

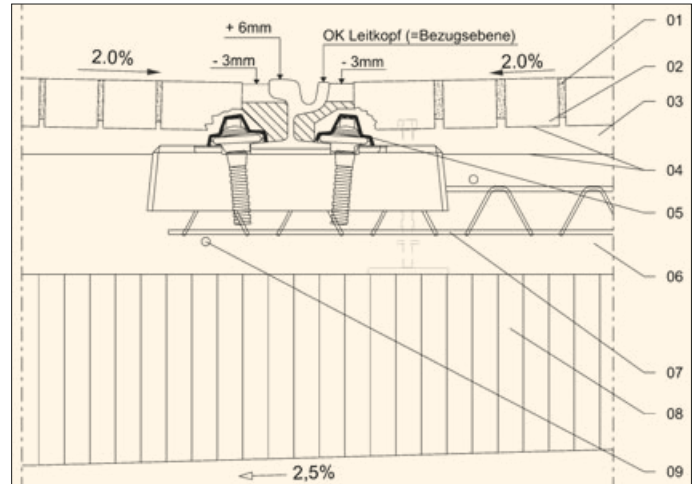
Vollgebundene Verkehrsflächenbefestigung mit Naturstein

Pflastermonolith: Qualitätssicherung bei der Planung und Ausführung

von Prof. Dr.-Ing. Klaus Jordan und Dipl.-Ing. (FH) Jörg Bitterlich, Dresden



1. Als Buswendeplatz und Zugangsbereich zu den Elbfähren gut geeignete Fläche in der Bauweise als Pflastermonolith
Aufnahme: DVB AG



2. Pflastermonolith auf Fester Fahrbahn Rheda-City, Bauart DVB AG mit Schienen Ri53-10 und K-W-Befestigung
Abbildung: DVB AG

1. Einleitung

Pflasterdecken aus Naturstein mit ungebundener Bettung und Verfugung erreichen bei geringer bis mittlerer Verkehrsbelastung eine sehr beträchtliche Nutzungsdauer bei moderaten Wartungsaufwendungen, denn die Maßnahmen der baulichen Unterhaltung (Maßnahmen kleineren Umfangs zum Substanzerhalt) können technisch einfach ausgeführt werden.

Wenn jedoch eine erhöhte Verkehrsbelastung zu erwarten ist, die zudem in einem eng begrenzten Bereich der Verkehrsfläche eingetragen wird und wenn dennoch z.B. aufgrund von städtebaulichen Anforderungen Natursteinpflaster gefordert ist, dann kann eine Ausführung dieser Pflasterdecke in einer gebundenen Bauweise nicht umgangen werden.

Für diese städtebauliche Verkehrssituation wurde die Bauweise der vollgebundenen Pflasterbefestigung (Pflastermonolith) entwickelt. Dabei handelt es sich nach den aktuellen Vorschriften und Regelungen für das Straßenwesen um eine Sonderbauweise. Deshalb sollte der Auftraggeber aus rechtlicher Sicht bei der Vorbereitung, der Planung, der Ausschreibung und der Vergabe dieser Bauweise besondere Anforderungen und Pflichten unbedingt beachten. In den folgenden Ausführungen wird auf einige Schwerpunkte eingegangen, die zur Sicherstellung einer qualifizierten und wirtschaftlichen Bauleistung von Bedeutung sind. Damit soll ein Auftraggeber für eine derartige Bauweise auf seine besondere Verantwortung hingewiesen werden, um letztlich die Leistung erfolgreich auszuführen.

2. Bestandteile des Pflastermonoliths

Für die Oberbauform ist der Schichtenaufbau, der in der Abbildung 2 dargestellt ist, üblich.

2.1. Tragkonstruktion der Festen Fahrbahn

Aus der Abbildung 2 geht hervor, dass es sich bei der Regelausführung des Pflastermonoliths um eine Verkehrsflächenbefestigung im Gleisbereich handelt, bei der die Pflasterdecke auf eine Betonschicht (Abb. 2/06) der Festen Fahrbahn für die Straßenbahn aufgebaut wird, womit unter Be-

achtung der notwendigen Frostschutz- bzw. Tragschicht ohne Bindemittel (Abb. 2/08) ein frostsicherer Oberbau nach RStO (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen) ausgeführt wird.

Die Betonschicht (Feste Fahrbahn) wird vor Ort durch das Ausbetonieren der Schwellenfächer zwischen den mit einer Querbewehrung (Abb. 2/07) verbundenen Köpfen der Zweiblockschwellen in einer mittleren Schichtdicke von 22,5 cm ausgeführt. Verwendet wird ein Beton der Druckfestigkeitsklasse C35/45 mit den Expositionsklassen XC4, XD1, XF2, einer Konsistenzklasse F3, einer Feuchtigkeitsklasse WA und einem Größtkorn von 16 mm. Weiterhin ist eine Frühfestigkeit von $\geq 18 \text{ N/mm}^2$ nach 24 Stunden gefordert, um eine zügige Überbaubarkeit zu ermöglichen und damit den Randumständen des innerstädtischen Bauens mit kurzen Sperrzeiten zu entsprechen. Auf der ungebundenen Tragschicht ohne Bindemittel wird ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 150 \text{ N/mm}^2$ bzw. $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$ und auf dem Planum ein Verformungsmodul $E_{v2} \geq 45 \text{ N/mm}^2$ verlangt.

