

Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V.

Geschäftsstelle

Georg-Haar-Str. 5

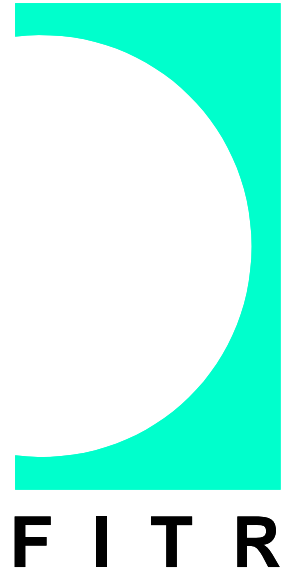
D-99427 Weimar

Telefon: (0 36 43) 82 68 0

Telefax: (0 36 43) 82 68 26

Email: Postmaster@fitr.de

Internet: <http://www.fitr.de>



Boden-Mörtel – Anwendungsfragen und Wirtschaftlichkeit für den Tiefbau der Gasversorgung

erschieden:

gwf Gas Erdgas 8/1999, S. 513-518.

Boden-Mörtel - Anwendungsfragen und Wirtschaftlichkeit für den Tiefbau der Gasverteilung

Wolfgang Berger, Jürgen Krausewald und Ludger van Heyden

Schlagwörter: Rohrnetz, Rohrleitungsbau, schmale Rohrgräben, Grabenverfüllung, Bodenmörtel, Wirtschaftlichkeit

Boden-Mörtel, wie der Weimarer Bau-Mörtel WBM[®], sind neuartige fließfähige, selbsterhärtende Verfüllstoffe, die sich auf Grund ihrer vielseitigen, vor allen Dingen definiert einstellbaren Eigenschaften für ein breites, heute erst ansatzweise erschlossenes Anwendungsspektrum eignen. Sie bestehen zu etwa 80% aus natürlichem Sand, Bodenaushub oder geeigneten Recyclingbaustoffen und zu rd. 20% aus Zuschlagstoffen zur Plastifizierung und anschließenden Stabilisierung. Für den Gasrohrleitungsbau, speziell im innerstädtischen Bereich, liegt der Vorteil dieser Verfüllstoffe u.a. in den erheblichen Einsparungen bei den Straßen- und Tiefbaukosten, wenn die Tiefbauabmessungen wegen der Vorteile des Boden-Mörtels verkleinert werden können. Durch Boden-Mörtel werden schmale Rohrgräben von z.B. 30 cm Breite und darunter attraktiv, weil vor allen Dingen die Leitungszone selbst bei größeren Rohrdurchmessern einwandfrei verfüllt wird und nach Aushärtung verdichtet ist. Selbstverständlich gilt das auch für die Verfüllzone. Neben den ökonomischen Aspekten, die im folgenden diskutiert werden, sind aus Sicht der Gasversorgungsunternehmen gestellte Anforderungen an Boden-Mörtel und der heutige Stand der Entwicklung Inhalt dieses Beitrags.

Soil grouts, such as the Weimarer Bau-Mörtel WBM[®] soil grout, are novel, free-flowing, self-curing back-fillers which, thanks to their numerous and above all adjustable properties, are suitable for a wide range of applications. These soil grouts are so versatile that only a few of the possible applications have hitherto been investigated. They consist of 80% natural sand, spoil or suitable recycled building materials and approx. 20% aggregate for plastifying and stabilising the grout. The advantage of these backfilling materials for gas pipe-laying, particularly in inner city areas, is the reduced trench dimensions and thus considerable savings in road and excavation costs. With soil grout, it is possible to have narrow trenches of, e.g., 30 cm in width and less because the pipeline zone can be properly backfilled, even with larger pipe diameters, and is compacted after curing. Naturally, this also applies to the backfilling zone. This paper not only deals with the economic aspects but also the requirements placed on soil grout by the gas supply companies and the current Status of development.

