

Hohlräume unter Straßen – Beurteilung der Verkehrslast

Stefan PINTER

Allgemein

Immer wieder werden in der Vergangenheit gebaute Hohlräume unter Straßen (z.B. Erdkeller, Erdställe) vorgefunden, welche jahrelang keine Probleme verursacht haben. Meistens ist eine Änderung der Verkehrssituation der Grund für eine Überprüfung des Straßenzuges auf unterirdische „Problemstellen“, sei es aufgrund von Baustellenzufahrten auf denen schwere Fahrzeuge erwartet werden, oder Umleitungen durch ein üblicherweise weniger befahrenes Gebiet. Manchmal werden solche Hohlräume erst beachtet, wenn schon ein Schaden sichtbar ist. Erste Anzeichen sind z.B. Senkungen in der Straße und Wasserpfützen wo vorher keine waren, oder im akuten Fall ein (Teil-) Einsturz eines Hohlraums. Grund für etwaige Schäden sind die höheren Verkehrsbelastungen von Straßen, oder auch andere Ursachen und Änderungen in der Umgebung, welche z.B. auf den Wasserhaushalt Einfluss nehmen. Vor allem wird nachfolgend auf Hohlräume mit gemauertem Gewölbe als Stützung des Erdreiches eingegangen, da hier eine bessere Beurteilung bezüglich der Tragfähigkeit abgeleitet werden kann als bei bloßen Hohlräumen ohne Auskleidung. Bei Hohlräumen ohne Auskleidung ist auf jeden Fall eine sehr genaue Beurteilung des Bodens notwendig.

Tragwirkung

Aufgrund des allgemein bekannten günstigen statischen Systems von Gewölben ist dies die häufigste Form der Stützung. Dies ist jedoch auch eine komplexere statische Aufgabe, da die Lasten bei eingeschütteten Bauwerken vertikal und horizontal auf das Gewölbe wirken. Das Tragsystem von Gewölben beruht auf Druck. Das heißt, je mehr Druck in einem Gewölbe in Bogenrichtung herrscht, desto weniger ist es anfällig auf Biegung zu versagen, da die nachteilige Biege(zug)spannungen durch den Druck „überdrückt“ werden. Speziell müssen demnach ausmittige Lasten, welche neben dem Scheitel einwirken betrachtet werden, da die Biegespannungen die Druckspannungen übersteigen können. Eine zentrische Belastung ruft im Normalfall eine hohe Druckspannung hervor.

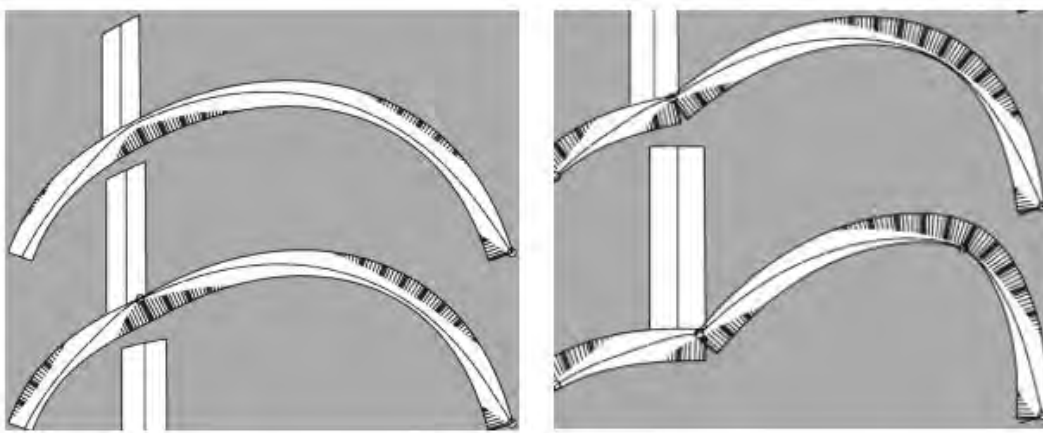


Abbildung 1: Bruchverlauf eines Gewölbes unter ausmittiger Belastung (dunkle Stellen unter Zugspannung).

Zu Abbildung 1: Auch abgebildet in der Grafik ist die Stützlinie des Bogens (Linie in der Mitte). Verlässt diese den Querschnitt, so kommt es zur Ausbildung eines Gelenks.

