

Bauen im Bestand – Bewertung der Anwendbarkeit aktueller Bewehrungs- und Konstruktionsregeln im Stahlbetonbau

-Kurzbericht-

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) gefördert.

(Aktenzeichen: Z 6 – 10.08.18.7- 08.6/ II 2 – F20-08-014)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Markus Loch
Dipl.-Ing. Florian Stauder
Michael Wolbring, M.Eng.

Kaiserslautern Dezember 2011

„Bauen im Bestand – Bewertung der Anwendbarkeit aktueller Bewehrungs- und Konstruktionsregeln im Stahlbetonbau“

1. Einführung

Bauen im Bestand gewinnt in Deutschland aufgrund der vorliegenden Altersstruktur der bestehenden Tragwerke zunehmend an Bedeutung und übersteigt schon seit einigen Jahren das Neubauvolumen. Ursächlich hierfür ist, dass 60 % der Wohngebäude vor 1968 errichtet wurden. Aufgrund von Umnutzungen, Veränderungen an der Bausubstanz bzw. Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen wird oftmals die Nachrechnung der bestehenden Strukturen erforderlich, was aus baurechtlichen Gründen grundsätzlich nach aktuellem Regelwerk erfolgen muss.

Allerdings beinhaltet das aktuelle Regelwerk fast ausschließlich Regelungen zur Erstellung von Neubauten, welche beim Bauen im Bestand nur eingeschränkt angewandt werden können. Eine weitere Besonderheit besteht darin, dass die Kenntnis über den angetroffenen Baubestand i.d.R. unvollständig ist und die zweckmäßigen Ausführungsmethoden, Baustoffe und Bauabläufe oftmals erst nach Beginn der Arbeiten festgelegt werden können.

Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht ist die Kenntnis der bei Planung und Errichtung geltenden Vorschriften für die Beurteilung alter Bauwerke erforderlich. Die Fähigkeit zur Beurteilung der Verhältnismäßigkeit von Erhaltungs- und Verstärkungsmaßnahmen im Vergleich zu Rückbaumaßnahmen setzt umfangreiche Kenntnisse hinsichtlich historisch verwendeter Materialien und Konstruktionsweisen voraus.

Mit vorliegendem Vorhaben erfolgt die Ermittlung und Zusammenstellung der beim Bauen im Bestand im Wesentlichen zu beachtenden Grundlagen sowie eine Bewertung der Anwendbarkeit aktueller Bewehrungs- und Konstruktionsregeln des Stahlbetonbaus auf Bestandstragwerke. Als Ergebnis des Vorhabens werden allgemeingültige Vorgehensweisen und Hinweise erarbeitet, die den am Bau Beteiligten helfen sollen, Bauvorhaben im Bestand nach dem aktuellen Stand der Technik und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgreich abzuwickeln.

2. Grundlagen für das Konstruieren und Bemessen von Stahlbetonbauteilen im Bestand

2.1 Regelwerke

Die ersten Vorschriften der zunächst als Eisenbeton bezeichneten Bauart, die deutschlandweit fachliche Anerkennung fanden, wurden 1904 vom Verband Deutscher Architekten- und Ingenieurvereine und dem Deutschen Beton-Verein veröffentlicht. Entscheidend für die frühe Entwicklung der Bauweise waren jedoch zunächst Patente, die einzelne Unternehmen festschreiben ließen. Für die Stahlbetonbauweise wurde 1925 mit Einführung der DIN 1045 die zentrale Norm für Bemessung und Konstruktion geschaffen, welche erst zum 01.07.2012 durch den Eurocode 2 abgelöst werden wird. Mit der Fortschreibung der Norm hat sich auch deren Umfang vervielfacht und zusätzlich führten neue Anwendungsgebiete des Betonbaus zu einem weiteren Regelungsbedarf. Von ursprünglich knapp 50 Seiten hat sich mit Einführung des Eurocode 2 das den Stahlbetonbau betreffende Regelwerk auf über 550 Seiten verzehnfacht.

