

BETONFAHRBAHNEN AUF BRÜCKEN UND TUNNEL

**Dr. Günter BREYER, Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie, Wien, Österreich**

1. DIE ÖSTERREICHISCHE BETONDECKENBAUWEISE

Der Betonstraßenbau hat in Österreich eine jahrzehntelange Tradition und gilt als technisch ausgereift. Trotzdem sind ständige Verbesserungen erforderlich. Der stark zunehmende Schwerverkehr, erhöhte Anforderungen an die Umwelt, insbesondere beim Lärm, sowie Wirtschaftlichkeitsüberlegungen unter Einbeziehung der gesamten Lebensdauer einschließlich der Erneuerung einer Betonfahrbahndecke erfordern ein ständiges Überdenken und Anpassen der Bauweise und ihrer Technologien.

Die Bauweise ist heute raumfugenlos, mit Plattenlängen von 5,0 bis 5,5 m (maximal jedoch 6,0 m), je nach Deckendichte. Es gilt das Prinzip:

$$\text{Plattenlänge } L \text{ [m]: Plattendichte } d \text{ [cm]} = 20 \text{ bis } 25.$$

Alle Querfugen sind verdübelt, die Längsfugen verankert. Seit einigen Jahren wurde von der ursprünglichen Bauweise, die Querfugen nur ganz schmal zu schneiden (2 mm) abgegangen, da sich zunehmend Probleme mit der Entwässerung der Betondeckenunterlage herausgestellt hatten. Seither werden alle Fugen verschlossen; die Querfugen mit Hohlraumbändern, die Längsfugen mit bituminöser Vergussmasse.

Die Deckendichte und der Schichtenaufbau richtet sich nach der Verkehrsbelastung und sind in der RVS 3.63 [1] festgelegt. Die höchste Lastklasse S beginnt bei 18 Mio. Bemessungsnormlastwechsel (10 t Achse). Das entspricht bei einer 30-jährigen Bemessungsdauer etwa einem Verkehr von 3.000 DTLV (durchschnittlicher täglicher Schwerverkehr). In der Bauweise S beträgt die Dicke der Betondecke 25 cm auf 5 cm bituminöser Tragschicht und 45 cm ungebundener Tragschicht oder 20 cm zementstabilisierter Tragschicht.

Die Betondecke wird im Allgemeinen ohne Bewehrung (abgesehen von Dübel und Ankern) in zwei Schichten frisch auf frisch hergestellt, wobei die polier- und verschleißfesten Zuschläge für den ca. 4 cm dicken Oberbeton verwendet werden.

Seit mehr als 10 Jahren zählt in Österreich die Waschbetonoberfläche (Großkorn 8 mm, ausgebürstete Feinteile) zum Stand der Technik und verfügt über eine ausgezeichnete Griffigkeit und über eine deutlich verminderte Lärmemission gegenüber der klassischen Bauweise mit dem stark strukturierten Querbesenstrich. Von der Bauweise mit Juttetuch-Oberfläche ist man in Österreich wieder abgekommen, da sich Probleme mit der Griffigkeit (fehlende Rautiefe und starke Polierneigung) ergaben.

Die Erhaltungsphilosophie geht heute dahin, dass Betonstraßen die ersten 20 bis 25 Jahre weitgehend erhaltungsfrei bleiben (abgesehen von der Behebung kleinerer Imperfektionen). Auch der Fugenverschluss sollte so lange wie möglich wirksam bleiben. Mit ein bis zwei Instandsetzungskampagnen (Wartung des Fugenverschlusses, Austausch von Einzelfeldern, Verbesserung der Griffigkeit, eventuell dünner bituminöser Überzug) sollte die Lebensdauer dann 40 bis 50 Jahre betragen. Dass dies realistisch ist, zeigen die Erfahrungen mit den bisherigen Liegedauern in Österreich. Als besonders wichtig wird dazu eine wirkungsvolle Entwässerung der Unterlage der Betondecke gesehen. Die Betonbauweise ist in der RVS 8S.06.32 [2] detailliert beschrieben.

2. BETONDECKEN IM TUNNEL

Große Tunnelbauten im Autobahn- und Schnellstraßennetz wurden anfänglich grundsätzlich mit Betondecken ausgerüstet, ebenso einige Straßentunnel im Bundes- und Landesstraßenbereich. Leider hat man damals die Meinung vertreten, dass man sich im Tunnel die Verdübelung mangels Wassers ersparen kann. Dass der freie Querschnitt (ohne Dübel) doppelt so hohe Spannungen aushalten muss, hat man damals noch nicht realisiert. Die Argumente für Beton waren damals lange Haltbarkeit, gute Griffigkeit und - vor allem - eine helle Oberfläche, die die Verkehrssicherheit erhöht und Beleuchtungskosten sparen hilft.

