

Hochschule Bochum
Bochum University
of Applied Sciences



Fachbereich Bauingenieurwesen, Institut für Wasser und Umwelt
Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft

Bachelorarbeit zum Thema

**Technische und wirtschaftliche Beurteilung von
Kunststoffschächten**

-

Bestandsaufnahme und Bewertung

vorgelegt von

Manuel Göke

18.08.2011 – 13.10.2011

Betreuung:

Prof. Dr.-Ing. Bernd Nolting

Dipl.-Ing. Andreas Redmann

Eidesstaatliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Quellen stammen, habe ich gekennzeichnet. Die Arbeit hat noch bei keiner anderen Prüfung in gleicher oder ähnlicher Form vorgelegen.

Bochum, den 11.10.2011

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung.....	7
2. Grundbegriffe der Kunststofftechnik	8
3. Problemstellung.....	9
4. Die Kanalisation	11
4.1. Allgemeine Informationen	11
4.1. Zustand.....	13
5. Schachtbauwerke	15
5.1. Definition.....	15
5.2. Materialübersicht.....	16
5.1. Aufbau	17
6. Der Rohstoff.....	26
6.1. Klassifizierung und Herstellung von Kunststoffen	26
6.1.1. Thermoplaste	32
6.1.2. Duroplaste.....	35
6.1.3. Elastomere	36
6.2. Allgemeine Eigenschaften.....	37
6.2.1. Chemische Widerstandsfähigkeit.....	37
6.2.2. Korrosion	41
7. Schachtsysteme am Markt	46
7.1. Werkstoffe und Herstellungsverfahren	46
7.1.1. Spritzgussverfahren.....	47
7.1.2. Intrusionsverfahren.....	49
7.1.3. Rotationsverfahren	50
7.1.4. Wickelverfahren	52
7.1.5. Betonfertigteile-Produktion.....	54
7.2. Lastabtrag.....	56

7.2.1.	Schachtabdeckungen	57
7.2.2.	Direkter Lastabtrag	60
7.2.3.	Entkoppelte Abdeckung	61
8.	Normung – Definition der Anforderungen	65
8.1.	Vergleich der Normanforderungen.....	66
9.	Dichtheitsprüfung	70
9.1.	Kunststoffschächte.....	72
9.2.	Betonschächte.....	73
9.3.	Bewertender Vergleich	75
10.	Wirtschaftlichkeit.....	80
10.1.	Herstellung und Transport	80
10.2.	Einbau und Kosten	81
11.	Beurteilung und Handlungsempfehlung.....	83
11.1.	Reflektion und Bewertung der Sachverhalte	83
11.1.	Problematik und Handlungsempfehlung	85
12.	Literaturverzeichnis	87
13.	Quellenverzeichnis der Abbildungen.....	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-A: William Lindley 1879.....	11
Abbildung 4-B: Schadensverteilung an Schächten (festgestellte Schäden)	13
Abbildung 4-C: Häufigkeit der Schäden an Schächten (subjektive Einschätzung)	14
Abbildung 5-A: Revisionsschachtaufbau Polypropylen-Module mit Betonauflagering .	18
Abbildung 5-B: Eingeschweißtes Gerinne.....	19
Abbildung 5-C: Gerinneformen.....	19
Abbildung 5-D: Abriebswerte im Vergleich	20
Abbildung 5-E: Anschlussmöglichkeiten GfK-Schächte	21
Abbildung 5-F: Schachtbauwerke aus GfK.....	22
Abbildung 5-G: Sonderschachtbauwerk aus GfK.....	22
Abbildung 5-H: Ausführungsvarianten Betonschacht	23
Abbildung 5-I: Revisionsschachtaufbau Betonfertigteile	24
Abbildung 5-J: Reinigungs- und Kontrollschächte	25
Abbildung 6-A: Destillation von Erdöl.....	27
Abbildung 6-B: Ablauf Crackung	28
Abbildung 6-C: Entstehungsablauf Kunststoffe und Ketten.....	29
Abbildung 6-D: Polymerisation	30
Abbildung 6-E: Polymerisationsgrad.....	30
Abbildung 6-F: Polyaddition (schematisch)	31
Abbildung 6-G: Teilkristalline Molekülstruktur	33
Abbildung 6-H: Amorphe Molekülstruktur.....	34
Abbildung 6-I: 3D-Netzstruktur eines Duroplasten	35
Abbildung 6-J: Makromoleküle eines Elastomeren:.....	36
Abbildung 6-K: Biogene Schwefelsäure-Korrosion	42
Abbildung 6-L: Unterschied Craze und Riss	44
Abbildung 6-M: Blasenbildung und Spannungsrisse	45
Abbildung 7-A: Spritzgussverfahren Ablaufskizze	47
Abbildung 7-B: Spritzgussmaschine	48
Abbildung 7-C: Einführung der Rotationsform in den Ofen	50
Abbildung 7-D: Wandaufbau GfK-Schachtrohr.....	52

Abbildung 7-E: Wickelvorgang.....	53
Abbildung 7-F: Negativform mit Dichtringen	54
Abbildung 7-G: Entschalungsverfahren	55
Abbildung 7-H: Lasteinwirkungen.....	56
Abbildung 7-I: Lastabtrag Deckel-Rahmen, orthogonale Widerlagerflächen	60
Abbildung 7-J: Lastabtrag Deckel-Rahmen, konisches Elastomer-Widerlager.....	61
Abbildung 7-K: Lastabtragsvergleich	62
Abbildung 7-L: BeGu-Abdeckung mit Lastverteilerrahmen und Teleskoprohr	63
Abbildung 7-M: Teleskopierbare Schachtabdeckung	64
Abbildung 8-A: Auszug aus der DIN 4034-1.....	67
Abbildung 9-A: Prüfung mit Luft	70
Abbildung 9-B: Prüfung mit Wasser	71
Abbildung 9-C: Prinzip der Wasserdruckprüfung von Kanal, Anschluss und Schacht....	71
Abbildung 9-D: Austretendes Wasser bei der Prüfung.....	75
Abbildung 9-E: Prüfung Betonschacht auf der Baustelle.....	76
Abbildung 9-F: Prüfung beim IKT	77
Abbildung 9-G: Prüfung der Betonschächte beim Hersteller	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Anschlussgrade nach Größe der Kommune	12
Tabelle 4-2: Verteilung der erfassten Kanaldaten	12
Tabelle 4-3: Durchschnittliche Haltungslänge und Anzahl der Schächte	13
Tabelle 6-1: Fraktionen nach Siedepunkten	26
Tabelle 6-2: Prozentuale Anteile der Fraktionen.....	27
Tabelle 6-3: Chemische Beständigkeit bei 23° C.....	40
Tabelle 8-1: Maximale Grenzabmaße für Innendurchmesser	67
Tabelle 8-2: Maße DIN 4034-1.....	67

1. Aufgabenstellung

Im Rahmen der Bachelorarbeit findet eine technische und wirtschaftliche Beurteilung von Kunststoffschächten statt. Dies beinhaltet eine Klassifizierung der Werkstoffe und eine Bestandsaufnahme der am Markt verfügbaren Schachtsysteme, sowie deren Bewertung im Hinblick auf chemische Eigenschaften und Beständigkeit. Bei den Schachtsystemen wird zwischen den verschiedenen Werkstoffen und Schachtbauwerken differenziert. Der Schwerpunkt der Bachelorarbeit liegt auf dem Vergleich der Anforderungen an Kunststoff- und Betonschächten, wobei der Abtrag von Lasten und die Dichtheit der Systeme im Vordergrund stehen. Des Weiteren werden die jeweiligen Normen und die darin enthaltenen Vorgaben und Richtlinien miteinander verglichen und bewertet. Ziel der Bachelorarbeit ist, die Vor- und Nachteile der jeweiligen Systeme herauszuarbeiten. Hierbei werden auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt. Als Abschluss wird eine Beurteilung der aufgezeigten Sachverhalte stattfinden und eine Handlungsempfehlung in Bezug auf mögliche Optimierungen abgegeben.

Die Bachelorarbeit umfasst folgende Punkte:

- Werksbesichtigung von vier Schachtherstellern:
 - Pipelife
 - Maincor
 - Amitech
 - Wavin
- Werksbesichtigung eines Kunststoffherstellers:
 - Borealis
- Teilnahme an Sitzungen des Arbeitskreises „Kunststoffschächte“
- Klassifizierung des Werkstoffes mit seinen Eigenschaften
- Bestandsaufnahme der am Markt verfügbaren Schachtsysteme
- Auswertung der angewandten Normen für Kunststoff- und Betonschächte
- Betrachtung von Lastabtrag und Dichtheitsprüfung von Schachtsystemen
- Beurteilung und Handlungsempfehlung

2. Grundbegriffe der Kunststofftechnik

Kunststoffe:	Künstlich erzeugte Stoffe, die in dieser Form nicht in der Natur vorkommen
Molekül:	Teilchen, bestehend aus einer begrenzten Zahl von Atomen, das als individuelle Einheit existieren kann
Monomer:	Molekül, z.B. Ethylen, das die Eigenschaft besitzt, durch eine geführte chemische Reaktion (z.B. Polymerisation) in ein Polymer überführt zu werden
Polymer:	Ein großes Molekül (Makromolekül), das aus vielen chemisch identischen Wiederholungseinheiten (Monomere) besteht
Kristallin:	Bereiche im Thermoplasten, in denen die Makromoleküle durch physikalische Anziehungskräfte eng und regelmäßig strukturiert zu Kristalliten angeordnet liegen
Teilkristallin:	Thermoplast, der aus amorphen und kristallinen Bereichen besteht
Additive:	Zusätze zu Werkstoffen, die deren Eigenschaften gezielt verändern sollen; z.B. höhere Alterungsbeständigkeit (Temperatur, UV, etc.), besseres Brandverhalten
Kriechen:	Eigenschaft des Kunststoffs, unter einer konstanten Last, sich zeitabhängig zu verformen
Relaxieren:	Eigenschaft des Kunststoffs, unter einer konstanten Verformung, zeitabhängig Spannung (Kraft) abzubauen [1]

3. Problemstellung

Kunststoffschächte sind im Vergleich zu Betonschächten ein relativ neues Produkt und müssen sich zunächst am Markt etablieren. Die grundsätzlichen Anforderungen an Schächte sind materialunabhängig und für alle Systeme identisch. Ein verbauter Schacht muss neben einer guten chemischen Beständigkeit auch eine gewisse Korrosionsresistenz, sowie eine hohe Nutzungsdauer aufweisen. Weiterhin müssen Schächte hydraulischen Vorgaben und Dichtheitsansprüchen genügen. Kunststoffschächte zeigen im Bezug auf diese Anforderungen material- und herstellungsbedingte Vorteile, konnten sich aber auf dem deutschen Markt aus scheinbar anderen Gründen bis heute nicht entsprechend durchsetzen.

Die Gründe für diesen Sachverhalt sollten im Rahmen einer Projekt- und Forschungsarbeit der Berner Fachhochschule geklärt werden. Hierbei wurden in der Schweiz mehr als hundert Städte, Planer und Ausführende befragt, nach welchen Kriterien die Evaluation und Auswahl des Rohr- und Schachtmaterials erfolgt. Weitere Fragen bezogen sich auf die Beurteilung der Befragten in Bezug auf Dichtheit und Dauerhaftigkeit der verwendeten Baustoffe und welche Prüfungen auf der Baustelle durchgeführt werden. Bei den Ergebnissen der Rohre muss zwischen den Nennweiten von 200 mm bis 800 mm und Nennweiten größer als 800 mm unterschieden werden. Im kleineren Nennweitenbereich besitzen Rohre aus Polypropylen eine gute Akzeptanz und werden überall dort eingesetzt, wo hohe Ansprüche an die Dichtheit und Nutzungsdauer der Kanäle gestellt werden. Bei der Neuverlegung von Rohren im nichtbegehbaren Sektor werden mittlerweile bei 70% der Kanäle Kunststoffe eingesetzt. Im Bereich der begehbaren Kanäle werden in der Schweiz zu 80% Betonrohre eingesetzt. Mitentscheidend war auch die Beständigkeit des Werkstoffes gegenüber chemischen Angriffen. Ein großer Teil der Befragten ist sich hier den Vorteilen von Kunststoffen bewusst, trotzdem erklärten 90%, dass sie ausschließlich Schächte aus Beton verbauen. Betrachtet man die Ergebnisse der Umfrage für Schächte im Straßenbereich, werden hier von 94% der Befragten nur Betonschächte eingesetzt. Auf Rückfragen bezüglich dieser Entscheidungen, wurde die starke statische Beanspruchung durch die Verkehrslasten als Grund angegeben. Die Verwendung von Kunststoffschächten wird bei den Befragten nur relevant, wenn hohe

Anforderungen an die Dichtheit, insbesondere des gesamten Systems mit Rohren und Schächten, erforderlich sind. Ein weiterer Grund für die geringe Akzeptanz ist, dass keine Erfahrungen mit Kunststoffschächten vorliegen. Auf die Frage, ob sie schon einmal etwas von Kunststoffschächten gehört oder diese sogar eingesetzt haben, antworteten 7%, dass sie Kunststoffschächte nicht kennen. 56% wissen, dass es auf dem Markt Kunststoffschächte gibt, haben aber keine Erfahrungen mit diesem Produkt und 38% haben bereits Kunststoffschächte verbaut. Ein weiteres Ergebnis der Umfrage ist, dass die Dichtheit der Schächte zwar gefordert ist, diese aber auf der Baustelle nur selten geprüft wird. Lediglich 4% der Befragten gaben an, dass sie die Schächte im Rahmen der Bauabnahme prüfen. Hieraus resultiert, dass eventuelle Undichtigkeiten nicht deutlich werden [2].

Diese Umfrage lässt sich zu großen Teilen auch auf den deutschen Markt beziehen. Die Bachelorarbeit soll daher einen Überblick der relevanten Kunststoffschachtsysteme mit dem Vergleich zu herkömmlichen Schachtbauwerken aus Beton liefern und dabei die Vor- und Nachteile der Werkstoffe und Konstruktionen berücksichtigen.

4. Die Kanalisation

4.1. Allgemeine Informationen

Der Bau der ersten modernen Abwasserkanäle fand vor nur 150 Jahre statt. Damals, im Jahr 1842, zerstörte ein Brand große Teile der Innenstadt Hamburgs. Ein Grund für die verheerenden Ausmaße des Brandes war die unzureichende Löschwasserversorgung. Durch dieses Ereignis wurde mit dem Bau eines effizienten Löschwasserversorgungsnetzes sowie eines Wasserversorgungsnetzes begonnen. Diese Netze wurden später umfunktioniert respektive umstrukturiert, sodass diese für die Entsorgung des Brauchwassers genutzt werden konnten und somit eine Kanalisation entstand. Der englische Ingenieur William Lindley entwarf das sogenannte „Sielnetz“, bei welchem die Bauarbeiten sechs Jahre nach Beginn abgeschlossen werden konnten. Im Jahr 1848 entstand somit Deutschlands erste Kanalisation. 25 Jahre später folgten andere Großstädte wie Frankfurt, München oder auch Berlin.

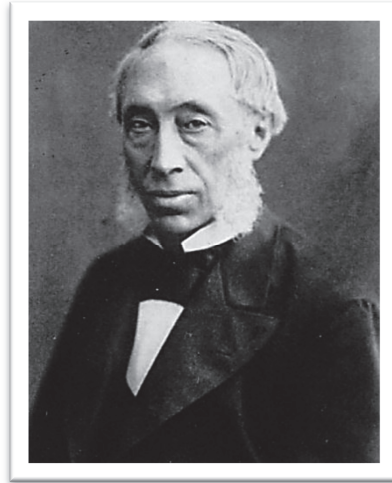


Abbildung 4-A: William Lindley 1879

Über die Jahre wurde die deutsche Kanalisation immer weiter ausgebaut, sodass 147 Jahre später die Gesamtlänge des öffentlichen Kanalnetzes rund 400.000 km betrug und die verlegten Abwasserleitungen auf privaten Grundstücken auf ca. 1.600.000 km geschätzt wurden. Heute beträgt der Anschlussgrad an das öffentliche Kanalnetz 96% und die Länge ist auf über 540.000 km angewachsen. Das ist ein Zuwachs von über 25% in weniger als 15 Jahren (1995 bis 2007). Die Gründe für diesen Anstieg liegen in

Kanalnetzerweiterungen zur Erhöhung des Anschlussgrades, zahlreichen Kanalneubauten und -erschließungen sowie neue Erfassungen bereits vorhandener Kanäle. In den folgenden beiden Tabellen sind die Anschlussgrade in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl sowie die Verteilung der erfassten Kanalarten dargestellt.

