

**KIT Stahl- und Leichtbau**

Mastermodul

# Behälterbau

bauiM1S39-BEHBAU / M-BGU-100580

engiM206-BEHBAU / M-BGU-100580

Fachrichtung Bauingenieurwesen

Schwerpunkt Konstruktiver Ingenieurbau – Schwerpunkt I + II

Profil Vertiefung Konstr. Ing.bau; Modellierung und Sim. im Ingenieurbau

Semester Wintersemester 2021/2022



Foto: P. Knödel (2005)



Foto: P. Knödel (2020)



Foto: P. Knödel (2020)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer

Prof. Dr.-Ing. Peter Knödel

**Stahl- und Leichtbau**

---

**0 Inhalt**

0	Inhalt	2
1	Allgemeines	6
2	Begriffe	9
2.1	Formelzeichen, Einheiten, Parameter, Abkürzungen	9
2.2	Fachbegriffe, Definitionen	10
3	Typeneinteilung	22
4	Regelwerke	26
4.1	Allgemeines	26
4.2	Druckgeräterichtlinie DGRL	26
4.3	Drucklose Behälter	27
4.4	Eurocode 3	28
4.5	EN 14015 ... Flachboden-Stahl tanks ...	28
4.6	EN 12285 Werksgefertigte Behälter	28
4.7	Umweltschutz	28
5	Sprachliche Grundlagen	30
5.1	Modale Hilfsverben	30
5.2	Falsch übersetzte Fachbegriffe	31
5.3	Technische Fehler in Normen	31
6	Mathematische Grundlagen	33
6.1	Darstellung von Zahlen	33
6.2	Fehlerfortpflanzung	33
6.3	Fourierreihen	34
6.4	Statistik beim Sicherheitskonzept	36
6.5	Gedämpfte Schwingungen	37
7	Kosten im Behälterbau	39
8	Werkstoffauswahl	42
9	Querschnittswerte	45
9.1	Rechnerische Wanddicke	45
9.1.1	Blehdickentoleranz	45
9.1.2	Korrosion	45
9.1.3	Abrasion	45
9.2	Querschnittswerte	45
10	Lasten	47
10.1	EG Eigenlasten	47
10.2	F Füllung	47
10.2.1	Allgemeines	47
10.2.2	Flüssigkeit	48

**Stahl- und Leichtbau**

10.2.3	Schüttgüter	49
10.2.4	Vorschlag für Füll-Bemessungssituationen	53
10.3	BD Betriebsüberdruck bzw. -unterdruck	53
10.4	T Temperatur	54
10.5	P Verkehrslasten	55
10.6	EX Explosion	56
10.7	W Windlasten	57
10.7.1	Modellbildung	57
10.7.2	Evakuieren durch Überströmen	58
10.7.3	Kraftbeiwert	58
10.7.4	Druckbeiwert	59
10.7.5	Wirbelerregte Querschwingungen	61
10.7.6	Extreme Wetterereignisse	62
10.8	S Schnee	62
10.9	phi Schiefstellung	63
10.10	ER Erddruck	63
10.11	AP Anprall	64
10.12	EB Erdbeben	64
10.12.1	Elastischer Schwinger (= impulsiver Anteil)	64
10.12.2	Diskussion des Verhaltensbeiwertes q	66
10.12.3	Schwappen (= konvektiver Anteil)	67
10.13	Lastfallkombinationen	69
11	Sicherheitskonzept	72
11.1	Technisches Versagen	72
11.2	Wasserrecht	72
12	Schnittgrößen und Ingenieurmodelle	74
12.1	Balken	74
12.2	Membran	75
12.3	Schale	77
12.4	Biegestörung	80
12.5	Variable Schnittgrößen entlang des Umfangs	82
12.6	Wahl des Bemessungskonzeptes	82
12.7	Mittragende Breite	83
12.7.1	Beanspruchung in Meridianrichtung	83
12.7.2	Beanspruchung in Umfangsrichtung	84
13	Stabilität	87
13.1	Allgemeines	87
13.2	Tragverhalten – elastisch	88
13.3	Tragverhalten – plastisch	94
13.4	Außendruck	95

