



S P A N N B E T O N

Berechnung und Ausführung

TGL

0-4227

Gruppe 700

Verbindlich ab 1.1.1964

VORBEMERKUNG

Abschnitt 1. gilt für Spannbetonkonstruktionen, bei denen unter Gebrauchslast keine oder nur begrenzte Zugspannungen auftreten.

Abschnitt 2. gilt für Spannbetonkonstruktionen mit vorwiegend ruhender Belastung, bei denen das Auftreten von Rissen mit begrenzter Rißweite zulässig ist.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Berechnung nach Zustand I und Ausführung
 - 1.1. Begriffe
 - 1.2. Mitgeltende Vorschriften
 - 1.3. Baustoffe
 - 1.4. Nachweis der Güte der Baustoffe
 - 1.5. Erzeugung der Vorspannung
 - 1.6. Grundsätze für die bauliche Durchbildung
 - 1.7. Berechnungsgrundlagen
 - 1.8. Kriechen und Schwinden
 - 1.9. Gebrauchslast, ungünstigste Laststellung
 - 1.10. Rißsicherung bei voller Vorspannung
 - 1.11. Rißsicherung bei beschränkter Vorspannung
 - 1.12. Sicherheit gegen Erreichen der Traglast
 - 1.13. Hauptzugspannungen, Schubsicherung, Haftspannungen
 - 1.14. Knicken unter Vorspannung
 - 1.15. Verankerung der Spannglieder
 - 1.16. Zulässige Spannungen

2. Berechnung nach Zustand II
 - 2.1. Begriffe
 - 2.2. Erforderliche Nachweise
 - 2.3. Lastfälle
 - 2.4. Kriechen und Schwinden
 - 2.5. Formänderungen unter Gebrauchslast
 - 2.6. Zulässige Spannungen

Fortsetzung Seite 2 bis 37

Bearbeiter: Fachbereich 112, Naturwissenschaftliche
und technische Grundlagen des Bauwesens
Bestätigt: 31.5.1963, Amt für Standardisierung, Berlin

1. BERECHNUNG NACH ZUSTAND I UND AUSFÜHRUNG

1.1. Begriffe

1.1.1. Spannbeton im Zustand I

Im Zustand I sind Spannbeton-Bauteile derart vorgespannt, daß die unter Gebrauchslast nach Abschnitt 1.9. auftretenden Zugspannungen auf solche Größen beschränkt bleiben, bei denen die statische Wirksamkeit der Betonzugzone gewährleistet ist. Unter Vorspannung wird dabei nur der durch besondere Kräfte erzeugte Eigenspannungs-Zustand verstanden, der nach Abzug aller aus anderen Lasten herrührenden Spannungen verbleibt.

1.1.2. Zugzone, Druckzone

Die Zugzone ist derjenige Querschnittsteil, in dem unter gegebener Belastung ohne Vorspannung Zugspannungen, die Druckzone derjenige Querschnittsteil, in dem unter den gleichen Bedingungen Druckspannungen entstehen würden.

1.1.3. Vorgedrückte Zugzone, vorgedrückte Druckzone

Werden durch die Vorspannung in der Zugzone Druckspannungen erzeugt, so liegt der Fall einer vorgedrückten Zugzone vor. Werden durch die Vorspannung in der Druckzone Druckspannungen erzeugt, so liegt der Fall der vorgedrückten Druckzone vor.

1.1.4. Spannglieder

Zugglieder aus hochwertigem Stahl, die zur Erzeugung der Vorspannung dienen, werden als Spannglieder bezeichnet.

1.1.5. Schlaaffe Bewehrung

Als schlaaffe Bewehrung werden die übrigen nichtgespannten Stahleinlagen bezeichnet.

1.1.6. Volle Vorspannung

Unter voller Vorspannung wird ein Spannungszustand verstanden, bei dem unter Gebrauchslast im Beton keine Zugspannungen auftreten mit Ausnahme der im Abschnitt 1.10. angegebenen Fälle.

1.1.7. Beschränkte Vorspannung

Unter beschränkter Vorspannung wird ein Spannungszustand verstanden, bei dem unter Gebrauchslast im Beton Zugspannungen bis zu den im Abschnitt 1.11. angegebenen Grenzen auftreten.

1.1.8. Vorspannung mit sofortigem Verbund

Der Fall einer Vorspannung mit sofortigem Verbund liegt vor, wenn die Spannglieder vor dem Erhärten des Betons vorgespannt werden und die Verbundwirkung mit dem Erhärten des Betons eintritt.

1.1.9. Vorspannung mit nachträglichem Verbund

Der Fall einer Vorspannung mit nachträglichem Verbund liegt vor, wenn die in den Spanngliederkanälen liegenden Spannglieder nach dem Erhärten des Betons vorgespannt werden und die Verbundwirkung anschließend durch Ausbetonieren der Spanngliederkanäle erzielt wird.

1.1.10. Vorspannung ohne Verbund

Der Fall einer Vorspannung ohne Verbund liegt vor, wenn die Spannglieder außerhalb oder ohne Verbund innerhalb des Betonquerschnittes liegen.

1.1.11. Nachspannen

Unter Nachspannen ist eine nachträgliche Erhöhung der Vorspannung in den Spanngliedern zu verstehen.

1.2. Mitgeltende Vorschriften

1.2.1. Standards

Für Bauteile aus Spannbeton gelten zusätzlich, soweit nachstehend nicht anders bestimmt wird:

- TGL 0-1045 "Bauwerke aus Stahlbeton, Projektierung und Ausführung"
- TGL 0-1048 "Betonprüfung"
- TGL 0-4225 "Fertigteile aus Stahlbeton"
- TGL 6477 "Stähle für den Stahlbetonbau, Spannstahl St 60/90"
- TGL 14 193 "Federstahldraht, unlegiert rund, patentiert, kalt gezogen"

1.2.2. Zulassungen

Soweit keine verbindlichen Standards vorliegen, sind Zulassungen der Staatlichen Bauaufsicht erforderlich für:

- Spannstahl
- Verankerung der Spannglieder
- Annahmen über Reibungsverluste bei Spanngliedern
- Herstellung des nachträglichen Verbundes
- Verwendung von Beton geringerer Güte als B 300

1.2.3. Angaben in den Bauvorlagen

Nach TGL 0-1045

Zusätzlich sind anzugeben:

- Grad
- Zeitpunkt und
- Art der Vorspannung sowie das
- Spannverfahren

1.3. Baustoffe

1.3.1. Beton

1.3.1.1.

Für Spannbeton ist mindestens Beton B 300 zu verwenden. Dies gilt auch für nachträgliche Ergänzungen von Querschnitten, soweit sie als mitwirkend in Rechnung gestellt werden. Die geforderten hohen Betongüten sind mit niedrigem Wasserzementwert und mit besonders wirksamen Verdichtungs-Geräten zu erzielen. Eine Verwendung von calciumchloridhaltigen Zusatzmitteln zur Betonherstellung ist unzulässig.

1.3.1.2.

Die Verwendung einer geringeren Betongüte als B 300 für Spannbeton ist nur ausnahmsweise zulässig und bedarf nach Abschnitt 1.2.2. einer Zulassung. Unabhängig davon müssen zumindest die Querschnittszonen aus B 300 bestehen, in denen die Hauptbewehrung liegt.

1.3.2. Spannstahl

1.3.2.1.

Als Spannglieder (Spannstähle) sind Einzelstäbe, Drahtbündel, Litzen und Seile zugelassen.

Für die Zulassung sind alle Festigkeits- und Verformungseigenschaften, die für die Verwendung als Spannstahl von Bedeutung sind, zum Beispiel die Spannungs-Dehnungslinien für die Wirkung der ruhenden und wiederholten Belastung, das Kriechverhalten, die Dauerstandfestigkeit und die Dauerschwingfestigkeit, sowie die Eignung für die beabsichtigte Art der Verarbeitung, zum Beispiel zulässige Krümmung der Spannglieder, Stoßausbildung und Wärmebehandlung, nachzuweisen.

Wegen des Nachweises der Eignung des Spannstahles für die vorgesehene Art der Verankerung vergleiche Abschnitt 1.15.1.

1.3.2.2.

Für Drahtbündel, die aus gleichlaufenden Stahldrähten bestehen, sind die Festigkeitseigenschaften der Einzeldrähte maßgebend.

1.3.2.3.

Bei Litzen und Seilen ist nicht die Zugfestigkeit der Einzeldrähte, sondern die aus der Bruchlast des Gesamtquerschnittes der Litzen oder des Seiles errechnete Zugfestigkeit maßgebend. Ferner ist zu beachten, daß bei ihnen zusätzliche bleibende Verformungen entstehen, die aus der engeren Lagerung der Einzeldrähte unter Last herrühren.

1.3.3. Schlaaffe Bewehrung

Als schlaaffe Bewehrung darf sowohl Betonstahl nach TGL 0-1045 als auch Spannstahl verwendet werden.

1.4. Nachweis der Güte der Baustoffe

1.4.1. Beton

1.4.1.1.

Für den Beton sind vor der Ausführung stets Eignungsprüfungen nach TGL 0-1048 durchzuführen. Sie sind zu wiederholen, wenn die Ausgangsstoffe wechseln und wenn sich Zusammensetzung oder Art der Verarbeitung des Betons ändern.

1.4.1.2.

Während der Ausführung sind wöchentlich mindestens zweimal Güteprüfungen nach TGL 0-1045 durchzuführen. Außerdem sind für jeden Betonier-Abschnitt Probewürfel für die in Abschnitt 1.5.1. verlangte Erhärtungsprüfung anzufertigen; Anzahl der Probewürfel nach TGL 0-1048.

1.4.1.3.

Art und Grad der Verdichtung der Probewürfel sind so zu wählen, daß die Rohdichte der Würfel und die Rohdichte des Betons im Bauwerk ausreichend übereinstimmen.

1.4.2. Spannstahl

1.4.2.1.

Vor der Verwendung ist zu prüfen, ob für den Spannstahl Standards oder Zulassungen vorliegen.

1.4.2.2.

Die Stähle dürfen bei der Beförderung oder beim Einbau keine festigkeitsmindernden Beschädigungen erlitten haben. Stähle mit solchen Schäden und - abgesehen von leichtem Flugrost - auch angerostete Stähle sind von der Verwendung auszuschließen.

1.4.3. Schlaaffe Bewehrung

Nach TGL 0-1045

1.5. Erzeugung der Vorspannung

1.5.1. Zeitpunkt des Vorspannens

Der Beton darf erst vorgespannt werden, wenn durch Erhärtungsversuche nach TGL 0-1048 nachgewiesen ist, daß die Würfel Festigkeit mindestens die Werte erreicht hat, die in Tabelle 1 für die in Rechnung gestellte Betongüte angegeben sind, soweit nicht im Hinblick auf das Kriechen eine höhere Festigkeit abgewartet werden muß.

Es ist zulässig, schon früher einen Teil der Vorspannung aufzubringen, zum Beispiel zur Vermeidung von Schwindrissen, wenn die Betonfestigkeiten mindestens 50% der Werte nach Tabelle 1 erreicht haben und die Betonspannungen sowohl an den Verankerungsstellen als auch im übrigen Bauteil 30% der nach Abschnitt 1.16. zulässigen Werte nicht überschreiten. Für die Betonfestigkeiten, die zwischen den obengenannten Mindestwerten und den Werten der Tabelle 1 liegen, ist die zulässige Teilvorspannung durch geradliniges Zwischenschalten zu ermitteln.

Tabelle 1 Erforderliche Würfel Festigkeit im Zeitpunkt der Vorspannung

Betongüte	B 300	B 450	B 600
Mindestfestigkeit beim Vorspannen kp/cm^2	240	360	480

1.5.2. Vorrichtungen für das Spannen

Die zum Spannen benötigten Vorrichtungen sind vor ihrer ersten Benutzung und später in angemessenen Zeitabständen auf ihre Genauigkeit zu prüfen. Vorrichtungen, die mit Fehlern $> \pm 5\%$ arbeiten, dürfen nicht verwendet werden.

1.5.3. Verfahren und Messungen beim Spannen

1.5.3.1. Schrittweises Spannen

Werden die Spannglieder des gleichen Bauteiles nach dem Erhärten des Betons nacheinander gespannt, so ist zu berücksichtigen, daß die Kraft in den zuerst gespannten Spanngliedern beim Spannen der anderen Glieder infolge der

elastischen Zusammendrückung des Betons abnimmt und daß sie sich bei größeren Zeitabständen unter Umständen auch infolge des Kriechens und Schwindens bereits vermindert hat. Die Reihenfolge des Spannens ist stets so zu wählen, daß keine unzulässigen Beanspruchungen im Bauteil auftreten.

