

4

Betontechnologische Herausforderungen beim Bau der Festen Fahrbahn

Dipl.-Ing. Dr. techn. Walter Pichler (Hart im Zillertal), Dipl.-Ing. Roland Fischer (Wien)

Die Herstellung eines qualitativ hochwertigen Vergusses von Gleistragplatten ist sehr komplex aufgrund der vielen Einflussfaktoren. An Probefeldern und nach dem Einbau der Gleistragplatten (GTP) zeigte sich, dass die Problematik der Bildung von minderfesten Schichten (Hohlräume oder Porenbetonbildung) am Übergang vom Vergussbeton zur GTP besteht. Durch ein neu entwickeltes Prüfverfahren, der modifizierten L-Box, ist es nun möglich, mit deutlich geringerem Kostenaufwand gegenüber der Herstellung von Probefeldern die Eigenschaften des Vergussbetons zu optimieren und damit die Prozesssicherheit zu erhöhen.

Probefelder für den Verguss von Schwellen zeigten, dass die Problematik der Bildung von minderfesten Schichten (Hohlräume oder Porenbetonbildung) auch beim Verguss von Schwellen besteht. Das Versuchsverfahren wurde zwischenzeitlich auch für die Prüfung der Eignung von Beton zum Verguss von Schwellen optimiert. Da der Beton beim Einbau im Gleis allerdings manuell verteilt und verdichtet werden muss, kann dabei nur die Eigenschaften des Vergussbetons beurteilt werden, nicht aber das gewählte Einbauverfahren.

4.1 Feste Fahrbahn mit Gleistragplatten (GTP)

Nach den Regelwerken der ÖBB-Infrastruktur AG sind Tunnel über 500m mit Fester Fahrbahn auszuführen. Seit ca. 1995 wird bei Errichtung von FF bei der ÖBB Infrastruktur AG das System „elastisch gelagerte Gleistragplatte“ (ÖBB-Porr Platte) eingebaut.

Bei dem System handelt es sich um ein Fertigteil-Plattensystem mit Abmessungen von 5,16 m x 2,4 m x 0,16 m. Projektbezogen können aus Platzgründen auch schmalere Platten mit einer Breite von 2,12m eingebaut werden.

Die Platte besitzt 2 Einfüllöffnungen, über die sie mit Vergussbeton nach Einrichtung vergossen wird.

