

Untersuchungen zur Optimierung eines Messverfahrens zur Bestimmung der Dübellage in Fahrbahndecken aus Beton

FA 8.163

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamf für Bau von Landverkehrswegen (Prof. Dr.-Ing. G. Leykauf)

Bearbeiter: Birmann, D.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: September 2005

1. Allgemeines

Die im Technischen Regelwerk für Betonfahrbahnen, den ZTV Beton-StB 01 [1], enthaltenen Anforderungen an die Lage und Lagegenauigkeit von Dübeln (Bild 1) und Ankern basieren auf theoretischen Überlegungen, Erfahrungen aus der Praxis und auf Labor-Untersuchungen. Untersuchungen über die in situ erreichbare Lagegenauigkeit wurden bislang erschwert, da zerstörungsfrei arbeitende Dübel-Ortungssysteme zur exakten Lagebestimmung fehlten, die neuerdings zur Verfügung stehen [2, 3].

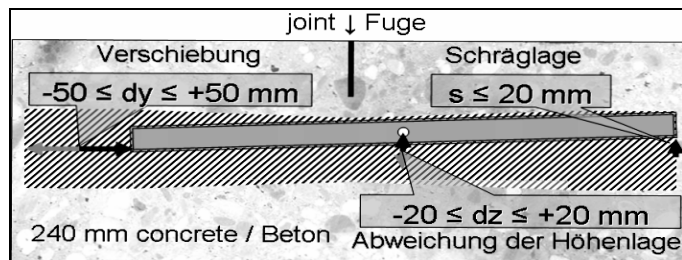


Bild 1: Extreme Lage eines Dübels innerhalb der nach ZTV Beton-StB 01 [1] zulässigen Toleranz, Längsschnitt durch den Dübel

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit sollte auf mehrere Fragen und Aspekte zur Eignung und Genauigkeit der Messverfahren und zur Auswirkung von Lagefehlern von Dübeln in Betondecken eingegangen und entsprechende Untersuchungen angestellt werden. Dies waren:

- Vergleich der derzeit angewendeten Messverfahren (Georadarverfahren, abgekürzt GR, und Pulsinduktionsverfahren, abgekürzt PI),
- Überprüfung der Genauigkeit der Messverfahren bei Anwendung in situ und im Prüfstand,
- Ermittlung und ggf. Quantifizierung von die Ergebnisse beeinflussenden Faktoren (Anker, Abmessungen des Dübels, Fremdkörper),
- Vergleich der Ergebnisse verschiedener Betreiber bzgl. der Dübellage (Ringversuch),
- Untersuchungen zur Anwendung von Hohlübeln im Rahmen einer Versuchsstrecke,
- Untersuchung zur Dübellage bei Einbau in einer einlagigen, dicken Betondecke im Rahmen einer Messstrecke,

- Auswertung von Dübellagemessungen, Vergleich der ermittelten Dübellagen mit den Anforderungen der ZTV Beton und statistische Angaben zur Verteilung der Dübellage,
- Untersuchung des Zusammenhangs von Längsrissen und Dübellage,
- Zusammenhang zwischen der Lage der Dübel, insbesondere der Schräglage, und der Rissweite der Querscheinfugen.

2. Untersuchungsmethodik

Zur zerstörungsfreien Bestimmung der Dübellage kamen zwei Verfahren zur Anwendung:

- elektromagnetisches Reflexionsverfahren (Georadar) mit einer 900 MHz-Antenne oder mit zwei parallel angeordneten 1,5 GHz-Antennen (Bild 2),
- Pulsinduktionsverfahren PI; das Verfahren basiert auf dem physikalischen Prinzip der Wirbelstromanregung in räumlich begrenzten metallischen Objekten, in diesem Fall in Dübeln oder Ankern, Bild 3. Für die Auswertung kamen im Untersuchungszeitraum verbesserte Versionen 1.6 bis 3.0 zur Anwendung.

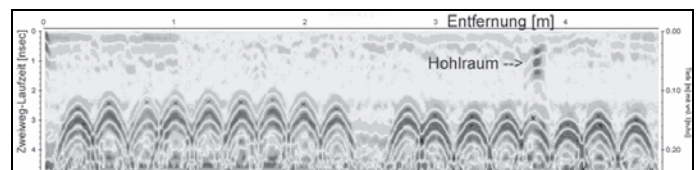


Bild 2: Nachweis der künstlich im Freiprüfstand erzeugten Hohlraum- und Dübellage (Pfeil) über dem Dübel (x) im Radargramm des Georadar GR-A; die Dübel werden als Hyperbel abgebildet

Für die Untersuchungen wurden, an die umfangreichen Fragen angepasst, weitere Messverfahren angewendet:

- Direkte Ermittlung der Dübellage durch Freilegen im Frischbeton, Entnahme von Bohrkernen oder Freischneiden von Betonplattenstreifen und Einmessen mit Laser-Distanzmesser,
- Ermittlung der Tragfähigkeit und der Querkraftübertragung mit dem modifizierten Benkelman-Balken,
- Messung der Fugenöffnungsweite und visuelle Beurteilung,
- Laborversuche zur Komponentenuntersuchung.

