

Leitfaden zum Aufbau statischer Berechnungen bei Bachelor- und Masterarbeiten

Prof. Dr.-Ing. Uwe Weitkemper

Für statische Berechnungen in Bachelor- und Masterarbeiten gelten grundsätzlich die gleichen Anforderungen wie für alle prüffähigen statischen Unterlagen. Dies sind in Anlehnung an Bangert et al (2000) u.a.:

- Jede Berechnung muss in sich abgeschlossen sein.
- Sie muss für die Weiterverwendung durch Dritte geeignet sein.
- Sie muss vollständig und klar gegliedert sein.
- Sie muss lesbar und prüfbar sein.
- Sie muss kopierfähig sein bzw. eingescannt werden können.
- Die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit ist vollständig, übersichtlich und prüfbar für alle Bauteile und Verbindungen entsprechend der Aufgabenstellung nachzuweisen.
- Ausdrucke EDV-unterstützter Berechnungen müssen vollständig, nachvollziehbar und reproduzierbar sein (siehe auch Ri-EDV-AP-2001). Maßgebende Resultate der Berechnungen sollten hervorgehoben werden (z. B. die für die Nachweise benutzten Schnittgrößen).

Die statische Berechnung soll zudem im SI-Einheitensystem mit Bezeichnungen nach DIN 1080 (alt) durchgeführt werden. Sie kann in Anlehnung an Schneider (2001) und Bangert et al (2000) in die folgenden Teile bzw. Abschnitte gegliedert werden:

- Titelseite
- Aufgabenstellung
- Inhaltsverzeichnis
- Vorbemerkungen und Baubeschreibung
- Verwendete Unterlagen und Literatur
- Übersichtszeichnungen, Positionspläne, Konstruktionsskizzen
- Lastannahmen
- Berechnungen und Standsicherheitsnachweise
- Schlussseite mit Unterschrift
- Anhänge.

Den größten Teil der Statischen Berechnung bildet der Abschnitt mit den Berechnungen und Nachweisen für die Einzelpositionen. Die Berechnungen und Nachweise für die Einzelpositionen werden im Hochbau grundsätzlich nicht in Unterkapitel gegliedert, sondern erhalten nur fortlaufende Seitennummern. Bei kleineren bis mittleren Bauwerken wird die statische Berechnung ebenfalls nicht in Abschnitte unterteilt. Bei größeren Bauwerken werden bestimmte Positionen ggf. zu größeren Abschnitten zusammengefasst (z.B. Bauabschnittsweise oder nach Bauteilen geordnet).

Um handschriftliche Nachweise inkl. statischer Systeme und Detailskizzen, Textteile aus Office-Programmen, Ausdrucke von Statik-Programmen und sonstige Anlagen (bauaufsichtliche Zulassungen, sonstige Herstellerinformationen, etc.) mit möglichst geringem Aufwand zur statischen Berechnung zusammenzufügen, bietet es sich im Regelfall nicht an, die statische Berechnung vollständig als elektronisches Dokument zu erstellen.

Im Folgenden werden die einzelnen Bestandteile der statischen Berechnung näher beschrieben.

1. Titelseite

Auf der Titelseite der statischen Berechnung sind anzugeben:

- Bauherr, Bauvorhaben, Bauort,
- Name und Anschrift des Aufstellers der statischen Berechnung,
- Architekt mit Anschrift,
- Koordinator für die statischen Unterlagen (sofern ein Koordinator im Projekt benannt wurde),
- Umfang der statischen Unterlagen (ggf. abschnittsweise angeben),
- Freiraum für den Prüfstempel.

Ein Beispiel für die Titelseite einer statischen Berechnung gibt Anlage 1. Im Fall von statischen Berechnungen im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten sind Aufbau und Gestaltung der Titelseite wie bei anderen Abschlussarbeiten zu wählen. Ein Beispiel für die Titelseite einer Bachelorarbeit gibt Anlage 2.

2. Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung ist im Original einzufügen und um die eidesstattliche Erklärung über die selbständige Erstellung der Arbeit zu ergänzen.