1.5.3.2. Spannglieder ohne Behinderung der Dehnung

Bei Spanngliedern, die sich in dem verwendeten Spannungsbereich rein elastisch verhalten - das gilt zum Beispiel nicht für Seile - und deren Dehnung durch keine Reibung behindert wird, ist die eingetragene Spannkraft durch Messung der erzeugten Längenänderung der Spannglieder zu bestimmen. Gleichzeitig ist auch die beim Spannen eingetragene Kraft zu messen, um Fehler in der Messung der Längenänderung mit Sicherheit auszuschalten. Die Vorspannung in Spanngliedern, bei denen zu der elastischen Dehnung eine wesentliche bleibende Dehnung hinzutritt, zum Beispiel Seile, ist durch Messung der eingetragenen Spannkraft zu ermitteln.

1.5.3.3. Spannglieder mit Dehnungsbehinderung (Reibung)

Bei nichtgeradliniger Führung der Spannglieder muß die Größe des zu erwartenden Reibungsbeiwertes vor der Ausführung durch Versuche bestimmt und durch Zulassung festgelegt werden. Der auf Grund dieses Reibungsbeiwertes errechnete Verlust an Spannkraft ist beim Spannungsnachweis zu berücksichtigen. Beim Spannen ist sowohl die Längenänderung als auch die Spannkraft zu messen und durch Vergleich beider Werte nachzuweisen, daß die in Rechnung gesetzten Kraftverluste nicht überschritten wurden.

1.5.3.4. Spannglieder mit Schlupf in den Verankerungen

Werden Spanverfahren verwendet, bei denen nachweisbar mit einem bestimmten Mindestschlupf zwischen Spannstahl und Verankerung zu rechnen ist, so darf der Spannstahl um das Maß dieses Schlupfes zusätzlich gedehnt werden, vorausgesetzt, daß damit die zulässigen Spannungen nach Tabelle 7, Zeile 37 bis 40, an den Spannenden um höchstens 5% vorübergehend überschritten werden.

1.6. Grundsätze für die bauliche Durchbildung

1.6.1. Betondeckung und Abstände der Stahleinlagen

Bei Vorspannung mit Verbund muß stets gewährleistet sein, daß sämtliche Stäbe oder Einzeldrähte der Spannglieder ausreichend mit Beton umhüllt sind. Für die Betondeckung und die Mindestabstände der Stahleinlagen gelten TGL 0-1045 und TGL 0-4225.

Wird der Verbund durch nachträgliches Einpressen von Mörtel oder Zementbrei hergestellt, so sind die gegenseitigen Abstände der Stäbe oder Einzeldrähte der Spannglieder und ihr Abstand von der Ummantelung so zu wählen, daß ein einwandfreies Auspressen möglich ist, damit die Haftspannungen sicher übertragen und die Spannglieder sicher gegen Rost geschützt werden. Schlaffe Bewehrungen sind stets durch Bügel gegen Ausknicken zu sichern. Sie dürfen zur Aufnahme der Druckspannungen nur in Rechnung gestellt werden, wenn ihre in cm gemessene Betondeckung zahlenmäßig mindestens gleich ihrem in cm^2 gemessenen Querschnitt ist.

1.6.2. Gekrümmte Spannglieder

In gekrümmten Spanngliedern sind für die Rundspannungen die Werte in Tabelle 7, Zeile 40, zulässig. Höhere Beanspruchungen, zum Beispiel infolge kleiner Krümmungshalbmesser oder Ablenkungen über Sätteln, bedürfen einer Zulassung auf Grund von Versuchen.

1.6.3. Haken der Stahleinlagen, Verankerung der Spannglieder

Für die schlaaffe Bewehrung gilt TGL Q-1045. Wegen der Verankerung der Spannglieder vergleiche Abschnitt 1.15.

1.6.4. Schweißen

Das Schweißen von Spannstählen ist unzulässig. Für das Schweißen von Teilen der Verankerung gilt Abschnitt 1.15., für das Schweißen der schlaffen Bewehrung TGL 0-1045.

1.6.5. Rostschutz

Die Spannglieder und ihre Ankerkörper müssen beim Einbau - abgesehen von leichtem Flugrost - rostfrei sein und korrosionssicher eingebettet, umhüllt oder angestrichen werden. Es ist besonders darauf zu achten, daß der Spannstahl auch in der Zeit zwischen dem Verlegen und der Herstellung des Verbundes vor Rost geschützt ist. Bei Spanngliedern ohne Verbund muß die Unterhaltung und Erneuerung von Anstrichen jederzeit möglich sein.

1.6.6. Brandschutz

Nach den geltenden Vorschriften für den bautechnischen Brandschutz

1.7. Berechnungsgrundlagen

1.7.1. Erforderliche Nachweise

Bei Berechnung nach Zustand I müssen folgende Nachweise erbracht werden:

1.7.1.1.

Unter Gebrauchslast nach Abschnitt 1.9. der Nachweis, daß die hierfür zugelassenen Spannungen nach Abschnitt 1.16. nicht überschritten werden,

1.7.1.2.

der Nachweis der Rißsicherung nach Abschnitt 1.10. und Abschnitt 1.11.,

1.7.1.3.

der Nachweis der Sicherheit gegen Erreichen der Traglast nach Abschnitt 1.12.

1.7.2. Formänderung des Stahles

Der Zusammenhang zwischen den beim Spannen entstehenden Spannungen und Dehnungen wird durch die Spannungs-Dehnungslinie für ruhende Last bestimmt. Diese Linie ist durch Versuche zu ermitteln. Für die nach dem Spannen auftretenden Lastfälle nach den Abschnitten 1.7.1.1. und 1.7.1.2. ist als Elastizitätsmodul E_s der aus der Spannungs-Dehnungslinie für wiederholte Belastung bei Entlastung gewonnene und in Standards oder Zulassungen festgelegte Wert einzusetzen. Zur Vereinfachung dürfen die Rechenwerte der Tabelle 2 benutzt werden, soweit in Standards oder Zulassungen nicht anders bestimmt ist,

Tabelle 2 Elastizitätsmodul der Spannglieder

Art der Spannglieder	Elastizitätsmodul E_s kp/cm ²
Drähte, Stab- und Formstahl, warm gewalzt oder vergütet	2 100 000
Drähte oder Bänder, kalt gezogen oder kalt gewalzt	2 000 000
Litzen aus 2 bis 7 Drähten, kalt gezogen oder kalt gewalzt, mit einer Schlaglänge von mindestens dem zehnfachen Außendurchmesser der Litze	1 800 000
Alle anderen Spannstähle	nach Versuch

Für die Spannstähle St 60/90, St 130/150 und St 140/160 sind die Spannungsdehnungslinien in den Bildern 1 bis 3 dargestellt. Vereinfachend darf jedoch mit einer ideal-elastisch-plastischen Spannungsdehnungslinie gerechnet werden, das heißt, es wird die Gültigkeit des Hooke'schen Gesetzes bis zur Streckgrenze angenommen sowie konstanter Spannungsverlauf für Dehnungen oberhalb der Streckgrenze. Für die genannten Spannstähle sind die Festigkeitswerte nach Tabelle 3 anzunehmen.

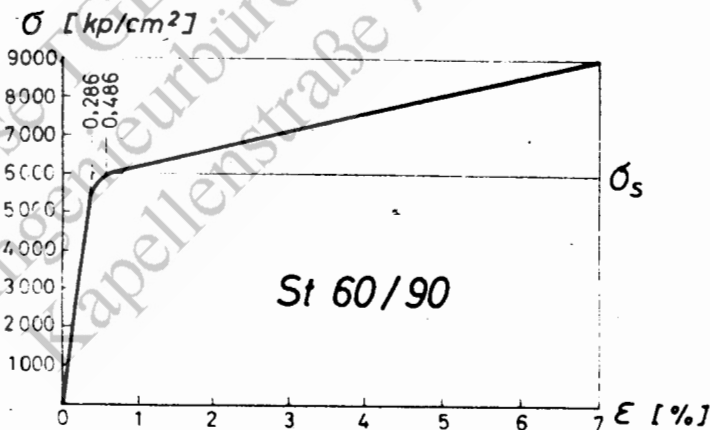


Bild 1

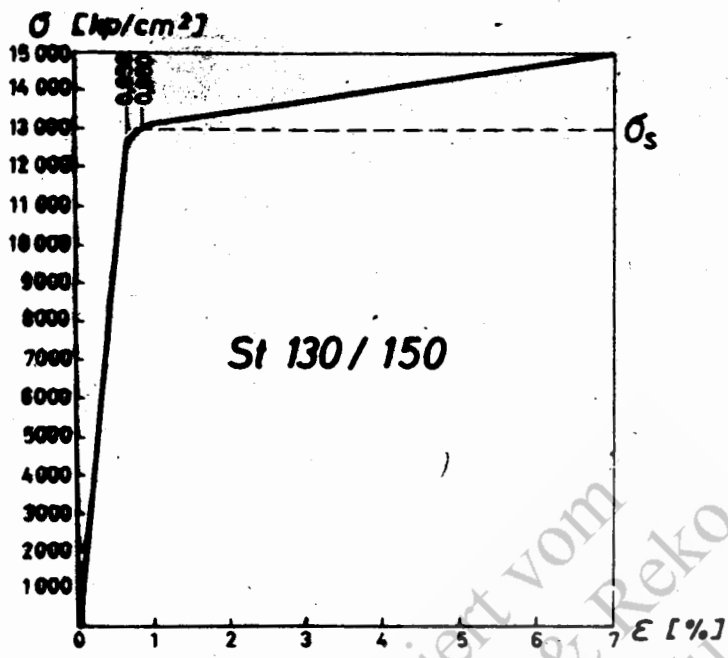


Bild 2

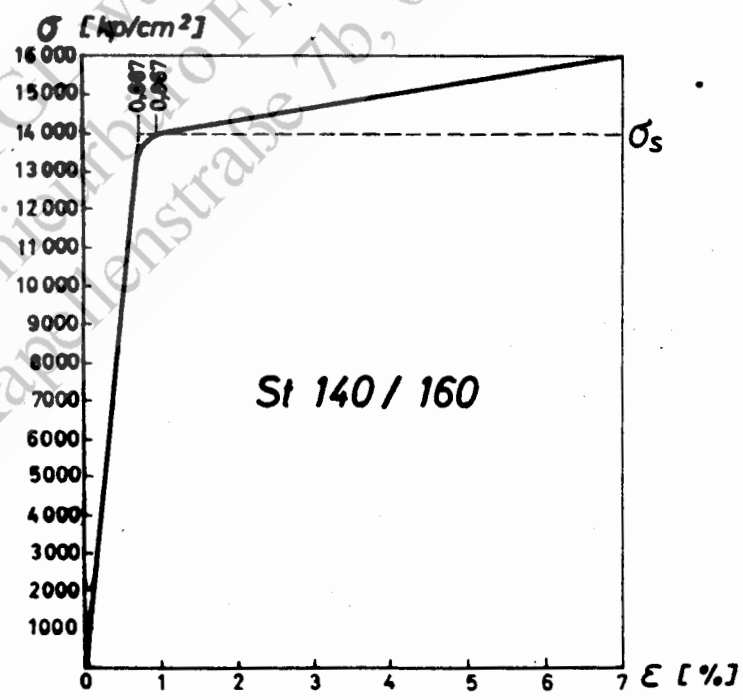


Bild 3

Diese TC wurde digitalisiert vom
Ingenieurbüro Friedrich Bau & Reko,
Kapellenstraße 7b, 08324 Bockau.

Tabelle 3 Festigkeitswerte für Spannstähle

Festigkeitswerte	St 60/90	St 130/150	St 140/160
Elastizitätsgrenze $\sigma_{0,01}$	5000	12000	12000
Streckgrenze $\sigma_S = \sigma_{0,2}$	6000	13000	14000
Kriechgrenze σ_K	5000	11000	11000
Bruchgrenze σ_B	9000	15000	16000
Bruchdehnung ϵ_B	8	6	6
Elastizitätsmodul E	2100000	2000000	2100000

Die Werte für St 130/150 gelten für Spannstahl, werden andere Stähle der Güte St 150 verwendet, zum Beispiel Federstahldraht nach TGL 14 193, so sind die durch eine Prüfung ermittelten Festigkeitswerte zugrunde zu legen.