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden in Übereinstimmung mit den Begriffen der ZTV Beton-StB nachstehende Definitionen zur Dübellage festgelegt:

- Koordinatenursprung zur Beschreibung der Dübellage: liegt am äußeren Fahrbahnrand bzw. am äußeren Rand des/der gefertigten Streifen,
- Höhenlage dz: Abstand der Dübelachse im Dübelschwerpunkt von der Fahrbahnoberfläche (Abweichung der Höhenlage dz > 0: Dübel liegt zu tief),

- Verschiebung dy :
Abstand des Dübelschwerpunktes von der Messlinie (Fuge) in y -Richtung ($dy > 0$ in Fahrtrichtung),
- Schräglage s : räumliche Abweichung des Dübels über die Länge von 500 mm, sie wird aus den Komponenten der horizontalen und vertikalen Schräglage errechnet (s ist stets ≥ 0),
- horizontale Schräglage sh :
Abweichung der Dübelachse von der y -Richtung im Grundriss in mm, bezogen auf eine Dübellänge von 500 mm ($sh > 0$ im Uhrzeigersinn),
- vertikale Schräglage sv :
Neigung der Dübelachse im Seitenriss gegenüber der Oberfläche in mm, bezogen auf eine Dübellänge von 500 mm ($sv > 0$ in Fahrtrichtung fallend).
- Die Nummerierung der Dübel beginnt stets am Standstreifen.

3. Versuchsergebnisse

Die beiden untersuchten Messverfahren GR und PI haben Vor- und Nachteile:

- Das Pulsinduktionsverfahren PI ist weitgehend frei von stofflichen Einflüssen, die Messgeschwindigkeit ist groß, und kurz nach einer Messfahrt liegen erste Messergebnisse vor. Der Einsatz mit einer Messbrücke über Frischbeton ist in Erprobung. Einschränkung für das PI sind: kein Anker in Dübelnähe, Dübelabstand gleich oder größer als der Regeldübelabstand von 25 cm.
- Durch Messungen auf der Grundlage des Georadars GR können neben der Dübellage mögliche Strukturstörungen bzw. Hohlräume über den Dübeln und Ankern im Beton nachgewiesen werden (Bild 2). Zuschläge im Beton mit Mineralien, die magnetische Eigenschaften aufweisen, haben keinen Einfluss. Wegen des Feuchtigkeitseinflusses ist eine Kalibrierbohrung nötig. Bei den untersuchten Verfahren wurde eine ähnliche Genauigkeit wie mit PI erreicht. Die Einschränkungen des PI für Ankernähe oder Dübelabstand treffen bei GR nicht zu.

Zahlreiche Versuche in Prüfständen und an Messstrecken waren an der Frage nach der erreichbaren Genauigkeit ausgerichtet.

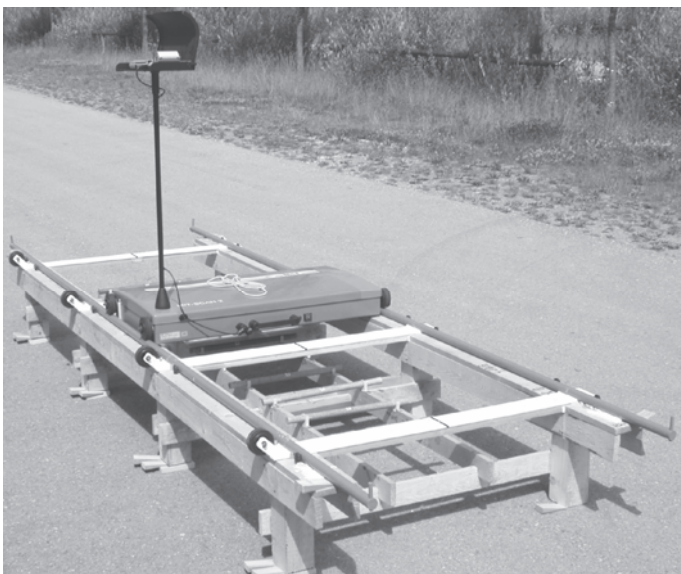


Bild 3: Messung der Dübellage mit Pulsinduktionsverfahren PI zur Ermittlung des Einflusses der Dübelabmessungen; Prüfstand

Ein Nachweis zur Genauigkeit der Verfahren PI und GR wurde an 28 Standarddübeln, drei Hohlprübeln und drei Standardprübeln auf Dübelkorb sowie zwei Ankern im Randbereich in zwei 24 und 27 cm dicken Betonplatten im Freiprüfstand geführt. Die Auswertung beim Pulsinduktionsverfahren mit der Version 1.6 zeigte: Die Differenz der Schräglage gegenüber den eingemessenen Werten betrug maximal 9 mm (Dübel im Randbereich und mit einer Schräglage > 50 mm nicht berücksichtigt), die maximale Differenz der Höhenlage betrug 11 mm. Ein in die Fuge eingelegter Nagel als metallischer Fremdkörper verursachte bei PI und GR keine größeren Abweichungen als die, die sich aus Wiederholungsmessungen ergeben (bis zu 4 mm). Beim eingesetzten GR sind die Differenzen zur Istlage größer. Bei Einsatz von Dübelkörben wurde mit GR eine gute Genauigkeit bezüglich der Schräglage erreicht (max. 6 mm).

