



Herausgeber:  
Professor Dr.-Ing. H.-G. Kempfert

---

**Interaktion zwischen  
Baugrund und Bauwerk  
– Zulässige Setzungsdifferenzen  
sowie Beanspruchungen von  
Bauwerk und Gründung –**

**Daniel Fischer**

---

**Heft 21**

Oktober 2009

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung und Zielsetzung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeines.....	1
1.2 Nachweiskonzepte und Grundlagen der normativen Regelungen.....	3
1.3 Modellbildung zur Berücksichtigung der Boden-Bauwerk-Interaktion.....	5
1.4 Zielsetzung und Methodik der Arbeit.....	6
<b>2 Zusammenfassende Darstellung über zulässige Setzungskriterien aus der Literatur... 9</b>	<b>9</b>
2.1 Allgemeines.....	9
2.2 Ursachen und Auswirkungen von Setzungen.....	10
2.3 Setzungen von Flachgründungen.....	11
2.3.1 Setzungsanteile und Bauwerksbeanspruchungen.....	11
2.3.2 Zulässige Setzungsgrößen.....	14
2.3.3 Zulässige Verkantungen.....	16
2.3.4 Allgemeine Wirkung von Setzungsdifferenzen und Beanspruchungen.....	16
2.3.5 Schadensgrenzen für Bauwerke.....	20
2.3.6 Weitere Setzungsursachen.....	30
<b>3 Nachweiskonzepte im allgemeinen konstruktiven Ingenieurbau und im Grundbau mit Auswirkungen auf die Gebrauchstauglichkeitsnachweise bei Flachgründungen..33</b>	<b>33</b>
3.1 Problemstellung.....	33
3.2 Nachweisverfahren im allgemeinen konstruktiven Ingenieurbau.....	34
3.3 Nachweisverfahren im Grundbau.....	35
3.4 Ableitung wirklichkeitsnaher setzungserzeugender Lasten.....	37
3.4.1 Vorgehensweise.....	37
3.4.2 Hochbauten.....	43
3.4.3 Brückenbauwerke.....	46
3.4.4 Schornsteine.....	48
3.4.5 Silos.....	48
3.5 Zusammenfassung der bauwerksbezogenen setzungserzeugenden Lasten.....	51
<b>4 Zwangsbeanspruchungen und Querschnittssteifigkeiten..... 55</b>	<b>55</b>
4.1 Allgemeines.....	55
4.2 Eigenschaften von Stahlbeton im Hinblick auf Gebrauchstauglichkeitsnachweise.....	56
4.2.1 Grundlegende Materialeigenschaften von Beton.....	56
4.2.2 Materialeigenschaften von Betonstahl.....	60
4.2.3 Materialeigenschaften von Beton unter Berücksichtigung zeitlicher Einflüsse...61	61
4.2.4 Zusammenwirken von Beton- und Betonstahl.....	70
4.2.5 Ableitung von Steifigkeitsverhältnissen.....	72

