mit PE-Folie 0,3mm abgedeckt
- Die Oberfläche ist im Seitentrog und im Mitteltrug mit Rechen auszuräumen. Der Ortbeton im Seitentrog ist gem. Plan 104 Blatt 2 zu bewehren.

- Rillenschiene-Profil 60R11 (Ri60-10)
- 2cm Elastische Schienenlagerung
- Edelsplitt 3/5mm Einlagestein
- Schienenummantelung
- 1435 +2

- Scheinfuge in Querrichtung Ortbeton C30/37 n. RVS STR-OB Beton C20/25

- Scheinfuge in Querrichtung Ortbeton C30/37 n. RVS STR-OB Beton C20/25



**Bodenkennwerte:**  
 $E_{v1} \geq 35\text{MN/m}^2$ ...stat. Lastplattenversuch  
 $E_{v2} \geq 38\text{MN/m}^2$ ...dyn. Lastplattenversuch (laufende Kontrolle!)  
 $D_{pr} = 100\%$ ...relative Proctordichte

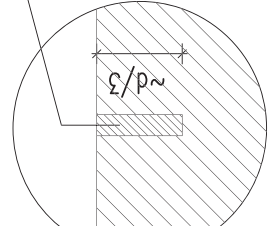
**Betongüte:**  
 Bei Neubaustrecken ohne Betrieb: Änderung der Güte von B2 auf B5

### HALTESTELLENBEREICH

Bei  $\leq 2000$  Seitentrog mit Ortbeton/Füllbeton durchgehend bis Randstein betonieren

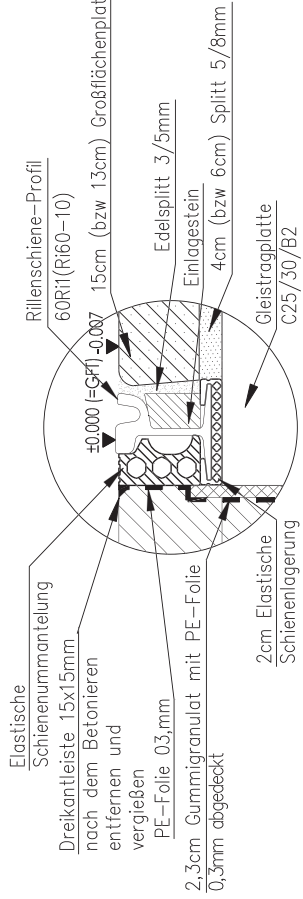
- Randbordement
- Mörtelbett
- Aufbeton
- Beton bzw. ungebundene Tragschicht

### DETAIL B



Scheinfuge inkl. Fugenverguss in Querrichtung: Abstand wie Plattenteilung (ca. 1,50m) Oberfläche Besenstrich

### DETAIL A M 1:10



|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| <p><b>OBERBAU-REGELPLÄNE DER WIENER STRASSENBAHN</b></p>  |   | <p><b>HOCHSCHALLGEDÄMMTER OBERBAU 50cm (L-MFS, 50cm GTP) MIT RILLENLSCHIENE 60R11 (RI60-10), SCHIENENUMMANTELUNG, OB-SEITENTROG und OB-MITTELTRUG</b></p>  |  |
| <p>PLANNUMMER</p> <p>006</p>  | <p>PLANNUMMER</p> <p>006</p>  | <p>MASSSTAB</p> <p>1:10/20</p>   | <p>MASSSTAB</p> <p>1:10/20</p>   |
| <p>WIENER LINIEN GMBH &amp; CO KG - WIENER LINIEN GMBH HAUPTABTEILUNG BAU UND ANLAGENMANAGEMENT</p> | <p>WIENER LINIEN GMBH &amp; CO KG - WIENER LINIEN GMBH HAUPTABTEILUNG BAU UND ANLAGENMANAGEMENT</p> | <p>REFERENT</p> <p>Ul. Sabine Hummer</p>   | <p>REFERENT</p> <p>Ul. Sabine Hummer</p>   |
| <p>ABTEILUNGSLEITER</p> <p>Dipl.-Ing. Edgar Faschmeister</p>  | <p>ABTEILUNGSLEITER</p> <p>Dipl.-Ing. Edgar Faschmeister</p>  | <p>ÄNDERUNG</p> <p>A. Mai 2012 Ergänzung PE-Folie und Dreikantleiste</p> <p>B. Aug 2015 Ergänzung 1,3cm Endesplatte, Aktualisierung Darstellungen</p> <p>C. Aug 2016 Ergänzung Hinweis auf Seitentrogbewehrung</p> | <p>ÄNDERUNG</p> <p>A. Mai 2012 Ergänzung PE-Folie und Dreikantleiste</p> <p>B. Aug 2015 Ergänzung 1,3cm Endesplatte, Aktualisierung Darstellungen</p> <p>C. Aug 2016 Ergänzung Hinweis auf Seitentrogbewehrung</p> |
| <p>Inhalt</p> <p>Blatt 1</p>  | <p>Inhalt</p> <p>Blatt 1</p>  | <p>Datum</p> <p>Aug. 2016</p>  | <p>Datum</p> <p>Aug. 2016</p>  |



## Anhang B

# Prüfbericht Rezyklierte Gesteinskörnung

Der folgende Anhang beinhaltet den Prüfbericht für die rezyklierte Gesteinskörnung, welcher von der Firma PORR durchgeführt und von der staatlich akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle MAPAG fremdüberwacht wurde. Näheres dazu steht in Kapitel 3.2.



### Beurteilung

Das entnommene und untersuchte Recyclingmaterial entspricht bezüglich Korngrößenverteilung, Überkornanteil  $G_{A85}$ , Frostsicherheit  $f_3$ , Kornform  $SI_{40}$ , Anteil gebrochener Körner  $C_{90/3}$ , Widerstand gegen Zertrümmerung  $LA_{30}$  (Prüfergebnis aus Prüfbericht 519/2021 übernommen), Wasseraufnahme  $\leq 4$  M.-% (Prüfergebnis aus Prüfbericht 519/2021 übernommen), Bestandteile, schwimmende Anteile und Verunreinigungen den Anforderungen der RVS 08.15.01, der ÖNORM B 3140 und der Richtlinie für Recycling-Baustoffe für die Güteklasse RB S 0/32 U1.

Der Beurteilungswert aller untersuchten Parameter der entnommenen Probe hält die Grenzwerte für die Qualitätsklasse U-A gemäß den Vorgaben der Recycling-Baustoffverordnung ein.

Dem untersuchten Recyclingmaterial ist die Schlüsselnummer 31490 zuzuordnen.

Auf Grund der Festlegungen der Recycling-Baustoffverordnung, insbesondere §14, endet für Recycling-Baustoffe der Qualitätsklasse U-A mit der Übergabe an einen Dritten die Abfalleigenschaft, der Recycling-Baustoff wird zum Recycling-Baustoff-Produkt.

Die zulässigen Einsatzbereiche für Recycling-Baustoffe der Qualitätsklasse U-A sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

| Qualitätsklasse         | Beschreibung   | Ungebundene Anwendung <sup>1)</sup><br>ohne gering durchlässige, gebundene Deck- oder Tragschicht | Ungebundene Anwendung <sup>1)</sup><br>unter gering durchlässiger, gebundener Deck- oder Tragschicht | Herstellung von Beton ab der Festigkeitsklasse C 12/15 oder der Festigkeitsklasse C 8/10 ab der Expositionsklasse XC1 | Herstellung von Asphaltmischgut |
|-------------------------|--|---|--|---|---------------------------------|
| U-A<br>(ungebunden - A) | Gesteinskörnungen für den ungebundenen sowie für den hydraulisch oder bituminös gebundenen Einsatz | Ja  | Ja   | Ja  | Ja                              |

<sup>1)</sup> Einschließlich Herstellung von Beton unter der Festigkeitsklasse C 12/15 oder bis zur Festigkeitsklasse C 8/10 unter der Expositionsklasse XC1



  
Dipl.-HTL.-Ing. H. Waldhans  
Zeichnungsberechtigter

Verteiler:

- 1 x PORR Recycling GmbH
- 1 x GSV Recycling

520/2021

Dieser Bericht umfasst 2 Seiten und 7 Beilagen.



# PRÜFBERICHT

## UNGEBUNDENE TRAGSCHICHTEN Korngrößenverteilung



Labor Nr.: 520/2021

|                   |   |                              |  |
|-------------------|---|------------------------------|--|
| Angaben zur Probe | Antragsteller:<br>PORR Recycling GmbH       |                              | Beilage: 1 zu: 520/2021                |
|                   | Bauvorhaben:<br>Recyclingwerk Simmering     |                              | Eingangsdatum: 08.02.2021              |
|                   | Entnahmestelle:<br>Lagerbox                 | Entnahmedatum:<br>08.02.2021 | Prüfzeitraum:<br>08.02.-22.02.2021     |
|                   | Prüfgut:<br>Betonrecycling RB S 0/32 U1 U-A | Lieferwerk:<br>Simmering     | Eingangsart: entnommen<br>MAPAG        |
|                   |   | Entnommen von:<br>MAPAG      | Probenbezeichnung:<br>RB S 0/32 U1 U-A |

|  | KENNWERT   | Prüfverfahren            | Istwert                  | Sollwert          |
|--|--|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| Prüfresultate  | <b>1 KORNGRÖßENVERTEILUNG</b>  | siehe Beilage 2          |                          |                   |
|  | <b>2 ÜBERKORN</b>  |                          |                          | G <sub>A</sub> 85 |
|  | 2.1 Überkorn [M-%]   | EN 933-1                 | <b>8</b>                 | 1 - 15            |
|  | <b>3 MAXIMAL ZULÄSSIGER FEINANTEIL (FROSTSICHERHEIT)</b>                         |                          |                          | f <sub>3</sub>    |
|  | 3.1 Anteil < 0,063 mm vor mod. Proctor [M-%]                                     | EN 933-1                 | <b>1,8</b>               | ≤ 3               |
|  | 3.2 Anteil < 0,063 mm nach mod. Proctor [M-%]                                    | EN 933-1                 | ----                     | ----              |
|  | 3.3 Anteil < 0,02 mm nach mod. Proctor [M-%]                                     | ÖN B 4810                | ----                     | ----              |
|  | 3.4 Rohdichte [Mg/m <sup>3</sup> ]   | EN 1097-7                | ----                     | ----              |
|  | 3.5 Frosthebungsversuche   | ÖN B 4810                | ----                     | ----              |
|  | <b>4 KORNFÖRMKENNZAHL (SI) (Anteil schlecht geformter Körner) &gt; 4 mm</b>      |                          |                          | SI <sub>40</sub>  |
|  | 4.1 Anteil 4/GK (4/8, 8/16, 16/32)   | EN 933-4                 | <b>6</b>                 | ≤ 40              |
|  | <b>5 ANTEIL AN GEBROCHENEN KÖRNERN &gt; 4 mm</b>                                 |                          |                          | C <sub>90/3</sub> |
|  | 5.1 Anteil > 50 % gebrochene Oberfläche [M-%]                                    | EN 933-5                 | <b>92</b>                | 90 - 100          |
|  | 5.2 Anteil > 90 % gerundete Oberfläche [M-%]                                     |                          | <b>3</b>                 | 0 - 3             |
|  | <b>6 WIDERSTAND GEGEN ZERTRÜMMERUNG</b>  |                          |                          | LA <sub>30</sub>  |
|  | 6.1 Los-Angeles-Koeffizient (8/11)   | EN 1097-2                | <b>27<sup>1)</sup></b>   | ≤ 30              |
|  | <b>7 WASSERAUFNAHME</b>  |                          |                          |                   |
|  | 7.1 Scheinbare Rohdichte ρ <sub>a</sub> [Mg/m <sup>3</sup> ]                     | EN 1097-6<br>Abschnitt 7 | <b>2,65<sup>1)</sup></b> | ----              |
|  | 7.2 Rohdichte auf ofentrockener Basis ρ <sub>td</sub> [Mg/m <sup>3</sup> ]       |                          | <b>2,38<sup>1)</sup></b> | ----              |
|  | 7.3 RD a. wassergesättigter of. tro. Basis ρ <sub>ssd</sub> [Mg/m <sup>3</sup> ] |                          | <b>2,48<sup>1)</sup></b> | ----              |
| 7.4 Wasseraufn. n. 24 h Wasserlag. (31,5/63) [M-%]                   | <b>4,3<sup>1)</sup></b>  |                          | ≤ 4                      |                   |
| <b>8 FROSTBESTÄNDIGKEIT (Widerstand gegen Frost-Tauwechsel 8/16)</b> |  |                          |                          |                   |
| 8.1 Absplitterung nach 10 FTW < 4,0 mm [M-%]                         | EN 1367-1  | ----                     | ----                     |                   |
| <b>9 PROCTORDICHTE (mit abgeschätztem Wassergehalt)</b>              |  |                          |                          |                   |
| 9.1 Trockendichte [Mg/m <sup>3</sup> ]                               | EN 13286-2   | ----                     | ----                     |                   |

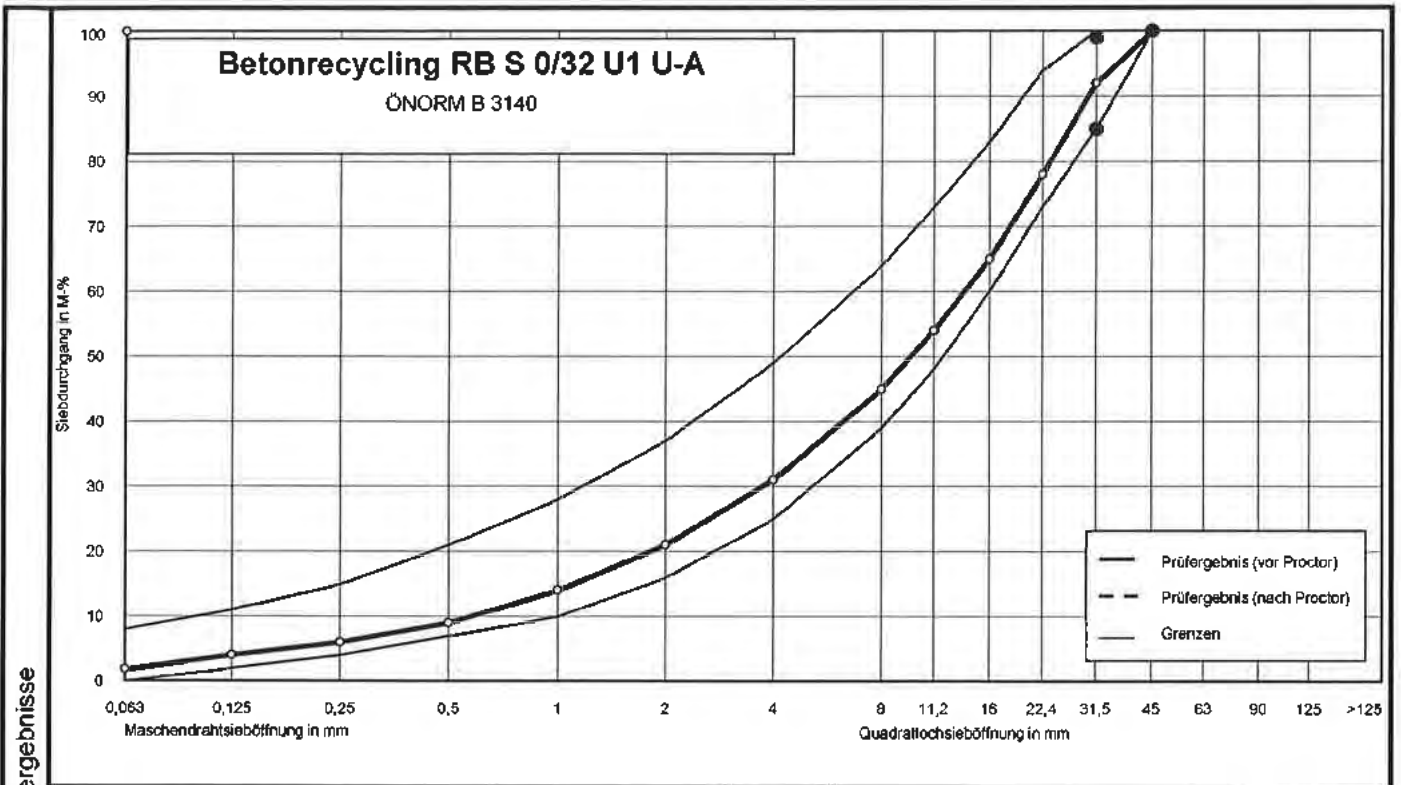
|  |                         |
|--|-------------------------|
| Sollwerte gemäß ÖNORM B 3132 und RVS 08.15.01      | Sachbearbeiter: Kadlcik |
| <b>Anmerkungen:</b>                                |                         |
| 1) Ergebnisse aus Prüfbericht 519/2021 übernommen. |                         |
| zu 4) Kornformkennzahl > 4 mm                      |                         |
| 4/8 [M-% rel.] 5 [M-% abs.] 1,2                    |                         |
| 8/16 [M-% rel.] 7 [M-% abs.] 2,4                   |                         |
| 16/32 [M-% rel.] 5 [M-% abs.] 2,4                  |                         |
| zu 5) Anteil an gebrochenen Körnern > 4mm          |                         |
| c > 50%  | tr > 90%                |
| Klasse [rel. %] [abs. %]                           | [rel. %] [abs. %]       |
| 4/8 92 21,4  | 2 0,5                   |
| 8/16 90 29,4                                       | 6 1,8                   |
| 16/32 93 41,4                                      | 1 0,5                   |
|  | Datum: 23.02.2021       |

# PRÜFBERICHT

## UNGEBUNDENE TRAGSCHICHTEN Korngrößenverteilung

Labor Nr. 520/2021

|                   |   |                         |  |
|-------------------|---|-------------------------|--|
| Angaben zur Probe | Antragsteller:<br>PORR Recycling GmbH       |                         | Beilage: 2 zu: 520/2021                |
|                   | Bauvorhaben:<br>Recyclingwerk Simmering     |                         | Eingangsdatum: 08.02.2021              |
|                   | Entnahmestelle:<br>Lagerbox                 |                         | Entnahmedatum:<br>08.02.2021           |
|                   | Prüfgut:<br>Betonrecycling RB S 0/32 U1 U-A |                         | Lieferwerk:<br>Simmering               |
|                   |   | Entnommen von:<br>MAPAG | Prüfzeitraum:<br>08.02.-22.02.2021     |
|                   |   |                         | Eingangsart: entnommen<br>MAPAG        |
|                   |   |                         | Probenbezeichnung:<br>RB S 0/32 U1 U-A |



| Kornklassenanteile |       |       | Siebdurchgänge |       | $G_{A85}, f_3$ | Prüfverfahren: EN 933-1 |
|--------------------|-------|-------|----------------|-------|----------------|-------------------------|
|                    | [M-%] | [M-%] |                | [M-%] | [M-%]          |                         |
| über 125 mm        | ----  | ----  |                |       |                | Anmerkungen:            |
| 90 - 125 mm        | ----  | ----  | 125,0 mm       | ----  | ----           |                         |
| 63 - 90 mm         | ----  | ----  | 90,0 mm        | ----  | ----           |                         |
| 45 - 63 mm         | ----  | ----  | 63,0 mm        | ----  | ----           |                         |
| 32 - 45 mm         | 8     | ----  | 45,0 mm        | 100   | 100            |                         |
| 22 - 32 mm         | 14    | ----  | 31,5 mm        | 92    | 85-99          |                         |
| 16 - 22,4 mm       | 13    | ----  | 22,4 mm        | 78    | ----           |                         |
| 11 - 16 mm         | 11    | ----  | 16,0 mm        | 65    | ----           |                         |
| 8 - 11 mm          | 8     | ----  | 11,2 mm        | 54    | ----           |                         |
| 4 - 8 mm           | 14    | ----  | 8,0 mm         | 45    | ----           |                         |
| 2 - 4 mm           | 10    | ----  | 4,0 mm         | 31    | ----           |                         |
| 1 - 2 mm           | 7     | ----  | 2,0 mm         | 21    | ----           |                         |
| 0,5 - 1 mm         | 5     | ----  | 1,0 mm         | 14    | ----           |                         |
| 0,25 - 0,5 mm      | 2     | ----  | 0,5 mm         | 9     | ----           |                         |
| 0,125 - 0,25 mm    | 3     | ----  | 0,25 mm        | 6     | ----           |                         |
| 0,063 - 0,125 mm   | 2     | ----  | 0,125 mm       | 4     | ----           |                         |
| unter 0,063 mm     | 1,8   | ----  | 0,063 mm       | 1,8   | ≤ 3            |                         |
| <b>Summe</b>       | 100   | ----  |                |       |                |                         |
|                    |       |       | 0,02 mm        | ----  | ----           |                         |
|                    |       |       | 0,002 mm       | ----  | ----           |                         |

Sachbearbeiter: Kadlick  
Datum: 23.02.2021



**PRÜFBERICHT**

**UNGEBUNDENE TRAGSCHICHTEN**  
Recyclingkennwerte

Labor Nr.: 520/2021

|   |   |                                 |                                    |  |  |
|---|---|---------------------------------|------------------------------------|--|--|
| Angaben zur Probe                           | Antragsteller:<br>PORR Recycling GmbH   |                                 | Bellage: 3 zu: 520/2021            |  |  |
|   | Bauvorhaben:<br>Recyclingwerk Simmering |                                 | Eingangdatum: 08.02.2021           |  |  |
|   | Entnahmedatum:<br>08.02.2021            |                                 | Prüfzeitraum:<br>08.02.-22.02.2021 |  |  |
|   | Entnahmestelle:<br>Lagerbox             |                                 | Lieferwerk:<br>Simmering           |  |  |
| Eingangart: entnommen<br>MAPAG              |   | Eingangsart: entnommen<br>MAPAG |                                    |  |  |
| Prüfgut:<br>Betonrecycling RB S 0/32 U1 U-A |   | Entnommen von:<br>MAPAG         |                                    | Probenbezeichnung:<br>RB S 0/32 U1 U-A |  |

**Einteilung der Bestandteile in grober recycelter Gesteinskörnung EN 933-11**

|                                  | FL                    | X                    | Rc    | Rc+Ru+Rg             | Ru              | Rb                      |                      | Ra      | Rg    |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------|-------|----------------------|-----------------|-------------------------|----------------------|---------|-------|
|                                  | schwimmende Partikel  | sonstige Materialien | Beton | Beton, Gestein, Glas | Gesteinskörnung | Ziegel glasart. Keramik | nur glasart. Keramik | Asphalt | Glas  |
|                                  | [cm <sup>3</sup> /kg] | [M-%]                | [M-%] | [M-%]                | [M-%]           | [M-%]                   | [M-%]                | [M-%]   | [M-%] |
| 4/63                             | 0,2                   | 0,0                  | 98    | 98                   | 0,1             | 0,1                     | 0,0                  | 1,7     | 0,0   |
| zulässige Bestandteile ÖN B 3140 | ≤ 5                   | ≤ 1                  | ≥95   | NR                   | -----           | NR                      | ≤5                   | NR      | ≤ 2   |

Abbildung 1:  
Übersicht des Zwischenlagers bei der Probenahme



Abbildung 2:  
Detailansicht des Recyclingmaterials



Prüfergebnisse



**Allgemeine Angaben zur untersuchten Probe**

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| Probennummer  | <b>520/2021</b> |
| Eingangsdatum | 08.02.2021      |

**Analysenergebnisse und Grenzwertvergleich**

| <b>Eluatuntersuchung</b>   |          | Ergebnis | Grenzwerte          |      |                     |      |
|----------------------------|----------|----------|---------------------|------|---------------------|------|
| Parameter                  | Dim.     |          | Qualitätsklasse U-A |      | Qualitätsklasse U-B |      |
| pH-Wert                    | ---      | 11,2     | 7,5                 | 12,5 | 7,5                 | 12,5 |
| Leitfähigkeit              | mS/m     | 46,9     | 150                 |      | 150                 |      |
| Chrom-gesamt als Cr        | mg/kg TM | 0,13     | 0,60                |      | 1,0                 |      |
| Kupfer als Cu              | mg/kg TM | < 0,2    | 1,0                 |      | 2,0                 |      |
| Nickel als Ni              | mg/kg TM | < 0,1    | 0,40                |      | 0,60                |      |
| Ammonium als N             | mg/kg TM | < 0,8    | 4,0                 |      | 8,0                 |      |
| Chlorid als Cl             | mg/kg TM | 22       | 600                 |      | 1000                |      |
| Nitrit als N               | mg/kg TM | 0,12     | 2,0                 |      | 2,0                 |      |
| Sulfat als SO <sub>4</sub> | mg/kg TM | 221      | 2500                |      | 6000                |      |
| TOC als C                  | mg/kg TM | 15       | 100                 |      | 200                 |      |

| <b>Gesamtgehaltuntersuchung</b> |                     | Ergebnis | Grenzwerte          |                     |
|---------------------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|
| Parameter                       | Dim.                |          | Qualitätsklasse U-A | Qualitätsklasse U-B |
| Blei als Pb                     | mg/kg TM            | < 5      | 150                 | 150                 |
| Chrom-gesamt als Cr             | mg/kg TM            | 15       | 90                  | 90                  |
| Kupfer als Cu                   | mg/kg TM            | 12       | 90                  | 90                  |
| Nickel als Ni                   | mg/kg TM            | 11       | 60                  | 60                  |
| Quecksilber als Hg              | mg/kg TM            | < 0,05   | 0,70                | 0,70                |
| Zink als Zn                     | mg/kg TM            | 25       | 450                 | 450                 |
| KW-Index                        | mg/kg TM            | 145      | 150                 | 200                 |
| PAK16-EPA                       | mg/kg TM            | 1,3      | 12,0                | 20                  |
| <b>Verunreinigung</b>           |                     |          |                     |                     |
| FL                              | cm <sup>3</sup> /kg | 0,2      | 4                   | 5                   |
| Rg+X                            | M-%                 | 0,0      | 1                   | 1                   |

Anm.: Zellen mit überschrittenen Grenzwerten sind fett gedruckt und hinterlegt.