Seit Mitte der 80er-Jahre wurden mehr und mehr Tunnel in Asphaltbauweise ausgeführt, insbesondere dort, wo auch die anschließenden Freilandstrecken asphaltiert wurden.

Erst die beiden großen Brandkatastrophen im Mont Blanc- und im Tauern-Tunnel 1999 brachten ein Umdenken. Aufgrund des besseren Verhaltens im Brandfall ist in Tunnels mit höherer Verkehrsbelastung ab einer Gesamtlänge von ca. 1000 m eine Betondecke vorgeschrieben [3].

Dimensionierung und Bauweise sollte im Tunnel grundsätzlich nicht von der im Freiland abweichen. Eine Einsparung an Deckendicke, die rechnerisch vielleicht zufolge der besseren Untergrundverhältnisse möglich wäre, ist Sparen am falschen Platz. Die geringen Mehrkosten, die im Vergleich zu den Kosten des gesamten Tunnels vernachlässigbar sind, kommen vielfach den Ersparnissen bei den Erhaltungskosten nach längerer Liegedauer zugute.

Tunnel mit durchgehendem Oberbau sollten daher wie im Freilandbereich behandelt werden. Es sollte nach Möglichkeit auch vermieden werden wegen der beengten Platzverhältnisse auf einlagig-einschichtige Bauweise umzustellen. Meist leidet darunter die Ebenheit und die Qualität der Verdübelung, da die automatischen Dübelsetzgeräte dann in der Regel nicht zur Anwendung kommen können.

Bei Tunnels auf einer durchgehenden Sohlplatte wird, nach Möglichkeit, ebenfalls ein Standardoberbau mit reduzierter ungebundener Tragschicht ausgeführt. Ist das nicht der Fall, so ist die Betondecke wie auf einer Brücke zu behandeln.

3. BETONDECKEN AUF BRÜCKEN

3.1 Geschichtlicher Rückblick und Erfahrungen

Seit dem Beginn des Betondeckenbaus in der zweiten Hälfte der 50er-Jahre wurden auch auf Brücken bis 50 m Länge Betondecken ausgeführt. Teilweise wurden auch wesentlich längere Brücken mit Betondecken versehen, wenn sie auf die Zusatzlast bemessen wurden.

Aus den Erfahrungen und Fehleranalysen, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden, hat man eine Reihe von Schwächen der Bauweisen der 1. Generation (bis etwa 1965) und der 2. Generation (bis etwa 1980) analysiert und Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet und umgesetzt.

3.2 Schwachstellenkatalog

- **Verdübelung:** ähnlich wie im Tunnelbau, glaubte man in den ersten 25 Jahren wegen des steifen Untergrundes auf Dübel verzichten zu können.
 - **Deckendichte:** vielfach wurde auf Brücken viel zu dünn gebaut. Trotz einer (damaligen) Sollstärke von 16 cm (mit Baustahlgitterbewehrung 14 cm) wurden oft nur 12 bis 14 cm Plattendicke angetroffen.
 - **Fugenabstände:** trotz der dünnen Deckendichte blieben die Fugenabstände mit 6 bis 8 m fast so groß wie (damals) im Freiland üblich.
 - **Unterlage:** als besonders fatal stellte sich in der 1. Generation die Bauweise mit einer Unterlage aus einem nicht frost-tausalz-beständigem Feinbeton-Estrich heraus. Die stark zunehmende Salzbelastung ab den 70er-Jahren löste den Estrich auf und es kam - begünstigt durch die fehlenden Dübel - bald zu Stufenbildungen und zur Zerstörung der Betondecke. Später wurde der Betonestrich durch eine ca. 5 cm dicke Asphaltsschicht ersetzt.
 - **Fugenverschluss:** obwohl von Anfang an auf Brücken die Fugen vergossen wurden, wurde die Fugenpflege stark vernachlässigt, sodass sie schon nach kurzer Zeit undicht waren.
 - **Entwässerung der Unterlage:** bis heute ist die Entwässerung der Unterlage der Betondecke auf Brücken nicht eindeutig und einheitlich gelöst. Probleme ergeben sich vor allem in den Tiefpunkten vor den Übergangskonstruktionen.
 - **Widerlagerbereich:** um zu verhindern, dass Längsdruckkräfte, die sich in der Betondecke im Anschlussbereich an die Brücken aufbauen, die Übergangskonstruktion bzw. das Widerlager gefährden, wurden mindestens 2 Raumfugen vor und nach der Brücke angeordnet. Durch mangelnde Wartung ging die Funktionstüchtigkeit dieser Raumfugen verloren und es ist immer wieder zu erheblichen Beschädigungen der Übergangskonstruktion gekommen.
- Übergangskonstruktionen:** sind grundsätzlich eine Schwachstelle bei jeder Brücke. Wird bei der Verankerung der Übergangskonstruktion im anschließenden Brückenbereich die extrem hohe Ermüdungsbeanspruchung unterschätzt, so kommt es relativ bald zu Schäden (Risse und Ausbrüche im Verankerungsbeton, Korrosion der Verankerungsbewehrung, Abplatzen des Betons über der Bewehrung).

