

Bundesanstalt für Straßenwesen

- Abteilung Brücken- und Ingenieurbau -

Handlungsanweisung

zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit vorgespannter

Bewehrung von älteren Spannbetonüberbauten

Ausgabe 1998

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|--|--------------|
| 1 Einführung | 1 |
| 2 Begriffsbestimmungen | 1 |
| 3 Grundsätzliches Vorgehen | 3 |
| 4 Bestandsaufnahme, Datenaufbereitung, Berechnungen | 4 |
| 4.1 Allgemeines | 4 |
| 4.2 Brückendaten | 4 |
| 4.2.1 Textblatt/-blätter | 4 |
| 4.2.2 Grundriß, Ansicht, Schnitte | 6 |
| 4.2.3 Statisches System der Oberbauten in Längsrichtung | 6 |
| 4.2.4 Regelquerschnitte | 6 |
| 4.2.5 Zu untersuchende Querschnitte | 6 |
| 4.3 Aufbereitung des vorhandenen Standsicherheitsnachweises | 7 |
| 4.3.1 Textblatt/-blätter | 7 |
| 4.3.2 Tabellen | 7 |
| 4.4 Ergänzende statische Berechnungen | 7 |
| 4.4.1 Momentenbeanspruchung infolge ΔT | 8 |
| 4.4.2 Nachweis der Betonrandspannungen in den Koppelfugen | 8 |
| 4.4.3 Momenten-Spannstahlspannungsdiagramm ($M - \sigma_z$) | 8 |
| 4.4.4 Nachweis der Schwingbreiten des Spannstahls in den Koppelfugenquerschnitten | 10 |
| 5 Begutachtung | 10 |
| 5.1 Allgemeines | 10 |
| 5.2 Verfahren und Kriterien | 13 |
| 5.3 Messungen und deren Beurteilung | 14 |
| 5.3.1 Messungen | 14 |
| 5.3.2 Beurteilung | 16 |

| | Seite |
|--|--------------|
| 5.4 Schädigungsfortschritt, Restnutzungsdauer | 16 |
| 5.4.1 Allgemeines | 16 |
| 5.4.2 Vorgehen | 17 |
| 6. Durchzuführende Maßnahmen | 18 |
| 6.1 Abdichtungsmaßnahmen | 18 |
| 6.2 Verstärkungsmaßnahmen | 18 |
| 7. Literatur | 19 |
| | |
| Anhang | 20 |

Handlungsanweisung zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit der vorgespannten Bewehrung von älteren Spannbetonüberbauten

1. Einführung

Risse in Brückenüberbauten, die die Spannbewehrung kreuzen, bedürfen zu einer dauerhaften Instandsetzung einer eingehenden Ursachenforschung mit anschließender Beurteilung des Zustandes sowie Angaben zu evtl. notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen.

In den bisher behandelten Fällen wurden die der Beurteilung zugrundegelegten Annahmen sowie die Vorgehensweise von den jeweils eingesetzten Gutachtern z. T. unterschiedlich festgelegt.

Zur Erzielung eines bundeseinheitlichen Erhaltungsstandards ist daher eine Handlungsanweisung erforderlich, die einheitliche Annahmen für die Nachrechnung und Beurteilung vorgibt und die Art und Weise des Vorgehens beschreibt.

2. Begriffsbestimmungen

(1) Dekompressionszustand

Spannungszustand im Querschnitt eines Spannbetonbauteiles, bei dem in einer Randfaser $\sigma_b = 0$ wird.

(2) Ausgeprägter Zustand II

Zustand, bei dem der Querschnitt so weit aufgerissen ist, daß der Hebelarm der inneren Kräfte bei weiterer Laststeigerung nahezu konstant bleibt. Die Nulllinie liegt in diesem Zustand hoch und verändert ihre Lage bei weiterer Belastungszunahme nur noch geringfügig.

(3) Grundmoment M_0

M_0 ist das Biegemoment infolge ständiger Lasten, Vorspannung nach Schwinden und Kriechen, der noch zu erwartenden Baugrundbewegungen und aktueller oder angenommener Temperaturbeanspruchungen. M_0 dient als Grundlage zur Ermittlung der Schwingbreite.

(4) Momenten-Spannstahlspannungs-Diagramm ($M-\sigma_z$)

Grafische Darstellung der Spannstahlspannung σ_z unter Berücksichtigung der Vordehnung in Abhängigkeit vom Biegemoment des Querschnittes. σ_z wird zweckmäßigerweise auf der Abszisse, M auf der Ordinate aufgetragen.

(5) Lastwechsellmoment ΔM_p

Maximale Momentendifferenz im betrachteten Querschnitt infolge 50% der rechnerischen, in ungünstigster Stellung angeordneten Nutzlasten nach DIN 1072

$$\Delta M_p = | \Delta M_p^+ | + | \Delta M_p^- |$$

(6) Ursprung des Momenten-Spannstahl-Spannungs-Diagrammes ($M-(\sigma_z)$)

Der Ursprung wird so festgelegt, daß sich der Querschnitt im Zustand der zentrischen Vorspannung befindet, so daß alle weiteren Momente (Biegemomente infolge von Lasten und statisch unbestimmter Anteil der Vorspannung) von $M = 0$ ab gezählt werden können. Dieser Zustand wird auch durch die Formel

$$M_{v\infty} + \alpha (M_g + \Delta M_g) + \beta \cdot M_p = 0$$

mit

$\alpha \leq 1,0$, wobei gilt:

bei $\alpha = 1$ wird $\beta \geq 0$,

bei $\alpha < 1$ wird $\beta = 0$

beschrieben.

(7) M_s

Statisch unbestimmter Momentenanteil der Vorspannung

(8) $M_v^{(0)}(0)$

Statisch bestimmter Momentenanteil der Vorspannung

(9) $ertr \Delta \sigma_z$

Bei Koppelfugen und Verankerungen ist die im Ermüdungsversuch ertragene Schwingbreite ($ertr \Delta \sigma_z$) dem Zulassungsbescheid für das jeweilige Spannfahrverfahren zu entnehmen. Für den Spannstahl außerhalb der Koppel- und Verankerungsbereiche entspricht die ertragene Schwingbreite der in der Spannstahlzulassung angegebenen Dauerschwingfestigkeit.