1.7.3. Formänderung des Betons

1.7.3.1. Elastizitätsmodul des Betons

Bei allen Berechnungen mit Ausnahme der Ermittlung der Sicherheit gegen Erreichen der Traglast darf mit einem für Druck und Zug gleichgroßen Elastizitätsmodul E_b nach Tabelle 4 gerechnet werden.

Tabelle 4 Elastizitätsmodul des Betons

Betongüte	Elastizitätsmodul E_b kp/cm ²
B 300	300000
B 450	350000
B 600	400000

Soll der tatsächliche Elastizitätsmodul E_b des verwendeten Betons in Rechnung gestellt werden, so ist er durch Versuche des Deutschen Amtes für Material- und Warenprüfung zu ermitteln. Dabei ist der mittlere Modul (Sehnenmodul) $E_b = \frac{\sigma}{\epsilon}$ für die Gebrauchsspannungen σ_{zul} zu bestimmen, wie dies auch in Tabelle 4 vorausgesetzt ist.

1.7.3.2. Querdehnungszahl

Der Einfluß der Querdehnung darf mit $\nu = \frac{1}{6}$ berücksichtigt werden.

1.7.4. Bewertung der im Verbund liegenden Stahleinlagen in der Rechnung

Bei der Ermittlung der ideellen Querschnittsgrößen F_1 und J_1 sind die Querschnitte der Stahleinlagen mit ihrem n-fachen Wert anzusetzen. Für Druckbewehrung vergleiche Abschnitt 1.6.1.

Das Verhältnis "n" der Elastizitätsmoduli von Stahl und Beton bei Verwendung der Werte der Tabellen 2 und 4 ist in Tabelle 5 angegeben. Es gilt für alle Berechnungen unter Gebrauchslast nach Abschnitt 1.9, sowie für den Nachweis der Rissicherung nach den Abschnitten 1.10. und 1.11. und auch für den Zustand II.

Tabelle 5 Verhältniszahlen $n = \frac{E_s}{E_b}$

Art der Spannglieder	Verhältniszahlen $n = \frac{E_s}{E_b}$ bei Betongüte		
	B 300	B 450	B 600
Drähte, Stab- und Fermatahl, warm gewalzt oder vergütet	7,0	6,0	5,3
Drähte oder Bänder, kalt gezogen und kalt gewalzt	6,7	5,7	5,0
Litzen aus 2 bis 7 Drähten, kalt gezogen oder kalt gewalzt, mit einer Schlaglänge von mindestens dem zehnfachen Außendurchmesser der Litze	6,0	5,1	4,5

1.7.5. Mitwirkung des Betons in der Zugzone

In allen Berechnungen nach Abschnitt 1. mit Ausnahme des Nachweises der Rissicherung und der Sicherheit gegen Erreichen der Traglast nach den Abschnitten 1.10.3.1. und 1.12. darf nach Zustand I gerechnet werden. Die Bewehrung ist trotzdem stets so zu bemessen, daß sie die gesamte Zugkraft allein aufnehmen kann.

1.7.6. Nachträglich ergänzte Querschnitte

Bei Querschnitten, die nachträglich durch Anbetonieren ergänzt werden, sind die Nachweise nach Abschnitt 1.7.1. sowohl für den ursprünglichen als auch für den ergänzten Querschnitt zu führen. Beim Nachweis der Sicherheit gegen Erreichen der Traglast für den ergänzten Querschnitt darf davon ausgegangen werden, daß er für die gesamten Lasten so wirkt, als ob er von Anfang an einheitlich hergestellt worden wäre. Voraussetzung hierfür ist, daß die Fuge zwischen dem ursprünglichen Querschnitt und der Ergänzung so ausgebildet wird, daß die unter dieser Annahme in ihr wirkenden Zugkräfte durch entsprechende Bewehrung übernommen werden können. Dies ist vor allem bei der Schub- sicherung nach Abschnitt 1.13.4. zu berücksichtigen.

1.8. Kriechen und Schwinden

1.8.1. Kriechen von Stahl und Beton

Mit Kriechen wird die zeitbedingte Zunahme der bleibenden Verformung unter dem Einfluß von dauernd wirkenden Spannungen bezeichnet.

Das Kriechen des Stahles braucht in der Rechnung nicht berücksichtigt zu werden, wenn entweder die Stahlspannung unterhalb der Kriechgrenze gewählt wird oder die Kriechdehnung durch geeignete Maßnahmen, zum Beispiel Nachspannen des Stahles, ausgeschaltet wird.

Das Kriechen des Betons hängt vom Erhärtungszustand des Betons im Zeitpunkt des Aufbringens der Spannungen, von ihrer Größe und der Dauer ihrer Einwirkung, von der Beschaffenheit des Betons und dem Feuchtigkeitsgrad, seiner Umgebung entsprechend Tabelle 6 ab.

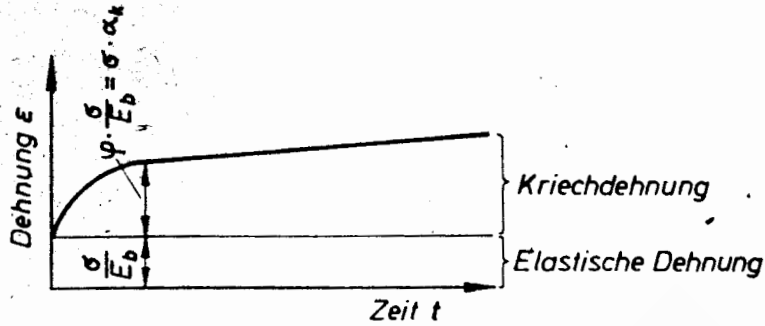


Bild 4

Unter der Annahme, daß die Formänderung des Betons beim Kriechen verhältnismäßig der wirkenden Spannung ist und der Elastizitätsmodul E_b gleich bleibt, lautet die Grundbeziehung für die Formänderung und gleichbleibende Spannung

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E_b} (1 + \varphi) = \sigma \left(\frac{1}{E_b} + \alpha_k \right) \quad (1)$$

Hierbei bedeutet nach Bild 4

$$\varphi = \frac{\text{Kriechdehnung}}{\text{elastische Dehnung}} = E_b \cdot \alpha_k \quad (2)$$

das Verhältnis der bezogenen Längenänderung infolge Kriechens zu dem elastischen Anteil der bezogenen Längenänderung. Damit ergibt sich φ als dimensionslose Kriechzahl.

α_k = Kriechmaß $[\text{cm}^2/\text{kp}]$, die durch die Einheit der Spannung hervorgerufene bezogene Längenänderung infolge Kriechens.

Sowohl φ wie auch α_k sind zeitabhängig und streben ihren Endwerten φ_∞ und $\alpha_{k\infty}$ zu.

Tabelle 6 Endkriechzahlen φ_∞ und Endschwindmaße ϵ_s des unbewehrten Betons für $t = \infty$

Lage	Endkriechzahl φ_∞	Endschwindmaß $\epsilon_s \cdot 10^5$ Grundwerte
im Wasser	0,50 k bis 1,00 k	0
in sehr feuchter Luft, zum Beispiel unmittelbar über dem Wasser	1,50 k bis 2,00 k	10
allgemein im Freien	2,00 k bis 3,00 k	20
in trockener Luft, zum Beispiel in trockenen Innenräumen	2,50 k bis 4,00 k	30

Tabelle 6 enthält die Endkriechzahlen für unbewehrten Beton nach Abschluß des Kriechvorganges für $t = \infty$, praktisch nach ungefähr 4 Jahren. Werden Zwischenwerte eingeschaltet, so sind dafür ebenfalls obere und untere Grenzwerte zu wählen. Auch bei der Auswertung von Versuchen sind Schwankungen gleicher Größenordnung zu berücksichtigen.

Bei Bauteilen, deren kleinste Abmessung mindestens 750 mm ist, darf die Kriechzahl um 10%, bei einer kleinsten Abmessung von mindestens 1500 mm um 20% ermäßigt werden. Der Einfluß einer besonders starken oder sehr einseitigen schlaffen Bewehrung ist in der Berechnung zu berücksichtigen.

Die Beiwerte k in Tabelle 6 berücksichtigen den Einfluß des Erhärtungszustandes des Betons im Zeitpunkt des Entstehens der Spannungen, die das Kriechen bewirken, und sind aus Bild 5 für das den Erhärtungszustand beschreibende Verhältnis $W : W_{\infty}$ zu entnehmen. Dabei ist W die Würfel Festigkeit beim Auftreten der Spannung, W_{∞} die Endfestigkeit.

Die Endfestigkeit W_{∞} des Betons darf bei Verwendung von Zement Z 225 zu $1,3 W_{28}$, bei Zement Z 350 und Z 450 zu $1,15 W_{28}$ angenommen werden. Dabei ist für W_{28} der bei der Eignungsprüfung festgestellte Wert einzusetzen. Wird die das Kriechen bewirkende Spannung zu einem späteren Zeitpunkt verändert, so ist die Wirkung der Zusatzspannung getrennt zu berechnen. Dabei muß jener k -Wert verwendet werden, der dem Zeitpunkt der Spannungsänderung entspricht. Die Wirkungen des Kriechens infolge der zuerst aufgetragenen Spannung und der späteren Zusatzspannung sind dann zu überlagern. Bei Verwendung von Portlandzement kann unter normalen Erhärtungsbedingungen für den Beiwert k angenommen werden:

Nach einer Erhärtungszeit von 3 Monaten: $k = 0,75$

Nach einer Erhärtungszeit von 6 Monaten: $k = 0,65$

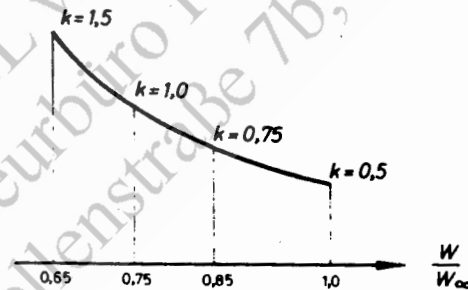


Bild 5 Beiwert k für Schwinden und Kriechen

1.8.2. Schwinden des Betons

Unter Schwinden des Betons werden die Längenänderungen verstanden, die beim Austrocknen des Betons entstehen. Die Verformungen des Betons unter dem Einfluß der Abbindewärme fallen nicht unter den Begriff des Schwindens und sind gesondert zu berücksichtigen, wenn der Einfluß erheblich ist. Der Einfluß des Schwindens von unbewehrtem Beton ist beim Spannen vor dem Erhärten des Betons mit den in Tabelle 6 angegebenen Grundwerten ϵ_s in Rechnung zu stellen. Beim Spannen nach dem Erhärten des Betons sind die Grundwerte ϵ_s nach Tabelle 6 mit dem 0,6fachen Wert k entsprechend Bild 5 zu vervielfachen. Für die Bestimmung von k gilt sinngemäß Abschnitt 1.8.1., vorletzter Absatz.

Bei der Berechnung darf angenommen werden, daß das Schwinden zeitlich verhältnismäßig dem Kriechen verläuft.

Die angegebenen Werte gelten für Bauteile mit Mindestabmessungen zwischen 200 und 750 mm. Für dünnere Bauteile sind sie um 25% zu erhöhen. Für dickere Bauteile dürfen sie um den gleichen Betrag ermäßigt werden.

Für die Berechnung der Schnittkräfte äußerlich statisch unbestimmter Tragwerke sind die Schwindmaße nach Tabelle 6 ohne Abminderung durch k einzusetzen, wenn nicht der Einfluß des Schwindens durch besondere Maßnahmen vermindert wird, zum Beispiel durch Anordnung von Schwindfugen.

1.8.3. Nachweis des Einflusses von Kriechen und Schwinden des Betons

Die Abminderung der Spannkraft unter dem Einfluß von Kriechen und Schwinden des Betons ist in der Regel rechnerisch nachzuweisen.

Der rechnerische Nachweis ist für alle dauernd wirkenden Spannungen durchzuführen, also in erster Linie für die Wirkung der Vorspannung und der ständigen Last.

Wirkt ein nennenswerter Anteil der Verkehrslast dauernd, so ist auch der durchschnittlich vorhandene Betrag der Verkehrslast als Dauerlast zu betrachten.

Für die Berechnung der Schnittkräfte äußerlich statisch unbestimmter Tragwerke ist der Einfluß des Kriechens und Schwindens stets zu berücksichtigen.

Der Nachweis ist für den unter Abschnitt 1.9.2.4. angegebenen Zustand mit dem größeren Grenzwert der Kriechzahl nach Tabelle 6 durchzuführen, soweit nicht in besonderen Fällen der kleinere Wert ungünstigere Spannungen ergibt. Bei der Abschätzung der zu erwartenden Verformung des Tragwerkes sind die Schwankungen der Kriechzahl zwischen den angegebenen Grenzwerten ebenfalls zu berücksichtigen.