3.3 Problem der Längsdruckkräfte im Wiederlagerbereich

Zum besseren Verständnis des Entstehens und der Wirkung von Längsdruckkräften in der Betondecke auf dem Endbereich vor und nach der Brücke werden diese anhand typischer Belastungsfälle erläutert; (siehe dazu auch [3, 4, 5, 6, 7, 8]).

3.31 Behinderte Ausdehnungsmöglichkeit (keine Raumfuge in der Nähe)

a) alle Fugen funktionstüchtig verfüllt

- bei tiefen Temperaturen ist die Betondecke spannungslos
- bei steigender Temperatur erfolgt ab der sogenannten "Nullspannungstemperatur" der Aufbau von Längsdruckkräften (die Nullspannungstemperatur entspricht in diesem Fall etwa der Temperatur beim Einbau der Betondecke)
- bei weiterem Temperaturanstieg entstehen Längsdruckkräfte, die jedoch weit unter den zulässigen Druckkräften liegen und bei intaktem Betonquerschnitt keinerlei Probleme darstellen.

b) Fugen unvergossene oder undicht:

- im Winter (Fugen offen) werden Feinstoffe eingeschlämmt und dadurch der Bewegungsspielraum verkleinert
- bei steigender Temperatur erfolgt der Druckaufbau bereits viel früher (Nullspannungstemperatur sinkt deutlich unter die Einbautemperatur).
- der Druckaufbau kann bis zu 10 N/mm^2 erfolgen. Das ist noch immer erst 25 % der zulässigen Druckkraft ("B 40"). Probleme kann es hier geben, wenn der Betonquerschnitt nicht auf ganze Breite funktionstüchtig ist, wie etwa bei einseitigen Feldauswechselungen mit Asphaltfeldern oder bei Minderung der Deckendicke, wie z.B. bei großflächigen Schäden im Unterton. Das sind dann die klassischen Aufstauchungssituationen ("blow up") [9].

3.32 unbehinderte Ausdehnungsmöglichkeit (Raumfugen)

a) intakter Fugenverschluss:

- die Decke dehnt sich bei erstmalig hoher Temperatur zulasten des Raumfugenspaltes aus, wobei sie nur durch die Reibung auf der Unterlage behindert wird.
- bei Abkühlung verkürzt sich jeweils nur die einzelne Platte
- dieser Mechanismus wiederholt sich im Idealfall ad infinitum
- es entstehen keine Druckkräfte mehr.

b) unverschlossene Fugen:

- bei der erstmaligen Ausdehnung wie in a)
- im Winter verfüllt sich der entstandene Fugenspalt mit Feinstoffen.
- bei wieder steigender Temperatur erfolgt schon bald ein Druckaufbau über die verstopfte Fuge hinweg und die Decke schiebt neuerlich in Richtung Raumfuge.
- Fortsetzung dieses Vorgangs jedes Jahr.
- der Dehnweg der Raumfuge (in der Regel 20 mm) ist rasch erschöpft (bereits nach 4 - 6 Jahren).
- Gefahr der Beschädigung der Übergangskonstruktion und des Widerlagers.

3.4 Anwendungs- und Baugrundsätze für Betondecken auf Brücken

In Österreich werden Betondecken grundsätzlich auch auf Brücken eingebaut wenn:

- die Brücke kurz ist (10 - 20 m Spannweite)
- keine Übergangskonstruktion erforderlich ist (bis ca. 40 m)
- bei ausreichender Tragfähigkeit der Brücke für eine Betondecke in voller Freilanddicke, mindestens jedoch 20 cm
- bei ausreichender Steifigkeit der Brücke (Stahlkonstruktionen meist weniger geeignet, Verbundkonstruktionen mit Vorbehalt. Vorsicht bei sehr weit ausladenden Kragplatten).

Folgende Grundsätze sind zu beachten:

- Deckendicke wie im Freilandbereich, mindestens jedoch 20 cm
- volle Verdübelung der Querfugen und Verankerung der Längsfugen
- Feldlänge auf die Deckendicke abstimmen (Kriterium: $L = 20d$)
- voller Fugenverschluss bei Neubauten
- nachträglicher Fugenverschluss auf älteren Betondecken ohne (funktionstüchtigen) Fugenverschluss;
- im Anschlussbereich an die Brücke auf mindestens 200 m Länge funktionstüchtiger Fugenverschluss
- Verhinderung von Längsdruckkräften auf Übergangskonstruktionen und Widerlager durch
 - Standardlösung: ausreichende Raumfugen (2 bis 3 Stück pro Seite)
 - oder Einbau eines Asphaltzwischenfeldes (kann bei Bedarf leicht abgefräst werden)
 - Endsporne sind sehr aufwendig und haben sich in der Vergangenheit nicht bewährt (müssten, um voll wirksam zu sein noch viel massiver ausgebildet werden)
 - neue Lösung: Erhöhung der Reibung zur Unterlage der Betondecke durch leichtes Anfräsen der darunter liegenden Asphaltsschicht
- besondere Beachtung des Übergangsbereiches:
 - über den festen Lagern oder bei kleineren Dehnwegen von ca. ± 3 mm (entspricht 10 - 20 m Brückenlänge: Schleppblech und Vlieszwischenlage unter der Asphaltzwischenlage. "Drehraumfuge" direkt über dem Ende der Brückenplatte, ohne Dübel, eventuell Randfelder bewehren, wenn fertigungstechnisch möglich
 - bis etwa 40 m Brückenlänge genügen in der Regel Unterflurkonstruktionen. Darüber wieder eine "Drehraumfuge"
 - Drehraumfugen müssen immer direkt über dem Tragwerksende liegen und sind bei schiefen Brücken entsprechend schief anzuordnen. Zur Vermeidung von zu langen oder zu kurzen Feldern sowie von zu spitzen Ecken ($< 75^\circ$) müssen spezielle Fugenaufteilungen erfolgen.
 - für Widerlager mit Übergangskonstruktionen ist die Betondecke auf etwa 1,5 m vor und nach der Konstruktion auszusparen. Der Einbettungs beton für die Übergangskonstruktion ist entsprechend der hohen Ermüdungsbeanspruchung schwer zu bewerten.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Betondecken in Tunnels und auf Brücken haben in Österreich eine lange Tradition. Die Betondecken der ersten und zweiten Generation bis etwa 1980 wiesen eine Reihe von

Mängel auf, die zum Großteil auf eine zu geringe Deckendicke, zu große Feldlängen, fehlende Verdübelung und fehlenden bzw. schadhafte Fugenverschluss zurückzuführen waren. Aus der Schadensanalyse wurde seither kontinuierlich eine Reihe von Verbesserungen und zusätzliche Maßnahmen in die Praxis aufgenommen.

In österreichischen Tunnels ist, als Erkenntnis aus den Brandkatastrophen der letzten Jahre, ab einer Länge von ca. 1000 m und bei entsprechender Verkehrsbelastung wieder eine Betondecke auszuführen, auch wenn die anschließenden Freilandbereiche in Asphaltbauweise ausgeführt werden.

Betondeckenbaulose werden grundsätzlich über kleine und mittlere, zum Teil auch große Brücken hinweggezogen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- auf der Brücke:
 - Tragfähigkeit der Brücke überprüfen
 - Mindestdicke für Decke einhalten
 - Verdübeln und Verankern
 - alle Fugen verschließen
 - maximale Feldlängen beachten
 - bei schiefen Brücken Felder mit spitzen Ecken vermeiden bzw. bewehren
 - Unterlage der Betondecke entwässern

- vor und nach der Brücke Längsdruckkräfte auf Übergangskonstruktionen und Widerlager vermeiden durch:
 - funktionstüchtige Raumbefuge
 - intakten Fugenverschluss (bei älteren Decken im Anschlussbereich auf mindestens 200 m Länge)
 - Reibung zur Unterlage der Betondecke erhöhen (Anfräsen)

5. LITERATUR

- [1] RVS 3.63: Oberbaubemessung, FSV, Wien 1998
- [2] RVS 8S.06.32: Betondecken, FSV, Wien 1998, Ergänzungen 2001
- [3] RVS 9.234: Projektierungsrichtlinien für Tunnel, Bauliche Gestaltung, FSV, Wien 2001
- [4] Eisenmann J.: Betonfahrbahnen, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, Düsseldorf 1979
- [5] Eisenmann J.: Bedeutung und konstruktive Ausbildung von Fugen in Betondecken. Straße & Autobahn 8/1983, Köln
- [6] Wicke M.: Betondecken-Messstrecken Golling, Straßenforschung des BMwA Heft 51, 1976 Wien
- [7] Wicke M.: Betondecken Messstrecken Golling, Teil II, Straßenforschung des BMwA, Heft 222, 1983 Wien
- [8] Hartl G.: Zur Frage der Längsdruckkräfte in Betonfahrbahndecken, Straße und Autobahn 5/1985, Köln
- [9] Merkblatt: Vorbeugende Instandsetzung von Aufstauchungsgefährdeten Stellen, VÖZ, 1980, Wien.