Wie dem Regelquerschnitt ferner zu entnehmen ist, werden in die Betonschicht der Festen Fahrbahn im Bereich der Schwellenköpfe Längsbewehrungen (Abb. 2/09) aus je zwei Stäben mit dem Durchmesser 16 mm eingebaut. Die Tragkonstruktion für die Straßenbahn bildet auch den Unterbau für die Pflasterdecke. Somit liegt für die Pflasterdecke ein starrer Unterbau mit hoher Tragfähigkeit vor. Die Herstellung des Systems der einbetonierten Zweiblockschwellen in der Betonschicht erfolgt grundsätzlich ohne Fugen oder Kerben, Arbeitsfugen (Pressfugen) ausgenommen. Diese Tragkonstruktion ist unter dem Aspekt der Wasserdurchlässigkeit als dicht zu betrachten.

Auf die Qualitätssicherungsmaßnahmen für den Teil der Befestigung wird im Rahmen der folgenden Darlegungen nicht eingegangen. Von Bedeutung sind jedoch zusätzliche Maßnahmen im Zusammenhang mit der Ausführung der vollgebundenen Pflasterdecke. Üblicherweise besteht die Pflasterdecke aus der Bettungsschicht (Abb. 2/03) und dem Pflaster, unter Beachtung von speziellen Filterkriterien zur Tragschicht ohne Bindemittel. Hier ist jedoch die Grenzschicht zwischen der Betonschicht (Abb. 2/04) und Bettungsschicht wegen des erforderlichen Schichtverbundes von besonderer Bedeutung.

2.2. Haftgrund

Bereits der Betoneinbau und die Nachbehandlung der Betonschicht werden nach einem vorgegebenen Arbeitsprogramm überwacht und dokumentiert. Die Betonoberfläche muss dann für den Einbau des Pflastermonoliths noch speziell vorbereitet werden.

Dazu wird die Oberfläche (Abb. 2/04) gestrahlt und abschließend gründlich gereinigt. Diese Leistungen hat der Auftragnehmer (AN) für die Verlegung der Pflasterdecke auszuführen. Er hat somit dafür zu sorgen, dass die losen und hafthemmenden Teile, wie z.B. Zementschlämme, Verunreinigungen, Reste von Nachbehandlungsmitteln usw. durch Strahlen mit festen Strahlmitteln (Granulat-, Kugel-, Hochdruckwasserstrahlen mit festen Strahlmitteln o.ä.) bis zum tragfähigen Korngerüst abgetragen werden. Sich dabei zeigende Kiesnester sind unzulässig. Sie sind durch den Auftragnehmer zu sanieren, der den Betoneinbau besorgte. Hierzu ist dem Auftraggeber (AG) im Vorfeld ein Sanierungskonzept zur Zustimmung vorzulegen. Die Sanierung erfolgt nach den Vorgaben der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) und muss im fertigen Zustand die gleichen Anforderungen an den Untergrund erfüllen wie die übrigen Flächen. Nach der Erledigung der vorbereitenden Leistungen ist durch geeignete Maßnahmen (z.B. Abdecken mit Planen) eine erneute Verschmutzung zu verhindern.

Die Einhaltung der erforderlichen Haftzugfestigkeit zum Untergrund wird durch Haftzugprüfungen in Anlehnung an ZTV-ING nachgewiesen und dokumentiert.

Der Haftgrund wird in Form einer mineralischen kunststoffmodifizierten Schlämme (Abb. 2/04) mit einem harten Besen oder Quast auf die vorbereitete und angefeuchtete Oberfläche der Betonschicht der Festen Fahrbahn gleichmäßig deckend aufgebracht und eingebürstet. Bei der z.Z. üblichen Baudurchführung wird der Haftgrund im Zuge des Pflasterfortschritts aufgetragen. Dadurch ist jeweils nur das Aufbringen eines kleinen Streifens möglich, da anschließend der Bettungskleber unbedingt auf den frischen Haftgrund aufgebracht werden muss.

Die erreichbare hohe Haftzugfestigkeit mittels Haftgrund wurde bei einem Rückbauabschnitt unfreiwillig „getestet“. Bei diesem Rückbau trat überwiegend ein Kohäsionsbruch im Beton auf.

Das hauptsächliche Problem besteht somit darin, dass nicht in den frischen Haftgrund getreten werden darf.

2.3. Bettungskleber

Diese Schicht (Abb. 2/03) hat wesentliche konstruktive Aufgaben innerhalb des Pflastermonoliths zu erfüllen. Die Gesamtdicke des Pflastermonoliths liegt je nach verwendetem Pflasterformat und vorhandenem Schienenprofil zwischen 36 und 44 cm. Darauf beruht die sehr hohe Gesamttragfähigkeit.

In dem massiven Befestigungsaufbau können beachtliche Temperaturunterschiede auftreten und infolge der Behinderung von Schwind- bzw. Dehnungsvorgängen können sich Spannungen im Befestigungsaufbau herausbilden. Der Bettungskleber (Abb. 2/03) muss somit nicht nur den Steinen einen festen und dauerhaften Halt zur Aufnahme der Verkehrskräfte geben, sondern auch durch den Schichtverbund dazu beitragen, dass es bei derartigen Spannungen z.B. weder zum Abscheren an der Tragplatte oder an der Steinsohle kommt. Deshalb ist für die gebundene Bettung ein spezieller Bettungskleber nötig.