1. Einleitung

Die vom Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. (FITR) seit 1996 durch zahlreiche Vorträge und Veröffentlichungen [1-3] im Zusammenhang mit Kosteneinsparpotentialen im Rohrleitungsbau angeregte Diskussion zeigte immer wieder das große Interesse des Fachpublikums an der Entwicklung fließfähiger selbsterhärtender Verfüllstoffe. Neben den Kostenvorteilen bieten sie Lösungen für viele der heute im Rohrleitungsbau bekannten Probleme an, die mit den verfügbaren Baustoffen und -verfahren nicht beherrscht werden. Dazu gehören ungenügende Verdichtung im sog. Zwickelbereich der Rohre und besonders die

allgemein akzeptierte Tatsache, daß bei der Sanierung von Rohrleitungen bzw. Netzeinbauten im innerstädtischen Bereich durch die Vielzahl der im Untergrund liegenden Leitungen eine regelgerechte Verdichtung eigentlich unmöglich ist. Das betrifft insbesondere auch schmale Gräben unter 40 cm und gilt generell dann, wenn der Zwischenraum zwischen Rohraußenwand und Grabenwand kleiner als 10 cm wird.

Als fließfähige, selbsterhärtende Verfüllstoffe wurden zuerst die sog. stabilisierten Sandmischungen (SSM) [4; 5] bekannt. Dieser innovativen Grundidee nahm sich FITR an und entwickelte den in seiner Zusammensetzung speziellen Weimarer Bau-Mörtel WBM[®], im weiteren WBM. Die Abgrenzung zu den SSM und anderen fließfähigen selbsterhärtenden Verfüllstoffen wird in Abschnitt 3.1 und 3.2 erläutert. Nach der ZTVE StB 94 [6] sind Boden-Mörtel aus Sicht des Straßenbaus in erster Näherung den stabilisierten Böden zuzurechnen.

Dr. Ing. Wolfgang Berger und Dipl.-Ing. Jürgen Krausewald, Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V., Schwannestraße 93, D-99427 Weimar. Dipl.-Ing. Ludger van Heyden, Ruhrgas AG, Halterner Straße 125, D-46284 Dorsten.

2. Eigenschaften von Weimarer Bau-Mörtel (WBM) aus Sicht der bisher gewonnenen Praxiserfahrungen

2.1 Einbau- und Endparameter

WBM weisen abhängig vom Plastifikatoranteil in guter Näherung ein spezifisches Gewicht von 2 t/m^3 auf. Würden sich solche Verfüllstoffe wie normale Flüssigkeiten höherer Zähigkeit verhalten, wären beim Verfüllen der Leitungszone erhebliche Auftriebskräfte zu erwarten, insbesondere bei PE-Rohren, die zu einem Aufschwimmen der Rohre führen würden. Aufgrund ihrer thixotropen Eigenschaften beginnen Boden-Mörtel sofort geleeartig zu erstarren, wenn sie in ihrer Lage nicht mehr verändert werden. Die bisherigen Praxiserfahrungen zeigen, daß es genügt, die Rohre zuerst zur Lagefixierung in Abständen von ca. 4-6 m mit sogenannten Belastungsbänken aus gleichartigem Verfüllstoff höherer Plastizität zu vergießen, die das Rohr auf einer Länge von bis zu 1 m umschließen. Gleichzeitig können die Belastungsbänke dazu benutzt werden, die spätere Verfüllhöhe zu markieren.



Bild 1. Ermittlung des sog. Ausbreitmaßes zur Feststellung der Fließfähigkeit von Boden-Mörtel.

Bereits nach 5-10 Minuten ist die Erstarrung soweit fortgeschritten, daß der übrige Bereich ohne Aufschwimmen der Leitung vergossen werden kann. Die Verfüllung erfolgt jetzt mit WBM fast gleicher Zusammensetzung, jedoch fließfähigerer Konsistenz (Ausbreitmaß ca. 55cm), dessen Abbindedauer ca. 4-6 h beträgt. Ein Ausbreitmaß von z.B. 45cm bedeutet entsprechend DIN 1045, daß sich eine bestimmte Menge Boden-Mörtel, auf eine glatte, ebene Unterlage gegossen, nicht weiter als bis zu einem Kreis mit 45 cm Durchmesser ausbreitet (*Bild 1*). Die Endfestigkeit ist entsprechend den Forderungen des Auftraggebers einstellbar. Die einaxialen Druckfestigkeiten der Mörtel in der Leitungszone betragen z. B. $0,3 \text{ N/mm}^2$. Damit ist die Lösbarkeit ähnlich der eines gut verdichteten Erdstoffs, auch nach längerer Liegedauer. Verfestigte WBM sind hinsichtlich ihrer Lösbarkeit der Bodenklasse 4 nach DIN 18300 [7] zuzuordnen. Das sind mittelschwer lösbarere Bodenarten.