In einem zweiten Prüfstand aus nichtmetallischen Baustoffen (ohne Beton, Bild 3) mit 11 Dübeln wurde eine Messreihe mit PI zur Quantifizierung der Einflüsse durchgeführt, die aus Dübeldurchmesser, Dübellänge und dem Ankerabstand von der Querrichtung herrühren. Bei der Auswertung des PI mit Version 3.0 muss bekannt sein, ob Standarddübel eingebaut sind. Dübel werden in einem Abstand bis zu 50 cm von der Längsfuge durch Anker bei der Messung der Lage beeinflusst. Zwei Anker in einem Abstand von je 50 cm ab der Querscheinfuge (Regelabstand) bewirkten bei Dübeln in einer Tiefe von 11 cm eine Änderung der angezeigten Dübellage (Bild 6, 8 mm bei der Verschiebung dy und 3 mm bei der vertikalen Schräglage sv). Bei 35 cm Ankerabstand erhöht sich die Änderung bei dy auf 25 mm und bei sv auf 10 mm. Bei nur einem Einzelanker im Abstand von 50 cm ab der Querrichtung wirkt sich dies noch stärker aus, allerdings mit umgekehrten Vorzeichen. Unterschiedliche Stabstahleigenschaften ergaben eine Änderung der Höhenlage um 4 mm. Dübeldurchmesser und Dübellänge wirken sich im Wesentlichen auf die Höhenlage dz aus. Bei einer Tiefe von 11 cm hat eine Änderung des Durchmessers um 10 % eine Änderung der Höhenlage um ca 10 mm zur Folge, eine Änderung der Länge um 10 % eine Höhenlageänderung < 1 mm (Bild 7).

Ein Ringversuch mit fünf Betreibern (4 PI, 1 GR) an 10 Fugen einer BAB-Betonfahrbahn zeigte, dass bei gleichem Verfahren unter gleichen Voraussetzungen (Auswerte-Version, Eichung der Geräte, gleiche Gegebenheiten vor Ort) durch verschiedene Betreiber unterschiedliche Ergebnisse bzgl. der Dübellage gemessen werden. Von hier konnte nicht geprüft werden, inwieweit dies auf die Ausstattung, die Eichung der Geräte oder das Auswerteverfahren zurückzuführen ist. Verglichen mit der Istlage (registriert an zwei Querrichtungen) wurden beim PI in der Höhenlage Unterschiede von ca. 10 mm (Bild 5), bei der Verschiebung und der Schräglage von ca. 30 mm gemessen.

Die festgestellten Störeinflüsse und Differenzen beim PI durch Anker, Stabstahleigenschaften, unterschiedliche Auswert-Versionen mit unterschiedlichen Auswerteargorithmen, Einfluss der Übung und Sorgfalt des Auswerters führen zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Anker: Mit den untersuchten Messverfahren kann auch die Lage von Ankern analog zu den Dübeln ermittelt werden. Aufgrund der geringeren Bedeutung sind in den ZTV Beton-StB nur Angaben zur Höhenlage, jedoch keine Toleranzen zur Lage der Anker angegeben.

Hohlräume: Hohlräume über den Dübeln konnten mit den zwei untersuchten Georadarverfahren GR im Prüfstand (Bild 2) und in situ nachgewiesen werden, beim Pulsinduktionsverfahren PI ist dies nicht möglich.

Hohldübel: Im Rahmen einer Versuchsstrecke wurde ein Abschnitt mit Standard-Dübeln und mit Hohlprübeln ($\varnothing 42,6$ mm,

380 mm Länge) verglichen. Bzgl. des Reißens der Fugen, der mittleren Fugenöffnung, der Querkraftübertragung – ermittelt durch die relative vertikale Fugenrandbewegung – und der Lage der Dübel konnten keine wesentlichen Unterschiede im Vergleich zu Standard-Dübeln festgestellt werden. In einem Laborversuch an Prüfkörpern zeigten Hohlübel bei einer Dauerschwingbelastung mit über 3 Mio. Lastwechseln und einer großen Querkraftbeanspruchung ein günstigeres Verhalten. Inwieweit sich dies auch in der Praxis zeigt, sollte durch Wiederholungsmessungen an der Versuchsstrecke nach mehreren Jahren Verkehrsbelastung überprüft werden.

Bei einer einlagig eingebauten, 30 cm dicken Betondecke war die Betonstruktur über den Standard-Dübeln (Hohlräume) bei 3 % der Dübel gestört, wie durch Georadarmessungen GR gezeigt werden konnte. Die Dübel lagen zu 55 % (10 Fugen auf 50 m) bzw. 70 % (11 Fugen auf 3 km, Bild 9) zu tief.

Die Auswertung zahlreicher Messungen zur Dübellage mit beiden zerstörungsfreien Messmethoden – ohne Kontrolle der Ist-Lage – zeigten größere Einbaufehler an. In einer statistischen Häufigkeitsverteilung (Beispiel: Bild 8) und Darstellung der räumlichen Schräglage (Beispiel: Bild 9) wurde die Dübellage mehrerer Abschnitte verglichen. Die Unterschiede der Verteilungen sind so groß, dass eine Abhängigkeit vom Deckenaufbau oder der Anzahl der Lagen oder Schichten daraus nicht abgeleitet werden kann.

Die Querkraftübertragung konnte an einer zu sanierenden Messstrecke studiert werden (Bild 4). Während die relative vertikale Fugenrandbewegung an drei Querschnitten ohne Dübel i. M. 0,53 mm betrug, war sie an 3 Fugen mit einer Verschiebung der Dübel in Längsrichtung von -80 bis +70 mm mit i. M. 0,08 gleich groß wie an den übrigen Querschnitten mit einer Verschiebung der Dübel < 20 mm und ist kleiner als der in hiesigen Untersuchungen abgeleitete Grenzwert von 0,10 mm. D. h. bei einer Verschiebung $dy \approx 75$ mm war kein Einfluss zu verzeichnen, wie dies auch durch Laboruntersuchungen bestätigt wurde.

Bei den Untersuchungen konnte keine Auswirkung der Schräglage der Dübel auf die Längsrisssbildung festgestellt werden. Bei Überbeanspruchung einer Betondecke ist unabhängig von der Dübellage die Querschnittsschwächung eine Gefahr für Rissbildung. Bei einer 24 cm dicken Betondecke bewirkt ein Dübel mit $\varnothing 25$ mm eine Reduzierung der Querschnittsfläche um ca. 10 %. In dem Zusammenhang ist anzumerken, dass Hohlübel mit 42 mm Durchmesser eine Querschnittsschwächung von 18 % verursachen. Unmittelbare Schäden wurden durch hochliegende Dübel mit geringer Überdeckung festgestellt.