Allerdings ist Eurocode 2, wie alle weiteren die Stahlbetonbauweise betreffenden Regelwerke, ausschließlich für die Erstellung von Neubauten konzipiert. Da normativ geregelte Nachweisformate zunächst immer nur in Verbindung mit den zugehörigen Bewehrungs- und Konstruktionsregeln gelten, sind die im aktuellen Regelwerk beinhalteten Nachweisformate nicht zwangsläufig auf historische Konstruktionsweisen übertragbar. In Bestandstragwerken darf demnach keine Bewehrungsführung erwartet werden, die in allen Details den Anforderungen aktueller Normen entspricht, weshalb alle Abweichungen im Einzelfall mit ingenieurmäßigem Verstand hinsichtlich ihres Einflusses auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu bewerten sind.

Empfehlungen zum Vorgehen beim Bauen im Bestand hinsichtlich der Instandsetzung, Ertüchtigung und Modernisierung von Bestandstragwerken sowie Angaben von charakteristischen Materialkennwerten sind z. B. in Merkblättern des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins enthalten.

In den Richtlinien „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ und „Belastungsversuche an Massivbauwerken“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton sowie der Richtlinie 6200 des Vereins Deutscher Ingenieure finden sich Hinweise zum Vorgehen beim Bauen im Bestand, allerdings ohne Fragestellungen der Bemessung bzw. Konstruktion zu behandeln.

Konkrete Angaben zur Nachrechnung von Straßenbrücken sind in der im Mai 2011 erschienenen Nachrechnungsrichtlinie Brückenbau des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung enthalten. Weiterhin behandelt das Schweizer Normenpaket SIA 269 ausführlich alle beim Bauen im Bestand auftretenden Fragestellungen und ist in einzelne, die Bauweise betreffende, Teile gegliedert.

Die bauordnungsrechtliche Frage der Sicherstellung einer ausreichenden Standsicherheit einer baulichen Anlage trägt der Eigentümer/Verfügungsberechtigte. Kürzlich wurden von der ARGEBAU „Hinweise und Beispiele zum Vorgehen beim Nachweis der Standsicherheit beim Bauen im Bestand (Stand: 07.04.2008)“ herausgegeben.

2.2 Strukturierte Erfassung häufiger Fehler beim Bauen im Bestand

Im Rahmen einer vom Deutschen Beton- und Bautechnikverein beauftragten Erhebung wurden die häufigsten Fehlerquellen beim Bauen im Bestand identifiziert. Hierzu wurde durch die Ingenieurkammer Rheinland-Pfalz auf Basis eines Fragenkataloges eine Befragung von Tragwerksplanern durchgeführt. Parallel dazu erfolgte durch die TU Kaiserslautern eine Expertenbefragung unter Auftraggebern, Bauunternehmen, Ingenieurbüros, Bauträgern und Behörden.

Zusammenfassend basieren die meisten Fehler beim Bauen im Bestand auf einem nicht sachgerechten Umgang mit der Materie in allen Leistungsphasen, welcher zum einen auf Unkenntnis bzw. einem unterentwickelten Problembewusstsein und zum anderen auf einer Unterschätzung der Komplexität solcher Projekte beruht.

Eine Hauptfehlerquelle wird in großer Übereinstimmung aller Befragten bei einer unterlassenen bzw. unvollständigen Bestandsaufnahme und –bewertung gesehen, welche häufig erst baubegleitend und selten in der erforderlichen Bearbeitungstiefe erfolgt. Daraus ergeben sich dann Unterschiede zwischen tatsächlich angetroffener Bausubstanz und erwartetem Zustand, was häufig größere Probleme, Bauzeitverlängerungen und Kostenerhöhungen nach sich zieht.

Hinsichtlich der Planung werden Fachplaner häufig zu spät eingeschaltet und es wird versäumt, frühzeitig eine auf das Projekt abgestimmte Ausführungsweise zu erarbeiten. Hieraus ergibt sich dann zwangsläufig eine baubegleitende Planung mit der dazugehörigen Schnittstellenproblematik oder es werden infolge nicht beachteter Gegebenheiten vor Ort Umplanungen mit erheblichen Kostensteigerungen erforderlich.

Bei der Bauausführung wird oftmals die erforderliche Bauzeit unterschätzt. Maßgebend hierfür ist, dass häufig nur die eigentlich zu erbringende Bauleistung hinsichtlich Material- und Zeitaufwand beachtet wird und alle die zur Erstellung dieser Leistung erforderlichen Nebenleistungen bei der Kalkulation nicht mit einbezogen werden.