Infolge der Bauart wird im fertigen Zustand keine homogene Bettungsschicht erreicht. Die Schicht weist nach dem Setzen der Steine eine inhomogene Dichte auf. Bedingt durch das herzustellende Querprofil und die Maßhaltigkeit der Pflastersteine aus Naturstein schwankt auch die Dicke der Bettungsschicht, z.B. bei Großpflaster zwischen 3 bis 6 cm. Die Inhomogenität entsteht u.a. dadurch, dass der in loser Lagerungsdichte verteilte Bettungskleber nur durch das energische Setzen der Steine direkt unter dem Stein verdichtet wird. Dabei steigt wiederum im Fugenraum zwischen den Steinen (siehe Abb. 2/01 und Abb. 6) ein Teil des Bettungsklebers auf. Das Material unter dem Stein kann so eine hohe Raumdichte und demzufolge auch eine hohe materialadäquate Festigkeit aufweisen.

Im Fugenbereich ist der Bettungskleber i.d.R. deutlich poröser. Dadurch liegt in diesem Bereich auch eine geringere Festigkeit vor. Doch gerade das Vorhandensein von aufgestiegenem Bettungskleber (ca. 2 bis 3 cm) ist ein Nachweis für das fachgerechte Setzen der Steine bei dieser Art der Ausführung. Vor Verlegung des Pflasters aus Naturstein sind die Bereiche um die Schienenbefestigungsmittel und die Befestigungsmittel selbst

mittels zweikomponentiger kunststoffmodifizierter Bitumen-Dickbeschichtung satt zu beschichten. Dies gewährleistet, dass die Spannklemmen ihrer Aufgabe gerecht werden und sich bewegen können, während das Pflaster im Verbund darüber fest verankert ist und die Kräfte aus dem überrollenden Rad aufnehmen kann.

2.4. Pflastersteine aus Naturstein

Wenn die Ausführung der Pflasterarbeiten in dem geometrisch definierten Gleisbereich erfolgt, kommt der Einhaltung der vorgegebenen Abmessungen der Steine erhebliche Bedeutung zu. Da die wirtschaftlichen Aufwendungen bei Nacharbeiten erheblich und nur geringe Korrekturen möglich sind, müssen die Abmessungen vertraglich genau vereinbart und eingehalten werden. Ferner erfolgt die Ausführung derartiger Flächen i.d.R. an exponierten Stellen des Stadtgebietes, wo das Pflasterbild passen muss. Deshalb müssen die Steine i.d.R. nicht nur normgerecht sein, sondern den ausgeschriebenen ergänzenden Vorgaben entsprechen.

Mit dem Steinlieferanten sind klare Vorgaben bei der Ausschreibung zu vereinbaren. Das kann die Auswahl von Lieferanten leider begrenzen, ist aber entscheidend für die Ausführung einer qualitativ hochwertigen und dauerhaften Konstruktion. Daraus ergibt sich, dass es bei größeren Objekten sehr geraten ist, eine Musterlieferung zu ordern. Dadurch liegt dann eine Referenzprobe vor, anhand derer spätere Meinungsverschiedenheiten abgeklärt werden können. Steinformate, zulässiges Farbspektrum und Toleranzen können so auch mit anderen am Projekt beteiligten Partnern (Denkmalschutz, Stadtgestaltung etc.) abgeglichen werden.

Die Auswertung verschiedener Baustellen hat ergeben, dass z.B. Lieferungen auftreten können, die ausnahmslos aus Steinen bestehen, die positive Toleranzüberschreitung aufweisen.

2.5. Gebundene Verfugung

Im Bereich der Oberfläche der Pflasterdecke spielen die Fugen (Abb. 2/01) und ihre Ausfüllung bezüglich des optischen Erscheinungsbildes eine wichtige Rolle. Deshalb wird bei der Planung und Bauausführung stets auf die Einhaltung einer einwandfreien Fugengeometrie zu achten sein.

Für die spätere Nutzung liegt in diesem Bereich auch das „schwächste Glied“ vor. Die Materialeigenschaften werden nur erreicht, wenn sowohl das Anfeuchten der Pflastersteine vor dem Einbringen, das Anmischen mit dem optimalen Wassergehalt, vor allem aber auch das Verteilen und bewusste Einbringen des Materials sorgfältig erfolgt. Dabei wird es als vorteilhaft angesehen, wenn sich beim Verteilen stets ein Materialwall vor der Verteilerleiste befindet, der möglichst noch gegen das Gefälle der Verkehrsfläche geschoben wird.

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich auf einen speziellen hydraulisch gebundenen Fugenmörtel.

In Vergleichen mit anderen auf dem Markt befindlichen Materialien weist der für den Pflastermonolith eingesetzte Fugenkleber eine hohe Druckfestigkeit auf. Untersuchungen zu den Materialkennwerten Schwinden und E-modul erbrachten aber die überraschende Feststellung, dass beim Abbinden unter fachgerechter Nachbehandlung die Schwindmaße in mm/m kleiner bestimmt wurden als bei Mitbewerberprodukten mit geringerer Festigkeit, so dass letztlich trotz des höheren E-moduls die aus behindertem Schwinden induzierten Spannungen geringer sind.