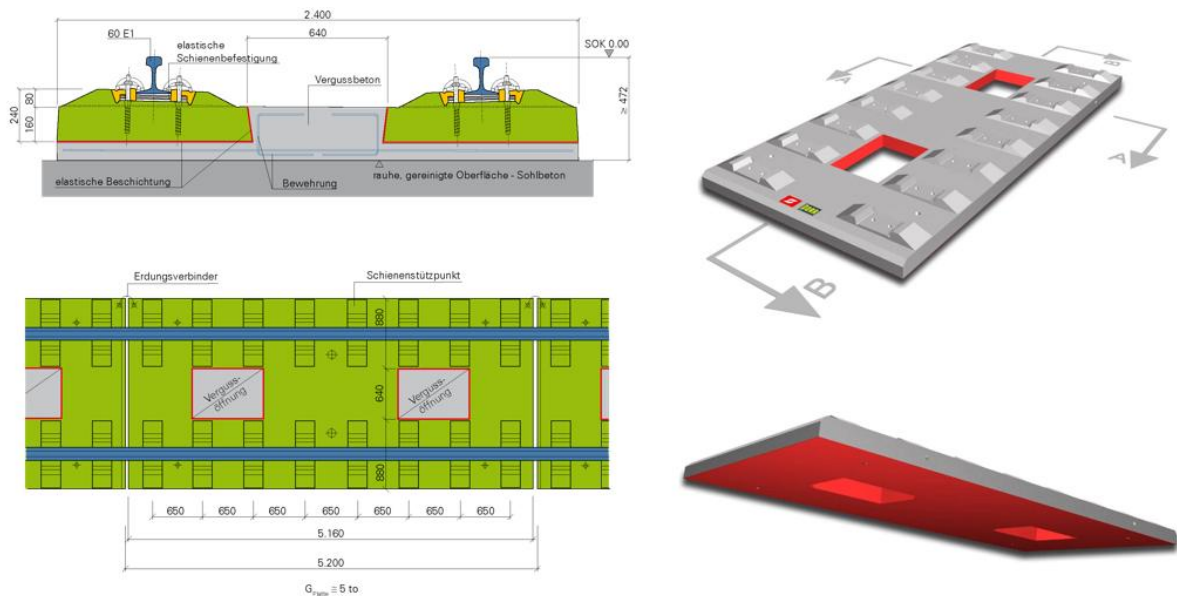


Abbildung 1 Feste Fahrbahn System Gleistragplatte (GTP)

Der Grund für den Einbau einer FF liegt vor allem im geringeren Instandhaltungsaufwand. Die ÖBB hat betreffend Instandhaltung eine gute Erfahrung mit dem System elastisch gelagerte Gleistragplatte. Prognostiziert ist eine Lebensdauer von 80 Jahren. Lediglich das Befestigungssystem (System 300-1) muss zwischendurch gewartet bzw. getauscht werden.

4.2 Vergussbeton

Die Gleistragplatten werden in einem ersten Schritt aufgeständert und justiert. Der Hohlraum unter der GTP wird anschließend mit dem Vergussbeton vergossen. An den Vergussbeton ergeben sich daraus, neben dem Erreichen der geforderten Druckfestigkeit und Expositionsklassen, die folgenden spezifischen Anforderungen:

- I Die Fließeigenschaften des Betons müssen ein hohlraumfreies Untergießen der Gleistragplatten ermöglichen, dabei muss sich der Vergussbeton selbsttätig unter der GTP verteilen.
- I Da der Vergussbeton nicht mittels Rüttler verdichtet werden kann, muss dieser sich soweit selbstverdichten, dass die geforderten Festbetoneigenschaften erreicht werden.
- I Der Beton darf sich beim Einbau nicht entmischen und muss kraftschlüssig an die GTP anbinden. Eine minderfeste Schicht oder Hohlräume am Anschluss zur GTP sind nicht zulässig. Gleichmäßig verteilte, kleinere Lufteinschlüsse bis zu 25 % der Gesamtfläche unter der GTP sind zulässig.

Die Anforderungen an die Druckfestigkeit liegen in der Regel im Bereich von C25/30 bis in Sonderfällen C50/60. Die geforderten Expositionsklassen sind in der Regel XC4 und XA1L sowie zusätzlich im Frost belastetem Bereich XF3.

Abhängig von der Dicke des Vergussbetons ist ein Größtkorn von 4 bis 16 mm erforderlich.

4.2.1 Eignungsnachweis für den Vergussbeton

Für den Beton ist grundsätzlich eine Eignungsprüfung zum Nachweis der normgemäßen Frisch- und Festbetoneigenschaften (Druckfestigkeit und der Expositionsklassen) zu erbringen.

Die normgemäßen Nachweisverfahren für selbstverdichtenden Beton (SCC-Beton) wie Blockierneigung, Fließmaß und Sedimentationsstabilität sind erfahrungsgemäß für die Bewertung der Eignung des Vergussbetons für das Untergießen von GTP nicht ausreichend aussagekräftig.

Aus diesem Grund wird ein zusätzlicher Eignungsnachweis in Form von Probefeldern gefordert. Zu berücksichtigen sind bei der Herstellung der Probefelder das Transportverfahren des Betons zur Einbaustelle (z.B. Pumpen oder Rutsche) und die vorgesehene Verarbeitungsdauer des Betons. Wird der Beton gepumpt, ist zusätzlich die Pumpleitungslänge als maßgeblicher Faktor zu berücksichtigen.

Anhand dieser Probefelder ist das Erreichen der geforderten Vergussbetonqualität im eingebauten Zustand für die seitens der ausführenden Firma zu wählende Ober- und Untergrenzen der Konsistenz des Frischbetons, über die vorgesehene Verarbeitungsdauer, nachzuweisen.