4.2.6 Schubsteifigkeit.....	80
4.2.7 Steifigkeitsansätze bei Beanspruchungen infolge Gebäudesetzungen.....	81
4.3 Eigenschaften von Mauerwerk.....	81
4.3.1 Allgemeines.....	81
4.3.2 Materialverhalten unter Druckbeanspruchung.....	84
4.3.3 Nicht-lineares Spannungs-Dehnungsverhalten von Mauerwerk.....	87
4.3.4 Zug- und Biegezugfestigkeit von Mauerwerk.....	90
4.3.5 Tragverhalten von Mauerwerk unter Schubbeanspruchung.....	95
4.3.6 Schwinden und Kriechen von Mauerwerk.....	99
4.4 Materialspezifische Einflüsse auf Verformungen und Setzungen von Verbundkonstruktionen.....	102
4.4.1 Allgemeines.....	102
4.4.2 Zwangsbeanspruchungen und Langzeiteinwirkung.....	105
4.5 Zusammenfassende Hinweise zu den Steifigkeitsansätzen bei Zwangsbeanspruchungen infolge Setzungen.....	109
<b>5 Ableitung von kritischen Setzungsdifferenzen für Mulden- und Sattellagerungen auf der Grundlage der Balkentheorie.....</b>	<b>116</b>
5.1 Ziele und Vorgehensweise.....	116
5.2 Grundlagen und Erweiterungen.....	119
5.2.1 Überlegungen nach Burland zur Beschreibung einer Setzungsmulde.....	119
5.2.2 Formänderung infolge Biegemoment und Querkraft.....	120
5.2.3 Lage der neutralen Faser $z$ im Balkenquerschnitt.....	125
5.2.4 Definition der Winkelverdrehung für Mulden- und Sattellagerungen.....	125
5.2.5 Beanspruchungsformen eines Balkens als Analogie für Gebäude mit Sattel- und Muldenlagerungen.....	130
5.2.6 Analogiebetrachtungen zum Durchlaufträgersystem mit Ersatzsystemen.....	135
5.2.7 Definition kritischer Versagensschnitte für Mulden- und Sattellagerungen.....	138
5.3 Berücksichtigung erweiterter Lastfallsituationen.....	139
5.3.1 Vorgehensweise.....	139
5.3.2 Erweiterte Lastsituationen.....	139
5.3.3 Trägerstellen mit maximalen Beanspruchungen und maximalen Verschiebungen.....	140
5.3.4 Momentennullpunkte als Kennzeichen der Unterteilung in Einfeldsysteme und Kragssysteme.....	144
5.3.5 Behandlung von elastischen Einspannungen.....	146
5.3.6 Lösung der Balkendifferentialgleichung.....	147
5.3.7 Erläuterungen zur Ergebnisdarstellung und zur Anwendung der Graphiken.....	151
5.4 Anwendung der Balkentheorie für Gebäudemuldenlagerung.....	154

5.4.1 Allgemeines.....	154
5.4.2 Einfeldträger mit variablem Abstand der Einzellast.....	155
5.4.3 Einfeldträger unter Linienbelastung.....	163
5.5 Anwendung der Balkentheorie für Gebäudesattellagerung.....	169
5.5.1 Allgemeines.....	169
5.5.2 Kragträger unter Einzel- und Streckenlast.....	172
5.5.3 Auswertung für die maßgebenden Versagensbeziehungen.....	174
5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse nach der Balkentheorie.....	178
5.6.1 Allgemeines.....	178
5.6.2 Vergleich der Ergebnisse von Mulden- und Sattellagerung.....	182
5.6.3 Bewertung.....	187
5.7 Zusammengesetzte Systeme aus Mulden- und Sattellagerungen.....	189
5.8 Anwendung auf zweiachsig gespannte Systeme.....	190
5.9 Hinweise zu einer veränderlichen Biegesteifigkeit des Ersatzsystems.....	193
5.10 Abschließende Hinweise zum Berechnungsgang.....	190
<b>6 Rechnerische Ermittlung kritischer Setzungsdifferenzen für Mulden- und Sattellagerungen unter Berücksichtigung des zweiachsigen Spannungszustandes...</b>	<b>191</b>
6.1 Allgemeines.....	191
6.2 Grundlagen der verwendeten Scheibenlösung.....	192
6.3 Lastentwicklung und Überlagerung.....	194
6.3.1 Allgemeines.....	194
6.3.2 Belastungen von Einfeldsystemen.....	197
6.3.3 Belastungen von Durchlaufsystemen.....	200
6.4 Lösung des zweiachsigen Spannungszustandes.....	201
6.4.1 Allgemeines.....	201
6.4.2 Einfeldsysteme unter Muldenlagerung.....	203
6.4.3 Hinweise zur Auswertung.....	209
6.4.4 Auswertung für eine Muldenlagerung.....	210
6.4.5 Auswertung für eine Sattellagerung.....	211
6.5 Durchlaufsysteme.....	213
6.5.1 Vorbemerkungen.....	213
6.5.2 Durchlaufsysteme unter Muldenlagerung.....	214
6.6 Zusammenfassung und Fazit.....	215
<b>7 Muldenlagerung unter Berücksichtigung von Reibungskräften in der Sohlfuge.....</b>	<b>217</b>
7.1 Allgemeines.....	217
7.2 Lösung der Differentialgleichung.....	220
7.3 Auswirkung der Reibungskräfte in der Sohlfuge und Vergleich.....	225