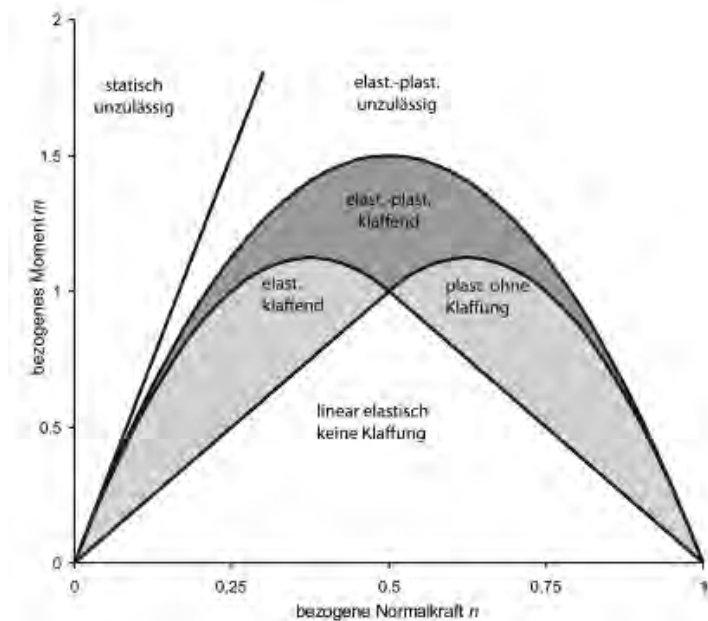


Abbildung 2: Momenten - Normalkraft Beziehung in Mauerwerk.

Zu Abbildung 2: Bei fehlender Normalkraft kann der Bogen kein Moment aufnehmen. Dasselbe gilt, wenn der Bogen durch zentrische Druckkraft bereits plastisch voll ausgenutzt ist. Die maximale Biegetragfähigkeit erreicht das Mauerwerk wenn die Normalkraftbeanspruchung die Querschnittstragfähigkeit gerade zu 50% ausnutzt.

Eine Beurteilung der Tragfähigkeit der Hohlräume bzw. dessen Stützung erfolgt im ersten Schritt visuell. Es wird bei Gewölben auf Verdrückungen, Verschiebungen von Ziegel untereinander sowie auf die generelle Form des Gewölbes wert gelegt. Ein weiteres Kriterium ist der Zustand der Fugen zwischen den Ziegeln. Über die Fugen werden Normalkräfte (in Gewölberichtung) sowie Scherkräfte (Normal zur Auskleidung) übertragen.

Einfluss auf die Tragfähigkeit haben weiters:

- Die Überdeckung
Je mehr, desto besser verteilen sich die Lasten durch den Boden und werden schon durch die Tragfähigkeit des Erdreichs um den Hohlraum „herumgeleitet“
- Die Bodeneigenschaften
Je besser die Bodenparameter (Reibungswinkel, Steifemodul, Kohäsion) sind, desto besser ist das Erdreich für sich standfähig. Ein steifer Boden stützt auch die Auskleidung gegen verdrücken gegen das Erdreich. Oftmals wird keine genauere Bodenanalyse durchgeführt, man muss demnach mit konservativen Bodenkennwerten rechnen, bzw. die Parameter variieren und die Auswirkung auf die Auskleidung einschätzen. (sensitivity analysis)
- Die Dicke der Stützung (Gewölbe)
Je dicker, desto mehr „Bewegungsmöglichkeit“ besteht für die Stützlinie und umso mehr Moment kann aufgenommen werden.
- Die Gewölbeform
Je idealer und runder die Gewölbeform desto stabiler ist es, und desto besser werden Lasten auf Druck abgeleitet und weniger über Biegung.

Verkehrslasten

Die Verkehrslasten werden in der Norm geregelt. Zu beachten ist hier die Brückenbaunorm „Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken“. Einwirkungen aus Straßenverkehr, bestehend aus Personenkraftwagen, Lastkraftwagen und Sonderfahrzeugen (z.B. für industrielle Transporte), erzeugen vertikale und horizontale, statische und dynamische Lasten. Die Lastmodelle definieren die Achslasten und damit auch die Einzelradlasten und deren Aufstandsflächen, wobei hier schon dynamische Beiwerte eingerechnet sind. Da es sich bei einem (ausreichend) überschütteten Bauwerk nicht um eine klassische Brücke handelt (Stützweiten gering, dynamische Lasten können abgebaut werden) ist es hier evtl. zweckmäßig das Lastmodell für „Hinterfüllungen und Widerlager“ (Abschnitt 7.9 ÖNORM EN 1991) zu verwenden (Last der Doppelachse aufgeteilt auf eine Gleichlast mit Grundfläche $2,2 \times 3 \text{ m}$). Dies ist jedoch von Fall zu Fall zu entscheiden, und hängt von der Überschüttung ab. Bei geringen Überschüttungen kann sehr wohl eine Einzellast (Radlast) die maßgebende Einwirkung sein da sowohl die Ausbreitung (ca. 30°) der Last im Erdreich als auch der Abbau der dynamischen Einwirkungen begrenzt ist. Grundsätzlich wird die Verwendung des Lastmodells 1 empfohlen, geht sich dies nicht aus, so muss man Schritt für Schritt die Last reduzieren um zu einem Ergebnis für die zulässigen Achslasten zu kommen. Demnach können auch einzelne per Verordnung (StVo) definierte Achslasten von Fahrzeugen als Belastung angewendet werden. Zu beachten ist jedoch bei der Berechnung, dass für eine zulässige Achslast auch Mehrfachachsen berücksichtigt werden müssen. Gewünschte Berechnungslasten können natürlich auch vom Straßenerhalter individuell vorgegeben werden, müssen dann aber auch durch entsprechende Beschilderung ausgewiesen sein.