Zwischen der Schräglage der Dübel und dem Reißen und Öffnen der Querschnittsfugen konnte im Rahmen dieser Untersuchungen kein eindeutiger Zusammenhang ermittelt werden (Bild 10).

4. Folgerungen für die Praxis

Bei dem untersuchten Georadarverfahren GR wurde im Ringversuch bezüglich dz , dy und s eine ähnliche Genauigkeit wie beim PI erreicht. Die Einschränkungen (Ankerhöhe oder Dübelabstand) treffen hierbei wegen des Messverfahrens nicht zu.

Aufgrund der an den untersuchten Strecken gemachten Beobachtungen besteht hier kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem angestrebten Reißen der Querschnitte und der gemessenen Schräglage, d. h. erst bei einer extremen Überbeanspruchung der in den ZTV Beton-StB angegebenen zulässigen

Toleranzen ist mit einer Beeinflussung der Rissweite zu rechnen.

Die Ergebnisse der Messgenauigkeiten beider Verfahren PI und GR und die Beobachtungen lassen im Rahmen der bisher in den ZTV Beton-StB festgelegten Toleranzen und Beobachtungen keine vertraglich festgelegten Regelungen zu.

Nach den Labor-Untersuchungen und erreichten Genauigkeiten kann eine Abweichung der Höhenlage nach unten von 35 mm einschließlich Messfehler ohne Auswirkung auf die Querkraftübertragung zugelassen werden. Dementsprechend könnte mit beiden Messverfahren die zulässige Höhenlage der Dübel zerstörungsfrei kontrolliert werden, wenn in den ZTV Beton-StB eine Abweichung der Höhenlage von 20 mm nach oben (wie bisher) und 35 mm nach unten aufgenommen würde. Voraussetzung beim Pulsinduktionsverfahren ist: kein Anker in Dübelnähe, Dübelabstand gleich oder größer als der Regeldübelabstand von 25 cm.

Unter der gleichen Voraussetzung könnte mit beiden Messverfahren die zulässige Verschiebung der Dübel zerstörungsfrei kontrolliert werden, wenn in den ZTV Beton-StB eine Verschiebung dy der Dübel von ± 80 mm aufgenommen würde. Nach den Labor-Untersuchungen wird mit dieser theoretisch einschließlich Messfehler möglichen minimalen Einbindetiefe von 170 mm die Querkraft sicher übertragen.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit sind in das "Arbeitspapier zur Prüfung der Lagebestimmung von Dübeln und Ankern in Fahrbahndecken aus Beton" [4], das 2006 herausgegeben wird, eingegangen. Aufgrund der Erfahrungen bei der Messwertaufbereitung wurden Vorschläge für die Definition der Messgrößen, das Koordinatensystem, für eine einheitliche, übersichtliche Datenstruktur des Messprotokolls und ein Strukturvorschlag bei Datenablage erarbeitet, die unabhängig vom Messverfahren sind. Für Anker wurde eine Datenstruktur angegeben. Eine Anleitung für die Messdurchführung und Angaben zu den Messgeräten und deren Überprüfung schaffen die Voraussetzungen einer einheitlichen Dübellagemessung.

Die zerstörungsfreie Bestimmung der Dübellage ermöglicht trotz der noch bestehenden Ungenauigkeiten der Messverfahren eine Verbesserung der Qualität einer Betondecke, da auf Grundlage der Ergebnisse in den Betonfertigungsprozess mit Dübeleinbau zeitnah eingegriffen werden kann.

(Bilder 4 bis 10 folgende Seiten)

Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Betonstraßen (Herausgeber): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, ZTV Beton-StB 01, Ausgabe 2001
- [2] Birmann, D. und E. Noske: Zerstörungsfreie Ermittlung der Dübel- und Ankerlage; Betonstraßentagung 2003, S. 68–73; Schriftenreihe der Arbeitsgruppe "Betonstraßen" Heft 26, 2004 und: tis Tiefbau-Ingenieurbau-Straßenbau 46 (2004) Heft 9, S. 30–35, 19 Abbildungen
- [3] Birmann, D.: Measurement and Effect of Dowel Bars Alignment in Concrete Pavements; 10. Internationales Betonstraßensymposium 2006 in Brüssel, Thema I A
- [4] Arbeitskreis 8.2.4 der FGSV "Prüfvorschrift Dübelortung": Arbeitspapier zur Prüfung der Lagebestimmung von Dübeln und Ankern in Fahrbahndecken aus Beton, Entwurf Ausgabe Februar 2006 (unveröffentlicht)

