

Bautechnik 10/2019

Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau

Anzeigenschluss:
19.09.2019

Druckunterlagenschluss:
20.09.2019

Erscheinungstermin:
10.10.2019



Produkte & Objekte

Firmen-Berichte zu Referenzobjekten, Produkten, Verfahren, Anwendungen, Dienstleistungen etc. zu den Themen:

Zusatzverbreitung:

-Fachsektionstage Geotechnik der DGGT (29. – 30.10.2019 Würzburg)

-STUVA Tagung (26. – 27.11.2019 Frankfurt/Main)

-GEC Geotechnik expo & congress (23. – 24.10.2019 Messe Offenburg)

Geotechnik, Spezialtiefbau

Grundbau, Baugruben, Deponiebau und -sanierung, Pfahlgründungen, Bodenverbesserungen, Geodäsie, Geoinformationssystem, Baugeologie, Einsatz von Geotextilien

Tiefbau, Kanal- und Rohrleitungsbau

Wasser- Abwasserbehandlung Leistungsbau, Instandhaltung von Kanalisation, Korrosionsschutz, Injektionsverfahren, Rohrleitungstechnik, Abdichtungsverfahren, Auskleidungen, Dekontamination, Rohrvortrieb, Trinkwasser, Trinkwasserbehälter, Beschichtungen, Säureresistenz etc.

Aus der Industrie:

Hydraulik auf höchstem Niveau

Wenn ab dem Jahr 2020 die Besucher der Berliner „Staatsoper Unter den Linden“ der Musik lauschen, werden sie voraussichtlich nicht merken, dass unter der Oper in rund 17 Meter Tiefe die Züge der U-Bahnlinie 5 durch die neu gebauten Tunnelröhren fahren. Zum ungestörten Hörerlebnis trägt eine ausgeklügelte elastische Lagerung der Gleiströge in ausgewählten Teilbereichen der beiden Richtungsröhren bei, die dafür sorgt, dass kaum Schallwellen, Schwingungen und Erschütterungen an die Umgebung übertragen werden. Die Tröge mit ihren seitlichen Stützwänden und der Sohle aus Stahlbeton dienen der Aufnahme des Schotterbettes sowie der Schwellen und Gleise. Die Herausforderung beim Bau der erschütterungsarmen Lagerung der Tröge: Die hochbelastbaren Lager können erst nach dem Betonieren der Gleiströge eingebaut werden. Dazu müssen die bis rund 250 Tonnen schweren Tröge hydraulisch angehoben werden. Eine Spezialaufgabe, bei der die thyssenkrupp Infrastructure GmbH ihre ganze Erfahrung und technisches Know-how ausspielen kann. Die Arbeiten an dem durch die Implema Construction GmbH im Auftrag von PROJEKT U5 durchgeführten Tunnelbauprojekt laufen gut. PROJEKT U5 ist die Projektrealisierungsgesellschaft der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG). Doch bis zur geplanten Fertigstellung im Jahr 2020 müssen noch so manche Tonnen Stahlbeton von thyssenkrupp Infrastructure „gestemmt“ werden. (thyssenkrupp infrastructure)

Gemeinsamer Dreh ganz großer Räder

Im Tunnelbau sind Superlative Standard, regelmäßig werden irgendwo auf der Welt neue Rekorde aufgestellt. Kilometerlange Röhren durch Bergmassive, tief unter dem Meer hindurch oder zentimeternah in Städten an bestehender Infrastruktur vorbei: Mensch und Maschine bohren sich überall erfolgreich durch. In den meisten Fällen sind dabei Tunnelbohrmaschinen (TBM) von Herrenknecht treibende Kraft – maßgeblich unterstützt durch hoch leistungsfähige Stähle von Dillinger. Denn ganz gleich, ob für leistungsfähige unterirdische Verkehrsadern oder Versorgungs- und Entsorgungssysteme: Wo Präzision Trumpf ist, müssen sich alle Beteiligten bedingungslos aufeinander verlassen können. Neben der Premiumqualität von Konstruktion, Technik und Produkten spielt das von der Planung bis zur Lieferung reibungslose Zusammenspiel eine entscheidende Rolle. Beispielhaft für sprichwörtlich bahnbrechende Projekte ist das über 15-jährige Miteinander des Weltmarktführers für maschinelle Vortriebstechnik, der Herrenknecht AG, und Europas führendem Hersteller für Grobbleche, Dillinger. (Dillinger9)