Im Labor getestete Einbringverfahren z.B. durch Rütteln des eingebrachten Mörtels in der Fuge erbrachten keine signifikanten Unterschiede in den Haftzugfestigkeiten.

3. Spezielle Maßnahmen zur Qualitätssicherung

3.1. Maßnahmen bei der Ausschreibung

Da die beschriebene Bauform mit Pflastersteinen aus Naturstein als Sonderbauweise hergestellt wird, sind u.a. genaue Angaben zu den einzuhaltenden Normen erforderlich. Grundlage für die Anforderungen an den zu liefernden Naturwerkstein sind die DIN EN 1342:2012 (März 2013) bzw. die darin berücksichtigten, weiterführenden Normen. Weiterhin sind die Anforderungen auf der Grundlage der TL Pflaster-StB 06 Ausgabe 2006, Fassung 2015 (einschließlich aller relevanten Korrekturen) zu berücksichtigen. Die in diesen Normen etc. genannten zulässigen Abweichungen werden je nach Anforderung verschärft festgelegt. Auch das Anforderungsprofil an das gewünschte Pflaster sollte möglichst detailliert beschrieben werden, insbesondere dann, wenn auch gestalterische (denkmalschutzrechtliche etc.) Punkte eine Rolle spielen. Es empfiehlt sich ein Hinweis darauf, dass

die durch den Auftragnehmer zu liefernden Pflastersteine aus Naturstein in Erscheinungsbild, Farbe, Herstellung (insbesondere Bearbeitung), Maßhaltigkeit und Qualität dem zur Ausführung vorgesehenen Pflaster aus Naturstein entsprechen müssen und dass die in den Ausschreibungsunterlagen beschriebene Gesteinsvarietät mit den aufgeführten technisch-physikalischen und mineralogisch-petrographischen Mindestanforderungen und spezifischem Erscheinungsbild anzubieten ist. Hierzu sollte auch ein entsprechendes Referenzmuster bei der Ausschreibungsstelle hinterlegt werden, das in Augenschein genommen werden kann.

Da für Pflastersteine aus Naturstein i.d.R. relativ lange Lieferzeiten bestehen, muss in den Ausschreibungsunterlagen auch vorgegeben werden, dass der Auftragnehmer für ausreichende Lieferkapazitäten zu sorgen und durch geeignete Maßnahmen eine termingerechte Fertigstellung sicherzustellen hat. Der Auftraggeber kann sich hier das Recht vorbehalten, mangelhafte Materialien zurückzuweisen und hierfür Ersatz zu verlangen. Das Recht auf Kontrollprüfungen am durch den Auftragnehmer gelieferten Pflaster aus Naturstein im Beisein des Auftragnehmers sollte fixiert werden, um bei Ausführungsproblemen möglichst einvernehmlich Kennwerte erzielen zu können. Es hat sich bewährt, nach vorheriger Terminvereinbarung eine repräsentative und normgerechte Probe zu entnehmen und nach den zuvor festgelegten Kriterien zu untersuchen. Vereinbart werden sollte hierbei, dass die Prüfergebnisse die Mittelwerte aus der Erstprüfung nicht unter-, bzw. überschreiten dürfen. Letztendlich sollte auch darauf hingewiesen werden, dass der Auftragnehmer für sämtliche Folge-/Mehrkosten aufkommt, sofern er dies durch Lieferschwierigkeiten oder durch qualitativ mangelhafte Pflastersteine aus Naturstein zu verantworten hat.

Um alle genannten Punkte ordnungsgemäß darlegen und vereinbaren zu können, ist eine technische Beschreibung als Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen unumgänglich. Alle im Verlauf dieser technischen Beschreibung benannten Prüfzeugnisse und Dokumentationsunterlagen sind dem Auftraggeber geordnet und eindeutig bezeichnet in Papierform und digital zu übergeben. Eine Fotodokumentation der technologischen Schritte und der durchgeführten Prüfungen sollte Bestandteil einer durch den Auftragnehmer vorzunehmenden Dokumentation sein.

3.2. Qualitätssicherung der Baustoffe: Pflastersteine aus Naturstein

Vor der Ausschreibung sollte Klarheit beim AG über die Beschreibung und Benennung der geforderten Pflastersteine bestehen. Danach hat sich die Beschaffung von Mustersteinen aus verschiedenen Gründen als sehr vorteilhaft erwiesen. Bei Bauvorhaben, bei denen auch eine Abstimmung mit anderen Behörden erforderlich ist, wird empfohlen, bereits in der Planungsphase eine Musterfläche anzulegen und diese gemeinsam in Augenschein zu nehmen.