**Probenspezifische Dokumentation der Probenaufbereitung**

Inkl. Angaben gemäß EN 15002, EN 12457-4 und EN 13657

| <b>Allgemeine Informationen</b> |                   |      |
|---------------------------------|-------------------|------|
| Probennummer                    | 520/2021          |      |
| Kurzbeschreibung                | Recyclingbaustoff |      |
| Auffälligkeiten                 | keine             |      |
| Geruch                          | kalkig            |      |
| Masse der Laborprobe            | kg                | > 10 |
| Eingangsdatum                   | 08.02.2021        |      |
| Fertigstellung der Analysen     | 18.02.2021        |      |

| <b>Homogenisierung und Korngrößenreduktion 1</b> |      |   |
|--|------|---|
| Aussortierte inerte Fremdanteile                 | M-%  | 0   |
| Korngrößenanteil >10mm                           | JA   |   |
| Brechen mit Backenbrecher <10mm                  | JA   |   |
| Homogenisieren                                   | JA   |   |
| Probenteilung                                    | JA   |   |
| Sammelprobenherstellung                          | NEIN |   |
| Schnellkarbonatisierung                          | JA   | <i>Anm.: für Eluatunters. gem. RBV, Anh. 2, Fußnote 2</i> |
| Rückstellprobe                                   | JA   | <i>Anm.: Aufbewahrung mind. 1 Jahr</i>                    |

| <b>Trocknung</b>      |     |  |
|-----------------------|-----|--|
| Trocknung 105°C       | JA  | <i>Anm.: für Trockensubstanzbestimmung, Mahlen</i> |
| Trockensubstanz 105°C | M-% | 94   |

| <b>Eluatherstellung</b>      |  |   |
|------------------------------|--|---|
| Flüssig-/Feststoffverhältnis | 10:1 <i>Anm.: Gesamtwassermenge / Trockenmasse</i>         |   |
| Eluat-Einwaage               | g  | 110,11 <i>Anm.: originalfeuchte Probe</i> |
| +Wasser                      | ml   | 1004                                      |
| Zentrifugation               | JA <i>Anm.: für die Bestimmung organischer Parameter</i>   |   |
| Membranfiltration 0,45 µm    | JA <i>Anm.: für die Bestimmung anorganischer Parameter</i> |   |
| Aussehen-Eluat               | ---  | unauffällig                               |
| Geruch-Eluat                 | ---  | unauffällig                               |

| <b>Korngrößenreduktion 2</b> |    |   |
|------------------------------|----|---|
| Mahlen                       | JA | <i>Anm.: für TOC, Glühverlust, Aufschluss</i> |

| <b>Königswasseraufschluss gemäß EN 13657</b> |            |        |
|--|------------|--------|
| KÖ-Einwaage                                  | g          | 1,1874 |
| Abtrennung fester Rückstände                 | Filtration |        |

**Methoden zur Probenvorbereitung**

|   |            |   |                            |
|---|------------|---|----------------------------|
| Herstellung von Prüfmengen aus der Laborprobe | EN 15002   | + |                            |
| Trockensubstanz                               | EN 14346   | + |                            |
| Eluatherstellung                              | EN 12457-4 | + | Anm.: 24 +/- 0,5 Stunden   |
| Königswasseraufschluss                        | EN 13657   | + | Anm.: Mikrowellenverfahren |

**Analysenmethoden**

| Parameter                                      | Dim.                | Methode          | Bestimmungsgrenze* | Nachweisgrenze* |
|--|---------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Gesamtgehaltuntersuchung</b>                |                     |                  |                    |                 |
| <i>Analysen aus dem Königswasseraufschluss</i> |                     |                  |                    |                 |
| Blei als Pb                                    | mg/kg TM            | EN ISO 11885 +   | 5                  | < 2,5           |
| Chrom-gesamt als Cr                            | mg/kg TM            | EN ISO 11885 +   | 5                  | < 2,5           |
| Kupfer als Cu                                  | mg/kg TM            | EN ISO 11885 +   | 5                  | < 2,5           |
| Nickel als Ni                                  | mg/kg TM            | EN ISO 11885 +   | 5                  | < 2,5           |
| Quecksilber als Hg                             | mg/kg TM            | EN 16175-1 +     | 0,05               | < 0,025         |
| Zink als Zn                                    | mg/kg TM            | EN ISO 11885 +   | 10                 | < 5             |
| <i>Sonstige Gesamtgehalte</i>                  |                     |                  |                    |                 |
| KW-Index                                       | mg/kg TM            | EN 14039 +       | 20                 | < 10            |
| PAK16-EPA                                      | mg/kg TM            | ÖNORM L 1200 +   | 0,5                | < 0,25          |
| FL   | cm <sup>3</sup> /kg | EN 933-11 +      | 0,5                | < 0,25          |
| Rg+X   | M-%                 | EN 933-11 +      | 0,1                | < 0,05          |
| <b>Eluatuntersuchung</b>                       |                     |                  |                    |                 |
| Aussehen-Eluat                                 | ---                 | sensorisch       | ---                | ---             |
| Geruch-Eluat                                   | ---                 | sensorisch       | ---                | ---             |
| pH-Wert  | ---                 | EN ISO 10523 +   | ---                | ---             |
| Leitfähigkeit                                  | mS/m                | EN 27888 +       | 1                  | < 0,5           |
| Ammonium als N                                 | mg/kg TM            | EN ISO 11732 +   | 0,8                | < 0,4           |
| Nitrit als N                                   | mg/kg TM            | EN 26777 +       | 0,03               | < 0,015         |
| Chrom-gesamt als Cr                            | mg/kg TM            | EN ISO 11885 +   | 0,1                | < 0,05          |
| Kupfer als Cu                                  | mg/kg TM            | EN ISO 11885 +   | 0,2                | < 0,1           |
| Nickel als Ni                                  | mg/kg TM            | EN ISO 11885 +   | 0,1                | < 0,05          |
| Chlorid als Cl                                 | mg/kg TM            | EN ISO 10304-1 + | 10                 | < 5             |
| Sulfat als SO <sub>4</sub>                     | mg/kg TM            | EN ISO 10304-1 + | 10                 | < 5             |
| TOC als C                                      | mg/kg TM            | EN 1484 +        | 10                 | < 5             |

Anm.: Alle mit "+" gekennzeichneten Methoden sind im Akkreditierungsumfang enthalten.

\* Die angegebenen Bestimmungs- und Nachweisgrenzen beziehen sich auf trockene, nicht verunreinigte Proben

Probenahmeplan und -protokoll gemäß ÖNORM EN 932-1  
für die Deklarationsprüfung von Recycling-Baustoffen

Beilage 7 zu 520/2021

|  |  |  |
|--|--|--|
| Kennung (z.B. LaborNr.): <u>MAPAG</u>  |  |  |
| <b>Angaben des Herstellers</b>   |  |  |
| Art der Probe <input checked="" type="checkbox"/> RBS 013201 <sup>U-A</sup> <input type="checkbox"/> RA ..... <input type="checkbox"/> RMH ..... <input type="checkbox"/> RZ .....<br><input type="checkbox"/> RM ..... <input type="checkbox"/> RG ..... <input type="checkbox"/> ..... |  |  |
| Hersteller: Name: <u>Fa. Porr Recycling GmbH</u><br>Anschrift: <u>1100 Wien, 7. Handleguenerstraße 1</u><br>GLN: <u>9008391824602</u>  |  |  |
| Produktionsstätte:<br>(Bezeichnung, Adresse) <u>Recyclingwerk Simmering</u><br><u>GLN 9008391824299</u>  |  |  |
| Charge:  | Menge in t ca.: <u>100 t</u>   | Produktionszeitraum (von-bis): <u>31.5.2021</u><br><u>11.01.2021, 20.01.2021, 21.01.2021</u> |
| <b>Probenahme</b>  | Datum: <u>08/02/2021</u> <span style="float: right;"><u>wird detailt</u></span>  |  |
| Lage der Entnahmestelle  | <input type="checkbox"/> Haufen <input checked="" type="checkbox"/> Lagerbox<br><input type="checkbox"/> Abwurf Förderband   |  |
| Probenahmeverfahren  | <input type="checkbox"/> Bagger <input checked="" type="checkbox"/> Radlader <input type="checkbox"/> sonstiges:<br><input type="checkbox"/> vom Förderband  |  |
| Probenmenge  | <u>10</u> Einzelproben á <u>15</u> kg <input type="checkbox"/> Sammelprobe $\Sigma$ ca. <u>150</u> kg<br>(mind. 10) (mind. 10 x $\sqrt{\text{Größtkorn [mm]}}$ )   |  |
| Auffälligkeiten,<br>Farbe, Geruch  | <u>keine</u><br><u>o.B.</u>  |  |
| Zu prüfende Eigenschaften  | <input checked="" type="checkbox"/> Bruchflächigkeit <input checked="" type="checkbox"/> Frostbeständigkeit<br><input checked="" type="checkbox"/> Korngrößenverteilung <input checked="" type="checkbox"/> Kornform <input type="checkbox"/> Frost-Tau-Widerstand<br><input checked="" type="checkbox"/> Bestandteile+Fremdanteile <input checked="" type="checkbox"/> LA - Koeffizient <input type="checkbox"/> Bitumengehalt<br><input checked="" type="checkbox"/> Umweltanalytik <input checked="" type="checkbox"/> Rohdichte, Wasseraufnahme <input type="checkbox"/> .....<br><input checked="" type="checkbox"/> Frostsicherheit <input type="checkbox"/> ..... |  |
| Äußere Bedingungen   | <u>0</u> °C <input type="checkbox"/> Sonne <input checked="" type="checkbox"/> wolkig <input type="checkbox"/> Regen <input type="checkbox"/> Schneefall <input type="checkbox"/> Nebel  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Fotodokumentation (mind. 1xÜberblick, 1xProbenmaterial)  |  |  |
| Anmerkungen:   |  |  |
| Probennummer:  | Probenehmer  | für den Auftragnehmer  |
| Name: (Blockschrift)   | <u>KADLEC (MAPAG)</u>  |  |
| Unterschrift:  | <u>Kadlec</u>  |  |

## Anhang C

# Produktdatenblätter

Der folgende Anhang beinhaltet sämtliche für die Diplomarbeit relevanten Produktdatenblätter. Der Einsatz der Produkte ist in Kapitel 3.2 näher beschrieben.

# Ravenit BV 77

Fließmittel für erhöhte Festigkeit, CE-zertifiziert gemäß EN 934-2



## Produktbeschreibung

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Beschreibung / Werkstoff      | Chloridfreies, flüssiges Zusatzmittel für Beton, wasserverdünnbar.   |
| Bindemittelbasis / Wirkstoffe | Naphthalinsulfonat   |
| Verwendungszweck              | Ravenit BV 77 ist im besonderen geeignet zur Herstellung von einschichtigen Industriefußböden aus Stahlbeton (Monolithböden). Durch die gute Verflüssigung wird der Einbau des Betons wesentlich erleichtert, zusätzlich wird die Wartezeit bis zur Oberflächenbearbeitung deutlich verkürzt, die Endfestigkeiten werden wesentlich erhöht. Auch für sonstigen Beton auf Baustellen oder in Fertigteilwerken, wo es auf frühzeitiges Entschalen und hohe Endfestigkeiten ankommt.  |
| Eigenschaften                 | <p>■ <b>Sonstige Bauteile:</b><br/>Zur Herstellung anderer Bauteile ist den jeweiligen bautechnischen Regeln entsprechend gleichsinnig vorzugehen und stets auch die notwendige Nachbehandlung durchzuführen.</p> <p>Ravenit BV 77 verflüssigt kräftig den Frischbeton, sodass die Konsistenz zB. von C2 auf F45 verbessert werden kann (ÖNORM B 4710). Es werden keine Luftporen eingeführt. Charakteristisch sind trotz ausreichender Wirkungsdauer die Beschleunigung der Erstarrungszeiten und die Erhöhung der Endfestigkeit gegenüber Beton ohne Zusatzmittel.</p> |
| Farbtöne                      | Braun.   |
| Verpackung / Gebindegrößen    | <p>■ 25 kg;<br/>■ 200 kg;<br/>■ 1000 kg.</p>   |
| Lagerung                      | In gut verschlossenen Originalgebinden bis zu 2 Jahre lagerfähig. Nach Lagerung bei Frost Ravenit BV 77 durch Lagern in temperierten Räumen völlig auftauen lassen. Nach längerer Lagerung gründlich durchmischen (Fässer hin und her rollen).   |
| Qualitätssicherung            | Hochwertige Produkte bedürfen einer strengen Kontrolle von Rohstoffen und deren Verarbeitung. Hauseigene Chemiker stellen diese Qualität von Eingang bis Ausgang der Ware sicher. AvenariusAgro produziert nach dem TÜV-geprüften und zertifizierten Qualitätsmanagementsystem ISO 9001-2015 und wurde mit dem Responsible Care Zertifikat ausgezeichnet.  |

## Technische Daten

|         |                |
|---------|----------------|
| Dichte  | Ca. 1,09 kg/l. |
| pH-Wert | Ca. 8.         |





|                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| Wasserlöslichkeit | In Wasser löslich. |
|-------------------|--------------------|

## Verarbeitung

|              |   |
|--------------|---|
| Verarbeitung | Nach allfälliger Prüfung der erzielten Konsistenz wird der Frischbeton eingebracht, sachgemäß verteilt, verdichtet und abgezogen. Nach der üblichen - jedoch durch Ravenit BV 77 deutlich verkürzten - Wartezeit kann mittels Scheiben- bzw. Flügelglätter der Verdichtungs- bzw. Glättvorgang begonnen werden. |
|--------------|---|

### ■ Vermischung:

Zur Herstellung von einschichtigen Industriefußböden dient im allgemeinen ein normgemäßer Transportbeton. Am Ende der Fahrtstrecke wird Ravenit BV 77 in der vorberechneten Menge in den Fahrmischer geschüttet, der noch 5 Minuten im Schnellgang durchmischt, um die nötige, gleichmäßige Verteilung des Zusatzmittels im gesamten Mischgut zu erreichen.

|                |  |
|----------------|--|
| Nachbehandlung | Der fertiggestellte Industriefußboden ist vor schädlicher Sonneneinstrahlung, Windeinwirkung oder starker Temperaturveränderung zu schützen (schließen von Fenstern und Türen udgl.). Der vorzeitigen Verdunstung ist durch Feuchthalten oder Abdecken mit Folien vorzubeugen. Objekte im Freien bedürfen einer besonders sorgfältigen Nachbehandlung durch Abdecken, Warmhalten udgl. |
|----------------|--|

### Hinweise **Ergänzende Maßnahmen:**

Für die Verfüllung von Fugen oder Scheinfugen dienen unsere diversen Fugenfüllmassen. Für die nötige Oberflächenbehandlung (zB. bei chemischer Beanspruchung) sind unsere Produkte zur Imprägnierung, Versiegelung und Beschichtung geeignet.

|             |   |
|-------------|---|
| Zusatzmenge | 0,5 - 2,0 % v. Zementgewicht,<br>1 - 1,5 % v. Zementgewicht für die Anwendung im Industriebodenbereich.<br>Bei außergewöhnlichen Umständen oder Anforderungen wird die Festlegung durch eine Eignungsprüfung empfohlen. |
|-------------|---|

## Chemikalienrechtliche Bestimmungen

|            |  |
|------------|--|
| Entsorgung | Sonderabfallverbrennung oder Problemstoffsammelstellen. Nicht mit dem Hausmüll entsorgen. Nicht in die Kanalisation, ins Erdreich oder in Gewässer gelangen lassen. Ungereinigte Verpackung wie Produkt entsorgen. |
|------------|--|

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Sicherheitsdatenblatt | Das Sicherheitsdatenblatt kann unter <a href="http://www.avenariusagro.at">http://www.avenariusagro.at</a> abgerufen werden. |
|-----------------------|--|

Technische Information: Ravenit BV 77, Stand: 08 / 2018

Diese technische Information ist auf Basis des neuesten Stands der Technik und unserer Erfahrungen zusammengestellt worden. Im Hinblick auf die Vielfalt der Untergründe und Objektbedingungen werden wir durch den Inhalt unserer technischen Information nicht verpflichtet. Sie entbindet den Käufer / Anwender also nicht davon, unsere Werkstoffe in eigener Verantwortung auf ihre Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck unter den jeweiligen Objektbedingungen fach- und handwerksgerecht zu prüfen. Bei Erscheinen einer Neuauflage / neuen PDF-Version verliert diese Druckschrift ihre Gültigkeit.

### Technische Beratung

Alle in der Praxis vorkommenden Untergründe und deren anstrichtechnische Behandlung können in dieser Druckschrift nicht abgehandelt werden. In schwierigen Fällen beraten Sie unsere Fachberater detailliert und objektbezogen.