(10) $zul \Delta \sigma_z$

Mit dem Abminderungsfaktor 0,7 (entsprechend DIN 4227, Teil 1, 15.9.2) multiplizierte ertragene Schwingbreite für Koppelanker und Verankerungen, d.h.

$$zul \Delta \sigma_z = 0,7 \cdot ertr \Delta \sigma_z$$

Bei Spannstählen außerhalb der Koppel- und Verankerungsbereiche ist der Abminderungsfaktor mit 0,4 anzunehmen, jedoch darf in Anlehnung an Eurocode 2, Teil 2, $zul \Delta \sigma_z$ bei gekrümmten Spanngliedern nicht größer als 110 N/mm^2 und bei geraden Spanngliedern nicht größer als 145 N/mm^2 sein.

Grundsätzliches Vorgehen

Die Handlungsanweisung gliedert sich in zwei Hauptbestandteile:

1. Bestandsaufnahme, Datenaufbereitung und Berechnungen (Abschnitt 4), die die bei der Nachrechnung der Querschnitte von Spannbetonbrücken zu berücksichtigenden Randbedingungen und die Höhe der Einwirkungen festlegen. Diese Regelungen sollen ein einheitliches Vorgehen aller mit den Nachrechnungen betrauter Büros gewährleisten. Das Ergebnis ist eine Beschreibung des Ist-Zustandes des Bauwerkes ohne Beurteilung der Notwendigkeit einer Instandsetzung.
2. Beurteilung der untersuchten Querschnitte hinsichtlich der Notwendigkeit der Instandsetzung und ggf. Festlegung der Instandsetzungsart im Rahmen einer gutachterlichen Stellungnahme (siehe Abschnitt 5).

4. Bestandsaufnahme, Datenaufbereitung, Berechnungen

4.1 Allgemeines

Die nachfolgend beschriebenen Leistungen des Auftragnehmers sind auf der Grundlage von

- Bauwerksbuch mit den Berichten der Bauwerksprüfungen
- Bestandsunterlagen
- Auskünften der zuständigen Dienststelle
- ggf. eigenen Feststellungen

zu erbringen.

Alle Unterlagen, Texte wie Zeichnungen, sind in Anlagen im DIN A4-Format zusammenzustellen.

Die querschnittsrelevanten Daten sind für jeden zu untersuchenden Querschnitt aufzubereiten.

Werden bei der Aufbereitung der nachfolgend näher spezifizierten Daten Lücken festgestellt (z.B. Vereinfachungen in den statischen Berechnungen, die dem heutigen Stand der Technik nicht entsprechen), sind diese dem Auftraggeber schriftlich mitzuteilen.

4.2 Brückendaten

Bei den unter 4.2.1 bis 4.2.5 zusammenzustellenden Daten handelt es sich um solche, die den Bauwerksakten unmittelbar, ohne einen besonderen Aufwand, entnommen und dokumentiert werden können:

4.2.1 Textblatt/-blätter

- Baulastträger und zuständige Dienststelle
- Bauwerksnummer und Bauwerksname
- Zeitraum der Bauausführung
- Amts-/Sonderentwurf (nur bezüglich des/der Überbaus(-ten))
- Brückenklasse (DIN 1072)

- Angaben zur Konstruktion:
 - Betonfestigkeitsklasse
 - Betonstahlgüte
 - Querschnittstyp, Angaben zur Quervorspannung
 - Anzahl der Überbauten, Kennzeichnung, Stützweiten, Gesamtlänge, Grundrißsituation
 - Anzahl der Koppelfugen je Überbau
 - Angaben zur Längsvorspannung unter Beifügung der seinerzeit gültigen Fassungen der Zulassungsbescheide (Spannverfahren, Spannstahl)

- Angaben zum Brückenausbau:
 - Abdichtung
 - Belag
 - Kappen

- Angaben zur Errichtung des Bauwerks:
 - Baufirma und Subunternehmer für Spannstahlarbeiten
 - Aufsteller der Ausführungsunterlagen,
 - Prüfingenieur.
 - Bauweise,
 - Angaben - bauabschnittsweise - zum Zeitpunkt der Aufbringung der Vorspannung und Einbringung des Einpreßmörtels,
 - Besondere Vorkommnisse während der Bauausführung,

- Angaben zur bisherigen Instandsetzung im Bereich der zu untersuchenden Querschnitte:
 - Beschreibung der Maßnahme,
 - Zeitraum,
 - Ausführende,
 - Materialien,
 - besondere Vorkommnisse,

- Angaben zum derzeitigen Zustand der zu untersuchenden Querschnitte:
 - Rißbreite, Rißverlauf,
 - Temperatur oben (UK Kragarm), Temperatur unten (UK Konstruktion) jeweils bei der Rißfassung,
 - Datum und Art der Erfassung

4.2.2 Grundriß, Ansicht, Schnitte

Entsprechend Bestandszeichnungen aus dem Bauwerksbuch (direkt zu übernehmen)

4.2.3 Statisches System der Überbauten in Längsrichtung

Mit Angabe der Koppelfugenquerschnitte, fortlaufend numeriert entsprechend dem Herstellvorgang (KF 1, KF 2 usw.) und unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in den Ausführungsunterlagen, Kennzeichnung der gerissenen Feldbereiche - Neuzeichnung(en)

4.2.4 Regelquerschnitte

Aufgrund der Ausführungsunterlagen, unter Kennzeichnung der veränderlichen Maße Neuzeichnung(en)