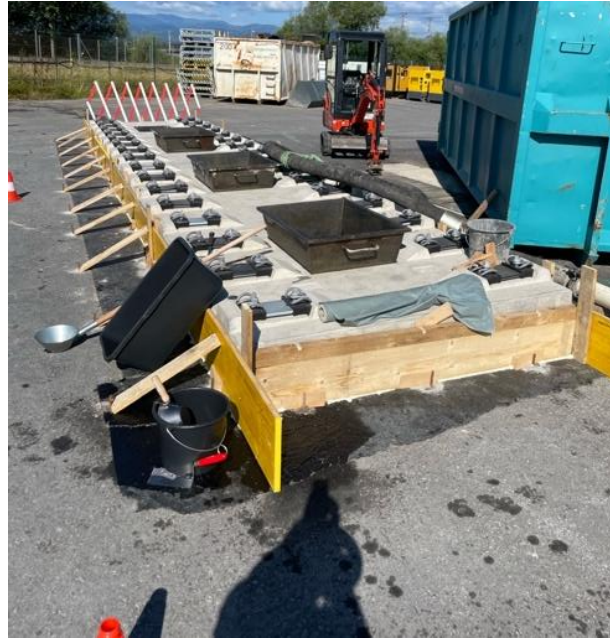


Abbildung 2 Beispiel eines Probefeldes für den Vergussbeton

Die bei den Probefeldern verwendete Ober- und Untergrenze der Konsistenz dürften in der Ausführung weder über- noch unterschritten werden.

Im Rahmen der Herstellung der Probefelder wurde nach dem Abheben der Gleistragplatten überprüft, ob die Anforderungen an die Vergussqualität eingehalten wurden.

Die bisherigen Erfahrungen aus den Probefeldern zeigen, dass bei ersten Herstellungsversuchen im Vergussbeton am Übergang zur Gleistragplatte häufig Hohlstellen durch Lufteinschlüsse sowie großflächig minderfester Beton auftreten.



Abbildung 3 Negatives Ergebnis eines Probefeldes mit großen Lufteinschlüssen und Porenbeton

Häufig werden erst nach der Herstellung einer Serie von Probefeldern mit unterschiedlichen, optimierten Betonzusammensetzungen die Anforderungen an die geforderte Qualität des Vergussbetons erreicht.

4.2.2 Fehlstellen im Vergussbeton

Wird der Vergussbeton zu weich eingebaut, kann es zu Entmischungen und Bildung einer schaumartigen, weichen, mehrere mm dicken Porenbetonschicht an der Grenzfläche zur GTP kommen.



Abbildung 4 Fehlerhafte Vergussbetonoberfläche nach dem Abheben der GTP mit Detailaufnahme mit Schuhabdrücken im weichen schaumartigen Porenbeton

Die Erkennbarkeit, ob es zu Entmischungen kommt, ist nur zum Zeitpunkt des Betoneinbaues möglich. Ansonsten können derartige Fehlstellen nur nach dem Abheben der GTP sichtbar gemacht werden. Anzeichen für derartige Entmischungen ist die vermehrte Bildung einer schaumartigen Schicht auf der Vergussbetonoberfläche in den Vergussöffnungen der GTP.



Abbildung 5 Schaumbildung am Frischbeton in der Einfüllöffnung

Wird der Vergussbeton zu steif eingebaut, bilden sich unter der Gleistragplatte Hohlstellen. Liegen diese am Rand der GTP, so sind diese nach dem Einbau des Betons und der Entfernung der seitlichen Schalung erkennbar (Bild 6).



Abbildung 6 Hohlstelle am Rand unter der GTP

4.3 Kennwerte unterschiedlicher Vergussbetone

In der folgenden Tabelle sind die Kennwerte von unterschiedlichen Vergussbetonen gegenübergestellt. Die Vergussbetone weisen alle ein GK8 auf und entsprechen den Expositionsklassen XC4, XA1L und XF3.