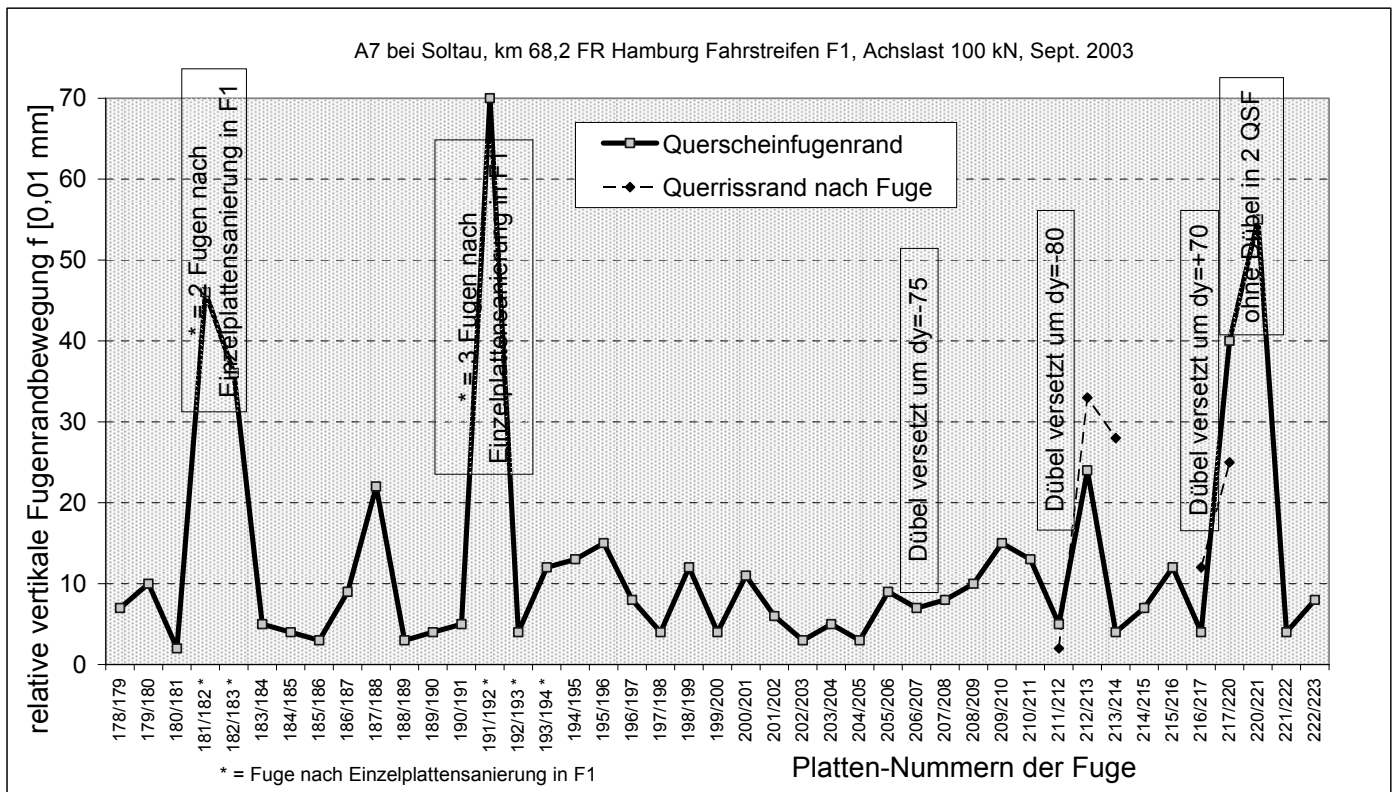


Bild 4: relative vertikale Fugenrandbewegung bei Überfahrt eines Belastungswagens; A 7 bei Soltau, Fahrstreifen F1, Achslast 100 kN