Werden die dauernd wirkenden Lasten zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt aufgebracht als die Vorspannung, wie das zum Beispiel bei Fertigteilen vorkommen kann, so ist das durch entsprechende Annahmen nach Abschnitt 1.8.1. zu berücksichtigen. Anstelle des rechnerischen Nachweises ist ein Nachweis auf Grund von Versuchen zulässig, wenn die Versuchsbedingungen für alle in Abschnitt 1.8. genannten Einflüsse ausreichend mit den Verhältnissen am Bauwerk übereinstimmen, die obere und untere Grenze der Größe des Kriechens berücksichtigt werden und das Deutsche Amt für Material- und Warenprüfung die Versuche durchführt.

1.9. Gebrauchslast, Ungünstigste Laststellung

Unter Gebrauchslast werden alle Lastfälle verstanden, denen das Bauwerk während seiner Errichtung und im Gebrauch unterworfen ist. Die Größe der Vorspannung ist unabhängig von den aufgebrachten Lasten und nimmt vom Augenblick des Spannens bis zum Ende des Kriechens und Schwindens im allgemeinen langsam ab. Zur Feststellung der Grenzwerte der Spannungen müssen daher die einzelnen Lastzusammenstellungen in der zeitlichen Reihenfolge ihres Eintretens untersucht werden, wobei der Bauvorgang und der Zeitpunkt der Ingebrauchnahme zu berücksichtigen sind.

1.9.1. Lastfälle

Für die Bildung der ungünstigsten Lastzusammenstellungen nach Abschnitt 1.9.2. sind stets folgende Lastfälle getrennt zu untersuchen:

1.9.1.1. Vorspannung

In diesem Lastfall sind die Kräfte und Spannungen zusammenzufassen, die allein von der ursprünglich eingetragenen Vorspannung hervorgerufen werden.

1.9.1.2. Ständige Last

Wird die ständige Last stufenweise aufgebracht, so ist jede Laststufe als besonderer Lastfall zu behandeln. Die Rohwichte des Spannbetons ist nach den geltenden Vorschriften für Lastannahmen für Bauten anzunehmen. Ist sie wesentlich größer als die dort angegebenen Werte, zum Beispiel bei schweren Zuschlagstoffen, starker Bewehrung, so ist sie an Probekörpern zu bestimmen und in Rechnung zu stellen, sofern eine solche Überschreitung von Einfluß auf die Festigkeit, Standsicherheit oder Einhaltung der Bauwerksform ist.

1.9.1.3. Verkehrslast

Auch dieser Lastfall ist nach Notwendigkeit in lotrechte Verkehrslast, Windlast und Schneelast aufzugliedern.

1.9.1.4. Temperatur

Soweit erforderlich, sind auch die durch Temperaturänderung hervorgerufenen Spannungen nachzuweisen.

1.9.1.5. Kriechen und Schwinden

In diesem Lastfall sind alle durch Kriechen und Schwinden entstehenden Umlagerungen der Kräfte und Spannungen zu berücksichtigen.

1.9.2. Lastzusammenstellungen

In der Regel müssen für die Ermittlung der ungünstigsten Spannungen folgende Lastzusammenstellungen untersucht werden:

1.9.2.1. Zustand vor dem Aufbringen der Vorspannung auf den Beton

Dieser Zustand ergibt meist die höchsten Zugspannungen in den Spanngliedern, wenn sie im Spannbett gespannt werden. Da es sich aber nur um eine vorübergehende Beanspruchung handelt, wird für diesen Belastungsfall eine höhere Spannung entsprechend Tabelle 7, Zeile 37, zugelassen. Dieser Zustand ist auch zu untersuchen, wenn der Bauteil schon vor dem Eintragen der Spannkraft einer Beanspruchung ausgesetzt wird.

1.9.2.2. Zustand unmittelbar nach dem Aufbringen der Vorspannung auf den Beton

Das ist der Zustand vor Einwirken der vollen ständigen Last und der Verkehrslasten. Er ergibt in der Regel die höchste Druckspannung in der vordruckten Zugzone und vielfach auch die höchste Zugspannung in der Druckzone. Mit Rücksicht darauf, daß dieser Zustand meist nur von kurzer Dauer ist und im allgemeinen den übrigen Lastfällen entgegenwirkt, werden an beiden Stellen höhere Spannungen entsprechend Tabelle 7, Zeile 5 bis 8 sowie Zeile 9 und 14 zugelassen.

Wegen der engeren Begrenzung der Betonzugspannungen bei Brücken vergleiche Tabelle 7.1.

1.9.2.3. Zustand mit ungünstigster Verkehrslast vor Beginn des Kriechens und Schwindens

Dieser Zustand ergibt vielfach die höchste Beanspruchung der Spannglieder. Treten die Lasten nach den Abschnitten 1.9.2.1. bis 1.9.2.4. erst so lange nach dem Spannen auf, daß ein merklicher Anteil des Lastfalles Kriechen und Schwinden schon eingetreten ist, so darf das berücksichtigt werden.

1.9.2.4. Zustand mit ungünstigster Verkehrslast nach Beendigung des Kriechens und Schwindens

Dieser Zustand ergibt die niedrigste Druck- oder höchste Zugspannung in der vorgedrückten Zugzone und die höchste Druckspannung in der Druckzone, unter Umständen auch die höchste Beanspruchung der Spannglieder. Meist ergibt sich dabei auch die ungünstigste Schubbeanspruchung.

1.10. Rißsicherung bei voller Vorspannung

1.10.1. Zulässigkeit von Zugspannungen in der vorgedrückten Zugzone

Bei voller Vorspannung dürfen unter der Gebrauchslast in der Regel keine Zugspannungen im Beton auftreten. In folgenden Fällen sind Ausnahmen zulässig:

1.10.1.1.

Bei Brücken unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Zusatzlasten nach Tabelle 7.1., Zeile 11 und 12.

1.10.1.2.

Bei allen übrigen Bauten nach Tabelle 7, Zeile 11 bis 13, in folgenden Fällen:

1.10.1.2.1. Bei wenig wahrscheinlicher Häufung ungünstiger Lastfälle

Zum Beispiel gleichzeitiger Wirkung mehrerer Krane in ungünstigster Stellung. Bei Eintreten wahrscheinlicher Lasthäufung dürfen aber keine Zugspannungen auftreten.

1.10.1.2.2. Bei zweiachsiger Biegung für Eckspannungen

Wirkt aber nur eines der beiden Biegemomente, so dürfen keine Zugspannungen auftreten.

1.10.1.2.3.

Bei Berücksichtigung mehrerer Einflußlinien - Beitragsflächen mit gleichen Vorzeichen, die durch Beitragsflächen entgegengesetzten Vorzeichens voneinander getrennt sind. Bei Berücksichtigung nur einer Beitragsfläche dürfen aber keine Zugspannungen auftreten.

1.10.2. Zulässigkeit von Zugspannungen in der Druckzone

1.10.2.1. Zustand unmittelbar nach dem Verspannen

Zugspannungen, die in der Druckzone vor Aufbringen aller ständigen Lasten vorübergehend auftreten, dürfen höchstens die in Tabelle 7, Zeile 9, angegebenen Werte erreichen.

Bei Brücken gilt entsprechend Tabelle 7.1., Zeile 9.

1.10.2.2. Endgültiger Zustand

Sobald die vollständige Last aufgebracht ist, sind in der Druckzone Zugspannungen nur ausnahmsweise unter den in Abschnitt 1.10.1. angegebenen Bedingungen und in der in Tabelle 7, Zeile 11 bis 13, angegebenen Höhe zulässig.

Bei Brücken gilt entsprechend Tabelle 7.1., Zeile 11 und 12.

1.10.3. Aufnahme der Zugspannungen im Beton durch Bewehrung

1.10.3.1. Regelfall

Die nach Abschnitt 1.10.1. und Abschnitt 1.10.2. unter Gebrauchslast auftretenden Zugspannungen in Beton sind unter Berücksichtigung der Abschnitte 1.7.4. und 1.7.5. durch schlaffe Bewehrung oder bei Vorspannung mit Verbund auch anteilmäßig durch die Spannglieder aufzunehmen.

Die schlaffen Stahleinlagen sind anteilmäßig über den Zugbereich zu verteilen. Ihre Spannungen dürfen die in Tabelle 7, Zeile 41 bis 43, angegebenen Werte nicht überschreiten.

Bei Vorspannung mit Verbund darf anteilmäßig der Querschnitt der im Zugbereich liegenden Spannglieder in Rechnung gestellt werden, wenn nachgewiesen wird, daß damit die nach Tabelle 7, Zeile 38 bis 40, zulässige Stahlspannung nicht überschritten wird und außerdem der nach Zustand II ermittelte Spannungszuwachs aus der Rißsicherung 2000 kp/cm^2 nicht überschreitet

Die Nachweise sind für Zustand II nach Abschnitt 2.6.4. zu führen.

Zur Vereinfachung darf die Rißsicherung nach Zustand I als Zugkeildeckung durchgeführt werden, wenn damit keine zusätzliche schlaffe Bewehrung erforderlich wird.

1.10.3.2. Sonderfall

Zur Aufnahme der nach Abschnitt 1.10.2.1. auftretenden Zugspannungen dürfen die Stahlspannungen gegenüber Tabelle 7, Zeile 41 bis 43, um 30% erhöht werden, wenn sichergestellt ist, daß dieser Lastzustand nur kurze Zeit dauert.

1.10.4. Zusätzlicher Nachweis der Rißsicherung bei Vorspannung ohne Verbund

1.10.4.1. Nachweis der Rißsicherung im Zugbereich

Bei Vorspannung ohne Verbund besteht die Gefahr, daß schon bei einer kleinen Laststeigerung über die rechnermäßige Gebrauchslast hinaus Zugspannungen auftreten, die zu klaffenden Rissen führen, wenn die Zugzone nicht ausreichend und zweckmäßig bewehrt wird. Um solche Risse zu verhindern, müssen die Zugspannungen bestimmt werden, die im Beton unter der Lastzusammenstellung Vorspannung + Kriechen und Schwinden + 1,35fache Summe von ständiger Last, Verkehrslast und Temperatur in ungünstigster Anordnung auftreten. Die diesen Spannungen entsprechende Zugkraft, ermittelt nach Zustand I, ist durch eine schlaffe Bewehrung aufzunehmen, die mit den in Tabelle 7, Zeile 44 bis 46, angegebenen Spannungen zu bemessen und nach Abschnitt 1.10.3.1. zu verlegen ist.

1.10.4.2. Mindestbewehrung

Alle Begrenzungsflächen des Bauteiles mit Ausnahme der Stirnflächen müssen eine kreuzweise angeordnete Mindestbewehrung von zusammen $0,3\%$ des Rauminhaltes des Betons erhalten. Der größere Teil dieser Bewehrung ist in Richtung der Stützweite des Bauteiles anzuordnen. Soweit diese Bewehrung in der Zugzone liegt, darf sie auf die in Abschnitt 1.10.4.1. geforderte Bewehrung angerechnet werden.

1.10.5. Zusätzlicher Nachweis der Rißsicherung bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund

Wird bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund der Verbund nicht unmittelbar nach dem Spannen hergestellt, so ist für alle Lastfälle, die vor Herstellung der Verbundwirkung eintreten können, sinngemäß nach Abschnitt 1.10.4.1. zu verfahren. Die Rißsicherung nach Abschnitt 1.10.4.1. ist auch für sämtliche Lastfälle nach der Herstellung des Verbundes nachzuweisen, wenn die Spannglieder nicht anteilmäßig über die Zugzone verteilt sind. Die Spannglieder dürfen dabei nur insoweit auf die erforderliche Zugbewehrung entsprechend Abschnitt 1.10.3.1. angerechnet werden, als sie anteilmäßig zur wirksamen Durchsetzung der Zugzone beitragen.

1.11. Rißsicherung bei beschränkter Vorspannung

Bei beschränkter Vorspannung ist die Rißgefahr größer als bei voller Vorspannung.