3. Inhaltsverzeichnis

Ein detailliertes Inhaltsverzeichnis ist bei größeren Bauvorhaben unerlässlich. Die inhaltliche Gliederung orientiert sich an obigen Vorgaben. Die Bearbeitung der Bauteile erfolgt ausgehend von der Positionierung der Bauteile, so wie in den Positionsplänen dargestellt.

Anders als bei Hochbauten erfolgt die Gliederung der Standsicherheitsnachweise für Brücken- und Ingenieurbauwerke nicht positionsweise, sondern in der Vergangenheit in Anlehnung an Heft 504, Bechert (1987). Mit dem Allgemeinem Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 22/2012 vom 26.11.2012 erfolgte die Umstellung der Regelwerke für die Berechnung und Bemessung von Brücken auf die europäischen Regelungen der Eurocodes, welche auch eine Anpassung der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) mit sich brachte. Die Standsicherheitsnachweise für Brücken und Ingenieurbauwerke sind daher in Anlehnung an ZTV-ING, Teil 1: Allgemeines, Abschnitt 2: Technische Bearbeitung (ZTV-ING (2013)) zu gliedern (bzw. nach Fortschreibung durch ARS Nr. 11/2019 nach ZTV-ING (2019)).

4. Vorbemerkungen und Baubeschreibung

Die Baubeschreibung soll nach EC2-1-1, NA 2.8 Angaben enthalten, die der Berechnung bzw. den Zeichnungen nicht ohne weiteres entnommen werden können, die aber das Bauwerk im Einzelnen beschreiben und erläutern. Inhalt der Baubeschreibung soll u.a. sein (siehe Schneider (2001)):

Angaben zum Standort des Bauvorhabens: Umgebungssituation, (z.B. Schließung einer Baulücke o.ä.), NN-Höhenlage, Schneelastzone, geografische Sonderlage (z.B. auf Bergkuppe), Erdbebenzone.

Angaben zur Nutzung und besonderen Erfordernissen des Bauwerks: Nutzung (Wohn- oder Verwaltungsbau, o.ä.), Erfordernisse in Bezug auf:

- Betriebsbedingte Nutzung (Schwingungsanfälligkeit, Maßgenauigkeit),
- Umwelteinflüsse (erforderliche Betondeckung),

- Erhöhte Brandschutzanforderungen (Sprinkleranlagen etc.),
- Schutz gegen Anprall (Radabweiser o.ä.) oder Strahlung (z.B. im Krankenhausbau),
- Wasserundurchlässigkeit aufgrund der Nutzung (Aktenlager, Elektroinstallationen etc.)
- Rissbreitenbeschränkung aufgrund von Nutzung oder Umwelteinflüssen,
- Verformungsbeschränkungen (z.B. Regallager o.ä.).

Abmessungen des Gebäudes: Länge, Breite, Höhe, Abtreppungen.

Erläuterung der statischen Grundkonzeption: Hauptsystem / Hauptsysteme zur Abtragung der vertikalen Lasten, Angaben zur räumlichen Stabilität / Aussteifung des Gebäudes (Aussteifung durch Wand- und Deckenscheiben, eingespannte Stützen, Verbände in der Dachebene o.ä.).

Angaben zur Anordnung von Dehnungsfugen: maximaler Abstand der Dehnungsfugen (z.B. $a \leq 30$ m aufgrund der bei einem Brand auftretenden Verformungen).

Fertigteilkonstruktionen: Angaben zu Fertigteilkonstruktionen hinsichtlich Transport- und Montagezuständen sowie besonderer Sicherheitsvorkehrungen.

Umbauten: Für Umbauten müssen die statischen Unterlagen den Zustand vor und nach den geplanten Baumaßnahmen klar in den Plänen und textlichen Erläuterungen enthalten.

Verwendete Materialien: Kurzgefasste Auflistung der zur Ausführung vorgesehenen Baustoffe mit Güteklassen und Rohdichten.