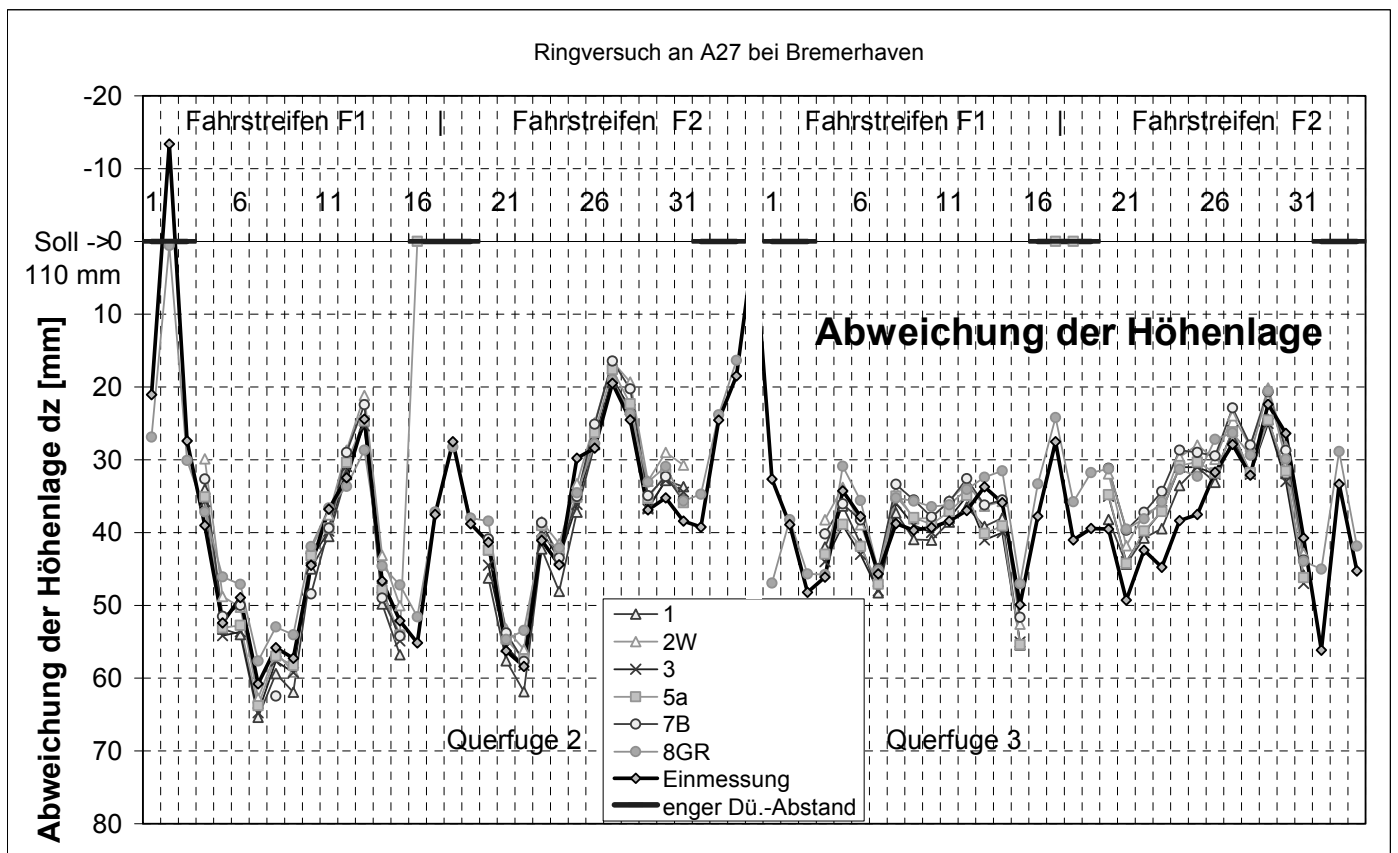


Bild 5: Vergleich der eingemessenen und zerstörungsfrei gemessenen Dübellage in zwei Querfugen, Abweichung der Höhenlage (Soll: 110 mm); 1-7 Betreiber mit PI (7 mit zwei Auswertern B und H); 8 mit Georadar; Ringversuch an der A 27 bei Bremerhaven

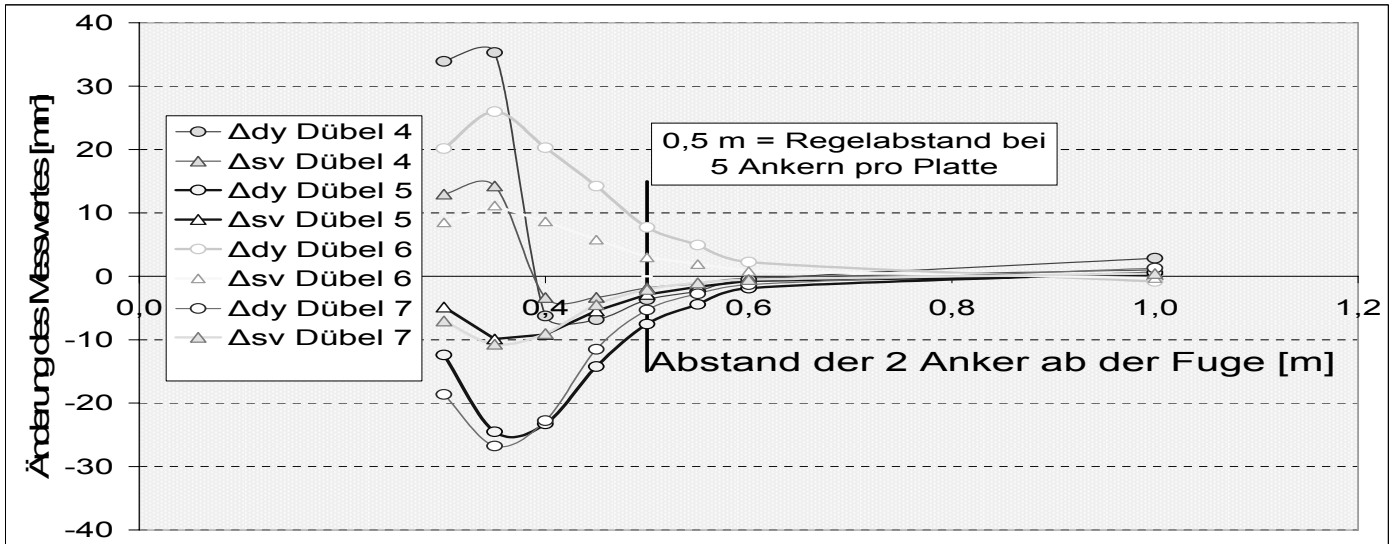


Bild 1: Einfluss von 2 Ankern im Abstand a ab der Querfuge auf die Messergebnisse der Verschiebung dy und der vertikalen Schräglage sv von 3 Dübeln im Bereich der Ankerlänge; Dübel 6 liegt in Höhe der Anker (Δdy ist Änderung der Verschiebung und Δsv ist Änderung der vertikalen Schräglage), PI