Schachtabdeckungssystem von KHK sorgt für schnellen und störungsfreien Einblick

Mit einem Gewicht von 100 Kilogramm ließ sich eine Reihenabdeckung in der Innsbrucker Innenstadt zur Kontrolle des Abwasserkanals nur mühselig heben: Die Straße musste teilweise gesperrt, ein Dreibein als Aushebevorrichtung eingesetzt werden. Um dies zu vermeiden und den Aufwand zu minimieren, entschied sich die Innsbrucker Kommunalbetriebe AG (IKB) im September

2018 für den Einsatz eines FibreIndustrial-Produkts des Unternehmens KHK-Kunststoffhandel, welches in Österreich durch die Grama GmbH aus Wolfsberg vertreten wird. Dank eines integrierten Innendeckels gelangen die Mitarbeiter nun schnell und unkompliziert an den darunterliegenden Schieber.

Tunnel Feuerbach: Injektionen im Anhydrit digital unter Kontrolle

Im Rahmen des Projekts Stuttgart 21 erstellt die Deutsche Bahn AG den zweiröhrigen Tunnel Feuerbach. Das Bauwerk durchörtert schwierige Gebirgsformationen des anhydritführenden Gipskeupers, der bei Wasserkontakt aufquellen und zu einer deutlichen Volumenzunahme führen kann. Dabei können erhebliche Quelldrücke entstehen. Schadhafte Folgen können am A2 Autobahntunnel am Belchen in der Schweiz besichtigt werden. Zur Vermeidung der Wasserzutritte sind im Tunnel Feuerbach rund 130.000 Injektionen mittels Acrylatgel und Polyurethanharz über ca. 65.000 Bohrungen auf einer Tunnellänge von knapp 3 km vorgesehen. Injektionsleistungen dieser Größenordnung – bis zu 600 Injektionen mit zehn simultan betriebenen Injektionspumpen täglich – erfordern die Automatisierung und Digitalisierung der Injektionstechnik. Milliarden Dateneinträge, deren Transfer, Vernetzung und Editierbarkeit erfordern modernste Technologien aus der Digitalisierung. Das neue digitale Injektionsdatenmanagementsystem überwacht die Injektionsprozesse in Echtzeit, lässt sich aktiv steuern und dokumentiert jedes Detail des Bauprozesses. Digitale Injektionsprotokolle mit Druck-, Durchfluss- und Mengenverläufen, Plan- und Projektdaten sowie detaillierte Tagesdokumentationen mit automatisierten Massenermittlungen bieten dem Auftraggeber eine qualitativ hochwertige Ergänzung zur Bauwerksdokumentation. Nicht wertschöpfende Prozesse werden eliminiert, volatile Projektbedingungen durch digitale Arbeitsanweisungen zentralisiert und direkt an die Injektionskolonne transferiert. Interaktive und georeferenzierte Visualisierungen für Soll-Ist-Betrachtungen sowie die automatische Ermittlung von Schlüsselindikatoren führen zur qualitativ hochwertigen und leistungsstarken Ausführung von Injektionsarbeiten. Die Schnittstellen zu Systemen wie ERP, RIB iTWO, GBPlan, und übergeordneten BIM-Systemen verschaffen maximale Transparenz. Die Renesco GmbH hat die Injektionstechnik und deren Digitalisierung auf neue Standards gehievt. Was früher den Ruf von „Pi mal Daumen“ hatte, wird nun umfassend automatisiert und digitalisiert gesteuert, hochauflösend dokumentiert und überwacht. So können qualitativ hochwertige Injektionsleistungen termingetreu übergeben werden – zur Freude des Auftraggebers. (Renesco).