<b>8 Zur Berechnung von Gründungskörpern und Baugrundverformungen.....</b>	<b>229</b>
8.1 Allgemeines.....	229
8.2 Verfahren zur Ermittlung von Setzungen.....	230
8.3 Berechnung von Gründungen unter Einbeziehung der Baugrundsteifigkeit.....	234
8.3.1 Übersicht.....	234
8.3.2 Bettungsmodulansätze.....	236
8.3.3 Steifemodulverfahren.....	240
8.3.4 Numerische Verfahren.....	241
8.3.5 Hinweise zu Anwendungskriterien und Anwendungsgrenzen für unterschiedliche Baugrundmodelle.....	242
<b>9 Ersatzsteifigkeiten und die Definition der Systemsteifigkeit.....</b>	<b>245</b>
9.1 Definition der Systemsteifigkeit Baugrund – Bauwerk.....	245
9.2 Näherungsweise Bestimmung von Gebäudeersatzsteifigkeiten.....	248
9.3 Hinweise zur Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren auf die Bestimmung der Überbausteifigkeit.....	255
9.4 Ersatz- und Systemsteifigkeiten für die praktische Berechnung.....	256
<b>10 Ableitung eines praktischen Berechnungsverfahrens.....</b>	<b>257</b>
10.1 Zielsetzung.....	257
10.2 Empfehlungen zur praktischen Vorgehensweise.....	259
10.2.1 Grundlagen.....	259
10.2.2 Definition kritischer Versagensschnitte für Mulden- und Sattellagerungen...	262
10.2.3 Grundnomogramm für Gebäudemuldenlagen und Gebäudesattellagen.....	265
10.3 Materialabhängige kritische Dehnungen und Rissbreiten.....	268
10.3.1 Allgemeines.....	268
10.3.2 Bauteile aus Stahlbeton.....	269
10.3.3 Bauteile aus Mauerwerk.....	281
10.4 Hinweise zu weiteren Baustoffen.....	285
10.5 Anwendungsbeispiele.....	285
10.5.1 Allgemeines.....	285
10.5.2 Beispiel 1: Gebäudemuldenlagerung unter Dreiecksbelastung .....	285
10.5.3 Beispiel 2: Gebäudesattellagerung unter Trapezbelastung .....	294
10.5.4 Beispiel 3: Ermittlung der Verformungsreserven bei einem realen Projekt mit vorliegenden Setzungsmessungen - Beispiel 5 unter Muldenlagerung aus der Arbeit <i>Soumaya (2005)</i> -.....	300
10.5.5 Beispiel 4: Anwendung der vereinfachten Versagensbeziehungen am Beispiel eines Stahlbetonskelettbaus.....	319

---

10.6 Zusammenfassende Darstellung von kritischen Dehnungen und Winkelverdrehungen.....	332
10.7 Weitere Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens.....	338
<b>11 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>342</b>
<b>12 Summary.....</b>	<b>348</b>
<b>13 Literatur.....</b>	<b>353</b>

**Anhänge**

- A** Hilfwerte zur Erfassung von Ersatzsteifigkeiten  
(Anhang zu Abschnitt 4 und zu Abschnitt 9)
- B** Weiteres Anwendungsbeispiel und exemplarische Betrachtungen  
(Anhang zu Abschnitt 10)
- C** Liste häufig verwendeter Bezeichnungen und Symbole