BETONOVÉ VOZOVKY NA MOSTECH A V TUNELECH

Dr. Günter Breyer
Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie, Wien, Österreich

The present technology of cementitious concrete constructions in Austria lies in consistently respecting the relation between the thickness and length of slabs, the sealing of all joints, the double-layer technology via the fresh-on-fresh system, and the consistent drainage of the foundation under the concrete top layers. The transverse joints are secured with parallel bolts and longitudinal anchors. Under the upper concrete layer, a 4cm sub-layer of asphalt is used. Due to inadequate anti-skid properties, the dredged jute modification was omitted and now an upper concrete layer, 4cm thick, with grain of max. size 8mm with a washed surface, is used. This modification is also carried out with gravel aggregate of max. 11mm granules in sections where there aren't high demands on noise. In tunnels, roads with lengths from 1000m and longer are recently being compulsorily made with only concrete top layers, while respecting the same principles as for top layers for open roadways.

On bridges, concrete top layers are used fundamentally on shorter bridges, on bridges without transition constructions and bridges with sufficient load-carrying capacity and rigidity. In the presentation, principles are given that should be respected when building concrete roads on bridges.

1. ZPŮSOB STAVBY BETONOVÝCH KRYTŮ V RAKOUSKU

Stavba betonových vozovek má v Rakousku tradici několik desetiletí a je technicky vyspělá. Přesto je nutné stále něco zlepšovat. Stále rychleji přibývá těžká doprava, zvyšují se nároky na životní prostředí, zejména na hluk. I ekonomické úvahy, zahrnující celkovou životnost včetně obnovení betonového krytu vozovek, vyžadují stále přizpůsobovat stavební technologie.

Způsob stavby je dnes bez prostorových spár, s délkami desek od 5,0 až 5,5 m (maximálně však 6,0 m), vždy podle tloušťky krytu. Platí princip:

$$\text{délka desek } L \text{ (m) : tloušťka desek } d \text{ (cm) = 20 až 25.}$$

Všechny příčné spáry jsou osazeny kluznými trny, podélné spáry jsou kotveny. Před několika lety se upustilo od původního způsobu, kdy se příčné spáry řezaly jako velmi tenké (2 mm), protože přibývalo problémů s odvodněním podkladu betonového krytu. Od té doby se všechny spáry utěsňují, příčné spáry dutými vložkami, podélné asfaltovou zálivkovou hmotou.

Tloušťka krytu a provedení konstrukčních vrstev odvisí od zatížení provozem a jsou stanoveny v RVS 3.63 (1). Nejvyšší třída zatížení S začíná u 18 Mio. Dimenzuje se na normálové střídavé zatěžování (10 t na osu). To odpovídá při odhadnuté 30-leté životnosti cca dopravě 3.000 DTLV (zkratka pro průměrnou denní těžkou dopravu). U třídy S činí tloušťka betonového krytu 25 cm na 5 cm živěné podkladní vrstvě a 45 cm nestmelené podkladní vrstvě nebo 20 cm cementem stabilizované podkladní vrstvě.

Betonový kryt se obecně zhotovuje bez výztuže (nehledě na kluzné trny a kotvy) ve dvou vrstvách "čerstvé na čerstvé", přičemž se použije pro 4 cm tlustý horní beton kamenivo odolné vůči ohlazení a otěru.

Již více než 10 let patří v Rakousku povrch z vymývaného betonu (největší zrno 8 mm, vykartáčované jemné částice) k technologii vykazující vynikající drsnost a zřetelně snížené emise hluku oproti klasickému způsobu

stavby s hlubokou příčnou striáží vytvářenou košťaty. V Rakousku se upustilo od úpravy povrchu pomocí juty, jelikož se vyskytly problémy s drsností (chybějící hloubka zdrnění a silné ohlazování).

Filozofie údržby se dnes ubírá tím směrem, že prvních 20 až 25 let zůstanou betonové vozovky převážně bez údržby (s výjimkou odstranění malých vad). Také těsnění spár by mělo zůstat co nejdéle účinné. S jednou či dvěma udržovacími akcemi (údržba těsnění spár, výměna jednotlivých polí, zlepšení drsnosti, ev. tenký asfaltový nátěr), by měla životnost činit 40 až 50 let. Že je to reálné, ukazují zkušenosti s dosavadní dobou existence vozovek v Rakousku. Za obzvlášť důležitý fakt se považuje účinné odvodnění podkladu pod betonovým krytem. Způsob stavby je detailně popsán v RVS 8S.06.32 /2/.

2. BETONOVÉ KRYTY V TUNELECH

Velké stavby tunelů v síti dálnic a rychlostních silnic byly zpočátku zásadně vybaveny betonovými kryty, rovněž tak některé silniční tunely v oblasti spolkových a místních silnic. Bohužel se tenkrát zastávalo stanovisko, že protože v tunelu není voda, nemusí být provedeno osazení kluzných trnů. Tenkrát ještě nebylo přihlíženo k faktu, že volná hrana příčných spár (bez kluzných trnů) musí přenést dvojnásobné napětí. Argumenty pro beton byly tenkrát dlouhá trvanlivost, dobrá drsnost a především světlý povrch, který zvyšuje bezpečnost dopravy a pomůže ušetřit náklady na osvětlení.