Leichte Rohre für schwierigen Baugrund

Für sein westlich des Ortsteils Uttershausen gelegenes Deponiegelände in der nordhessischen Gemeinde Wabern hatte der Betreiber, die Abfallwirtschaft Lahn-Fulda (ALF), umfassende Pläne. Im Bereich eines ehemaligen Ballenlagers der Müllumschlagstation sollte ein neuer Schredder- und Lagerplatz für Grünabfälle aus privaten Haltungen und von Gewerbetreibenden entstehen, auch eine neue Lagerhalle sollte errichtet werden. Zudem sahen die von der agc – aqua geo consult GmbH, Kassel, entwickelten Pläne umfassende Tiefbauarbeiten in den Bereichen Straßen-, Leitungs- und Kanalbau vor. Für die Erstellung einer neuen Regenwasserkanalisation baute die mit der Ausführung der Arbeiten beauftragte Heinrich Rohde Straßenbau GmbH, Korbach-Meininghausen, auf einer Gesamtlänge von rund 550 m blaue HS®-Kanalrohre SN 12 der Funke Kunststoffe GmbH in Nennweiten von DN/OD 160 bis DN/OD 710 ein. Eine besondere Herausforderung stellte dabei der schwierige Bauuntergrund vor Ort dar, der zunächst eine Bodenverbesserung notwendig machte. (Funke Gruppe)

DSI Underground liefert breite Produktpalette für einen der höchsten Steinschüttdämme der Welt

Das Unternehmen Devoll Hydropower Sh.A, eine Tochtergesellschaft des norwegischen Unternehmens Statkraft AS, realisiert derzeit ein großes Wasserkraftprojekt in Albanien. Das Devoll-Wasserkraftprojekt befindet sich im Devoll-Tal, im südöstlichen Teil Albaniens. Sein Einzugsgebiet umfasst das Korçë-Plateau, den Mittellauf der Flüsse Devoll und Tomorricë sowie die Hügellandschaft von Gramsh bis Kozare. Zu dem Projekt gehören Entwicklung, Planung, Bau und Betrieb der zwei Wasserkraftwerke Banjë und Moglicë. Die beiden Wasserkraftwerke haben eine Gesamtkapazität von 256 MW, und werden zukünftig jährlich rund 705 GWh Strom produzieren. Die installierte Gesamtleistung des Banja-Werks beträgt 72 MW und die jährliche Stromerzeugung wird auf 255 GWh geschätzt. Der Stausee Banja fasst 178 Mio. m³ Wasser, seine Oberfläche beträgt rund 14 km². Das Moglicë-Wasserkraftwerk hat eine installierte Leistung von 184 MW. Es wird nach seiner Fertigstellung pro Jahr durchschnittlich 475 GWh Energie produzieren. Der zugehörige Stausee hat eine Kapazität von ca. 360 Mio. m³. Mit einer Höhe von 168 m, einer Länge von 320 m und einer Breite von 460 m wird der Steinschüttdamm mit einem Kern aus Asphalt einer der höchsten Dämme seiner Art weltweit sein. Die Arbeiten sind inzwischen abgeschlossen; im Juni 2019 begann der Betreiber mit dem Füllen des Speichers. Der Moglicë-Damm wird über einen 11 km langen Tunnel mit dem Kraftwerk verbunden. Für den Tunnelvortrieb lieferte DSI Underground Austria 5.000 m CT-Bolt Kombianker, 12.000 m verzinkte Gewi-Stäbe (Ø 25 mm), 60.000 m unverzinkte Dywi Drill Hohlstäbe (R32), 80.000 m doppelt beschichtete Dywi Drill Hohlstäbe (R38) und 120.000 m doppelt beschichtete SN-Anker (Ø 28 mm). Zur Hangsicherung im Bereich des Staudamms wurden 47 Dywidag-Stabanker (40 WR) installiert, die mit einer speziellen Versiegelung zum Einsatz unter Wasser bei einem Druck von bis zu 3 bar versehen sind. Die Stabanker wurden in Längen von 16,5 und 20,5 m geliefert und hatten eine Gesamtlänge von 880 m. Zusätzlich wurden vier Anker mit Dyna-Force-Sensoren ausgerüstet, die ferngesteuert ausgelesen werden können, um zukünftig eine verlässliche und genaue Überwachung der auf den Hang wirkenden Kräfte zu ermöglichen. DSI Underground führte auch die Spannarbeiten an den Ankern durch und vermietete das benötigte Equipment. (DSI underground)

Fachbeiträge:

Jacob Lengers

Zum Verhalten von Flüssigboden unter dynamischer Belastung

Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit dem Verhalten von Flüssigboden unter dynamischer Belastung. Im Fokus lag die Beständigkeit der bodenmechanischen Parameter gegenüber simulierten Schienenverkehrslasten wie sie für Sohlauflüngen unter Schienenverkehrswegen in Tunneln anzunehmen sind. Auf die Zielstellung und auf die beim Tunnelbau überwiegend vorkommenden Bodenarten angepasste Flüssigbodenrezepturen wurden entwickelt. Dynamisch belastete und nicht dynamisch belastete Probekörpern wurden hergestellt und nach einer 28 tägigen Lagerung hinsichtlich ihrer Kohäsion und ihres Reibungswinkels miteinander verglichen. Für die gewählten Randbedingungen konnte kein nachteiliger Einfluss der dynamischen Belastung auf die untersuchten Rezepturen festgestellt werden.

Ivo Kimmig, Theodoros Triantafylidis, Lukas Knittel

Experimentelle, analytische und numerische Untersuchungen zur Verdichtungsprognose von Sand bei der Rütteldruckverdichtung

Für die Errichtung von Bauwerken und Verkehrswegen auf gering tragfähigen, locker gelagerten nichtbindigen Böden wird häufig die Rütteldruckverdichtung (RDV) als Verfahren zur dynamischen Baugrundverbesserung mittels Tiefenrüttler eingesetzt. Dieses Verfahren eignet sich für eine große Bandbreite von Sand- und Kiesböden wobei der Boden bei geringem Materialbedarf bis in große Tiefen homogenisiert und verdichtet wird. Eine wirtschaftliche Anwendung des Verfahrens bedingt jedoch, dass der Rasterabstand zwischen den einzelnen Verdichtungspunkten optimal gewählt wird. Hierzu ist es erforderlich, die Verdichtung des umliegenden Bodens in Abhängigkeit des Abstandes zum Tiefenrüttler, der Frequenz und der Verdichtungsdauer auf Basis eines Anfangszustandes zu bestimmen. Dazu wird eine Vorgehensweise vorgeschlagen, bei welcher in einem ersten Schritt die plastischen Verformungen infolge von repräsentativen Bewegungszyklen des Tiefenrüttlers analytisch oder numerisch berechnet und daraus die totale mehrdimensionale Dehnungsamplitude "ampl" bestimmt wird. Der analytische Ansatz basiert dabei auf der Theorie der Wellenausbreitung in einem elastischen Medium und die zugehörigen Besselschen Differentialgleichungen werden mit Hankel-Funktionen gelöst. Alternativ dazu werden implizite, dynamische Finite-Elemente-Berechnungen mit einem dreidimensionalen Bodenmodell und Tiefenrüttler vorgestellt. Zusammen mit der Anfangsporenzahl e_0 dient die Dehnungsamplitude als Eingangsgröße für ein Akkumulationsmodell, mit welchem in einem zweiten Schritt die akkumulierte Dehnung "acc" nach einer bestimmten Anzahl von Zyklen entsprechend der Verdichtungsdauer prognostiziert wird. Die Grundlage für die Abschätzung der Verformungsakkumulation sind dränierte, zyklische Hohlzylinder-Triaxialversuche, bei welchen mehrdimensionale Dehnungsamplituden im Bereich "ampl" > 10 –3 durch eine Verdrehung der Fußplatte auf die Probe aufgebracht werden.

Lisa Wilfing, Conrad Boley, Marc Raithel, Martin Zimmerer, Martin Hierl, Jörg-Rainer Müller

Geotechnische Herausforderungen bei der Planung der Filstalbrücke als semiintegrales Bauwerk auf der Neu-baustrecke Wendlingen–Ulm

Für die Eisenbahn-Hochgeschwindigkeitsstrecke im Projektabschnitt „Albaufstieg“ des Großprojekts Stuttgart 21 wird die Filstalbrücke als semi-integrales Bauwerk ausgeführt, bei welchem die Pfeiler ohne Fugen und Lager kraftschlüssig mit dem Überbau gekoppelt werden. Der Entwurf sah flach gegründete Widerlager und Kombinierte Pfahl-Plattengründungen für die Pfeiler in den teilweise karstigen Jurakalken vor. Auf der Grundlage der konsequenten Ausweisung von Tragwerksreserven durch Anwendung hochwertiger numerischer Bemessungsmodelle in Verbindung mit der Durchführung von Pfahlprobebelastungen konnte die Gründung so optimiert werden, dass gegenüber dem ursprünglichen Entwurf ca. 50 % der Pfahlmeter eingespart werden konnten. Während der Bauausführung wurde im Bereich des Widerlagers komplexer und sehr heterogener Bau-grund angetroffen. Als Folge wurde eine Vielzahl an Vergütungsmaßnahmen geplant und ausgeführt.