4.2.5 Zu untersuchende Querschnitte

Jeder zu untersuchende Querschnitt ist skizzenhaft getrennt darzustellen. Sofern einzelne Querschnittsteile (z.B. Stege) statisch getrennt nachgewiesen wurden, müssen die Teilbereiche und die zugehörigen Angaben im Querschnitt deutlich gekennzeichnet werden. Geometrische und statisch-konstruktive Symmetrieeigenschaften können, sofern diese gemäß den vorhandenen Unterlagen ausgenutzt wurden, mit entsprechendem Hinweis bei den Zeichnungen ebenfalls berücksichtigt werden. Im einzelnen müssen die Skizzen folgende Angaben enthalten:

- Bezeichnung gemäß 4.2.3
- Geometrische Daten des Betonquerschnitts
- Spannstahlquerschnitte, lagenweise, unter Angabe des Spanngliedtyps, nicht gekoppelte Spannglieder besonders gekennzeichnet, Höhenlage vom oberen Querschnittsrand vermaßt.
- Betonstahlquerschnitte der Längsbewehrung, lagenweise, unter Angabe des Stahlquerschnitts, Höhenlage vom oberen Querschnittsrand vermaßt.

Hierunter sind nur untenliegende Stabquerschnitte bis zur Unterkante Gurtplatte bzw. bei Platten bis $0,85 h$ zu verstehen. Waagrecht verteilte Stäbe bilden je eine Lage, höhenmäßig verteilte Stäbe (z.B. an den Seitenflächen von Stegen) können jeweils in der entsprechenden Höhenlage der Spannglieder zusammengefaßt werden.

4.3 Aufbereitung des vorhandenen Standsicherheitsnachweises

Die Richtigkeit des Standsicherheitsnachweises entsprechend dem heutigen Stand des Wissens ist zu überprüfen. Dies betrifft insbesondere die Modellbildung, Schnittgrößenermittlung, Berücksichtigung der Querverteilung und Ansatz der Reibung sowie Langzeitverformungen infolge Kriechen und Schwinden. Die Profilverformung der Koppelfuge im ungerissenen Zustand ist abzuschätzen und ihr Einfluß ggfs. zu berücksichtigen. Die Berücksichtigung der Profilverformungen nach DIN 1075, 5.3 kann einen erhöhenden Einfluß von bis zu etwa 20% haben.

Die ermittelten Daten sind entsprechend 4.3.1 und 4.3.2 zusammenzustellen.

4.3.1 Textblatt/-blätter

- Angaben zum Standsicherheitsnachweis
- Angaben zur Vorspannung:
 - Ermittlung der Spannkraftverluste infolge Reibung,
 - Ermittlung der zeitabhängigen Spannkraftverluste,
 - Ermittlung der Beanspruchung infolge von Vorspannung.
- Besondere, die Schnittgrößen beeinflussende Annahmen im Standsicherheitsnachweis

4.3.2 Tabellen

Zusammenstellung der Schnittgrößen in den untersuchten Querschnitten unter Beachtung der Hinweise bei 4.2.5

- Schnittgrößen infolge von g , Δg , $\max p$ und $\min p$, ΔT (s. 4.4.1)
- Schnittgrößen infolge von Vorspannung zu den Zeitpunkten $t = 0$ und $t = \infty$ bei gleichzeitiger Angabe der Spannstahtension in jeder Lage
- Weitere, statisch relevante Schnittgrößen gemäß vorhandenem Standsicherheitsnachweis

4.4 Ergänzende statische Berechnungen

Unter 4.4.1 bis 4.4.4 sind Neuberechnungen der Spannungsnachweise für jeden untersuchten Querschnitt zusammenzustellen.

4.4.1 Momentenbeanspruchungen infolge ΔT

Am statischen System eines Durchlaufträgers sind die Momentenbeanspruchungen infolge eines linearen Temperaturunterschiedes von $\Delta T = 10 \text{ K}$ zu ermitteln, falls sie nicht aus der Ausführungsstatik zu entnehmen sind.

4.4.2 Nachweis der Betonrandspannungen in den Koppelfugen

Die oberen und unteren Betonrandspannungen $\sigma_{b,u}$ und $\sigma_{b,o}$ sind sowohl bei planmäßiger Vorspannung als auch bei um 30 % abgeminderter Vorspannung für die Lastfallkombinationen

$$g + \Delta g + f_i \cdot V_{\infty} + \Delta T_i$$

und

$$g + \Delta g + f_i V_{\infty} + \gamma \cdot p$$

mit:

$$f_i = 1,0; 0,7$$

$$\Delta T_i = 5, 10, 15 \text{ K}$$

$$\gamma = 0,3 \text{ (als dauernd wirkender Anteil der Verkehrslasten)}$$

$$p = \text{entsprechend der Brückenklasse des Bauwerkes nach DIN 1072}$$

nachzuweisen und tabellarisch, unter Angabe der Querschnittswerte und der Spannungsanteile infolge der einzelnen Schnittgrößen, darzustellen.

4.4.3 Momenten-Spannstahlspannungsdiagramm ($M-\sigma_z$)

Für die nachzuweisenden Querschnitte ist das $M-\sigma_z$ -Diagramm der maßgebenden Spanngliedlage für

- die planmäßige Vorspannung ($1,0 \cdot \text{cal } V_{\infty}$)
- und
- eine um 30% abgeminderte Vorspannung ($0,7 \cdot \text{cal } V_{\infty}$).

zu erstellen.

