



Bögen, Gewölbe, Kappendecken

Teil 2: Beurteilung und rechnerische Abschätzung der Tragfähigkeit von Kappendecken

Berthold Alsheimer



Abb. 1:
Kappendecke in einem Stallgebäude.



Abb. 2:
Kappendecke in einem Stallgebäude (s. auch Projektbeispiel).

In vielen Bauwerken der zweiten Hälfte des 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts – insbesondere in den Kellergeschossen von Wohngebäuden, in landwirtschaftlichen Nebengebäuden und Stallungen sowie in Industrie- oder Werkstattgebäuden – finden sich gewölbte Massivdecken, meist in Form so genannter Preußischer Kappendecken (Abb. 1 und 2).

Als Material für die Kappen kamen neben den häufig anzutreffenden Vollziegel auch Hohlziegel, Schwemmsteine, Schlackensteine und andere poröse Steine zur Anwendung (vgl. auch [1], [4] sowie Projektbeispiel).

Die Kappen stützen sich entweder auf Stahlträger (Abb. 3), gemauerte Gurtbögen (Abb. 4) oder – in den Endfeldern – direkt auf die gemauerten Wände ab.

Für die Stahlträger wirkt sich die seitliche Einmauerung der Stege im Brandfall in der Regel günstig auf das

Tragverhalten und die Feuerwiderstandsdauer aus.

Erwähnenswert ist noch die Variante der Kappendecken, bei der statt Stahlträger Holzbalken verwendet worden sind. Nach Holzer [12] sind deren Ursprünge in Südfrankreich zu finden, wo derartige Konstruktionen bereits im 18. Jahrhundert errichtet wurden. Der Autor hat eine Holzkappendecke bei der Sanierung des ehemaligen Brauereigebäudes im Schloss Schwarzenberg, Scheinfeld, in einem

kleinen Bereich der Erdgeschossdecke vorgefunden.

Außerdem wurden speziell in der Zeit um 1945 wegen des akuten Mangels an Stahl und Holz die so genannten Flachgewölbedecken entwickelt und eingesetzt. Diese bestehen bei Stützweiten bis zu 4 m aus nur 65 mm dicken Voll- oder Hohlsteinen (s. [1] und Projektbeispiel, Abb. 23). Diese sehr leichten Kappendeckenkonstruktionen mussten in jedem Fall rechnerisch nachgewiesen werden.

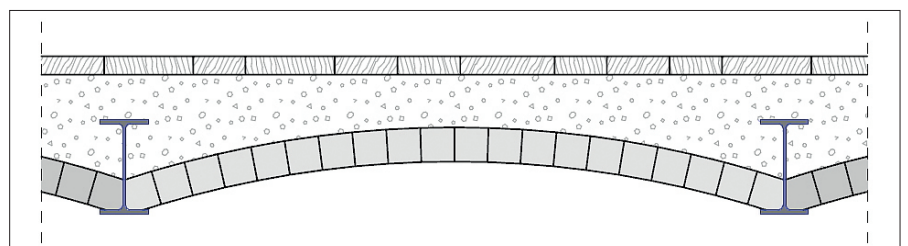


Abb. 3
Kappendecke zwischen Stahlträgern.