Achim Hettler, Patrick Becker, Kurt Borchert, Steffen Kinzler

Bericht des Arbeitskreises Baugruben: Ausblick 6. Auflage EAB - Unterfangungen, Baugruben in weichen Böden, Kopfverformungen nicht gestützter Wände

Der Arbeitskreis „Baugruben“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik befasst sich im Rahmen der Vorbereitung der 6. Auflage der Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) mit der Überarbeitung und Ergänzung der vorliegenden 5. Auflage. In diesem Zuge wurden neue Empfehlungen für die Planung und Ausführung von Unterfangungen, eine vollständige redaktionelle Überarbeitung des Kapitels „Baugruben in weichen Böden“ sowie eine ergänzende Empfehlung für die Ermittlung von Kopfverformungen nicht gestützter Wände erarbeitet. Damit wurden aus Sicht des Arbeitskreises den Anforderungen aus der Praxis, der Anwendungsfreundlichkeit der Empfehlungen sowie dem Auftreten von Schadensfällen in der Bauausführung Rechnung getragen. Gegenstand des vorliegenden Aufsatzes ist der Abdruck der wesentlichen Textpassagen und überarbeiteten Empfehlungen mit der Bitte um Stellungnahme durch die Fachwelt.

Axel Wertenbroch

Verstärkungsmethode für aussteifende Mauerwerkswände in Erdbebengebieten

Zur Verbesserung des Tragverhaltens von aussteifenden Mauerwerkswänden unter Erdbebeneinwirkung wurde an der TU Dortmund eine neuartige Verstärkungsmethode entwickelt. Dünne textilbewehrte Betonelemente, die mittels mechanischer Verbindungsmittel an der Mauerwerkswand befestigt werden, führen zu einem Wandsystem, das nicht nur die Anforderungen an Integrität und Tragwiderstand erfüllt, sondern auch ein duktils Grenztragverhalten entwickelt. Nach der Vorstellung des Konzeptes und der Konstruktionsprinzipien werden anhand der Ergebnisse experimenteller und rechnerischer Untersuchungen die Kapazität sowie die Wirkungsweise dieses Verstärkungssystems detailliert vorgestellt. Besonders instruktiv sind dabei die Erdbebensimulationsversuche an geschosshohen Wänden mit dem direkten Vergleich zwischen unverstärkten und verstärkten Mauerwerkswänden. Nach der genaueren Beschreibung des Tragverhaltens und der Systemvoraussetzungen wird die Wirksamkeit des Verstärkungssystems für ein Gebäude mit aussteifenden Mauerwerkswänden mittels vergleichender Erdberechnung identifiziert.

Lisa Janissen, Michael Raupach, Rebecca Hartung-Mott

Extrusion faserverstärkter Textilbetone

Durch den hohen Schalungs- und Herstellungsaufwand konventioneller Herstellverfahren für Textilbetonbauteile, wie bspw. Gießen, Laminieren, Spritzen oder Schleudern, eignen sich diese Verfahren vorzugsweise für eine serielle Stückfertigung oder für Einzelanwendungen. Das Extrudieren hingegen weist das wirtschaftliche sowie technologische Potential auf, ohne zeit- und kostenintensive Schalungs- und Bewehrungsprozesse kontinuierlich komplexe und filigrane Bauelemente herzustellen. Derzeit wird das Extrusionsverfahren bereits erfolgreich in unterschiedlichen Branchen mit verschiedenen Materialien eingesetzt, um Produkte in verschiedensten Geometrien in hoher Stückzahl und Qualität zu fertigen. Auch in der Baubranche gewinnt das Extrusionsverfahren durch die fortschreitende Digitalisierung der Fertigungsverfahren, wie z. B. den 3D-Betondruck, immer mehr an Bedeutung. Durch den Einsatz von technischen Textilien können die Bauteile aus dem neuen Verbundwerkstoff dünnwandiger gestaltet und die Zugfestigkeit signifikant erhöht werden. Weiterhin können durch die Zugabe von Kurzfasern sowohl die Mikrorissbildung als auch die Festigkeitseigenschaften sowie die Duktilität auf Grund einer optimalen Ausrichtung der Fasern in Extrusionsrichtung gezielt positiv beeinflusst werden. Im folgenden Artikel werden die Anforderungen an eine extrudierbare Feinbetonmischung mit Kurzfasern näher erläutert und der Entwicklungsprozess einer geeigneten Textilizuführung in den Extrusionsprozess beschrieben.