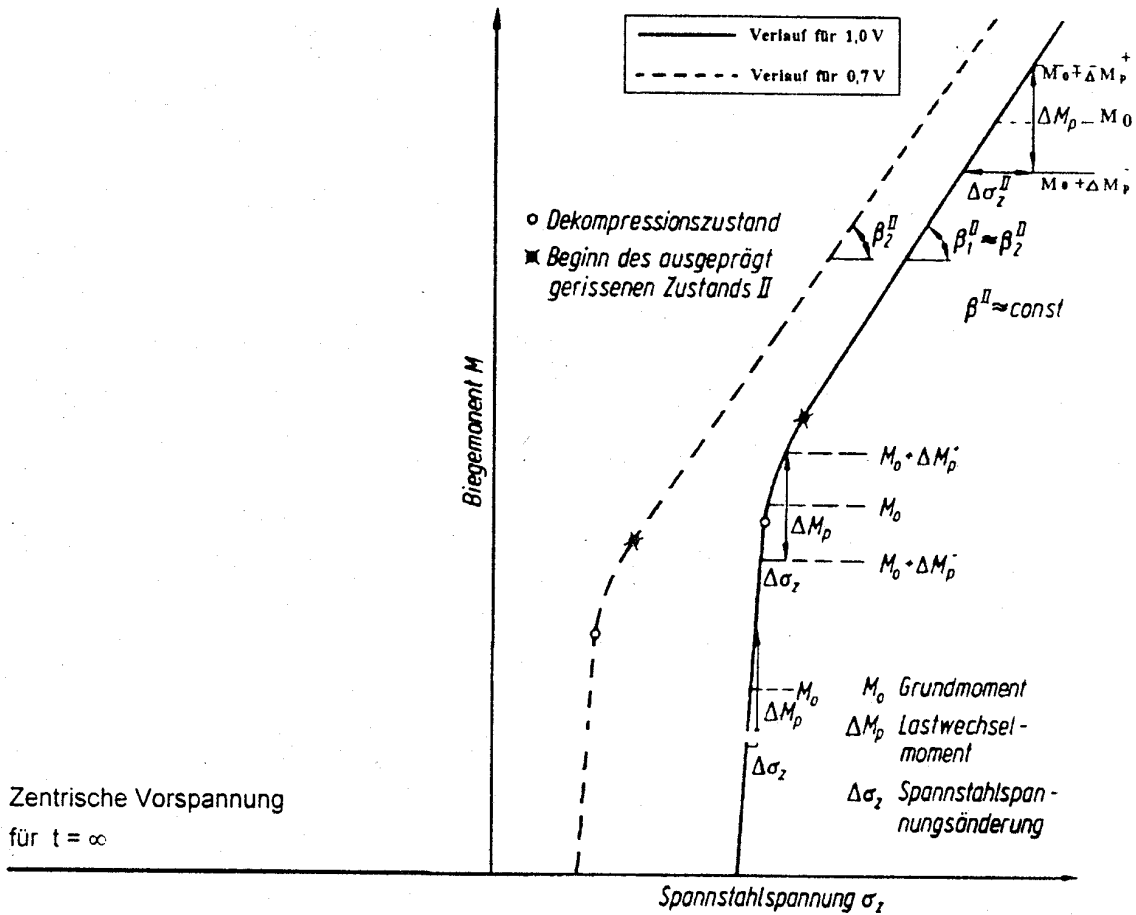


Abb. 1: Momenten-Spannstahlspannungs-Diagramm ($M-\sigma_z$) (nach [1])

In den Diagrammen soll zusätzlich zur Spannstahlspannungsänderung im ausgeprägten Zustand II auch die Spannstahlspannungsänderung unter Zugrundelegung des normgemäßen Grundbeanspruchungsniveaus zum Zeitpunkt $t = \infty$ angegeben werden.

Alternativ oder ergänzend kann die differenzierte Momenten-Spannstahlspannungskurve (= Momenten-Spannstahlschwingbreiten Diagramm) entsprechend Abb. 2 jeweils für planmäßige Vorspannung ($1,0 \cdot \text{cal } V_\infty$) und um 30% abgeminderte Vorspannung ($0,7 \cdot \text{cal } V_\infty$) angegeben werden.

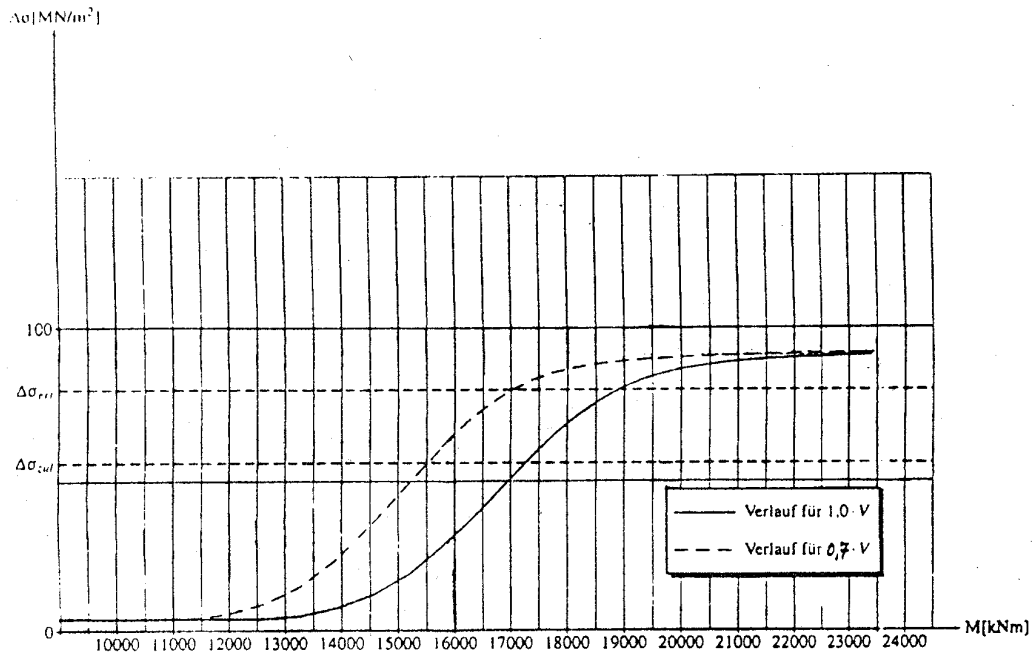


Abb. 2: Differenzierte Momenten-Spannstahl-Spannungskurve ($M - \Delta \sigma_z$) nach [4]

In das Diagramm werden sinnvollerweise die zulässige Schwingbreite (zul $\Delta \sigma_z$) und die ertragene Schwingbreite (ertr $\Delta \sigma_z$) eingetragen.