Im Vergleich zur Erstellung von Neubauten können beim Bauen im Bestand auch der möglicherweise eingeschränkte Einsatz von Maschinen, Hebezeugen, Transportmitteln sowie eingeschränkte Lagerungs- und Zugangsmöglichkeiten für eine Unterschätzung der erforderlichen Bauzeit maßgebend sein.

2.3 Bestandsaufnahme

Beim Bauen im Bestand stellt die Bestandsaufnahme einen der ersten und wichtigsten Schritte zur Beurteilung der bestehenden Bausubstanz dar. Als belastbare Grundlage für die Tragwerksplanung muss vor Baubeginn der Zustand des umzubauenden Bauwerks festgestellt werden. Hierzu gehören weiterhin die Ermittlung von Materialkennwerten, Konstruktionsdetails und Einwirkungsgrößen.

Je gewissenhafter und ausführlicher die Bestandsaufnahme durchgeführt wird, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für einen reibungslosen Bauablauf und Erfolg der Maßnahme, sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Sicht.

Als erster Schritt ist bei der Bestandsaufnahme die Sichtung alter Unterlagen (z.B. Bauwerksakten) zu empfehlen. Hieraus können sich nützliche Hinweise auf mögliche Schwachstellen der Konstruktion ergeben, da jede Bauepoche ihre bevorzugten Konstruktionsarten aufweist. In einer darauf aufbauenden Begehung können die nachfolgend durchzuführenden Bauwerksuntersuchungen auf kritische Bereiche beschränkt werden.

Mit einer Bestandsaufnahme ist der Zustand der tragenden Bauteile, deren Geometrie und deren Tragstruktur einschließlich Bewehrungsgehalt zu ermitteln. Hierzu stehen vielfältige Möglichkeiten zur Verfügung. Neben den klassischen, zerstörenden Prüfverfahren, die aufgrund ihrer Schädigung am Tragwerk unbedingt bauteilverträglich und auf ein Mindestmaß zu beschränken sind, existiert eine Vielzahl weiterer, auch zerstörungsfreier Prüfverfahren. Als Beispiel sei hier das Radar- bzw. Ultraschall-Verfahren genannt, welche es ermöglichen, z. B. den Bewehrungsverlauf eines Bauteils zerstörungsfrei zu bestimmen.

Als weitere wichtige Bestandteile einer Bestandsaufnahme sind die Ermittlung der Betondeckung, der Karbonatisierungstiefe sowie des (Korrosions-)Zustandes der Bewehrung einschließlich der Ermittlung von beton- bzw. bewehrungskorrosiven Stoffen zu nennen.

Zusammenfassend wird deutlich, dass eine belastbare Bestandsaufnahme immer den Zustand eines Tragwerkes gesamthaft erfassen muss.

Zur Zustandsermittlung ist in der Regel die Kombination von lokalen, zerstörenden Untersuchungen wie Bohrkernentnahmen zur Bestimmung von Absolutwerten und in Ergänzung hierzu die Durchführung von flächigen, zerstörungsfreien Untersuchungen zur Verifizierung der Absolutwerte erforderlich.

2.4 Bestimmung charakteristischer Werkstoffkennwerte

Die Bestimmung von charakteristischen Werkstoffkennwerten der verwendeten Baustoffe wird zur Nachrechnung von Bestandstragwerken nach der aktuellen Normengeneration und dem darin enthaltenen semiprobabilistischen Sicherheitskonzept erforderlich. Anhand von umfangreichen Untersuchungen werden für die Werkstoffe Beton und Betonstahl vorhergehender Normengenerationen charakteristische Materialkennwerte ermittelt.

Grundannahme hierfür ist, dass die verwendeten Materialien den seinerzeit gültigen Normen entsprachen. Mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren können unterschiedliche Randbedingungen wie Probenkörpergeometrie und Lagerungsbedingungen berücksichtigt werden. Die so ermittelten charakteristischen Werkstoffkennwerte dienen zur Vorbemessung und müssen zur Erstellung von Standsicherheitsnachweisen an dem Bauteil entnommenen Materialproben verifiziert werden.

Das in dieser Arbeit beschriebene Vorgehen zur Bestimmung der charakteristischen Festigkeiten liefert geringfügig abweichende Ergebnisse im Vergleich zu den im DBV-Merkblatt „Beton und Betonstahl“ veröffentlichten Werten. Ursächlich hierfür ist die Vorgehensweise zur Ermittlung der charakteristischen Festigkeiten. Während im DBV-Merkblatt deren Bestimmung auf dem Vergleich zulässiger Spannungen beruht, erfolgt die Ermittlung in dieser Arbeit auf Grundlage mathematisch-statistischer Berechnungsmethoden.