### Avenarius-Agro GmbH

**Zentrale & Werk:** Industriestraße 51, A-4600 Wels, Telefon: +43/7242/489-0, Telefax: +43/7242/489-5700, Internet: [www.avenariusagro.at](http://www.avenariusagro.at), E-Mail: [office@avenariusagro.at](mailto:office@avenariusagro.at)

**Filiale Wien:** A-1110 Wien, Sofie-Lazarsfeld-Str. 10, Tel.: 01 / 201 463 072, Fax: 01 / 20 1 46 - 3075, E-Mail: [wien@avenariusagro.at](mailto:wien@avenariusagro.at)

# Ravenit BE Schnellbinder

chloridfrei, flüssig



## Produktbeschreibung

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Beschreibung / Werkstoff   | Leicht bewegliche, farblose Flüssigkeit; mit Wasser mischbar.<br>Enthält keine Lösemittel und keine Kunststoffe. Ravenit BE ist chloridfrei.   |
| Verwendungszweck           | Arbeiten mit Zementmörtel und Beton, bei denen rasches Erstarren gewünscht ist, zB. Montage- oder Versetzarbeiten an Steigeisen, Bolzen, Rohrschellen, Verankerungen, Kabeleinführungen, Geländerstehern u.a.<br>Ferner für Ausbesserungen in Kellern, Brunnen, Garagen, Kläranlagen, Schächten, Stützmauern, Einfriedungen, Tunnels; an Hohlkehlen, Stiegenstufen. Mörtelüberzüge für Abdichtungen, flächenhafte Vordichtungen gegen Sickerwasser auf Beton oder Felsflächen. |
| Eigenschaften              | Ravenit BE beschleunigt das Erstarren und das Erhärten von Zementmörtel und Beton. Das Ausmaß der Erstarrungszeiten lässt sich in Abhängigkeit von der Zusatzmenge verändern; es ist auch von der Zementsorte abhängig.<br>Niedrige Temperaturen verzögern die Erstarrungszeiten, höhere beschleunigen sie.  |
| Wirksamkeit                | Ravenit BE wirkt nicht korrosiv auf Stahleinlagen, es verhindert nicht die Atmungsfähigkeit eines damit hergestellten Mörtels.   |
| Farbtöne                   | Farblos.   |
| Verpackung / Gebindegrößen | ■ 1 kg;<br>■ 6 kg.   |
| Lagerung                   | In Originalgebinden gut verschlossen und frostfrei aufbewahren.<br>Lagerfähigkeit ca. 1 Jahr.  |
| Qualitätssicherung         | Hochwertige Produkte bedürfen einer strengen Kontrolle von Rohstoffen und deren Verarbeitung. Hauseigene Chemiker stellen diese Qualität von Eingang bis Ausgang der Ware sicher. AvenariusAgro produziert nach dem TÜV-geprüften und zertifizierten Qualitätsmanagementsystem ISO 9001-2015 und wurde mit dem Responsible Care Zertifikat ausgezeichnet.  |

## Technische Daten

|                     |  |
|---------------------|--|
| Mischungsverhältnis | Als Bindemittel sind Portlandzement CEM II/A 32,5 oder CEM II/A 42,5 zu verwenden.<br>Sauberes Anmengewasser verwenden!<br><br>Am besten durch Eignungsprüfungen festlegen. Für die Wahl der Zusatzmengen von Ravenit BE sind zu berücksichtigen: gewünschte Erstarrungszeit, Luft- und Materialtemperatur, Zementsorte, Zementgehalt, Konsistenz der Frischmischung, Dicke des Bauteiles. |
|---------------------|--|





| Richtwerte für Schnellbinder / Ravenit BE-Bedarf   |                                   |                                   |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Zementmörtel in plast. Konsistenz  | ohne Sand                         | Zement : Sand<br>1 RT : 3 RT      |
| 1 RT : 3 RT<br>Schnellbinder Ravenit BE : Wasser<br>1 kg reicht für:<br>Erstarrungsbeginn (+ 20°C) je nach Zementtype: | ca. 6,5 l Mörtel<br>ca. 4 Minuten | ca. 15 l Mörtel<br>ca. 20 Minuten |
| 1 RT : 8 RT<br>Schnellbinder Ravenit BE : Wasser<br>1 kg reicht für:<br>Erstarrungsbeginn (+ 20°C) je nach Zementtype: | ca. 15 l Mörtel<br>ca. 8 Minuten  | ca. 40 l Mörtel<br>ca. 40 Minuten |

|                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| Dichte            | Ca. 1,3 kg/l.      |
| pH-Wert           | Über 10.           |
| Wasserlöslichkeit | In Wasser löslich. |

## Verarbeitung

|                |   |
|----------------|---|
| Verarbeitung   | Ravenit BE wird im Anmengewasser gelöst den Mischungen beigegeben. Für gleichmäßige Verteilung im gesamten Mischgut ist zu sorgen. Es sollte nur eine Maschinenmischung erfolgen (notfalls: zügige, intensive Handmischung!). Je nach Temperatur und Zugabemenge verfügt der Frischmörtel über begrenzte Verarbeitungsdauer. Das Einbringen und Verdichten des Mörtels muss bis zum Erstarrungsbeginn beendet sein. Bei niedrigen Temperaturen muss Ravenit BE höher dosiert werden und/oder mit warmen Wasser (bis +40°C) verarbeitet werden.<br>Die Temperatur des Frischmörtels muss mindestens +5°C betragen. Einschlägige Richtlinien und Normen, sowie handwerkliche Regeln sind zu beachten. |
| Nachbehandlung | Wie bei allen zementgebundenen Massen ist das vorzeitige Verdunsten von Anmengewasser und das Abwandern von Feuchtigkeit in den Untergrund auf geeignete Weise wirksam zu verhindern. Zur vollkommenen Hydratation und Rissfreiheit sind Abdecken und Feuchthalten umso wichtiger, je größer die Erstarrungsbeschleunigung gewählt wird.  |
| Zusatzmenge    | Die Dosierung ist im Zuge von Vorversuchen an der Baustelle auf den gewünschten Effekt festzulegen.<br>Empfohlene Dosierung: 1 - 2,5 % vom Zementgewicht;<br>Zulässige Höchstdosierung: 5 % vom Zementgewicht.  |

## Chemikalienrechtliche Bestimmungen

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Entsorgung            | Sonderabfallverbrennung oder Problemstoffsammelstellen. Nicht mit dem Hausmüll entsorgen. Nicht in die Kanalisation, ins Erdreich oder in Gewässer gelangen lassen. Ungereinigte Verpackung wie Produkt entsorgen. |
| Sicherheitsdatenblatt | Das Sicherheitsdatenblatt kann unter <a href="http://www.avenariusagro.at">http://www.avenariusagro.at</a> abgerufen werden.   |

Technische Information: Ravenit BE Schnellbinder, Stand: 10 / 2016

Diese technische Information ist auf Basis des neuesten Stands der Technik und unserer Erfahrungen zusammengestellt worden. Im Hinblick auf die Vielfalt der Untergründe und Objektbedingungen werden wir durch den Inhalt unserer technischen Information nicht verpflichtet. Sie entbindet den Käufer / Anwender also nicht davon, unsere Werkstoffe in eigener Verantwortung auf ihre Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck unter den jeweiligen Objektbedingungen fach- und handwerksgerecht zu prüfen. Bei Erscheinen einer Neuauflage / neuen PDF-Version verliert diese Druckschrift ihre Gültigkeit.

### Technische Beratung

Alle in der Praxis vorkommenden Untergründe und deren anstrichtechnische Behandlung können in dieser Druckschrift nicht abgehandelt werden. In schwierigen Fällen beraten Sie unsere Fachberater detailliert und objektbezogen.

### Avenarius-Agro GmbH

**Zentrale & Werk:** Industriestraße 51, A-4600 Wels, Telefon: +43/7242/489-0, Telefax: +43/7242/489-5700, Internet: [www.avenariusagro.at](http://www.avenariusagro.at), E-Mail: [office@avenariusagro.at](mailto:office@avenariusagro.at)  
**Filiale Wien:** A-1110 Wien, Sofie-Lazarsfeld-Str. 10, Tel.: 01 / 201 463 072, Fax: 01 / 20 1 46 - 3075, E-Mail: [wien@avenariusagro.at](mailto:wien@avenariusagro.at)

# Ravenit DM-F Betondichtmittel

Betondichtmittel



## Produktbeschreibung

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Beschreibung / Werkstoff   | Hochkonzentrierte, dunkelbraune, wasserverdünnbare Flüssigkeit. Ravenit DM-F wird den Mischungen von Beton oder Zementmörtel zur Erzielung von Wasserundurchlässigkeit beigegeben.<br>Ravenit DM-F ist chloridfrei.  |
| Verwendungszweck           | <p>■ <b>Im Tiefbau:</b><br/>Zur Herstellung von wasserundurchlässigem Beton - auch bei Druckwasser<br/>- bei Fundamenten, Kläranlagen, Schwimmbecken, Wasserkraftanlagen, Schleusen, Kaimauern, Kanälen, Brückenwiderlagern, unterirdischen Verkehrsbauten u.a.</p> <p>■ <b>Im Hochbau:</b><br/>Für wasserundurchlässigen Beton gegen aufsteigende oder seitlich eindringende Feuchtigkeit bei Kellerwänden, Kellerböden, Aufzugsschächten, Stützmauern u. dgl., auch für Stahlbeton.</p> <p>■ <b>Im Fertigteilbau:</b><br/>Für wasserdichte Betonrohre, Betonsäulen, Betonplatten u. dgl. Ravenit DM-F ist auch für wasserdichten Zementmörtel geeignet, hingegen nicht für Kalkmörtel.</p> |
| Eigenschaften              | Ravenit DM-F bewirkt ferner die kräftige Verflüssigung des Mischgutes, die zur Verringerung des W / B-Wertes zu nützen ist.<br>Diese Eigenschaft bewirkt bei sachgemäßer Verarbeitung die Wasserundurchlässigkeit von Beton und Zementmörtel und verringert die Wasseraufnahme (ÖNORM B 4710/Teil 1).  |
| Wirksamkeit                | Ravenit DM-F wirkt der Entmischung und dem Bluten des Frischbetons entgegen. Die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen Aggressivstoffe wird verbessert; ergibt ölbeständige Mörtel und Betone.   |
| Farbtöne                   | Dunkelbraun.   |
| Prüfzeugnisse/Zulassungen  | Staatlich autorisiertes Laboratorium für Betontechnologie und Bodenprüfung, Graz: Prüfzeugnis über Wasserundurchlässigkeit.  |
| Verpackung / Gebindegrößen | <p>■ 1 kg;</p> <p>■ 5 kg;</p> <p>■ 25 kg.</p>  |
| Lagerung                   | In Originalgebinden frostsicher und gut verschlossen lagern. Eingedicktes oder abgesetztes Ravenit DM-F kann durch kräftiges Rühren, eventuell zusätzliches Erwärmen, wieder gebrauchsfähig gemacht werden.<br>Lagerfähigkeit ca. 2 Jahre.   |



|                    |   |
|--------------------|---|
| Qualitätssicherung | Hochwertige Produkte bedürfen einer strengen Kontrolle von Rohstoffen und deren Verarbeitung. Hauseigene Chemiker stellen diese Qualität von Eingang bis Ausgang der Ware sicher. AvenariusAgro produziert nach dem TÜV-geprüften und zertifizierten Qualitätsmanagementsystem ISO 9001-2015 und wurde mit dem Responsible Care Zertifikat ausgezeichnet. |
|--------------------|---|

## Technische Daten

|                   |   |
|-------------------|---|
| Verbrauch         | ■ Beton: 1,5 - 4 kg Ravenit DM-F pro m <sup>3</sup> ;<br>■ Zementmörtel: pro cm Dicke des Mörtels ca. 0,05 - 0,1 kg Ravenit DM-F pro m <sup>2</sup> . |
| Dichte            | 1,1 kg/l.   |
| pH-Wert           | Ca. 7.  |
| Wasserlöslichkeit | In Wasser löslich.  |

## Verarbeitung

|                |   |
|----------------|---|
| Verarbeitung   | <p>■ <b>Betonbestandteile:</b><br/>Es empfiehlt sich, Zemente nach EN 197 und Zuschläge nach EN 12620 einzusetzen. Wasser sollte Trinkwasserqualität haben. Mischungsverhältnis im Vorhinein festlegen, am besten auf Grund von Eignungsprüfungen unter Baustellenbedingungen.</p> <p>■ <b>Beton und Mörtelmischungen:</b><br/>Es soll nur Maschinenmischung erfolgen. Ravenit DM-F wird in der vorberechneten Menge händisch mit entsprechenden Dosiergefäßen während des Mischvorganges auf das Mischgut geschüttet. Es kann auch mit geeigneten üblichen Dosiergeräten dem Mischgut oder dem Anmengewasser zugegeben werden.<br/>Unbedingt sind ausreichende Mischzeiten einzuhalten. Die gewünschte Konsistenz wird durch Zugabe von reinem Wasser sachgemäß eingestellt. Die Verflüssigungswirkung von Ravenit DM-F ist dabei zu berücksichtigen.</p> <p>■ <b>Betonherstellung:</b><br/>Normen und allgemeine Regeln zur Erzielung von wasserdichtem Beton sind einzuhalten (zB. ÖNORM B 4710, Teil 1).<br/>Auf Großbaustellen und bei Einwirkung von Druckwasser ist eine fachgerechte Überwachung der Betonherstellung zu empfehlen. Entmischungen bei Transport, Einbau und Verdichtung sind zu vermeiden. Schalungsabstandhalter dürfen im wasserdurchlässigen Beton keine durchgehenden "Wasserbrücken" bilden.<br/>Für wasserdichte Becken, Wannen oder dgl. ist im Voraus die Ausbildung der Fugen zu planen.</p> |
| Nachbehandlung | Beton und Zementmörtel mit Ravenit DM-F sind wie alle zementgebundenen Bauteile ordnungsgemäß nachzubehandeln.<br>Verdunstungsschutz durch Aquastat E, Abdecken oder Feuchthalten ist vor allem bei großen Betonoberflächen, großflächigen Fahrbahndecken, Betonböden, Zementestrichen u. dgl. erforderlich.  |
| Zusatzmenge    | Im allgemeinen 0,5 % bis 1 % Ravenit DM-F vom Zementgewicht.  |

## Chemikalienrechtliche Bestimmungen

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Hinweise              | Reste von Ravenit DM-F mit Zement/Wasser/Sand mischen und aushärten lassen; anschließend als Bauschutt gemäß ÖNORM S 2100, Schlüsselnummer 31409, entsorgen oder als 07 07 99 (Europäischer Abfallkatalog).        |
| Entsorgung            | Sonderabfallverbrennung oder Problemstoffsammelstellen. Nicht mit dem Hausmüll entsorgen. Nicht in die Kanalisation, ins Erdreich oder in Gewässer gelangen lassen. Ungereinigte Verpackung wie Produkt entsorgen. |
| Abfallschlüsselnummer | 31409 (gemäß ÖNORM S 2100)   |
| Sicherheitsdatenblatt | Das Sicherheitsdatenblatt kann unter <a href="http://www.avenariusagro.at">http://www.avenariusagro.at</a> abgerufen werden.   |

Technische Information: Ravenit DM-F Betondichtmittel, Stand: 10 / 2016

Diese technische Information ist auf Basis des neuesten Stands der Technik und unserer Erfahrungen zusammengestellt worden. Im Hinblick auf die Vielfalt der Untergründe und Objektbedingungen werden wir durch den Inhalt unserer technischen Information nicht verpflichtet. Sie entbindet den Käufer / Anwender also nicht davon, unsere Werkstoffe in eigener Verantwortung auf ihre Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck unter den jeweiligen Objektbedingungen fach- und handwerksgerecht zu prüfen. Bei Erscheinen einer Neuauflage / neuen PDF-Version verliert diese Druckschrift ihre Gültigkeit.

### Technische Beratung

Alle in der Praxis vorkommenden Untergründe und deren anstrichtechnische Behandlung können in dieser Druckschrift nicht abgehandelt werden. In schwierigen Fällen beraten Sie unsere Fachberater detailliert und objektbezogen.

### Avenarius-Agro GmbH

**Zentrale & Werk:** Industriestraße 51, A-4600 Wels, Telefon: +43/7242/489-0, Telefax: +43/7242/489-5700, Internet: [www.avenariusagro.at](http://www.avenariusagro.at), E-Mail: [office@avenariusagro.at](mailto:office@avenariusagro.at)

**Filliale Wien:** A-1110 Wien, Sofie-Lazarsfeld-Str. 10, Tel.: 01 / 201 463 072, Fax: 01 / 20 1 46 - 3075, E-Mail: [wien@avenariusagro.at](mailto:wien@avenariusagro.at)

# BOTAMENT® ZF 71

## Luftporenbildner/ Mischöl

BOTAMENT® ZF 71 sorgt für eine gleichmäßige, optimal verteilte Bildung von Mikroluftporen in Estrichen sowie Putz- und Mauermörteln.

BOTAMENT® ZF 71 verringert das Eindringen von Wasser und schädlichen Substanzen. Estriche und Mörtel werden durch die Zugabe von BOTAMENT® ZF 71 plastischer, geschmeidiger und haftfähiger und lassen sich dadurch leichter verarbeiten.

BOTAMENT® ZF 71 kann allen Mischungen auf Basis von Normzementen und Kalken hinzugefügt werden.

### Eigenschaften

- ❖ Verbessert die Verarbeitungseigenschaften
- ❖ Erhöht die Geschmeidigkeit
- ❖ Senkt den W/Z-Wert
- ❖ Steigert die Haftung
- ❖ Chlorid- und lösemittelfrei

### Verarbeitung

BOTAMENT® ZF 71 wird dem Anmachwasser beigegeben. Dabei ist die Menge des Anmachwassers um den Anteil des Luftporenbildners zu reduzieren. Anschließend wird der Mörtel mindestens 1 Minute lang gemischt.

### Wichtige Hinweise

Eine Überdosierung von BOTAMENT® ZF 71 vermindert die Festigkeit des Mörtels.

Das Sicherheitsdatenblatt steht Ihnen unter [www.botament.com](http://www.botament.com) zur Verfügung.

Um optimale Ergebnisse zu erzielen, empfehlen wir eine baustellenspezifische Probeverarbeitung.

BOTAMENT® ZF 71 darf nur mit den in diesem Merkblatt angegebenen Zuschlagstoffen versetzt werden.

### Technische Daten

|   |   |
|---|---|
| Materialbasis                           | Wurzelharz  |
| Farbton                                 | dunkelbraun   |
| Lieferform                              | 5 l- Kanister   |
| Lagerung                                | frostfrei mind. 12 Monate im verschlossenen Originalgebinde |
| Dichte                                  | ~ 1,03 kg/ dm <sup>3</sup>                                  |
| Konsistenz                              | dünnflüssig   |
| Verbrauch (pro 25 kg Bindemittel)       |   |
| Estrich                                 | ~ 0,50 l (max.)   |
| Mauermörtel                             | ~ 0,30- 0,40 l  |
| Putzmörtel                              | ~ 0,40- 0,50 l  |
| Temperaturbeständigkeit                 | + 5 °C bis + 35 °C  |
| Verarbeitungs- und Untergrundtemperatur | + 5 °C bis + 30 °C  |
| Reinigungsmittel (im frischen Zustand)  | Wasser  |

**Anmerkung:** Die hier gemachten Angaben erfolgen aufgrund unserer Erfahrungen nach bestem Wissen, jedoch unverbindlich. Sie sind auf die jeweiligen Bauobjekte, Verwendungszwecke und die besonderen örtlichen Beanspruchungen abzustimmen. Dies vorausgesetzt, haften wir für die Richtigkeit dieser Angaben im Rahmen unserer Verkaufs-, Lieferungs- und Zahlungsbedingungen. Von den Angaben unserer Merkblätter abweichende Empfehlungen unserer Mitarbeiter sind für uns nur verbindlich, wenn sie schriftlich bestätigt werden. In jedem Fall sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik einzuhalten. Ausgabe D-1608. Weitere technische Details entnehmen Sie bitte unseren technischen Merkblättern unter [www.botament.com](http://www.botament.com).  
BOTAMENT® Systembaustoffe GmbH & Co. KG • Am Kruppwald 1 • D-46238 Bottrop

# DER GRÜNE®

## Produktdatenblatt

### EN 197-1 - CEM II/A-S 42,5 R WT 42

**Chromatarm gem. Verordnung (EG) Nr. 1907/2006**  
**Portlandhüttenzement gem. ÖNORM EN 197-1:2011, Werk Mannersdorf**  
**WT 42 gem. ÖNORM B 3327-1:2005**  
**CE-Kennzahl 2523-CPR-0038, ÜA: R-1.1.1-18-1280**  
**Fremdüberwacht durch das FI der VÖZ**



#### Anwendungsbereich:

Für die wesentlichen Anwendungen gem. österreichischer Betonnorm ÖNORM B 4710-1 bzw. ÖVBB Richtlinien geeignet. Dieser Zement ist ein frühhochfester Portlandhüttenzement mit normalen Abbindezeiten, jedoch mit rascherem Erhärtungsverlauf, wodurch einerseits früheres Ausschalen und andererseits eine schnellere Belastung von Betonteilen möglich ist. Durch die raschere Festigkeitsentwicklung ist diese Zementsorte auch für das Betonieren bei tiefen Temperaturen, speziell unter 10° C, zu empfehlen. Speziell geeignet für Transportbeton, Betonfertigteile und Tunnelinnenschalen.

#### Eigenschaften gem. laufender Eigenüberwachung

|   | Richtwerte | Normanforderungen      |                        |
|---|------------|------------------------|------------------------|
|   |            | ÖNORM<br>EN 197-1:2011 | ÖNORM<br>B 3327-1:2005 |
| Dichte in kg/dm <sup>3</sup>                              | 3,05       | -                      | -                      |
| Druckfestigkeit (bei 20° C) in MPa (= N/mm <sup>2</sup> ) | 1 Tag      | 20                     | ≥ 11                   |
|   | 2 Tage     | 30                     | -                      |
|   | 7 Tage     | -                      | -                      |
|   | 28 Tage    | 59                     | ≥ 42,5 ≤ 62,5          |
| Biegezugfestigkeit (bei 20° C) 28 Tage in MPa             | -          | -                      | -                      |
| Mahlfeinheit (Blainewert) in cm <sup>2</sup> /g           | 4.700      | -                      | ≤ 5% Schwankung        |
| Erstarrungsbeginn (bei 20° C) in min                      | 130        | ≥ 60                   | ≥ 90                   |
| Bluten in cm <sup>3</sup> nach 120 min                    | 6          | -                      | ≤ 15                   |
| Wärmeentwicklung in J/g Zement nach 15 h                  | 250        | -                      | ≤ 310                  |
| Sulfatbeständigkeit bzw. C <sub>3</sub> A-frei            | nein       | -                      | -                      |

#### Lafarge Zementwerke GmbH Vertrieb Österreich

2452 Mannersdorf, Roter Weg 2  
 Tel. +43 2168 623 11-0  
 Tel. Bestellungen: +43 2168 623 11-2500  
 E-Mail: [bestellungen.vo@lafarge.com](mailto:bestellungen.vo@lafarge.com)

8461 Ehrenhausen, Retznei 34  
 Tel. +43 3453 2101-0  
 Tel. Bestellungen: +43 3453 2101-3521  
 E-Mail: [versand.retznei@lafarge.com](mailto:versand.retznei@lafarge.com)

[www.lafarge.at](http://www.lafarge.at)



Lieferform: Lose und Sack (à 25 kg), im (Silo)-LKW oder Bahnwaggon

Lagerung: Trocken, geschlossen im Silo, vor Feuchtigkeit Zutritt schützen

Haltbarkeit (chromatarm): Trocken im Silo 1 Monat, trocken im Sack 4 Monate

Farbe als Pulver: Hellgrau, Farbunterschiede zu anderen Zementarten bzw. -sorten möglich

Gültig ab 11.01.2022  
 Sicherheitsdatenblatt anfordern bzw. beachten

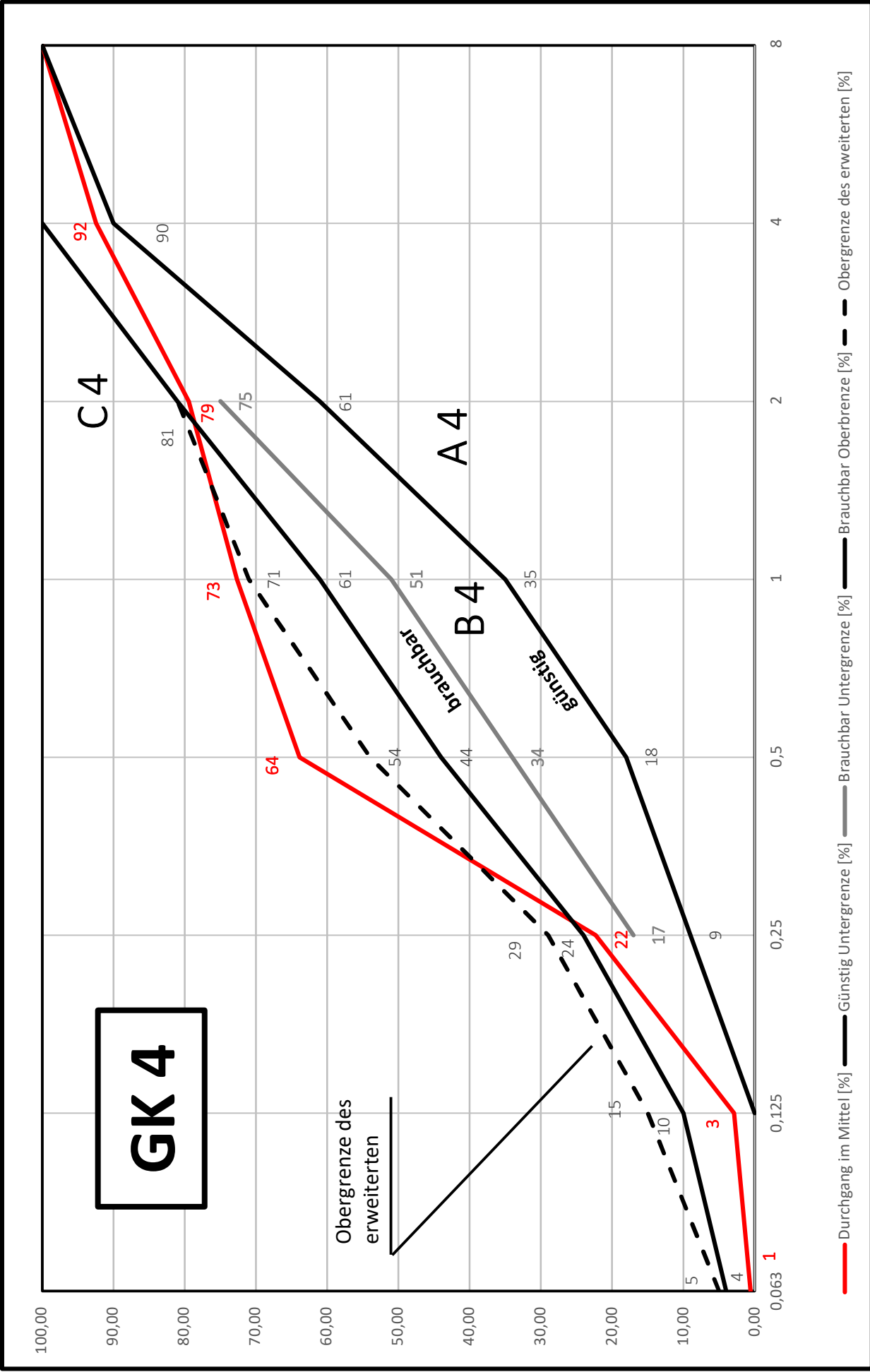
# Anhang D

## Sieblinien

Folgender Anhang enthält die Sieblinien des rezyklierten Materials und der Zuschlagstoffe mit runder Kornform, welche für die Erstellung des Betons im Laufe dieser Diplomarbeit verwendet wurden.