**Stahl- und Leichtbau**

13.5	Imperfektionen	96
13.5.1	Unrundheit	96
13.5.2	Exzentrizität	96
13.5.3	Vorbeulen	96
13.5.4	Auflager-Unebenheit	96
13.5.5	Sonstige	97
13.6	Händischer Stabilitätsnachweis nach EC3-1-6	97
13.7	Unzulängliche Regelungen in EC3-1-6	100
13.8	Numerische Methoden	101
13.8.1	Modellbildung und Rechenkonzept	101
13.8.1.1	Handrechnung (DBF)	10
	1	
13.8.1.2	FE-Rechnung (DBA)	10
	1	
13.8.1.3	EC3-1-14	10
	3	
13.8.2	Begriffe	104
13.8.3	LBA Lineare Beullast	104
13.8.4	GNA Geometrisch Nichtlineare Berechnung	104
13.8.5	MNA Materiell Nichtlineare Berechnung	105
13.8.6	GMNA Geometrisch und Materiell Nichtlineare Berechnung	105
13.8.7	GNIA Geometrisch Nichtlinear mit Imperfektionen	105
13.8.8	GMNIA Geometrisch und Materiell Nichtlinear mit Imperfektionen	106
13.8.9	Begleitende Eigenwert-Analysen	107
13.8.10	Numerisch gestützter Beulsicherheitsnachweis nach EC3-1-6	108
13.8.11	Zusammenfassung	109
14	Bemessung von Komponenten	111
14.1	Mantel	111
14.2	Kegelschalendach	113
14.3	Rippendach	114
14.4	Kronenring und Domstützen	116
14.5	Dacheckring	116
14.6	Kopfring	116
14.7	Zwischenring	116
14.8	Behälterfuß	117
14.9	Tankboden	119
14.10	Trichter	119
14.11	Trichteranschluss	120

## Stahl- und Leichtbau

14.12	Stützen	122
14.13	Mantelöffnungen	128
15	Sonderfragen	130
15.1	Liegende Zylinder auf Sätteln	130
15.2	Liegende eingeeerdete Zylinder	130
15.3	Druckbehälter	130
15.4	Behälter aus Aluminium	131
15.5	Kugeltanks	132
15.6	Geschraubte Behälter	133
15.6.1	Wellblechsilos	133
15.6.2	Wellblechtanks	133
15.6.3	Glattblechsilos	134
15.6.4	Glattblechtanks	135
16	Freestyle Übungen – die Kür	136
17	Offene Fragen	137
18	Quellen	138
18.1	Allgemeines	138
18.2	Bauordnungsrecht	138
18.3	Umweltrecht	138
18.4	Weitere Gesetze	139
18.5	Ausgewählte technische Normen	139
18.6	Fachliteratur	144
18.7	Internetquellen	151
18.8	Ausgewählte Abschlussarbeiten	151
18.9	Persönlichkeiten im Behälterbau/Schalenstabilität	153
19	Anhänge	1
19.1	Anhang 1: Angaben zum Beispielbehälter	1
19.2	Anhang 2: Herleitung der Kesselformel	1
19.3	Anhang 3: Randstörung aufgrund eines Kreppelmomentes	1
19.4	Anhang 4: Überlagerung von Membranspannungen und Randstörgrößen	1
19.5	Anhang 5: FE-Berechnung am Beispielbehälter	1
19.6	Anhang 6: Historisches Material	1
19.7	Anhang 7: Textbausteine für Statiken	1
19.8	Anhang 8: Beulversuche in der Lehre	1
19.9	Anhang 9: Schadensfälle	1
19.10	Anhang 10: Konstruktionszeichnungen	1
19.11	Anhang 11: FE-Berechnungen – Fehlersammlung	1
19.12	Anhang 12: Kreisringträger Knicknachweis	1