Baugrundverhältnisse:

- Baugrundverhältnisse unter Berücksichtigung des Baugrundgutachtens,
- Gründungsmaßnahmen (Flach- bzw. Pfahlgründungen),
- Angaben zur Aggressivität des Grundwassers im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit von im Grundwasser befindlichen Betonbauteilen.

5. Verwendete Unterlagen und Literatur

Die der Berechnung zugrunde gelegten Normen sind vollständig auch unter Angabe der zugehörigen Ausgabedaten anzugeben. Die Ausgabedaten sind insbesondere für Nachberechnungen im Zuge späterer Umbauten wichtig. Beispiel:

„Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken* – Teil 1-1: *Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau*. 2011-01 mit Nationalem Anhang (NA) – National festgelegte Parameter:2011-01.“

Die verwendete Literatur ist vollständig anzugeben, z.B. in folgender Form:

„Grasser, E. und Thielen, G.: *Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken*. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb), Heft 240. Berlin/München/Düsseldorf: Ernst & Sohn 1978.“

Nach der ausführlichen Nennung im Literaturverzeichnis können die Quellen im Text in Kurzform genannt werden, z.B. EC2-1-1 oder DAfStb-Heft 240.

6. Übersichtszeichnungen, Positionspläne, Konstruktionsskizzen

Jeder statischen Berechnung sind Positionspläne beizufügen. Diese enthalten (ggf. ergänzt um Skizzen) alle Informationen, die eine Überprüfung der Plausibilität und Realisierbarkeit der Konstruktion und der Aussteifungselemente ermöglichen, sowie die Lage der nachgewiesenen Positionen im Gesamttragwerk zeigen. Konstruktionszeichnungen sind die maßgebliche Grundlage für die Realisierung eines Bauwerks und damit ebenfalls Teil der Ausführungsunterlagen bzw. Gegenstand der Bachelorarbeit.

- Übersichtliche Darstellung der statischen Systeme,
- Achs- und Reihenbezeichnungen sowie Höhenkoten,
- Globales Koordinatensystem,
- Systemmaße,
- Positionsnummern,
- Fugenanordnungen,
- Konstruktionsskizzen aller nachgewiesenen Details.

Bei der Erstellung von Positionsplänen und anderen Zeichnungen der Tragwerksplanung sind u.a. die Regelmaßstäbe, die Art der Grundrissdarstellung und die geforderten Mindestinhalte zu beachten (siehe z.B. Wendehorst, 36. Auflage, Kapitel 23: Bauzeichnungen). Der Planungsaufwand richtet sich in der Regel nach dem Schwierigkeitsgrad des Tragwerks.

Einfache Tragwerke: Tragwerke einfacher Bauten werden gebaut nach den Ausführungszeichnungen des Objektplaners und den Bewehrungszeichnungen des Tragwerkplaners.

Tragwerke mittleren Schwierigkeitsgrads: Tragwerke von Bauten mittleren Schwierigkeitsgrades werden gebaut nach den Ausführungszeichnungen des Objektplaners ergänzt durch die Schalpläne und die Bewehrungspläne des Tragwerkplaners.

Tragwerke mit hohem Schwierigkeitsgrad: Tragwerke mit großem Schwierigkeitsgrad werden gebaut nach den Rohbauzeichnungen des Tragwerkplaners und den Bewehrungszeichnungen des Tragwerkplaners.

7. Lastannahmen und Einwirkungen

Die Lastannahmen wie z.B. Eigenlasten, Schneelasten, Windlasten oder Verkehrslasten sollten für das Gesamtbauwerk in allgemeiner Form beschrieben werden. Ggf. ist die Ermittlung bauteilübergreifender Einwirkungen an dieser Stelle sinnvoll (Windeinwirkungen und Schneelasten für das Gesamtbauwerk, Flächenlasten für die verwendeten Wand- und Deckenaufbauten).