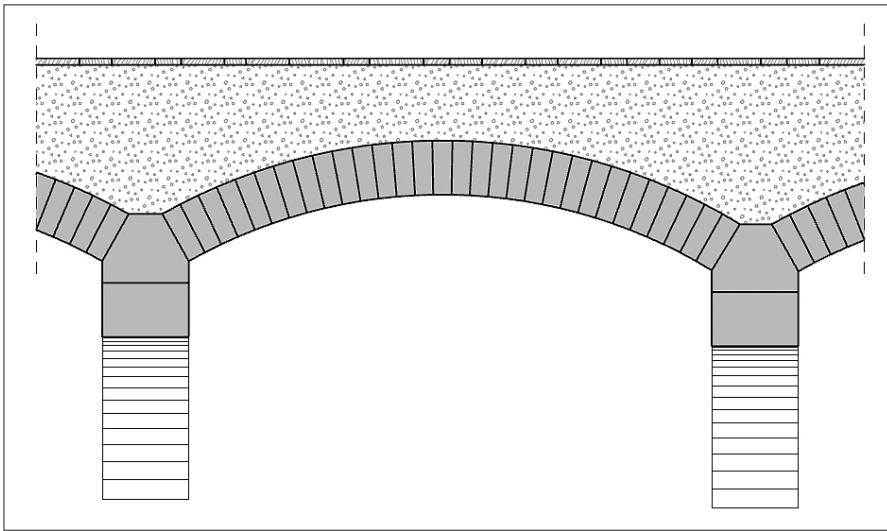


Abb. 4:
Kappendecke zwischen Gurtbögen.

Normative Regelungen zu gewölbten Kappendecken in DIN 1053

Kappendecken waren in der Mauerwerksnorm DIN 1053 normativ erfasst und geregelt. Die nachfolgenden Angaben sind der Ausgabe von Dezember 1952 [6] entnommen. Sie finden sich mit nur geringfügigen redaktionellen Änderungen auch noch in der Ausgabe der DIN 1053, Teil 1 [7] von 1996. Die europäische Mauerwerksnorm DIN EN 1996 [8] enthält leider keine derartigen Angaben zu Kappendecken.

„5.32 Gewölbte Kappen zwischen Trägern

Bei vorwiegend ruhender Belastung... ist für Kappen, deren Dicke erfahrungsgemäß ausreicht (Trägerabstand bis etwa 2,50 m), ein statischer Nachweis nicht erforderlich.

Die Mindestdicke der Gewölbe beträgt 11,5 cm.

Es muss im Verband gemauert werden (Kuff oder Schwalbenschwanz).

Die Stichhöhe muss mindestens ein Zehntel der Gewölbestützweite sein ...

Die Endfelder benachbarter Kappengewölbe müssen Zuganker erhalten, deren Abstände höchstens gleich dem Trägerabstand des Endfeldes sind. Sie sind mindestens in den Drittelpunkten und an den Trägerenden anzuordnen. Das Endfeld darf nur dann als ausreichendes Widerlager (starre Scheibe) für die Aufnahme des

Horizontalschubes der Mittelfelder angesehen werden, wenn seine Breite mindestens ein Drittel seiner Länge ist. Bei schlanken Endfeldern sind die

Anker über mindestens zwei Felder zu führen. Die Endfelder als Ganzes müssen seitliche Auflager erhalten, die in der Lage sind, den Horizontalschub der Mittelfelder auch dann aufzunehmen, wenn die Endfelder unbelastet sind. Die Auflager können durch Vormauerung, dauernde Auflast, Verankerung oder andere geeignete Maßnahmen gesichert werden.

Über den Kellern von Wohngebäuden, einfachen Siedlungsbauten und einfachen Stallgebäuden kann der Horizontalschub von Kappen bis 1,3 m Stützweite durch mindestens 2 m lange, 24 cm dicke und höchstens 6 m voneinander entfernte Querwände aufgenommen werden, die gleichzeitig mit den Auflagerwänden der Endfelder (in der Regel Außenwände) im Verband zu vermauern sind oder, wenn Loch- bzw. stehende Verzahnung angewendet wird, ... mit Zugankern und Splinten zu verankern sind.“ [6]