Größe der Kommune [E]	Kommunen [n]	Einwohner [Tsd. E]		Durchschnittlicher Anschlussgrad [%]
		gesamt	angeschlossen	
< 10.000	14	86	78	90,7 %
10.000 – 50.000	53	1.433	1.361	95,0 %
50.000 – 100.000	18	961	914	95,1 %
100.000 – 250.000	18	2.866	2.831	98,8 %
> 250.000	20	14.405	14.325	99,4 %
Gesamt	123	20.411	19.509	95,6 %

Tabelle 4-1: Anschlussgrade nach Größe der Kommune

Art des Kanals [-]	Erfasste Länge [km]	Gesamtlänge in Deutschland [km]	Erfasster Anteil [%]
Mischwasserkanäle	31.988	239.086	13,4 %
Schmutzwasserkanäle	21.457	187.264	11,5 %
Regenwasserkanäle	18.070	114.373	15,8 %
Sonstige (z.B. offene Gerinne)	1.580	k.A.	-
Gesamt	73.095	540.723	13,5 %

Tabelle 4-2: Verteilung der erfassten Kanaldaten

Um dieses flächendeckende Kanalnetz revidieren und seine Funktionsweise garantieren zu können, werden in Deutschland an singulären Stellen wie seitlichen Einleitungen, aber auch bei Gefällewechselln und Querschnitts- oder Richtungsänderungen stets Schächte verbaut. Darüber hinaus sollten Schachtbauwerke einen Maximalabstand von 100m grundsätzlich nicht überschreiten. Hinsichtlich des Schachtabstandes besteht ein Konflikt zwischen den betrieblichen Erfordernissen und dem Kostenfaktor, weswegen ein sinnvoller Kompromiss anzustreben ist [3]. Schächte dienen sowohl im begehbaren, als auch im nicht begehbaren Bereich für Revisions- und Wartungsarbeiten.

Der Großteil der Schachtbauwerke findet sein Einsatzgebiet in Misch- und Schmutzwasserkanalnetzen, welche in der folgenden Tabelle dargestellt sind.

Art des Kanals [-]	Durchschnittliche Haltungslänge [m]	Berechnete Gesamtzahl der Schächte in Deutschland [Stk]
Mischwasserkanäle	40,50	5.902.958
Schmutzwasserkanäle	40,53	4.619.995
Regenwasserkanäle	39,37	2.905.193
Gesamt	40,20	13.428.146

Tabelle 4-3: Durchschnittliche Haltungslänge und Anzahl der Schächte

4.1. Zustand

Der Zustand der Kanalisation ist in Deutschland in den letzten Jahren ein immer größer werdendes Thema geworden. Der Sanierungsbedarf des öffentlichen Abwassernetzes beläuft sich auf ungefähr 15%, im privaten Bereich sogar auf 35% [4]. Zur Be- und Entlüftung, Kontrolle, Wartung und Reinigung des Kanalnetzes sowie Richtungs-, Neigungs- und Querschnittsveränderung in den Rohrtrassen sind in Deutschland ungefähr 13,5 Millionen Schächte Bestandteil der öffentlichen Kanalisation. In Hinblick auf Grundwasserbelastung oder Fremdwasserinfiltration befinden sich davon 12% in einem unakzeptablen Zustand. Dies bedeutet, dass rund 1.620.000 Schächte zu ersetzen beziehungsweise zu sanieren sind, was etwa einem Investitionsvolumen von 4,2 Milliarden Euro entspricht.

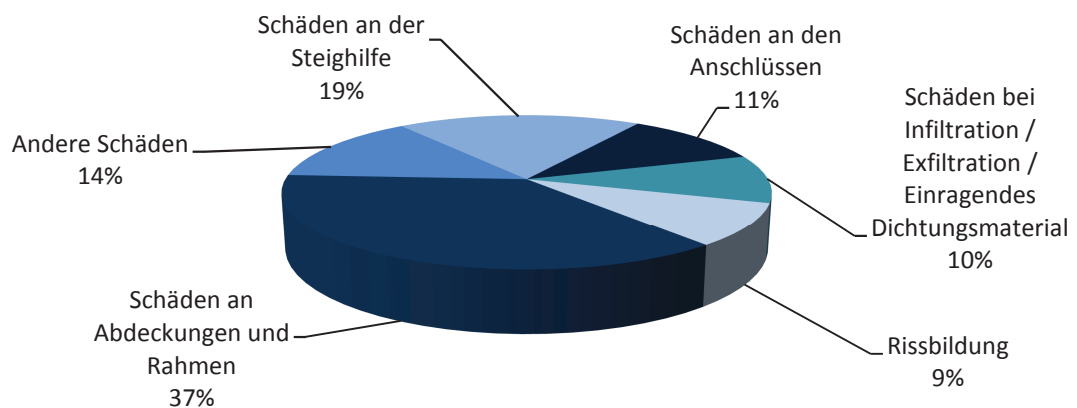


Abbildung 4-B: Schadensverteilung an Schächten (festgestellte Schäden)

„Die subjektive und objektive Verteilung von Schäden an Schächten führen zu dem Ergebnis, dass Schäden an Abdeckung und Rahmen der Schächte die häufigsten Schadensursachen darstellen. Gefolgt werden diese Schäden direkt von Schäden an Steighilfen und Anschlüssen der Schächte. Die Schäden Infiltration/Exfiltration/einragendes Dichtungsmaterial und die Rissbildung mit jeweils rund 10% stellen ebenfalls eine große Schadensgruppe dar.“ [5]

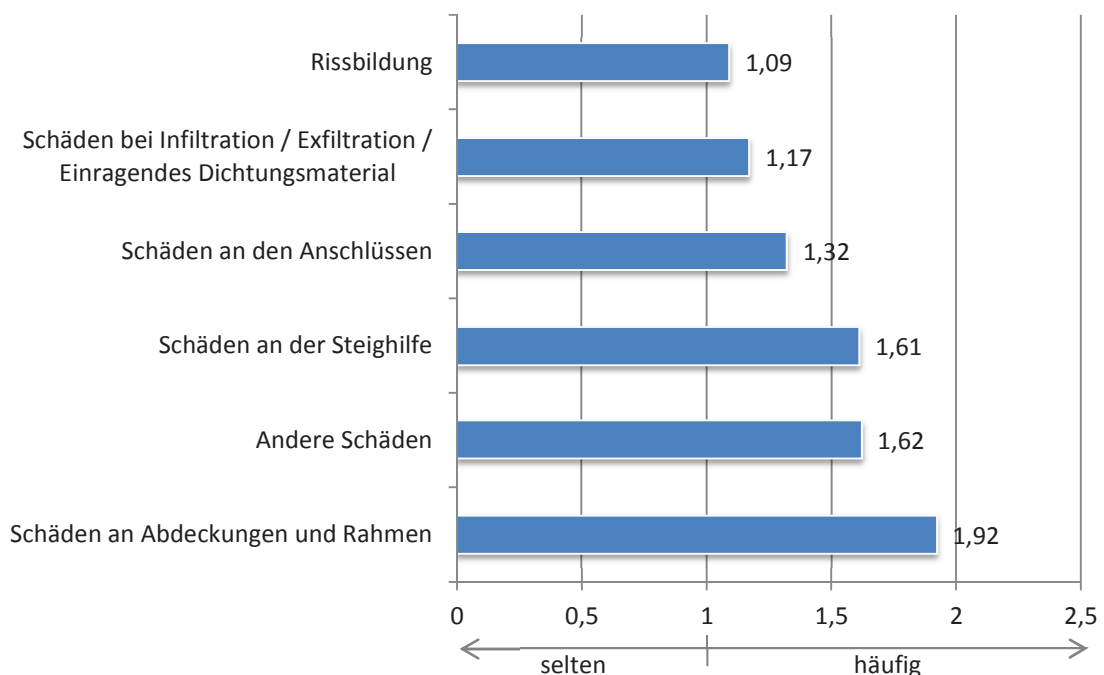


Abbildung 4-C: Häufigkeit der Schäden an Schächten (subjektive Einschätzung)

In den bestehenden öffentlichen Kanalnetzen sind Fertigteilerschächte aus Beton, Stahlbeton und Polymerbeton mit 71,6% weit verbreitet. Schachtbauwerke aus Mauerwerk besitzen mit 26,9% den zweithöchsten Anteil. Darüber hinaus gibt es Schächte aus Kunststoffen, wie Polyethylen (PE-HD), Polyvinylchlorid (PVC), Polypropylen (PP) sowie die glasfaserverstärkten Kunststoffe (GfK). Diese besitzen den kleinsten Anteil mit gerade mal 0,3%. Die Materialgruppe „Sonstige“, zu denen unter anderen auch Steinzeug zählt, besitzen mit rund 1,1% einen äußerst geringen Anteil [6].

5. Schachtbauwerke

5.1. Definition

Gemäß den schachtbezogenen Normen der DIN 4034-10 [7] und DIN 19565-5 [8], die für die Werkstoffe Beton und glasfaserverstärkte Kunststoffe gelten, wird ein Schacht als ein Bauwerk für einen erdverlegten Abwasserkanal oder eine erdverlegte Abwasserleitung definiert. Er dient besonders der Be- und Entlüftung, Kontrolle, Wartung und Reinigung, gegebenenfalls auch der Aufnahme von Anlagen zur Hebung von Abwasser, der Zusammenführung sowie zu Richtungs-, Neigungs- und Querschnittsveränderungen von Kanälen und Leitungen.

Darüber hinaus wird gemäß DIN EN 14830 [9] und DIN EN 14802 [10] zwischen folgenden Schachtbauwerken unterschieden:

- **Kontrollschacht**

„Formstück für Abwasserkanäle und -leitungen, um Abwasserkanäle und -leitungen zu verbinden und/oder die Fließrichtung des Abwassers zu verändern. Der Kontrollschacht endet über dem Schachtboden. Über den Schachtboden ist das Einbringen von Reinigungs-, Inspektions- und Prüfgeräten und das Entfernen von Ablagerungen möglich, Zugang für Personal ist nicht möglich. Das Steigrohr, das mit diesen Formstücken verbunden ist, hat einen Mindest-Außendurchmesser von 200 mm und einen maximalen Innendurchmesser von weniger als 800 mm“

- **Einsteigschacht**

„Formstück für Abwasserkanäle und -leitungen, um Abwasserkanäle und -leitungen zu verbinden und/oder die Fließrichtung des Abwassers zu verändern. Der Einsteigschacht endet über dem Schachtboden. Über den Schachtboden ist das Einbringen von Reinigungs-, Inspektions- und Prüfgeräten und das Entfernen von Ablagerungen möglich, Zugang für Personal ist ebenfalls möglich. Das Steigrohr hat einen Mindest-Innendurchmesser von 800 mm“

5.2. Materialübersicht

In Deutschland werden Schachtbauwerke aus vielen verschiedenen Materialien realisiert und verbaut. Den größten Anteil des Abwasserschachtbestandes machen die Betonfertigteile- und Mauerwerksschächte mit rund 98% aus, wobei die Betonfertigteilschächte mit ungefähr 72% den weitaus größeren Teil stellen. Berücksichtigung in dieser Kategorie finden auch Schachtbauwerke, bei denen das Schachtunterteil aus Mauerwerk besteht, die übrigen Bauteile jedoch aus Beton gefertigt sind. Diese machen einen Anteil von 20% aus. Kunststoffschächte im Allgemeinen, dazu zählen Schächte aus Polypropylen (PP), Polyethylen (PE-HD) und Polyvinylchlorid (PVC / PVC-U) besitzen derzeit einen Anteil von 0,3% am bestehenden Netz. Die restlichen 1,1% setzen sich aus Steinzeug-, Polymerbeton- und glasfaserverstärkten Kunststoffschächten zusammen [6]. Dieser geringe Anteil spiegelt jedoch nicht die derzeitige Marktlage wieder:

Betrachtet man die Materialverteilung bei von Schachtsystemen, erreichen kunststoffbasierte Schächte bereits einen Anteil von 15%. Diese prozentuale Verteilung bezieht sich auf die Neuverlegung, sowohl für den kommunalen als auch für den privaten Gebrauch. Gerade im privaten Sektor kommen Kunststoffschächte heutzutage auf einen Marktanteil von bis zu 95%. Hier muss jedoch zwischen den Bundesländern differenziert werden, da es natürlich auch einen großen Bestand an privaten Betonkontrollschächten gibt [11]. Doch die Vorteile von Kunststoffschächten gegenüber Betonschächten in dieser Größenordnung sind klar definiert. Schächte aus Kunststoff sind um ein Vielfaches leichter und somit einfacher zu transportieren und einzubauen. Bei Betonschächten sind zumindest ein kleiner Bagger oder ähnliche Maschinen nötig um die Schächte zu versetzen und den Einbau ordnungsgemäß gewährleisten zu können.

Neben den oben bereits genannten Materialien, wie zum Beispiel Polypropylen, Polyethylen und Beton, werden ebenfalls Schächte aus Polymerbeton oder weitere Materialkombinationen hergestellt. Polymerbeton ist ein Werkstoff bei dem Kunstharz anstatt Zement, wie bei handelsüblichem Beton, verwendet wird. Hierdurch wird der Polymerbeton porenarm und verfügt über eine undurchlässige und kapillarfreie Struktur. Der Austausch der Zuschlagsstoffe bringt noch weitere Vorteile mit sich:

Der Werkstoff ist im Allgemeinen säure- und alterungsbeständiger, er ist bis zu 75% leichter und die Wasseraufnahme beträgt weniger als 0,5%. Um die Hydraulik in Schächte aus Zementbeton zu verbessern, werden diese mit einem Gerinne aus Kunststoff ausgestattet. Dies erzielt zwar ein besseres Abflussverhalten durch eine geringere Rauheit des Kunststoffes, schafft aber keine Abhilfe gegen die biogene Schwefelsäurekorrosion (Kapitel 6.2.2.1).

Einsatz und Ausführung von Schachtbauwerken werden in den zugehörigen DIN-Normen auf europäischer und nationaler Ebene geregelt. Ergänzend hierzu vergibt das Deutsche Institut für Bautechnik in Berlin, kurz DIBT, entsprechende bauaufsichtliche Zulassungen.

5.1. Aufbau

Um einen Eindruck der Möglichkeiten des Schachtbaus zu erhalten wird in diesem Kapitel der Aufbau der verschiedenen Schachtsysteme beschrieben und anhand von Bildern verdeutlicht.

Der Aufbau von Schächten hängt von dem gewählten Material und der Bauweise ab. Es gibt sowohl modulare, als auch monolithisch geformte Schachtbauwerke. Entsprechend den Produktnormen werden die Schächte geformt und zusammengesetzt. Diese unterschiedlichen Bauwerke werden in verschiedenen Herstellungsverfahren produziert. Eine nähere Erläuterung der einzelnen Herstellungsprozesse findet in Kapitel 7.1 statt. Modulare Schachtsysteme aus Kunststoff beginnen mit dem Schachtunterteil, welches ein vorgefertigtes, eingeschweißtes Gerinne beinhaltet. Diese Gerinne können, im Einzelfall für Sonderkonstruktionen, auch von Hand angefertigt werden. Auf dem Schachtunterteil aufbauend werden die Schachtringe mit den zugehörigen Dichtringen aufgesetzt. Auf die Schachtringe wird der Schachtkonus gesetzt, um eine Verjüngung des Schachtes auf die Größe der Abdeckung zu erreichen. Die Unterschiede zu den Betonschächten lassen sich anhand der Abdeckungen ausmachen. Hierbei gestaltet sich die Ausformung der Ausgleichsringe und des Auflagerings unterschiedlich. Bei Kunststoffschächten schließt dieser am unteren Ende nicht bündig ab. Durch die Aufweitung wird ein besserer Lastabtrag in den Untergrund erreicht, wodurch die

Schachtwände entlastet werden. Die einwirkenden Kräfte werden nur zu marginalen Teilen an die Schachtwände weitergegeben. Kunststoffschächte bilden, um Gewicht zu sparen, die Schachtwände dünner aus, versehen diese aber aus Gründen der Statik mit Rippen. Hierdurch werden selbst die weitergeleiteten Lasten zu Teilen noch durch das zwischen den Rippen verdichtete Füllmaterial aufgenommen. *Abbildung 5-A* zeigt eine beispielhafte Ausführung der vorher beschriebenen Konstruktion.



Abbildung 5-A: Revisionsschachtaufbau Polypropylen-Module mit Betonauflagerung

Neben den modularen Kunststoffschächten werden auch monolithische Systeme angeboten. Hierbei wird der Schacht im Rotationsverfahren, welches in Kapitel 7.1.3 näher erläutert wird, hergestellt und besitzt im Vergleich zu den modularen Systemen eine größere Wandstärke. Bei begehbaren modularen und monolithischen Schächten aus Polyethylen oder Polypropylen werden meist Rippen an den Außenwänden eingesetzt, um die Schächte gegen Auftrieb zu sichern. Ein positiver Nebeneffekt dieser Rippenausbildung ist der Schutz vor größeren Steinen, die sich somit nicht in die durchgehende Außenwand des Schachtes drücken und sie dadurch beschädigen

könnten. Bei massiveren Schachtbauwerken aus Kunststoff können diese Außenwandrippen entfallen, da solche Systeme auch ohne Rippen auftriebssicher sind. Denn durch die robustere Konstruktion gewinnt der Schacht auch an Gewicht.

Die Gerinne für Kunststoffschächte sind vorgefertigte Bauteile, die es in verschiedenen Ausführungsvarianten gibt. In *Abbildung 5-C* sind die verschiedenen Varianten von Abwinklungstypen dargestellt. Diese variieren von Hersteller zu Hersteller, da sich einige auf eine geringere Variationsvielfalt beschränken.