Thorsten Weimar, Christian Hammer, Torsten Leutbecher, Kevin Metje,

Verbund in Glas-Hartschaum-Beton-Sandwichelementen Teil 1 – Experimentelle Untersuchungen zum Verbund zwischen Beton und Hartschaum

Der Verzicht auf mechanische Verbundmittel in Sandwichkonstruktionen des Betonfertigteilbaus erscheint für die Realisierung neuartiger Sandwichelemente wirtschaftlich interessant. Deshalb wurden im Rahmen der Entwicklung eines verbundmittelfreien Glas-Hartschaum-Beton-Sandwichelements Untersuchungen zum Verbundverhalten zwischen verschiedenen Hartschäumen und normalfestem Beton (NFB) sowie ultrahochfestem Beton (UHFB) durchgeführt. Das Verbundverhalten zwischen Glasvorsatzschale und Hartschaum ist in Teil 2 des Aufsatzes beschrieben. Die Ergebnisse der insgesamt 120 Haftzugversuche und 30 Scherversuche an Beton-Hartschaum-Verbundkörpern zeigen, dass durch Betonieren auf den Hartschaum Verbundfestigkeiten in technisch nutzbarer Größenordnung sicher erreicht werden können. Selbst für NFB liegt die Haftzugfestigkeit unabhängig vom Hartschaumtyp und dessen Oberflächentextur um 50 % höher als der für ein unverdübtes Wärmedämmverbundsystem geforderte Mindestwert. UHFB erzielt deutliche höhere Verbundfestigkeiten, was nach Auswertung lichtmikroskopischer Aufnahmen unter anderem auf eine bessere mikromechanische Verzahnung zurückgeführt wird. In einigen Fällen ist die Tragfähigkeit der Verbundkörper durch die Festigkeit des Hartschaums und nicht durch die Verbundfestigkeit der Fuge limitiert.

Thorsten Weimar, Christian Hammer, Torsten Leutbecher, Kevin Metje,

Verbund in Glas-Hartschaum-Beton-Sandwichelementen Teil 2 – Experimentelle Untersuchungen zum Verbund zwischen Glas und Hartschaum

Die in der Gebäudehülle verwendeten Sandwichelemente mit Glas als äußere Deckschicht erfordern bisher den Einsatz von mechanischen oder adhäsiven Verbundmitteln. Ein Verzicht auf diese Verbundmittel ist hinsichtlich Ressourcen- und Energieeinsparung sowohl bei der Herstellung als auch in der Anwendung vorteilhaft. Der vorliegende Aufsatz berichtet deshalb über experimentelle Untersuchungen zum Verbundverhalten zwischen Polyurethan-Hartschaum und verschiedene Oberflächen von Floatglas ohne und mit Haftvermittler im Rahmen der Entwicklung eines verbundmittelfreien Glas-Hartschaum-Beton-Sandwichelements. Die Ergebnisse aus Haftzug- und Scherversuchen zeigen, dass eine im Sandstrahlverfahren aufgeraute Glasoberfläche zu kohäsivem Versagen im Hartschaum führt. Mit den beiden herstellungsbedingt verschiedenen Glasoberflächen für die Atmosphären- und Zinnbadseite erfolgt das Versagen zwischen Hartschaum und Glas adhäsiv. Die Verbunde ohne Haftvermittler weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen Atmosphären- und Zinnbadseite auf. Insgesamt erzielen die Prüfkörper mit Haftvermittler höhere Werte für die Haftzug- und Scherfestigkeit. Aus Licht- und elektronenmikroskopischen Untersuchungen der Bruchflächen geht hervor, dass der verwendete Haftvermittler einen deutlichen Einfluss auf die Benetzbarkeit an der Glasoberfläche und die Porenbildung des flüssigen Polyurethan-Hartschaums aufweist

(Änderungen vorbehalten)