Zum Nachweis dieser Anforderung wird an dieser Stelle eine u.a. mit WBM® verfüllte Versuchstrasse innerhalb des Forschungsvorhabens A9 der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme (AGFW) „Neuartige Wärmeverteilung – Interaktion Rohr/Bettung“ angeführt, bei der auf Bitte der Stadtwerke Erfurt ein ca. 2 m^2 großer Bereich der neun Monate vorher in WBM eingebauten Rohre zunächst bis zur Leitungszone freigelegt wurde. Mit dem dynamischen Fallgerät nach TP BF-StB Teil B 8.3 [8] wurde auf der Leitungszone ein Edyn-Wert von 99 MN/m^2 gemessen. Der parallel dazu bestimmte EV_2 -Wert nach DIN 18134 [9] betrug ebenfalls 99 MN/m^2 . Damit wurde, unabhängig von der Frage der Lösbarkeit, nachgewiesen, daß der von den Straßenbauvorschriften an dieser Stelle geforderte Wert von mindestens 45 MN/m^2 mehr als eingehalten wird.

Im Anschluß wurde durch einen Mitarbeiter der SW Erfurt der Verfüllstoff mit einem Spaten problemlos aufgenommen. Die im Labor aus dem Aushub bestimmte einaxiale Druckfestigkeit betrug im Durchschnitt $0,31 \text{ N/mm}^2$. Damit konnte nachgewiesen werden, daß eine Nacherhärtung auch nach neun Monaten und einer Heizperiode praktisch nicht stattgefunden hat. Die Lösbarkeit entsprechend der Bodenklasse 4 ist jederzeit gegeben.

WBM kann unabhängig von der Bodenart bedenkenlos in der Leitungszone eingesetzt werden, in sandigen Böden auf jeden Fall auch bis zur Unterkante der Schottertragschicht. In bindigen Böden sollte nach der bisherigen Einschätzung des FITR der Aufbau oberhalb des Planums mindestens 70cm betragen.

2.2 Gaspermeabilität

Eine ausreichende Gaspermeabilität wird in Gesprächen mit Gasversorgungsunternehmen häufig als eine wichtige Anforderung an Boden-Mörtel genannt. Sie wurde bisher mit unterschiedlichen versuchstechnischen Ansätzen unter Laborbedingungen von drei unabhängigen Stellen unter-



Bild 2. Versuchsanordnung der Permeabilitätsmessungen des FITR.

sucht. Das Ergebnis lautet, dass WBM, wenigstens z.Z., eine im Vergleich zu Böden sehr geringe Gasdurchlässigkeit aufweist.

Das FITR führte Untersuchungen an einem Versuchsaufbau zur Leckagesimulation (*Bild 2*) durch, der aus einem PE-Rohr DN 40 mit einer Länge von ca. 500 mm bestand, welches in einem WBM-Block eingebettet wurde. Die Abmes-

sungen des Blocks betragen 15 x 15 x 50cm. Das PE-Rohr wies in der 12-Uhr-Position eine Bohrung von 3 mm zur Lecksimulation auf. Der fertige Proband wurde in ein Wasserbad gelegt. Als Prüfmedium diente Luft, deren Druck durch eine einfache Handpumpe erzeugt wurde. Die WBM-Einbettung ließ bis etwa 2 bar keine Luft durch. Darüber hinaus traten aus dem Block oberhalb der Leckstelle Luftbläschen aus. Eine Wanderung von Luft entlang der Außenoberfläche des PE-Rohres (Längsläufigkeit) wurde nicht festgestellt.

Durch das Institut für Baustoffprüfung, Bauzustandsanalyse, Bausanierungsplanung Anhalt GmbH (IBA Dessau) wurden im Auftrag der Ruhrgas AG weitere Modellversuche durchgeführt. Im Unterschied zu den Versuchen des FITR erfolgte die Versuchsdurchführung mit Boden-Mörtel-Rezepturen, die sich im wesentlichen durch einen unterschiedlichen Feinstkornanteil auszeichneten. Die Untersuchungen zeigten, daß die meisten von 16 Mörtel-Proben unterschiedlicher Rezepturen bis zu Drücken von rd.450 mbar gasdicht sind. Einige Probekörper ließen ab etwa 50 mbar Druckunterschied auf einer Lauflänge von 200 mm und einem Querschnitt von rd. 125cm² Luftströme bis zu etwa 100 ml/h durch. Die UST Umweltsensortechnik GmbH in Geschwenda stellte fest, daß Methan zwar ähnlich große Probekörper bei schon 100 mbar Druckdifferenz schnell durchdringt, aber der Durchfluß sehr gering bleibt