Abbildung 5-B: Eingeschweißtes Gerinne

Um die Gerinne mit dem Schachtboden ordnungsgemäß zu verbinden, werden die Bauteile miteinander verschweißt. Dies geschieht von Hand und darf nur von geschultem Personal ausgeführt werden. Falls spezielle Gerinnetypen, die sich nicht im Sortiment befinden, gewünscht werden, können diese von Hand ausgeformt und anschließend ebenfalls verschweißt werden. Damit alle Abwinklungen für die

Gerinneform	Typ
	180°
	90°
	113°
	135°
	158°
	202°
	225°
	247°
	270°
	135°/180°
	180°/225°
	135°/225°
	90°/180°
	180°/270°
	90°/270°
	135°/180°/225°
	90°/180°/270°

Abbildung 5-C: Gerinneformen

Standardgerinne ausgeführt werden können, bieten die Hersteller flexible Muffen oder Doppelmuffen an, die für sich nochmals eine Rohrabwinklung von bis zu 7,5° zulassen. Bei Betonschächten werden Negativformen verwendet, damit der anschließend eingegossene Beton so seine Gerinneausbildung erhält. Neben den Standardgerinneformen können bei allen Schächten auch Sonderformen realisiert werden, die aber in der Herstellung teurer sind, da sie von Hand ausgeformt werden müssen. Betrachtet man beide Werkstoffe, können Kunststoffschächte ihre Gerinne aus demselben Material herstellen. Betonschächte hingegen müssen auf andere Werkstoffe ausweichen, da reiner Beton zu anfällig gegenüber chemischen Substanzen ist und im Gegensatz zu Kunststoffen leicht korrodiert. Die Hersteller verwenden deshalb Gerinne aus Kunststoffen oder Steinzeug, da diese auch einen geringeren Abriebswert besitzen. In *Abbildung 5-D* sind verschiedene Abriebswerte von Materialien vergleichend aufgezeigt. Die durchgeführten Lastspiele wurden an Rohren ausgeführt, lassen sich aber auch auf Gerinne übertragen. Die fehlenden Polypropylen-Rohre verhalten sich analog zu den Polyethylen-Rohren.

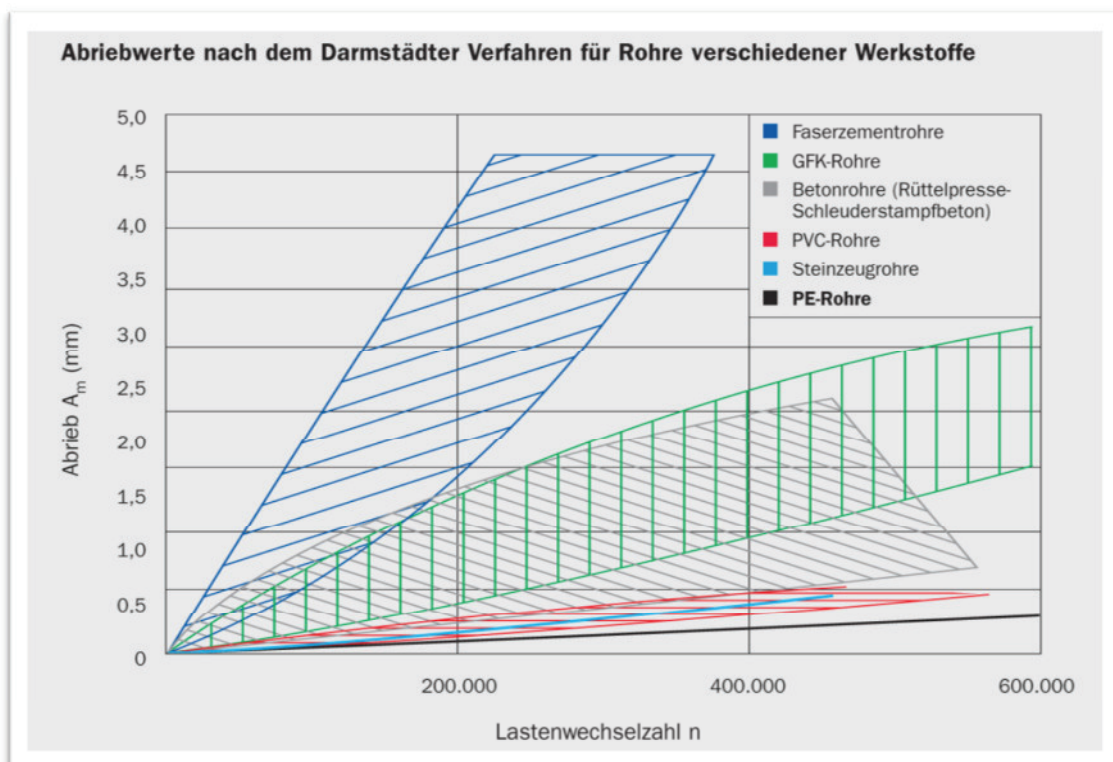


Abbildung 5-D: Abriebswerte im Vergleich

Einen Sonderfall stellen Schächte aus glasfaserverstärkten Kunststoffen dar. Diese werden ausschließlich aus vorgefertigten Rohren hergestellt. Auf den Herstellungsprozess wird in Kapitel 7.1.4 näher eingegangen. Bei diesen Schachtbauwerken werden lediglich die Schachtwände maschinell im Wickelverfahren hergestellt. Um aus den Rohren einen Schacht herstellen zu können, werden per Hand eine Bodenplatte aus Beton, die auch mit Auftriebssicherung ausgeführt werden kann, anlamiert. Anschließend wird das Gerinne ausgeformt und die Anschlüsse ausgebildet. Bei den Anschlüssen können nahezu alle vorkommenden Materialien angeschlossen werden. Spezielle Zuläufe sind bei anderen Kunststoffschächten, wie beispielsweise aus Polyethylen, auch realisierbar. Diese Sonderanfertigungen müssen jedoch immer, wie auch bei glasfaserverstärkten Kunststoffen, von Hand ausgeführt werden. In *Abbildung 5-E* sind verschiedene Anschlussmöglichkeiten dargestellt, von oben links ausgehend sind Anschlüsse an GfK-Rohre, PE-Wellrohre, KG-Rohre, Gussrohr, Steinzeugrohre, Betonrohre, Flansche und PE-Vollwandrohre. Gut zu erkennen sind die grünen Bereiche in denen die Anschlussstücke anlamiert wurden.



Abbildung 5-E: Anschlussmöglichkeiten GfK-Schächte

Da alle Vorgänge von qualifizierten Mitarbeitern per Hand ausgeführt werden, sind Sonderbauwerke mit glasfaserverstärkten Kunststoffen ohne Probleme auszuführen. Es lassen sich sowohl spezielle Tanks als auch jede Art von Schacht herstellen. Durch

die Festigkeit des Materials lassen sich Schächte in nahezu beliebiger Höhe herstellen. Dadurch, dass die gesamte Konstruktion bis zur Unterkante der Betonabdeckplatte beziehungsweise des Betonkonus an allen Verbindungsstellen laminiert ist, können Undichtigkeiten nur bei mangelhafter Ausführung des Laminiervorgangs auftreten. Um einen Überblick der Möglichkeiten von glasfaserverstärkten Kunststoffen zu erhalten sind in *Abbildung 5-F* und *Abbildung 5-G* einige Ausführungsvarianten dargestellt.



Abbildung 5-F: Schachtbauwerke aus GfK

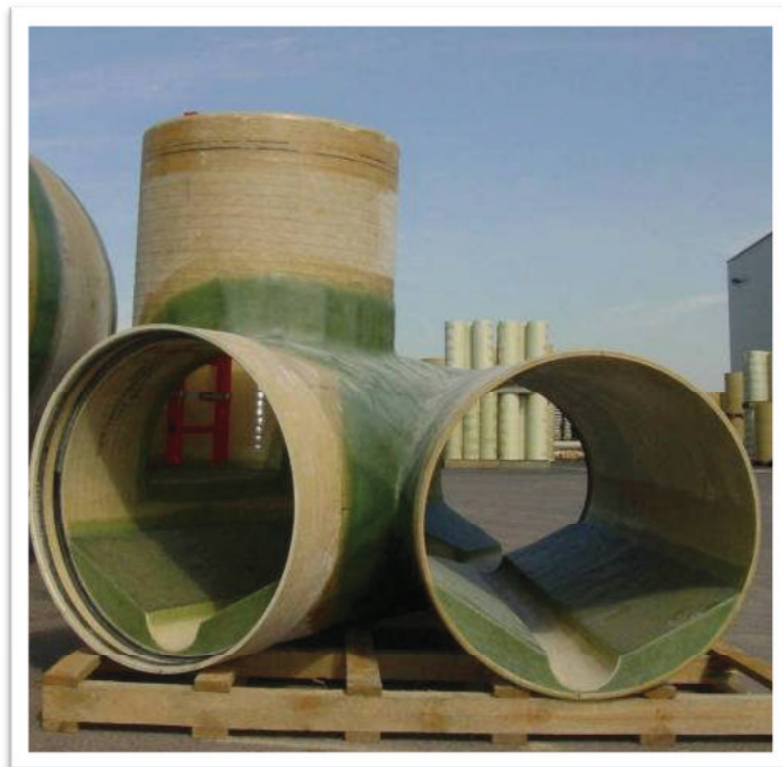


Abbildung 5-G: Sonderschachtbauwerk aus GfK

Bei der modularen Bauweise von Betonfertigteilschächten beginnt der Aufbau mit der Sohlplatte, auf welcher das Schachtunterteil inklusive dem Gerinne folgt. Hier gibt es verschiedene Varianten in Bezug auf die Ausführung. Meist sind die Gerinne vorgefertigt, teilweise werden sie aber auch von Hand ausgeformt. An das Gerinne werden die Zu- und Abgänge für die Anschlüsse von Rohrleitungen angebracht, zum Beispiel durch ein entsprechendes Schachtfutter oder Muffen. Über dem Gerinne werden je nach Bauteilhöhe ein oder mehrere Schachtringe mit Steigeisen oder anderen Einstiegshilfen wie einer Leiter oder auch Steigbügel aufgesetzt. Für die Verbindung der Schachtringe mit anderen Schachtteilen sind verschiedene Ausführungsvarianten möglich. In *Abbildung 5-H* sind beispielhaft drei Varianten dargestellt.

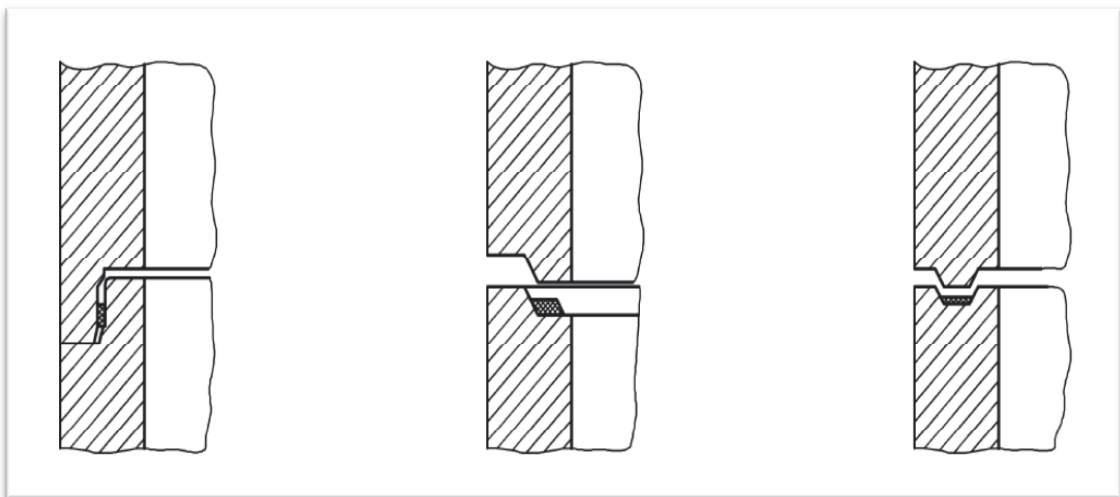


Abbildung 5-H: Ausführungsvarianten Betonschacht

Auf die Schachtringe wird der Schachthals beziehungsweise Schachtkonus gesetzt. Dieser dient der Verjüngung des Revisionsschachtes, um den Durchmesser der Schachtabdeckung zu erreichen. Auf den Konus können noch Auflageringe gesetzt werden, die einen kleinen Höhenunterschied ausgleichen können und die Aufnahmepassungen für die Abdeckung besitzen. Das abschließende Bauteil bildet die Schachtabdeckung, welche auf beziehungsweise in den Auflagering eingesetzt wird. Die verschiedenen Abdeckungen mit den entsprechenden Lastabträgen werden in Kapitel 6.2.1 näher erläutert. Bei Betonschächten werden die Lasten im Standardfall

durch die Schachtwände in den Untergrund eingeleitet. Durch die hohe Schadensquote werden jedoch mittlerweile auch bei diesen Bauwerken andere Lastabtragsvarianten eingesetzt. In *Abbildung 5-1* ist der Schachtaufbau eines Betonfertigteilschachtes dargestellt. Alle aufgezeigten Bauteile müssen bestimmte Anforderungen, die in den jeweiligen DIN Normen festgehalten sind, erfüllen. Für Fertigteilerschächte aus Beton, Stahlbeton und Stahlfaserbeton gelten die DIN 4034 [7] oder auch die DIN EN 1917 [12].

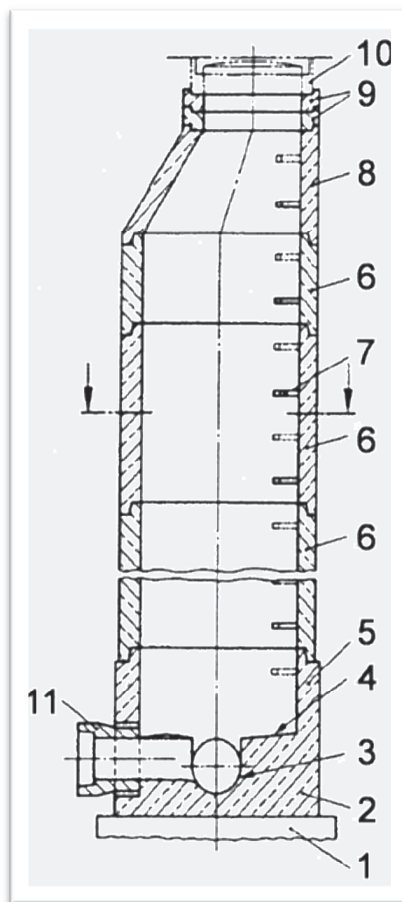


Abbildung 5-1: Revisionsschachtaufbau Betonfertigteile

Legende:

- | | | | |
|---|--------------------|----|----------------------------------|
| 1 | Sauberkeitsschicht | 7 | Steigeisen |
| 2 | Schachtunterteil | 8 | Schachthals (Konus) |
| 3 | Gerinne | 9 | Auflagering |
| 4 | Auftritt | 10 | Schachtabdeckung nach DIN EN 124 |
| 5 | Schachtunterteil | 11 | Anschlussstück |
| 6 | Schachtring | | |

Neben den begehbaren Schachtbauwerken aus Beton und Kunststoff können aus allen Werkstoffen, ausgenommen glasfaserverstärkte Kunststoffe, auch Kontroll- und Reinigungsschächte hergestellt werden. Glasfaserverstärkte Kunststoffschächte sind in diesem Segment nicht vertreten, da es keinen respektive nur sehr geringen Bedarf hochstabiler Kontrollschächte gibt. Diese Schächte befinden sich meist am Straßenrand, auf Grünflächen oder ähnlichen weniger stark belasteten Standorten. Zu großen Teilen finden sich diese Kontroll- und Reinigungsschächte im privaten Sektor wieder. Sie besitzen Nennweiten ausgehend von DN 400 bis hin zu DN 600. Zusätzlich werden Schächte in Nennweiten kleiner DN 400 angeboten. Sie dienen als Spül-, Drainage- oder Sammelschächte. Da in diesem Bereich viele verschiedene Systeme angeboten werden, werden exemplarisch in *Abbildung 5-J* jeweils ein Beispiel für eine Ausführungsvariante in Kunststoff dargestellt.



Abbildung 5-J: Reinigungs- und Kontrollschächte

6. Der Rohstoff

6.1. Klassifizierung und Herstellung von Kunststoffen

Kunststoffe sind in der heutigen Zeit ein fester Bestandteil des menschlichen Lebens geworden. Sie werden in nahezu allen Bereichen eingesetzt und können an verschiedenste Anforderungen angepasst werden. Ein großes Anwendungsspektrum finden Polymere im Ver- und Entsorgungsbereich.

Fast alle organischen Stoffe, die synthetisch aufgebaut werden, haben Erdöl, Erdgas oder Kohle als Rohstoffbasis. Kunststoffe werden aus Erd- oder Rohöl hergestellt. Dieses weist mehr als tausend verschiedene Kohlenwasserstoffverbindungen auf. Bevor das Erdöl zu synthetischen Produkten weiterverarbeitet werden kann, muss es zunächst aufbereitet werden. Hierfür wird es in Röhrenöfen auf etwa 400°C erhitzt und zu einem gekühlten Fraktionierturm geleitet. Beim Erhitzen verdampft der größte Teil des Erdöls und wandert durch mehrere Etagen des Fraktionierturms. Bei diesem Vorgang kühlt das nun dampfförmige Erdöl ab und kondensiert in den jeweiligen Etagen einzelne Anteile (Fraktionen), die seitlich abgeführt werden. Um den Erdöldampf an einem schnellen Aufstieg zu hindern, sind an den Etagendurchlässen sogenannte Glocken angebracht. An diesen Glocken kondensieren Teile des aufsteigenden Ölgases beim Abkühlen (

Abbildung 6-A). Die während der Destillation entstandenen Fraktionen enthalten Kohlenwasserstoffe, die sich in ihrem Siedepunkt und damit ihren Molekülgrößen unterscheiden.