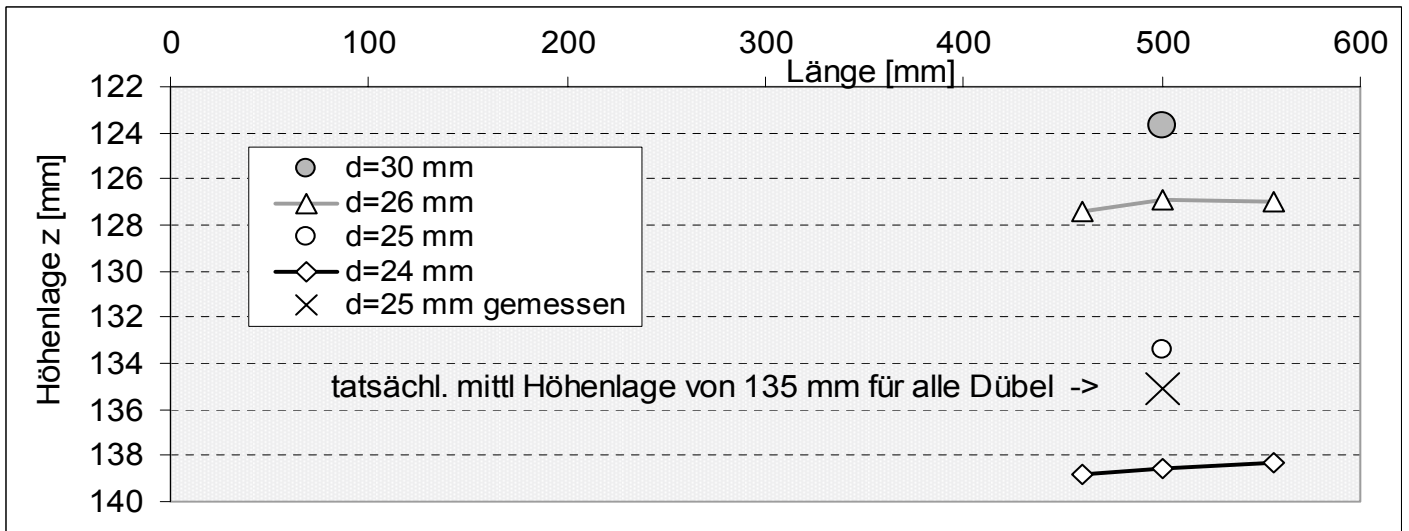


Bild 2: Mit SCAN2 (PI) gemessene Höhenlage z bei Variation der Dübellänge und des Dübeldurchmessers bei konstanter Höhenlage von 135 mm, Messauswertung als Standarddübel; Prüfstand

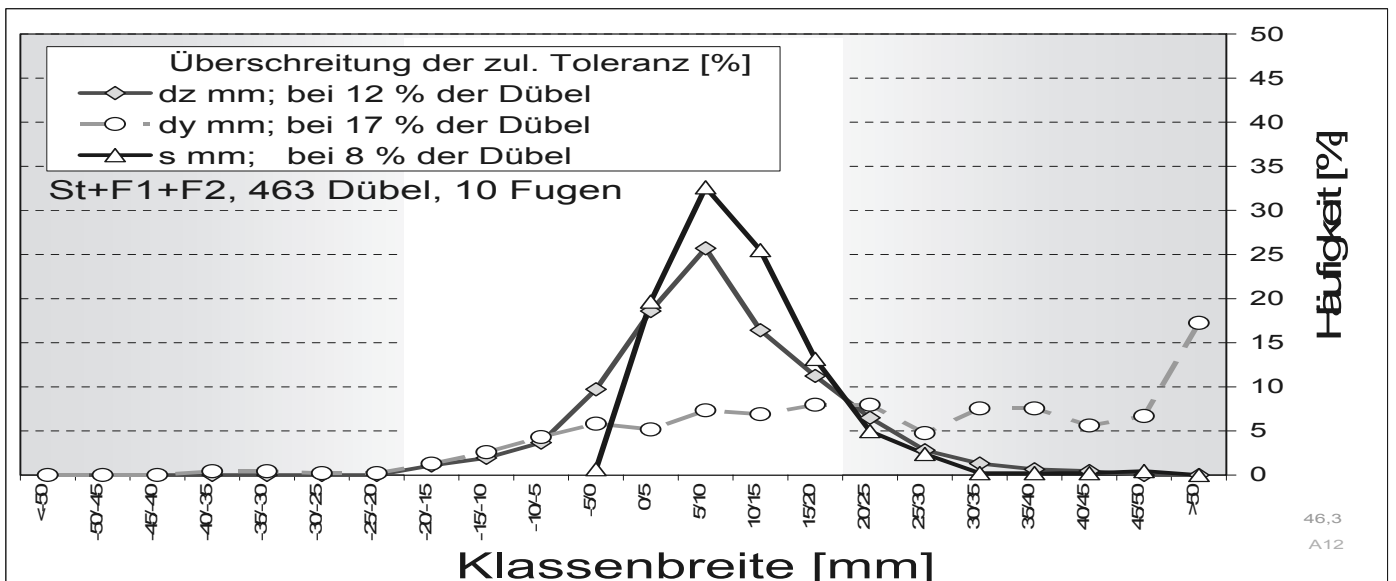


Bild 3: BAB mit 30 cm zweischichtiger Betondecke auf STSuB 1994; Häufigkeitsverteilung der Lage-Messgrößen der Dübel und Überschreitung der Toleranzen für Abweichung der Höhenlage dz, Verschiebung dy und Schräglage s (Pulsinduktionsverfahren)