Die hinsichtlich sehr geringer Gasdurchlässigkeit geäußerten Befürchtungen von Gasversorgungsunternehmen werden damit begründet, daß sich evtl. austretendes Leckgas entlang der Leitungsoberfläche ausbreitet und erst mehr oder weniger weit von der Leckstelle entfernt an die Geländeoberfläche steigt und umfangreiche Aufgrabungen notwendig macht. In den o.g. Untersuchungen wurde zwar keine Längsläufigkeit von Leckgas festgestellt, aber ob das auch für Jahrzehnte gilt, ist z. Z. nicht untersucht.

Bei Neuverlegungen z. B. in PE ist jedoch die Leckstellenhäufigkeit nach der DVGW-Statistik so gering, daß die evtl. deutlich erhöhten Kosten einer Leckstellenbeseitigung in Kauf genommen werden können. Nach der Statistik tritt an allen derzeit betriebenen PE-Leitungen ohne Berücksichtigung der Schäden durch mechanische Fremdeinwirkung nur alle 200 Kilometer pro Jahr eine Leckstelle auf, 90% davon an den Rohrverbindungsstellen. Es wäre also auf jeden Fall nützlich, außer den Hausanschlußabgängen auch die Position der Versorgungsrohrverbindungen zu kennen. Tritt auch auf Dauer keine Längsläufigkeit ein, werden entstandene Leckstellen an Rohrverbindungen durch den Boden-Mörtel weitgehend dicht gehalten, machen sich aber trotz geringer Gasdurchlässigkeit oberhalb der Leckstelle bemerkbar. Bei Einsatz von WBM in Baugruben bleibt die evtl. „Leckgaswanderung“ begrenzt.

2.3 Umweltverträglichkeit

Aufgrund der Zusammensetzung des WBM treten grundsätzlich keine Belastungen beim Einsatz im Baugrund für die Umwelt auf, da die Grundmaterialien aus natürlichem Sand, Aushubböden oder unbedenklichen Recyclingmaterialien bestehen. Bei den verwendeten Plastifikatoren und Stabilisa-

toren handelt es sich ebenfalls um heute im Bauwesen zugelassene Stoffe.

3. Herstellung von WBM

3.1 Die Komponenten

WBM setzen sich aus dem Grundmaterial, einem Plastifikator und einem Stabilisator zusammen. Zur Beeinflussung der spezifischen Eigenschaften, wie Erhärtungsgeschwindigkeit und Endfestigkeit, können Additive eingesetzt werden. Bei den Grundmaterialien handelt es sich um natürliche Böden bzw. Bodenaushub aus innerstädtischen Bereichen oder um geeignete Recyclingbaustoffe aus dem Straßen- und Hochbau. Der Plastifikator (WBM-PLATROS[®]) stellt eine Mischung aus Wasser, quellfähigem Ton und organischen Zusätzen dar, die im Ergebnis intensiver Vermischung als Suspension in einem flüssigen, pumpfähigen Zustand vorliegt. Der Stabilisator, wie z.B. Zement oder Kalk oder Asche, liegt im wesentlichen in pulverförmigem Zustand vor, kann aber auch in flüssiger Form dem Gemenge zugegeben werden. Das gleiche gilt für die Additive.

3.2 Die Zustandsformen

WBM nimmt während des Prozesses der Herstellung über die Einfüllung in den Rohrgraben bis zum gewünschten Endzustand unterschiedliche Zustandsformen an. Während der Herstellung ist es notwendig, die Scherfestigkeit des Grundmaterials ausreichend zu reduzieren. Nach erfolgtem Einbau soll die Scherfestigkeit wieder ansteigen, damit das eingebrachte Material beim Zusammenwirken Boden/Rohr seine Tragfunktion dauerhaft erfüllen kann.

3.3 Die Herstellung

Bekanntlich werden Beton oder Bodenverfestigungsmassen für den Straßenbau aus wirtschaftlichen Erwägungen in Zentralmischanlagen (Mixed-in-plant) oder dezentral in Ortsmischanlagen (Mixed-in-place) hergestellt. Diese technologischen Ansätze sind auch hier geeignet.