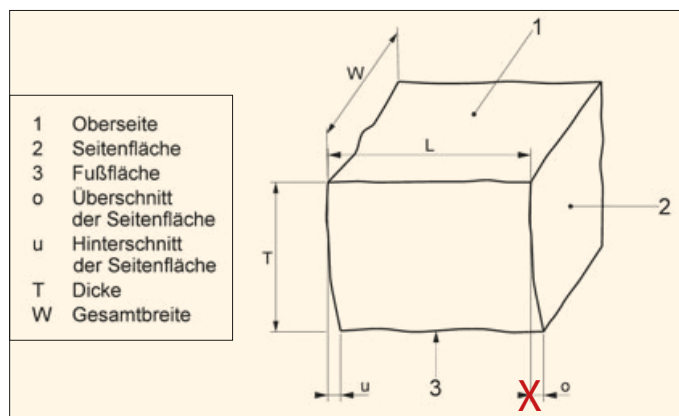
Von den vorgesehenen Pflastersteinen aus Naturstein sind Prüfberichte anzufordern und auszuwerten. Sollten dabei einzelne Kennwerte als grenzwertig und/oder widersprüchlich auffallen, ist das beim Lieferer anzuzeigen und um ergänzende Prüfungen nachzusuchen. In dringenden Fällen sollte der AG auch selbst tätig werden.

Die Einhaltung der ausgeschriebenen Steinabmessungen (Abb. 3) kann vorteilhaft an den Steinen für die Musterfläche überprüft werden. Zu diesem Termin ist der Lieferant einzuladen. Bereits zum Ausschreibungszeitpunkt sind die Prüfungen zur Kontrolle z.B. der Maßhaltigkeit und ein Zeitpunkt der Ausführung dieser Prüfungen vorzusehen. Dies kann dahingehend erfolgen, dass die Prüfung der Maßhaltigkeit nach den Vorgaben der DIN EN 1342:2012 (März 2013)/DIN EN 13373:2003 erfolgt, in Ergänzung dazu ist allerdings festzuhalten, dass schiefe und verdrehte Steine sowie ein Überschnitt der Seitenflächen (Abb. 3, o) nicht zulässig sind.

Auch der Höchstwert der Summe der Unterschnitte (Abb. 3, u) zweier gegenüberliegender Seiten sollte mit ≤ 30 mm eingeengt werden. Die Praxis hat gezeigt, dass dies fertigungstechnisch durchaus möglich ist. Als vorteilhaft hat sich auch die Kubusprüfung (Abb. 4) erwiesen, eine simple aber effektive Möglichkeit der Steinüberprüfung. Im Zuge der Herstellung bzw. zum Vorsortieren auf der Baustelle können dadurch die Pflastersteine aus Naturstein auf ihre Maßhaltigkeit untersucht und nicht maßhaltige Pflastersteine aussortiert werden.

Es wird empfohlen, eine entsprechende Anzahl an Lehren passender Größe durch den AN zu fertigen und durch den AG freigeben zu lassen. Die Lehren sind durchnummerieren. Der Auftraggeber erhält von den gefertigten Lehren zwei Stück für Kontrollprüfungen.

Als günstig hat es sich erwiesen, mit der Ausführung der Musterfläche ein Unternehmen mit praktischen Erfahrungen in dieser Bauweise zu be-



3. Darstellung Hinterschnitt und Überschnitt

Abbildung: DVB AG



4. Lehre für die Kubusprüfung

Aufnahme: DVB AG

auftragen. An der Herstellung der Musterfläche sollten alle am späteren Bauvorhaben Beteiligten teilnehmen. Die Herstellung einer ordnungsgemäßen Musterfläche ist Voraussetzung für die Zustimmung des Auftraggebers zum Einbau der ausgeschriebenen Pflasterdecke durch das vom Auftragnehmer vorgesehene Personal, das entsprechende Material und die notwendigen Arbeitsmittel.

Der beschriebene Vorgang ist zeitaufwendig. Die Vorauswahl muss deshalb rechtzeitig erfolgen. Als vorteilhaft hat sich auch erwiesen, den Bieter ein Warenrückverfolgungssystem zum Nachweis der Herkunft führen zu lassen.

3.3. Qualitätssicherung der Baustoffe: Haftgrund, Bettungs- und Fugenkleber

Sollte eine der genannten Materialien erstmalig vorgesehen werden, sind Referenzen heranzuziehen. Weil es sich bei der Bauweise Pflastermonolith um eine Sonderbauweise handelt, sind auch für diese Baustoffe ausgewählte Prüfungen in einer Baustoffprüfstelle unbedingt vorzusehen.

Dabei geht es u.a. um die Beurteilung der Anmischwassergerichte, der Festigkeiten der genannten Baustoffe, um die erreichbaren Haftzugfestigkeiten am jeweils vorgesehenen Natursteinpflaster, um die Verarbeitung bzw. deren Grenzbedingungen und die Nachbehandlung. Damit wird sichergestellt, dass die einzelnen Materialien und die Stein-Kleber-Kombinationen grundsätzlich geeignet sind.

Bei den Anwendungen, die in der Vergangenheit erfolgten, waren z.B. vorhergehende Haftzugfestigkeitsprüfungen die Regel. Durch diese Prüfungen im Vorfeld wurde jeweils nachgewiesen, dass mit den ausgeschriebenen Baustoffkombinationen die Anforderungen bei fachgerechter Aus-

führung erreicht werden können. Das hat bei der Durchsetzung von Vorgaben für die Art der Bauausführung eine wichtige Bedeutung.

Aufgrund vorliegender Erfahrungen kann u.a. gesagt werden, dass bei der Verarbeitung die Vorgaben in den Technischen Merkblättern nicht nur beachtet, sondern auch je nach Baustoffkombination und Witterungsbedingungen unbedingt individuell angepasst werden müssen. So ist z.B. darauf zu achten, dass der Bettungskleber sowohl für das Setzen des Pflasters als auch für seine Verdichtbarkeit eine jeweils vorteilhafte Konsistenz aufweist. In der praktischen Arbeit sind das klar konkurrierende Materialkennwerte. Dort befindet sich auch regelmäßig ein Schwerpunkt für die Bauüberwachung.