8. Berechnungen und Nachweise

Die Berechnungen und Nachweise erfolgen im Hochbau positionsweise. Sie müssen vollständig, leicht prüfbar erstellt werden und sollten für jede Position mindestens enthalten:

- Statisches System,
- Einwirkungen,
- Schnittgrößenverlauf für alle Grund- und Bemessungslastfälle,
- Verformungen für die Grundlastfälle.

Die Standsicherheitsnachweise für einzelne Positionen eines Tragwerks in Massivbauweise gliedern sich wie folgt:

- Statisches System, Baustoffeigenschaften, Bauteilmaße und Betondeckung,
- Einwirkungen und Einwirkungskombinationen (GZG / GZT),
- Schnittgrößen für Einzellastfälle und die relevanten Kombinationen (GZG / GZT),
- Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (Biegung, Querkraft, Durchstanzen, ..),
- Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (Rissbreiten, Spannungen, Verformungen),

- Bewehrungsführung und bauliche Durchbildung.

Da die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit im Regelfall die erforderliche Vorspannkraft bestimmen, werden diese bei vorgespannten Bauteilen meist vor der Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit geführt. Darüber hinaus ist folgendes zu beachten:

- In der statischen Berechnung sind sämtliche tragenden Bauteile zu erfassen.
- Relevante Bau- und Montagezustände sind ebenfalls und inkl. notwendiger Baubehelfe (z.B. Baugrubenverbau und Traggerüste) nachzuweisen. Die Standsicherheitsnachweise für die Baubehelfe können in gesonderten Abschnitten oder völlig unabhängig (z.B. durch Nachunternehmer oder Lieferanten) behandelt werden.
- Die Wechselwirkung mit den Baugrund ist im notwendigen Umfang zu erfassen.
- Jede Berechnung soll ein in sich geschlossenes Ganzes bilden. Werte aus anderen Berechnungen dürfen ohne Herleitung nur dann übernommen werden, wenn die neue Berechnung eine schon vorhandene ergänzt.
- Der Inhalt der Berechnungen soll sich auf die maßgebenden Nachweise beschränken. Vorentwurfsermittlungen, Optimierungen und Alternativen sollten nicht dokumentiert werden.
- Statische Berechnungen enthalten keine Leerformeln und keine lehrbuchartigen Erläuterungen technischer Sachverhalte.

9. Schlussseite mit Unterschrift

Auf der Schlussseite hat der Beratende Ingenieur als verantwortlicher Aufsteller der statischen Berechnung mit Name, Anschrift und Datum zu unterschreiben.

10. Anhänge

In den Anhängen sind folgende Unterlagen je einfach beizufügen (je nach Erfordernis und Bauwerk, Aufzählung unvollständig):

- Gültige und von Entwurfsverfasser und Bauherr unterschriebene Baueingabepläne,
- Bodengutachten,
- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen der verwendeten Baustoffe, Bauteile oder Bauarten,
- Typenprüfungen,
- Zustimmung im Einzelfall der obersten Bauaufsichtsbehörde zu Abweichungen gegenüber den anerkannten Regeln der Technik,
- Dokumentation der EDV-Berechnungen.

Einen wesentlichen Teil der Anhänge bildet im Regelfall die Dokumentation der EDV-Berechnungen. Hinweise hierzu gibt u.a. Ri-EDV-AP-2001, in der eine Unterteilung der Ergebnisse in sogenannte „maßgebliche“ und „sonstige“ Ergebnisse vorgenommen wird.

Zu den „maßgeblichen“ Ergebnissen gehören z.B. maßgebliche Lastfälle und Lastfallkombinationen, Bemessungskräfte mit Querschnittsverformungen und Querschnittsabmessungen, Materialgüten, Herstellungsvorgaben, Nutzungsvorgaben, erforderliche Zwischenergebnisse an Schnittstellen der technischen Bearbeitung (z.B. Auflagerkräfte). Zu den „sonstigen“ Ergebnissen gehören alle übrigen Ergebnisse wie z.B. Zustandsgrößen für einzelne Lastfälle und Lastfallkombinationen.