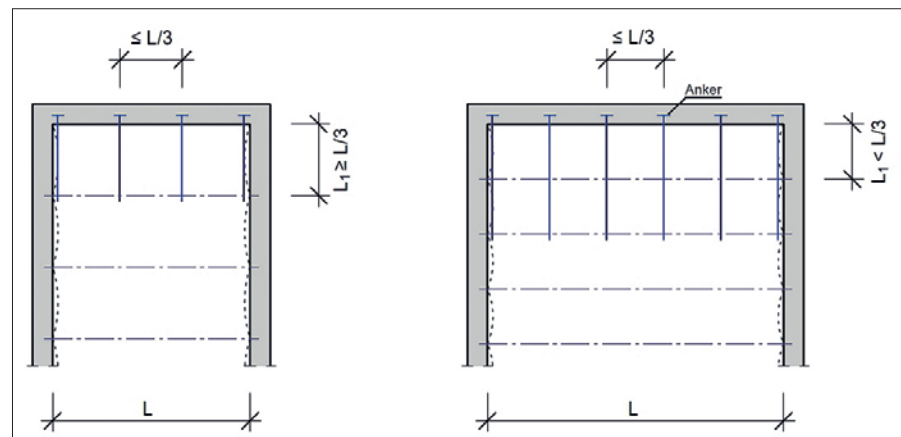


Abb. 5:
Erforderliche Anordnung von Verankerungen in den Endfeldern von ausreichend starren (links) und schlanken Endfeldern (rechts) (nach [1]).

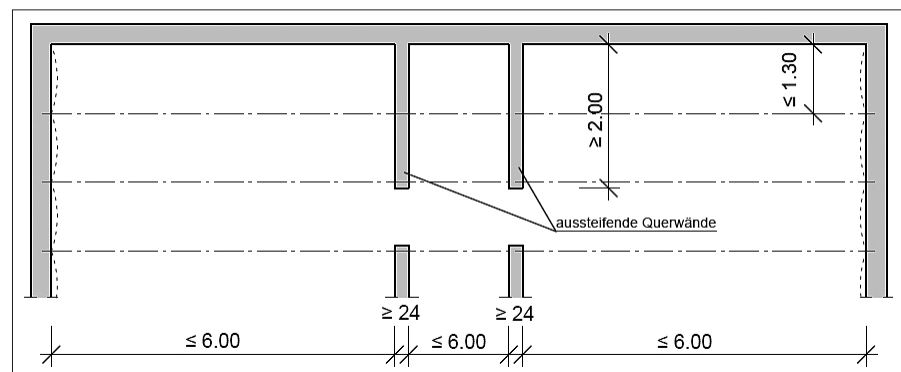


Abb. 6:
Erforderliche Abmessungen, bei deren Einhaltung nach [6] in einfachen Siedlungsbauten und Stallgebäuden auf den Einbau von Verankerungen in den Endfeldern verzichtet werden durfte (nach [1]).

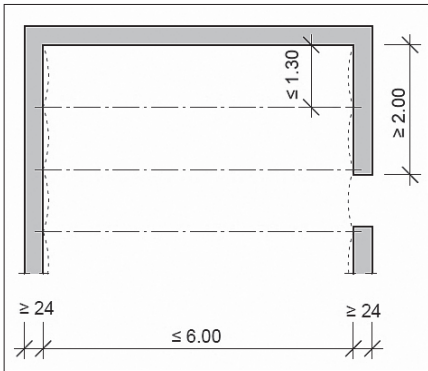


Abb. 7:
Erforderliche Abmessungen, bei deren Einhaltung nach [4] in einfachen Siedlungsbauten und Stallgebäuden auf den Einbau von Verankerungen in den Endfeldern verzichtet werden dürfte (nach [1]).

Die Abbildungen 5 bis 7 sollen speziell die Regelungen zu den notwendigen Verankerungen der Endfelder und etwaigen Ausnahmen bei einfachen Siedlungs- und Stallgebäuden grafisch verdeutlichen.

Analoge Regelungen wie zu den Preußischen Kappendecken finden sich in DIN 1053 [6] auch zu scheinrechten Kappen (vgl. auch [2]). Allerdings ist deren Anwendung auf Vollsteine ab der Steifigkeitsklasse SFK 12 mit einer Mindestkappendicke von 11,5 cm und einer maximalen Spannweite von 1,30 m eingeschränkt. Die Gesamtlast darf 5,5 kN/m² nicht überschreiten.

Außerdem ist „den Schalungen der Kappen ... ein kleiner Stich zu geben.“ [6]. In der Regel reichen hierfür 1 bis 2 cm aus.