Fraktion	Siedepunkt °C	Kohlenwasserstoffe
Gase	Bis 30 °C	von C ₁ bis C ₄
Leichtbenzin	Bis 100 °C	von C ₅ bis C ₇
Schwerbenzin	Bis 200 °C	von C ₇ bis C ₁₀
Petroleum	Bis 260 °C	von C ₁₁ bis C ₁₄
Gasöl	Bis 360 °C	von C ₁₆ bis C ₁₉

Tabelle 6-1: Fraktionen nach Siedepunkten

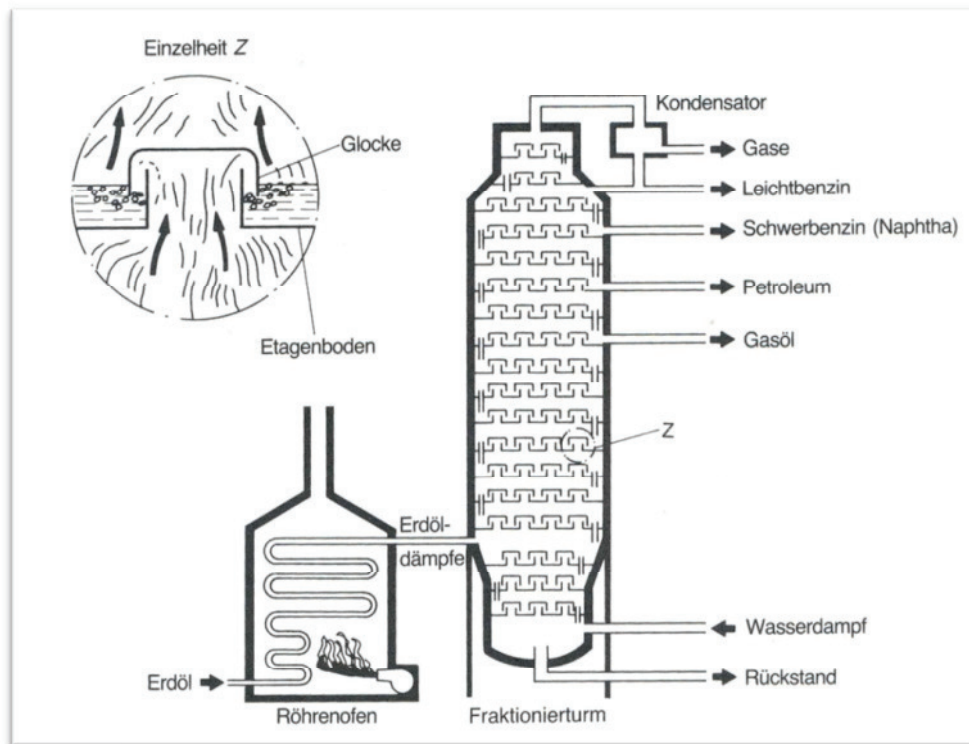


Abbildung 6-A: Destillation von Erdöl

Die prozentuale Verteilung der einzelnen Fraktionen kann sich je nach Herkunftsland ändern. Im Allgemeinen wachsen die Anteile aber mit steigendem Siedepunkt.

Fraktion	Anteil
Gase	3 %
Leichtbenzin	8 %
Schwerbenzin	10 %
Petroleum	15 %
Gasöl	20 %
Rückstand	
Schweröl	20 %
Bitumen	24 %

Tabelle 6-2: Prozentuale Anteile der Fraktionen

Für die Chemie sind die Benzinfraktionen als Basis- respektive Ausgangsstoff wichtig. Mit Hilfe des Crackprozesses werden die Kohlenwasserstoffe und Katalysatoren, durch Temperaturen um 850°C, auseinandergerissen und zu kleineren gasförmigen, ungesättigten Kohlenwasserstoffen umgebaut. Die Katalysatoren werden in der Chemie als Hilfsmittel zur Reaktionsbeschleunigung eingesetzt.

Beispiel für Crackung:

Am Anfang steht ein Oktanmolekül, aus dem durch die Crackung drei Ethylenmoleküle und ein Ethanmolekül entstehen. In der Praxis werden jedoch vielfältigere Gemische verschiedener Gase erhalten, die in anderer Form genutzt werden. Die Ausbeute kann auch zugunsten von einer bestimmten Verbindung durch geeignete Crackbedingungen erhöht werden. Das Gasmisch wird zur Abtrennung von reinem Ethylen verflüssigt und anschließend fraktioniert destilliert. Das erhaltene Ethylen bildet einen sehr wichtigen Basisrohstoff für viele organische Produkte. Aus Ethylen kann durch eine direkte Reaktion Kunststoff, aber auch andere Zwischenprodukte erstellt werden [13].

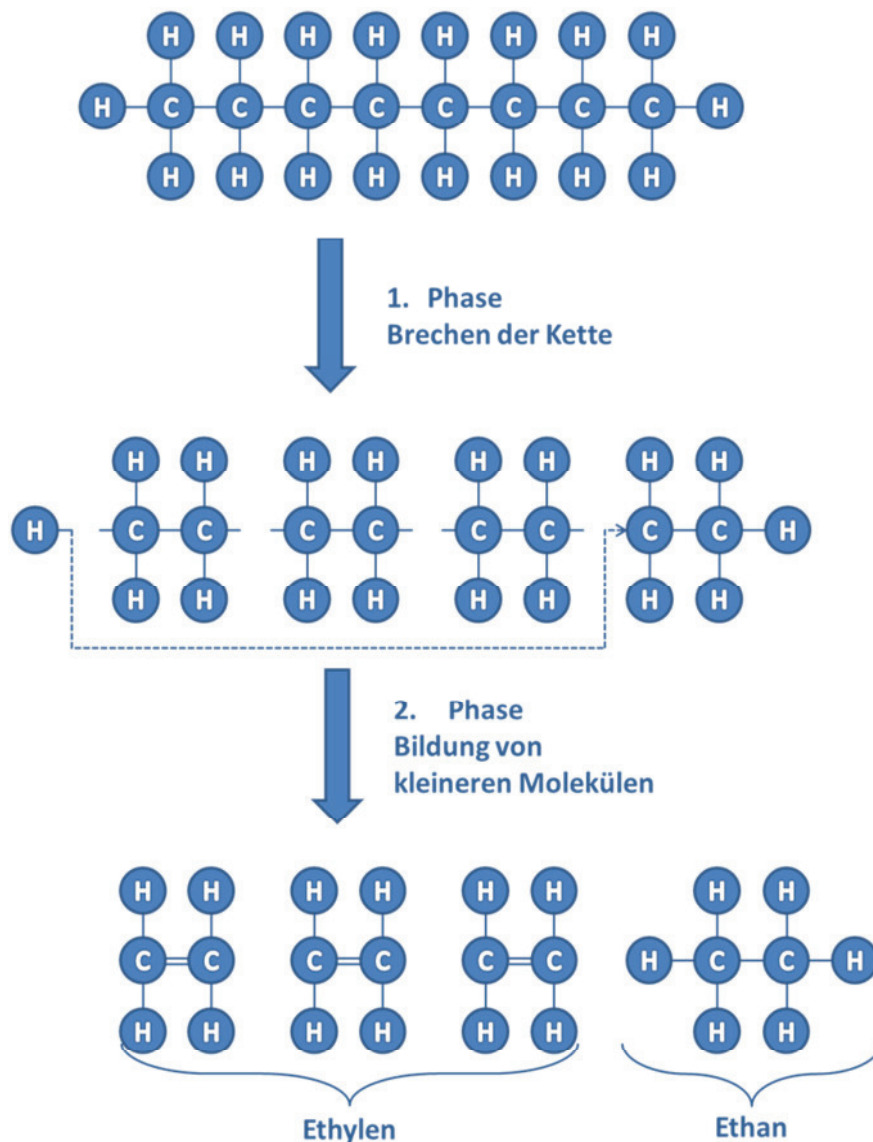


Abbildung 6-B: Ablauf Crackung

Die durch die Crackung erhaltenen, vielen kleinen Bausteine (Moleküle), können anschließend über Polyreaktionen zu Großmolekülen oder Polymeren (Makromoleküle) aufgebaut werden. Dies geschieht für die verschiedenen Kunststoffe durch unterschiedliche Polyreaktionen.

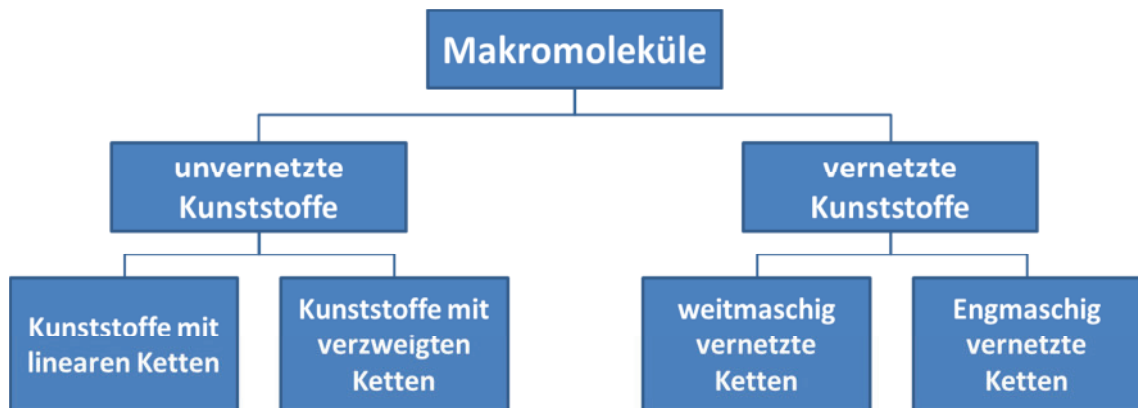


Abbildung 6-C: Entstehungsablauf Kunststoffe und Ketten

Um Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polyvinylchlorid (PVC) zu erhalten, wird die sogenannte Polymerisation durchgeführt. Hierbei werden unter Einfluss von Temperatur, Druck und Katalysatoren die Doppelverbindungen der Moleküle (Monomere) aufgespalten, sodass sich an jedes Molekül über die nun freien Bindearme weitere Moleküle anbinden lassen. Diese Reaktion läuft in drei Stufen ab:

- *Startreaktion*
- *Wachstumsreaktion*
- *Abbruchreaktion*

Die Startreaktion wird durch den Katalysator ausgelöst. Anschließend erfolgt die Wachstumsreaktion, indem sich die einzelnen Moleküle untereinander zu einer Kette verbinden. Den Abschluss findet die Polymerisation mit der Abbruchreaktion. In *Abbildung 6-D* wird dieser Ablauf grafisch dargestellt, wobei die Kugeln symbolisch die einzelnen chemischen Atomgruppen ersetzen.

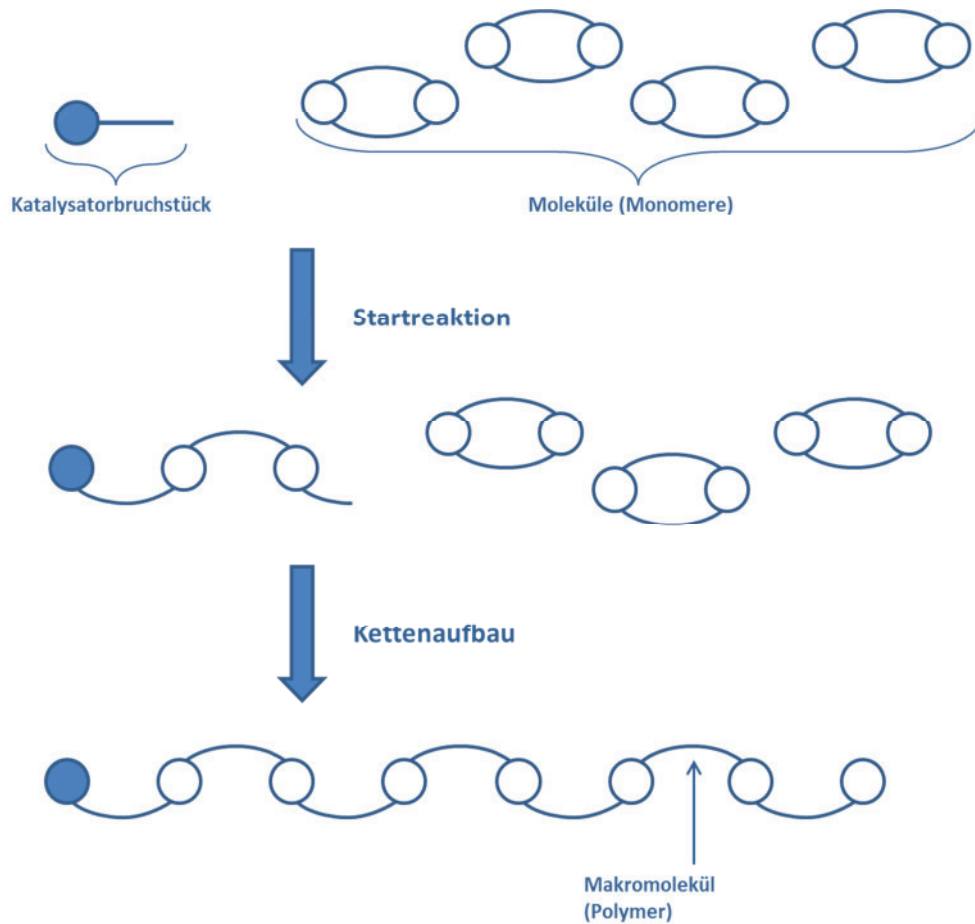


Abbildung 6-D: Polymerisation

Vereinfacht man den Ablauf der Polymerisation und fasst die Ketten in einzelne Polymere, kann der Polymerisationsgrad der Verbindung angegeben werden. Das in *Abbildung 6-E* dargestellte „n“ hinter der Klammer gibt die Anzahl der Monomere, die in den Molekülketten eingebaut sind, an und wird als Polymerisationsgrad bezeichnet. Bei makromolekularen Stoffen ist dieser immer größer 1.000 [14].

Aus vielen (n) Monomeren wird ein Polymer gebaut

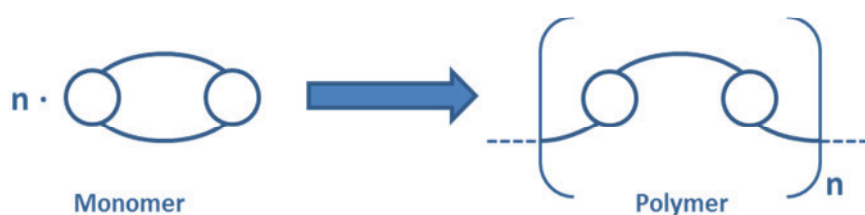


Abbildung 6-E: Polymerisationsgrad

Glasfaserverstärkte Kunststoffe:

Für die Herstellung von glasfaserverstärkten Kunststoffen werden Polyesterharze oder Epoxidharze benötigt, die sich mit Hilfe der Polyaddition gewinnen lassen. Hierbei verbinden sich verschiedene Arten von Molekülbausteinen. Dies wird möglich, da die Bausteine zwei oder mehrere reaktionsfähige Atomgruppen besitzen. Bei der Reaktion werden Wasserstoffatome umgelagert und so eine Verbindungsmöglichkeit zwischen den Atomgruppen geschaffen, wodurch sich die Moleküle zusammenlagern können. Schematisch wird dieser Vorgang in *Abbildung 6-F* dargestellt [15].