Od poloviny 80tých let se stále více prováděl asfaltový způsob stavby tunelů, zejména tam, kde se také prováděly v navazující volné trase asfaltové kryty.

Změnu ve způsobu myšlení přinesly až oba velké katastrofické požáry tunelů v Mont Blancu a v Tauernu v roce 1999. Z důvodu příznivějšího chování v případě požáru je v tunelech s vyšším zatížením dopravou od celkové délky cca 1000 m předepsán betonový kryt /3/.

Dimenzování a způsob stavby by se v tunelu neměl odchylovat volné trasy. Úspora na tloušťce krytu, která by výpočtově byla ev. možná v důsledku lepších poměrů podloží, je šetření na nepravém místě. Nepatrné dodatečné náklady, které jsou ve srovnání s náklady celého tunelu zanedbatelné, prospějí mnohonásobně při úsporách nákladů na údržbu po delší době od provedení vozovky.

Tunely s průběžnou horní stavbou by měly být pojednány stejně jako na volné trase. Podle možností by mělo být také upuštěno od provádění v jedné vrstvě z důvodu omezeného místa. Většinou tím trpí rovnost a také kvalita uložení kluzných trnů, neboť pak zpravidla nemůže být použito k osazení trnů automatické zařízení.

U tunelů na průběžné základové desce se podle možnosti provádí rovněž standardní horní stavba s redukovanou nestmelenou podkladní vrstvou. Toto neplatí pro případ, když je betonový kryt proveden jako na mostě.

3. BETONOVÉ KRYTY NA MOSTECH

3.1 Zpětný pohled do historie a zkušenosti

Od počátku stavby betonových krytů ve druhé polovině padesátých let byly také na mostech do 50 m délky provedeny betonové kryty. Částečně byly také podstatně delší mosty opatřeny betonovými kryty, když byly dimenzovány na dodatečné zatížení.

Zkušenosti a chyby ze staveb 1.generace (cca do r. 1965) a 2.generace (cca do r. 1980) se v posledních letech analyzovaly a byly vypracovány návrhy pro zlepšení.

3.2 Katalog slabých míst

-Osazení kluzných trnů: podobně jako při stavbě tunelu se v prvních 25 letech věřilo tomu, že z důvodu tuhého podkladu může být upuštěno od kluzných trnů.

-Tloušťka krytu: mnohokrát se na mostech stavěl příliš tenký kryt. Navzdory (tehdejší) předepsané tloušťce 16 cm (s výztužnou ocelovou mřížovinou 14 cm), byly často nalezeny jen 12 až 14 cm tlusté desky.

-Vzdálenost spár: navzdory tenké tloušťce krytu zůstaly vzdálenosti spár 6 až 8m, téměř tolik, kolik bylo obvyklé (tenkrát) na krytu na volné trase.

-Podklad: jako obzvlášť fatální se ukázal v 1.generaci provedení podkladu z jemnozrnného betonu–mazaniny, který nebyl odolný vůči mrazu a rozmrazovacím solím. Od 70tých let silně přibyla intenzita používání

rozmrazovacích solí. Jejich působením se mazanina rozrušila a uvolnila a došlo brzy - umocněno chybějícími kluznými trny- k tvoření schůdků a k rozrušení betonového krytu. Později byla nahrazena cca 5 cm asfaltovou vrstvou.

-Těsnění spár: i když zpočátku byly na mostech spáry zality, byla údržba spár silně zanedbávána a tudíž již po krátké době nebyly těsné.

-Odvodnění podkladu: dodnes není jednoznačně a jednotně vyřešeno odvodnění betonového krytu na mostech. Problémy se vyskytují především v nejnižších bodech přechodové konstrukce.

-Oblast opěry: aby se zamezilo podélným tlakovým silám, které vznikají v betonovém krytu v oblasti napojení na mosty ohrožovat přechodovou konstrukci resp. opěru, byly před a za mostem umístěny nejméně dvě prostorové spáry. Kvůli nedostatečné údržbě zanikla funkčnost těchto spár a stále častěji docházelo ke značnému poškození přechodové konstrukce.

-Přechodové konstrukce: jsou slabým místem každého mostu. Jestliže se při zakotvení přechodové konstrukce do navazující oblasti mostu podcení extrémně vysoké namáhání z únavy, dojde relativně brzy ke škodám (trhlíny a výlomy v kotevním betonu, koroze kotevní výztuže, vydrolování betonu nad výztuží).

3.3 Problém podélných tlakových sil v oblasti opěry

K lepšímu pochopení vzniku a působení podélných tlakových sil v betonovém krytu v koncové oblasti před a za mostem následuje vysvětlení podle typických případů zatížení (viz také 3, 4, 5, 6, 7, 8).