Tragverhalten von Preußischen Kappen und Überschlagsformeln

Einige grundlegende Ausführungen zum Tragverhalten von gemauerten Bogen- und Gewölbekonstruktionen finden sich bereits im ersten Teil dieser Arbeitsblattserie [2]. Für einen tieferen Einstieg wird z. B. auf [3] verwiesen. Eine umfassende Darstellung zur Beurteilung des Tragverhaltens von Gewölbekonstruktionen findet sich im Buch von Holzer [12].

Man wird zumeist nur die Auflagerkräfte von Kappendecken ermit-

teln und die innere Beanspruchung mit Hilfe von Überschlagsformeln abschätzen.

Die vertikalen und horizontalen Auflagerkräfte ergeben sich für eine gleichmäßig verteilte Gesamtlast r ($= g + q$) zu:

$$V = \frac{r \cdot L}{2} \text{ [kN]} \quad (1)$$

und

$$H = \frac{r \cdot L^2}{8 \cdot f} \text{ [kN]} \quad (2)$$

Dabei ist

V vertikale Auflagerkraft

H Horizontalschub

r Gleichstreckenlast aus Eigen-
gewicht und Nutzlast [kN/m²]

L Stützweite

f Hebelarm des Horizontalschubs;
rechnerischer Stich

In der Regel nimmt man für die Abschätzung als f die Stichhöhe des Gewölbes (bei Preußischen Kappendecken meist 1/8 bis 1/12 der Stützweite) an. Für scheinrechte Kappen wird meist $f = d/3$ verwendet. Auch $f = d/2$ wäre zu rechtfertigen (siehe hierzu die Erläuterungen in [2]).

Die maximale Spannung σ_{\max} in der Kappe wird meist mit der Formel

$$\sigma_{\max} = \frac{2 \cdot H}{b \cdot d} \quad (3)$$

abgeschätzt und einer zulässigen oder Grenzspannung gegenüber gestellt.

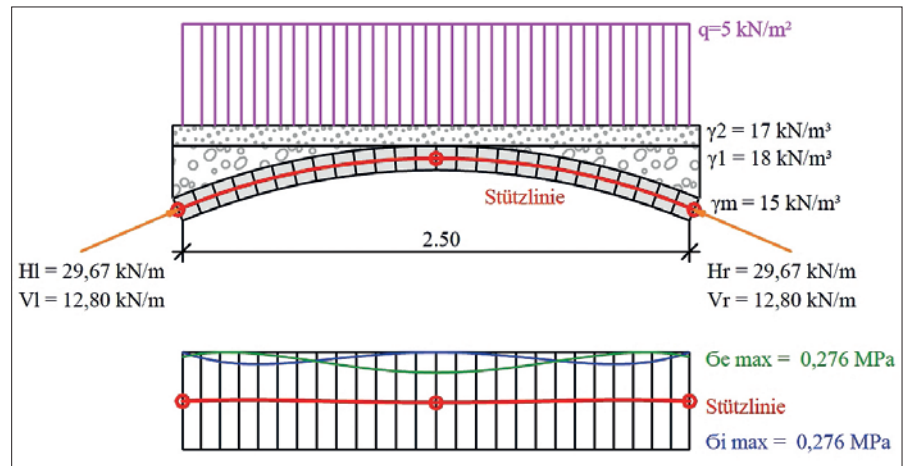


Abb. 8:

Berechnungsbeispiel zur Ermittlung der Auflagerkräfte und inneren Beanspruchungen einer Preußischen Kappendecke (vgl. auch [4]).
Berechnung mit dem Programm ARCO [11] – Variante 1.