Projekt	A	B	C	D	E
Bindemittelgehalt	470 kg/m ³	520 kg/m ³	500 kg/m ³	500 kg/m ³	560 kg/m ³
Füller	90 kg/m ³	-	-	80 kg/m ³	40 kg/m ³
Bindemittel inkl. Füller	560 kg/m ³	570 kg/m ³	500 kg/m ³	580 kg/m ³	600 kg/m ³
Wassergehalt	205 l/m ³	200 l/m ³	182 l/m ³	206 l/m ³	200 l/m ³
Gesteinskörnung	1570 kg/m ³	1472 kg/m ³	1623 kg/m ³	1485 kg/m ³	1549 kg/m ³
Fließmittel	5,4 kg/m ³	3,8 kg/m ³	4,0 kg/m ³	4,13 kg/m ³	5,5 kg/m ³
Luftporenmittel	1,74 kg/m ³	0,8 kg/m ³	0,3 kg/m ³	1,15 kg/m ³	-
Verögerer	1,95 kg/m ³	1,5 kg/m ³	-	1,0 kg/m ³	1,84 kg/m ³
Kennwerte Beton					
Luftporengehalt	4,7 %	5,5 %	4,6 %	7,0 %	3,0 %
Mehlkorngehalt	577 kg/m ³	644 kg/m ³	580 kg/m ³	600 kg/m ³	620 kg/m ³
Fließmaß	FM _{10min} =72 FM _{225min} =63	FM _{10min} =66 FM _{90min} =68	FM _{10min} =68 FM _{90min} =58	FM _{10min} =62 FM _{90min} =68	FM _{10min} =71 FM _{165min} =58
Druckfestigkeit	72 MPa	61 MPa	58 MPa	51 MPa	80 MPa

Tabelle 1 Kennwerte von Vergussbetonen unterschiedlicher Baustellen

4.4 Auswertung der Konformitätsprüfungen von Vergussbeton

In den folgenden Tabellen sind beispielhaft die Kennwerte des Frisch- und Festbetons aus der Konformitätsprüfung von drei Baustellen ausgewertet. Bei den Baustellen 1 und 2 wurde der Beton gleisgebunden in den Tunnel transportiert und zur Einbaustelle gepumpt, auf der Baustelle 3 wurde der Beton mit dem Fahrmischer direkt zur Einbaustelle gefahren und mittels Rutsche in die Einfüllöffnung der GTP transportiert. Auf den Baustellen 1 und 2 war aufgrund fehlender Möglichkeit den Beton im Tunnel aufzumischen eine Konsistenzanpassung durch Nachdosieren von Fließmittel nicht möglich. Auf der Baustelle 3 wurde jedes Fahrzeug vor der Entleerung überprüft und die Konsistenz erforderlichenfalls durch die Zugabe von Fließmittel korrigiert. Der zusätzlich statistisch ermittelte Vertrauensbereich gibt an in welchem Bereich die Kennwerte von 95% des Betons liegen.

	Baustelle 1		Baustelle 2		Baustelle 3
Prüfort	Werk	Einbaustelle	Werk	Einbaustelle	Einbaustelle
Anzahl	396	201	273	969	48
MW	1,5 %	1,6 %	2,3 %	2,1 %	4,6 %
Min	0,2 %	0,3 %	1,1 %	0,8 %	3,9 %
Max	3,2 %	3,7 %	3,3 %	3,3 %	5,8 %
Stabw.	0,50 %	0,60 %	0,41 %	0,46 %	0,61 %
Vertrauensbereich	0,5–2,5 %	0,4–2,8 %	1,5–3,1 %	1,2–3,0 %	3,4–5,8 %

Tabelle 2 Konformitätsprüfung für den Luftporengehalt des Frischbetons

Die Luftporengehalte schwanken nur in einem engen Bereich. Veränderungen zwischen der Prüfung im Werk und auf der Einbaustelle sind unwesentlich.

	Baustelle 1		Baustelle 2		Baustelle 3
Prüfort	Werk	Einbaustelle	Werk	Einbaustelle	Einbaustelle
Anzahl	430	183	292	973	62
MW	68 cm	73 cm	62 cm	63 cm	63 cm
Min	55 cm	60 cm	54 cm	55* cm	58 cm
Max	78 cm	81 cm	72 cm	71	66 cm
Stabw.	4,6 cm	3,4 cm	3,1 cm	2,2 cm	1,9 cm
Vertrauensbereich	59–77 cm	66–80 cm	56–68 cm	59–67 cm	59–67 cm

Tabelle 3 Konformitätsprüfung für das Fließmaß von Vergussbeton

Die Fließmaße streuen bei der Prüfung im Werk wesentlich weiter als an der Einbaustelle. Bei der Baustelle 1 wurde ein Fließmittel verwendet, dass eine deutliche Nachverflüssigung aufweist. Die Baustelle 1 weist eine deutlich weichere Betonkonsistenz und eine erheblich größere Streubreite der Fließmaße gegenüber den Baustellen 2 und 3 auf.