3.31 Omezená možnost dilatace (v blízkosti nejsou prostorové spáry)

a) všechny spáry správně funkčně zality

-při nízkých teplotách je betonový kryt bez pnutí

-při stoupajících teplotách následuje od tzv. "teploty nulového napětí" vzestup podélných tlakových sil (teplota nulového napětí odpovídá v tomto případě cca teplotě při pokládce betonového krytu)

-při dalším vzestupu teplot vznikají podélné tlakové síly, které jsou však hluboko pod přípustnými tlakovými silami a při neporušeném betonu (v příčném řezu) nepředstavují žádné problémy

b) neutěsněné nebo netěsné spáry:

-v zimě (spáry jsou otevřené) se spáry zanesou jemnými částicemi a tím se zmenší prostor pro pohyb

-při stoupající teplotě vzniká tlak mnohem dříve

(teplota nulového napětí výrazně klesne pod teplotu při pokládce)

-vznikající tlak může dosáhnout až 10 N/mm². To je stále ještě 25 % přípustného tlaku pro beton ("B 40"). Problémy zde mohou nastat, jestliže beton nebude v celém průřezu řádně funkční, asi jako u jednostranných výměn polí asfaltem nebo při snížení tloušťky krytu, např. při velkoplošném poškození spodního betonu. To jsou pak klasické situace "vystřelení, vzduší" ("blow up") /9/.

3.32 neomezená možnost dilatace /prostorové spáry/

a) neporušené utěsnění spár:

-kryt se rozpíná nejprve při vysoké teplotě a využívá prostorových spár, přičemž je omezován pouze třením o podklad

-při ochlazování se zkracuje vždy jen každá jednotlivá deska

-tento mechanismus se v ideálním případě opakuje do nekonečna

-nevznikají již žádné tlaky

b) neutěsněné spáry:

-při první expanzi jako v bodě a)

-v zimě se zaplní spárová komůrka jemnými částicemi

-při opětovně stoupající teplotě již brzy vzniká tlak přenášející se přes zanesenou (ucpanou) spáru dál a kryt se posune opět ve směru prostorové spáry

-tento proces se opakuje každým rokem

-kapacita rozšíření prostorové spáry (zpravidla 20 mm) je rychle vyčerpána (již po 4 až 6 letech)

-nebezpečí poškození přechodové konstrukce a opěr.

3.4 Zásady pro používání a stavbu betonových krytů na mostech

V Rakousku se pokládají betonové kryty zásadně také na mostech, je-li:

-most krátký (10- 20 m rozpětí)

-nejsoú nutné přechodové konstrukce (do cca 40 m)

-při dostatečné únosnosti mostu pro betonový kryt v plně tloušťce takové jako ve volné trase, nejméně však 20 cm

-při dostatečné tuhosti mostu (ocelové konstrukce jsou většinou méně vhodné, spřažené konstrukce s výhradou. Pozor na konzolové desky s velkým vyložení).

Je nutné věnovat pozornost následujícím základním principům:

- tloušťka krytu stejná jako na líniové stavbě, nejméně však 20 cm
- plné osazení příčných spár kluznými trny a kotvení podélných spár
- sladit délku polí L s tloušťkou krytu d (kritérium: $L = 20d$)
- úplné utěsnění spár u novostaveb
- dodatečné utěsnění spár na starších betonových krytech bez (řádě funkčních) utěsněných spár
- v oblasti koncových polí u mostu provést nejméně v délce 200 m řádné utěsnění spár
- zabránit přenosu podélných tlakových sil na přechodovou konstrukci a opěru takto:
 - standardní řešení: fungující prostorové spáry (2 až 3 na každé straně)
 - nebo pokládka asfaltového mezípole (může se v případě potřeby lehce vyfrézovat)
 - koncové ostruhy (kotvící konstrukce) jsou velmi nákladné a v minulosti se neosvědčily (musely by být vytvářeny mnohem masivněji, aby byly plně účinné)
 - nové řešení: zvýšení tření podkladu a betonového krytu lehkým vyfrézováním asfaltové vrstvy ležící pod ním

-zvláštní pozornost věnovat přechodovým oblastem:

- nad pevnými ložisky nebo u menších dilatací cca ± 3 mm (to odpovídá 10-20m délce mostu): kluzný plech a textilní mezivrstva pod asfaltovou mezivrstvou. Prostorová dilatační spára přímo nad koncem mostní desky bez kluzných trnů, eventuálně vyztužit krajní pole, pokud to bude technicky možné
- do délky mostu 40m postačí zpravidla podpovrchová dilatace.

Nad tím opět prostorová dilatační spára

- prostorové dilatační spáry musí vždy ležet přímo nad koncem nosné konstrukce a u šikmých mostů musí být umístěny přiměřeně šikmo.

K zamezení příliš dlouhých nebo příliš krátkých polí jakož i ostrých rohů ($< 75^\circ$) musí následovat speciální rozvržení spár.

- pro opěry s přechodovými konstrukcemi je nutné před a za konstrukci vynechat 1,5 m betonového krytu. Ložný beton pro přechodovou konstrukci lze v důsledku vysokého namáhání na únavu jen těžko uvažovat.