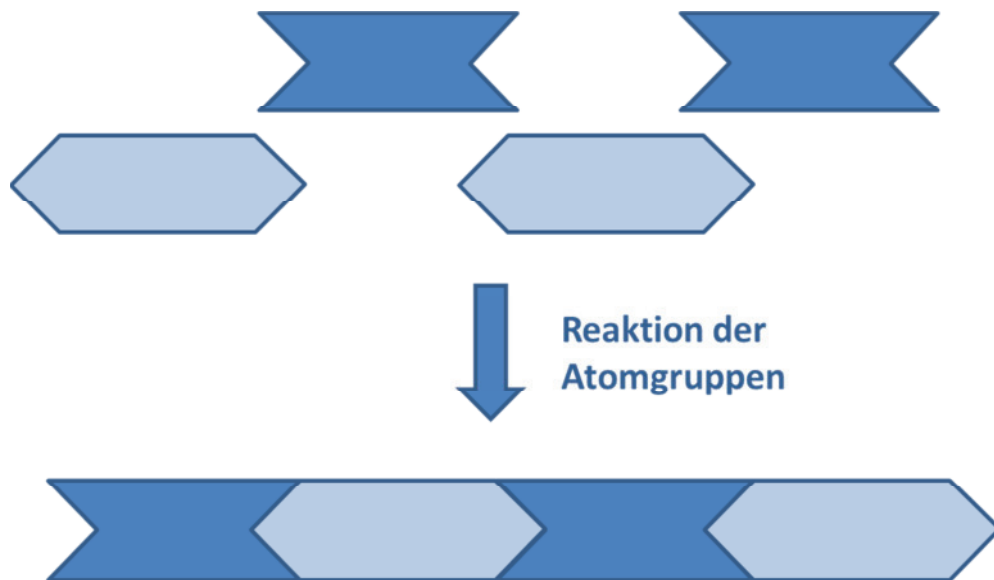


Abbildung 6-F: Polyaddition (schematisch)

6.1.1. Thermoplaste

Thermoplaste bestehen aus langkettigen Molekülen, die durch Wasserstoffbrückenbindungen zusammengehalten werden. Beim Erwärmen lockern sich diese Bindungen temporär, sodass die Polymere aneinander vorbei gleiten können und sich der Werkstoff verformen lässt. Nach dem Abkühlen auf Normaltemperatur besitzen sie wieder eine feste Beschaffenheit und sind belastbar. Diese durch Erwärmen und Abkühlen hervorgerufenen Zustandsänderungen können theoretisch beliebig oft durchgeführt werden. Dieses Verhalten lässt sich von dem Molekülaufbau ableiten, da dieser eine räumlich unvernetzte Kettenstruktur aufweist. Die Erweich- und Schmelzbarkeit von Thermoplasten bringt Vor- und Nachteile mit sich. Beispielsweise lassen sich Formteile aus Thermoplasten im Nachhinein schweißen. Weiterhin können die bei der Produktion anfallenden Betriebsabfälle recycelt werden. Die auftretenden Erweichungen, bei Zufuhr von Wärme, beschränken jedoch die Einsatztemperaturen. Dies führt besonders dann zu Problemen, wenn gleichzeitig Kräfte auf das Material einwirken. Thermoplasten können des Weiteren noch in zwei Gruppen unterteilt werden. Zum einen gibt es Thermoplasten mit amorphen und zum anderen die mit teilkristallinen Makromolekülstrukturen. Auf diese wird in den beiden nachfolgenden Absätzen näher eingegangen.

6.1.1.1. Teilkristalline Thermoplaste

Teilkristalline Thermoplaste besitzen eine unvernetzte, teilkristalline Struktur, die sowohl aus chemisch, als auch geometrischen regelmäßigen Bereichen besteht. Bei den kristallinen Abschnitten bilden sich Parallelbündelungen der Moleküle. Es kommen aber auch amorphe Bereiche vor (*siehe Abbildung 6-G*). Die Eigenschaften von Thermoplasten werden im Wesentlichen durch den prozentualen Anteil solcher Bereiche, dem sogenannten Kristallisationsgrad, beeinflusst. Im Vergleich zu amorphen Thermoplasten besitzen die Teilkristallinen sowohl eine höhere Zähigkeit und Schlagunempfindlichkeit, als auch eine größere Flexibilität und Elastizität. Bei erhöhten Temperaturen ist diese Kunststoffart plastisch und im abgekühlten Zustand elastisch verformbar.

Beispiele für teilkristalline Thermoplasten im Kunststoffschachtbereich sind Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP). Beide sind zu 100% recycelbar und somit ressourcenschonend.

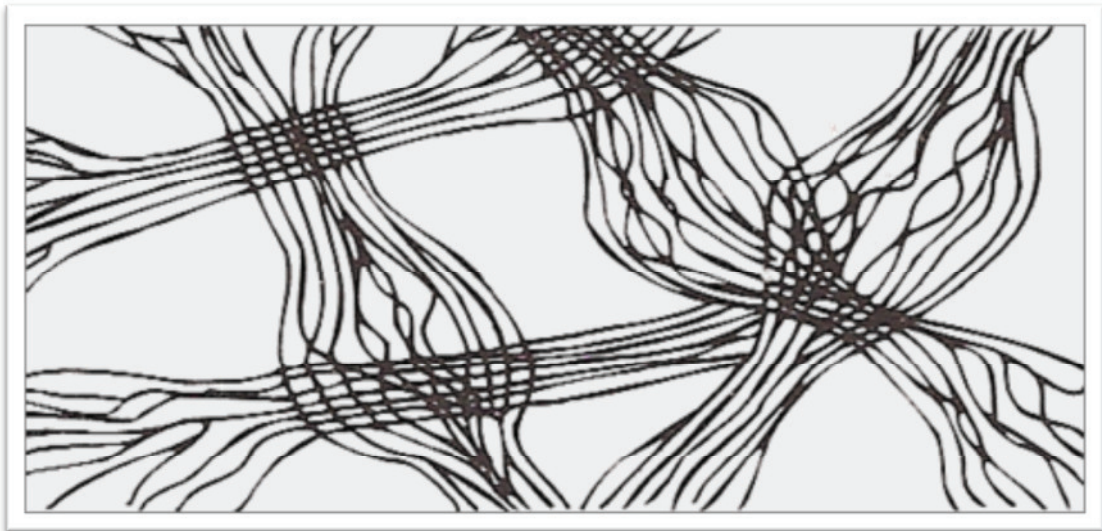


Abbildung 6-G: Teilkristalline Molekülstruktur

6.1.1.2. Amorphe Thermoplaste

Amorphe Thermoplaste setzen sich aus unvernetzten, linear unverzweigten Ketten zusammen (*siehe Abbildung 6-H*). Sie lassen sich unter Einfluss erhöhter Temperaturen plastisch verformen und bei Zimmertemperatur besitzen sie elastische Eigenschaften. Gegenüber den teilkristallinen Thermoplasten besitzen die amorphen eine höhere Festigkeit, Oberflächenhärte und –güte, sowie eine höhere Steifigkeit. Weitere Vorteile sind die geringere Wärmeausdehnung und Verzugsneigung. Polyvinylchlorid (PVC-U) und Polystyrol (PS) sind zwei Beispiele für amorphe Thermoplaste. Diese Werkstoffe sind beide ressourcenschonend, da sie zu 100% wiederverwertbar sind.

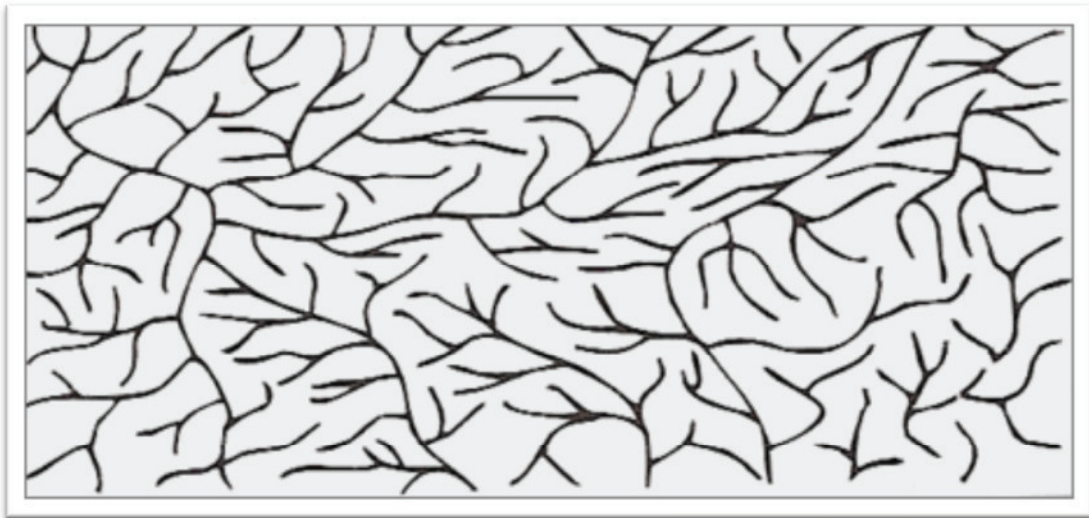


Abbildung 6-H: Amorphe Molekülstruktur

6.1.2. Duroplaste

Duroplaste verfügen über die Eigenschaft, selbst bei hohen Temperaturen nicht in einen plastisch verformbaren Zustand zu geraten. Aus diesem Grund lassen sie sich nur unter Spannung verformen. Da Duroplaste bei Zimmertemperatur relativ hart und spröde sind, wird der Vernetzungsvorgang auch „Härtung“ genannt. Wenn man Monomere, reaktionsfähige Moleküle, zu großen netzartigen Molekülen verknüpft, zeigt der Stoff duroplastische Eigenschaften (*siehe Abbildung 6-1*). Wird dieser Stoff erhitzt, bleibt die Netzstruktur jedoch erhalten, wodurch eine höhere Anwendungstemperatur realisierbar ist. Die Verwertung von Beispielstoffen, wie glasfaserverstärktem Kunststoff (GfK) oder Polyesterharz, erfolgt nach ihrer Nutzungsphase energetisch.

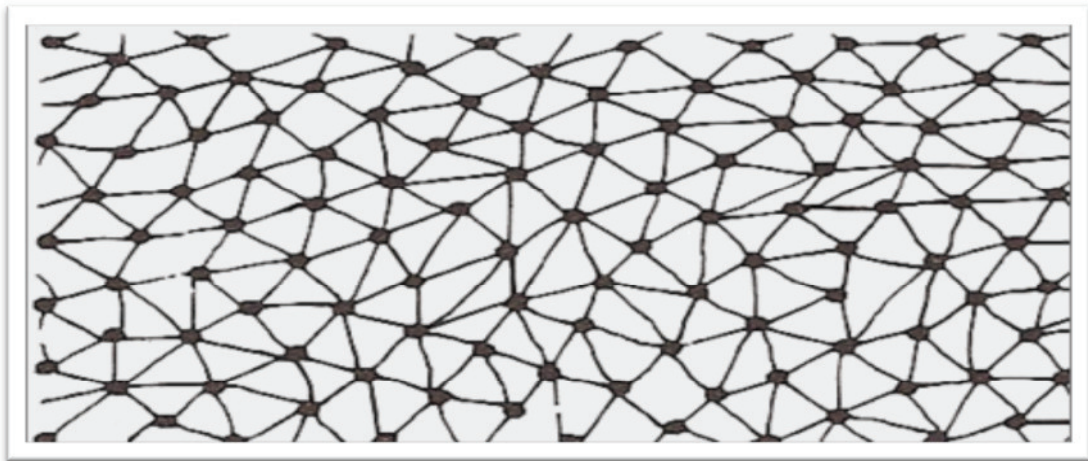


Abbildung 6-1: 3D-Netzstruktur eines Duroplasten

6.1.3. Elastomere

Elastomere sind vollsynthetisch hergestellte Gummisorten mit elastischen Eigenschaften. Ihre Makromolekülketten sind weitmaschig verknüpft und schwach vernetzt (siehe Abbildung 6-J). Diese Vernetzung nennt man „Vulkanisation“. Hierbei entsteht aus unvernetztem, schmelzbarem Kautschuk durch chemische Reaktionen ein fadenartiger Molekülaufbau. Im Gegensatz zu Thermoplasten sind Elastomere nicht warmverformbar oder schweißbar. Sie schrumpfen beim Erwärmen zusammen und zersetzen sich unter höheren Temperaturen. Bei besonders niedrigen Temperaturen „frieren“ Elastomere ein und sind als gummiartiger Werkstoff nicht mehr verwendbar. Diesen Temperaturbereich nennt man auch Glas temperatur. Ein Beispiel ist Polyurethan (PUR), dessen Verwertung bisher energetisch vollzogen wird.

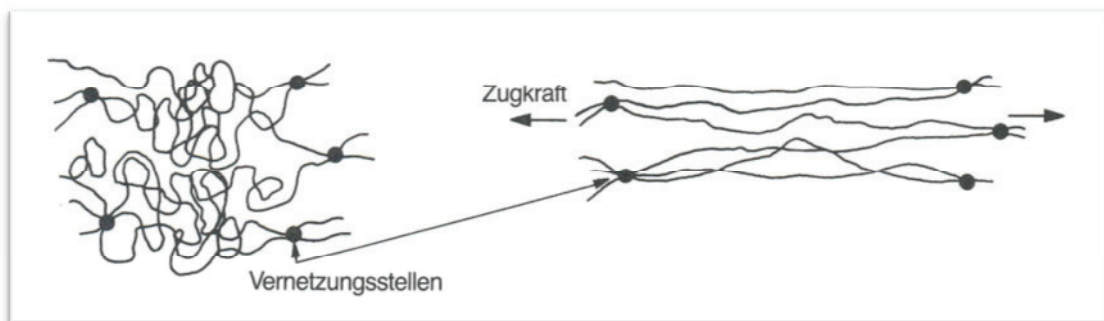


Abbildung 6-J: Makromoleküle eines Elastomeren:
Normalzustand (links) und gedehnter Zustand (rechts)

6.2. Allgemeine Eigenschaften

6.2.1. Chemische Widerstandsfähigkeit

Die Anforderungen für die Beständigkeit von Schächten gegenüber chemischen Substanzen, die sich im Abwasser befinden, können je nach Anwendungsgebiet recht hoch angesetzt werden. Sie müssen gegen unterschiedlichste Stoffe beständig sein, um auch über Jahre die Stabilität und Dichtheit zu gewährleisten. Hierbei sind nicht nur die Gerinne in den Schachtbauwerken entscheidend, sondern auch die Schachtwände müssen gegen aggressive Ausgasungen aus dem Abwasser beständig sein. Kunststoffe besitzen, verglichen mit anderen Baustoffen, eine außerordentlich hohe chemische Widerstandsfähigkeit gegenüber den üblicherweise im Abwasser vorkommenden chemischen Verbindungen, Säuren und Basen.

6.2.1.1. Kommunale und industrielle Abwässer

Abwasser definiert sich, durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen und sonstigen Gebrauch in seinen natürlichen Eigenschaften verändertes Wasser unterschiedlicher Qualität. Hierzu zählt auch Niederschlagswasser von versiegelten beziehungsweise befestigten Flächen aus bebauten Gebieten. Abwasser kann vielfältige Verunreinigungen enthalten und wird im Wesentlichen in folgende Belastungsgruppen unterteilt:

- **Zehrstoffe:**

Unter Zehrstoffen versteht man beispielsweise Harnsäure oder Glukose. Solche Stoffe sind biologisch abbaubar und führen bei anaeroben Abbauprozessen zu Geruchsbelästigungen. Diese Art von Zehrstoffen löst eine Sauerstoffzehrung aus, wodurch reduzierte Sauerstoffgehalte in Gewässern auftreten können und es folglich zu Fischsterben kommen kann.

- **Schadstoffe:**

Schadstoffe, die im Abwasser auftreten können, sind Gifte, synthetische oder organische Substanzen, Pilze, Schwermetalle, Bakterien oder Viren. Diese können zu Erkrankungen bei Menschen und Tieren führen.

▪ **Nährstoffe:**

Zu den Nährstoffen, die im Abwasser auftreten können, zählen Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die insbesondere bei stehenden Gewässern zu Eutrophierung führen kann. Hierdurch wird ein verstärktes Algenwachstum hervorgerufen. Diese Inhaltsstoffe sind unter anderem für das übermäßige Algenwachstum in Meeren verantwortlich, wie zum Beispiel in der Nord- und Ostsee.

▪ **Störstoffe:**

Als Störstoffe werden vor allem Salze, Fette, Öle, Tone, aber auch Sande beziehungsweise jede Art von Sediment bezeichnet [16].

Bezogen auf den Angriff von Gerinnen und Schächten bewirken die festen Stoffe keine Veränderung des Werkstoffes, außer einer eventuellen Abrasion der Oberfläche. Kritisch betrachtet wird dies aber schon bei dem Durchströmen mit Wasser hervorgerufen. Bei metallischen Werkstoffen ist das Eindringen von Flüssigkeits- und Gasmolekülen praktisch nur an den Kristallgrenzen möglich, da Metalle eine hohe atomare Bindungsenergie und die damit verbundene dichte Packung der Atome im Kristallgefüge aufweisen. Bei Kunststoffen dagegen ist es den Flüssigkeits- und Gasmolekülen möglich, in die Zwischenräume einzudringen, da diese bei thermoplastischen Kunststoffen nur verknäult respektive verfilzt sind. Die großen und sperrigen Molekülketten der Kunststoffe weisen eine geringere zwischenmolekulare Nebenvalenzbindung (van der Waal'sche Kräfte) auf. Diese ist um die Größenordnung 10^{-2} bis 10^{-3} geringer als bei Metallen. Bei glasfaserverstärkten Kunststoffen, mit ihrem heterogenen Aufbau, sind in diesem Zusammenhang auch Grenzflächenprobleme zu berücksichtigen. Durch Einsatz von Wasser mit höherer Temperatur besteht eine Hydrolysegefahr, der mit der Auswahl geeigneter Harze begegnet werden muss.