3.3.1 Herstellung auf zentralen Mischplätzen

Immer häufiger erzwingen die Platzverhältnisse in innerstädtischen Gebieten, den Aushub abzutransportieren. Können dafür bestehende zentrale Lager-, Recycling- bzw. Mischplätze genutzt werden, kann es technisch-wirtschaftlich sinnvoll sein, dort eine Werksfertigung einzurichten oder eine solche an eine bereits bestehende Betonmischanlage anzuschließen. Für das Lagern, Dosieren und Mischen der Komponenten genügen in der Regel die aus der Herstellung von Frischbeton bekannten Techniken. Folglich sind keine speziellen maschinentechnischen Entwicklungen bzw. teuren Spezialanlagen notwendig, was sich kostengünstig auswirkt.

Für eine zentrale Fertigung in Städten, wie bereits in Gera durch die Fa. Hofmann-Beton realisiert, spricht auch ein innerhalb einer wirtschaftlichen Transportentfernung bestehender

gleichmäßiger Bedarf definierter Größe, so daß die Zentralmischanlage gut ausgelastet werden kann. In Gera handelt es sich um eine mittlere Transportentfernung von 10 km und ein in etwa gleichmäßiger Bedarf von 20 bis 25 m³/Tag. Im übrigen gelten die vom Transportbeton her bekannten Vorteile, wie Kostensenkung durch hohe Automatisierung, zuverlässige Qualität, Minimierung der Zusätze u.a. m. Weitere Anlagen sind in Erfurt und Weimar vorgesehen.



Bild 3. Schlammemaschine für die Herstellung von WBM an der Baustelle.



Bild 4. WBM-Verfüllung an der Versuchsbaustelle „Tonndorf“ in der Nähe von Weimar.

3.3.2 Herstellung auf der Baustelle

Liegen die Verhältnisse anders, z. B. in ländlichen oder kleinstädtischen Gebieten mit geringem, zeitlich nicht ausgewogenem Bedarf, wird es wirtschaftlicher sein, Bau-Mörtel direkt auf der Baustelle herzustellen. Auch hier stellt sich die Frage, inwieweit bereits bekannte Maschinen mitbenutzt werden können. Aus dem Straßenbau sind die sog. Schlammemaschinen (*Bild 3*) bekannt, die sich als selbstfahrende, baustellengerechte Maschinen für Aufbereitung und Einbau von bituminösen Kaltasphalt-Belägen bewährt haben. Solche Maschinen besitzen im wesentlichen die für die Baustellenerfertigung erforderlichen Einrichtungen.

Daß sich Schlammemaschinen für die Baustellenfertigung eignen, konnte bei der Versuchsbaustelle „Tonndorf“ in der Nähe von Weimar durch die Fa. Vieh im Auftrag der Gasversorgung Thüringen GmbH nachgewiesen werden. *Bild 4* zeigt die Verfüllung des Grabens. Es ging um die Verlegung einer PE-Leitung DN 100/4 bar in einem 30cm breiten Graben mit einer Rohrdeckung von 1,0 m. Z. Z. sehen zwei Firmen die Herstellung von WBM mit der „Schlamm-Technologie“ als alternatives Produkt vor.

4. Wirtschaftlichkeit von WBM bei Herstellung in einer bestehenden Bodenrecycling-Anlage (RC-Anlage)

Die Betrachtungen der Wirtschaftlichkeit werden anhand von Fallbeispielen erläutert, die auf einer durch die Ruhrgas AG mit Beteiligung der Gaz de France durchgeführten Kostenanalyse basieren. Der Kostenvergleich konventioneller Tiefbau/Einsatz von WBM wurde unter folgenden Randbedingungen durchgeführt:

- Kosten, die in beiden Fällen identisch sind (z.B. Baustelleneinrichtung und -Sicherung, Rohrbau, nicht flächenbezogene Oberflächenkosten wie Fugenbandeinbringung), bleiben unberücksichtigt.
- Vergleichsfälle sind Leitungsgräben in gepflastertem Gehweg und in untergeordneten Fahrbahnbereichen.
- Versorgungsleitung in DN 125 (dg 140)
- Grabensohle 1,05m unter Oberkante Pflasterung bzw. Straße
- Leitungsunterkante 0,10 m über Grabensohle mit 0,10 m Einsandung unterhalb und oberhalb der Leitung im konventionellen Fall (Höhe der Leitungszone demnach 0,34 m)
- Höhe des Oberbaus einschließlich Schottertragschicht entsprechend Regelbauweisen der ZTVA-STB 97 für Gehweg und Fahrbahnen 0,28 m. Demzufolge beträgt die Höhe der Verfüllzone 0,43 m
- Bodenaustausch; d.h. Aushubabfuhr zur Recycling-Anlage und im konventionellen Fall Anfuhr und Verfüllung von Sandersatz bzw. anderem Recycling-Material
- Alternativ zum konventionellen Fall Verfüllung mit WBM entweder nur in der Leitungszone oder in Leitungs- und Verfüllzone. Jeweiliger Wegfall der Verdichtungsarbeit
- Grabenbreiten: 0,20 m, 0,30 m, 0,40 m, 0,50 m und 0,60 m. Die Grabenbreite 0,20 m wurde nur für den Einsatz von