2.5 Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten

Alle derzeit in Deutschland eingeführten Bemessungsnormen sind für Neubauten oder neu anzufertigende Bauteile konzipiert. Diese Normen unterliegen dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept, das mithilfe von Teilsicherheitsbeiwerten und charakteristischen Kenngrößen die in DIN 1055-100:2001 geforderte Zuverlässigkeit sicherstellen soll.

Die Nachbemessung von Stahlbetonbauteilen im Bestand, die beispielsweise eine Lasterhöhung infolge einer Nutzungsänderung erfahren, hat grundsätzlich nach dem aktuellen Regelwerk DIN 1045-1:2008 bzw. Eurocode 2 zu erfolgen. Die direkte Anwendung der Nachweisformate der DIN 1045-1 ist beim Bauen im Bestand aber in vielen Fällen nicht zielführend.

Da beim Bauen im Bestand viele Randbedingungen, die bei Neubauten als Unsicherheitsfaktoren im Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsfaktoren belegt sind, im Rahmen einer qualifizierten Bestandsaufnahme festgestellt werden können, ist die Verwendung der für den Neubau bestimmten Teilsicherheitsbeiwerte nicht erforderlich. Zu diesen Randbedingungen gehören die Bauteilgeometrie, die Materialkennwerte, die Lage und Menge der vorhandenen Bewehrung sowie die Einwirkungen.

Nach einer Quantifizierung der vorhergehend genannten streuenden Größen, kann eine Anpassung der Teilsicherheitsbeiwerte an die am Bauwerk vorherrschenden Streuungen der Festigkeitswerte und geometrischen Größen erfolgen.

Aus diesem Grund wurden auf der Widerstandsseite modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte bestimmt, die unter Beachtung des geforderten Zielzuverlässigkeitsniveaus für im Bestand übliche Nachweisformate erarbeitet wurden.

Mit Hilfe dieser modifizierten Teilsicherheitsbeiwerte wird in Abhängigkeit von der angetroffenen Materialstreuung eine praxisgerechte und wirtschaftliche Nachweisführung

von Bestandsbauten bei Anwendung des semiprobabilistischen Teilsicherheitskonzeptes der aktuellen Normengeneration ermöglicht.

3. Hintergründe der Bewehrungs- und Konstruktionsregeln

Im Jahr 1925 erschien die erste Auflage der DIN 1045, welche auf den kgl. Preußischen Bestimmungen von 1904, 1908 und 1916 basierte. Sieben Jahre später wurden 1932 die Konstruktionsregeln für die Ausbildung ausgewählter Bauteile erweitert. Bedeutende Änderungen ergaben sich mit der Ausgabe DIN 1045:1972 durch die normative Einführung des Betonrippenstahls und der damit verbundenen möglichen Verankerung der Längsstäbe ohne Endhaken, der Einführung des Traglastverfahrens zur Bemessung der Querschnitte anstelle des n-Verfahrens und dem Ansatz der verminderten Schubdeckung.

Die Fassung von 1972 beinhaltete im Vergleich zur Vorgängernorm DIN 1045:1959 ein grundsätzlich neues Konzept in den Bereichen der Berechnung. Es erfolgten wesentliche Änderungen der Biege- und Schubbemessung und der Stabilitätsnachweise. Bei der Biegebemessung wurde das Konzept des elastischen Verhaltens von Beton und Stahl verlassen und die klassische Fachwerkanalogie wurde für kleine und mittlere Schubspannungen erweitert.

Die Norm wurde 1978 erneut novelliert, um auf das 1969 verbindlich eingeführte SI-Einheitensystem und neu eingeführte Formelzeichen umstellen zu können. Maßgebende Konstruktionsregeln wurden verändert oder neu aufgenommen. Dazu gehören die Bewehrungsrichtlinien, eine Vereinheitlichung der Regeln für die Verankerung von Bewehrungsstäben, die Einführung von Schubzulagen als neuartiges Bewehrungselement, die Aufnahme von Regeln für das Bewehren von Rahmenecken und das Bewehren mit Stabbündeln.