1.11.1. Begrenzung der Zugspannung im Beton und ihre Aufnahme durch Bewehrung

Unter Gebrauchslast sind in der Regel die in Tabelle 7, Zeile 14 bis 17, angegebenen Zugspannungen zulässig. Unter den in den Abschnitten 1.10.1.2.1. bis 1.10.1.2.3. angegebenen besonderen Voraussetzungen dürfen die in Tabelle 7, Zeile 18 bis 20, angegebenen höheren Werte verwendet werden. Bei Bauteilen im Freien dürfen jedoch beim Zustand Vorspannung + ständige Last + Kriechen und Schwinden keine Zugspannungen auftreten. Bei Brücken, Kranbahnen und anderen Bauteilen mit nicht verriegelnd ruhenden Lasten dürfen auch unter Einschluß der halben Verkehrslast noch keine Zugspannungen auftreten. Wegen der Begrenzung der Betonzugspannungen bei Brücken vergleiche außerdem Tabelle 7.1.

Die unter Gebrauchslast auftretenden Zugspannungen sind nach Abschnitt 1.10.3. durch Bewehrung aufzunehmen.

Die Anwendung der beschränkten Vorspannung ist nur zulässig, wenn der Querschnitt der Zugzone entsprechend der Spannungsverteilung von der Bewehrung (Spannglieder, schlaaffe Bewehrung) durchgesetzt wird.

1.11.2. Arbeitsfugen

Arbeitsfugen sind im Bereich der Zugspannungen in der Regel zu vermeiden. Sie sind jedoch zulässig an den Stellen, wo die größten Zugspannungen die Hälfte der nach Abschnitt 1.11.1. zulässigen Werte nicht überschreiten, vorausgesetzt, daß beim Zustand Vorspannung + ständige Last + Kriechen und Schwinden keine Zugspannungen auftreten.

1.11.3. Zusätzlicher Nachweis der Rißsicherung bei Vorspannung ohne Verbund und bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund

Der nach Abschnitt 1.10.4. oder Abschnitt 1.10.5. geforderte zusätzliche Nachweis der Rißsicherung ist auch hier zu erbringen.

1.12. Sicherheit gegen Erreichen der Traglast

Der Sicherheitsnachweis ist für die γ -fache Gebrauchslast, das heißt für die ungünstigste Zusammenstellung der Lastfälle Verspannung + Schwinden und Kriechen + Temperaturwirkung + 1,70fache Summe aus ständiger Last und Verkehrslast zu führen.

1.12.1. Rechnungsannahmen

Bei der Ermittlung der Sicherheit ist von der Annahme ebenbleibender Querschnitte auszugehen. Der Zusammenhang zwischen Dehnungen und Spannungen ist entsprechend den Spannungsdehnungslinien nach Abschnitt 1.12.3.1. und Abschnitt 1.12.3.2. anzunehmen. Eine Mitwirkung des Betons auf Zug darf nicht in Rechnung gestellt werden.

Die Annahme eines Verbundes zwischen Beton und Stahl ist nur zulässig, wenn die Haftung nach den Abschnitten 1.13.5. und 1.13.6. gesichert ist.

1.12.2. Traglastzustand

Die Tragfähigkeit eines Querschnittes darf in Übereinstimmung mit TGL 11 422 Bl.1 "Bauwerke und Fertigteile aus Beton und Stahlbeton; Berechnungsgrundlagen, Traglastverfahren" als erschöpft angenommen werden, wenn die Betonstauchung an einem Querschnittsrand $\epsilon_{be,T} = 2\text{‰}$ oder die zusätzliche Dehnung in der Spannbewehrung $\epsilon_{bz,T} = 3\text{‰}$ erreicht wird. Im Bedarfsfall darf $\epsilon_{bz,T}$ auf 7‰ erhöht werden.

1.12.3. Formänderungsverhalten der Baustoffe

1.12.3.1. Stahl

Die Spannungsdehnungslinie des Spannstahles ist Abschnitt 1.7.2. zu entnehmen. Für dort nicht aufgeführte Spannstähle sind die garantierten Spannungsdehnungslinien der entsprechenden Standards oder Zulassungen zu verwenden. Die Spannungsdehnungslinien der für die schlaaffe Bewehrung verwendeten Betonstähle sind TGL 11 422 Bl.1 zu entnehmen.

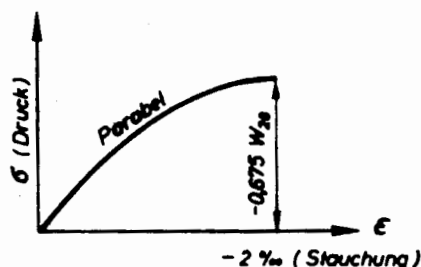


Bild 6

1.12.3.2. Beton

Für die Bestimmung der Kraft der Biegedruckzone ist die Spannungsdehnungslinie nach Bild 6 anzunehmen. Sie gilt nur für die Spannungsverteilung im Zustand Traglast. Die Spannungsverteilung in der Betondruckzone folgt einer

quadratischen Parabel mit der Gleichung

$$\sigma_b = \max \sigma_b \left[1 - (1 + 0,5 \cdot \varepsilon_b)^2 \right]$$

ε_b ist in ‰ mit negativem Vorzeichen einzusetzen.

Bei Erreichen der Grenzstauchung von 2‰ nimmt der Beton die Randspannung $\max \sigma_b = -0,675 R_{28}$ auf.

Die Spannungsparabel darf näherungsweise durch eine rechteckige Spannungsverteilung nach TGL 11 422 Bl.1 ersetzt werden. Die Randspannung wird dann $\sigma_{bR} = -0,6 \cdot R_{28}$.

Bei wenig ausgenutzter Betondruckzone wird nur ein dem Wert $|\varepsilon_b| < 2‰$ entsprechender Teil der Spannungsparabel in Anspruch genommen. Die Randspannung erreicht dann nicht $\max \sigma_b$.

1.12.4. Sicherheitsbeiwerte

Der auf den Stahl bezogene Sicherheitsbeiwert beträgt $\gamma_S = 1,70$.

Für den Baustoff Beton wird wegen der größeren Streuung der Festigkeitswerte ein höherer Sicherheitsbeiwert verlangt als für den Stahl. Deshalb ist die zulässige Randspannung des Betons für den Bereich zusätzlicher Stahlzugdehnungen von $\varepsilon_{bz,T} > 1‰$ nur mit $-0,675 R_{28}$ anzusetzen.

Im Bereich zusätzlicher Stahldehnungen $+1‰ \cong \varepsilon_{bz,T} \cong -2‰$ wird ein stetiger Übergang der Randspannung von $-0,675 R_{28}$ auf $-0,45 R_{28}$ (mittiger Druck) vorgenommen.

1.12.5. Stahlspannungen in biegebeanspruchten Bauteilen bei Vorspannung mit Verbund

Die Wirkung der Vorspannung wird berücksichtigt, indem die ihr entsprechende Vordehnung der Spannglieder zu der durch die übrigen Lasten hervorgerufenen Stahldehnung hinzugezählt wird.

Die Vordehnung entspricht dem Unterschied der Dehnungen von Spannglied und umgebendem Beton und wird aus den Spannungen errechnet, die nach Kriechen und Schwinden an der untersuchten Stelle auftreten.

Mit der Summe der Dehnungen erhält man aus der Spannungsdehnungslinie des Stahles die unter Traglast auftretende Stahlspannung.

1.12.6. Stahlspannungen in biegebeanspruchten Bauteilen bei Vorspannung ohne Verbund

Bei Vorspannung ohne Verbund können sich die Spannglieder in ganzer Länge frei dehnen. Die Sicherheit hängt deshalb vom Formänderungsverhalten des gesamten Tragwerkes ab. Da sich im Zustand Traglast Teile davon noch elastisch, andere Teile aber schon plastisch verhalten, ist die Vorausbestimmung der Sicherheit schwierig. Die in Abschnitt 1.12.3. gemachten Angaben sind deshalb nicht mehr ausreichend.

Wird kein genauere Nachweis geführt, so darf bei Trägern auf 2 Stützen die in den Spanngliedern unter Traglast wirkende Spannung wie folgt angenommen werden:

$$\sigma_{z,T} = \sigma_{z,v} + q + \max \varphi + 1400 \left[\text{kp/cm}^2 \right]$$

Hierin bedeutet $\sigma_{x,T} + q + \max_{\sigma}$ die Stahlspannung im Spannglied unter Gebrauchslast nach Beendigung des Kriechens und Schwindens.

Die Spannung $\sigma_{x,T}$ darf die Streckgrenze des Spannstahles nicht überschreiten.

1.12.7. Mitwirkung der schlaffen Bewehrung

Soweit neben den Spanngliedern eine schlaffe Zugbewehrung eingelegt wird, darf sie beim Nachweis der Sicherheit gegen Erreichen der Traglast berücksichtigt werden. Die auftretende Stahlspannung wird dabei mit Hilfe des Dehnungsdiagrammes für den Spannbetonquerschnitt nach Abschnitt 1.12.1. bestimmt.

Soll die schlaffe Bewehrung zur Übertragung von Druckspannungen herangezogen werden, so ist Abschnitt 1.6.1. zu beachten.

1.12.8. Vorgespannte Druckglieder

Der Fall eines vorgespannten Druckgliedes ist nur dann gegeben, wenn der Betonquerschnitt auch im Zustand Traglast ausschließlich Druckspannungen aufweist. In diesem Falle wird die Sicherheit schon durch Einhaltung der zulässigen Spannungen unter Gebrauchslast nach Abschnitt 1.16.3. gewährleistet, so daß sich ein gesonderter Nachweis erübrigt.

1.12.9. Vorgespannte Zugglieder

Bei vorgespannten Zuggliedern muß die Traglast allein durch die Stahleinlagen aufgenommen werden, wobei die Spannungen höchstens die Streckgrenze erreichen dürfen. Es darf angenommen werden, daß die Streckgrenze bei Spanngliedern und schlaffen Bewehrungseinlagen gleichzeitig erreicht wird.

1.13. Hauptzugspannungen, Schub sicherung, Haftspannungen

Aus den Schubspannungen und den Normalspannungen ist die Größe und Richtung der Hauptzugspannungen zu bestimmen. Entstehen in einem Querschnitt nur Druckspannungen, so muß die Hauptzugspannung für verschiedene Fasern dieses Querschnitts ermittelt werden, um ihren Größtwert zu finden; vergleiche hierzu Bild 7, Beispiel für volle Verspannung. Wenn dagegen das Spannungsbild Druck- und Zugspannungen zeigt, ist der in der Null-Linie oder darüber im Bereich der Druckspannungen auftretende Größtwert der Hauptzugspannungen maßgebend; vergleiche hierzu Bild 8, Beispiel für beschränkte Verspannung.

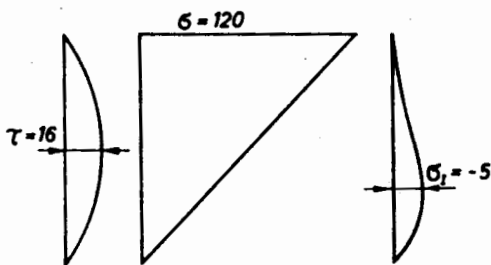


Bild 7

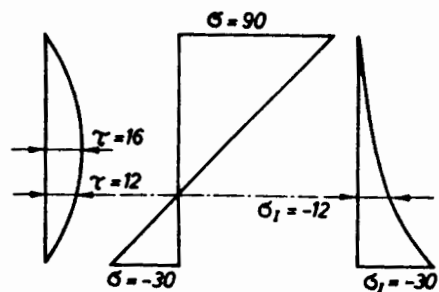


Bild 8

1.13.1. Nachweis der Hauptzugspannungen

1.13.1.1. Erforderliche Nachweise

Die Hauptzugspannungen sind sowohl für Gebrauchslast nach Abschnitt 1.9. als auch für γ -fache Gebrauchslast nach Abschnitt 1.12. zu ermitteln. Zur Vereinfachung darf auch für den Nachweis unter γ -facher Gebrauchslast nach Abschnitt 1.13.1.3. nach Zustand I gerechnet werden. Werden die für diese beiden Fälle zulässigen Spannungen überschritten, so sind die Abmessungen des Querschnitts oder die Vorspannung entsprechend zu vergrößern.

1.13.1.2. Nachweis unter Gebrauchslast nach Abschnitt 1.9.

Die Hauptzugspannung darf unter Gebrauchslast die in Tabelle 7, Zeile 21 bis 23, für volle und in Zeile 24 bis 26 für beschränkte Vorspannung angegebenen Werte nicht überschreiten.

1.13.1.3. Nachweis unter γ -facher Gebrauchslast nach Abschnitt 1.12.

Die Hauptzugspannung darf die in Tabelle 7, Zeile 27 bis 29, angegebenen Werte nicht überschreiten.

