

Renneberg · Schneider

# **Kunststoffe im Anlagenbau**

**Werkstoffe, Konstruktion,  
Schweißprozesse, Qualitätssicherung**

# Vorwort

<b>1</b>	<b>Anwendungsbereich</b> .....	<b>1</b>
1.1	Allgemeines .....	1
1.2	Apparatebau .....	2
1.3	Rohrleitungsbau .....	2
1.4	Einsatzgrenzen .....	3
1.5	Voraussetzung für die Dimensionierung .....	4
<b>2</b>	<b>Werkstoffe und Eigenschaften</b> .....	<b>5</b>
2.1	Einleitung .....	5
2.2	Thermoplaste (Plastomere) .....	5
2.2.1	Polyvinylchlorid (PVC) .....	7
2.2.2	Polyethylen (PE) .....	8
2.2.3	Polypropylen (PP) .....	10
2.2.4	Polyvinylidenfluorid (PVDF) .....	12
2.3	Duroplaste (Duromere) .....	13
2.3.1	Ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze) .....	14
2.3.2	Vinylesterharze (VE-Harze) .....	15
2.3.3	Epoxidharze (EP-Harze) .....	16
2.3.4	Technologie von UP- und EP-Harzen .....	16
2.3.5	Glasfaserverstärkungsmaterial .....	18
2.3.6	Sonstige Fasern .....	24
2.3.7	Vorimprägnierte Fasererzeugnisse .....	24
2.3.8	Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) .....	25
2.3.9	Glasfaserverstärkter Kunststoff mit thermoplastischer Auskleidung (GFK/Thermoplast) .....	29
2.3.10	Glasfaserverstärkter Kunststoff mit Chemieschutzschicht .....	32
2.4	Untersuchungen von Werkstoffeigenschaften .....	34
2.4.1	Ermittlung der Eigenschaften von handelsüblichen PVC-Tafeln .....	34
2.4.2	Festigkeitsuntersuchungen an glasfaserverstärkten Kunststofflaminaten .....	36
2.4.3	Zeitstandverhalten des Werkstoffes GFK/PP .....	38
2.4.4	Werkstoffmechanische Analyse von glasfaserverstärkten Duroplasten mit fertigungs- und umweltbedingten Fehlstellen bei Hand- und Wickellaminaten .....	39
<b>3</b>	<b>Verhalten der Kunststoffe unter Einwirkung von Chemikalien (chemische Widerstandsfähigkeit)</b> .....	<b>44</b>
3.1	Einleitung .....	44
3.2	Vorgänge bei Medieneinwirkung .....	44
3.3	Einflußfaktoren auf die Widerstandsfähigkeit von Kunststoffen .....	45
3.3.1	Werkstoffspezifische Faktoren .....	46
3.3.2	Herstellungs- und verarbeitungsbedingte Faktoren .....	46

3.3.3	Einflüsse der natürlichen Umgebung .....	46
3.3.4	Temperatur .....	46
3.3.5	Einwirkzeit .....	46
3.3.6	Konzentration des Mediums .....	47
3.3.7	Mechanische Spannungen .....	47
3.4	Definition der Widerstandsfähigkeit .....	47
3.5	Prüfung und Beurteilung des Werkstoffverhaltens .....	48
3.5.1	Immersionsversuch .....	48
3.5.2	Zeitstand-Innendruckversuch .....	49
3.5.3	Praxistests und Erfahrungen .....	50
3.6	Beständigkeitslisten .....	50
3.7	Untersuchungen über Chemikalieneinwirkung auf Kunststoffe .....	50
3.7.1	Schwefelsäureleitung DN 80/PN 10 aus dem Werkstoff GFK/PP .....	50
3.7.2	Lagerungsversuche von geschweißten PVC- und PVDF-Proben in Abfallschwefelsäure .....	53
3.7.3	Praxiserfahrung mit dem Werkstoff PVDF bei Natronlauge .....	55
3.7.4	Versagen eines PE-Rohres bei Beanspruchung durch Natronbleichlauge .....	56
3.7.5	Lagerung von Flexoauswaschmittel in PE- und PP-Versuchsbehältern .....	57
3.7.6	Eingehängte Biegeproben in einem Wäscher der Düngerproduktion .....	58
<b>4</b>	<b>Richtlinien für die Konstruktion und Ausführung .....</b>	<b>61</b>
4.1	Einleitung und Voraussetzung .....	61
4.2	Bauteile aus Thermoplasten .....	63
4.2.1	Kennwerte für Thermoplaste .....	63
4.2.2	Berechnungen von Apparaten und Behältern aus Thermoplasten .....	68
4.2.2.1	Stehende, zylindrische Flachbodenbehälter aus Thermoplasten .....	69
4.2.2.2	Berechnungsbeispiel eines stehenden, zylindrischen Flachbodenbehälters aus thermoplastischem Kunststoff .....	80
4.2.2.3	Fertigungs- und Konstruktionshinweise für stehende, zylindrische Flachbodenbehälter aus Thermoplasten .....	90
4.2.2.4	Rechteckbehälter aus Thermoplasten .....	94
4.2.2.5	Berechnungsbeispiel eines Rechteckbehälters aus thermoplastischem Kunststoff .....	95
4.2.2.6	Fertigungs- und Konstruktionshinweise für Rechteckbehälter aus Thermoplasten .....	99
4.2.3	Flanschverbindungen .....	101
4.2.4	Berechnungsbeispiel eines Apparate-Festflansches aus Thermoplasten .....	104
4.2.5	Berechnungsbeispiel einer Losflanschverbindung für eine Thermoplast-Rohrleitung .....	106
4.2.6	Konstruktionshinweise für Flansche aus Thermoplasten .....	110
4.2.7	Berechnen und Verlegen von Rohrleitungen aus Thermoplasten .....	110
4.2.7.1	Berechnung von Rohrleitungen aus Thermoplasten .....	112
4.2.7.2	Konstruktionshinweise bei der Verlegung von thermoplastischen Rohrleitungen ..	126
4.2.7.3	Normen .....	131
4.3	Untersuchungen an Thermoplastbehältern .....	131
4.3.1	Überdruck bei einem zylindrischen Flachbodenbehälter aus Polyethylen .....	131
4.3.2	Ermittlung der Verformungen und Dehnungen an einem Rechteckbehälter aus Polypropylen .....	132