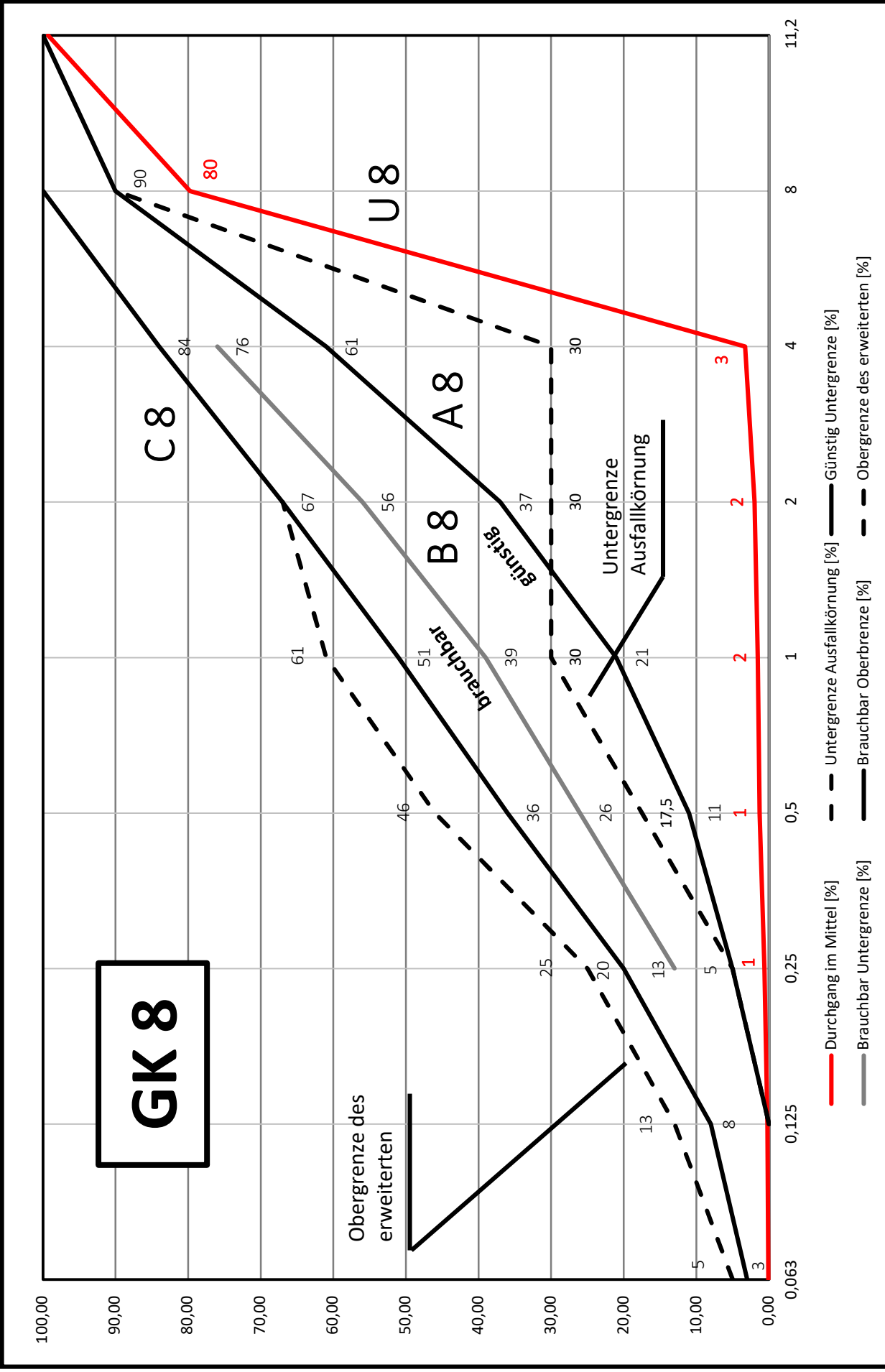


| 0/4 Sand<br>trocken            | Probenmenge<br>[g] | Maschenweite |      |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|--------------------|--------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                |                    | 0            | 0,06 | 0,13  | 0,25  | 0,5   | 1     | 2     | 4     | 8      | 11,2   | 16     | 22,4   | 31,5   | 45     | 63     | 90     | 125    |
| Probenrückstand<br>Probe 1 [g] | 1131,0             | 5,9          | 25,1 | 222,9 | 456,9 | 102,8 | 84,2  | 149,8 | 75,8  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 2 [g] | 1334,3             | 7,9          | 27,8 | 258,2 | 525,0 | 117,9 | 92,4  | 183,5 | 113,7 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 3 [g] | 1362,6             | 7,8          | 31,7 | 239,1 | 558,8 | 105,3 | 73,1  | 149,3 | 90,8  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 4 [g] |                    |              |      |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 5 [g] |                    |              |      |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 6 [g] |                    |              |      |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 7 [g] |                    |              |      |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 8 [g] |                    |              |      |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 9 [g] |                    |              |      |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rückstand im Mittel<br>[g]     | 1276,0             | 7,2          | 28,2 | 240,1 | 513,6 | 108,7 | 83,2  | 160,9 | 93,4  | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Rückstand im Mittel<br>[%]     | 96,81              | 0,56         | 2,21 | 18,81 | 40,25 | 8,52  | 6,52  | 12,61 | 7,32  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Rückstand im Mittel<br>[100 %] | 100,00             | 0,58         | 2,28 | 19,43 | 41,58 | 8,80  | 6,74  | 13,02 | 7,56  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Durchgang im Mittel<br>[%]     | 0,00               | 0,00         | 0,58 | 2,87  | 22,30 | 63,88 | 72,67 | 79,41 | 92,44 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

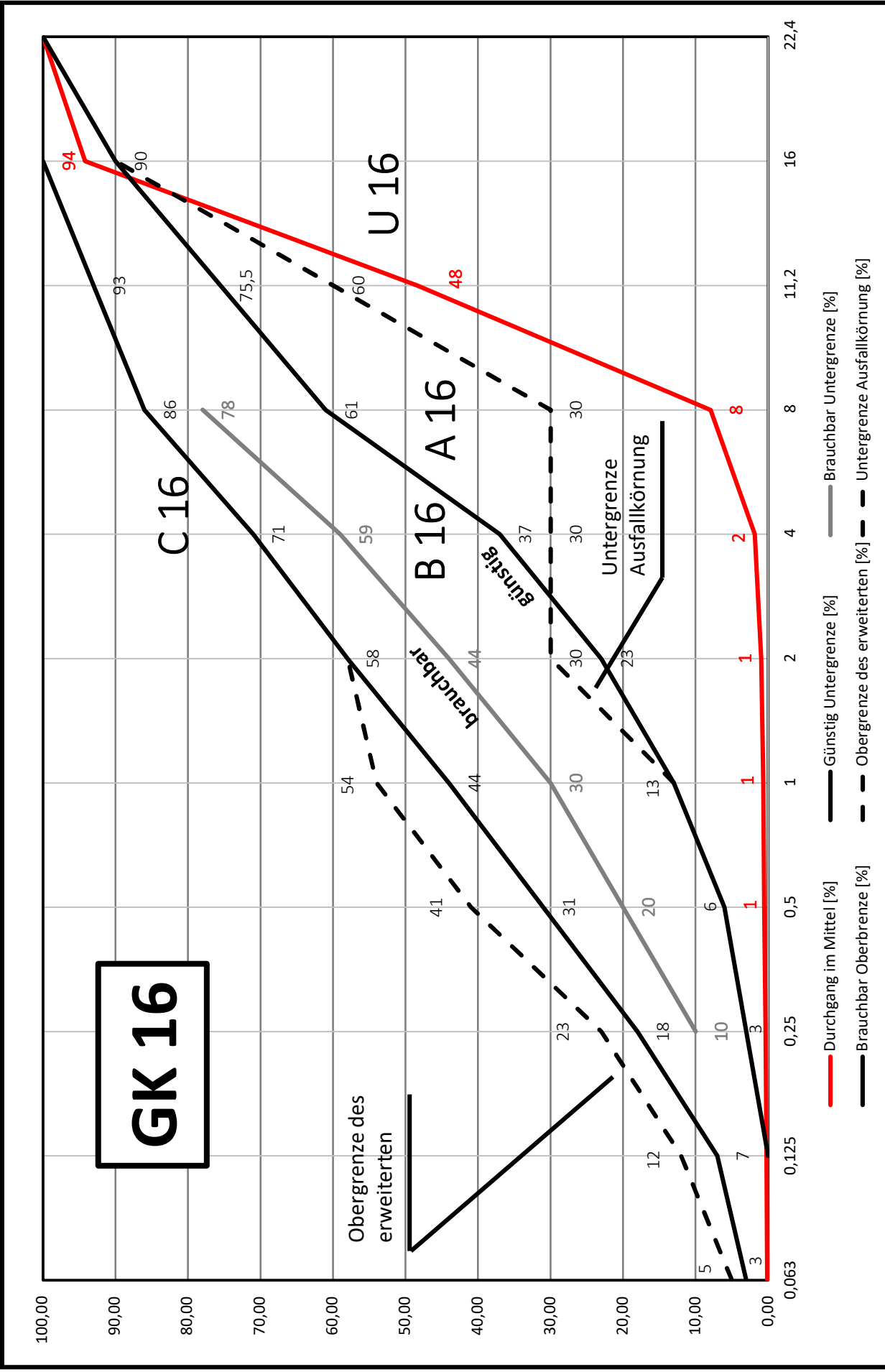




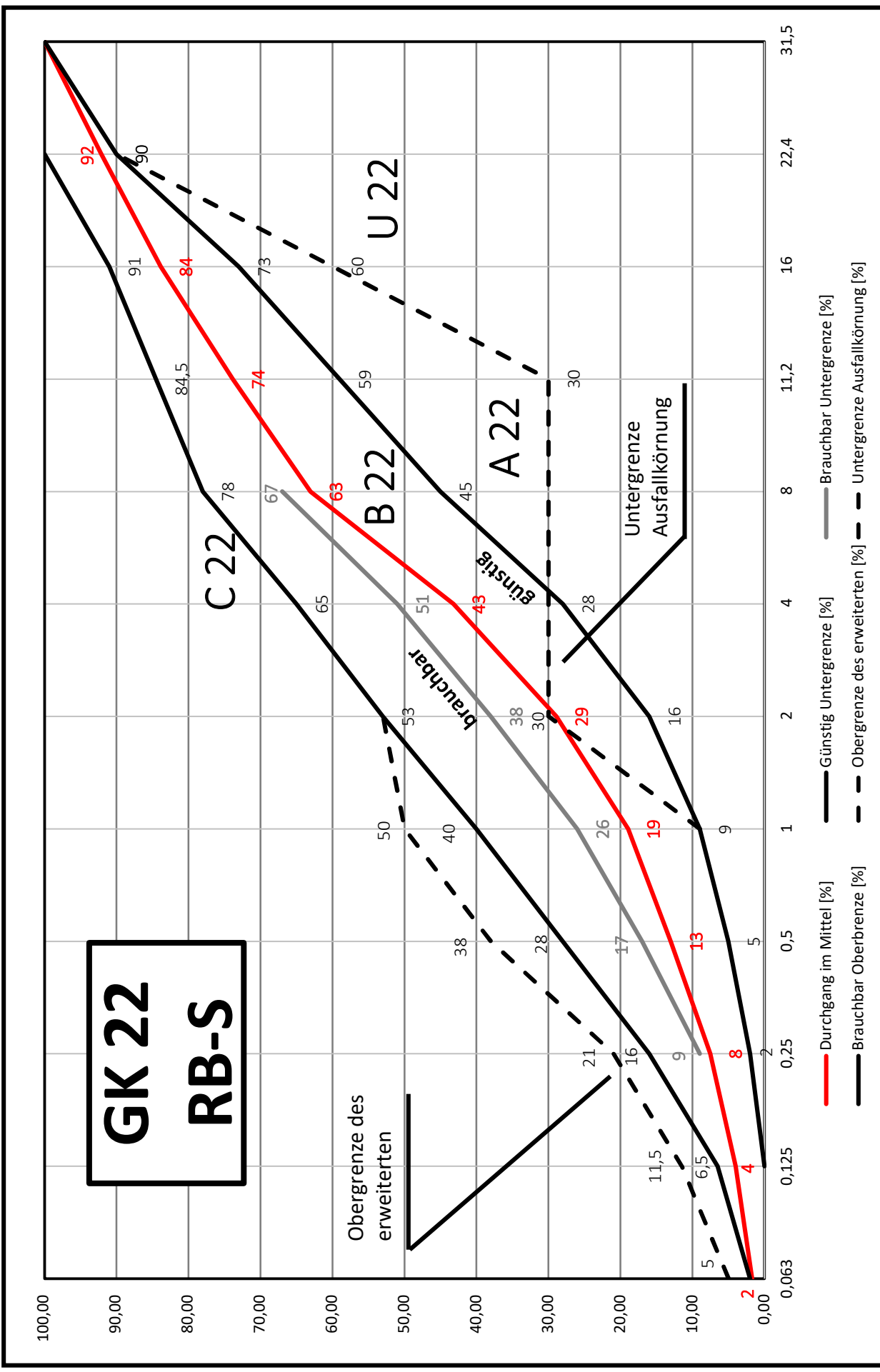
| 4/8 Sand trocken            | Probenmenge [g] | Maschenweite |      |      |      |      |      |        |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------|-----------------|--------------|------|------|------|------|------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                             |                 | 0            | 0,06 | 0,13 | 0,25 | 0,5  | 1    | 2      | 4     | 8     | 11,2  | 16     | 22,4   | 31,5   | 45     | 63     | 90     | 125    |
| Probenrückstand Probe 1 [g] | 1387,3          | 0,0          | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1,0  | 20,3 | 1155,2 | 208,2 | 2,7   | 0,0   |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand Probe 2 [g] | 1615,0          | 1,5          | 1,7  | 4,4  | 6,1  | 12,1 | 21,9 | 1174,4 | 369,3 | 10,4  | 6,7   |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand Probe 3 [g] | 1986,8          | 3,1          | 3,7  | 16,6 | 25,7 | 7,9  | 23,3 | 1486,4 | 397,3 | 8,5   | 7,0   |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand Probe 4 [g] |                 |              |      |      |      |      |      |        |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand Probe 5 [g] |                 |              |      |      |      |      |      |        |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand Probe 6 [g] |                 |              |      |      |      |      |      |        |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand Probe 7 [g] |                 |              |      |      |      |      |      |        |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand Probe 8 [g] |                 |              |      |      |      |      |      |        |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand Probe 9 [g] |                 |              |      |      |      |      |      |        |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Rückstand im Mittel [g]     | 1663,0          | 1,5          | 1,8  | 7,0  | 10,6 | 4,6  | 21,8 | 1272,0 | 324,9 | 7,2   | 4,6   | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Rückstand im Mittel [%]     | 100,00          | 0,09         | 0,11 | 0,42 | 0,64 | 0,27 | 1,31 | 76,49  | 19,54 | 0,43  | 0,27  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Rückstand im Mittel [100 %] | 100,00          | 0,09         | 0,11 | 0,42 | 0,64 | 0,27 | 1,31 | 76,49  | 19,54 | 0,43  | 0,27  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Durchgang im Mittel [%]     | 0,00            | 0,00         | 0,09 | 0,20 | 0,62 | 1,26 | 1,95 | 3,27   | 79,75 | 99,29 | 99,73 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |



| 8/16 Sand<br>trocken           | Probenmenge<br>[g] | Maschenweite |      |      |      |      |      |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|--------------------|--------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                |                    | 0            | 0,06 | 0,13 | 0,25 | 0,5  | 1    | 2     | 4     | 8     | 11,2  | 16     | 22,4   | 31,5   | 45     | 63     | 90     | 125    |
| Probenrückstand<br>Probe 1 [g] | 1760,6             | 0,0          | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1,4  | 94,1  | 754,0 | 778,5 | 125,2 |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 2 [g] | 1484,8             | 0,0          | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1,0  | 9,8  | 73,2  | 517,8 | 793,9 | 86,6  |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 3 [g] | 2007,8             | 6,6          | 3,8  | 6,9  | 9,8  | 13,8 | 36,1 | 152,7 | 848,5 | 831,0 | 92,6  |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 4 [g] |                    |              |      |      |      |      |      |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 5 [g] |                    |              |      |      |      |      |      |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 6 [g] |                    |              |      |      |      |      |      |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 7 [g] |                    |              |      |      |      |      |      |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 8 [g] |                    |              |      |      |      |      |      |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 9 [g] |                    |              |      |      |      |      |      |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Rückstand im Mittel<br>[g]     | 1751,1             | 2,2          | 1,3  | 2,3  | 3,3  | 4,9  | 15,8 | 106,7 | 706,8 | 801,1 | 101,5 | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Rückstand im Mittel<br>[%]     | 99,82              | 0,13         | 0,07 | 0,13 | 0,19 | 0,28 | 0,90 | 6,09  | 40,36 | 45,75 | 5,79  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Rückstand im Mittel<br>[100 %] | 100,00             | 0,13         | 0,07 | 0,13 | 0,19 | 0,28 | 0,90 | 6,10  | 40,44 | 45,83 | 5,81  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Durchgang im Mittel<br>[%]     | 0,00               | 0,00         | 0,13 | 0,20 | 0,33 | 0,52 | 0,92 | 1,82  | 7,93  | 48,36 | 94,19 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |



| RB-S<br>trocken                | Probenmenge<br>[g] | Maschenweite |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|--------------------|--------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                |                    | 0            | 0,06 | 0,13 | 0,25  | 0,5   | 1     | 2     | 4     | 8     | 11,2  | 16    | 22,4  | 31,5   | 45     | 63     | 90     | 125    |
| Probenrückstand<br>Probe 1 [g] | 1751,4             | 32,4         | 38,9 | 64,1 | 99,3  | 111,1 | 182,9 | 273,8 | 370,5 | 217,8 | 161,6 | 150,8 | 34,9  |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 2 [g] | 2142,6             | 26,4         | 35,5 | 52,2 | 91,7  | 100,5 | 193,0 | 271,5 | 429,3 | 243,6 | 267,5 | 177,0 | 263,4 |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 3 [g] | 2033,6             | 44,0         | 60,0 | 91,7 | 132,8 | 138,0 | 214,2 | 299,5 | 372,5 | 177,0 | 163,1 | 159,6 | 169,5 |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 4 [g] |                    |              |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 5 [g] |                    |              |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 6 [g] |                    |              |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 7 [g] |                    |              |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 8 [g] |                    |              |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |
| Probenrückstand<br>Probe 9 [g] |                    |              |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |
| Rückstand im Mittel<br>[g]     | 1975,9             | 34,3         | 44,8 | 69,3 | 107,9 | 116,5 | 196,7 | 281,6 | 390,8 | 212,8 | 197,4 | 162,5 | 155,9 | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Rückstand im Mittel<br>[%]     | 99,73              | 1,73         | 2,27 | 3,51 | 5,46  | 5,90  | 9,96  | 14,25 | 19,78 | 10,77 | 9,99  | 8,22  | 7,89  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Rückstand im Mittel<br>[100 %] | 100,00             | 1,74         | 2,27 | 3,52 | 5,48  | 5,91  | 9,98  | 14,29 | 19,83 | 10,80 | 10,02 | 8,24  | 7,91  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Durchgang im Mittel<br>[%]     | 0,00               | 0,00         | 1,74 | 4,01 | 7,53  | 13,01 | 18,92 | 28,90 | 43,19 | 63,03 | 73,82 | 83,84 | 92,09 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |



# Anhang E

## Mischungsverhältnisse

Folgender Anhang enthält sämtliche erstellten Mischungsverhältnisse, welche im Zeitraum zwischen 09. November und 15. Dezember erstellt wurden. Der Beton wird anschließend mit den Prüfungen aus Kapitel 3.3 überprüft.

### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

Blatt:

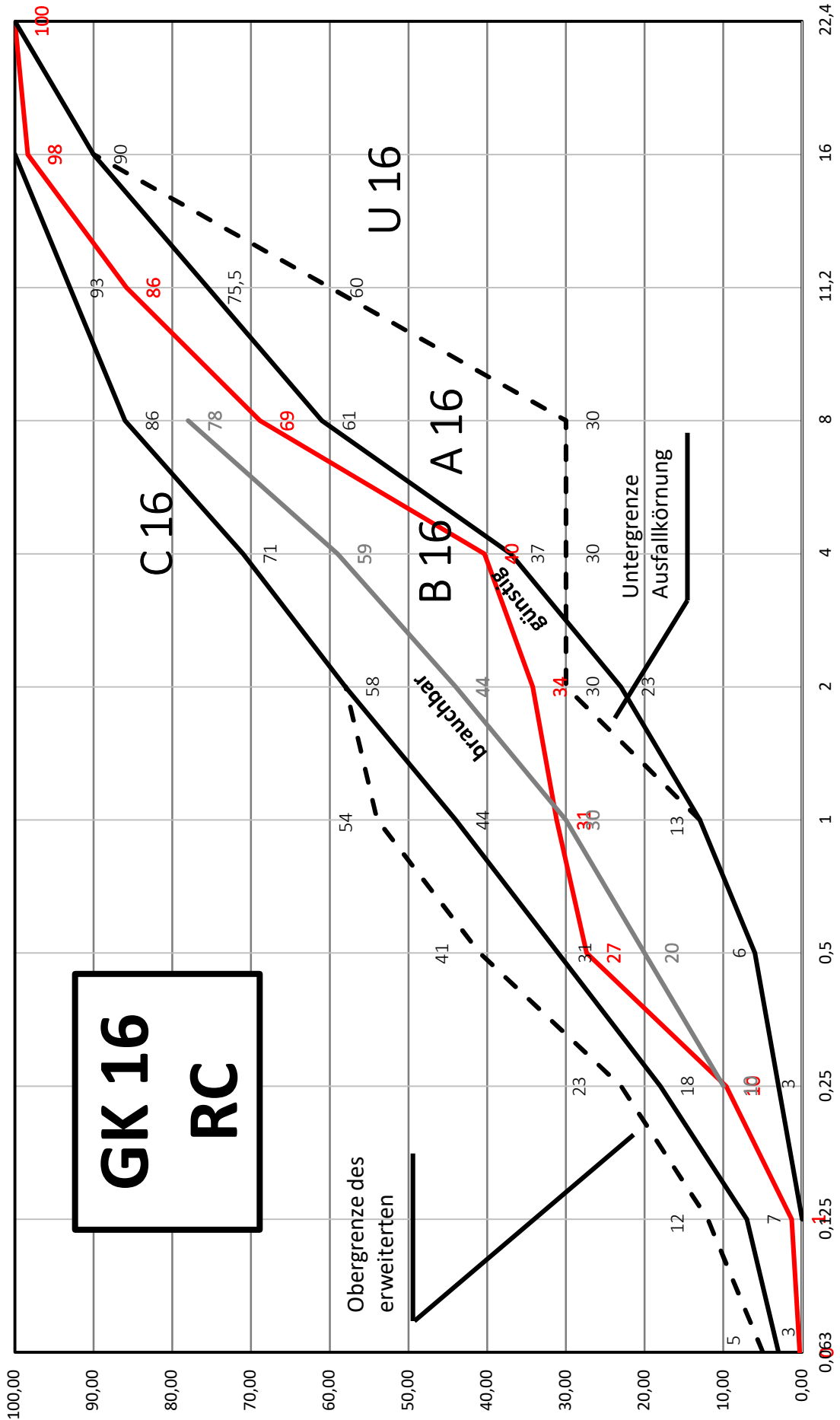
# MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                     |               |                         |            |                    |             |
|--|---------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK16_0%_09.11.21 |               |                         |            |                    |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 45,0 kg             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16         | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 880,0               | 1224,7        | 1305,6                  | 1274,6     | 1274,6             | 1274,6      |
| mg, trocken [g]                            | 840,0               | 1223,1        | 1304,2                  | 1269,2     | 1269,2             | 1269,2      |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |                    |             |
|  | 42%                 | 58%           |                         | 0%         |                    |             |
|  |                     | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |                    |             |
|  |                     | 31%           | 27%                     |            |                    |             |
| RC   | 0%                  | 0%            |                         | 100%       | Gesamtauswechslung |             |
| NEU  | 100%                | 100%          |                         |            | 0,00%              |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N               | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC           |             |
| 15,606 kg                                  | 11,010 kg           | 9,587 kg      | 0,000 kg                | 0,000 kg   | 0,000 kg           |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,734 l             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                     |               |                         |            |                    |             |
| Zement                                     | 6,35 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Wasser                                     | 2,44 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Gestein                                    | 35,47 kg            |               |                         |            |                    |             |
| Beschleuniger                              | 3,00%               | 0,19 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 146,62 ml  |                    |             |
| LP - Bildner                               | 2,00%               | 0,13 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 123,37 ml  |                    |             |
| Verflüssiger                               | 1,00%               | 0,06 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 58,29 ml   |                    |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 2,57 kg             |               |                         |            |                    |             |
| 09.11.2021                                 | Mayr M.             | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |                    |             |
| Datum                                      | Prüfer              | Prüfer (opt.) | Prüfört                 |            |                    |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |



# GK 16 RC



- Durchgang im Mittel [%]
- Brauchbar Obergrenze [%]
- Günstig Untergrenze [%]
- Brauchbar Untergrenze [%]
- - - Obergrenze des erweiterten [%]
- - - Untergrenze des erweiterten [%]

Obergrenze des erweiterten

Brauchbar

Untergrenze Ausfallkörnung

### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

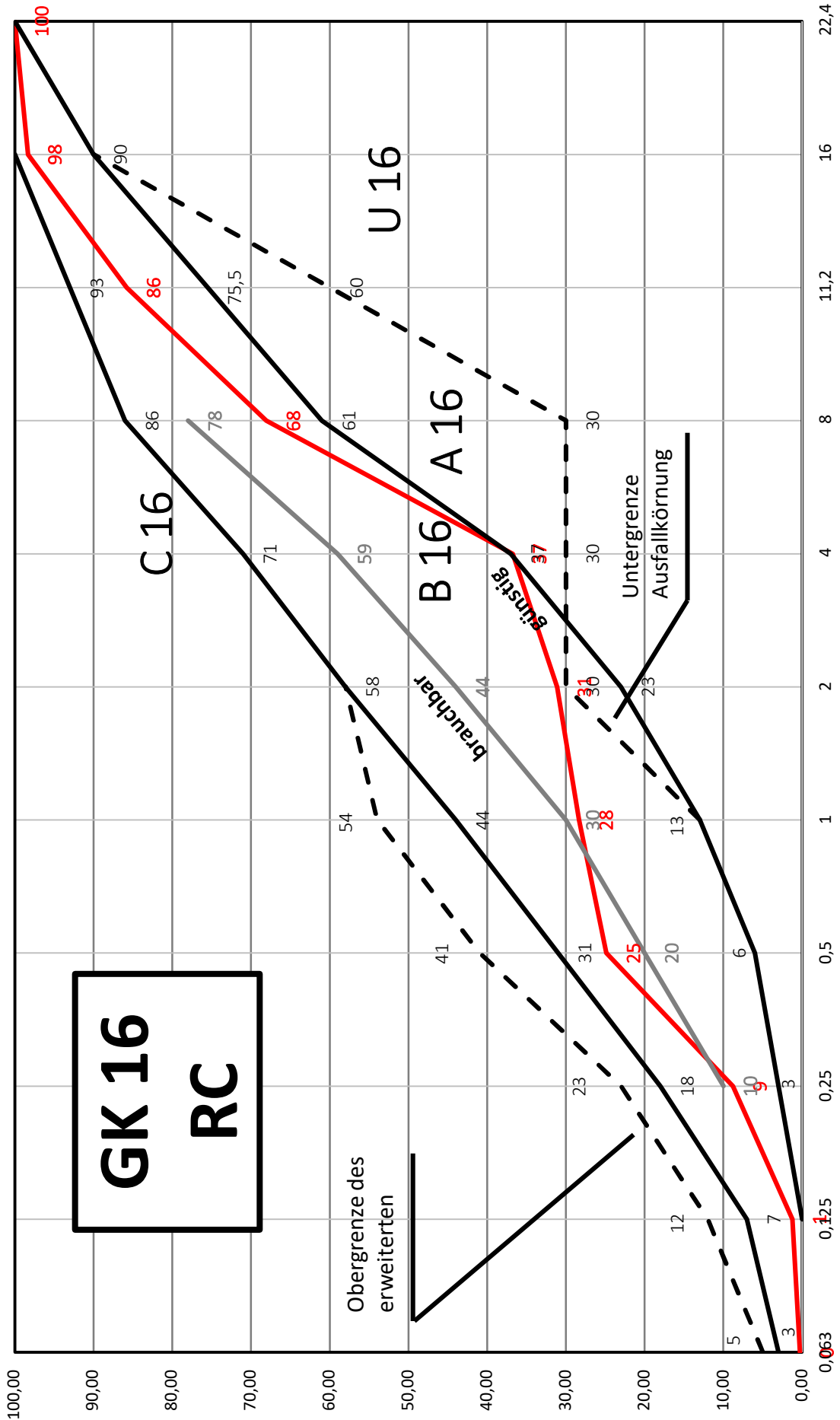
Blatt:

# MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                     |               |                         |            |                    |             |
|--|---------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK16_0%_15.11.21 |               |                         |            |                    |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 60,0 kg             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16         | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 945,9               | 997,3         | 1031,8                  | 835,3      | 835,3              | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 906,7               | 988,6         | 1030,8                  | 830,3      | 830,3              | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |                    |             |
|  | 38%                 | 62%           |                         | 0%         |                    |             |
|  |                     | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |                    |             |
|  |                     | 35%           | 27%                     |            |                    |             |
| RC   | 0%                  | 0%            |                         | 100%       | Gesamtauswechslung |             |
| NEU  | 100%                | 100%          |                         |            | 0,00%              |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N               | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC           |             |
| 18,749 kg                                  | 16,699 kg           | 12,782 kg     | 0,000 kg                | 0,000 kg   | 0,000 kg           |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,935 l             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                     |               |                         |            |                    |             |
| Zement                                     | 8,47 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Wasser                                     | 3,30 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Gestein                                    | 47,29 kg            |               |                         |            |                    |             |
| Beschleuniger                              | 2,75%               | 0,23 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 179,16 ml  |                    |             |
| LP - Bildner                               | 2,00%               | 0,17 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 164,46 ml  |                    |             |
| Verflüssiger                               | 1,25%               | 0,11 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 97,13 ml   |                    |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 3,47 kg             |               |                         |            |                    |             |
| 15.11.2021                                 | Mayr M.             | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |                    |             |
| Datum                                      | Prüfer              | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |            |                    |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |

# GK 16 RC



- Durchgang im Mittel [%]
- Brauchbar Obergrenze [%]
- Obergrenze des erweiterten [%]
- Günstig Untergrenze [%]
- Brauchbar Untergrenze [%]
- Untergrenze des erweiterten [%]
- Untergrenze Ausfallkörnung [%]

Obergrenze des erweiterten

Brauchbar

Untergrenze Ausfallkörnung

### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

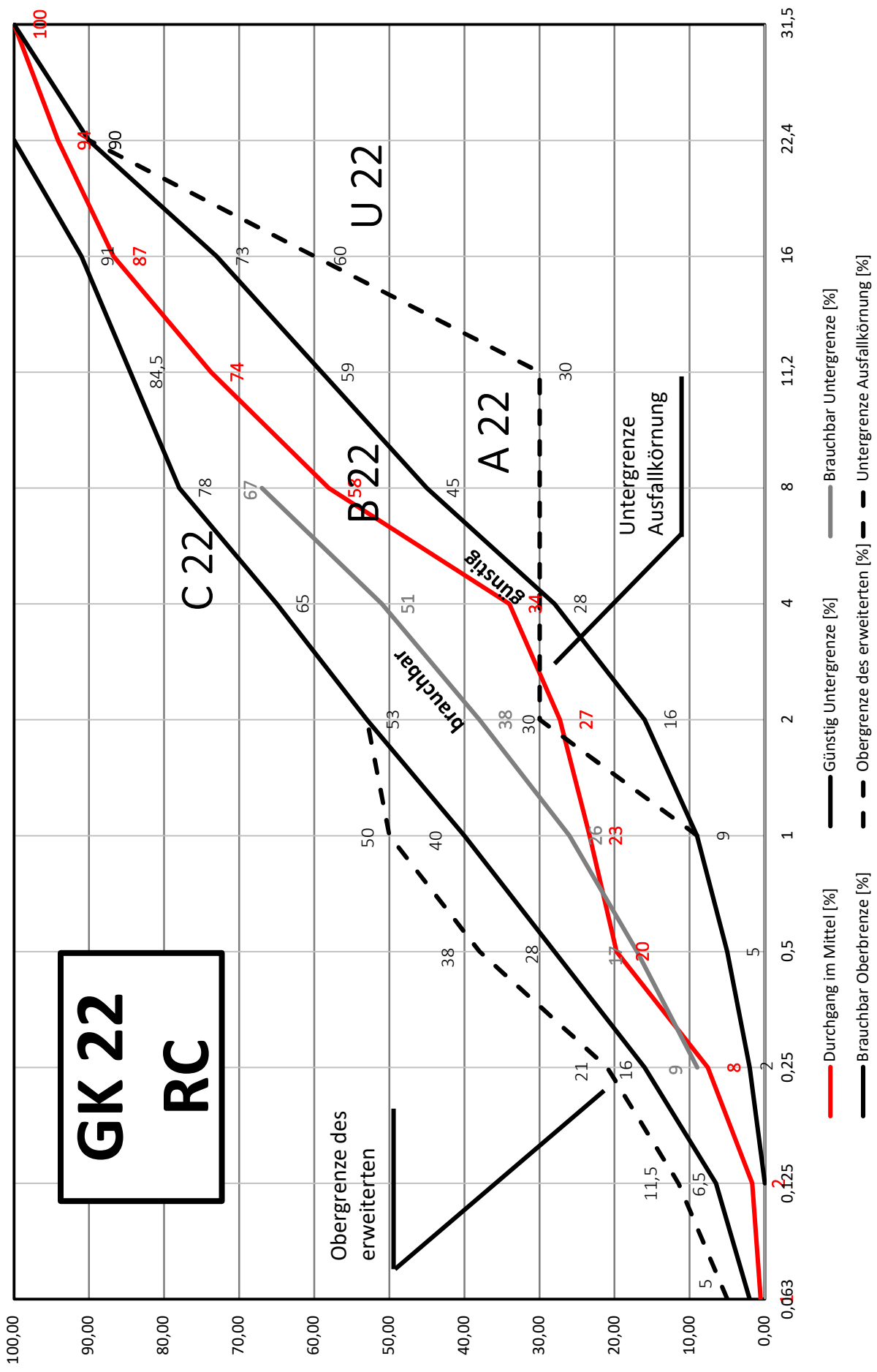
Blatt:

## MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                      |               |                         |            |                    |             |
|--|----------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK22_30%_15.11.21 |               |                         |            |                    |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 75,0 kg              |               |                         |            |                    |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                      |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16         | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 945,9                | 997,3         | 1031,8                  | 835,3      | 835,3              | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 906,7                | 988,6         | 1030,8                  | 830,3      | 830,3              | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                      |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |                    |             |
|  | 35%                  | 53%           |                         | 12%        |                    |             |
|  |                      | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |                    |             |
|  |                      | 25%           | 28%                     |            |                    |             |
| RC   | 25%                  | 25%           |                         | 100%       | Gesamtauswechslung |             |
| NEU  | 75%                  | 75%           |                         |            |                    |             |
|  |                      |               |                         |            | 34,00%             |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                      |               |                         |            |                    |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N                | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC           |             |
| 15,921 kg                                  | 10,997 kg            | 12,221 kg     | 5,118 kg                | 7,750 kg   | 7,019 kg           |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,887 l              |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                      |               |                         |            |                    |             |
| Zement                                     |                      | 11,24 kg      |                         |            |                    |             |
| Wasser                                     |                      | 4,73 kg       |                         |            |                    |             |
| Gestein                                    |                      | 58,14 kg      |                         |            |                    |             |
| Beschleuniger                              | 2,75%                | 0,31 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 237,76 ml  |                    |             |
| LP - Bildner                               | 2,00%                | 0,22 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 218,25 ml  |                    |             |
| Verflüssiger                               | 1,25%                | 0,14 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 128,90 ml  |                    |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 4,96 kg              |               |                         |            |                    |             |
| 15.11.2021                                 | Mayr M.              | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |                    |             |
| Datum                                      | Prüfer               | Prüfer (opt.) | Prüfört                 |            |                    |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |

# GK 22 RC



### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

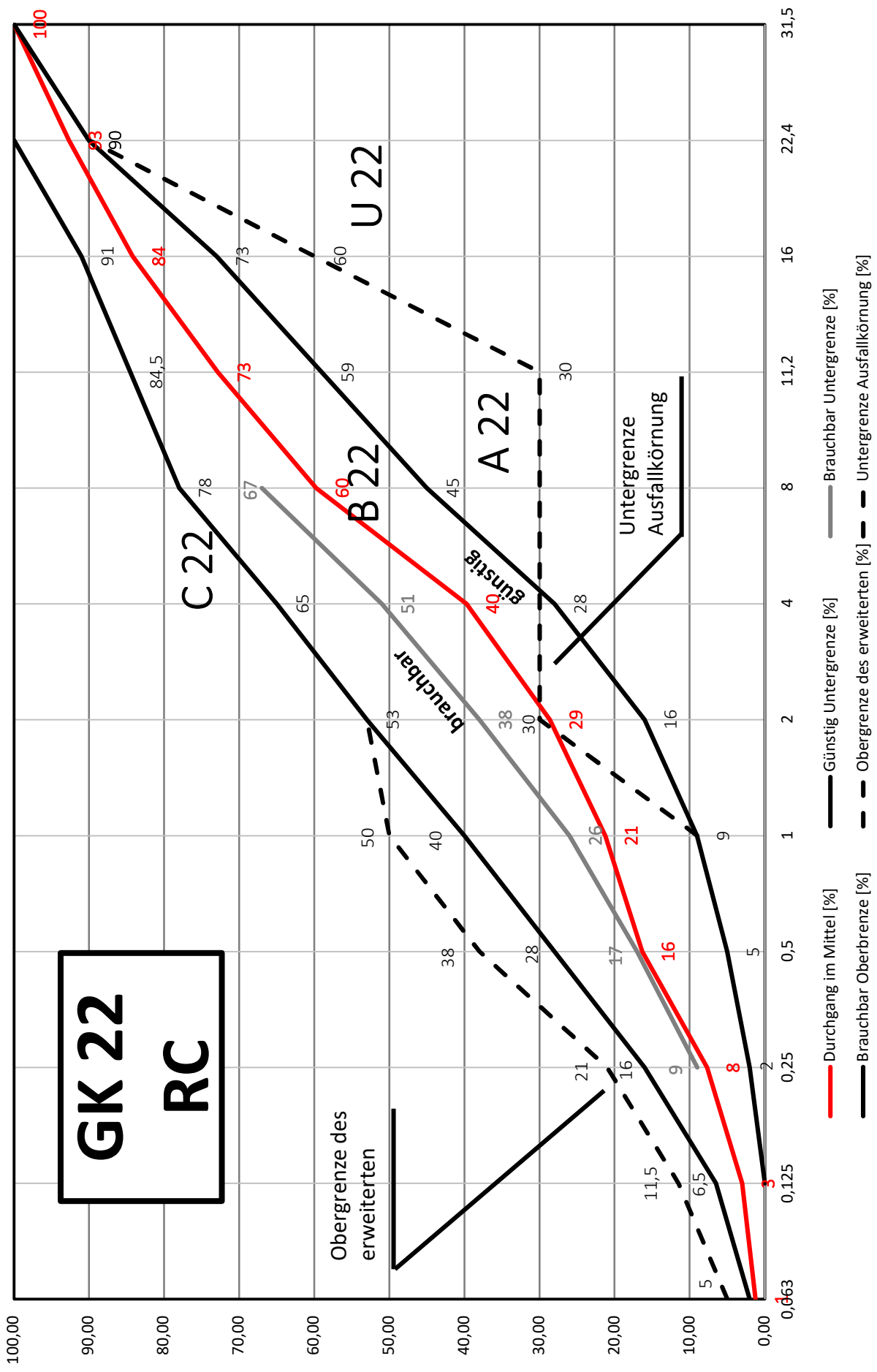
Blatt:

# MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                      |               |                         |            |                    |             |
|--|----------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK22_60%_15.11.21 |               |                         |            |                    |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 75,0 kg              |               |                         |            |                    |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                      |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16         | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 945,9                | 997,3         | 1031,8                  | 835,3      | 835,3              | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 906,7                | 988,6         | 1030,8                  | 830,3      | 830,3              | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                      |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |                    |             |
|  | 40%                  | 45%           |                         | 15%        |                    |             |
|  |                      | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |                    |             |
|  |                      | 20%           | 25%                     |            |                    |             |
| RC   | 70%                  | 45%           |                         | 100%       | Gesamtauswechslung |             |
| NEU  | 30%                  | 55%           |                         |            |                    |             |
|  |                      |               |                         |            | 63,25%             |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                      |               |                         |            |                    |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N                | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC           |             |
| 7,164 kg                                   | 6,350 kg             | 7,876 kg      | 16,119 kg               | 11,657 kg  | 8,635 kg           |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,578 l              |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                      |               |                         |            |                    |             |
| Zement                                     | 11,85 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Wasser                                     | 5,35 kg              |               |                         |            |                    |             |
| Gestein                                    | 57,22 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Beschleuniger                              | 2,75%                | 0,33 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 250,68 ml  |                    |             |
| LP - Bildner                               | 2,00%                | 0,24 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 230,10 ml  |                    |             |
| Verflüssiger                               | 1,25%                | 0,15 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 135,90 ml  |                    |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 5,58 kg              |               |                         |            |                    |             |
| 15.11.2021                                 | Mayr M.              | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |                    |             |
| Datum                                      | Prüfer               | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |            |                    |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |

# GK 22 RC



- Durchgang im Mittel [%]
- Brauchbar [%]
- Günstig Untergrenze [%]
- Untergrenze des erweiterten [%]
- Untergrenze Ausfallkörnung [%]
- Brauchbar Untergrenze [%]



### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

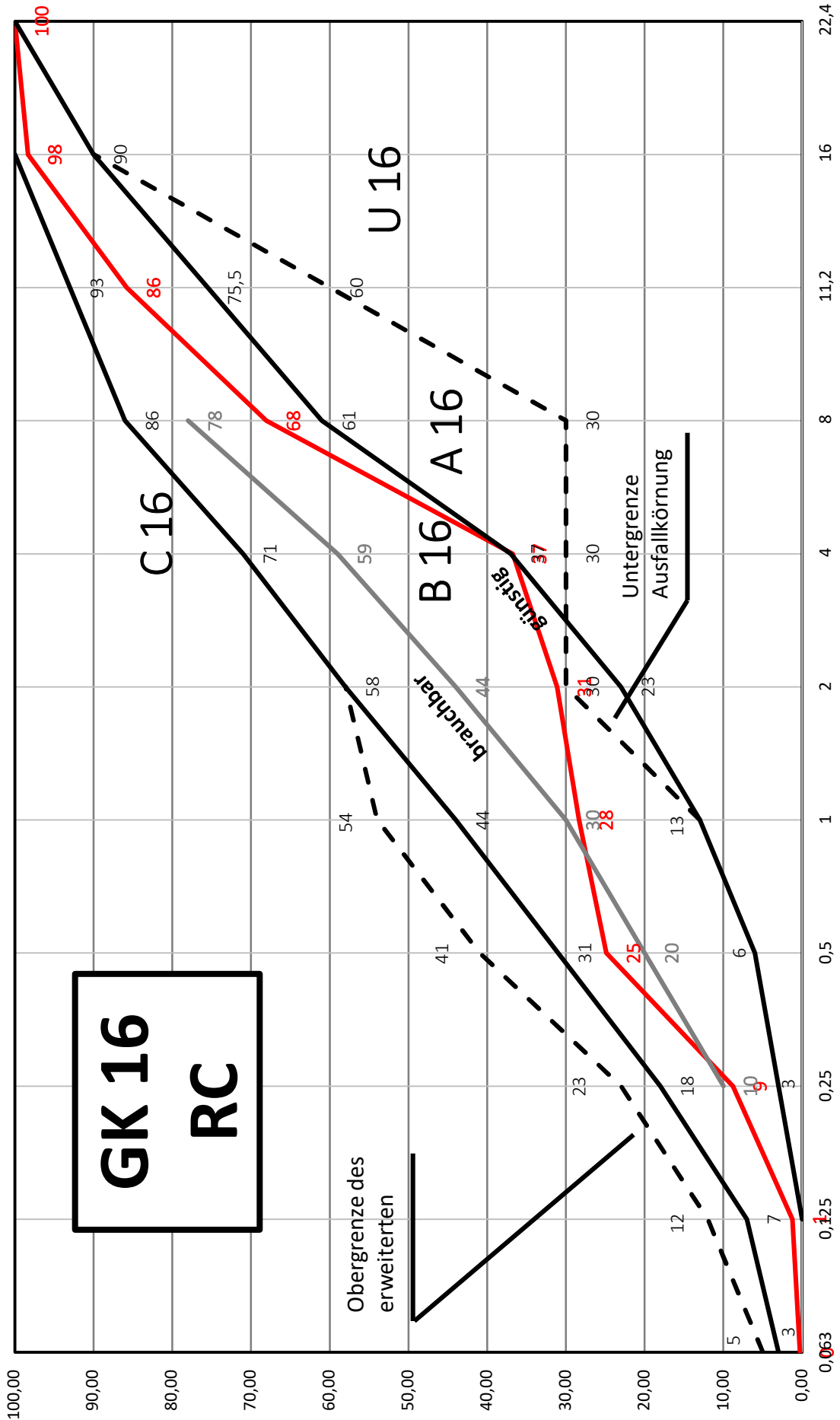
Blatt:

# MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                     |               |                         |            |                    |             |
|--|---------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK16_0%_25.11.21 |               |                         |            |                    |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 30,0 kg             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16         | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 918,0               | 997,3         | 1031,8                  | 835,3      | 835,3              | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 879,0               | 988,6         | 1030,8                  | 830,3      | 830,3              | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |                    |             |
|  | 38%                 | 62%           |                         | 0%         |                    |             |
|  |                     | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |                    |             |
|  |                     | 35%           | 27%                     |            |                    |             |
| RC   | 0%                  | 0%            |                         | 100%       | Gesamtauswechslung |             |
| NEU  | 100%                | 100%          |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N               | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC           |             |
| 9,385 kg                                   | 8,349 kg            | 6,391 kg      | 0,000 kg                | 0,000 kg   | 0,000 kg           |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,478 l             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                     |               |                         |            |                    |             |
| Zement                                     |                     | 4,23 kg       |                         |            |                    |             |
| Wasser                                     |                     | 1,64 kg       |                         |            |                    |             |
| Gestein                                    |                     | 23,65 kg      |                         |            |                    |             |
| Beschleuniger                              | 3,75%               | 0,16 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 122,16 ml  |                    |             |
| LP - Bildner                               | 1,00%               | 0,04 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 41,11 ml   |                    |             |
| Verflüssiger                               | 1,25%               | 0,05 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 48,56 ml   |                    |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 |                     | 1,68 kg       |                         |            |                    |             |
| 25.11.2021                                 | Mayr M.             | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |                    |             |
| Datum                                      | Prüfer              | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |            |                    |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |

# GK 16 RC



- Durchgang im Mittel [%]
- Brauchbar Obergrenze [%]
- Obergrenze des erweiterten [%]
- Brauchbar Untergrenze [%]
- Untergrenze des erweiterten [%]
- Untergrenze Ausfallkörnung [%]

Obergrenze des erweiterten

Brauchbar

Untergrenze Ausfallkörnung

### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

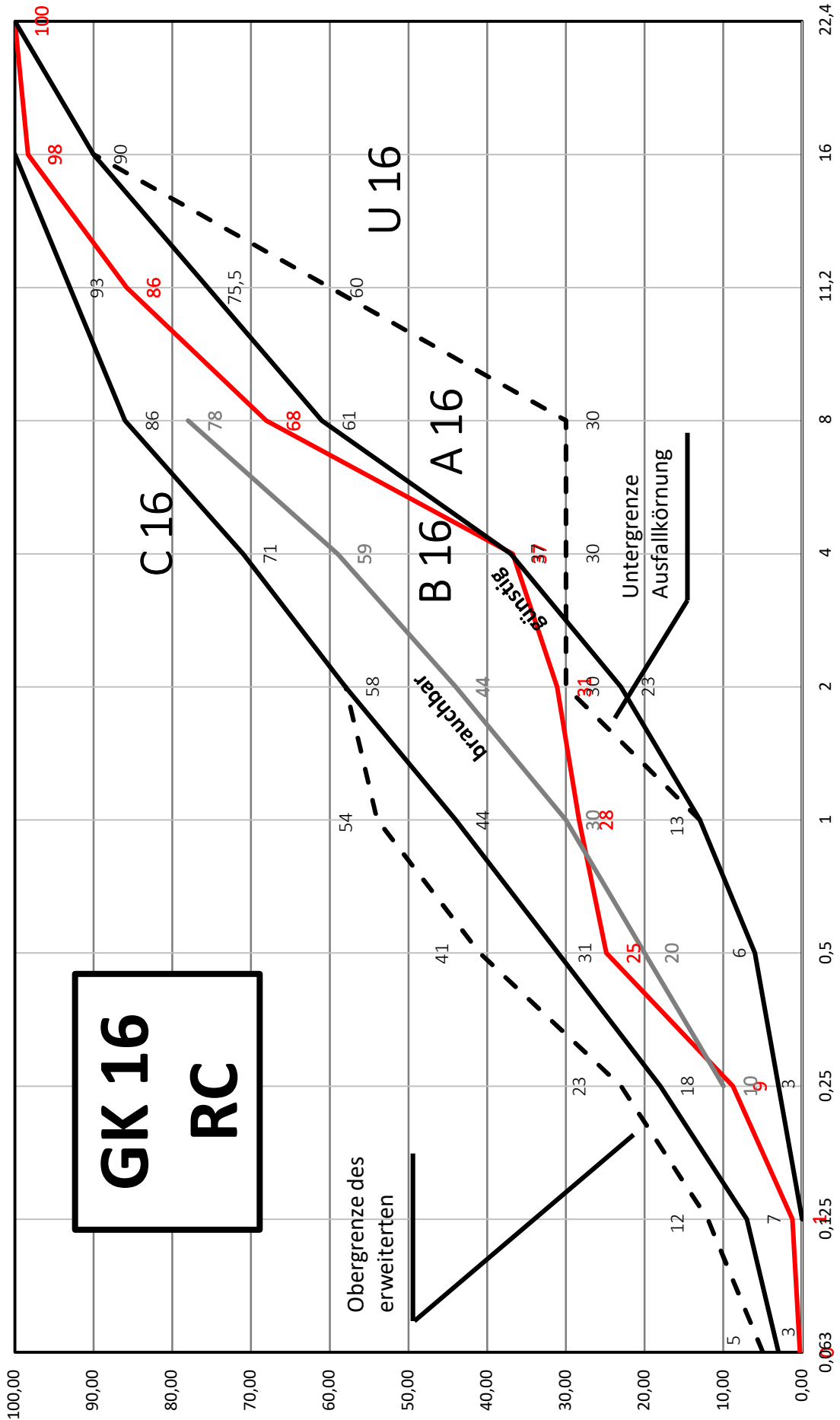
Blatt:

# MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                     |               |                         |            |                    |             |
|--|---------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK16_0%_02.12.21 |               |                         |            |                    |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 30,0 kg             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16         | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 723,9               | 997,3         | 1031,8                  | 835,3      | 835,3              | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 689,1               | 988,6         | 1030,8                  | 830,3      | 830,3              | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |                    |             |
|  | 38%                 | 62%           |                         | 0%         |                    |             |
|  |                     | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |                    |             |
|  |                     | 35%           | 27%                     |            |                    |             |
| RC   | 0%                  | 0%            |                         | 100%       | Gesamtauswechslung |             |
| NEU  | 100%                | 100%          |                         |            | 0,00%              |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N               | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC           |             |
| 9,440 kg                                   | 8,349 kg            | 6,391 kg      | 0,000 kg                | 0,000 kg   | 0,000 kg           |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,533 l             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                     |               |                         |            |                    |             |
| Zement                                     | 4,23 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Wasser                                     | 1,58 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Gestein                                    | 23,65 kg            |               |                         |            |                    |             |
| Beschleuniger                              | 3,75%               | 0,16 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 122,16 ml  |                    |             |
| LP - Bildner                               | 1,00%               | 0,04 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 41,11 ml   |                    |             |
| Verflüssiger                               | 1,25%               | 0,05 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 48,56 ml   |                    |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 1,63 kg             |               |                         |            |                    |             |
| 02.12.2021                                 | Mayr M.             | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |                    |             |
| Datum                                      | Prüfer              | Prüfer (opt.) | Prüfört                 |            |                    |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |

# GK 16 RC



- Durchgang im Mittel [%]
- Brauchbar Obergrenze [%]
- Obergrenze des erweiterten [%]
- Günstig Untergrenze [%]
- Brauchbar Untergrenze [%]
- Untergrenze Ausfallkörnung [%]

Obergrenze des erweiterten

Brauchbar

Untergrenze Ausfallkörnung

### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

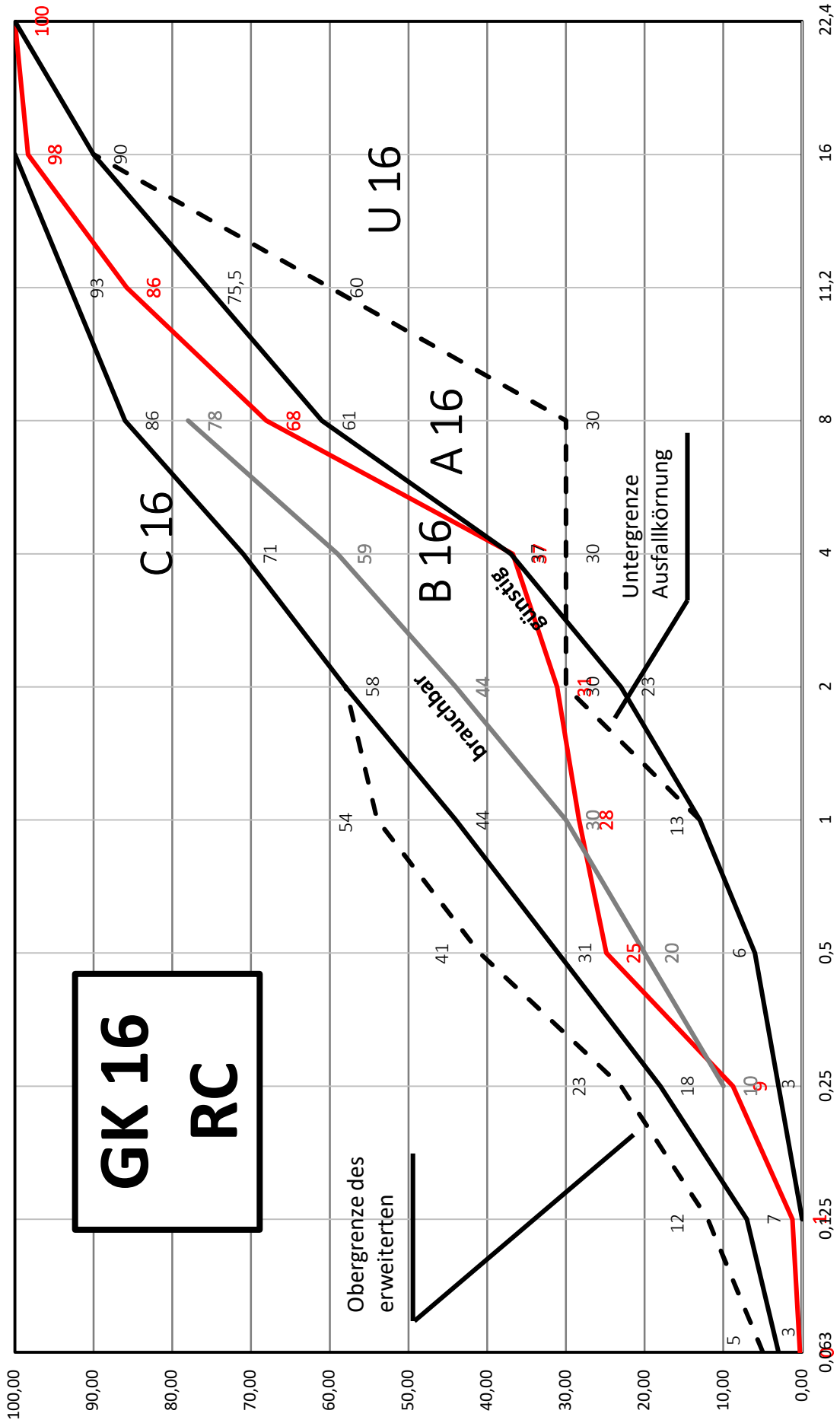
Blatt:

# MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                     |               |                         |            |                    |             |
|--|---------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK16_0%_08.12.21 |               |                         |            |                    |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 65,0 kg             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16         | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 447,3               | 697,0         | 1031,8                  | 835,3      | 835,3              | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 425,8               | 685,9         | 1030,8                  | 830,3      | 830,3              | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand            | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |                    |             |
|  | 38%                 | 62%           |                         | 0%         |                    |             |
|  |                     | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |                    |             |
|  |                     | 35%           | 27%                     |            |                    |             |
| RC   | 0%                  | 0%            |                         | 100%       | Gesamtauswechslung |             |
| NEU  | 100%                | 100%          |                         |            |                    |             |
|  |                     |               |                         |            | 0,00%              |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                     |               |                         |            |                    |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N               | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC           |             |
| 20,453 kg                                  | 18,223 kg           | 13,847 kg     | 0,000 kg                | 0,000 kg   | 0,000 kg           |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 1,287 l             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                     |               |                         |            |                    |             |
| Zement                                     | 9,18 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Wasser                                     | 3,30 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Gestein                                    | 51,24 kg            |               |                         |            |                    |             |
| Beschleuniger                              | 3,40%               | 0,31 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 239,97 ml  |                    |             |
| LP - Bildner                               | 0,80%               | 0,07 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 71,27 ml   |                    |             |
| Verflüssiger                               | 2,00%               | 0,18 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 168,36 ml  |                    |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 3,37 kg             |               |                         |            |                    |             |
| 08.12.2021                                 | Mayr M.             | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |                    |             |
| Datum                                      | Prüfer              | Prüfer (opt.) | Prüfört                 |            |                    |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |

# GK 16 RC



- Durchgang im Mittel [%]
- Brauchbar Obergrenze [%]
- Günstig Untergrenze [%]
- Brauchbar Untergrenze [%]
- - - Obergrenze des erweiterten [%]
- - - Untergrenze Ausfallkörnung [%]

Obergrenze des erweiterten

Brauchbar

Untergrenze Ausfallkörnung

### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

Blatt:

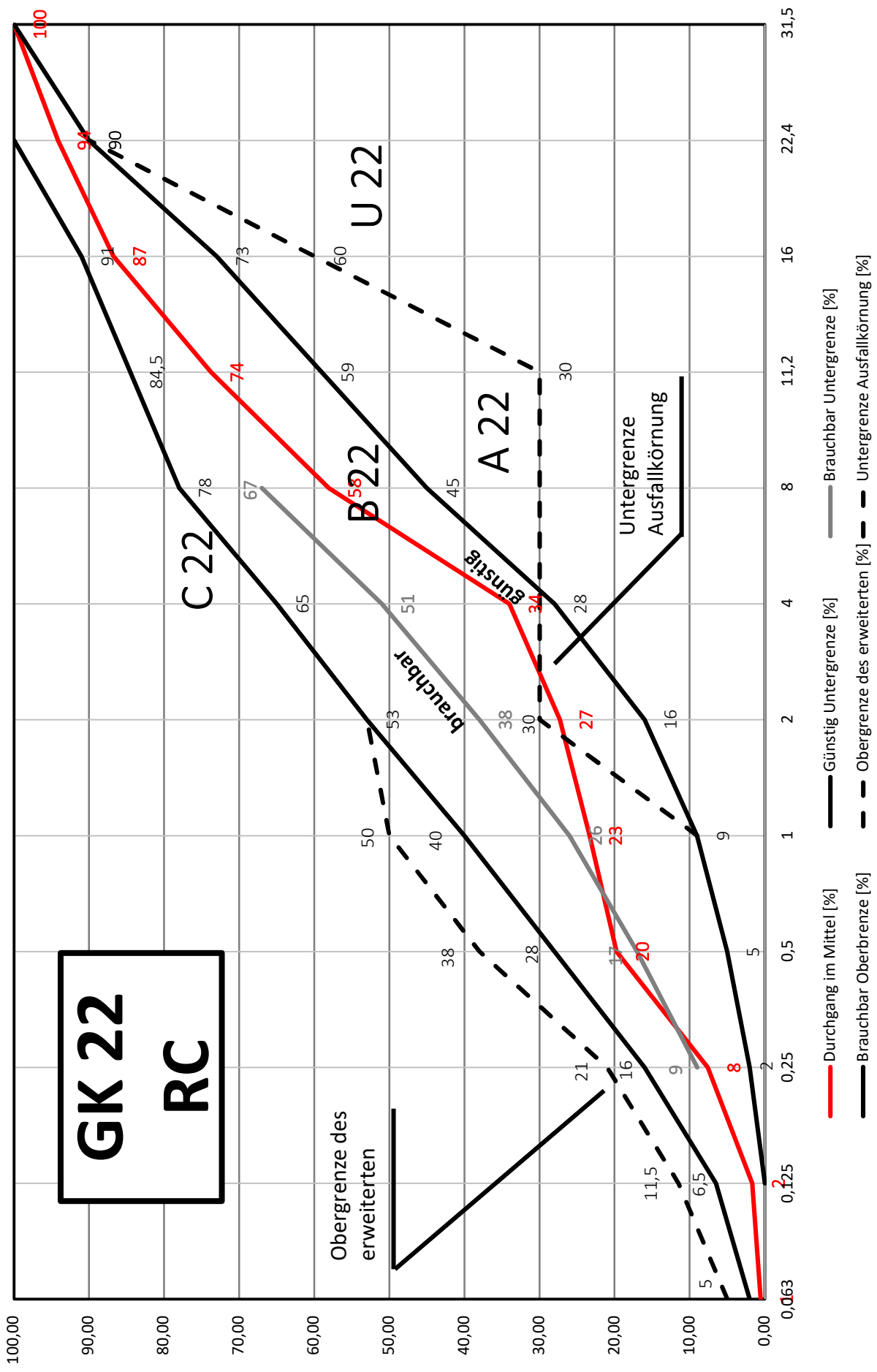
# MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                      |               |                         |            |            |             |
|--|----------------------|---------------|-------------------------|------------|------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK22_30%_08.12.21 |               |                         |            |            |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 55,0 kg              |               |                         |            |            |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                      |               |                         |            |            |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16 | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 447,3                | 697,0         | 1031,8                  | 835,3      | 835,3      | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 425,8                | 685,9         | 1030,8                  | 830,3      | 830,3      | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                      |               |                         |            |            |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |            |             |
|  | 35%                  | 53%           |                         | 12%        |            |             |
|  |                      | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |            |             |
|  |                      | 25%           | 28%                     |            |            |             |
| RC   | 25%                  | 25%           |                         | 100%       |            |             |
| NEU  | 75%                  | 75%           |                         | 34,00%     |            |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                      |               |                         |            |            |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N                | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC   |             |
| 11,757 kg                                  | 8,123 kg             | 8,962 kg      | 3,753 kg                | 5,683 kg   | 5,147 kg   |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,790 l              |               |                         |            |            |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                      |               |                         |            |            |             |
| Zement                                     | 8,24 kg              |               |                         |            |            |             |
| Wasser                                     | 3,33 kg              |               |                         |            |            |             |
| Gestein                                    | 42,64 kg             |               |                         |            |            |             |
| Beschleuniger                              | 3,40%                | 0,28 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 215,57 ml  |            |             |
| LP - Bildner                               | 0,80%                | 0,07 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 64,02 ml   |            |             |
| Verflüssiger                               | 2,00%                | 0,16 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 151,24 ml  |            |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 3,40 kg              |               |                         |            |            |             |
| 08.12.2021                                 | Mayr M.              | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |            |             |
| Datum                                      | Prüfer               | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |            |            |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |



# GK 22 RC



- Durchgang im Mittel [%]
- Brauchbar [%]
- Günstig Untergrenze [%]
- Brauchbar Untergrenze [%]
- - - Obergrenze des erweiterten [%]
- - - Untergrenze Ausfallkörnung [%]

### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

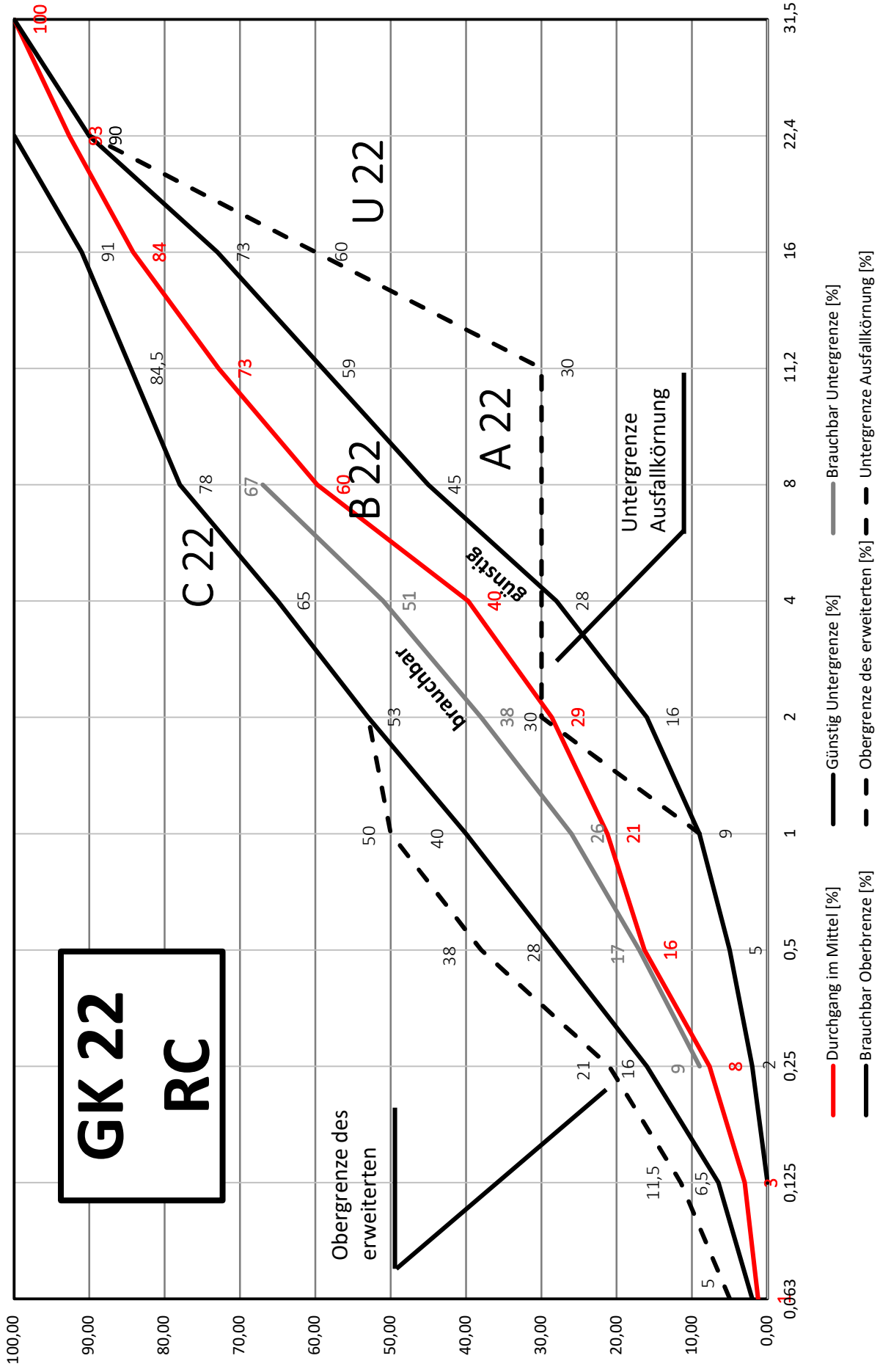
Blatt:

# MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                      |               |                         |            |                    |             |
|--|----------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK22_60%_09.12.21 |               |                         |            |                    |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 110,0 kg             |               |                         |            |                    |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                      |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16         | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 565,8                | 697,0         | 1031,8                  | 835,3      | 835,3              | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 539,0                | 685,9         | 1030,8                  | 830,3      | 830,3              | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                      |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |                    |             |
|  | 40%                  | 45%           |                         | 15%        |                    |             |
|  |                      | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |                    |             |
|  |                      | 20%           | 25%                     |            | Gesamtauswechslung |             |
| RC   | 70%                  | 45%           |                         | 100%       |                    |             |
| NEU  | 30%                  | 55%           |                         |            | 63,25%             |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                      |               |                         |            |                    |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N                | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC           |             |
| 10,572 kg                                  | 9,381 kg             | 11,551 kg     | 23,641 kg               | 17,098 kg  | 12,665 kg          |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,981 l              |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                      |               |                         |            |                    |             |
| Zement                                     | 17,38 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Wasser                                     | 7,71 kg              |               |                         |            |                    |             |
| Gestein                                    | 83,93 kg             |               |                         |            |                    |             |
| Beschleuniger                              | 3,40%                | 0,59 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 454,57 ml  |                    |             |
| LP - Bildner                               | 0,80%                | 0,14 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 134,99 ml  |                    |             |
| Verflüssiger                               | 3,00%                | 0,52 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 478,36 ml  |                    |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 | 7,85 kg              |               |                         |            |                    |             |
| 09.12.2021                                 | Mayr M.              | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |                    |             |
| Datum                                      | Prüfer               | Prüfer (opt.) | Prüfört                 |            |                    |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |

# GK 22 RC



### MISCHUNGSVERHÄLTNIS

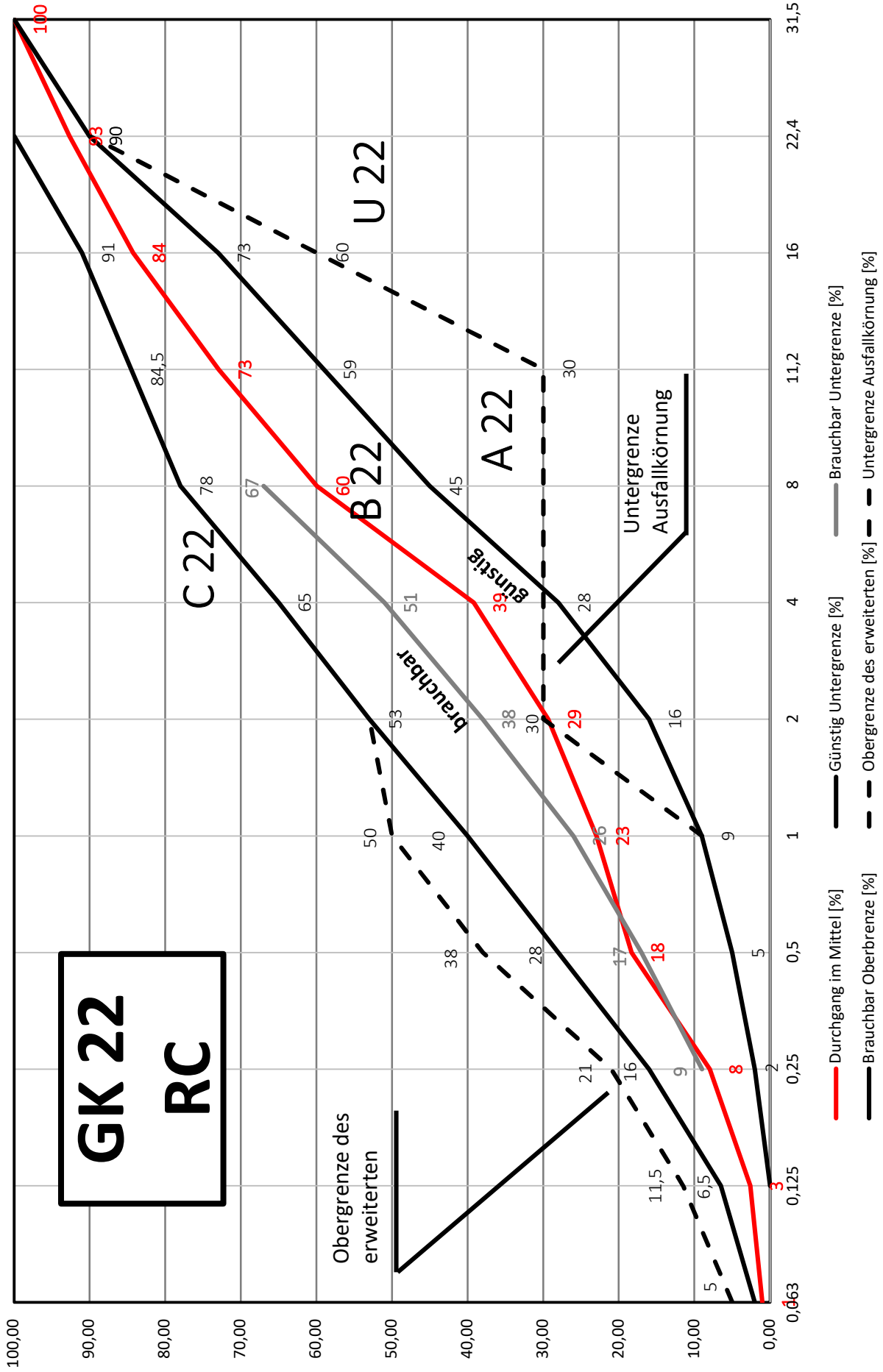
Blatt:

# MISCHUNGSVERHÄLTNIS

|  |                      |               |                         |            |                    |             |
|--|----------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|
| Mischungsnummer:                           | MV_GK22_60%_15.12.21 |               |                         |            |                    |             |
| benötigte Gesamtmenge:                     | 55,0 kg              |               |                         |            |                    |             |
|  |                      |               |                         |            |                    |             |
| <b>Feuchtigkeitsgehalt Gesteinskörnung</b> |                      |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               | RC M1 0/4  | RC M1 4/16         | RC M1 16/32 |
| mg, nass [g]                               | 554,5                | 697,0         | 1031,8                  | 835,3      | 835,3              | 835,3       |
| mg, trocken [g]                            | 527,9                | 685,9         | 1030,8                  | 830,3      | 830,3              | 830,3       |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Eingabe</b>     |                      |               |                         |            |                    |             |
|  | 0/4 Sand             | 4/16 Sand     |                         | 16/32 Sand |                    |             |
|  | 40%                  | 45%           |                         | 15%        |                    |             |
|  |                      | 4/8 Sand      | 8/16 Sand               |            |                    |             |
|  |                      | 20%           | 25%                     |            | Gesamtauswechslung |             |
| RC   | 55%                  | 50%           |                         | 100%       |                    |             |
| NEU  | 45%                  | 50%           |                         |            | 59,50%             |             |
|  |                      |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Gesteinskörnung Ausgabe</b>     |                      |               |                         |            |                    |             |
| 0/4 N                                      | 4/8 N                | 8/16 N        | 0/4 RC                  | 4/16 RC    | 16/32 RC           |             |
| 7,954 kg                                   | 4,275 kg             | 5,264 kg      | 9,311 kg                | 9,522 kg   | 6,348 kg           |             |
| Anrechenbarer Wassergehalt                 | 0,605 l              |               |                         |            |                    |             |
| <b>Anteile Betonrezept Ausgabe</b>         |                      |               |                         |            |                    |             |
| Zement                                     |                      | 8,62 kg       |                         |            |                    |             |
| Wasser                                     |                      | 3,70 kg       |                         |            |                    |             |
| Gestein                                    |                      | 42,07 kg      |                         |            |                    |             |
| Beschleuniger                              | 3,40%                | 0,29 kg       | 1,30 kg/dm <sup>3</sup> | 225,46 ml  |                    |             |
| LP - Bildner                               | 0,80%                | 0,07 kg       | 1,03 kg/dm <sup>3</sup> | 66,95 ml   |                    |             |
| Verflüssiger                               | 4,00%                | 0,34 kg       | 1,09 kg/dm <sup>3</sup> | 316,35 ml  |                    |             |
| Zugabewasser für Prüfungen                 |                      | 3,77 kg       |                         |            |                    |             |
| 15.12.2021                                 | Mayr M.              | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |            |                    |             |
| Datum                                      | Prüfer               | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |            |                    |             |

|  |               |
|--|---------------|
|  | Eingabefelder |
|  | Ausgabefelder |

# GK 22 RC



## Anhang F

# Prüfungsberichte Frischbetonprüfungen

Folgender Anhang enthält sämtliche Frischbeton Prüfprotokolle, welche im Zeitraum zwischen 15. November 2021 und 15. Dezember 2021 erstellt wurden. Der Beton ist mit den Prüfungen aus Kapitel 3.3 überprüft worden.

FRISCHBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

Blatt:

FRISCHBETONPRÜFUNG

|  |                                  |                                     |                          |             |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------|
| Mischungsnummer:   | MV_GK16_0%_15.11.21 <sup>a</sup> |                                     |                          |             |
| <b>Konsistenzprüfung lt. DIN EN 12350 - 5 Ausbreitmaß</b>  |                                  |                                     |                          |             |
| Ausbreitmaß d <sub>1</sub> [mm]  | 495 mm                           | Mittelwert d [mm]                   | 495 mm                   |             |
| Ausbreitmaß d <sub>2</sub> [mm]  | 495 mm                           | Konsistenzklasse                    | F4                       | sehr weich  |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12350 - 6 Frischbetonrohichte</b>   |                                  |                                     |                          |             |
| Masse Tara m <sub>g,t</sub> [g]  | 4 580 g                          | Zylindervolumen [dm <sup>3</sup> ]  | 8,00 dm <sup>3</sup>     |             |
| Masse Tara + Beton m <sub>g</sub> [g]  | 19 320 g                         | Masse Beton Δm <sub>g</sub> [g]     | 14 740 g                 |             |
| Frischbetonrohichte [kg/m <sup>3</sup> ]   | 1 843 kg/m <sup>3</sup>          |                                     |                          |             |
| <b>Zementgehalt</b>  |                                  |                                     |                          |             |
| m <sub>z</sub> [kg]  | 8,47 kg                          | m <sub>g,h</sub> [kg]               | 47,29 kg                 |             |
| m <sub>w</sub> [kg]  | 3,47 kg                          | z [kg/m <sup>3</sup> ]              | 263 [kg/m <sup>3</sup> ] | Fragewürdig |
| <b>Wassergehalt und Wasserzementwert</b>   |                                  |                                     |                          |             |
| Masse feucht m <sub>g,f</sub> [g]  | 2 065 g                          | Wassergehalt w [kg/m <sup>3</sup> ] | 143 kg/m <sup>3</sup>    |             |
| Masse trocken m <sub>g,t</sub> [g]   | 1 905 g                          | Wasserzementwert w/z                | 0,54                     |             |
| Masse Wasser m <sub>w</sub> [g]  | 160 g                            |                                     |                          |             |
| <b>Luftgehalt lt. DIN EN 12350 - 7 Luftporengehalt</b>   |                                  |                                     |                          |             |
| Luftporengehalt [Volumen-%]  | 24,90%                           | Fragewürdig                         |                          |             |
| <p>14.11.2021</p> <p>Mayr M.      Nofirth A.      CSVA für Bautechnik</p> <p>Datum      Prüfer      Prüfer (opt.)      Prüfort</p> |                                  |                                     |                          |             |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

FRISCHBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

Blatt:

FRISCHBETONPRÜFUNG

|  |                                   |                                     |                          |            |  |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------|--|
| Mischungsnummer:   | MV_GK22_30%_15.11.21 <sup>a</sup> |                                     |                          |            |  |
| <b>Konsistenzprüfung lt. DIN EN 12350 - 5 Ausbreitmaß</b>  |                                   |                                     |                          |            |  |
| Ausbreitmaß d <sub>1</sub> [mm]  | 535 mm                            | Mittelwert d [mm]                   | 523 mm                   |            |  |
| Ausbreitmaß d <sub>2</sub> [mm]  | 510 mm                            | Konsistenzklasse                    | F4                       | sehr weich |  |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12350 - 6 Frischbetonrohddichte</b>   |                                   |                                     |                          |            |  |
| Masse Tara m <sub>g,t</sub> [g]  | 4 400 g                           | Zylindervolumen [dm <sup>3</sup> ]  | 8,00 dm <sup>3</sup>     |            |  |
| Masse Tara + Beton m <sub>g</sub> [g]  | 21 080 g                          | Masse Beton Δm <sub>g</sub> [g]     | 16 680 g                 |            |  |
| Frischbetonrohddichte [kg/m <sup>3</sup> ]   | 2 085 kg/m <sup>3</sup>           |                                     |                          |            |  |
|  |                                   | 21080                               | 4580                     |            |  |
| <b>Zementgehalt</b>  |                                   | 4400                                | 20080                    |            |  |
| m <sub>z</sub> [kg]  | 11,24 kg                          | m <sub>g,h</sub> [kg]               | 58,14 kg                 |            |  |
| m <sub>w</sub> [kg]  | 4,96 kg                           | z [kg/m <sup>3</sup> ]              | 315 [kg/m <sup>3</sup> ] |            |  |
| <b>Wassergehalt und Wasserzementwert</b>   |                                   |                                     |                          |            |  |
| Masse feucht m <sub>g,f</sub> [g]  | 1 356 g                           | Wassergehalt w [kg/m <sup>3</sup> ] | 152 kg/m <sup>3</sup>    |            |  |
| Masse trocken m <sub>g,t</sub> [g]   | 1 257 g                           | Wasserzementwert w/z                | 0,48                     |            |  |
| Masse Wasser m <sub>w</sub> [g]  | 99 g                              |                                     |                          |            |  |
| <b>Luftgehalt lt. DIN EN 12350 - 7 Luftporengehalt</b>   |                                   |                                     |                          |            |  |
| Luftporengehalt [Volumen-%]  | 10,00%                            |                                     |                          |            |  |
| <p style="text-align: center;">14.11.2021                      Mayr M.      Nofirth A.                      CSVA für Bautechnik</p> <p>Datum                                      Prüfer                      Prüfer (opt.)                      Prüfort</p> |                                   |                                     |                          |            |  |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.







FRISCHBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

Blatt:

FRISCHBETONPRÜFUNG

|  |                                  |                                     |                          |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Mischungsnummer:   | MV_GK16_0%_02.12.21 <sup>a</sup> |                                     |                          |
| <b>Konsistenzprüfung lt. DIN EN 12350 - 5 Ausbreitmaß</b>  |                                  |                                     |                          |
| Ausbreitmaß d <sub>1</sub> [mm]  | 530 mm                           |                                     | 530 mm                   |
| Ausbreitmaß d <sub>2</sub> [mm]  | 530 mm                           | Konsistenzklasse                    | F4 sehr weich            |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12350 - 6 Frischbetonrohichte</b>   |                                  |                                     |                          |
| Masse Tara m <sub>g,t</sub> [g]  | 4 400 g                          | Zylindervolumen [dm <sup>3</sup> ]  | 8,00 dm <sup>3</sup>     |
| Masse Tara + Beton m <sub>g</sub> [g]  | 20 980 g                         | Masse Beton Δm <sub>g</sub> [g]     | 16 580 g                 |
| Frischbetonrohichte [kg/m <sup>3</sup> ]   | 2 073 kg/m <sup>3</sup>          |                                     |                          |
| <b>Zementgehalt</b>  |                                  |                                     |                          |
| m <sub>z</sub> [kg]  | 4,23 kg                          | m <sub>g,h</sub> [kg]               | 23,65 kg                 |
| m <sub>w</sub> [kg]  | 1,69 kg                          | z [kg/m <sup>3</sup> ]              | 296 [kg/m <sup>3</sup> ] |
| <b>Wassergehalt und Wasserzementwert</b>   |                                  |                                     |                          |
| Masse feucht m <sub>g,f</sub> [g]  | 1 846 g                          | Wassergehalt w [kg/m <sup>3</sup> ] | 165 kg/m <sup>3</sup>    |
| Masse trocken m <sub>g,t</sub> [g]   | 1 699 g                          | Wasserzementwert w/z                | 0,56                     |
| Masse Wasser m <sub>w</sub> [g]  | 147 g                            |                                     |                          |
| <b>Luftgehalt lt. DIN EN 12350 - 7 Luftporengehalt</b>   |                                  |                                     |                          |
| Luftporengehalt [Volumen-%]  | 10,00%                           |                                     |                          |
| <p>02.12.2021                                      Mayr M.      Nofirth A.                                      CSVA für Bautechnik</p> <p>Datum    Prüfer                                      Prüfer (opt.)                                      Prüfort</p> |                                  |                                     |                          |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

FRISCHBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

Blatt:

FRISCHBETONPRÜFUNG

|  |                                       |                                     |                          |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Mischungsnummer:   | MV_GK16_0%_08.12.21_65kg <sup>a</sup> |                                     |                          |
| <b>Konsistenzprüfung lt. DIN EN 12350 - 5 Ausbreitmaß</b>  |                                       |                                     |                          |
| Ausbreitmaß d <sub>1</sub> [mm]  | 480 mm                                |                                     | 490 mm                   |
| Ausbreitmaß d <sub>2</sub> [mm]  | 500 mm                                | Konsistenzklasse                    | F4 sehr weich            |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12350 - 6 Frischbetonrohichte</b>   |                                       |                                     |                          |
| Masse Tara m <sub>g,t</sub> [g]  | 4 400 g                               | Zylindervolumen [dm <sup>3</sup> ]  | 8,00 dm <sup>3</sup>     |
| Masse Tara + Beton m <sub>g</sub> [g]  | 20 820 g                              | Masse Beton Δm <sub>g</sub> [g]     | 16 420 g                 |
| Frischbetonrohichte [kg/m <sup>3</sup> ]   | 2 053 kg/m <sup>3</sup>               |                                     |                          |
| <b>Zementgehalt</b>  |                                       |                                     |                          |
| m <sub>z</sub> [kg]  | 9,18 kg                               | m <sub>g,h</sub> [kg]               | 51,24 kg                 |
| m <sub>w</sub> [kg]  | 3,38 kg                               | z [kg/m <sup>3</sup> ]              | 295 [kg/m <sup>3</sup> ] |
| <b>Wassergehalt und Wasserzementwert</b>   |                                       |                                     |                          |
| Masse feucht m <sub>g,f</sub> [g]  | 1 785 g                               | Wassergehalt w [kg/m <sup>3</sup> ] | 156 kg/m <sup>3</sup>    |
| Masse trocken m <sub>g,t</sub> [g]   | 1 649 g                               | Wasserzementwert w/z                | 0,53                     |
| Masse Wasser m <sub>w</sub> [g]  | 136 g                                 |                                     |                          |
| <b>Luftgehalt lt. DIN EN 12350 - 7 Luftporengehalt</b>   |                                       |                                     |                          |
| Luftporengehalt [Volumen-%]  | 13,00%                                |                                     |                          |
| <p>08.12.2021                      Mayr M.      Nofirth A.                      CSVA für Bautechnik</p> <p>Datum                              Prüfer              Prüfer (opt.)              Prüfort</p> |                                       |                                     |                          |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.





## Anhang G

# Prüfungsberichte Festbetonprüfungen

Folgender Anhang enthält sämtliche Festbeton Prüfprotokolle, welche im Zeitraum zwischen 22. November 2021 und 12. Jänner 2022 erstellt wurden. Der Beton ist mit den Prüfungen aus Kapitel 3.3 überprüft worden.





**FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>**

**FESTBETONPRÜFUNG**

|  |                                  |                         |                        |                                     |
|--|----------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Mischungsnummer:   | MV_GK16_0%_15.11.21 <sup>a</sup> |                         |                        |                                     |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 28-Tage Druckfestigkeit</b>   |                                  |                         |                        |                                     |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                          | 148 mm                  |                        |                                     |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                          | 150 mm                  |                        |                                     |
| <b>Lagerung:</b>   | <b>Luftlagerung</b>              |                         |                        |                                     |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 1                          | 279,4 kN                |                        |                                     |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  | 12,7 N/mm <sup>2</sup>           |                         | 11,7 N/mm <sup>2</sup> |                                     |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 2                          | 430,9 kN                |                        |                                     |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  | 19,2 N/mm <sup>2</sup>           |                         | 17,6 N/mm <sup>2</sup> |                                     |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  |                                  |                         |                        | 14,7 N/mm <sup>2</sup>              |
| Druckfestigkeitsklassenziel  | C25/30                           | Nicht Erfüllt           |                        |                                     |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - Festbetonrohddichte</b>   |                                  |                         |                        | <b>Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>]</b> |
| Masse mg [g]   | Probe 1                          | 6 222,5 g               |                        | 1 890 kg/m <sup>3</sup>             |
| Masse mg [g]   | Probe 2                          | 6 596,5 g               |                        | 1 964 kg/m <sup>3</sup>             |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                          | 149 mm                  |                        |                                     |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                          | 150 mm                  |                        |                                     |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]   |                                  | 1 927 kg/m <sup>3</sup> |                        |                                     |
| 13.12.2021                                      Mayr M.                                      Nofirth A.                                      CSVA für Bautechnik |                                  |                         |                        |                                     |
| Datum  | Prüfer                           | Prüfer (opt.)           | Prüfort                |                                     |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

## FESTBETONPRÜFUNG

|   |                                   |               |                         |                                |
|---|-----------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|
| Mischungsnummer:  | MV_GK32_30%_15.11.21 <sup>a</sup> |               |                         |                                |
|   |                                   |               |                         |                                |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 7-Tage Druckfestigkeit</b> |                                   |               |                         |                                |
| <b>Lagerung:</b>  | <b>Wasserlagerung</b>             |               |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 1                           |               | 147 mm                  |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 2                           |               | 146 mm                  |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 3                           |               | 148 mm                  |                                |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]                                       | Probe 1                           |               | 338,9 kN                |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]             |                                   |               | 15,7 N/mm <sup>2</sup>  | 15,7 N/mm <sup>2</sup>         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]                                       | Probe 2                           |               | 297,6 kN                |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]             |                                   |               | 14,0 N/mm <sup>2</sup>  | 14,0 N/mm <sup>2</sup>         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]                                       | Probe 3                           |               | 245,8 kN                |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]             |                                   |               | 11,2 N/mm <sup>2</sup>  | 11,2 N/mm <sup>2</sup>         |
|   |                                   |               |                         |                                |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]   |                                   |               |                         | 13,6 N/mm <sup>2</sup>         |
| Druckfestigkeitsklasse  | C25/30                            |               | Nicht Erfüllt           |                                |
|   |                                   |               |                         |                                |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - 7 Festbetonrohddichte</b>    |                                   |               |                         | Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Masse mg [g]  | Probe 1                           |               | 6 896,0 g               | 2 127 kg/m <sup>3</sup>        |
| Masse mg [g]  | Probe 2                           |               | 6 692,5 g               | 2 094 kg/m <sup>3</sup>        |
| Masse mg [g]  | Probe 3                           |               | 6 772,0 g               | 2 061 kg/m <sup>3</sup>        |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 1                           |               | 148 mm                  |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 2                           |               | 147 mm                  |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 3                           |               | 149 mm                  |                                |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]                  |                                   |               | 2 094 kg/m <sup>3</sup> |                                |
|   |                                   |               |                         |                                |
| 22.11.2021  | Mayr M.                           | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |                                |
| Datum   | Prüfer                            | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |                                |



Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

## FESTBETONPRÜFUNG

|   |                                   |               |                         |                                      |
|---|-----------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Mischungsnummer:  | MV_GK32_30%_15.11.21 <sup>a</sup> |               |                         |                                      |
|   |                                   |               |                         |                                      |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 28-Tage Druckfestigkeit</b>  |                                   |               |                         |                                      |
| <b>Lagerung:</b>  | <b>Luftlagerung</b>               |               |                         |                                      |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 1                           |               | 150 mm                  |                                      |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 2                           |               | 148 mm                  |                                      |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 3                           |               | 149 mm                  |                                      |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]   | Probe 1                           |               | 503,6 kN                |                                      |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]   |                                   |               | 22,4 N/mm <sup>2</sup>  | 20,6 N/mm <sup>2</sup>               |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]   | Probe 2                           |               | 419,8 kN                |                                      |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]   |                                   |               | 19,2 N/mm <sup>2</sup>  | 17,7 N/mm <sup>2</sup>               |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]   | Probe 3                           |               | 382,1 kN                |                                      |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]   |                                   |               | 17,3 N/mm <sup>2</sup>  | 15,9 N/mm <sup>2</sup>               |
|   |                                   |               |                         |                                      |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]   |                                   |               |                         | 18,1 N/mm <sup>2</sup>               |
| Druckfestigkeitsklasse  | C25/30                            |               | Nicht Erfüllt           |                                      |
|   |                                   |               |                         |                                      |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - Festbetonrohddichte</b>  |                                   |               |                         | <b>Rohddichte [kg/m<sup>3</sup>]</b> |
| Masse mg [g]  | Probe 1                           |               | 6 975,0 g               | 2 075 kg/m <sup>3</sup>              |
| Masse mg [g]  | Probe 2                           |               | 6 892,0 g               | 2 107 kg/m <sup>3</sup>              |
| Masse mg [g]  | Probe 3                           |               | 6 906,5 g               | 2 075 kg/m <sup>3</sup>              |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 1                           |               | 150 mm                  |                                      |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 2                           |               | 148 mm                  |                                      |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 3                           |               | 149 mm                  |                                      |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]  |                                   |               | 2 086 kg/m <sup>3</sup> |                                      |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <span>13.12.2021</span> <span>Mayr M.</span> <span>Nofirth A.</span> <span>CSVA für Bautechnik</span> </div> |                                   |               |                         |                                      |
| Datum   | Prüfer                            | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |                                      |



Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

## FESTBETONPRÜFUNG

|   |                                   |               |                         |                                |
|---|-----------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|
| Mischungsnummer:  | MV_GK32_60%_15.11.21 <sup>a</sup> |               |                         |                                |
|   |                                   |               |                         |                                |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 7-Tage Druckfestigkeit</b> |                                   |               |                         |                                |
| <b>Lagerung:</b>  | <b>Wasserlagerung</b>             |               |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 1                           | 148 mm        |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 2                           | 148 mm        |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 3                           | 149 mm        |                         |                                |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]                                       | Probe 1                           | 426,2 kN      |                         |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]             |                                   |               | 19,5 N/mm <sup>2</sup>  | 19,5 N/mm <sup>2</sup>         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]                                       | Probe 2                           | 450,5 kN      |                         |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]             |                                   |               | 20,5 N/mm <sup>2</sup>  | 20,5 N/mm <sup>2</sup>         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]                                       | Probe 3                           | 444,1 kN      |                         |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]             |                                   |               | 20,1 N/mm <sup>2</sup>  | 20,1 N/mm <sup>2</sup>         |
|   |                                   |               |                         |                                |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]   |                                   |               | 20,0 N/mm <sup>2</sup>  |                                |
| Druckfestigkeitsklassenziel   | C25/30                            | Nicht Erfüllt |                         |                                |
|   |                                   |               |                         |                                |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - 7 Festbetonrohddichte</b>    |                                   |               |                         | Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Masse mg [g]  | Probe 1                           | 7 256,5 g     |                         | 2 210 kg/m <sup>3</sup>        |
| Masse mg [g]  | Probe 2                           | 7 330,0 g     |                         | 2 229 kg/m <sup>3</sup>        |
| Masse mg [g]  | Probe 3                           | 7 375,5 g     |                         | 2 231 kg/m <sup>3</sup>        |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 1                           | 149 mm        |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 2                           | 149 mm        |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 3                           | 149 mm        |                         |                                |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]                  |                                   |               | 2 223 kg/m <sup>3</sup> |                                |
|   |                                   |               |                         |                                |
| 22.11.2021  | Mayr M.                           | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |                                |
| Datum   | Prüfer                            | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |                                |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

## FESTBETONPRÜFUNG

|  |                                   |               |                         |                                |
|--|-----------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|
| Mischungsnummer:   | MV_GK32_60%_15.11.21 <sup>a</sup> |               |                         |                                |
|  |                                   |               |                         |                                |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 28-Tage Druckfestigkeit</b> |                                   |               |                         |                                |
| <b>Lagerung:</b>   | <b>Wasserlagerung</b>             |               |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                           | 149 mm        |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                           | 149 mm        |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 3                           | 148 mm        |                         |                                |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 1                           | 518,2 kN      |                         |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]              |                                   |               | 23,5 N/mm <sup>2</sup>  | 23,5 N/mm <sup>2</sup>         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 2                           | 527,4 kN      |                         |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]              |                                   |               | 23,6 N/mm <sup>2</sup>  | 23,6 N/mm <sup>2</sup>         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 3                           | 405,9 kN      |                         |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]              |                                   |               | 18,5 N/mm <sup>2</sup>  | 18,5 N/mm <sup>2</sup>         |
|  |                                   |               |                         |                                |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]    |                                   |               | 21,9 N/mm <sup>2</sup>  |                                |
| Druckfestigkeitsklassenziel  | C25/30                            | Nicht Erfüllt |                         |                                |
|  |                                   |               |                         |                                |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - 28 Festbetonrohddichte</b>    |                                   |               |                         | Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Masse mg [g]   | Probe 1                           | 7 416,0 g     |                         | 2 246 kg/m <sup>3</sup>        |
| Masse mg [g]   | Probe 2                           | 7 360,5 g     |                         | 2 206 kg/m <sup>3</sup>        |
| Masse mg [g]   | Probe 3                           | 7 209,5 g     |                         | 2 184 kg/m <sup>3</sup>        |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                           | 149 mm        |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                           | 149 mm        |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 3                           | 149 mm        |                         |                                |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]                   |                                   |               | 2 212 kg/m <sup>3</sup> |                                |
|  |                                   |               |                         |                                |
| 13.12.2021   | Mayr M.                           | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |                                |
| Datum  | Prüfer                            | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |                                |

 Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

**FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>**

**FESTBETONPRÜFUNG**

|  |                                  |                         |                        |                                     |
|--|----------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Mischungsnummer:   | MV_GK16_0%_08.12.21 <sup>a</sup> |                         |                        |                                     |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 7-Tage Druckfestigkeit</b>  |                                  |                         |                        |                                     |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                          | 149 mm                  |                        |                                     |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                          | 149 mm                  |                        |                                     |
| <b>Lagerung:</b>   | <b>Wasserlagerung</b>            |                         |                        |                                     |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 1                          | 327,8 kN                |                        |                                     |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  | 14,8 N/mm <sup>2</sup>           |                         | 14,8 N/mm <sup>2</sup> |                                     |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 2                          | 332,6 kN                |                        |                                     |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  | 15,0 N/mm <sup>2</sup>           |                         | 15,0 N/mm <sup>2</sup> |                                     |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  |                                  |                         |                        | 14,9 N/mm <sup>2</sup>              |
| Druckfestigkeitsklassenziel  | C25/30                           | Nicht Erfüllt           |                        |                                     |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - Festbetonrohddichte</b>   |                                  |                         |                        | <b>Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>]</b> |
| Masse mg [g]   | Probe 1                          | 7 059,0 g               |                        | 2 130 kg/m <sup>3</sup>             |
| Masse mg [g]   | Probe 2                          | 6 974,5 g               |                        | 2 096 kg/m <sup>3</sup>             |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                          | 149 mm                  |                        |                                     |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                          | 149 mm                  |                        |                                     |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]   |                                  | 2 113 kg/m <sup>3</sup> |                        |                                     |
| 15.12.2021                      Mayr M.                      Nofirth A.                      CSVA für Bautechnik |                                  |                         |                        |                                     |
| Datum  | Prüfer                           | Prüfer (opt.)           | Prüfort                |                                     |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

## FESTBETONPRÜFUNG

|  |                                  |               |                         |                                      |  |
|--|----------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| Mischungsnummer:   | MV_GK16_0%_08.12.21 <sup>a</sup> |               |                         |                                      |  |
|  |                                  |               |                         |                                      |  |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 28-Tage Druckfestigkeit</b>   |                                  |               |                         |                                      |  |
| <b>Lagerung:</b>   | <b>Luftlagerung</b>              |               |                         |                                      |  |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                          |               | 149 mm                  |                                      |  |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                          |               | 149 mm                  |                                      |  |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 3                          |               | 149 mm                  |                                      |  |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 1                          |               | 451,0 kN                |                                      |  |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  |                                  |               | 20,4 N/mm <sup>2</sup>  | 18,7 N/mm <sup>2</sup>               |  |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 2                          |               | 461,0 kN                |                                      |  |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  |                                  |               | 20,8 N/mm <sup>2</sup>  | 19,1 N/mm <sup>2</sup>               |  |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 3                          |               | 568,0 kN                |                                      |  |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  |                                  |               | 25,5 N/mm <sup>2</sup>  | 23,4 N/mm <sup>2</sup>               |  |
|  |                                  |               |                         |                                      |  |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  |                                  |               |                         | 20,4 N/mm <sup>2</sup>               |  |
| Druckfestigkeitsklasse   | C25/30                           |               | Nicht Erfüllt           |                                      |  |
|  |                                  |               |                         |                                      |  |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - Festbetonrohddichte</b>   |                                  |               |                         | <b>Rohddichte [kg/m<sup>3</sup>]</b> |  |
| Masse mg [g]   | Probe 1                          |               | 6 842,0 g               | 2 060 kg/m <sup>3</sup>              |  |
| Masse mg [g]   | Probe 2                          |               | 6 893,1 g               | 2 074 kg/m <sup>3</sup>              |  |
| Masse mg [g]   | Probe 3                          |               | 6 974,1 g               | 2 087 kg/m <sup>3</sup>              |  |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                          |               | 149 mm                  |                                      |  |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                          |               | 149 mm                  |                                      |  |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 3                          |               | 150 mm                  |                                      |  |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]   |                                  |               | 2 074 kg/m <sup>3</sup> |                                      |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <span>05.01.2022</span> <span>Hackspiel C.</span> <span>CSVA für Bautechnik</span> </div> |                                  |               |                         |                                      |  |
| Datum  | Prüfer                           | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |                                      |  |



Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

**FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>**

**FESTBETONPRÜFUNG**

|  |                                   |                         |                        |                                |
|--|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Mischungsnummer:   | MV_GK16_30%_08.12.21 <sup>a</sup> |                         |                        |                                |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 7-Tage Druckfestigkeit</b>  |                                   |                         |                        |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                           | 149 mm                  |                        |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                           | 149 mm                  |                        |                                |
| <b>Lagerung:</b>   | <b>Wasserlagerung</b>             |                         |                        |                                |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 1                           | 337,2 kN                |                        |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  | 15,2 N/mm <sup>2</sup>            |                         | 15,2 N/mm <sup>2</sup> |                                |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 2                           | 388,1 kN                |                        |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  | 17,4 N/mm <sup>2</sup>            |                         | 17,4 N/mm <sup>2</sup> |                                |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]  |                                   |                         |                        | 16,3 N/mm <sup>2</sup>         |
| Druckfestigkeitsklassenziel  | C25/30                            | Nicht Erfüllt           |                        |                                |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - Festbetonrohddichte</b>   |                                   |                         |                        | Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Masse mg [g]   | Probe 1                           | 7 155,0 g               |                        | 2 153 kg/m <sup>3</sup>        |
| Masse mg [g]   | Probe 2                           | 7 477,0 g               |                        | 2 232 kg/m <sup>3</sup>        |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                           | 149 mm                  |                        |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                           | 150 mm                  |                        |                                |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]   |                                   | 2 192 kg/m <sup>3</sup> |                        |                                |
| 15.12.2021                      Mayr M.                      Nofirth A.                      CSVA für Bautechnik |                                   |                         |                        |                                |
| Datum  | Prüfer                            | Prüfer (opt.)           | Prüfort                |                                |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.



FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

## FESTBETONPRÜFUNG

|  |                                   |               |                         |                                      |
|--|-----------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Mischungsnummer:   | MV_GK22_30%_08.12.21 <sup>a</sup> |               |                         |                                      |
|  |                                   |               |                         |                                      |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 28-Tage Druckfestigkeit</b> |                                   |               |                         |                                      |
| <b>Lagerung:</b>   | <b>Luftlagerung</b>               |               |                         |                                      |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                           |               | 149 mm                  |                                      |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                           |               | 149 mm                  |                                      |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 3                           |               | 150 mm                  |                                      |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 1                           |               | 502,0 kN                |                                      |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]              |                                   |               | 22,8 N/mm <sup>2</sup>  | 20,9 N/mm <sup>2</sup>               |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 2                           |               | 606,0 kN                |                                      |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]              |                                   |               | 27,3 N/mm <sup>2</sup>  | 25,1 N/mm <sup>2</sup>               |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 3                           |               | 449,0 kN                |                                      |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]              |                                   |               | 20,0 N/mm <sup>2</sup>  | 18,4 N/mm <sup>2</sup>               |
|  |                                   |               |                         |                                      |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]    |                                   |               |                         | 21,5 N/mm <sup>2</sup>               |
| Druckfestigkeitsklasse   | C25/30                            |               | Nicht Erfüllt           |                                      |
|  |                                   |               |                         |                                      |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - Festbetonrohddichte</b>       |                                   |               |                         | <b>Rohddichte [kg/m<sup>3</sup>]</b> |
| Masse mg [g]   | Probe 1                           |               | 7 141,3 g               | 2 159 kg/m <sup>3</sup>              |
| Masse mg [g]   | Probe 2                           |               | 7 316,0 g               | 2 201 kg/m <sup>3</sup>              |
| Masse mg [g]   | Probe 3                           |               | 7 020,7 g               | 2 084 kg/m <sup>3</sup>              |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                           |               | 149 mm                  |                                      |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                           |               | 149 mm                  |                                      |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 3                           |               | 150 mm                  |                                      |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]                   |                                   |               | 2 148 kg/m <sup>3</sup> |                                      |
|  |                                   |               |                         |                                      |
| 05.01.2022   | Hackspiel C.                      |               | CSVA für Bautechnik     |                                      |
| Datum  | Prüfer                            | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |                                      |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

**FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>**

**FESTBETONPRÜFUNG**

|   |                                   |                         |                        |                         |
|---|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Mischungsnummer:  | MV_GK22_60%_15.12.21 <sup>a</sup> |                         |                        |                         |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 7-Tage Druckfestigkeit</b> |                                   |                         |                        |                         |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 1                           | 150 mm                  |                        |                         |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 2                           | 150 mm                  |                        |                         |
| <b>Lagerung:</b>  | <b>Wasserlagerung</b>             |                         |                        |                         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]                                       | Probe 1                           | 442,5 kN                |                        |                         |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]             | 19,8 N/mm <sup>2</sup>            |                         | 19,8 N/mm <sup>2</sup> |                         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]                                       | Probe 2                           | 368,5 kN                |                        |                         |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]             | 16,4 N/mm <sup>2</sup>            |                         | 16,4 N/mm <sup>2</sup> |                         |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]   |                                   |                         |                        | 18,1 N/mm <sup>2</sup>  |
| Druckfestigkeitsklassenziel   | C25/30                            | Nicht Erfüllt           |                        |                         |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - Festbetonrohddichte</b>      |                                   |                         |                        |                         |
| Masse mg [g]  | Probe 1                           | 7 413,0 g               |                        | 2 238 kg/m <sup>3</sup> |
| Masse mg [g]  | Probe 2                           | 7 464,0 g               |                        | 2 222 kg/m <sup>3</sup> |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 1                           | 149 mm                  |                        |                         |
| Kantenlänge a [mm]  | Probe 2                           | 150 mm                  |                        |                         |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]                  |                                   | 2 230 kg/m <sup>3</sup> |                        |                         |
|   |                                   |                         |                        |                         |
| 22.12.2021  | Mayr M.                           | Nofirth A.              | CSVA für Bautechnik    |                         |
| Datum   | Prüfer                            | Prüfer (opt.)           | Prüfort                |                         |

Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse

<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.

FESTBETONPRÜFUNG<sup>b</sup>

## FESTBETONPRÜFUNG

|  |                                   |               |                         |                                |
|--|-----------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|
| Mischungsnummer:   | MV_GK22_60%_15.12.21 <sup>a</sup> |               |                         |                                |
|  |                                   |               |                         |                                |
| <b>Festbetonprüfung lt. DIN EN 12390 - 3 28-Tage Druckfestigkeit</b> |                                   |               |                         |                                |
| <b>Lagerung:</b>   | <b>Wasserlagerung</b>             |               |                         |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                           |               | 148 mm                  |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                           |               | 148 mm                  |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 3                           |               | 149 mm                  |                                |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 1                           |               | 525,4 kN                |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]              |                                   |               | 24,1 N/mm <sup>2</sup>  | 24,1 N/mm <sup>2</sup>         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 2                           |               | 551,7 kN                |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]              |                                   |               | 25,1 N/mm <sup>2</sup>  | 25,1 N/mm <sup>2</sup>         |
| Höchstkraft beim Bruch F [kN]  | Probe 3                           |               | 589,6 kN                |                                |
| Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]              |                                   |               | 26,7 N/mm <sup>2</sup>  | 26,7 N/mm <sup>2</sup>         |
|  |                                   |               |                         |                                |
| Druckfestigkeit im Mittel $f_{c,cube}$ [Mpa] [N/mm <sup>2</sup> ]    |                                   |               |                         | 25,3 N/mm <sup>2</sup>         |
| Druckfestigkeitsklassenziel  | C25/30                            |               | Nicht Erfüllt           |                                |
|  |                                   |               |                         |                                |
| <b>Rohdichteprüfung lt. DIN EN 12390 - 28 Festbetonrohddichte</b>    |                                   |               |                         | Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Masse mg [g]   | Probe 1                           |               | 7 114,0 g               | 2 178 kg/m <sup>3</sup>        |
| Masse mg [g]   | Probe 2                           |               | 7 265,0 g               | 2 207 kg/m <sup>3</sup>        |
| Masse mg [g]   | Probe 3                           |               | 7 393,5 g               | 2 235 kg/m <sup>3</sup>        |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 1                           |               | 148 mm                  |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 2                           |               | 149 mm                  |                                |
| Kantenlänge a [mm]   | Probe 3                           |               | 149 mm                  |                                |
| Festbetonrohddichte im Mittel [kg/m <sup>3</sup> ]                   |                                   |               | 2 207 kg/m <sup>3</sup> |                                |
|  |                                   |               |                         |                                |
| 12.01.2022   | Mayr M.                           | Nofirth A.    | CSVA für Bautechnik     |                                |
| Datum  | Prüfer                            | Prüfer (opt.) | Prüfort                 |                                |



Eingabefelder

<sup>a</sup> i.d. Cloud lt. 0340 Mischungsverhältnisse<sup>b</sup> Diese Frischbetonprüfungen werden im Zuge der Diplomarbeit von Hr. Mayr & Hr. Nofirth [2021/22] in Kooperation mit den WL in der CSVA für Bautechnik, unter Aufsicht von Hr. DI. Dr. techn. Christoph Hackspiel durchgeführt.