4. SHRnutí

Betonové kryty v tunelech a na mostech mají v Rakousku dlouhou tradici. Betonové kryty první a druhé generace vykazovaly asi až do r. 1980 řadu nedostatků, které byly zapříčiněny převážně příliš slabou tloušťkou krytu, značnými délkami polí, chybějícím osazením kluznými trny a chybějícím resp. špatným utěsněním spár. Z analyzovaných chyb byla od té doby do praxe postupně uvedena řada zlepšení a dodatečných opatření.

V rakouských tunelech se musí (na základě poznatků z katastrofických požárů z posledních let) od délky cca 1000 m a při odpovídajícím dopravním zatížení opět provádět betonový kryt, i když budou navazující úseky na volné trase prováděny v asfaltu.

Betonové kryty se zásadně přetáhnou přes malé a střední a z části i velké mosty, jsou-li splněny následující předpoklady:

-na mostě:

- prověřit nosnost mostu
- zachovat minimální tloušťku krytu
- osadit kluzné trny a kotvy do spár
- utěsnit všechny spáry
- dbát na maximální délku polí
- vyvarovat se mostních polí s ostrými rohy nebo je vyztužit
- odvodnit podklad betonového krytu

-před a za mostem zamezit přenosu podélných tlakových sil na přechodovou konstrukci a opěru prostřednictvím:

- řádě fungující prostorové spáry
- neporušeného utěsnění spár (u starších krytů v oblasti koncových polí na délce nejméně 200m)
- zvýšením tření podkladu betonového krytu (frézováním)

BETONFAHRBAHNEN AUF BRÜCKEN UND TUNNEL

**Dr. Günter BREYER, Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie, Wien, Österreich**

ZUSAMMENFASSUNG

Betondecken in Tunnels und auf Brücken haben in Österreich eine lange Tradition. Die Betondecken der ersten und zweiten Generation bis etwa 1980 wiesen eine Reihe von Mängeln auf, die zum Großteil auf eine zu geringe Deckendicke, zu große Feldlängen, fehlende Verdübelung und fehlenden bzw. schadhafte Fugenverschluss zurückzuführen waren. Aus der Schadensanalyse wurde seither kontinuierlich eine Reihe von Verbesserungen und zusätzliche Maßnahmen in die Praxis aufgenommen.

In österreichischen Tunnels ist, als Erkenntnis aus den Brandkatastrophen der letzten Jahre, ab einer Länge von ca. 1000 m und bei entsprechender Verkehrsbelastung wieder eine Betondecke auszuführen, auch wenn die anschließenden Freilandbereiche in Asphaltbauweise ausgeführt werden.

Betondeckenbaulose werden grundsätzlich über kleine und mittlere, zum Teil auch große Brücken hinweggezogen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- auf der Brücke:
 - Tragfähigkeit der Brücke überprüfen
 - Mindestdicke für Decke einhalten
 - Verdübeln und Verankern
 - alle Fugen verschließen
 - maximale Feldlängen beachten
 - bei schiefen Brücken Felder mit spitzen Ecken vermeiden bzw. bewehren
 - Unterlage der Betondecke entwässern

- vor und nach der Brücke Längsdruckkräfte auf Übergangskonstruktionen und Widerlager vermeiden durch:
 - funktionstüchtige Raumfuge
 - intakten Fugenverschluss (bei älteren Decken im Anschlussbereich auf mindestens 200 m Länge)
 - Reibung zur Unterlage der Betondecke erhöhen (Anfräsen)

Betonové vozovky na mostech a v tunelech **G.Breyer**

anotace

Současná technologie stavby cementobetonových krytů v Rakousku spočívá v důsledném respektování vztahu mezi tloušťkou a délkou desek, utěsňování všech spár, dvouvrstvové technologii systémem čerstvé na čerstvé a důsledném odvodnění podkladu pod betonovým krytem. Příčné spáry jsou opatřeny trny, podélné kotvami. Pod betonovým krytem se provádí 4cm asfaltová mezivrstva. Z důvodu nedostatečných protismykových vlastností byla opuštěna úprava povrchu vlečenou jutou a nyní se provádí horní beton s max.zrnem 8 mm o tloušťce vrstvy 4 cm s vymývaným povrchem. Tato úprava se provádí také s kamenivem o max. zrnů 11mm a to v úsecích bez zvláštních nároků na hluk.

V tunelech se vozovky od délky 1 000m v současné době povinně provádějí pouze s betonovým krytem, přičemž se respektují stejné zásady jako u krytu na volné trase. Na mostech se betonové kryty provádějí zásadně na krátkých mostech, na mostech bez přechodových konstrukcí a při dostatečné únosnosti a tuhosti mostu. V příspěvku jsou uvedeny zásady, které je nutno respektovat při stavbě betonových vozovek na mostech.