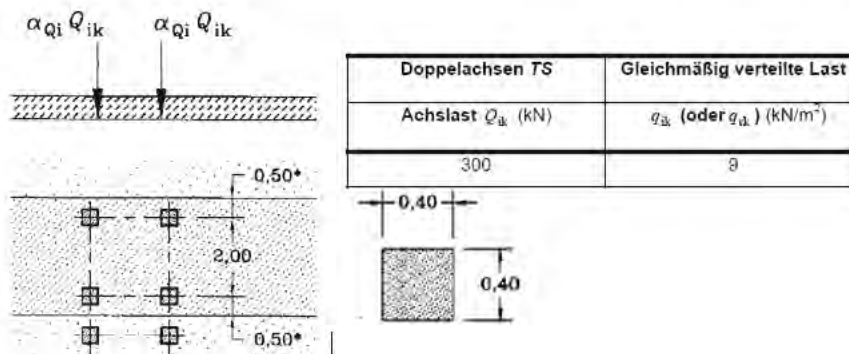


Abbildung 3: Laststellung einer Doppelachse, Aufstandsfläche, Belastung LM 1.

Die **Berechnung** kann mittels Handrechnung oder grafisch durchgeführt werden, allerdings wird dies aufgrund der vielen Parameter (Erdparameter, Tunnelform, Wanderlast) sehr komplex sein. Wir verwenden dafür eine zweidimensionale Finite Elemente Software (Phase 2, Rocscience, Canada), die speziell für den Erdbau und Tunnelbau entwickelt wird. Man kann dabei freie Geometrien sowie die Bodenkennwerte unter Berücksichtigung der gängigsten Materialgesetze eingeben. Auch ist es möglich, das Gewölbe einzugeben und die Schnittkräfte (Normalkraft/Querkraft/Momente) dafür auszugeben und in eine M-N-Interaktionskurve zu integrieren. Das Gewölbe wird in viele kleine Abschnitte geteilt und für jeden Abschnitt wird ein Momenten-Normalkraft-Paar in eine so genannte „Capacity Limit Curve“ geladen. Die Spannungen sollen innerhalb des plastisch klaffenden Bereichs von Abbildung 2 liegen. Zusätzlich werden die Querkräfte und die Normalkräfte gegenübergestellt, um einen Nachweis gegen Abscheren in der Fuge zu führen.

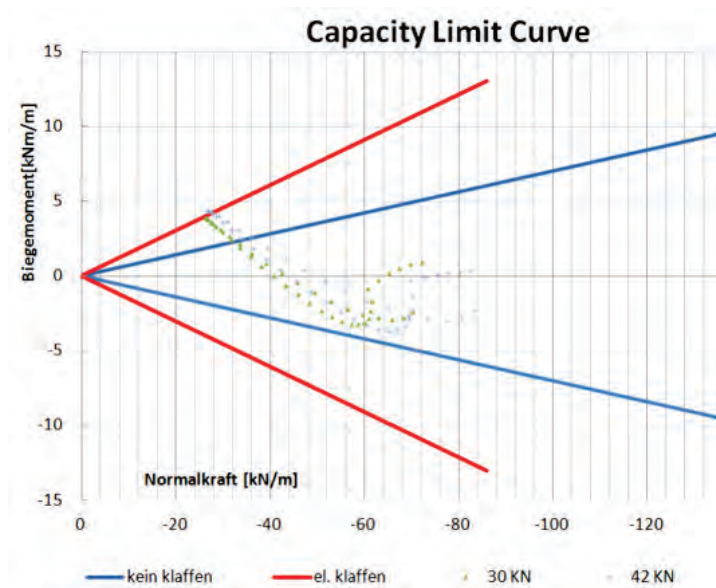


Abbildung 4: CLC Kurve, blau: kein klaffen, rot:klaffende Fuge.

Sanierungsmöglichkeiten bei zu geringen Traglasten.

Da die Keller oft nur noch eine untergeordnete Rolle für den Benützer spielen und eine aufwändige Sanierung oftmals unwirtschaftlich ist, sind die Sanierungsverfahren meist begrenzt. Wenn möglich, ist eine Einschränkung der Verkehrslast eine Alternative.

Verfugung erneuern: Eine einfache Methode um geringfügige Verbesserungen zu erzielen. Speziell, wenn das Gewölbe grundsätzlich tragfähig ist, jedoch der Zustand nicht mehr einwandfrei ist.

Überplattung mit Stahlbetondecke: eine gute Möglichkeit um bestehende Keller zu sichern. Es muss jedoch auch eine geeignete Gründung gewählt werden. Fundamente oder auch Kleinpfähle möglich.

Spritzbetonschale: dies ist wohl aufgrund der Platzverhältnisse und der Kosten eher unwahrscheinlich.

Verfüllen: Vermutlich die kostengünstigste Variante, geht jedoch zu Lasten des Kellers. Kann mit Beton oder (stabilisiertem) Sand/Schotter verfüllt werden.

Literatur

Statische Beurteilung historischer Tragwerke, Band 1 - Mauerwerkskonstruktionen – Stefan Holzer, Bernd Köck

Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken“

Tunnelling and Tunnel Mechanics: A Rational Approach to Tunnelling - Dimitrios Kolymbas