Auf der Baustelle 1 wurden beim Einbau des Vergussbetons phasenweise Anzeichen der Entmischung am Frischbeton festgestellt. An diesen Stellen wurden nachträglich eine erhebliche Anzahl von GTP abgehoben und mehrfach eine nicht entsprechende Vergussbetonqualität festgestellt.

	Baustelle 1		Baustelle 2		Baustelle 3
Prüfort	Werk	Einbaustelle	Werk	Einbaustelle	Einbaustelle
Anzahl	424	4	213	53	47
MW	204 l/m ³	205 l/m ³	201 l/m ³	202 l/m ³	194 l/m ³
Min	184 l/m ³	203 l/m ³	189 l/m ³	197 l/m ³	184 l/m ³
Max	226 l/m ³	211 l/m ³	210 l/m ³	207 l/m ³	203 l/m ³
Stabw.	5,5 l/m ³	3,5 l/m ³	3,8 l/m ³	2,6 l/m ³	4,0 l/m ³
Vertrauensbereich	193–215 l/m ³	197–213 l/m ³	193–208 l/m ³	197–207 l/m ³	186–202 l/m ³

Tabelle 4 Konformitätsprüfung für den Wassergehalt

Die Streuung des Wassergehaltes liegt im für Mikroprozessor gesteuerte Mischanlagen üblichen Bereich von unter $\pm 10 \text{ l/m}^3$.

	Baustelle 1	Baustelle 2	Baustelle 3
Anzahl	88	82	41
MW	63	70	71
Min	53	48	68
Max	75	87	75
Stabw.	4,7	8,3	1,6
$f_{ck,cube}^*$	52	53	68,8
$f_{ck,cube}$	48	49	63

*Lagerung gemäß ÖNORM B 4710-3 (Trockenlagerung ab 7 Tage)

Tabelle 5 Konformitätsprüfung für die Druckfestigkeit in N/mm^2

Die erreichte Betondruckfestigkeit liegt weit über dem geforderten Wert für $f_{ck,cube}$ von 30 N/mm^2 für die Druckfestigkeitsklasse C25/30. Tatsächlich erreicht wurde zumindest die Festigkeitsklasse C 35/45.

Das Erreichen der Anforderungen an die Festbetonkennwerte stellt für den Vergussbeton keine wesentliche Herausforderung dar.

4.5 Verbesserung der Beurteilbarkeit von Vergussbeton

Die Anforderungen an den Vergussbeton sind von der Art des Betoneinbaues und den konstruktiv erforderlichen Gegebenheiten vorgegeben. Die Eigenschaften des Vergussbetons, insbesondere die Frischbetoneigenschaften, sind von den Betonausgangsstoffen und der Betonzusammensetzung abhängig. Das Zusammenspiel ist sehr komplex, insbesondere, da die normgemäßen Prüfverfahren die geforderten Frischbetoneigenschaften nicht ausreichend beschreiben.

Die Überprüfung von Gussbetonqualität durch die Herstellung von Probefeldern kann dies zwar kompensieren, ist aber sehr kostenintensiv und lässt daher nur eingeschränkt eine Variation einzelner Parameter zu.