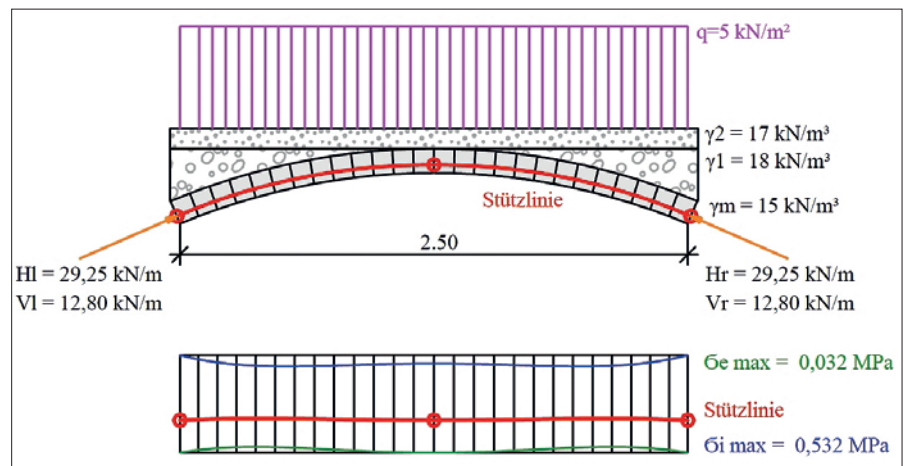


Abb. 9:

Berechnungsbeispiel zur Ermittlung der Auflagerkräfte und inneren Beanspruchungen einer Preußischen Kappendecke (vgl. auch [4]).
Berechnung mit dem Programm ARCO [11] – Variante 2.

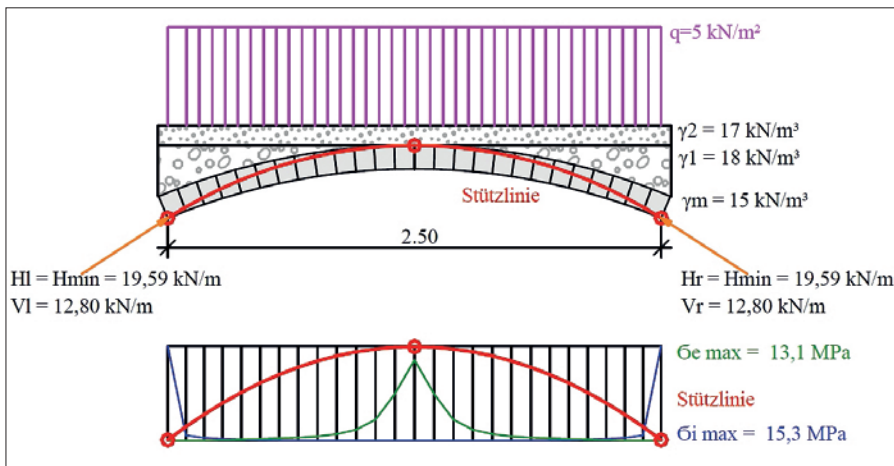


Abb. 10:
Berechnungsbeispiel zur Ermittlung des minimalen Horizontalschubs einer Preußischen Kappendecke (vgl. auch [4]).
Berechnung mit dem Programm ARCO [11].

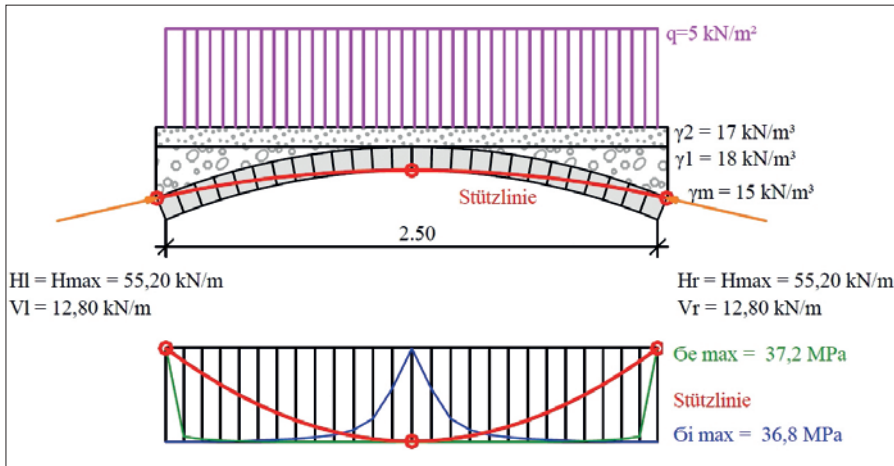


Abb. 11:
Berechnungsbeispiel zur Ermittlung des maximalen Horizontalschubs einer Preußischen Kappendecke. (vgl. auch [4]).
Berechnung mit dem Programm ARCO [11].