Boden-Mörtel betrachtet, da diese Breite bei dem gewählten Rohrdurchmesser für den konventionellen Tiefbau auf jeden Fall ausscheidet.

Die Kosten für den konventionellen Tiefbau entsprechen in etwa denen in größeren Städten Nordrhein-Westfalens für Standardvorgehensweisen in gepflasterten Gehwegen oder untergeordneten Fahrbahnbereichen.

Die Kosten für WBM frei Baustelle und verfüllt wurden aufgrund von Angaben des FITR und der RC-Anlage der Firma Heitkamp in Bochum ermittelt. Die Anlage verfügt bereits über alle für die Herstellung von Boden-Mörtel notwendigen Einrichtungen. Insofern wurde das Konzept zu Grunde gelegt, WBM zunächst als vergleichsweise kleine Produktionslinie einzurichten. Orientierung war, ein Transportfahrzeug ausreichend auszulasten. Dazu sollte ein normaler Trommelfahrer für Beton angemietet werden, von dem aus WBM mit Hilfe einer Betonpumpe und eines Schlauches über Abstände bis zu 20 m verfüllt werden kann. Der mittlere Lieferabstand zu Baustellen der Stadtwerke Bochum liegt bei etwa 13 km. Der Trommelfahrer könnte bei drei bis sechs Anfahrten rd. 25 bis 50 m³ WBM/Tag bewältigen, was bei 200 Einsatztagen zu einer Jahresmenge von 5000 bis 10000m³ führt. Selbstverständlich würde WBM allen interessierten Kunden der RC-Anlage angeboten. Unter diesen Voraussetzungen errechneten sich WBM-Kosten frei Baustelle und verfüllt von etwa 90,- DM bis 105,- DM/m³. Im Folgenden wird mit 100,- DM/m³ gerechnet und außerdem aus Gründen der Kostensensitivität mit 75,- DM und 50,- DM/m³.

Die Bilder 5 und 6 geben die Kosten für den Graben im Gehweg unter der Voraussetzung wieder, daß entweder nur die Sandbettung oder Sandbettung und der Boden der Verfüllzone durch WBM ersetzt werden. Man erkennt, daß WBM ohne Reduzierung der Grabenbreite unwirtschaftlich ist, und zwar bei Verfüllung bis zu Unterkante der Schottertragschicht in stärkerem Maße als bei WBM statt Sandbettung. Kostengleichstand gegenüber der konventionellen Vorgehensweise

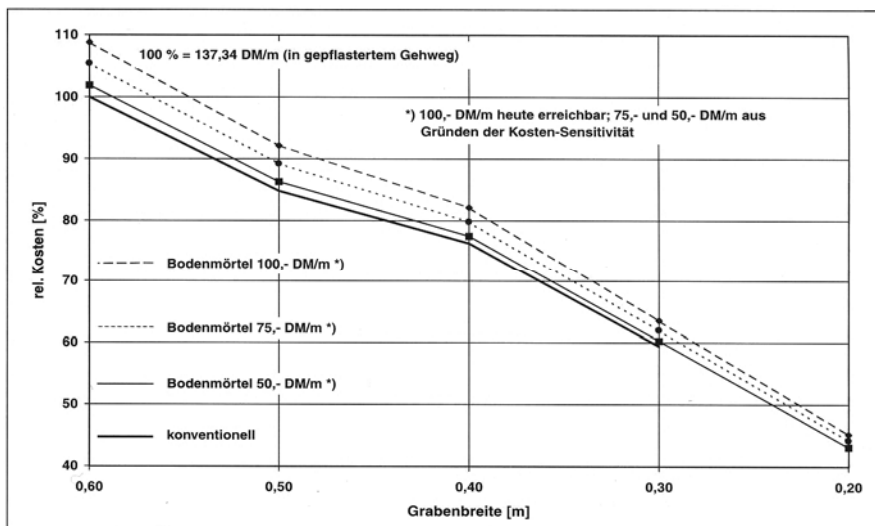


Bild 5. Kostenreduzierung durch Verringerung der Grabenbreite und Einsatz von WBM statt Sandbettung.