1.13.2. Erforderliche Schubbewehrung

Überschreitet die nach Abschnitt 1.13.1.3. errechnete Hauptzugspannung die in Tabelle 7, Zeile 30 bis 32, angegebenen Werte, so ist rechnerisch nachzuweisen, daß in den Bereichen, in denen der 0,75fache Betrag dieser Tabellenwerte überschritten wird, alle Hauptzugspannungen durch Stahleinlagen aufgenommen werden und daß diese Einlagen richtig verteilt sind. Dabei ist darauf zu achten, daß die Hauptzugspannungen im allgemeinen wesentlich steiler als 45° verlaufen. Die zulässige Stahlspannung ist nach Tabelle 7, Zeile 44 bis 46, anzunehmen. Bei Balken sind stets Bügel anzuordnen, auch wenn eine Schubbewehrung rechnerisch nicht erforderlich ist.

1.13.3. Schubsicherung im Bereich der Eintragung der Vorspannung

An den Verankerungsstellen der Spannglieder kann erst in einer mit Eintragungslänge bezeichneten Entfernung e vom Ende der Verankerung eine geradlinige Spannungsverteilung infolge Vorspannung angenommen werden. Bei Spanngliedern mit Endverankerung ist diese Eintragungslänge e gleich der Störungslänge s , die zur Ausbreitung der konzentriert angreifenden Spannkraft bis zur Einstellung eines geradlinigen Spannungsverlaufes im Querschnitt nötig ist.

Bei Spanngliedern, die nur durch Haftung und Reibung verankert werden, ist für die Übertragung der Vorspannung vom Stahl auf den Beton außerdem eine Übertragungslänge u erforderlich. Die Eintragungslänge e ist in diesem Falle anzunehmen zu

$$e = \sqrt{s^2 + u^2} \quad (3)$$

Im Bereich der Eintragungslänge e muß stets eine Querbewehrung angeordnet werden, die bei endverankerten Spanngliedern die auftretenden Spaltzugkräfte aufzunehmen hat und bei Verankerung durch Haftung und Reibung gegebenenfalls außerdem die Schubsicherung nach Abschnitt 1.13.2. in diesem Bereich gewährleisten muß.

1.13.4. Nachträglich ergänzte Querschnitte

Unter Berücksichtigung des Abschnittes 1.7.6. sind in der Fuge zwischen dem ursprünglichen Querschnitt und der Ergänzung die Hauptzugspannungen auch dann voll durch eine entsprechende Bewehrung zu decken, wenn eine solche Bewehrung nach Abschnitt 1.13.2. nicht erforderlich ist.

1.13.5. Nachweis der Haftspannungen

Die Haftspannungen brauchen nicht berechnet zu werden, wenn die Spannglieder und die schlaaffe Bewehrung annähernd gleichmäßig über den Querschnitt der vorgedrückten Zugzone verteilt liegen und nicht dicker als 26 mm sind und wenn es sich nicht um kurze Träger handelt. Bei Spanngliedern aus Bündeln, Kabeln oder Seilen gilt das Gleiche, wenn ihre Spannkraft kleiner als 30 Mp ist. Diese Vereinfachung gilt beim nachträglichen Verbund nur, wenn das in dem Standard oder in einer Zulassung nach Abschnitt 1.2. ausdrücklich gestattet ist. Im Bereich der Verankerung der Spannglieder durch Haftung und Reibung ist der Nachweis nach Abschnitt 1.15.3.3. durch Versuche zu führen.

1.13.6. Begrenzung der Haftspannungen

Die nachstehend angegebenen zulässigen Haftspannungen gelten nur, wenn der Beton gerüttelt wird und die Bewehrungsstäbe beim Betonieren lotrecht stehen oder unten liegen, bei nachträglichem Verbund nur dann, wenn durch Versuche eine entsprechend große Haftfestigkeit (Gleitwiderstand) der Spannglieder nachgewiesen wird. Der Stahl muß außerdem eine saubere Oberfläche haben. Bei gezogenem Stahl muß das Zieh fett restlos entfernt sein.

In allen anderen Fällen sind die in Tabelle 7, Zeile 35 und 36, angegebenen Werte erheblich zu vermindern.

1.13.6.1. Nachweis unter Gebrauchslast

Die rechnerische Haftspannung darf unter Gebrauchslast nach Abschnitt 1.9. die in Tabelle 7, Zeile 35, angegebenen Werte nicht überschreiten, soweit in dem Standard oder in einer Zulassung nach Abschnitt 1.2. nicht anders bestimmt ist.

1.13.6.2. Nachweis unter ν facher Gebrauchslast

Für die ν fache Gebrauchslast nach Abschnitt 1.12. müssen die Haftspannungen unterhalb der in Tabelle 7, Zeile 36, angegebenen Werte bleiben, soweit in Standard oder Zulassung nach Abschnitt 1.2. nicht anders bestimmt ist.

1.14. Knicken unter Vorspannung

1.14.1. Vorspannung mit Spanngliedern

Bei Vorspannung mit Verbund ist für die Spannkraften kein Nachweis der Knicksicherheit, bei Vorspannung ohne Verbund ein Nachweis für eine Knicklänge entsprechend dem Abstand jener Punkte durchzuführen, an denen Spannglied und Betonteil in der betrachteten Knickrichtung miteinander verbunden sind.

Für Druckkräfte, die durch äußere Lasten erzeugt werden, ist die Knicksicherheit nachzuweisen.

1.14.2. Vorspannung gegen unabhängige Widerlager

Bei Vorspannung mit Pressen gegen unabhängige Widerlager wirkt die eingeleitete Vorspannung wie eine äußere Kraft und erfordert einen Nachweis der Knicksicherheit des Bauteiles.

1.14.3. Rechnerischer Nachweis

Soweit ein Nachweis der Knicksicherheit erforderlich wird, ist er nach TGL 0-1045 oder TGL 0-4225, bei Brücken nach den geltenden Vorschriften für massive Brücken zu führen.

1.15. Verankerung der Spannglieder

Die Spannglieder sind unverschieblich im Beton des Bauteiles zu verankern. Soweit die Art der Verankerung nicht standardisiert ist, bedarf sie einer Zulassung. Für die Zulassung ist die Sicherheit der Verankerung durch eine Berechnung nach den bestehenden Vorschriften oder durch Versuche des Deutschen Amtes für Material- und Warenprüfung nachzuweisen. Dabei ist auch festzulegen, für welche Spannstähle sich die Verankerung eignet.

Das Schweißen von Stahlteilen der Verankerung und das dabei verwendete Schweißverfahren muß nach dem entsprechenden Standard oder nach Zulassung erfolgen.

1.15.1. Bemessung der Verankerung der Spannglieder

Beim rechnerischen Nachweis ist als Ankerkraft $\frac{1}{7}$ der Bruchfestigkeit des Spanngliedes einzusetzen und die Verankerung mit den für den gewählten Baustoff zulässigen Spannungen zu bemessen.

1.15.2. Beanspruchung des Spannstahles bei der Verankerung

Die Beanspruchung der Spannstähle auf mittigen Zug unter Gebrauchslast nach Abschnitt 1.9. darf mit Ausnahme der Fälle nach Abschnitt 1.5.3.4. auch im Bereich der Verankerung nicht die in Tabelle 7, Zeile 37 bis 40, angegebenen Werte überschreiten. Höhere Beanspruchungen bedürfen einer Zulassung auf Grund von Versuchen.

Bei geschnittenen Gewinden darf die Spannung im Kernquerschnitt höchstens 70% der zulässigen Spannung für mittigen Zug betragen.

1.15.3. Beanspruchung des Betons bei der Verankerung

1.15.3.1.

Die zulässige Beanspruchung des Betons und der Ankerplatten ist nach Abschnitt 1.16.2. zu ermitteln.

1.15.3.2.

Bei Verankerung durch Schleifen darf die unter Gebrauchslast nach Abschnitt 1.9. auftretende Lochleibungsspannung die in Tabelle 7, Zeile 33 und 34, angegebenen Werte nicht überschreiten. Die Querzugspannungen sind durch Querbewehrung aufzunehmen.

1.15.3.3.

Werden die Spannglieder allein durch Haftung und Reibung im Beton verankert, so ist die Sicherheit der Verankerung stets durch Versuche unter Berücksichtigung aller ungünstigen Einflüsse nachzuweisen.

Dies gilt auch, wenn die Spannglieder im Bereich der Verankerung zur Erhöhung der Reibung abgekrümmt werden. Die Übertragungslänge u nach Abschnitt 1.13.3., die für die allmähliche Übertragung der Vorspannkraft in den Beton erforderlich ist, erreicht infolge der Wirkung des Kriechens erst im Laufe der Zeit ihren Größtwert.

Den Standards oder Zulassungen nach Abschnitt 1.2. sind die erforderliche Übertragungslänge und Betonüberdeckung und die im Zeitpunkt der Übertragung der Vorspannung auf den Beton erforderliche Mindestfestigkeit des Betons zu entnehmen.

1.16. Zulässige Spannungen

1.16.1. Spannungstabellen

Die allgemein zulässigen Beton- und Stahlspannungen sind in Tabelle 7 angegeben, für die zulässigen Betonzugspannungen bei Brücken gilt Tabelle 7.1. Zwischenwerte dürfen nicht eingeschaltet werden. Die Spannungen der Tabellen 7 und 7.1. dürfen nur angewendet werden, wenn in jedem Falle nach Abschnitt 1.4. nachgewiesen wird, daß die erforderliche Würfel Festigkeit des Betons und die erforderlichen Festigkeits-Eigenschaften des für die Spannglieder verwendeten Stahles vorhanden sind.

1.16.2. Zulässige Spannungen bei Teilbelastung

Für die zulässige Beanspruchung des Betons bei Teilbelastung, zum Beispiel durch Ankerplatten der Spannglieder, sind die in TGL 0-1045 angeführten Gesichtspunkte maßgebend. Danach kann die zulässige Betonzugspannung σ_1 hinter der Übertragungsfläche F_1 der Teilbelastung ermittelt werden nach der Formel

$$\sigma_1 = \sigma \cdot \sqrt[3]{\frac{F}{F_1}} \quad (4)$$

Hierbei ist σ die in Tabelle 7, Zeile 4, angegebene Spannung. Die für die Verteilung der Kraft in Betracht kommende Fläche F muß folgenden Forderungen genügen:

Der Schwerpunkt der Verteilungsfläche F muß mit dem Schwerpunkt der Übertragungsfläche F_1 zusammenfallen.

Die Abmessungen der Verteilungsfläche F dürfen dabei in jeder Richtung höchstens gleich dem 5fachen Betrag der entsprechenden Abmessungen der Übertragungsfläche angenommen werden.

Bei Anordnung mehrerer Ankerplatten dürfen sich die in Rechnung gestellten Verteilungsflächen F nicht überschneiden.

Entsteht die Teilbelastung durch eine Ankerkraft P im Innern des Bauwerkes an einer Stelle, die bereits durch die Druckspannung σ_2 beansprucht ist, so darf die nach nachstehender Formel errechnete Spannungssumme den Wert σ_1 nicht überschreiten.

$$\sigma_2 + \frac{P}{F_1} \leq \sigma_1 \quad (5)$$

Die erhöhte Betonzugspannung σ_1 darf nur in Rechnung gestellt werden, wenn die Bildung von Spaltrissen durch eine ausreichende Querbewehrung des bei der Druckverteilung mitwirkenden Betons verhindert wird.

1.16.3. Zulässige Spannungen in der vorgedrückten Druckzone

Da die durch die Verspannung erzeugten Druckspannungen σ_{bv} einen geringeren Sicherheitsbeiwert erfordern, als die durch die äußere Last hervorgerufenen Druckspannungen σ_{bq} , darf bei der Bemessung der vorgedrückten Druckzone die mit den zulässigen Spannungen aus Tabelle 7, Zeile 1 bis 4, zu vergleichende rechnerische Betondruckspannung mit

$$\sigma = 0,75 \sigma_{bv} + \sigma_{bq} \quad (6)$$

angenommen werden.

1.16.4. Zulässige Spannungen in Spanngliedern mit Dehnungsbehinderung (Reibung)

Bei Spanngliedern, deren Dehnung nach Abschnitt 1.5.3.3. durch Reibung behindert ist, darf gemäß Tabelle 7, Zeile 39, die zulässige Spannung am Spannende erhöht werden, wenn sich diese Erhöhung nicht bis in den Bereich der größten Momente erstreckt und außerdem auf die Bereiche beschränkt bleibt, in denen der Einfluß der veränderlichen Lasten gering ist.