4.4.4 Nachweis der Schwingbreiten des Spannstahls in den Koppelfugenquerschnitten

Die Spannungsänderungen des Spannstahls $\Delta \sigma_z^{II}$ in der maßgebenden Lage im ausgeprägten Zustand II sind unter der Annahme eines vollgerissenen Koppelfugenquerschnittes infolge des normgemäßen Lastwechsellmomentes

$$\Delta M_p = | 0,5 \max M_p | + | 0,5 \min M_p |$$

zu berechnen und tabellarisch darzustellen.

5. Begutachtung

5.1 Allgemeines

Der Ablauf der Begutachtung ist in einem Flußdiagramm (Abb. 4) dargestellt.

Es handelt sich um ein abgestuftes Verfahren, bei dem im Laufe der Bearbeitung die Genauigkeit mit jedem neuen Schritt zunimmt. Dadurch kann an mehreren Stellen die Bearbeitung bei Erfüllung auf der sicheren Seite liegender Kriterien abgebrochen werden, so daß unnötiger Bearbeitungsaufwand entfällt.

Die Bearbeitung kann auch dann abgebrochen werden, wenn sich durch die Lage des Grundmomentes M_0 im Momenten-Spannstahlspannungsdiagramm zeigt, daß sich der Querschnitt im ausgeprägten Zustand II befindet. Abb. 4 enthält ein entsprechendes Abfragekriterium.

Im Sinne einer Empfindlichkeitsstudie ist die Berechnung in der 2. und 3. Stufe jeweils für $1,0 \text{ cal } V_{\infty}$ und $0,7 \text{ cal } V_{\infty}$ durchzuführen. Beim Nachweis in der Stufe 2 wird mit entsprechender gutachtlicher Begründung auch eine im Rahmen der Empfindlichkeitsstudie angemessene Überschreitung der Grenzen zu $\Delta \sigma_z$ bzw. $\text{ertr } \Delta \sigma_z$ zugelassen.

Prinzipiell gibt es in Abhängigkeit von der Lage der Spanngliedkopplungen drei mögliche Querschnittsausbildungen (siehe Abb. 3).

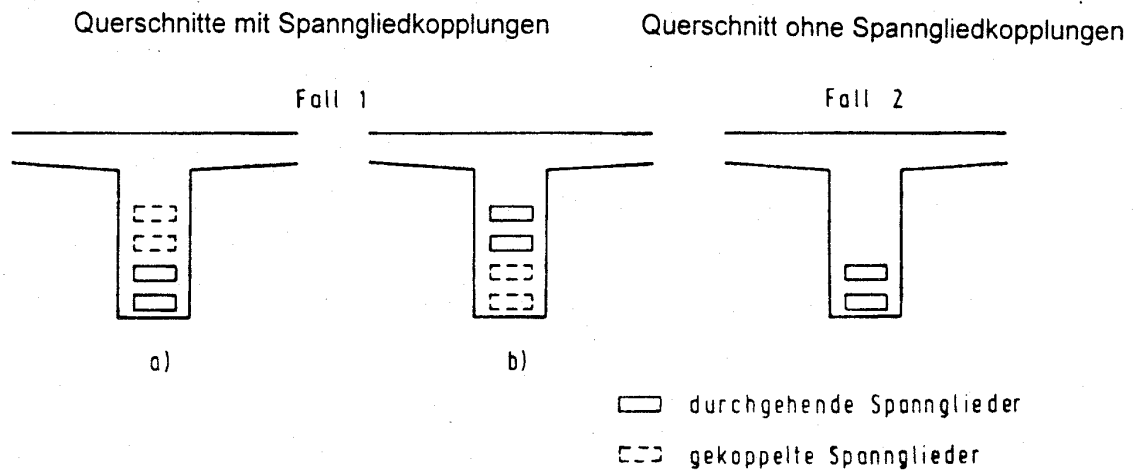
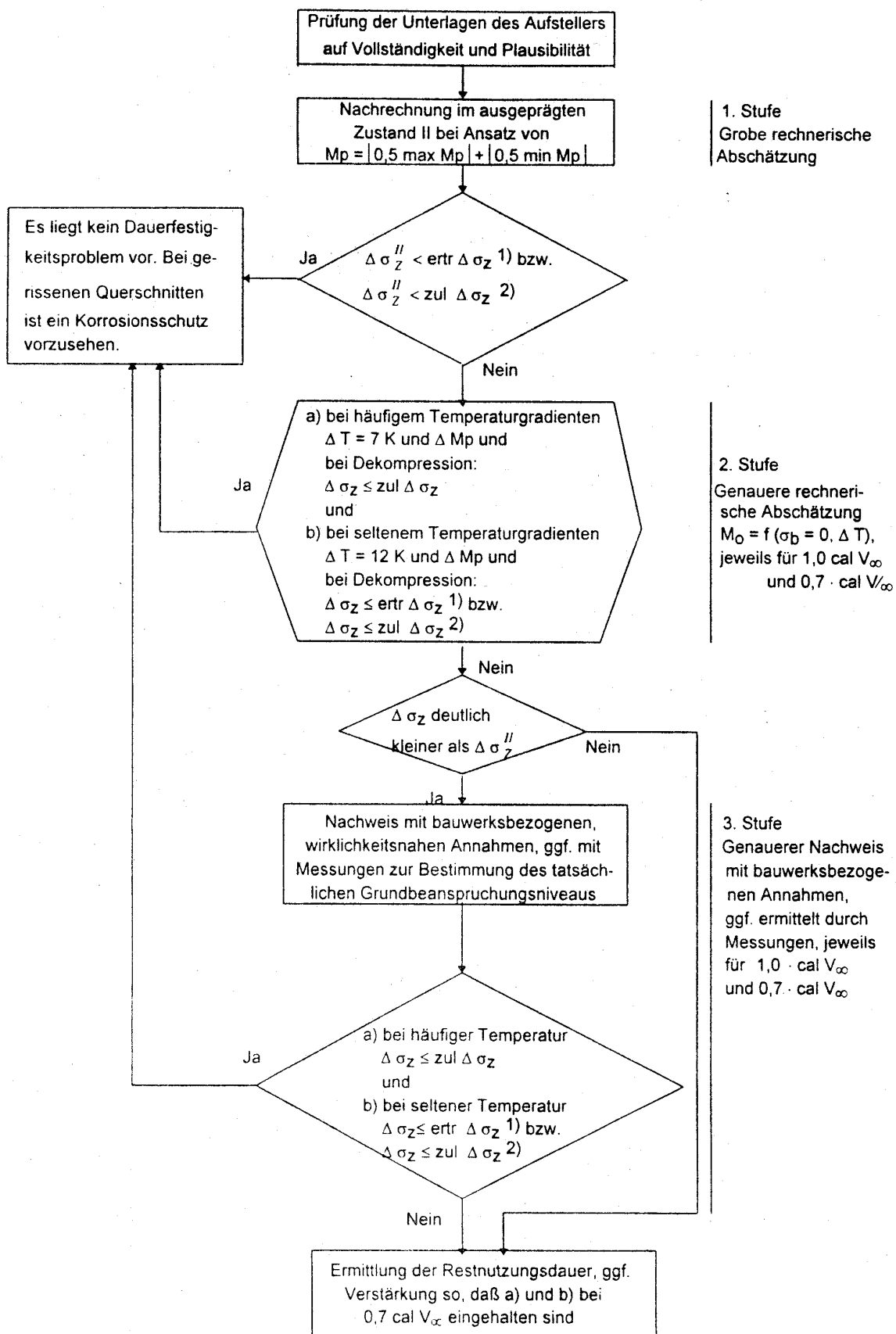