4.4	Bauteile aus Duroplasten .....	135
4.4.1	Kennwerte für GFK .....	135
4.4.1.1	Ermittlung der Kennwerte bei glasfaserverstärkten Kunststoffen GFK .....	135
4.4.1.2	Darstellung von zwei typischen GFK-Laminaten .....	141
4.4.1.3	Schnittgrößen für Lamine .....	144
4.4.1.4	Materialkennwerte aus einem Prüfbescheid .....	147
4.4.1.5	Zulässige Spannung .....	150
4.4.1.6	Abminderungsfaktoren und deren Auswirkung für den GFK-Verarbeiter .....	150
4.4.2	Berechnungen von Behältern und Apparaten aus glasfaserverstärkten Kunststoffen .....	155
4.4.2.1	Berechnungsbeispiel für einen Druckbehälter mit innerem Überdruck nach AD-Merkblatt N1 .....	155
4.4.2.2	Berechnungsbeispiel für einen Druckbehälter mit äußerem Überdruck nach AD-Merkblatt N1 .....	174
4.4.2.3	Berechnungsbeispiel eines liegenden Lagerbehälters .....	179
4.4.2.4	Berechnung von stehenden, zylindrischen Flachbodenbehältern aus GFK .....	194
4.4.2.5	Berechnungsbeispiel eines stehenden Flachbodenbehälters aus GF-UP .....	203
4.4.3	Konstruktionsbeispiele für Behälter und Apparate aus GFK .....	209
4.4.4	Berechnungs-, Planungs- und Konstruktionshinweise von Rohrleitungen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen .....	220
4.4.4.1	Berechnungshinweise .....	223
4.4.4.2	Planungshinweise .....	229
4.4.4.3	Konstruktionshinweise bei der Verlegung .....	238
4.4.4.4	Normen und Unterlagen .....	248
4.5	Untersuchungen an GFK-Behältern und Rohrleitungen .....	249
4.5.1	Druckbehälter aus GFK/PP .....	249
4.5.2	Konstruktive Ausführung der Verbindung Behälterwand und Stutzen im GFK-Apparatebau .....	253
4.5.3	Laminatverbindungen von GFK-Rohren .....	254
4.5.4	Ermittlung der Axialkraft bei veränderter Längenausdehnung einer GFK/PP-Rohrleitung .....	258
4.6	Sonderbetrachtungen bei Kunststoffrohrleitungen .....	260
4.6.1	Wärmespannungen im Verbund GFK/PP-Rohr .....	260
4.6.2	Spannungsverlauf des PP-Auskleidungsrohres bei Temperaturwechselbeanspruchung .....	268
4.6.3	Dichtungen bei Kunststoff-Flanschverbindungen .....	268
4.6.4	Einsatzdrücke und Schraubenanzugsmomente .....	270
4.6.5	Relaxation .....	271
<b>5</b>	<b>Technologie</b> .....	<b>275</b>
5.1	Verarbeitung und Fertigung von thermoplastischen Kunststoffen .....	275
5.1.1	Spanlose Formgebung .....	275
5.1.2	Spanabhebende Formgebung .....	284
5.1.3	Schweißen .....	291
5.1.3.1	Warmgasschweißen .....	292
5.1.3.2	Heizelementschweißen .....	297
5.1.3.3	Reibschweißen .....	305
5.1.3.4	Heizstrahlschweißen .....	307
5.1.4	Kleben .....	309
5.1.5	Auskleidungen .....	315