Tritt also der chemische Angriff bei metallischen Werkstoffen vorwiegend an der Oberfläche als chemische Reaktion des Angriffsmittels mit den dort befindlichen Metallatomen auf, gestaltet sich die mögliche Beeinflussung von Kunststoffen vielfältiger. Die Moleküle des Angriffsmittels gelangen über den Weg der Diffusion

mehr oder weniger gut, je nach Größe, in den Verbund der Kunststoffmoleküle. Hierbei können in Abhängigkeit von den entsprechenden Eigenschaften beziehungsweise der Aggressivität des Angriffsmittels unterschiedliche Wechselwirkungen mit den Kunststoffmolekülen auftreten. Dadurch, dass das Angriffsmittel in den Werkstoff diffundiert, treten die Wechselwirkungen nicht nur an der Oberfläche, sondern im gesamten von der Diffusion erfassten Volumen auf.

Absorbieren die Kunststoffmoleküle die Moleküle des Angriffsmittels, tritt eine Quellung auf, da die eindiffundierten Moleküle die Abstände zwischen den Kunststoffmolekülen vergrößern. Diese Quellung kann aber reversibel sein. Wenn sich beispielsweise Wassermoleküle in Form von mikroskopisch kleinen Tröpfchen zwischen den Kunststoffmolekülen sammeln, können diese bei einem Trocknungsvorgang wieder herausdiffundieren. Hierbei werden keine Veränderungen der Eigenschaftswerte des Kunststoffes bewirkt. Diffundieren jedoch aggressive Chemikalien in die Kunststoffmolekülstruktur ein, können diese chemische Reaktionen mit den Molekülen beziehungsweise den Zuschlagstoffen auslösen. Hier kann es auch zu einer vollständigen Einhüllung der Kunststoffmoleküle durch die Moleküle des angreifenden Mediums kommen. Dies wird als Solvation bezeichnet. Die Moleküle des Angriffsmittels können sich an die Moleküle des Kunststoffes anlagern oder mit ihnen chemisch reagieren. Begünstigt wird die Lösung des Kunststoffes durch erhöhte Temperaturen. Die Reaktionen, die bei diesen Vorgängen auftreten können, sind Vernetzungen, Oxidationen und Aufbrechen der Molekülketten, sowie Veränderungen in der Zusammensetzung der Moleküle. Jeder dieser Vorgänge führt zu irreversiblen Veränderungen der Kunststoffe, wodurch in den meisten Fällen eine Schädigung des Werkstoffes auftritt.

Bei Untersuchungen zur chemischen Widerstandsfähigkeit von Kunststoffen wurden mehrere Einflussfaktoren, die eine Schädigung des Werkstoffes begünstigen, bestimmt. Diese werden bei Immersionsversuchen – der Probekörper wird bei unterschiedlichen Temperaturen und frei von äußeren Spannungen im Angriffsmittel gelagert – untersucht.

Entscheidenden Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit haben:

- die Konzentration des Angriffsmittels
- steigende Temperaturen
- die zunehmende Einwirkzeit
- Material unter Zugspannung (*Druckspannung erhöht die Widerstandsfähigkeit*)
- Licht- und Sauerstoffeinwirkungen

Nach 28-tägiger Einwirkzeit wird die chemische Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Werkstoffe beurteilt. Die in Deutschland verwendeten Begriffe zur Beurteilung der Resistenz sind „widerstandsfähig (+)“, „bedingt widerstandsfähig (o)“ und „nicht widerstandsfähig (-)“ [17].

	Polyethylen	Polypropylen
Aceton	o	+
Alkohol (Ethylalkohol)	+	+
alkoholische Getränke	+	+
Ammoniak wässrig	+	+
Benzin	o	o
Benzol	o	o
Dieselöl - Heizöl	+	+
Dichlormethan	-	o
Essigsäure 10%	+	+
Ethylether	o	o
Fluorkohlenwasserstoffe	-	o
Fruchtsäfte	+	+
Geschirrspülmittel	+	+
Methanol	+	+
Milch	+	+
Mineralöle, -fette	+	+
Ozon	o	o
Perchlorethylen	-	-
Salzsäure bis 35%	+	o
Schwefelsäure bis 40 %	+	o
Seifenlösung wässrig	+	+
Speiseöle, -fette	+	+
Toluol	o	-
Trichlorethylen	-	-
Waschmittellaugen	+	+
Wasser, Seewasser, kalt	+	+
Wasser heiß	+	+

Tabelle 6-3: Chemische Beständigkeit bei 23° C

6.2.2. Korrosion

Die Korrosionsfestigkeit im Abwasserbereich ist ein entscheidender Faktor bei der Wahl des Werkstoffes. Korrosion kann sowohl von innen, als auch von außen auf die Schachtbauwerke einwirken. Die Außenkorrosion ist bedingt durch aggressives Boden- und Grundwasser, sowie aggressive Substanzen, die in selbiges eingeleitet werden. Eine Innenkorrosion wird durch aggressive Abwässer, genauer gesagt durch die entstehende biogene Schwefelsäure hervorgerufen. Wesentliche Einflussfaktoren auf die Korrosionsfestigkeit von Werkstoffen sind die Temperatur, Einwirkzeit der aggressiven Substanzen, Spannungsumstand und die Konzentration des Korrosionsmediums, diese wiederum wird durch niedrige pH-Werte und Fließgeschwindigkeiten, sowie lange Fließzeiten, hohe Temperaturen und andere Parameter beeinflusst [18].

6.2.2.1. Zementgebundene Werkstoffe

Zu den zementgebundenen Werkstoffen zählen Beton, Stahlbeton und Mauerwerk. Diese Werkstoffe können je nach Konzentration und Zusammensetzung von verschiedenen Substanzen angegriffen werden.

Ein typisches Merkmal für einen Säureangriff ist das waschbetonartige Aussehen von Oberflächen. Dies kommt zustande, indem der stark basische Zementstein von den Säuren angegriffen und so zu löslichen Salzen reagiert, wohingegen die Zuschläge meist wesentlich schwerer oder überhaupt nicht löslich sind.

Neben dem Säureangriff kann es bei den zementgebundenen Werkstoffen auch noch zu einem Angriff durch Sulfat kommen. Dieser wird dadurch verursacht, dass die im aggressiven Wasser befindlichen Sulfate eine Verbindung mit aluminium- und calciumhaltigen Bestandteilen des Zementsteines eingehen. Hierbei entstehen voluminöse Kristalle, die durch ihren Kristallisationsdruck ein Treiben im Zementstein hervorrufen, wodurch eine Zersetzung stattfindet [18].

Eine besondere Art der Korrosion, die in Abwasseranlagen auftreten kann, ist die biogene Schwefelsäure-Korrosion. Sie kommt in Rohrnetzen wie auch in Schächten vor. Das durchströmende Medium, in den meisten Fällen kommunales Abwasser, enthält mindestens 0,5 mg/l gelösten Sauerstoff und in ihm sind nur relativ wenige

sulfatreduzierende Bakterien vorhanden. Schwefelwasserstoff ist gar nicht oder nur in Spuren nachweisbar. Die im Abwasser enthaltenen Proteine (Eiweißstoffe) werden unter anderem zu flüchtigen Schwefelverbindungen, organischen Sulfiden, organischen Polysulfiden und Schwefelwasserstoff abgebaut. Zusätzlich kann durch Reduktion von Sulfaten im bakteriellen Stoffwechsel unter anaeroben Bedingungen Schwefelwasserstoff gebildet werden. Der gebildete Schwefelwasserstoff besitzt bei 20°C einen Dampfdruck von etwa 18.100 hPa und gast leicht vom Wasser in den Luftraum (oxidativer Teil) aus. Ist eine Oxidation nicht möglich, diffundiert er ins Abwasser. Da die Lufttemperatur im unbenetzten Gasraum höher als die des Baukörpers (Schachtwände) ist, wird der Taupunkt beim Kontakt der wärmeren Luftschicht mit den Schachtwänden unterschritten und es entsteht Kondensat. Auf den somit feuchten Schachtwänden werden die flüchtigen Schwefelverbindungen zu elementarem Schwefel (H_2SO_3) aufoxidiert. Dieser Schwefel wird von verschiedenen Mikroorganismen energetisch genutzt und oxidiert daher zu Schwefelsäure (H_2SO_4). Der Zementstein, sowie kalkhaltige Zuschläge in den Werkstoffen, werden durch die Schwefelsäure angegriffen.

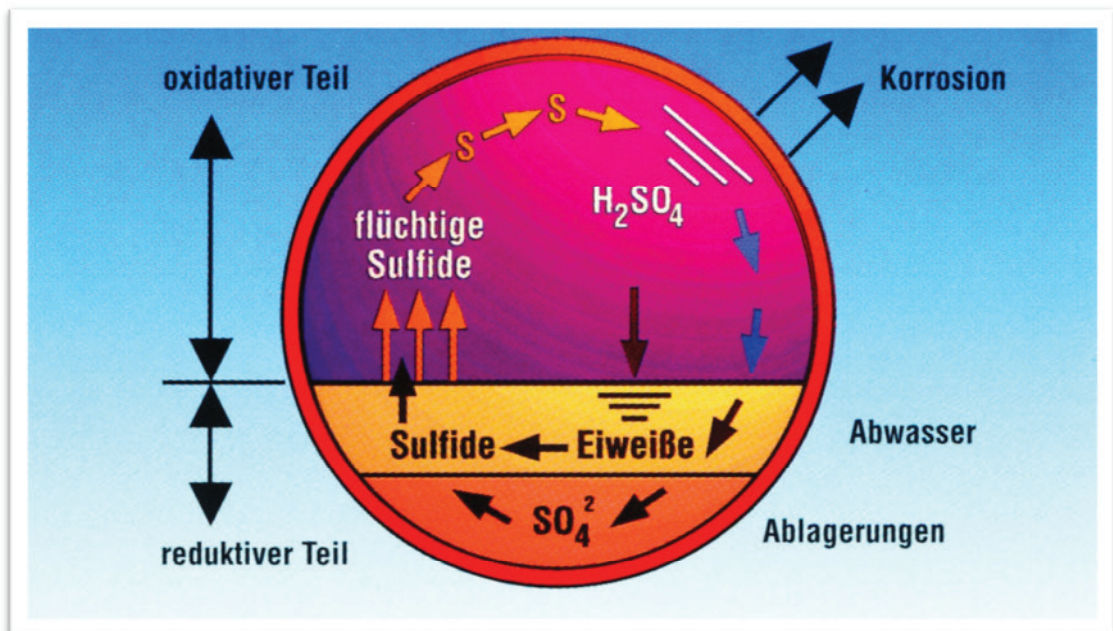
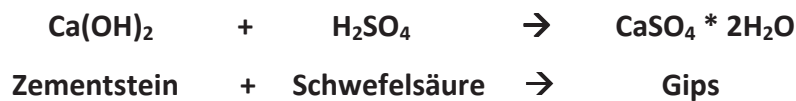


Abbildung 6-K: Biogene Schwefelsäure-Korrosion

Genau betrachtet reagiert die produzierte Schwefelsäure mit dem im Zement hauptsächlich enthaltenen Calciumsilikat und Calciumaluminat. Bei der Reaktion entstehen Calciumsulfoaluminat und Calciumsulfat (Gips), deren Volumen wesentlich größer ist, als das der Ausgangsstoffe. Die so erzeugten Spannungen in den Poren führen zu einer chemisch-physikalischen Zerstörung des Betons [19].

Die chemische Grundgleichung der biogenen Schwefelsäure-Korrosion von Beton lautet:



6.2.2.2. Kunststoffe

Bei Kunststoffen führen die vorherig aufgeführten Korrosionsarten nicht zu Problemen, da sie gegen wässrige Schwefelsäure und die meisten anderen, in häuslichen Abwässern vorkommenden Substanzen, chemisch beständig sind. Korrosion tritt vermehrt an Unebenheiten, das heißt Graten, Ecken, Kanten, porenreichen beziehungsweise offenen Oberflächen auf. Kunststoffe hingegen bieten durch ihre glatten Oberflächen wenige Angriffsmöglichkeiten und verhindern zum großen Teil die Bildung von Inkrustationen und Sielhaut.

Die bei Kunststoffen häufigste Schadensursache ist die Spannungsrisskorrosion. Hierbei kann es bei dem Zusammenwirken von Kunststoffen, Medien und inneren beziehungsweise äußeren Spannungen zu Rissbildungen kommen. Kennzeichnend für diese Art der Korrosion ist, dass die Risse örtlich begrenzt auftreten und andere Stellen des Bauteils unberührt bleiben. Eigentlich wird der Begriff Spannungsrisskorrosion in Verbindung mit metallischen Werkstoffen verwendet. Da die Rissbildungen von Kunststoffen aber ähnlich sind, wird dieser Begriff fälschlicherweise auch hier verwendet. Denn die Mechanismen, die zu der Rissbildung führen, unterscheiden sich bezüglich der beiden Werkstoffe. Bei Metallen wird sie durch elektromechanische Reaktionen hervorgerufen und bei Kunststoffen entstehen die Risse durch einen physikalischen Prozess. Hierbei findet zunächst eine lokale Medienaufnahme statt.

Anschließend bilden sich „Crazes“ (Pseudorisse), die mit der Zeit aufquellen und zur Bildung von Rissen führen. Die Crazes entstehen durch die kettenförmigen Strukturen der Polymere, die in einen hochverstreckten Zustand den Pseudoriss zunächst ausfüllen (siehe Abbildung 6-L).

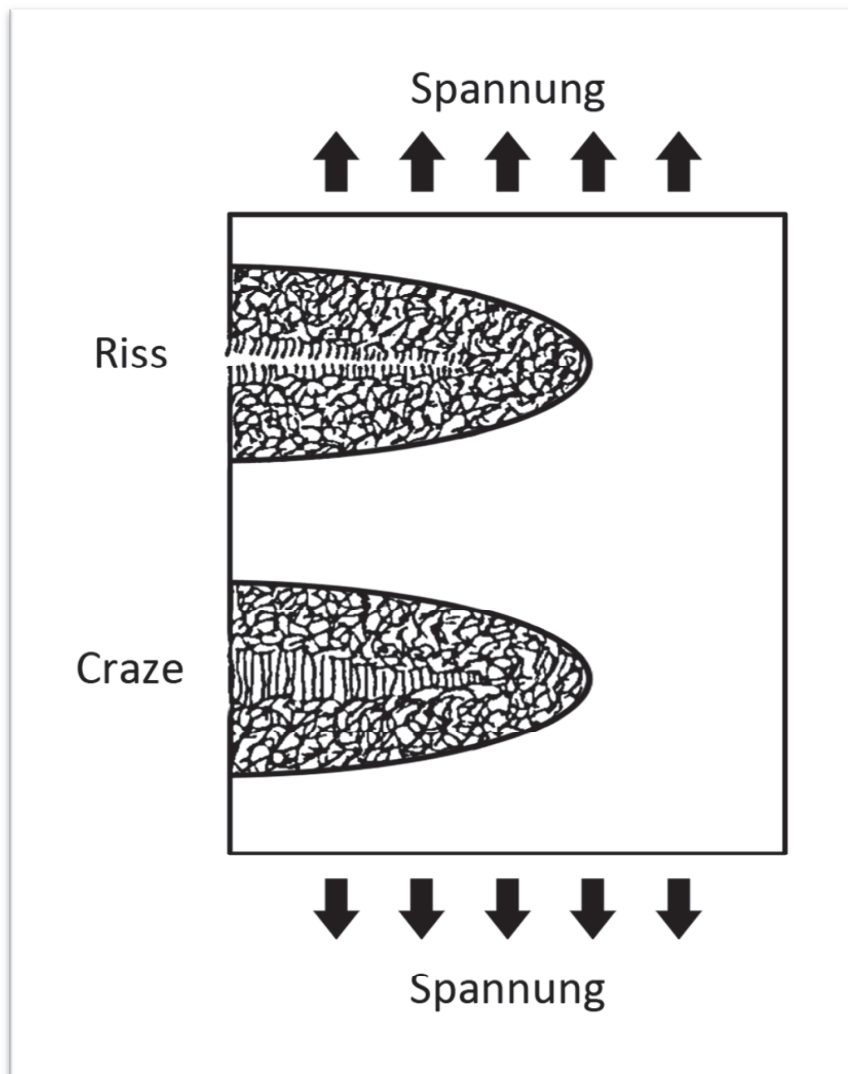


Abbildung 6-L: Unterschied Craze und Riss

Werden die Spannungen jedoch zu groß oder tritt eine erneute Quellung auf, reißen die Crazes auf und es entstehen Risse. Diese können das Fließverhalten von Kunststoffbauteilen und deren Konstruktionen erheblich beeinträchtigen.

In *Abbildung 6-M* sind die blasenartigen Oberflächenschäden, die durch oxidativ wirkende Medien hervorgerufen werden, dargestellt. Unterhalb dieser Blasen kann es zur Ausbildung von Spannungsrisse kommen. Diese wurden mit Hilfe eines Röntgengerätes dargestellt [20].