Abb. 3: Mögliche Querschnittsausbildungen (Prinzipiskizze)



1. Stufe
Grobe rechnerische
Abschätzung

2. Stufe
Genauere rechnerische
Abschätzung
 $M_0 = f(\sigma_D = 0, \Delta T)$,
jeweils für $1,0 \cdot cal V_\infty$
und $0,7 \cdot cal V_\infty$

3. Stufe
Genauerer Nachweis
mit bauwerksbezogenen
Annahmen,
ggf. ermittelt durch
Messungen, jeweils
für $1,0 \cdot cal V_\infty$
und $0,7 \cdot cal V_\infty$

1) Im Fall 1a (Spanngliedkopplung)
2) In den Fällen 1b und 2
durchlaufende Spannglieder

Abb. 4: Ablauf der Begutachtung

5.2 Verfahren und Kriterien

1. Die vom Aufsteller der Nachrechnung eingereichten Unterlagen sind auf Vollständigkeit und Plausibilität zu überprüfen.
2. Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Spannstähle
 - 2.1 Liegen bei Ansatz von $\Delta M_p = |0,5 \max M_p| + |0,5 \min M_p|$ die ermittelten Spannstahlspannungsänderungen $\Delta \sigma_z''$ unter zul $\Delta \sigma_z$ bzw. ertr $\Delta \sigma_z$ für das Spannverfahren (siehe Zulassung und DIN 4227, Teil 1), so liegt kein Dauerfestigkeitsproblem vor. Eine Verstärkung ist nicht erforderlich. Bei gerissenen Querschnitten sind Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Spannglieder jedoch erforderlich. Dies kann z.B. durch die in Anlage A beschriebene Maßnahme erfolgen.
 - 2.2 Liegen die ermittelten Spannstahlspannungsänderungen über den Grenzwerten (zul $\Delta \sigma_z$ bzw. ertr $\Delta \sigma_z$), sind zur weiteren Eingrenzung zwei weitere Nachweise zu führen.

a) Nachweis für den häufigen Wert der Temperatur

Ermittlung der Spannstahlspannungsänderungen $\Delta \sigma_z$ bei $0,7 \cdot \text{cal } V_\infty$ unter der Annahme, daß gerade das Dekompressionsmoment des Querschnitts erreicht ist, zusätzlich ein linearer Temperaturgradient von $\Delta T = 7 \text{ K}$ wirkt und $\Delta M_p = |0,5 \max M_p| + |0,5 \min M_p|$ ist. Dieser Nachweis wird im Sinne des Eurocodes als Nachweis für den häufigen Wert von ΔT angesehen. Bei diesem Nachweis ist die Bedingung $\Delta \sigma_z \leq \text{zul } \Delta \sigma_z$ einzuhalten.

b) Nachweis für den seltenen Wert der Temperatur

Ermittlung der Spannstahlspannungsänderungen $\Delta \sigma_z$ bei $0,7 \cdot \text{cal } V_\infty$ wie bei a), aber bei Ansatz eines linearen Temperaturgradienten von $\Delta T = 12 \text{ K}$. Dieser Nachweis wird im Sinne des Eurocodes als Nachweis für den seltenen Wert von ΔT angesehen. Bei diesem Nachweis ist die Bedingung $\Delta \sigma_z \leq \text{ertr } \Delta \sigma_z$ bzw. zul $\Delta \sigma_z$ einzuhalten.

Sind beide Bedingungen eingehalten, so kann Ermüdungsversagen mit der erforderlichen Sicherheit ausgeschlossen werden. Der Querschnitt kann wie unter 2.1 dargestellt eingestuft werden und ist lediglich hinsichtlich des Korrosionsschutzes zu behandeln.

Sind die Bedingungen für a) und b) nicht beide erfüllt, so ist weiter nach 3. zu verfahren. Allerdings kann beim Nachweis unter $0,7 \text{ cal } V_{\infty}$ von einer Einhaltung der Bedingungen a) und b) abgesehen werden, wenn im Gutachten aufgrund der Empfindlichkeitsstudie eine Begründung für die Überschreitung der Bedingungen angegeben wird.