Tabelle 7 Zulässige Spannungen

Beanspruchungsart	Anwendungsbereich	Zulässige Spannungen in kp/cm^2 bei Betongüte			Zeile
		B 300	B 450	B 600	
Beton auf Druck	1. In der Druckzone unter Gebrauchslast, vergleiche auch Abschnitt 1.16.3.: Rechteckquerschnitte Randspannung bei einachsiger Biegung	110	140	160	1
	Eckspannung bei zweiachsiger Biegung	120	150	170	2
	Plattenbalken und Hohlquerschnitte	100	130	150	3
	Mittiger Druck in Säulen und Druckgliedern, vergleiche auch Abschnitt 1.16.2.	80	110	130	4
	2. In der vorgedrückten Zugzone unter Gebrauchslast, vergleiche auch Abschnitt 1.9.2.2.: Rechteckquerschnitte Randspannung bei einachsiger Biegung	140	180	210	5
	Eckspannung bei zweiachsiger Biegung	150	190	220	6
	Plattenbalken und Hohlquerschnitte	130	170	200	7
	Mittiger Druck	110	145	170	8

Handwritten notes:
 Prof. Dr. ...
 ...
 H. Dr. ...

Fortsetzung der Tabelle 7

Beanspruchungsart	Anwendungsbereich	Zulässige Spannungen in kp/cm^2 bei Betongüte			Zeile
		B 300	B 450	B 600	
Beton auf Zug ¹⁾ , vergleiche Abschnitt 1.7.5.	1. Bei voller Vorspannung unter Ge- brauchslast, vergleiche auch Abschnitt 1.9.2.2.:				
	1.1. In der Druckzone vor Aufbringen aller ständigen Lasten, ver- gleiche auch Abschnitt 1.10.2.1.	30	38	45	9
	1.2. In der Druckzone nach Aufbringen aller ständigen Lasten und in der vorgedrückten Zugzone:				
	1.2.1. Allgemein	0	0	0	10
	1.2.2. Unter den in Abschnitt 1.10.1. angegebenen Voraussetzungen, vergleiche auch Abschnitt 1.10.2.2.				
	Mittiger Zug	8	10	12	11
	Randspannung bei einachsiger Biegung	20	25	30	12
	Eckspannung bei zweiachsiger Biegung	25	30	35	13
	2. Bei beschränkter Vorspannung unter Gebrauchslast:				
	2.1. In der Druckzone vor Aufbringen aller ständigen Lasten, ver- gleiche auch Abschnitt 1.9.2.2. und Abschnitt 1.11.1.	30	38	45	14
	2.2. In der Druckzone nach Aufbringen aller ständigen Lasten und in der vorgedrückten Zugzone unter der Voraussetzung, daß die Bewehrung über die Zugzone anteilmäßig ver- teilt ist, vergleiche Abschnitt 1.11.1., Absatz 3				
	2.2.1. Allgemein				
	Mittiger Zug	12	15	18	15
Randspannung bei einachsiger Biegung	30	38	45	16	
Eckspannung bei zweiachsiger Biegung	35	45	50	17	

1) Für
Brücken
nach Ta-
belle 7.1.

Fortsetzung der Tabelle 7

Beanspruchungsart	Anwendungsbereich	Zulässige Spannungen in kp/cm^2 bei Betongüte			Zeile
		B 300	B 450	B 600	
Beton auf Zug vergleiche Abschnitt 1.7.5.	2.2.2. Unter den in den Abschnitten 1.10.1. und 1.11.1. gegebenen Voraussetzungen				
	Mittiger Zug	15	20	25	18
	Randspannung bei einachsiger Biegung	40	50	60	19
	Eckspannung bei zweiachsiger Biegung	50	60	70	20
Beton auf Schub	1. Schiefe Hauptzugspannung unter Gebrauchslast, vergleiche auch Abschnitt 1.13.1.2.				
	1.1. Bei voller Verspannung und Schubbeanspruchung aus Querkraft	8	9	10	21
	Schubbeanspruchung aus Ver- drehung	6	8	10	22
	Schubbeanspruchung aus Quer- kraft und Verdrehung	10	12	15	23
	1.2. Bei beschränkter Vorspannung und Schubbeanspruchung aus Querkraft	16	20	24	24
	Schubbeanspruchung aus Ver- drehung	12	16	20	25
	Schubbeanspruchung aus Quer- kraft und Verdrehung	20	25	30	26
	2. Schiefe Hauptzugspannung unter ν facher Gebrauchslast, ver- gleiche auch die Abschnitte 1.13.1.3. und 1.13.2.:				
	2.1. Höchstwerte bei Schubbeanspruchung aus Querkraft	32	40	48	27
	Schubbeanspruchung aus Ver- drehung	24	32	40	28
Schubbeanspruchung aus Quer- kraft und Verdrehung	40	50	60	29	

Fortsetzung der Tabelle 7

Beanspruchungsart	Anwendungsbereich	Zulässige Spannungen in kp/cm^2 bei Betongüte			Zeile
		B 300	B 450	B 600	
Beton auf Schub	2.2. Ohne rechnerischen Nachweis der Schubsicherung Zulässige Werte bei Schubbeanspruchung aus Querkraft	16	20	24	30
	Schubbeanspruchung aus Verdrehung	12	16	20	31
	Schubbeanspruchung aus Querkraft und Verdrehung	20	25	30	32
Beton auf Loch- leibungs- druck	Unter Gebrauchslast, vergleiche auch Abschnitt 1.15.3.2.: bei einer Betondeckung $\geq 2 d$	120	150	180	33
	bei einer Betondeckung $\geq 5 d$	140	180	220	34
Beton auf Haftung	Grundwerte für Haftspannung, vergleiche Abschnitt 1.13.6.: unter Gebrauchslast	8	9	10	35
	unter ν facher Gebrauchslast	14	16	18	36
Stahl auf Zug	1. Stahl der Spannglieder 1.1. Vorübergehend im Spannbett, vergleiche auch Abschnitte 1.9.2.1. und 1.15.2.	$\leq 0,80 \sigma_s$			37
	1.2. Unter Gebrauchslast	$\leq 0,75 \sigma_s$			38
		$\leq 0,55 \sigma_B$			
	1.3. Unter Gebrauchslast örtlich bei Dehnungsbehinderung, ver- gleiche Abschnitt 1.16.4.	5% mehr als in Zeile 38			39
	1.4. Randspannungen in Krümmungen, vergleiche auch Abschnitt 1.6.3.	15% mehr als in Zeile 38 und 39			40
Wegen der zulässigen Spannung bei Verankerung mit Schlupf vergleiche Abschnitt 1.5.3.4.					

Fortsetzung der Tabelle 7

Beanspruchungsart	Anwendungsbereich	Zulässige Spannungen in kp/cm^2 bei Betongüte			Zeile
		B 300	B 450	B 600	
Stahl auf Zug	2. Schlaufe Bewehrungen				
	2.1. Zur Aufnahme der unter Gebrauchslast auftretenden Zugspannungen, vergleiche auch Abschnitt 1.10.3.:				
	Betonstahl St A-0 (St I)		1400		41
	Betonstahl St A-I (St Is)		1400		42
	Betonstahl St A-III (St IIIa) bei vorwiegend ruhender Belastung		2400		43a
	bei dynamischer Belastung		2000		43b
	2.2. Zur Aufnahme der Rißlast und zur Bemessung der Schubsicherung, vergleiche Abschnitt 1.11.3.:				
	Betonstahl St A-0 (St I)		2200		44
Betonstahl St A-I (St Is)		2400		45	
Betonstahl St A-III (St IIIa)		4000		46	

Tabelle 7.1. Zulässige Betonzugspannungen bei Brücken

Beanspruchungsart	Anwendungsbereich	Zulässige Spannungen in kp/cm^2 bei Betongüte			Zeile entsprechend Tabelle 7
		B 300	B 450	B 600	
Beton auf Zug, vergleiche Abschnitt 1.7.5.	1. Bei voller Vorspannung				
	1.1. In der Druckzone vor Aufbringung aller ständigen Lasten im Bauzustand, vergleiche auch Abschnitt 1.10.2.2.	8	10	12	9
	1.2. In der Druckzone nach Aufbringung aller ständigen Lasten und in der vorgedrückten Zugzone für alle Hauptlasten ²⁾	0	0	0	10

2) Hauptlasten oder Zusatzlasten für Straßenbrücken nach den geltenden Vorschriften; für Eisenbahnbrücken nach den Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken.

Fortsetzung der Tabelle 7.1.

Beanspruchungsart	Anwendungsbereich	Zulässige Spannungen in kp/cm^2 bei Betongüte			Zeile entsprechend Ta- belle 7
		B 300	B 450	B 600	
Beton auf Zug, vergleiche Abschnitt 1.7.5.	1.3. In der Druckzone nach Aufbringung aller ständigen Lasten und der Zusatzlasten ²⁾ , vergleiche Abschnitt 1.10.2.2., und in der überdrückten Zugzone für alle Haupt- und Zusatzlasten ²⁾ , vergleiche Abschnitt 1.10.1.:				
	Mittiger Zug	8	10	12	11
	Randspannung bei Biegung ³⁾	15	20	25	12
	2. Bei beschränkter Vorspannung unter Beachtung von Abschnitt 1.11.1.				
	2.1. In der Druckzone vor Aufbringen aller ständigen Lasten im Bauzustand	8	10	12	14
	2.2. Nach Aufbringen aller ständigen Lasten				
	2.2.1. in der Druckzone	0	0	0	15
	2.2.2. in der vorgeprägten Zugzone für alle Hauptlasten ²⁾ , anteilmäßige Verteilung der Bewehrung über die Zugzone entsprechend Abschnitt 1.11.1. vorausgesetzt				
	Mittiger Zug	12	15	18	15.1.
	Randspannung bei Biegung ³⁾ bei Zugzone unten allgemein und bei Zugzone oben mit Abdichtung	25	30	35	16
bei Zugzone oben mit Asphaltbelag	20	25	30	16.1.	
ohne Abdichtung, unmittelbar befahren	12	15	18	16.2.	

2) Siehe Seite 30

3) Die angegebenen Werte für die Biegezugspannung gelten für einachsige Biegung. Für die bei zweiachsiger Biegung auftretenden Eckspannungen dürfen diese Werte um 25% erhöht werden.

Fortsetzung der Tabelle 7.1.

Beanspruchungsart	Anwendungsbereich	Zulässige Spannungen in kp/cm^2 bei Betongüte			Zeile entspre- chend Ta- belle 7
		B 300	B 450	B 600	
Beton auf Zug, vergleiche Abschnitt 1.7.5.	2.3. Nach Aufbringen aller ständigen Lasten und der Zusatzlasten ²⁾				
	2.3.1. in der Druckzone allgemein	12	15	18	18
	2.3.2. in der vorgedrückten Zugzone für alle Haupt- und Zusatz- lasten ²⁾ , anteilmäßige Ver- teilung der Bewehrung über die Zugzone nach Abschnitt 1.11.1. vorausgesetzt				
	Mittiger Zug	15	20	25	18.1.
	Randspannung bei Biegung ³⁾ bei Zugzone unten allgemein und bei Zugzone oben mit Abdichtung	30	38	45	19
	bei Zugzone oben mit Asphaltbelag	25	30	38	19.1.
ohne Abdichtung, unmittelbar befahren	15	20	25	19.2.	

2. BERECHNUNG NACH ZUSTAND II

2.1. Begriffe

2.1.1. Spannbeton im Zustand II

Hierunter werden Bauteile verstanden, bei denen der Beton derart vorgespannt ist, daß sich unter Gebrauchslast im Tragwerks-Querschnitt ein Spannungszustand einstellt, der zwischen den entsprechenden Spannungszuständen bei voll vorgespannten und schlaff bewehrten Konstruktionen liegt. Eine Mitwirkung der Betonzugzone wird nicht berücksichtigt.

2.1.2. Traglast

Traglast ist diejenige Belastung, unter deren Einwirkung die Tragfähigkeit eines Querschnittes als erschöpft angesehen werden muß. Der Erschöpfungszustand (Traglastzustand) ist in Abschnitt 1.12.2. definiert.