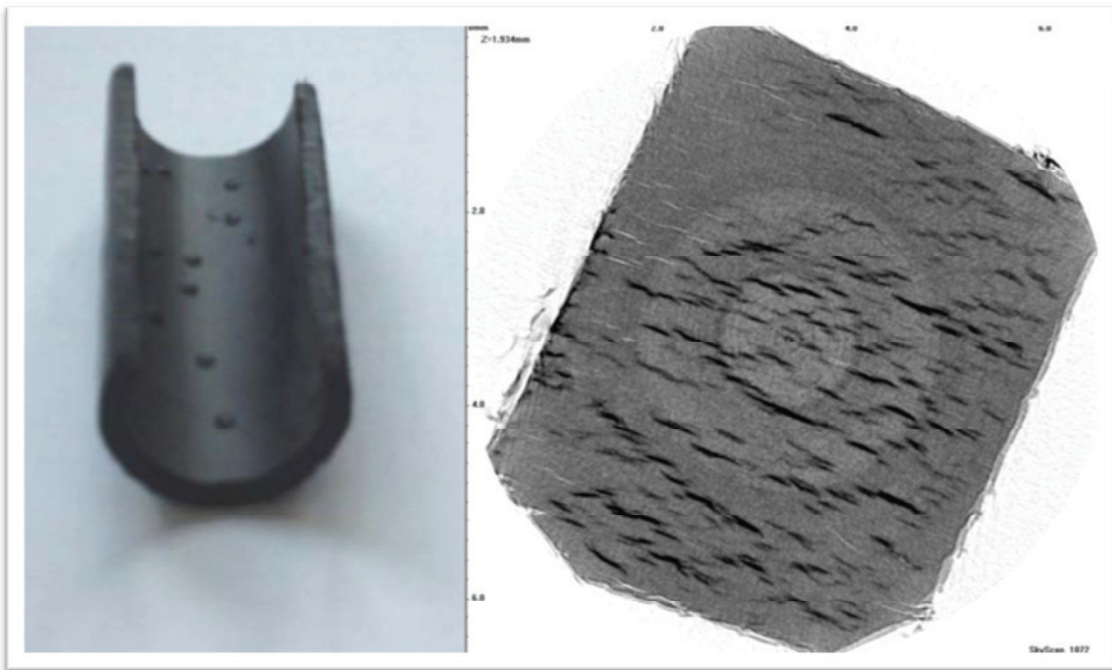


Abbildung 6-M: Blasenbildung und Spannungsrisse

7. Schachtsysteme am Markt

7.1. Werkstoffe und Herstellungsverfahren

Der Werkstoff spielt bezüglich der Leistungsfähigkeit der Schachtsysteme eine große Rolle. Durch die jeweiligen Spezifikationen des Materials werden die späteren Eigenschaften des Bauwerks definiert. Das Verhalten in Bezug auf Dichtigkeit, Korrosionsbeständigkeit und des späteren hydraulischen Fließverhaltens des Abwassers hängt vom vorher gewählten Werkstoff ab. Hierbei ist zu beachten, dass die einzelnen Anforderungen, mit denen das Schachtbauwerk später beansprucht wird, im Vorhinein klar definiert werden müssen, um ein Material wählen zu können, welches für die vorherrschende Situation am wirtschaftlichsten ist.

Am Markt sind heute verschiedenste Materialien für den Schachtbau erhältlich. Es gibt Kunststoffschächte, Betonfertigteile-, Mauerwerk-, Polymerbeton- und Steinzeugschächte. Bei den begehbaren Kunststoffschächten werden hauptsächlich drei verschiedene Materialien unterschieden:

Zum einen Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE), zum anderen glasfaserverstärkte Kunststoffe (GfK). Diese werden natürlich auch in verschiedenen Verfahren hergestellt. Im Folgenden werden zunächst die Herstellungsprozesse der Kunststoffschächte erläutert. Im Anschluss wird auf die Produktion der Betonfertigteilschächte eingegangen.

7.1.1. Spritzgussverfahren

Das Spritzgieß- oder Spritzgussverfahren ist ein Formgebungsverfahren, welches in der Kunststoffindustrie sehr häufig angewendet wird. Der Verfahrensablauf gestaltet sich nach folgendem Prinzip:

Der jeweilige thermoplastische Werkstoff wird plastifiziert und in den sogenannten Schneckenorraum befördert. Hierbei entsteht ein Saugdruck, der die Schnecke axial zurückbewegt. Diese Rückbewegung findet solange statt, bis genügend Formmasse in dem betreffenden Formstück vorliegt. Anschließend fungiert die Schnecke als Kolben und drückt den Werkstoff mit hoher Geschwindigkeit durch ein Angussystem in das gekühlte Formwerkzeug. Dadurch wird die beim Abkühlen entstehende Volumenschwindung weitgehend ausgeglichen. Durch diese Maßnahme werden die Maßhaltigkeit und die gewünschte Oberflächenqualität erreicht.

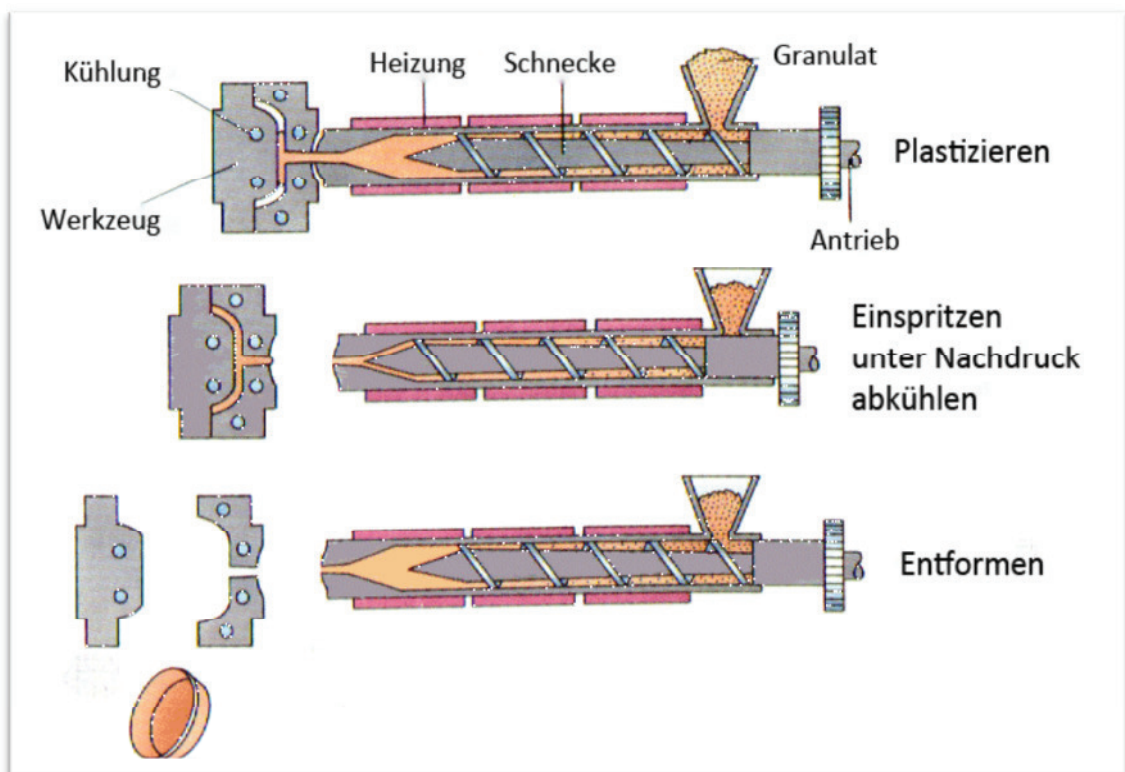


Abbildung 7-A: Spritzgussverfahren Ablaufskizze

Der Hohlraum des Werkzeuges bestimmt dabei die Form und Oberflächenstruktur des späteren Formteils. Nach einer kurzen Zeit der Abkühlung kann die Form geöffnet und

das fertige Formstück ausgestoßen werden. Dieser Herstellungsprozess eignet sich aus wirtschaftlichen Gründen besonders für die Produktion großer Stückzahlen, da die Kosten für ein Formteil einen beträchtlichen Anteil der notwendigen Investitionen ausmachen.

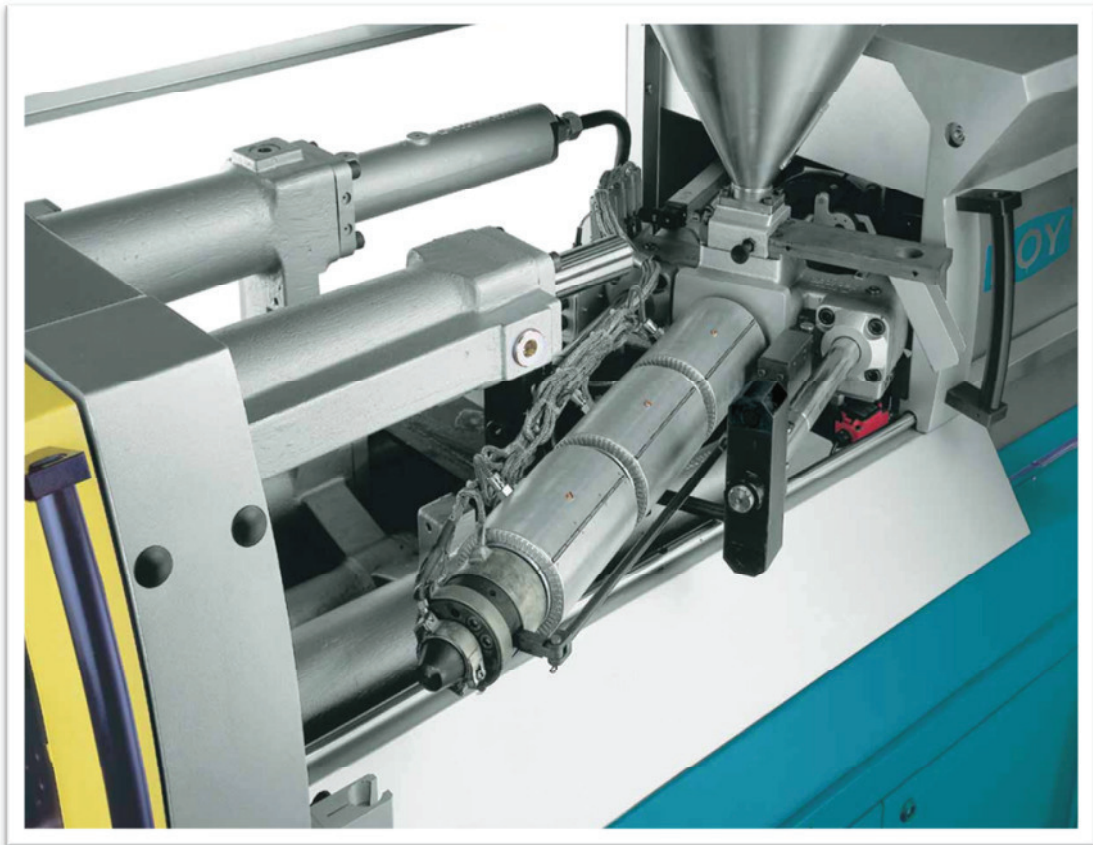


Abbildung 7-B: Spritzgussmaschine

Die Vor- und Nachteile lassen sich aus diesen Fakten ableiten. Die Investitionskosten sind ein großer Entscheidungsfaktor, die sich nur über eine große Produktionsserie wirtschaftlich rentabel machen [21].

7.1.2. Intrusionsverfahren

Das Intrusionsverfahren, auch als Fließgussverfahren bezeichnet, kann als eine Kombination aus Extrusions- und Spritzgussverfahren angesehen werden. Das Extrusionsverfahren wird beispielsweise bei der Herstellung von Kunststoffrohren angewendet. Alle Thermoplasten, aber auch Elastomere und Duroplasten lassen sich mit dem Intrusionsverfahren verarbeiten. Die so entstehenden Formteile sind spannungsärmer als übliche Spritzgussteile, da niedrigere Scherkräfte herrschen und die Formteile längere Abkühlzeiten durchlaufen.

Beim Intrusionsverfahren wird zwischen zwei Methoden unterschieden:

- **Methode 1 (Standardmethode):**

Die Schnecke befindet sich bei Beginn der Intrusion in vorderster Stellung, in der sie hydraulisch gehalten wird. Während der Intrusion arbeitet die Schnecke zunächst als Extruder. Der Förderdruck der Schnecke wird als Einspritz- respektive Fülldruck genutzt. Sobald das Volumen der Form beim Befüllen erreicht ist, steigt der Druck vor der Schnecke. Die Schnecke ist so programmiert, dass sie ab einem bestimmten Druck und bis zu einer vorgegebenen Position zurückfährt. Hierbei wird die Rotation der Schnecke gestoppt und der Nachdruck eingeleitet. Der von der Schnecke zurückgelegte Weg und das hierdurch entstandene Schmelzvolumen, entspricht, abgesehen von einer minimalen Restfüllung, dem durch die Abkühlung entstehenden Volumenschwund des Materials. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Produktionsformen komplett ausgefüllt werden.

- **Methode 2:**

Hierbei befindet sich die Schnecke zu Beginn der Intrusion in der hinteren Endstellung. Die Schmelze an der Schneckenspitze, die das Dosiervolumen darstellt, wird erst nach der Vorfüllung eingespritzt [22].

7.1.3. Rotationsverfahren

Das Rotations- oder Rotationsschmelzverfahren zählt zu den Niederdruckverfahren, da die Formgebung ohne Druck realisiert wird. Hierbei wird der Kunststoff in pulvriger oder pastöser Beschaffenheit in einen Hohlkörper, dem Formträger, gegeben. Dieser befindet sich in einer Art überdimensioniertem Backofen. In Abhängigkeit von der Größe des Ofens und der Formteile können eine oder mehrere Formen eingespannt werden. Die Rotation selbst findet biaxial statt, sodass der Werkstoff in der gesamten Form verteilt werden kann. Sobald der Ofenraum geschlossen ist, erwärmen sich die Formwände und es beginnt die gleichmäßige Erhitzung des Materials. Hierdurch lässt sich eine geregelte Wandstärke erreichen.

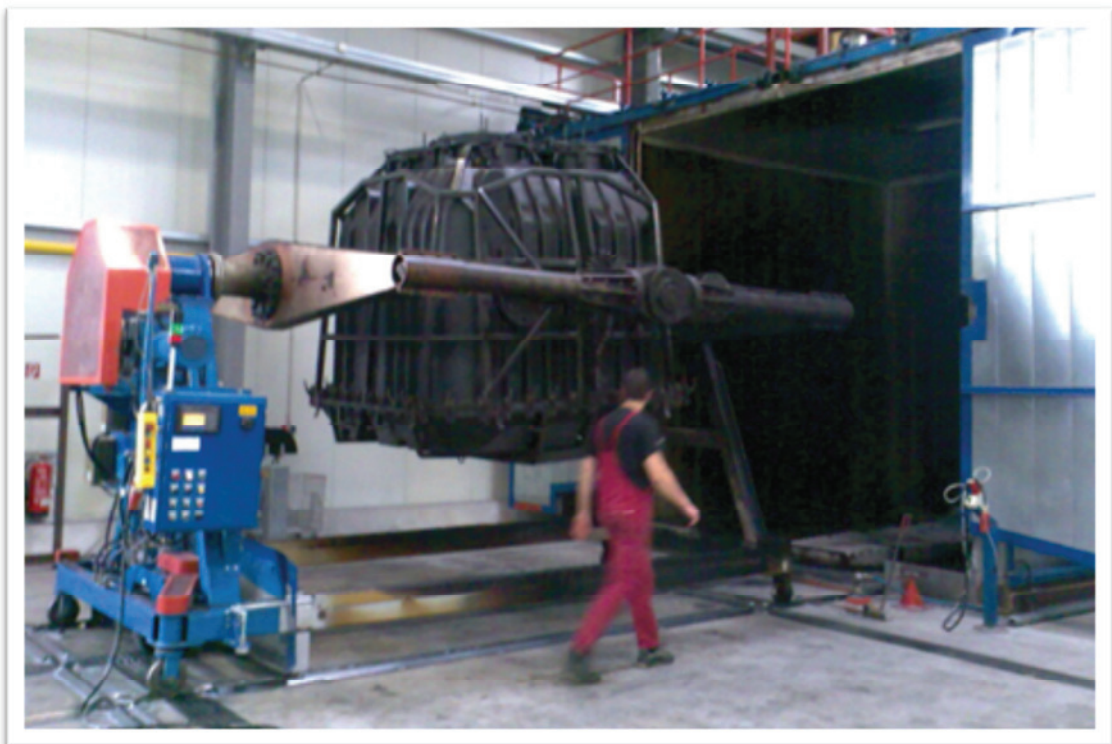


Abbildung 7-C: Einführung der Rotationsform in den Ofen

Die Rotationsdrehungen erfolgen in einem Bereich von wenigen Umdrehungen pro Minute bei einer Schmelztemperatur, die je nach Werkstoff zwischen 150° und 350° Celsius liegt. Hat sich das gesamte Aufgabengut aufgeschmolzen, kann mit der Abkühlung begonnen werden. Hierfür wird der Ofen entweder geöffnet oder die Form durch spezielle Mittel gekühlt. Sobald die Form ausgehärtet ist, kann die Entformung

stattfinden und das neu entstandene Bauteil eingelagert werden. Wie bei jedem Verfahren gibt es natürlich auch hier Vor- und Nachteile. Positiv zu erwähnen sind die geringen Formkosten und die annähernd unbegrenzten Formgebungsmöglichkeiten. Weiterhin kann durch die vielseitige Rohstoffchemie mittlerweile nahezu jeder Thermoplast für dieses Verfahren in Betracht gezogen werden. Auf der negativen Seite sind die langen Produktionszyklen und die daraus resultierende geringere Produktionsmenge zu verbuchen. Im Vergleich zum Spritzgussverfahren lassen sich mit dem Rotationsverfahren sehr gut Hinterschneidungen, Durchbrüche und geschlossene Hohlkörpersysteme realisieren. Andererseits können Bohrungen, Schlitze und Stege nur bedingt vorgesehen werden [23].