5.1.6	Untersuchungen bei der Verarbeitung von Thermoplasten .....	320
5.1.6.1	Herstellen von Großrohrbogen aus Polyolefinen .....	320
5.1.6.2	Einziehen von Polyethylen-Rohren .....	321
5.1.6.3	Zerspanungsversuche .....	322
5.1.6.4	Warmgasschweißen von PVDF mit gefärbtem Schweißdraht .....	324
5.1.6.5	Heizelement-Stumpfschweißen von Rohren 400 x 25 aus PP-R .....	325
5.1.6.6	Verschweißen verschiedener PP-Sorten mit- und untereinander .....	329
5.1.6.7	Schweißversuche mit dem Auskleidungswerkstoff E-CTFE .....	330
5.1.7	Sicherheitsmaßnahmen bei der Verarbeitung von Thermoplasten .....	331
5.2	Verarbeitung und Fertigung von glasfaserverstärkten Duroplasten .....	332
5.2.1	Verarbeitungsverfahren .....	333
5.2.1.1	Handwerkliche Verfahren .....	333
5.2.1.2	Maschinelle Verfahren .....	337
5.2.2	Mechanische Bearbeitung .....	343
5.2.3	Reparaturarbeiten .....	345
5.2.4	Kleben .....	346
5.2.5	Untersuchungen bei der Verarbeitung von GFK .....	348
5.2.5.1	Tränkungsversuche beim Handlaminieren .....	348
5.2.5.2	Handlaminieren von dickwandigen GFK-Flanschen .....	348
5.2.5.3	Verbesserung des Klebverbundes GFK/PVC .....	350
5.2.5.4	Untersuchung von Klebverbindungen mit ungesättigten Polyesterharzen .....	352
5.2.6	Sicherheitsmaßnahmen bei der Verarbeitung von GFK .....	353
<b>6</b>	<b>Prüfung und Qualitätssicherung .....</b>	<b>357</b>
6.1	Einleitung und Einführung .....	357
6.2	Güteüberwachung .....	357
6.2.1	Eigenüberwachung .....	357
6.2.2	Fremdüberwachung .....	358
6.2.3	Kennzeichnung der Überwachung .....	358
6.3	Anforderungsklassen .....	359
6.4	Vorschriften, Verordnungen, Gesetze .....	359
6.4.1	Wassergefährdende Stoffe .....	360
6.4.2	Fachbetrieb nach § 19 I WHG .....	360
6.4.3	Personelle Voraussetzung/Fachkräfte .....	360
6.4.4	Prüfrichtlinien für Kunststoffschweißer .....	361
6.5	Prüfmittel-Überwachung .....	361
6.6	Nachweise, Dokumentation .....	361
6.7	Kennzeichnung des Bauteils .....	362
6.8	Qualitätssicherung für Bauteile aus Thermoplasten .....	362
6.9	Qualitätssicherung für Rohrleitungen aus Thermoplasten .....	366
6.10	Verarbeitungs-, Anforderungs- und Prüfrichtlinien bei Thermoplasten .....	367
6.11	Qualitätssicherung für Bauteile aus textilglasverstärkten Duroplasten mit und ohne Auskleidung .....	368
6.12	Qualitätssicherung für Rohrleitungen aus textilglasverstärkten Duroplasten mit und ohne Auskleidung .....	374
6.13	Verarbeitungs-, Anforderungs- und Prüfrichtlinien bei GFK .....	377

6.14	Qualitätssicherung für metallische Bauteile mit Beschichtungen oder Auskleidungen .....	379
6.15	Transport- und Aufstellungshinweise für Behälter aus GFK .....	379
6.15.1	Transport .....	379
6.15.2	Auflagerung, Fundament .....	380
6.15.3	Aufstellung eines liegenden Behälters .....	380
6.15.4	Aufstellung eines Flachbodenbehälters .....	382
6.15.5	Aufstellung eines stehenden Behälters .....	383
6.15.6	Endmontage .....	383
6.16	Untersuchung der Qualität von Kunststoffbauteilen .....	383
6.16.1	Zeitstand-Innendruckversuch einer Apparateflanschverbindung aus Polyethylen .....	384
6.16.2	Prüfung von PVDF-Bunden .....	385
6.16.3	Ermittlung der Qualität einer GFK/PP-Rohrleitung .....	386
	<b>Schrifttum</b> .....	389
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	393