3. Beurteilung der Ermüdungsbruchgefährdung

3.1 Liegt $\Delta \sigma_z$ in der Nähe von $\Delta \sigma_z''$, so befindet sich der Querschnitt im ausgeprägten Zustand II. Die Untersuchung kann hier ohne Durchführung der weiteren Schritte (gesteigerte Genauigkeit) abgebrochen und direkt mit der Bestimmung der zu erwartenden schadensäquivalenten Schädigung, Abschätzung der Zeit bis zum Schaden und ggf. mit Konzipierung der Verstärkungsmaßnahmen fortgesetzt werden (siehe Abschnitte 5.4 und 6). Eine evtl. Verstärkung ist dabei so auszuliegen, daß die Bedingungen nach 2.2 a) und b) eingehalten sind.

3.2 Liegt $\Delta \sigma_z$ erkennbar deutlich unter $\Delta \sigma_z''$, so sollten weitere Untersuchungen auf der Grundlage von Messungen am Bauwerk durchgeführt werden. Die Vorgehensweise ist unter 5.3. beschrieben.

5.3 Messungen und deren Beurteilung

5.3.1 Messungen

Die Messungen dienen zur Bestimmung des tatsächlichen Grundbeanspruchungsniveaus im kritischen Querschnitt unter definierten Lasten und geöffnetem Riß. Dazu sind Messungen von Luft- und Bauwerkstemperaturen, Dehnungsänderungen des Spannstahls und Wegänderungen des Betons durchzuführen, sowie die wirklich auftretende Verkehrsbelastung angenähert festzustellen. Im Bereich von Koppelfugen ist bei der Ermittlung der Spannungen aus den gemessenen Dehnungen die Verformbarkeit der Kopplungen und Anker in hinreichender Weise in Rechnung zu stellen.

Die Messungen sollen in der Regel als Kurzzeit- bzw. Tagesmessungen oder in besonderen Fällen als Langzeitmessungen durchgeführt werden.

Meßprogramm

- Kurzzeitmessung der Dehnungsänderung des Spannstahls sowie der Wegänderung des Betons, jeweils im Rahmen eines Belastungsversuchs.

- Tagesmessungen der Dehnungsänderungen des Spannstahls infolge von temperatur- und nutzlastbedingten Beanspruchungen unter Beobachtung des Verkehrs, z.B. durch Videoaufnahmen und/oder Achslastmessungen.
- Tagesmessung der Wegänderungen des Betons infolge von temperatur- und nutzlastbedingten Beanspruchungen ggf. unter Videobeobachtung des Verkehrs.
- Messungen der Bauwerks- und Lufttemperaturen während der Durchführung der vorstehenden Messungen.
- In Sonderfällen Temperaturjahresmessungen am Bauwerk.

Die in Spannungen umgerechneten Meßwerte der Spannstahldehnungen sind in Abhängigkeit von der Belastung (ausgedrückt durch das Moment ΔM) grafisch aufzutragen. Ein Beispiel zeigt Abb. 4.

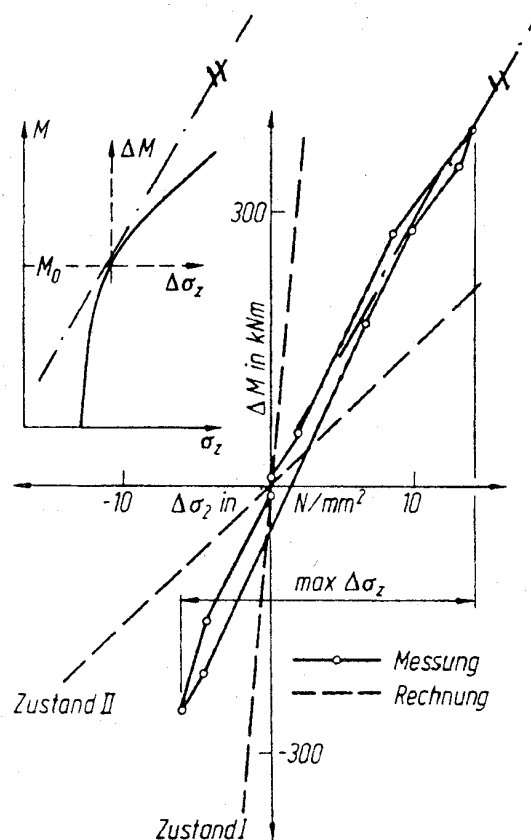


Abb. 4: Auswertung eines Belastungsversuches (nach [1])

Das Grundmoment M_0 im M - σ_z -Diagramm ergibt sich durch Übertragung (Parallelverschiebung) der Neigung der im ΔM - $\Delta \sigma_z$ -Diagramm gewonnenen Beziehung. Das so ermittelte Grundmoment M_0 enthält die aktuelle Temperaturbeanspruchung zum Zeitpunkt der Messung.

Für den weiteren Nachweis müssen, aufbauend auf den Meßergebnissen, wirklichkeitsnahe bauwerksbezogene Annahmen getroffen werden, um die Sicherheit gegen Ermüdungsbruch zuverlässig einschätzen zu können. Dazu gehören insbesondere:

- wahrscheinliche mittlere und höchste Temperaturbeanspruchung
- Größe sowie Häufigkeit der ermüdungswirksamen Verkehrslastanteile bei geöffnetem Riß.

5.3.2 Beurteilung

Kann aufgrund wirklichkeitsnaher, bauwerksbezogener Annahmen nach 5.2 nachgewiesen werden, daß

- a) bei der wahrscheinlichen mittleren Temperaturbeanspruchung (häufiger Wert)

$$\Delta \sigma_z \leq \text{zul } \Delta \sigma_z$$

und

- b) bei der höchsten Temperaturbeanspruchung (seltener Wert)

$$\Delta \sigma_z \leq \text{ertr } \Delta \sigma_z \text{ bzw. } \leq \text{zul } \Delta \sigma_z$$

eingehalten ist, so liegt kein Dauerfestigkeitsproblem, sondern nur ein Dauerhaftigkeitsproblem vor, für das bei gerissenem Querschnitt Korrosionsschutzmaßnahmen (siehe 5.2, Punkt 2.1) erforderlich werden.