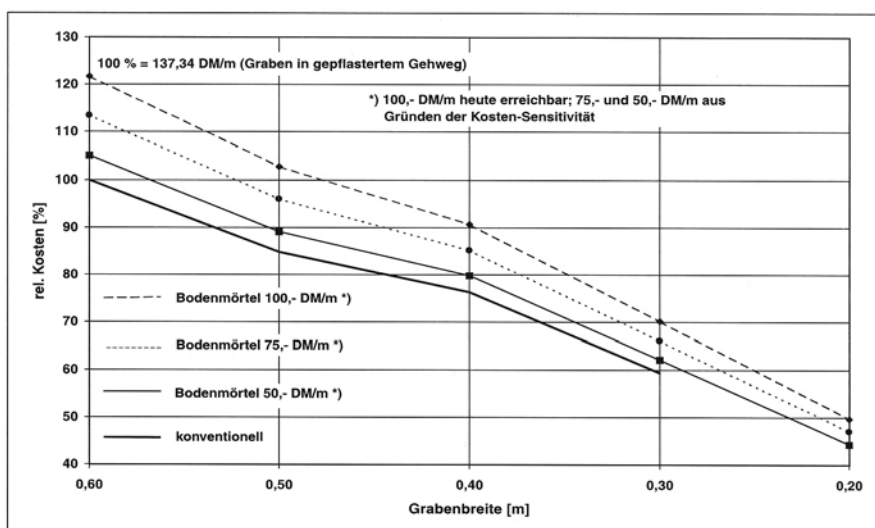


Bild 6. Kostenreduzierung durch Verringerung der Grabenbreite und Einsatz von WBM in der Leitungs- und Verfüllzone.

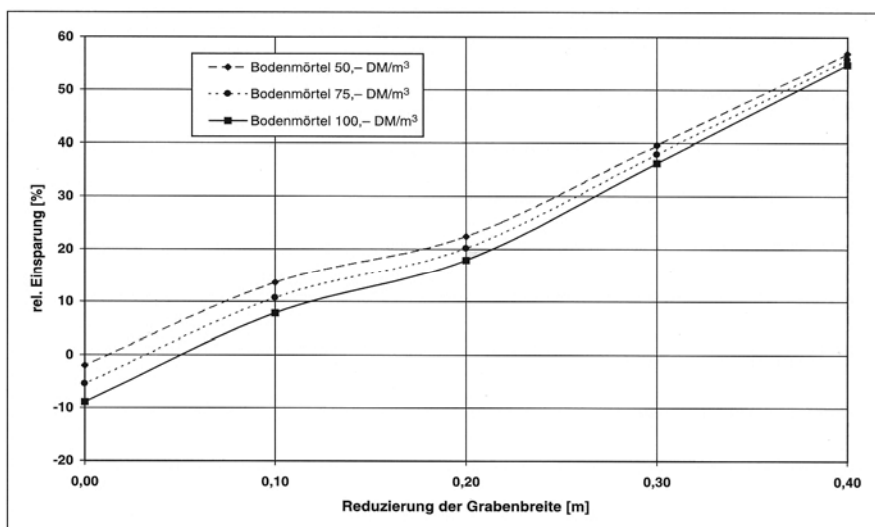


Bild 7. Darstellung der Funktionslinien für WBM aus Bild 5 in Form der relativen Einsparung (Die Breitenreduzierung Null entspricht 60 cm Grabenbreite).

würde erst erreicht, wenn die WBM-Kosten auf ca. 40,- DM/m³ sinken. Bei WBM mit Kosten von 100,- DM/m³ statt Sandbettung treten jedoch schon Kostenvorteile ein, wenn die Grabenbreite, ausgehend von 60, 50 oder 40 cm, nur um mehr als 3 bis 8 cm verringert wird. Interessant wird es, wenn die Grabenbreite wegen WBM von z.B. 50 auf 30 cm verringert werden kann, um eine einwandfreie Verdichtung im schmalen Graben sicherzustellen. Dann werden bei WBM statt Sandbettung oder zusätzlich in der Verfüllzone 17 bis 25% der Tiefbaukosten eingespart. *Bild 7* gibt die Funktionslinien für WBM aus *Bild 5* in anderer Form wieder, und zwar jetzt als relative Einsparung durch Reduzierung der Grabenbreite. Dabei wird von der Grabenbreite 60 cm ausgegangen.