Unter Beibehaltung des grundlegenden Konzeptes der Norm von 1972 bzw. 1978 wurden 1988 weitere Änderungen und Ergänzungen implementiert. Berücksichtigt wurden in dieser Ausgabe unter anderem eine erhöhte Mindestbetondeckung zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit, das Vorgehen zur Rissbreitenbeschränkung, die Aufnahme des Betonstahls BSt 500/550 und weiterhin die Anpassung des Regelwerkes an die Neuausgaben anderer Normen und Richtlinien des Betonbaus.

Die letzte wesentliche Neufassung wurde im Jahr 2001 eingeführt. Hintergrund dieser Überarbeitung war die Vorbereitung der Einführung europäisch harmonisierter Normen (Eurocodes). In diesem Zusammenhang erfolgte auch die Umstellung vom globalen, deterministischen auf das semiprobabilistische Sicherheitskonzept.

4. Anwendbarkeit der aktuellen Bewehrungs- und Konstruktionsregeln im Stahlbetonbau

Die Bewehrungs- und Konstruktionsregeln des Stahlbetonbaus nach aktueller Normengeneration sind in Abhängigkeit des Erstellungszeitpunktes des Tragwerks nur bedingt auf Bestandsbauwerke übertragbar. Ursächlich hierfür ist, dass normativ geregelte Nachweisformate zunächst immer nur in Verbindung mit den zugehörigen Bewehrungs- und Konstruktionsregeln anzuwenden sind.

Im Laufe der einzelnen Normengenerationen ergaben sich vielfältige Änderungen hinsichtlich der Bewehrungsregeln und Konstruktionsdetails, weshalb jeweils im projektspezifischen

Einzelfall deren Anwendbarkeit in Abhängigkeit des bei der Erstellung gültigen Normenwerkes überprüft werden muss. Allgemein ist dabei zu beachten, dass bei der Einführung neuer Normen Übergangsfristen galten und in der Praxis in vielen Fällen auch noch eine geraume Zeit mit der zuvor gültigen Norm weitergearbeitet wurde. Demnach können Jahreszahlen keine exakten Anwendungsgrenzen darstellen.

Die nachfolgend aufgeführten Bewehrungsregeln haben sich jedoch bei der Betrachtung von Bestandsbauwerken grundsätzlich als kritisch erwiesen:

- **Betondeckung:** Nach Eurocode 2 muss die Betondeckung zur Sicherstellung des Verbundes zunächst mindestens dem Stabdurchmesser entsprechen. Diese Forderung wird zumeist auch von Bestandstragwerken erfüllt.

In den Leitsätzen von 1904 wurde eine Betondeckung von nicht weniger als 1 cm gefordert, wobei bei Stäben mit einem Durchmesser unter 1 cm und zusätzlichem Putzauftrag die Betondeckung bis auf 0,5 cm reduziert werden konnte. Die Bestimmungen des DAfEb von 1916 sahen an der Unterseite von Platten eine Betondeckung von mindestens 1 cm und für die Überdeckung von Bügeln an Rippen und Säulen mindestens 1,5 cm vor. Bei Außenbauteilen wurde eine Mindestbetondeckung von 2 cm gefordert.

In DIN 1045:1972 wurde die Betondeckung erstmalig in Abhängigkeit des Stabdurchmessers und der Umweltbedingungen gestaffelt. Die Anforderungen an die Betondeckung wurden aus Dauerhaftigkeitskriterien mit der Ausgabe von DIN 1045:1988 stark erhöht und mit Einführung der Expositionsklassen in DIN 1045-1:2001 weiter gesteigert.

Somit sind Außenbauteile, die vor 1988 erstellt wurden, hinsichtlich des Korrosionsschutzes kritisch zu beurteilen, da diese in der Regel nicht die nach aktueller Normengeneration geforderte Betondeckung aufweisen. Einschränkungen ergeben sich hierdurch insbesondere auf die Dauerhaftigkeit. Aspekte des Brandschutzes bleiben dabei unberücksichtigt.

- **Biegerollendurchmesser:** Der Biegerollendurchmesser wurde erstmals 1916 in den Bestimmungen des DAfEb geregelt. Im Laufe der Zeit erfolgte in den jeweiligen Normausgaben eine Anpassung der Biegerollendurchmesser an die Steigerung der Streckgrenze von 220 N/mm² (BSt 220/340 (I)) auf 500 N/mm² (BSt 500/550 (IV)).