Sind die Bedingungen nach a) und b) nicht eingehalten, ist die zu erwartende schadensäquivalente Schädigung zu ermitteln und die Zeit bis zu einem evtl. Schaden abzuschätzen. Gegebenenfalls sind Verstärkungsmaßnahmen zu konzipieren. Dabei ist die Verstärkung so auszulegen, daß die Bedingung unter 5.3.2 bei $0,7 \cdot \text{cal } V_\infty$ mit Sicherheit eingehalten werden.

5.4 Schädigungsfortschritt, Restnutzungsdauer

5.4.1 Allgemeines

Hat die Untersuchung ergeben, daß ein Dauerfestigkeitsproblem vorliegt, so sind die bisher eingetretene Schädigung, der Schädigungsfortschritt und die Restnutzungsdauer abzuschätzen.

In der Regel ergeben nur Beanspruchungen aus Verkehr nennenswerte Schädigungsanteile. Die Spannungsänderungen infolge Temperatur können wegen ihrer wesentlich geringeren Auftretenshäufigkeit und der langen Intervallzeit vernachlässigt werden.

Ermüdungswirksame Spannstahlspannungsänderungen treten in aller Regel nur bei über die jeweilige Spanngliedlage hinausgehender Rißöffnung auf. Als Ausgang für eine Abschätzung der Schädigung ist daher die jährlich auftretende Dauer der Rißöffnung maßgebend, die im wesentlichen vom jeweils wirkenden Temperaturgradienten zwischen Ober- und Unterkante des Bauwerks abhängt.

5.4.2 Vorgehen

Bei der Abschätzung des Schädigungsfortschrittes und der Restnutzungsdauer kann wie nachfolgend beschrieben vorgegangen werden:

1. Abschätzung der jährlich auftretenden Rißöffnungsdauer anhand der Tages- und Jahreganglinien der aus der Umgebungstemperatur abgeleiteten oder ggf. gemessenen Gradienten der Bauwerkstemperatur. Das Ergebnis ist eine anzunehmende Rißöffnungsdauer in Minuten, Stunden oder Tagen.
2. a) Angenäherte Ermittlung der Häufigkeit des Auftretens des ermüdungswirksamen Anteils der Verkehrslast. Dieser Verkehrslastanteil ist zu 50 % der vollen Nutzlast für die jeweils anzusetzende Brückenklasse anzunehmen. Das Vorgehen entspricht dem Ansatz eines Einstufenkollektivs der Belastung.

b) In Sonderfällen kann auch eine genauere Ermittlung der Schädigung unter Ansatz eines gemessenen oder angenommenen Verkehrslastkollektivs (Mehrstufenkollektiv) angezeigt sein.
3. Auswahl einer geeigneten Schädigungshypothese, z.B. Miner-Regel [4], [5].
4. Ermittlung der bisher eingetretenen Schädigung unter der Annahme der nach 1. und 2. ermittelten Werte, jedoch unter Berücksichtigung der seit Nutzungsbeginn eingetretenen Verkehrsentwicklung. Dazu ist die Schädigungshypothese auf die nach 2 a) oder 2 b) ermittelten ermüdungswirksamen Spannungsänderungen während der nach 1. ermittelten Rißöffnungsdauer anzuwenden.
5. Ermittlung der Restnutzungsdauer unter Berücksichtigung der bisher eingetretenen, nach 4. berechneten Schädigung und einer prognostizierten Verkehrsentwicklung.

6. Durchzuführende Maßnahmen

6.1 Abdichtungsmaßnahmen

Liegt kein Dauerfestigkeitsproblem vor, sondern nur ein Dauerhaftigkeitsproblem und ist der Querschnitt gerissen, so ist der Riß dauerhaft abzudichten. Eine mögliche Ausführungsart ist in Anlage A dargestellt.

6.2 Verstärkungsmaßnahmen

Als Verstärkung kommen je nach Anzahl der zu verstärkenden Koppelfugen oder anderer Stellen des Bauwerkes zwei unterschiedliche Maßnahmen infrage:

1. Sind nur vereinzelte Fugen überbeansprucht, so sind diese Fugen örtlich zu verstärken (z.B. eingelegte Zusatzbewehrung aus Betonstahl, Laschen, ggf. externe Vorspannung usw.).
2. Sind mehr als etwa ein Drittel der Koppelfugen überbeansprucht oder ist bei vereinzelt Fugen eine örtliche Verstärkung nicht möglich, ist eine externe Vorspannung über die erforderliche Bauwerkslänge einzubauen.

7. Literatur

- [1] Iványi, G. und Buschmeyer, W.:
Beurteilung älterer Betonbrücken
- Erfordernis von Belastungsversuchen -
Beton- und Stahlbeton 91 (1996), H. 1, S. 1-6,
H. 2, S. 37-40
Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- [2] Iványi, G. und Buschmeyer, W.:
Vereinfachter Nachweis der Dauerfestigkeit von Koppelfugenquerschnitten
Bauingenieur 63 (1988), S. 157-161
Springer-Verlag 1988
- [3] Zilch, K.; Bagayoko, H.; Hennecke, H. und Müller, A.:
2. Nachtrag zur Gutachterlichen Stellungnahme "Ermüdungsbruchgefährdete
Koppelancker in Spannbetonbauwerken" - Autobahnbrücke Gaigerhaid
München 1997, unveröffentlicht
- [4] Miner, A.:
Cumulative damage in fatigue
Journal of Applied Mechanics 12 (1945),
A 159 -A 164
- [5] Miner, A.:
The accumulation of fatigue damage in Aircraft
Materials and Structures
AGARD agraph n° 157, NATO 1972

Rissabdichtung