Auf die Darstellung der Kostensituation beim Graben in Fahrbahnbereichen wird verzichtet. Der 100%-Eckwert für eine Grabenbreite von 60cm liegt hier ohne Rohrbau und nicht flächenbezogene Oberflächenkosten bei 156,- DM/m. Die relativen Kosteneinsparungen durch Grabenbreitenverringerungen sind hier nur unwesentlich anders als beim Graben im Gehweg.

5. Schlußfolgerungen

- Der Einsatz von WBM ist im Vergleich zur konventionellen Vorgehensweise nur wirtschaftlich, wenn die Tiefbauabmessungen wegen der Vorteile von WBM reduziert werden können.
 - Aber schon ab Grabenbreitenreduzierung um 3 bis 8 cm, ausgehend von 60, 50 und 40 cm, erreicht man die Wirtschaftlichkeitsschwelle. Bei Reduzierung um 20 cm werden bis zu 25 % der Tiefbaukosten eingespart. Das gilt für WBM-Kosten von 100,- DM/m³, der bei breiterem Einsatz sinken dürfte.
 - Bei voller Ausnutzung der Fließfähigkeit von WBM in der Leitungszone kann die Differenz zwischen Grabenbreite und Rohraußendurchmesser stark reduziert werden. Bis DN 200 sind 30 cm breite Gräben ausreichend.
 - Die Arbeitsorganisation einer Baustelle muß die notwendige Abbindezeit von WBM von ca. 4 bis 6 Stunden berücksichtigen.
 - Die Endfestigkeit von WBM ist variabel. In der Regel wird eine Endfestigkeit zu Grunde gelegt, die der Bodenklasse 4 nach DIN 18300 entspricht (mittelschwer lösbare Bodenarten).
- In WBM verlegte Leitungen sind zusätzlich gegen Fremdbeschädigungen geschützt, weil WBM bei Freilegungen erkannt werden dürfte.
 - WBM weist bisher im Vergleich zu herkömmlichen Böden eine sehr geringe Gasdurchlässigkeit auf. Das ist bei Neuverlegungen mit sehr geringer Leckstellenwahrscheinlichkeit kein Nachteil.
 - Die zusammengetragenen Fakten und Informationen zeigen, daß die Einrichtung einer zunächst kleinen kommerziellen WBM-Produktionslinie innerhalb einer bestehenden zentralen Boden-Recyclinganlage technisch vergleichsweise leicht realisiert werden kann. Das WBM-Angebot sollte sich an alle Kunden der Recyclinganlage richten.

Literatur

- [1] *Berger, W.*: Zukünftige Techniken des Leitungsbaues - Ergebnisse aus „Neuartige Wärmeverteilung“. AGFW-Veranstaltung Fernwärme-Heizkraftwirtschaft '98, Essen, Tagungsband.
- [2] *Berger, W.*: Kosten- und Beanspruchungsbeeinflussung durch den Boden-Mörtel-Einsatz im Leitungsbau. Intensivschulung „Neue Technologien im Rohrleitungsbau in offener und grabenloser Bauweise“ des rbv und DVGW vom 24. bis 26. November 1998, Berlin, Tagungsband.
- [3] *Trostel, A.*: Beanspruchungs- und Kostenminderung von Leitungsbaumaßnahmen durch verdichtungslosen Einbau des Bettungsmaterials. ROHRBAU-Mitteilungen des FITR Weimar e.V., Weimar, 1997.
- [4] Österreichisches Patent: AT Nr. 374163: Gießfähige Mischungen, vorzugsweise zum Verfüllen von Künetten, Gräben und dgl. Vom 15.8.1984.
- [5] *Owens, R. C. and Parker, J. E.*: Recycling for Reinstatement - the Gas Experience. British Gas. Research & Technology E 963, July 1995.
- [6] ZTVE StB 94: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Fassung 1997, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- [7] DIN 18300: VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen, Teil C: Allgemeine technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Erdarbeiten, 1996.
- [8] Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau. TP BF-StB, Teil B 8.3. Dynamischer Plattendruckversuch mit Hilfe des leichten Fallgewichtesgerätes, Ausgabe 1997.
- [9] DIN 18134 Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Plattendruckversuch.

(Manuskripteingang: 16.4.1999)