Dabei wurde bereits 1916 unterschieden, ob es sich um Aufbiegungen von Längsbewehrung oder um Zugeiseneinlagen mit rundem oder spitzwinkligem Haken als Verankerungselement handelt. Zur Beschränkung von Umlenkspannungen im Beton wird für Aufbiegungen immer ein größerer Biegerollenradius gefordert, als es für Bügel oder die Verankerungselemente wie Haken und Schlaufen der Fall ist.

Die Erhöhung der Biegerollendurchmesser erfolgte allerdings nur unwesentlich im Lauf der einzelnen Normgenerationen, sodass nur bei älteren Bauteilen Defizite im Vergleich zu einer Auslegung nach Eurocode 2 bestehen.

- **Hin- und Rückbiegen von Betonstählen:** Nach Eurocode 2 werden umfangreiche Anforderungen an das Hin- und Zurückbiegen von Betonstählen gestellt. Im Vergleich zum einmaligen Biegen werden die Anforderungen an die Mindestbiegerollendurchmesser erhöht und es dürfen nur Betonstähle bis zu einem Durchmesser von 14

mm kaltgebogen werden. Weiterhin erfolgt eine Beschränkung der zulässigen Stahlspannungen infolge einer Belastung bei hin- und zurückgebogenen Betonstählen.

Da in der Vergangenheit zeitweise auch Betonstähle eingesetzt wurden, die für das Hin- und Rückbiegen völlig ungeeignet sind, kann im ungünstigsten Fall bereits beim erstmaligen Biegen ein Bruch des Stabes auftreten. Generell wird ein Rückbiegeversuch vor Ausführung der Maßnahme empfohlen, soweit die verwendeten Betonstahlsorten nicht im DBV-Merkblatt „Beton und Betonstahl“ als unproblematisch klassifiziert sind.

- **Mindeststababstände von Betonstählen:** Schon 1916 in den Bestimmungen des DAfEb wurden Mindestabstände zur Sicherstellung eines lunkerfreien Betons verankert. Gefordert wurden dort Mindestabstände in Größe von mindestens 20 mm und zusätzlich mindestens eines Eisendurchmessers.

Insbesondere an vor 1972 errichteten Bestandsbauteilen zeigt sich jedoch, dass den normativen Vorgaben hinsichtlich der Mindeststababstände von Betonstählen in vielen Fällen nicht die notwendige Beachtung geschenkt wurde. Daraus resultieren Fehlstellen im Betongefüge, die bei Außenbauteilen entsprechende Korrosionserscheinungen nach sich ziehen können.

Die bis in die 50er Jahre weit verbreiteten Rippendecken sind ein typisches Beispiel für eine Konstruktionsform, bei der die Stababstände untereinander sowie die Betondeckung vielfach nicht eingehalten wurden und angesichts der verwendeten Schalform auch nicht eingehalten werden konnten.

- **Verankerung von Längsbewehrung (Glattstahl):** Die Verankerung von Betonglattstählen auf Basis der Normgeneration bis 1972 können mit den aktuellen Nachweisformaten nicht nachgewiesen werden. Maßgebend hierfür ist, dass Glattstahl mit Endhaken die Last maßgeblich über Seilreibung abträgt, zu dessen Aktivierung ein gewisser Schlupf unumgänglich ist.

Diese Verankerungsart wurde in der Vergangenheit allerdings durch Versuche abgesichert, sodass man in der Regel von einer ausreichenden Tragfähigkeit im Grenzzustand ausgehen kann, solange die Endhaken unversehrt und in ihrer Wirkung nicht beeinträchtigt sind.

Bei einer Lasterhöhung ist dieser Punkt hinsichtlich der konstruktiven Verträglichkeit mit der Gesamtkonstruktion zu beachten, da sich durch Durchbiegungen und Rissbildungen Einschränkungen hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit ergeben können.

- **Verbundbedingungen / Verbundspannungen für Betonstähle:** Erstmals wurden zulässige Haftspannungen in Abhängigkeit der Güteklasse des Betons in DIN 1045:1943 tabelliert. Zuvor wurden hierfür, unabhängig von der Betongüte, feste Werte angenommen. Der Nachweis der Verbundspannungen wurde jedoch nur für Stäbe mit einem Durchmesser größer 26 mm gefordert.