2) Siehe Seite 30

3) Siehe Seite 31

2.1.3. Höchstlast

Die Höchstlast q_h stellt die größte Gebrauchslast dar, deren Auftreten möglich ist. Die Höchstlast umfaßt die ständigen Lasten g , sowie die nicht ständigen Lasten, das sind Nutzlast p_h , Windlast w_h , Schneelast s_h und Temperatur-Beanspruchungen t_h mit ihren Größtwerten in ungünstigster Zusammenstellung.

$$q_h = g + p_h + w_h + s_h + t_h. \quad (7)$$

2.1.4. Mittellast

Die Mittellast q_m stellt eine mittlere Gebrauchslast dar, die in etwa 90% der Standzeit des Bauwerkes nicht und in den verbleibenden 10% der Standzeit nur kurzfristig überschritten wird. Zur Mittellast sind demnach auch solche nicht ständigen Belastungen zu rechnen, die zwar nur mit 10%iger Wahrscheinlichkeit eintreten, dann aber über einen längeren Zeitraum wirksam sind.

$$q_m = g + p_m + w_m + s_m + t_m. \quad (8)$$

2.2. Erforderliche Nachweise

Bei Berechnung nach Zustand II sind folgende Nachweise zu erbringen:

2.2.1. Nachweis der Sicherheit gegen Erreichen der Traglast

Nach Abschnitt 1.12.

2.2.2. Nachweis der Einhaltung zulässiger Formänderungen unter Gebrauchslast

Nach Abschnitt 2.5.

Rißweiten unter Höchstlast und Mittellast sind nach Abschnitt 2.5.1. nachzuweisen.

Durchbiegungen unter Höchstlast sind nach Abschnitt 2.5.2. nachzuweisen, jedoch nur dann, wenn die entsprechende Notwendigkeit vorliegt.

2.2.3. Nachweis der Einhaltung zulässiger Spannungen

Nach Abschnitt 2.6.

2.3. Lastfälle

Bei der Berechnung nach Zustand II werden folgende Lastfälle unterschieden:

2.3.1. Zustand γ fache Gebrauchslast

Der Lastfall γ fache Gebrauchslast enthält die ungünstigste Zusammenstellung der Lastfälle Vorspannung + Schwinden und Kriechen + Temperaturwirkung + 1,7fache Summe aus ständiger Last und Verkehrslast.

2.3.2. Zustand vor Aufbringen der Vorspannung

Nach Abschnitt 1.9.2.1.

2.3.3. Zustand unmittelbar nach Aufbringen der Vorspannung

Nach Abschnitt 1.9.2.2.

2.3.4. Zustand Höchstlast

Beim Lastfall Höchstlast werden die Belastungsannahmen für ständige Last g und nicht ständige Lasten, das sind Nutzlast D_n , Windlast w_n , Schneelast s_n und Temperaturbeanspruchung t_n , entsprechend den in den geltenden Vorschriften für "Lastannahmen für Bauten" festgelegten Werten berücksichtigt.

2.3.5. Zustand Mittellast

Abgesehen von nachstehend getroffenen Festlegungen sind für nicht ständige Lasten die Mittellasten vom Projektanten in Abstimmung mit den zuständigen Organen der Staatlichen Bauaufsicht so festzulegen, daß sie jeweils einer mittleren Belastung des Bauwerkes aus Verkehrslast, Windlast, Schneelast und Temperaturwirkung entsprechen.

Die mittlere Windlast w_m ist mit 25% der in den geltenden Vorschriften für "Lastannahmen für Bauten" angegebenen Werte zu berücksichtigen, die mittlere Deckenbelastung im Wohnungsbau darf zu 70% der angegebenen Werte angenommen werden.

2.4. Kriechen und Schwinden

Der Kriech- und Schwindberechnung darf der Zustand I zugrunde gelegt werden. Es gilt daher Abschnitt 1.8.

Werden durch Versuche des Deutschen Amtes für Material- und Warenprüfung andere Kriech- und Schwindwerte nachgewiesen, als in Tabelle 6 festgelegt wurden, zum Beispiel für dampfgehärtete Betone, so dürfen diese Werte in Rechnung gestellt werden.

2.5. Formänderungen unter Gebrauchslast

2.5.1. Rißweiten

Der Nachweis ist für die Lastfälle Mittellast und Höchstlast zu führen.

2.5.1.1. Grundlagen

Bei der Berechnung der Rißweiten ist der Einfluß des Durchmessers, der Querschnittsform, der Oberflächenbeschaffenheit und des rißerzeugenden Spannungszuwachses der in der Zugzone liegenden Spannbewehrung sowie die Größe des Bewehrungsverhältnisses und die Form des Betonquerschnittes zu erfassen. Ausgangspunkt der Rißweitenermittlung ist die jeweils zugehörige rißerzeugende Stahlspannung nach Abschnitt 2.5.1.3.

2.5.1.2. Ermittlung der Stahlspannung

Die Spannung $\sigma_{z,v+q+max\varphi}$ in der Spannbewehrung infolge Gebrauchslast ist unter Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden nach Zustand II zu ermitteln.

Der Ermittlung sind Höchstwerte für Kriechen und Schwinden zugrunde zu legen, da in diesen Fällen die größten Rißweiten auftreten.

2.5.1.3. Rißerzeugende Stahlspannung

Die rißerzeugende Stahlspannung $\Delta \sigma_{z,v+q+max\varphi}$ ergibt sich als Differenz zwischen Gesamtstahlspannung $\sigma_{z,v+q+max\varphi}$ und Spannbettspannung $\sigma_{z,v+max\varphi}^{(0)}$:

$$\Delta \sigma_{z,v+q+max\varphi} = \sigma_{z,v+q+max\varphi} - \sigma_{z,v+max\varphi}^{(0)} \quad (9)$$

2.5.1.4. Nachweis der Rißweiten

Aus der rißerzeugenden Stahlspannung ist mit Hilfe des in den "Erläuterungen zur TGL 0-4227", Abschnitt 2, angegebenen Ansatzes, der die in Abschnitt 2.5.1.1. genannten Einflüsse genügend genau erfasst, die größte Rißweite zu bestimmen und der zulässigen Rißweite nach Abschnitt 2.5.1.5. gegenüberzustellen.

Wird die Rißweite Null gefordert, so gilt der Nachweis als erbracht, wenn die Bewehrung innerhalb der Betondruckzone liegt.

2.5.1.5. Zulässige Rißweiten

In Abhängigkeit von Lagerungsbedingungen und Belastungsart sind die Rißweiten nach Tabelle 8 zulässig.

Tabelle 8 Zulässige Rißweiten

Lagerungsbedingungen	Lastfall	Zulässige Rißweite mm
in sehr feuchter oder aggressiver Atmosphäre	Höchstlast	0,10
	Mittellast	0
allgemein im Freien	Höchstlast	0,25
	Mittellast	0,10
in trockener Luft, zum Beispiel in trockenen Räumen	Höchstlast	0,35
	Mittellast	0,15

2.5.2. Durchbiegungen

Die Durchbiegung vorgespannter Betontragwerke ist nur dann nachzuweisen, wenn die Konstruktion gegen Durchbiegung empfindlich ist, das heißt, wenn die Durchbiegung die spätere Nutzung des Bauwerkes einschränken oder einen nachteiligen Einfluß auf andere Bauteile ausüben kann.

Hierzu zählen

Bauteile, bei denen Schäden infolge der Unverträglichkeit der Durchbiegung mit der Funktion anderer Bauteile entstehen können, zum Beispiel Risse in Trennwänden, Putzschäden, verklemmte Türen, Zerstörung von Fensterscheiben;

Bauteile, deren Benutzbarkeit gefährdet wird, zum Beispiel Störung der Entwässerung infolge Gefälleveränderung, Schiefstellung empfindlicher Meßinstrumente;

Bauteile, die infolge Durchbiegung das ästhetische Empfinden verletzen, zum Beispiel durchhängende Decken, Girlandenbildung bei durchlaufenden Balken und Platten;

Bauteile mit Schlankheitsgraden $\lambda = \frac{l_1}{h} > 35$, wobei l_1 die ideale Stützweite eines Trägers auf 2 Stützen darstellt, der bei gleichen Querschnittsabmessungen dieselbe Durchbiegung aufweist, wie das jeweils zu berechnende System.

In diesen Fällen ist die Durchbiegung unter Berücksichtigung der zeitlichen Aufeinanderfolge der Lasteintragung zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, daß sich die Durchbiegung aus einem elastischen und einem plastischen Anteil (Kriechen und Schwinden) zusammensetzt.

Inwieweit eine Durchbiegungsempfindlichkeit der Konstruktion vorliegt, und welche Werte für die Biegeordinaten f oder bezogenen Durchbiegungen f/l zugelassen werden können, hat der Projektant in eigener Verantwortung zu entscheiden.

2.6. Zulässige Spannungen

2.6.1. Zustand ν -fache Gebrauchslast

Im Zustand ν -fache Gebrauchslast nach Abschnitt 2.3.1. ist zur Gewährleistung der Sicherheit gegen Schubbruch nachzuweisen, daß die schiefen Hauptzugspannungen nach Tabelle 7, Zeile 27 bis 29, nicht überschritten werden. Wird ein genauer Nachweis nach Zustand II nicht geführt, kann die Berechnung der schiefen Hauptzugspannungen vereinfachend nach Zustand I erfolgen.

2.6.2. Zustand vor Aufbringen der Vorspannung

Es ist nachzuweisen, daß die Spannungen in der Spannbewehrung die nach Tabelle 7, Zeile 37, zulässigen Werte nicht überschreiten.

2.6.3. Zustand unmittelbar nach Aufbringen der Vorspannung

Es wirken die Vorspannkraft und die zu diesem Zeitpunkt vorhandene Eigenlast. Für diese Lastzusammenstellung sind die größte Druckspannung in der vorgeführten Zugzone und die größte Zugspannung in der Druckzone nach Zustand I nachzuweisen.

Dabei dürfen Druckspannungen die zulässigen Werte nach Tabelle 7, Zeile 5 bis 8, nicht überschreiten.

Zugspannungen dürfen in der Regel nicht auftreten. Lediglich im Auflagerbereich von Platten oder ähnlich ausgebildeten Bauteilen sind Zugspannungen in Höhe des 0,6fachen Betrages der Werte nach Tabelle 7, Zeile 14, zulässig.

Lassen sich vorgenannte Werte nicht einhalten, so ist in der vorgezogenen Druckzone eine Bewehrung anzuordnen und der Spannungsnachweis nach II zu führen.

Dabei ist nachzuweisen, daß die zulässigen Stahlspannungen nach Tabelle 7, Zeile 38 bis 40, und die zulässigen Betondruckspannungen der Zeile 5 bis 8 nicht überschritten werden.

2.6.4. Zustand Höchstlast

Unter Zugrundelegung der Kleinstwerte für Kriechen und Schwinden sind die Spannungen in der Spannbewehrung und den schlaffen Bewehrungseinlagen nachzuweisen. Dabei dürfen die Spannungen in der Spannbewehrung die zulässigen Werte nach Tabelle 7, Zeile 38 bis 40, nicht überschreiten.

Die Spannungen in den schlaffen Bewehrungseinlagen dürfen nicht größer sein als der 0,8fache Betrag der Spannungen an der Streckgrenze.

Hinweise:

Dieser Standard ist entstanden unter Berücksichtigung von DIN 4227 Ausg. 10.53 (siehe Abschnitt 1.) sowie sowjetischer Berechnungsverfahren für Bemessung nach Grenzzuständen (siehe Abschnitt 2.).

Stähle für den Stahlbetonbau; Spannstahl 140/160 siehe TGL 12 909.

Spannglieder für Spannbeton mit nachträglichem Verbund siehe TGL 12 106.

Einpreßmörtel für Spannbetonbauteile siehe TGL 117-0492.

Stähle für den Stahlbetonbau; Betonstähle siehe TGL 12 530.

Lastannahmen für Bauten siehe TGL 10 712.

Massivbrücken siehe TGL 0-1075.

Bautechnischer Brandschutz siehe TGL 10 685.

Die in Tabelle 7 für die Betonstähle angegebenen Spannungen stimmen mit TGL 0-1045 überein.

Die Werte für St 140/160 sind dem Entwurf der TGL 12 909 entnommen; die Werte für St 130/150, der zur Zeit importiert wird, entsprechen dem im Ausland verwendeten Spannstahl 130/150.

Erläuterungen zur TGL 0-4227, Abschnitt 2., siehe DBE (Deutsche Bau-Enzyklopädie)-Sonderdruck (in Vorbereitung); Herausgeber: Deutsche Bauakademie, Berlin.

Tabellen zur Spannungsermittlung im Zustand II für Rechteck-, Plattenbalken- und Kreisringquerschnitte siehe DBE-Sonderdruck.

Diese TGL wurde digitalisiert vom
Ingenieurbüro Friedrich Mau & Beke
Kapellenstraße 7b, 08224 Birkau