

**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 2022/2023



Foto: P. Knödel (2005)



Foto: P. Knödel (2020)



Foto: P. Knödel (2020)

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

Dr.-Ing. Peter Knödel

## 0 Inhalt

0	Inhalt	2
1	Allgemeines	7
2	Begriffe	10
2.1	Formelzeichen, Einheiten, Parameter, Abkürzungen	10
2.2	Fachbegriffe, Definitionen	11
3	Typeneinteilung	29
3.1	Bauweisen	29
3.2	Herstellungs- und Montageverfahren	32
4	Regelwerke	35
4.1	Allgemeines	35
4.2	Druckgeräterichtlinie DGRL	36
4.3	Drucklose Behälter	37
4.4	Eurocode 3	37
4.5	EN 14015 ... Flachboden-Stahltanks ...	37
4.6	EN 12285 Werksgefertigte Behälter	38
4.7	Umweltschutz	38
5	Sprachliche Grundlagen	40
5.1	Modale Hilfsverben	40
5.2	Falsch übersetzte Fachbegriffe	41
5.3	Technische und redaktionelle Fehler in Normen	41
6	Mathematische Grundlagen	43
6.1	Darstellung von Zahlen	43
6.2	Fehlerfortpflanzung	43
6.3	Fourierreihen	44
6.4	Statistik beim Sicherheitskonzept	46
6.5	Gedämpfte Schwingungen	47
7	Kosten im Behälterbau	49
8	Werkstoffauswahl	52
9	Querschnittswerte	55
9.1	Rechnerische Wanddicke	55
9.1.1	Blehdickentoleranz	55
9.1.2	Korrosion	55
9.1.3	Abrasion	55
9.2	Querschnittswerte	55
9.3	Teilsicherheitsbeiwerte	56
10	Lasten	58
10.1	EG Eigenlasten	58
10.2	F Füllung	58

10.2.1	Allgemeines	58
10.2.2	Teilsicherheitsbeiwerte	58
10.2.3	Flüssigkeit	60
10.2.4	Schüttgüter	60
10.2.5	Vorschlag für Füll-Bemessungssituationen	64
10.3	BD Betriebsüberdruck bzw. -unterdruck	65
10.4	T Temperatur	66
10.5	P Verkehrslasten	66
10.6	EX Explosion	67
10.7	W Windlasten	68
10.7.1	Modellbildung	68
10.7.2	Dachsog und Evakuieren durch Überströmen	69
10.7.3	Kraftbeiwert	70
10.7.4	Druckbeiwert	71
10.7.5	Wirbelerregte Querschwingungen	74
10.7.6	Extreme Wetterereignisse	76
10.8	S Schnee	76
10.9	phi Schiefstellung	77
10.10	ER Erddruck	77
10.11	AP Anprall	77
10.12	EB Erdbeben	78
10.12.1	Elastischer Schwinger (= impulsiver Anteil)	78
10.12.2	Diskussion des Verhaltensbeiwertes q	80
10.12.3	Schwappen (= konvektiver Anteil)	81
10.13	Lastfallkombinationen	84
11	Sicherheitskonzept	86
11.1	Technisches Versagen	86
11.2	Wasserrecht/Umweltrecht	87
12	Schnittgrößen und Ingenieurmodelle	89
12.1	Balken	89
12.2	Membran	90
12.3	Schale	92
12.4	Biegestörung	95
12.4.1	Radial unverschieblicher Behälterfuß	95
12.4.2	Eingespannter Behälterfuß	97
12.4.3	Wanddickensprung	100
12.5	Variable Schnittgrößen entlang des Umfangs	101
12.6	Wahl des Bemessungskonzeptes	101
12.7	Mittragende Breite	102
12.7.1	Beanspruchung in Meridianrichtung	102
12.7.2	Beanspruchung in Umfangsrichtung	104

12.8	Runden von Blechen	106
13	Stabilität	107
13.1	Allgemeines	107
13.2	Tragverhalten – elastisch	108
13.3	Tragverhalten – plastisch	116
13.4	Außendruck	117
13.5	Imperfektionen	119
13.5.1	Allgemeines	119
13.5.2	Unrundheit	120
13.5.3	Exzentrizität	120
13.5.4	Vorbeulen	121
13.5.5	Auflager-Unebenheit	121
13.5.6	Sonstige	122
13.5.7	Rechnerische Ersatzimperfektionen	122
	13.5.7.1 Imperfektionstiefe	12
	2	
	13.5.7.2 Imperfektionsmuster	12
	4	
13.6	Händischer Stabilitätsnachweis nach EC3-1-6	129
13.7	Unzulängliche Regelungen in EC3-1-6	133
13.8	Numerische Methoden	134
13.8.1	Modellbildung und Rechenkonzept	134
	13.8.1.1 Handrechnung (DBF)	13
	4	
	13.8.1.2 FE-Rechnung (DBA)	13
	5	
	13.8.1.3 Advanced computational analysis EC3-1-14	13
	7	
13.8.2	Begriffe	137
13.8.3	LBA Lineare Beullast	137
13.8.4	GNA Geometrisch Nichtlineare Berechnung	138
13.8.5	MNA Materiell Nichtlineare Berechnung	138
13.8.6	GMNA Geometrisch und Materiell Nichtlineare Berechnung	138
13.8.7	GNIA Geometrisch Nichtlinear mit Imperfektionen	138
13.8.8	GMNIA Geometrisch und Materiell Nichtlinear mit Imperfektionen	139
13.8.9	Begleitende Eigenwert-Analysen	140
13.8.10	Numerisch gestützter Beulsicherheitsnachweis nach EC3-1-6	141

	13.8.11 Zusammenfassung	142
14	Bemessung von Komponenten	144
	14.1 Mantel	144
	14.2 Kegelschalendach	146
	14.3 Rippen- oder Sparrendach	147
	14.3.1 Allgemeines	147
	14.3.2 Bemessung der Dachhaut	148
	14.3.3 Bemessung der Sparren	148
	14.4 Kugelsegmentdach	150
	14.5 Kronenring und Domstützen	150
	14.6 Dacheckring	151
	14.7 Kopfring	151
	14.8 Zwischenring	151
	14.9 Behälterfuß	152
	14.10 Tankboden	154
	14.11 Trichter	155
	14.12 Trichteranschluss	156
	14.13 Stützen	158
	14.14 Mantelöffnungen	163
15	Sonderfragen	165
	15.1 Liegende Zylinder auf Sätteln	165
	15.2 Liegende eingeeerdete Zylinder	165
	15.3 Behälter aus Aluminium	166
	15.4 Kugeltanks	167
	15.5 Geschraubte Behälter	168
	15.5.1 Wellblechsilos	168
	15.5.2 Wellblechtanks	168
	15.5.3 Glattblechsilos	168
	15.5.4 Glattblechtanks	169
	15.6 Mehrkammersilos	169
	15.7 Mehrkammertanks	173
16	Freestyle Übungen – die Kür	174
17	Offene Fragen	175
18	Quellen	176
	18.1 Allgemeines	176
	18.2 Bauordnungsrecht	176
	18.3 Umweltrecht	176
	18.4 Weitere Gesetze	177
	18.5 Ausgewählte technische Normen	177
	18.6 Fachliteratur	182

---

18.7	Internetquellen	191
18.8	Ausgewählte Abschlussarbeiten	191
18.9	Persönlichkeiten im Behälterbau/Schalenstabilität	192
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