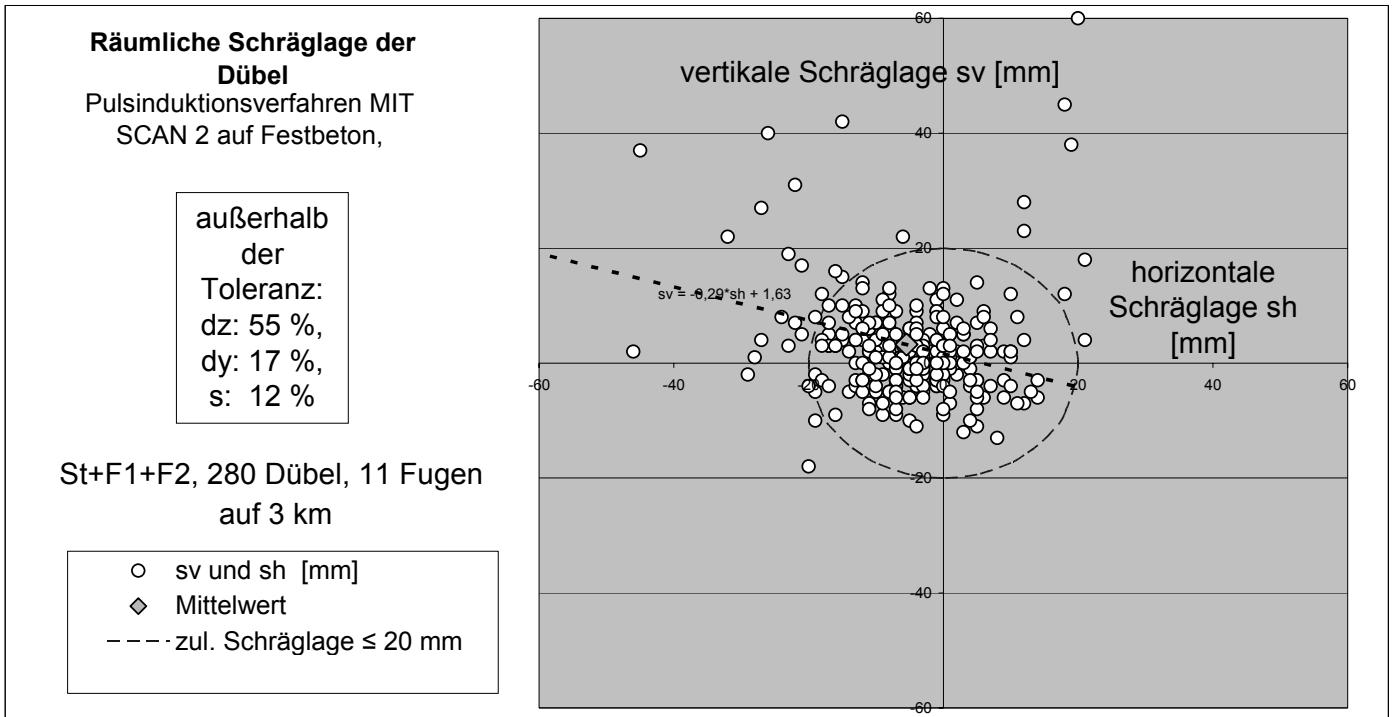


Bild 9: Räumliche Schräglage der Dübel, BAB mit dicker Betondecke auf STSuB, gebaut 2000, mit Pulsinduktionsverfahren gemessen in St, F1 und F2

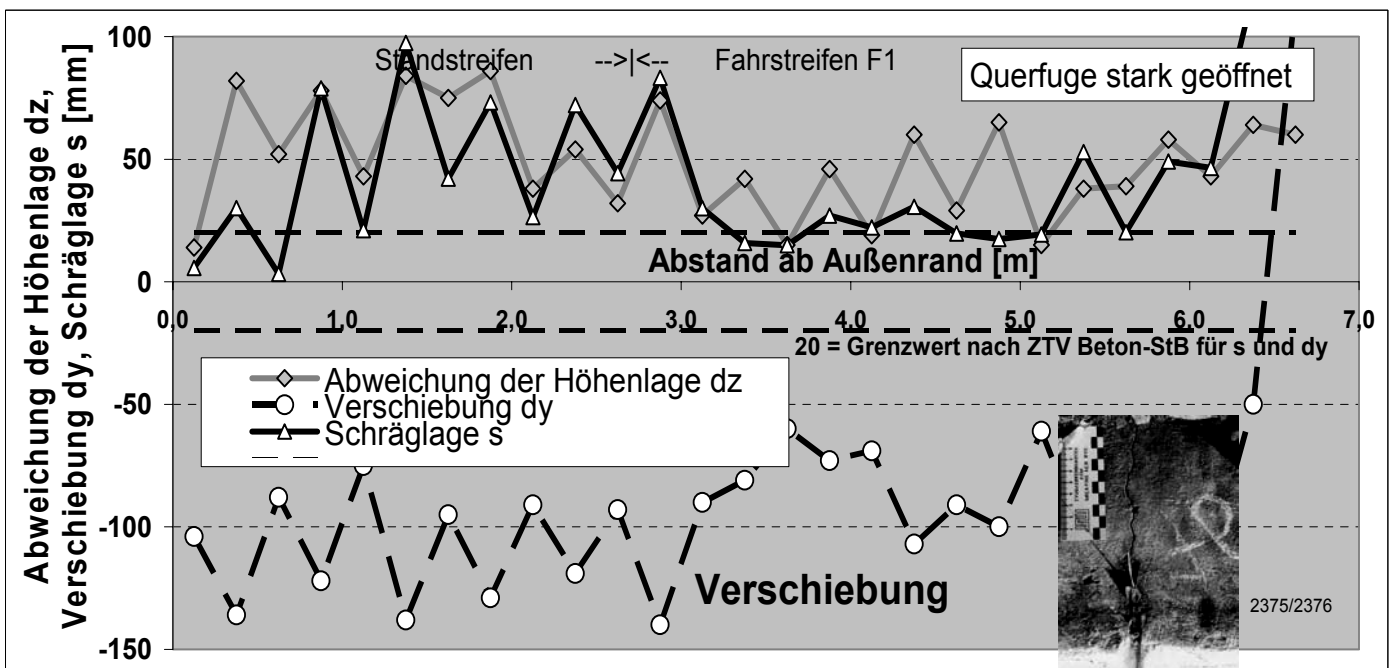


Bild 10: Lage-Messgrößen der Dübel mit deutlicher Abweichung der Höhenlage dz, Verschiebung dy und Schräglage s einer stark geöffneten Querfuge, mit PI gemessen in St und F1