Die Unterscheidung in zwei Verbundbereiche wurde 1954 in den Zulassungen für Betonrippenstähle erstmalig eingeführt. Mit Ausgabe von DIN 1045:1972 erfolgte die Einführung zulässiger Verbundspannungen in Abhängigkeit der Festigkeitsklasse des Betons, der Betonstahloberflächenstruktur (glatt, profiliert, gerippt) und der Lage des

Bewehrungsstabes im Bauteilquerschnitt. Die darin enthaltenen Werte sind nicht mit den Angaben in den Vorgängernormen vergleichbar.

Mit Fortschreibung des Regelwerkes wurden neben der Bezeichnung der Verbundbereiche auch die zulässigen Verbundspannungen modifiziert, sodass für den jeweiligen Anwendungsfall, auf Grundlage der gültigen Regelungen zur Herstellungszeit, immer eine Überprüfung der Gegebenheiten vor Ort stattfinden sollte. Bei Zweifeln an der Güte des Verbundes empfiehlt sich die punktuelle Entnahme von Bohrkernen, um die Gefügedichtigkeit des den Stahl umgebenden Betons beurteilen zu können.

- **Zugkraftdeckung:** Nachdem in den 60er Jahren von verschiedenen Forschern darauf hingewiesen worden war, dass infolge Fachwerkmodell Druck- und Zugkraft gegeneinander versetzt sind, muss seit 1972 die aus dem Versatzmaß resultierende Zugkraft durch Bewehrung abgedeckt werden. Bei Bauteilen, die vor 1972 hergestellt wurden, ist die Zugkraftdeckung demnach nicht zwangsläufig sichergestellt. Aus um 45° aufgebogenen Längseisen ergibt sich bei voller Schubdeckung (45° - Fachwerk) das Versatzmaß Null, sodass nur aus dem auf die Bügel entfallenden Querkraftanteil Defizite hinsichtlich der Zugkraftdeckung zu erwarten sind.

Solange ein Teil der Längsbewehrung bis auf das Auflager geführt wurde, resultieren daraus in der Praxis in der Regel keine Probleme. Seit mit Einführung des Eurocode 2 der Betonstahl auch innerhalb seiner Verankerungslänge anteilig ausgenutzt werden kann, werden etwaige Unterdeckungsraten zusätzlich reduziert.

- **Querkraftbewehrung:** Der Wert für die zulässige Schubspannung des Betonquerschnittes wurde 1904 pauschal auf $4,5 \text{ kg/cm}^2$ ($\approx 0,45 \text{ N/mm}^2$) festgelegt. Nur die darüber hinausgehende rechnerische Spannung im Querschnitt war durch Aufbiegungen abzudecken und in der Druckzone zu verankern. Dabei wurde die Betondruckstrebe immer unter 45° angenommen.

Dieses Bemessungsmodell hat zur Folge, dass Balkenbereiche ganz ohne Querkraftbewehrung ausgeführt werden konnten und dass sich in anderen Balkenbereichen ein nur sehr geringer Querkraft-Bewehrungsgrad ergab.

Mit den Bestimmungen des DAfEb von 1916 wurde dieses Defizit reduziert. Dort wurde gefordert, dass in den Bereichen mit einer Überschreitung der zulässigen Betonschubspannung von 4 kg/cm^2 ($\approx 0,4 \text{ N/mm}^2$) die vollständigen Schubspannungen des Querschnitts mit Stahleinlagen abzudecken sind. Weiterhin wurde für die Schubspannung des Gesamtquerschnittes bei 14 kg/cm^2 ($\approx 1,4 \text{ N/mm}^2$) eine Obergrenze festgelegt, bei deren Überschreitung die Querschnittsabmessungen zu erhöhen waren.

Erst seit Einführung von DIN 1045:1925 mussten bei Balken durchgehend Bügel angeordnet werden, die auch zur Reduktion der erforderlichen Aufbiegungen bei der Querkraftbemessung in Ansatz gebracht werden konnten. Zusätzlich wurde gefordert, die im Querschnitt vorhandene Schubkraft komplett durch Stahleinlagen abzudecken.

Somit wird erst mit der Normausgabe von 1925 die Deckung aller Schubkräfte bei Balken durch Bewehrungseisen gefordert. Insbesondere zuvor hergestellte Bauteile sind in ihrer Querkrafttragfähigkeit kritisch zu beurteilen.