Je nach Umfang der Berechnungen können die maßgeblichen Ergebnisse im Hauptteil der statischen Berechnung oder in den Anhängen abgedruckt werden. Sonstige Ergebnisse sind (sofern notwendig) in den Anhängen abzudrucken.

Der Aufsteller der statischen Berechnung muss sich von der Plausibilität der Eingaben und Ergebnisse durch Kontrollen überzeugen, die im Rahmen von Bachelorarbeiten auch zu dokumentieren sind. Zu den Kontrollen gehören nach Ri-EDV-AP-2001:

- Kontrollen der Eingaben,
- Kontrollen der Lastsummen,
- Gleichgewichts- und Verformungskontrollen,
- Plausibilität der Verformungen mit den Einwirkungen,
- Kontrollen mit vereinfachten Strukturmodellen,
- Berechnungen mit veränderter Netzanordnung bei finiten Elementen,
- Referenzbeispiele.

Quellenverzeichnis:

Bangert, W. et al (2000): *Anforderungen an statische Unterlagen von Stahlbauten*, Richtlinie des DSTV-Arbeitsausschusses Technisches Büro, Deutscher Stahlbau Verband, 2000.

Schneider, K.J. (2001): *Bautabellen für Ingenieure*, 14. Auflage, Werner Verlag, 2001.

Ri-EDV-AP-2001: *Richtlinie für das Aufstellen und Prüfen EDV-unterstützter Standsicherheitsnachweise*. Bundesvereinigung der Prüfungsinstitute für Bautechnik e.V. (vpi), Ausgabe April 2001.

Bechert, H. (1987): *Standsicherheitsnachweise für Kunstbauten: Anforderungen an den Inhalt, den Umfang und die Form*. Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministers für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Heft 504, 1987.

Wendehorst (2018): *Bautechnische Zahlentafeln*. Herausgeber: U. Vismann, Springer Vieweg, 36. Auflage, 2018.

ZTV-ING (2019): *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Ausgabe 04/2019.

ARS Nr. 22/2012: *Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 22/2012*, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Sachgebiet 05.2: Brücken und Ingenieurbau, Bonn, 26.11.2012.

ARS Nr. 11/2019: *Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 11/2019*, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Sachgebiet 05.2: Brücken und Ingenieurbau, Bonn, 14.09.2019.

Tragwerksplaner
Name – Anschrift – Telefon – Fax

Statische Berechnung

Datum:

Bauvorhaben:

Auftraggeber:

Bauherr:

Architekt:

Koordinator:

Die statische Berechnung umfasst folgende Seiten:

A1 bis ...

B1 bis ...

C1 bis ...

*Freiraum für den
Prüfstempel*

aufgestellt:

Rechtsverbindliche Unterschrift für
das Ingenieurbüro

Unterschrift
Sachbearbeiter

Fachhochschule Bielefeld

University of Applied Science

Fachbereich Campus Minden

Bachelorarbeit

Studienfach Massivbau im Studiengang Bauingenieurwesen

Erstellung der statischen Berechnung für den
Neubau eines Wohn- und Geschäftshauses

vorgelegt von:

Max Mustermann

Matr.-Nr:

Minden,

Datum der Ausgabe:

Datum der Abgabe:

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Weitkemper

Zweitgutachter:

Baumaßnahme	Bauwerksnummer (ASB)																				
Straßenbauverwaltung	<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>																				
Aufsteller	Datum																				
<p>ANLAGE 3: Musterseite Standsicherheitsnachweis</p> <p>nach ZTV-ING, Teil 1, Abschnitt 2, Anhang B</p>																					
Bauteil: (z.B. Spannbetonüberbau)	Seite:																				
Kapitel / Vorgang: (z.B. 2.1 Berechnungsgrundlagen) (z.B. 2.1.3 Querschnittswerte)	Archiv-Nr.:																				

Vorname Name, Matrikel-Nr., Kontaktdaten

Projekt

Bauwerk

Neubau Wohn- und Geschäftshaus

Position

Seite

ANLAGE 4: Musterseite Standsicherheitsnachweis