Auf die frisch aufgetragene Haftbrücke ist der Bettungskleber gleichmäßig unter Einsatz einer auf den Schienen geführten Lehre in lockerer Lagerungsdichte für den unmittelbaren Arbeitsbereich abzugeben. Die Abziehhöhe ist so festzulegen, dass jeder Stein nur mit mehreren kräftigen Schlägen auf seine Endhöhe gesetzt werden kann. Die Einhaltung von Sollhöhen und Gefällen ist an den Schienen zu überprüfen. Wegen des Endercheinungsbildes der Randbereiche und der Abstellung des Raumes für die spätere elastische Verfübung längs der Schienen, sind dort nur Steine mit geraden Kanten in exakter Ausrichtung zu versetzen. Die frisch gesetzte Fläche ist zum Schutz vor Witterungseinflüssen unbedingt abzudecken.

Um eine kontinuierliche Tagesleistung beim Pflastern zu sichern, hat sich das Arbeiten unter mobilen Zelten bewährt, weil dadurch nicht nur von unerwarteten Niederschlägen keine Gefahr droht, sondern auch ein Schutz der frischen Fläche vor direkter Sonnenbestrahlung vorliegt. Auch beim Einbringen des Fugenklebers ist diese Schutzmaßnahme vorteilhaft. Dadurch werden die Steine nicht durch direkte Sonnenbestrahlung unzulässig aufgeheizt, ein sehr kurzzeitiges Abbinden wird vermieden und unerwarteter Niederschlag stellt keine Gefahr dar.

Oftmals wurde festgestellt, dass mit der Reinigung der Steinoberflächen zu kurzzeitig nach dem Ausbringen begonnen wird. Wenn diese Arbeit ferner mit sehr reichlichem Wassereintrag erfolgt, wird fachlich grob mangelhaft gearbeitet, weil infolge des drastischen Anstiegs des W-Z-Wertes die Festigkeit abfällt und das Schwinden sich vergrößert, was als negative Folgen benannt werden kann.

Dem Argument, dass man zeitig nach dem Aufbringen mit der Reinigung anfangen müsse, um den Abtrag bei nötiger Flächenleistung sauber ausführen zu können, muss mit dem Hinweis begegnet werden, dass zum Abtrag genügend Waschgeräte vorhanden sind und auch die Pflasterer zeitweise mit anpacken müssen.

Von herausragender Bedeutung für die Qualität bzw. die Dauerhaftigkeit der Verfübung ist eine fachgerechte Nachbehandlung. Diese muss unbedingt über ca. 120 Stunden so erfolgen, dass z.B. mittels einer Vlies/Folien-Kombination die Oberfläche ständig feucht gehalten wird. Damit wird das Schwindmaß erheblich beeinflusst. Durch Längenänderungsprüfungen (Dehnungsmessung) wurde u.a. ermittelt, dass einzelne auf dem Markt befindliche Produkte ein sehr unterschiedliches Verhalten aufweisen.

Verglichen wurden Probekörper aus drei Produkten, von denen ein Teil (Lagerung a) unmittelbar nach der Herstellung im geschlossenen Behälter bei ca. 95 % relativer Luftfeuchte und der andere Teil (Lagerung b) ab 48 Stunden unter Labornormalklima gelagert wurden. Gemessen wurde nach 1, 3, 7, 14 und 28 Tagen.

Vergleicht man die 28-Tage-Werte, ergeben sich zwischen den drei Produkten nach a) folgende Werte: 1: 0,08 mm, 2: 0,22 mm und 3: 0,28 mm. Produkt 1 und 3 unterscheiden sich bei vorteilhafter Lagerung um den Faktor 3,5! Bei der Lagerung b) zeigen sich folgende Werte für die drei Produkte: 1: 0,36 mm, 2: 0,84 mm und 3: 0,51 mm.

Als Aussage für das Produkt 1 ergibt sich: bei unsachgemäßer Nachbehandlung unterscheidet sich das Schwinden um mehr als das Vierfache! Somit ist ein sorgfältiges Nachbehandeln nötig. Das kleine Schwindmaß ist aber auch deshalb von erheblicher Bedeutung, weil dadurch die Spannungen in der Pflasterdecke insgesamt beeinflusst werden.

Nach den Untersuchungen wies das Verfübungsmaterial, bei dem das Schwindmaß von 0,08 mm/m gemessen wurde, einen E-modul von ca. 29.000 N/mm² auf. Daraus ergibt sich eine Schwindspannung von 2,32 N/mm². Das Verfübungsmaterial mit dem Schwindwert von 0,28 mm/m wies einen E-modul von ca. 20.000 N/mm² auf, was eine Schwindspannung von 5,6 N/mm² ergibt.

Diese Betrachtung belegt die erhebliche Bedeutung der Nachbehandlung und deren Folgen auf den möglichen Spannungsaufbau. Sie zeigt aber auch, dass allein ein E-modul z.B. unter 20.000 N/mm² keine Gewähr

für günstige Spannungsverhältnisse ist. Wesentliche Einflussfaktoren sind in diesem Zusammenhang die Anmischwassermenge und eine Reinigung der Steine bei geringstem Wassereintrag.