5. Tragfähigkeit von Rippendecken

An einem Kasernengebäude wurden „in-situ“ Belastungsversuche an Stahlbetonrippendecken durchgeführt. Parallel dazu erfolgten im Labor für konstruktiven Ingenieurbau der TU Kaiserslautern Bauteilversuche zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Stahlbetonrippendecken mit einem der Konstruktion vor Ort nachempfundenen Aufbau.

Bei diesen Versuchen wurde erneut festgestellt, dass das Tragverhalten von Stahlbetonrippendecken nach den aktuellen Bemessungsnormen oft nicht nachgewiesen werden kann, diese jedoch trotzdem erhebliche Traglastreserven aufweisen. Weiterhin bestätigte sich, dass das Tragverhalten von Rippendecken nicht vom Tragverhalten einzelner Rippen abgeleitet werden kann, sondern immer das gesamte Deckensystem als räumlicher Tragzustand betrachtet werden muss.

Belastungsversuche auf Grundlage der entsprechenden DAfStb-Richtlinie sind in solchen Fällen grundsätzlich geeignet, die tatsächliche Tragfähigkeit einschließlich aller Nebeneinflüsse realistisch zu erfassen. Dabei stellt die Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit mangels Versagensvorankündigung ein Problem dar, sofern die Tragwerke nicht bis zu den im Grenzzustand der Tragfähigkeit anzusetzenden Einwirkungen belastet werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Beim Bauen im Bestand werden umfangreiche Anforderungen und vielfältige Herausforderungen an alle am Bau Beteiligten gestellt.

Ursächlich hierfür ist, dass beim Bauen im Bestand mit einer vorhandenen Bausubstanz umgegangen werden muss, für die in der Regel die wesentlichen Parameter unbekannt sind.

Weiterhin sind die aktuellen Bewehrungs- und Konstruktionsregeln nicht auf das Bauen im Bestand unmittelbar übertragbar, sodass die einzelnen Regelungen und Vorschriften im konkreten Einzelfall zu bewerten sind.

In diesem Forschungsbericht sind die wesentlichen Grundlagen und Vorgehensweisen zur Abwicklung von Projekten beim Bauen im Bestand zusammengestellt. Nach der Aufführung der zu verwendenden Richtlinien, Normen und Merkblätter werden Möglichkeiten zur Bestimmung charakteristischer Werkstoffkennwerte genannt und es wird das Vorgehen zur Durchführung einer Bestandsaufnahme beschrieben.

Weiterhin werden modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite ausgewiesen, welche zur Nachrechnung von Tragwerken im Bestand nach der Durchführung einer Bestandsaufnahme vorteilhaft genutzt werden können.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Überprüfung der Anwendbarkeit der aktuellen Bewehrungs- und Konstruktionsregeln im Stahlbetonbau für Bestandstragwerke. In diesem Kapitel werden die jeweiligen Regeln gemäß ihrer Entwicklung in den einzelnen Normengenerationen dargestellt und diskutiert.

Es zeigt sich, dass ein Großteil der Tragkonstruktionen im Bestand nicht nach den aktuellen Bemessungsvorschriften vollständig nachgewiesen werden kann, die Bauteile jedoch trotzdem standsicher sind. Zur Ermittlung solcher Tragreserven sind in manchen Fällen Belastungsversuche am Bauteil zielführend.

Generell sind alle Bestandsbauteile hinsichtlich deren Dauerhaftigkeit und Brandschutzwiderstände zu überprüfen, da die Anforderungen an die Betondeckung in den

früheren Normengenerationen der DIN 1045 wesentlich geringer waren. Ebenfalls zu überprüfende Konstruktionsdetails sind die Verankerung der Längsbewehrung und deren Zugkraftdeckung sowie die Querkrafttragfähigkeit der Bauteile.

In Abhängigkeit der Herstellungszeit eines Tragwerkes und dem damit verbundenen gültigen Regelwerk muss somit für jedes Tragwerk dessen spezifische Schwachstellen ermittelt und bewertet werden. Hierzu sind die wesentlichen Bewehrungs- und Konstruktionsregeln hinsichtlich deren zeitlichen Entwicklung aufbereitet und zusammengestellt. Mit Hilfe dieser Zusammenstellung können die sich aus der Entwicklung des Regelwerkes ergebenden Schwachstellen identifiziert und durch Bauwerksuntersuchungen vor Ort verifiziert werden.