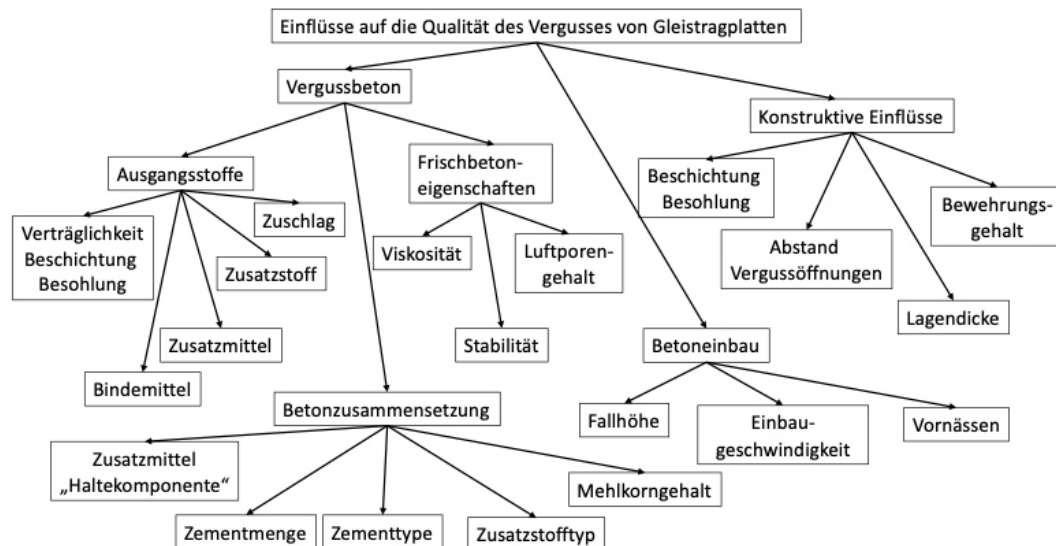


Abbildung 7 Einflussgrößen für die Qualität des Vergusses

Zur besseren Beurteilung der Eignung von Vergussbeton wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes der ÖBB Untersuchungen des Frischbetons mit alternativen, weniger kostenintensiven Beurteilungsmethoden durchgeführt. Die verwendeten gebräuchlichen Methoden für die Prüfung von SSC-Beton wie Trichter-Auslaufversuch oder Siebtest zeigten keine verwertbaren Ergebnisse, da kein Zusammenhang mit der Qualität der Betonoberflächen der Versuchsfelder gefunden wurde. Es war daher die Entwicklung eines gesonderten Versuchs erforderlich.

4.5.1 Modifizierter L-Box Versuch

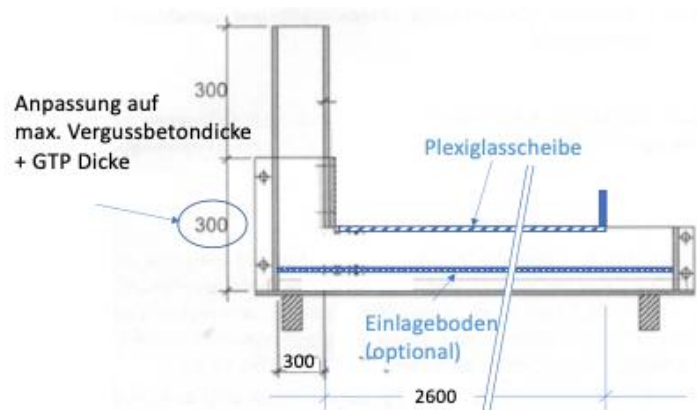


Abbildung 8 Modifizierte L-Box zur Beurteilung der Eignung von Vergussbeton

Die Versuchsanordnung wurde auf der Basis eines bestehenden Versuches zur Bestimmung der Fließfähigkeit von SCC-Beton bei vorhandenen Störkörpern (L-Box-Versuch) für die Beurteilung des Vergussbetons entsprechend modifiziert, um die Anforderungen des Einbaues des Vergussbetons unter der GTP zu simulieren.

Bei der Herstellung des Probekörpers sind der Betontransport und die Einbaugegebenheiten bei der Ausführung zu simulieren. Dies betrifft insbesondere die Transportdauer und die Art des Transportes des Betons zur Einbaustelle (Rutsche bzw. Pumpe und Pumplänge).



Abbildung 9 Positive Prüfergebnisse im modifizierten L-Box Versuch (links) und im Vergleich dazu das Ergebnis am Probefeld

Dieses Prüfverfahren hat sich als geeignet zur Beurteilung der von Vergussbeton gezeigt. Parallelversuche mit hergestellten Probefeldern zeigte eine gute Korrelation. Der Versuchsergebnisse.