3.4. Ergänzende Hinweise zur Ausführung

Mit dem letztlich beauftragten Unternehmer ist umgehend nach der Zuschlagserteilung die Ausführung einer Musterfläche vorzusehen. Bei Aufträgen im Gleisbereich reichen dafür vier bis fünf Zeilen. Bei dieser Leistung sind die bereits angelieferten Steine in Augenschein zu nehmen und bezüglich der Einhaltung der geometrischen Abmessungen in unterschiedlichen Verpackungseinheiten durch Ausmessen zu kontrollieren. Das Ergebnis ist zu protokollieren.

Die Musterfläche ist unbedingt von den Arbeitskräften auszuführen, die für die Baumaßnahme vorgesehen sind. Bei der Herstellung sind die gleichen Bedingungen zu beachten und einzuhalten, wie für die Ausführung auf der Baustelle. Für das Anmischen des Materials sind die gleiche Mischtechnik und dasselbe Bedienpersonal beizustellen, wie für den späteren Baustelleneinsatz geplant. Je nach Vorkenntnis dieser Mitarbeiter sind bei diesem Termin entsprechende Hinweise durch den AG oder dessen Bauüberwacher (BÜ) zu geben. Diese Unterweisung ist zu protokollieren.

Aber nicht nur die Arbeitskräfte sind entsprechend einzuweisen. Es geht bei diesem Termin auch um die Überprüfung der vorgesehenen Geräte und Ausrüstungen (Arbeitsgeräte der Pflasterer, Zwangsmischer, Wasserdosiereinrichtung, Reinigungsgeräte, Stoppuhr, Abziehlehren, Protokollführung usw.).

Bei diesem Termin soll der AG auf die speziellen Anforderungen hinweisen, aber auch die richtigen Abmessungen der Abziehlehren für die Bettungsschicht und zur Kontrolle der Pflasteroberfläche sind zu überprüfen. Ferner ist u.a. zu vereinbaren, wie vorzugehen ist, wenn z.B. Probleme mit der festgelegten Anmachwassermenge auftreten. Nach den vorliegenden Erfahrungen kann die zur Erzielung einer vorteilhaften Konsistenz nötige Wassermenge erheblich variieren, was von möglichen Variationen in der Materialzusammensetzung und/oder von Witterungseinflüssen abhängt. Deshalb sind die Grenzwerte zu vereinbaren, innerhalb derer eigenmächtig auf der Baustelle Veränderungen erfolgen können. Ergänzend dazu ist aber klar mit dem BÜ festzulegen, wie zu verfahren ist, wenn diese Veränderungsgrenzen nicht ausreichend sind.

Auf der Baustelle ist ein Protokoll mit den Angaben: Tageszeit, ungefähre Lufttemperatur, verarbeitete Chargennummer und jeweilige Anmachwassermenge zu führen. Diese Leistungen sind vom BÜ während der Ausführung zu überwachen.

Das Anmischen und Einbringen von Fugenkleber soll ebenfalls Bestandteil der Ausführung der Musterfläche sein. Dabei ist das Anmischen, Einbringen und Verteilen in Augenschein zu nehmen. Neben mindestens einem maschinellen Reinigungsgerät mit einem Ersatzschwamm sollten mehrere manuelle Geräte vorhanden sein. Ebenfalls muss das Mischgerät für den Fugenkleber – wie auch der Mischer für den Bettungskleber – beim Vortermin vorhanden sein.

Bei der späteren Ausführung auf der Baustelle sind folgende Details zu überwachen bzw. zu dokumentieren:

- Tägliche Pflasterleistung, bei mehreren Pflasterern individuelle Zuordnung mit Eintrag in den Lageplan.
- Tägliche persönliche Ortsfeststellungen mit z.B. Anmischkontrolle, Fugengeometrie, Oberflächenneigungen, Bettungsmaterialkonsistenz, Auswertung der Dokumentation beim Mischen, Inaugenscheinnahme des Einbaus von Haftbrücke und Bettungskleber, Setzqualität mit einzelner Aufnahme von Steinen, Mischen des Fugenklebers und das Materialverteilen, Reinigung der Steinoberflächen und Nachbehandlung.

4. Prüfungen zur Erfassung der vertragsgerechten Ausführung der Pflasterdecke und deren Bewertung

Weil die Bauweise Pflastermonolith eine Sonderbauweise darstellt, dienen Prüfungen dem Bauherrn auch dazu, seine Umsicht für eine qualitativ einwandfreie Ausführung der Sonderbauweise zu belegen. Wenn die folgenden Prüfungen bzw. die Bewertung der Ergebnisse bei der Abnahme oder sonstigen Überwachung angewandt werden sollen, sind sie vor Vertragsabschluss zu vereinbaren. Sie ergänzen dann Vorgaben und sonstige technische Regelungen in bestehenden Arbeitspapieren und/oder weiteren Regelungen. Bei den Prüfungen geht es z.B. um folgende Feststellungen:



5. Gerät zum Aufbringen und Erfassen der Abreißkraft

Aufnahme: DVB AG



6. Bohrkern Pflastermonolith

Aufnahme: DVB AG

- Ausfüllungsgrad und Homogenität von Fugenverfüllungen
- Aufstiegshöhe von Bettungskleber in der Fuge
- Haftzugfestigkeit im Bereich der Steinsohle
- Art der Bruchfläche bzw. Bruchart an der Steinsohle
- Lagerungsdichtezustand des Bettungsklebers unter der Steinsohle

Die vorstehend genannten Kennwerte können mit einem Prüfverfahren bestimmt werden, bei dem je ein Bohrkern entnommen und geprüft wird. Im Gegensatz zum Asphaltstraßenbau wird hier bereits bei der Kernentnahme ein wichtiger Kennwert ermittelt. Nach den vorliegenden Erfahrungen kann diese Prüfung gut und zuverlässig an einem Bohrkern von ca. 125 mm Durchmesser, einem Bolzenanker FAZ II und einer hydraulischen Krafteintragung durchgeführt werden. Auf der Grundlage zahlreicher vorliegender Prüfergebnisse wird aktuell folgender Bewertungshintergrund abgeleitet:

Fugenkleber:

- Bestimmung des Fugenausfüllungsgrades: Ausfüllungsgrad $\geq 80\%$ (bezogen auf die Gesamthöhe des Pflastersteins)
- Visuelle Erfassung der Homogenität der Fugenausfüllung: keine Hohlräume über 3 mm/zahlreiche Hohlräume $> 3\text{mm}$ /Fehlstellen ca. $> 10\text{ mm}$

Bettungskleber:

- Erfassen der mittleren Aufstiegshöhen, Mindestforderung $\geq 10\text{ mm}$
- Bestimmung von Haftzugfestigkeiten bei Prüfung auf der Baustelle, Mindestwerte $[\text{N}/\text{mm}^2]$ gemäß folgender Tabelle:

Steinabmessungen [cm]	Grenzwerte der Haftzugfestigkeit $[\text{N}/\text{mm}^2]$	
	Granit	Diorit
10 x 10 x 10	2,20	2,00
14 x 14 x 14	1,30	1,80

- Bruchart in der Abreißfläche visuell erfassen nach den Kriterien Adhäsionsbruch (A): Bruch in der Grenzschicht von Stein zu Bettungskleber oder Kohäsionsbruch (K): Bruch im Bettungskleber oder im Stein oder Verhältniswert von A/K z.B. 95/5, d.h. 95 % der Abreißfläche befindet sich an der Steinsohle.
- Visuelle Erfassung und Bewertung der Lagerungsdichte des Bettungsklebers unter der Steinsohle und im Fugenbereich, z.B. dicht oder gering porös oder sehr offen bzw. hohlraumreich
- Anforderungen bei der Bohrkernentnahme: Wenn Bohrkern entnommen und bewertet werden sollen, sind die Entnahmestellen auf anteilige Flächen zu beziehen. Je nach Größe der Gesamtbaustelle sind anteilige Flächen von 100 bis 250 m² angemessen, wobei mindestens drei Prüfstellen vorzusehen sind. Der jeweilige Prüfwert gilt für die anteilige Fläche. Da die Durchführung der Prüfung nicht vollständig dokumentiert werden kann, wird die Anwesenheit des AN sehr empfohlen.

Folgende Details zur Prüfung sind vor Beginn abzustimmen:

- Gemeinsame Festlegung der Bohrstellen
- Umsichtiges Bohren unter Verwendung einer Bohrkronen mit noch ausreichendem Freischnitt, die unwuchtfrei läuft und mit nur geringem Vortrieb bedient wird
- Ankerbohrung im Stein unbedingt vor dem Freibohren des Bohrkerns herstellen
- Ankerbefestigung fachgerecht aufbereiten, Anker einbringen und vor dem Bohren mäßig anziehen
- Bohrkern mit einer Kraftsteigerungsrate von ca. 2000 N/sec abreißen und Erfassen des maximalen Kraftwertes.
- Bohrkern verbleibt zur Dokumentation beim AG

Zur Vorortprüfung ist rechtzeitig einzuladen, damit die Vertreter von AG und AN teilnehmen können. Über die Vorortbefragungen ist ein Protokoll zu erstellen, das von allen Anwesenden gegenzuzeichnen ist.

5. Wartungs- und Sanierungskonzepte

Mit dem Pflastermonolith wird eine langlebige und haltbare Oberbauform errichtet. Sofern man sich für diesen Oberbau auch bei stark beanspruchten Teilen (z.B. Weichen) entscheidet, kann unter Umständen ein Bauteilwechsel zu einem Zeitpunkt erforderlich werden, wo sich die umgebende Pflasterdecke noch in einem einwandfreien Zustand befindet. Hier gilt es, sich bereits im Vorfeld Gedanken über Wartungs- bzw. Sanierungskonzepte zu machen und damit kurze Bauzeiten und einen überschaubaren Kostenrahmen zu erreichen. Geschehen kann dies zum Beispiel über bewusst angeordnete Längsfugen, welche im Falle eines Bauteilwechsels dann geschnitten werden. Das hat zur Folge, dass auch nach dem Einbau eines neuen Bauteils ein optisch ansprechendes Fugenbild vorhanden ist. ■ ■

Kontakt

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Bitterlich, Leiter Technisches Controlling, Dresdner Verkehrsbetriebe AG, E-Mail: joerg.bitterlich@dvbag.de