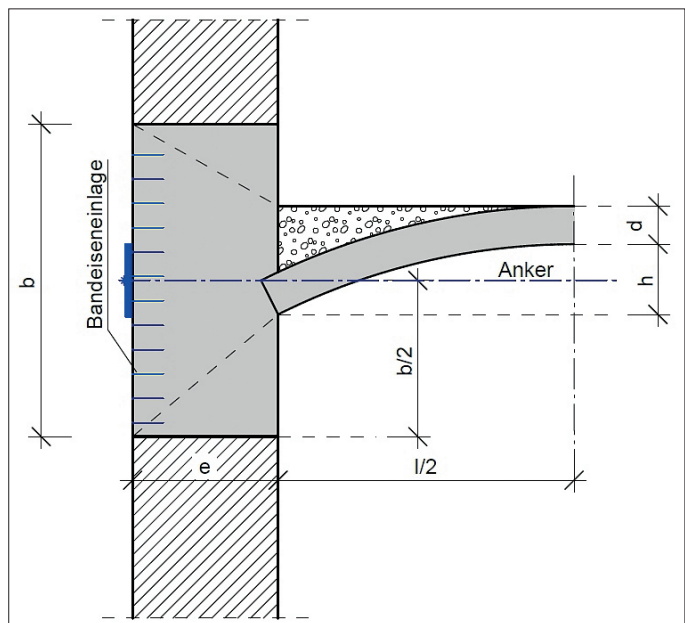
Dabei ist

- b Breite des Deckenstreifens
(i.d.R. $b = 1,0$ m)
- d Kappendicke

Setzt man H in kN, b und d in cm ein, so muss man das Ergebnis noch mit dem Faktor 10 multiplizieren, um σ_{\max} in MN/m^2 zu erhalten.

Um die mit diesen Übersichtsformeln erzielten Ergebnisse besser einschätzen zu können, wird das Beispiel in [4] zur Bemessung einer Preußischen Kappendecke mit Hilfe des Programms ARCO [11] gegengerechnet. In Variante 1 (Abb. 8) wird die Stützlinie mit ARCO so ermittelt, dass an beiden Rändern der Kappendecke die

Abb. 12:
Geometrie für die Ermittlung der erforderlichen Widerlagerdicke bzw. Ankerabstände von Preußischen Kappendecken (nach [5]).



selben maximalen Randspannungen auftreten. Der Horizontalschub liegt dabei in der Größenordnung der Ergebnisse in [4], während die maximale Randspannung jedoch nur etwa halb so groß ist.

Bei Variante 2 (Abb. 9) liegen der Horizontalschub und die maximale Randspannung in der Größenordnung der Ergebnisse in [4]. Allerdings wird dies nur dadurch erreicht, dass die Stützlinie etwa auf dem Rand der ersten Kernweite (Ausmitte $e = d/6$) verläuft. Dies ist in praxi sehr unwahrscheinlich. Die Formel (3) zur Abschätzung der maximalen inneren Beanspruchung liefert demnach im Allgemeinen (stark) auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse.

Die beiden Abb. 10 und 11 geben die Stützlinien wieder, die zum minimalen bzw. maximalen Horizontalschub führen. Hierzu ist in praxi erforderlich, dass die beiden Widerlager geringfügig nach außen nachgeben (Abb. 10) bzw. sich geringfügig aufeinander zu bewegen (Abb. 11). Dies ist im ersten Teil dieser Arbeitsblattserie [5] erläutert.

Mit dem so ermittelten Horizontalschub können die Anker für die Verankerung der Endfelder dimensioniert bzw. nachgewiesen werden.

Hierzu kann man (s. hierzu z. B. nach [5]) die Widerlagsmauer als waagrechteten Träger mit der Höhe e annehmen (Abb. 12). Die Breite b ergibt sich nach [5] infolge des Horizontalschubs