7.1.4. Wickelverfahren

Das Wickelverfahren wird bei der Herstellung von glasfaserverstärkten Kunststoffen angewandt. Dabei wird ein Stahlband auf Stoß auf eine Mantelkonstruktion gewickelt, wo es am Ende der Konstruktion umgelenkt und wieder zum Anfang geführt wird. Dies ermöglicht der Kern-Spirale einen axialen Vorschub und dem Herstellungsprozess eine Endlosfertigung. Der rotierende Kern wird induktiv beheizt und schiebt sich axial vor. An festgelegten, stationären Positionen werden dann rechnergesteuert alle Roh- und Hilfsstoffe nacheinander aufgetragen. Dabei erfolgt der Wandaufbau von innen nach außen wie folgt:

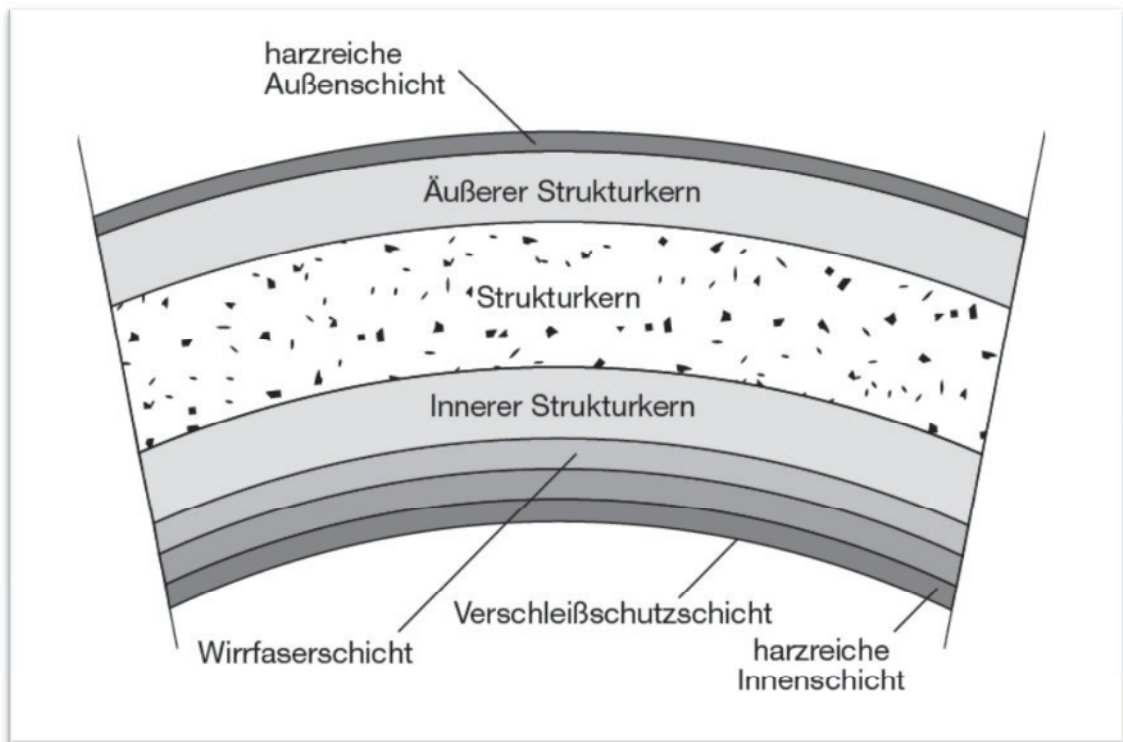


Abbildung 7-D: Wandaufbau GfK-Schachtrohr

Dieser Aufbau ermöglicht einen gleichmäßigen, glatten Innendurchmesser, der die Voraussetzung für optimale hydraulische Eigenschaften ist. Um bei den Schachtrohren einen starken Verbund zu erzeugen, werden in einem Winkel von ca. 90° Endlos-Glasfasern aufgewickelt und zusätzlich noch kurze, ungerichtete Glasfasern zugeführt. Je nach Menge der Zuführung solcher Fasern können die Festigkeiten in Umfangs- und Achsrichtung definiert werden. Ebenfalls Einfluss auf derartige Eigenschaften kann mit

der Wahl des Harzes und den jeweiligen Beimischungen genommen werden. Für die optimale Aushärtung des Verbundes sorgen die induktive Wärme des Stahlbandkerns von der Innenseite, die Infrarotstrahler von der Außenseite und die exotherme Reaktion des Polyesterharzes.

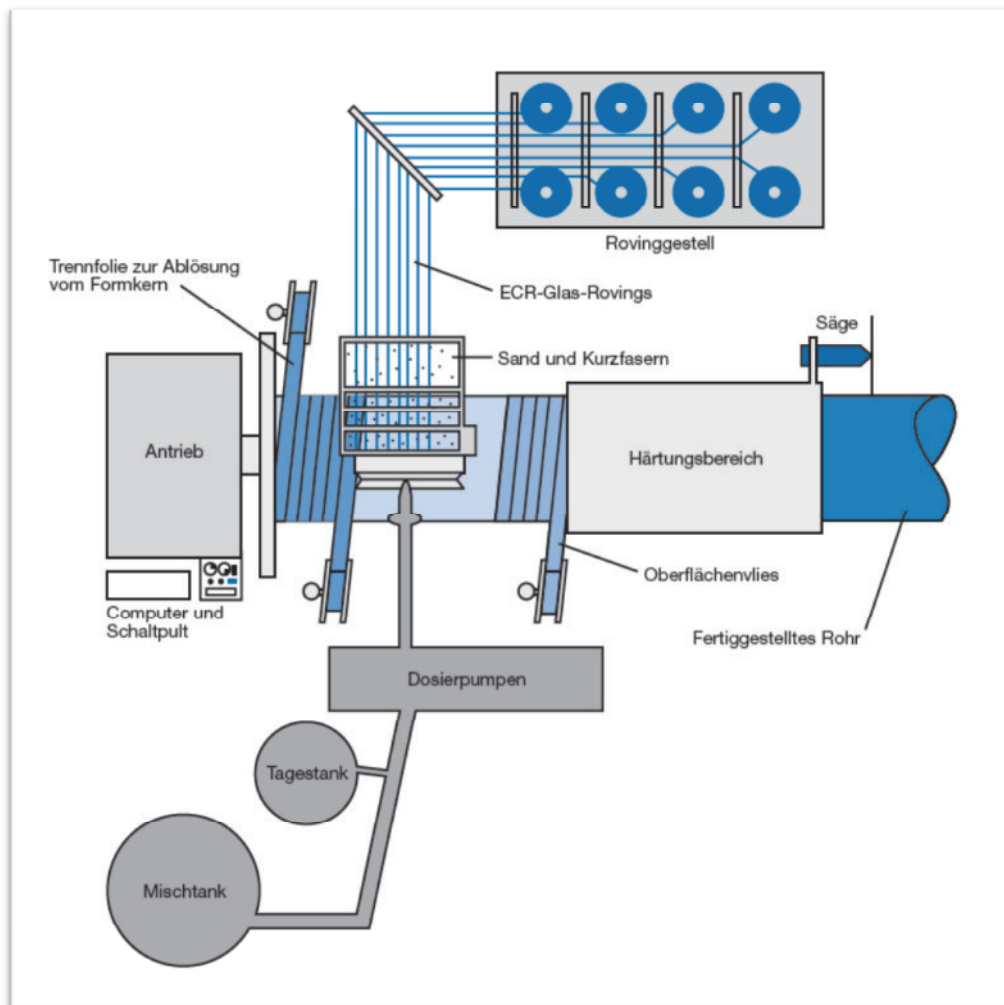


Abbildung 7-E: Wickelvorgang

Nach dem Aushärten ist das Rohr fertig, kann vom Kern geschoben und auf die gewünschte Länge von einer Säge gekürzt werden. Um aus dem Rohr nun einen Schacht zu fertigen, wird ein Boden anlamiert. Dieser besteht aus einer Betonplatte mit Auftriebssicherung. Die Betonplatte selbst wird, bevor sie an das Rohr anlamiert wird, noch für sich versiegelt, ebenfalls durch Einlaminieren oder einer Beschichtung mit Polyester- beziehungsweise Epoxidharz. Um den Schacht begehrbar zu machen, wird eine Leiter eingebaut und zum Abschluss des Bauwerks eine Betonabdeckung, die eine Aussparung für die BEGU-Schachtabdeckung bereithält, aufgesetzt [24].

7.1.5. Betonfertigteil-Produktion

Betonfertigteilerschächte können in vielen verschiedenen Verfahren hergestellt werden. Um einen Einblick in die Produktion zu bekommen, wird im Folgenden ein Verfahren zur Herstellung von Schachtunterteilen beschrieben.

Zu Beginn der Produktion werden zunächst die Negativformen erstellt. Hierbei werden entweder die Standardformen oder spezielle Gerinnetypen, für die die spezifischen Daten vom Auftraggeber eingeholt werden, verwendet. Diese Negativformen werden meist aus Polystyrol-Hartschaum hergestellt, da dieses leicht von Hand zu bearbeiten ist. Die Standardformen werden aus geraden und runden Hartschaumformteilen zusammengesetzt, bis diese das erforderliche Gerinne ergeben. Der exakte Zuschnitt der Einzelteile erfolgt computergesteuert mit Sägen, die mit Heizdrähten die Teile zuschneiden. Es gibt auch Hersteller, die 3-D-Sägen verwenden – diese verursachen jedoch hohe Anschaffungskosten. Vorteil dieser Sägen ist, dass sie auch Rundungen ausformen können. Sobald alle Einzelteile zugeschnitten sind, werden sie per Hand zu einem Gesamtnegativkörper verklebt. Um den Anschluss späterer Rohre gewährleisten zu können, werden auf die Hartschaumformteile Dichtungen aufgezogen, die später mit einbetoniert werden. Bei den Dichtungen gibt es verschiedene Ausführungen für die unterschiedlichen Rohrmaterialien, wie zum Beispiel für Kunststoff, Steinzeug oder auch Beton.



Abbildung 7-F: Negativform mit Dichtringen

Anschließend wird die eingewachste Negativform, zum einfacheren Entschalen, auf eine Schalplattform gesetzt. Diese Stahlschalung besteht aus zwei Halbschalen. Um Grate zu vermeiden, werden vor der Betoneinfüllung die Fugen zwischen dem Hartschaumkörper und der Stahlschalung zusätzlich verklebt. Der Beton kann nach dem Verkleben der Fugen in die Halbschalenformen eingegossen werden und anschließend aushärten. Am darauffolgenden Arbeitstag werden die Halbschalenformen zum Entschalen der Schachtbodenteile geöffnet. Aus den gewendeten Unterteilen werden in der Folge die Hartschaum-Formen herausgebrochen und das Schachtunterteil kann eingelagert werden. Die Produktion der Schachtringe läuft bis auf die Ausformung des Gerinnes analog ab. Bei den Schachtwänden wird anstatt der Schalungen ein Rohr eingesetzt, um eine bestimmte Wandstärke zu erreichen. Bei der Entschalung dieser Betonfertigteile werden drei Verfahren unterschieden, die sich in Dauer und Qualität der Schachtringe unterscheiden. Diese werden in *Abbildung 7-G* mit ihren jeweiligen Eigenschaften dargestellt [25].

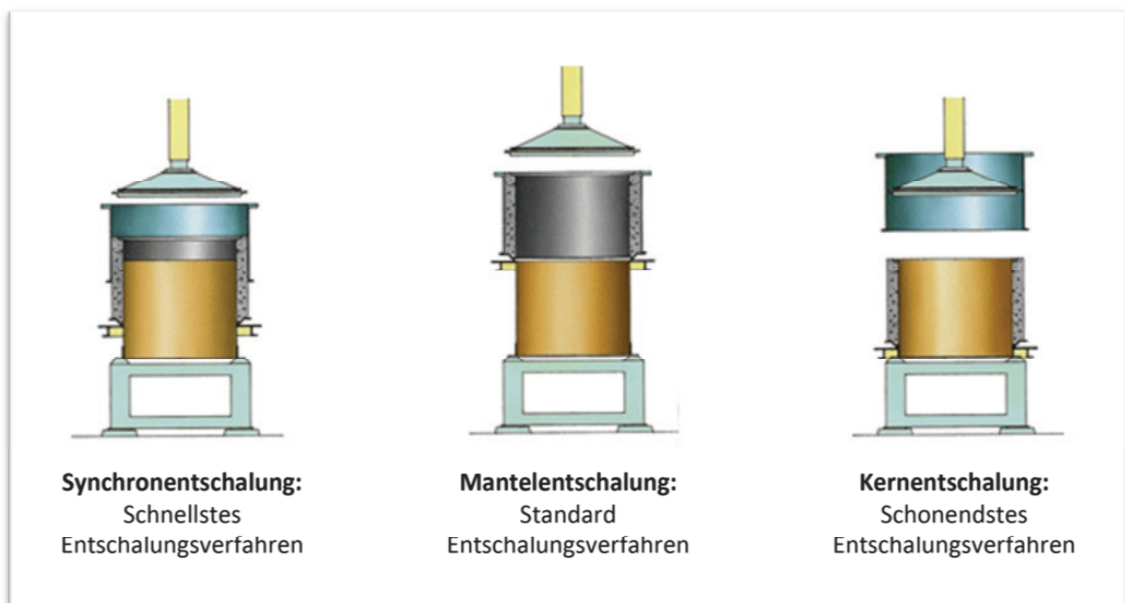


Abbildung 7-G: Entschalungsverfahren

7.2. Lastabtrag

Abwasserschächte sind in den meisten Fällen im Verkehrsraum verbaut und somit nicht nur Teil des Kanalnetzes, sondern auch der Verkehrsfläche. Die Schachtbauwerke sind also hauptsächlich den Verkehrslasten durch fahrende PKWs, LKWs und Bussen ausgesetzt, aber auch vorübergehend ständigen Beanspruchungen, beispielsweise durch eine Parksituation der genannten Fortbewegungsmittel. Die auftretenden Lasten lassen sich in vertikale und horizontale Lasten unterscheiden.

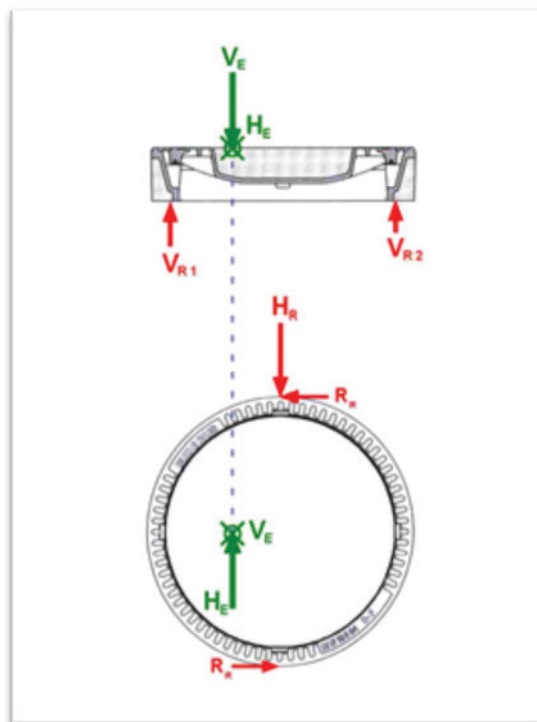


Abbildung 7-H: Lasteinwirkungen

Vertikale Lasten werden durch das Eigengewicht der Fahrzeuge beziehungsweise in geringem Maße durch das Eigengewicht der Abdeckung erzeugt. Horizontale Einwirkungen kommen durch Beschleunigungs- und Bremsvorgänge zustande. Bei diesen einwirkenden Lasten gilt es, die Beeinträchtigung des Straßenverkehrs durch Setzungen oder Hebungen respektive Schäden des Straßenoberbaus zu vermeiden. Um dies gewährleisten zu können, ist ein ordnungsgemäß funktionierender Lastabtrag erforderlich. Hierbei ist der Wirkungsbereich zwischen Schachtabdeckung und Schachtbauwerk entscheidend.

7.2.1. Schachtabdeckungen

Schachtabdeckungen werden für sämtliche Schachtkonstruktionen im öffentlichen und privaten Straßenbereich, Reparatur-, Werks- und Produktionshallen, auf Flughäfen, in Parkgaragen, sowie im Bereich von Benzin-, Fett-, Öl- und Schlammabscheidern installiert. Hierbei ist für die Auswahl der Schachtabdeckungen neben der Dimensionierung auch die Funktion und Tragfähigkeit entscheidend. Diese werden in der DIN 1229-1 nach Einbaubereichen klassifiziert:

- **Klasse A:** Grünflächen
- **Klasse B:** Gehwege und PKW-Parkhäuser
- **Klasse D:** Fahrbahnen und Parkflächen
- **Klasse E:** hochbelastete, nicht öffentliche Verkehrsflächen
- **Klasse F:** Flugbetriebsflächen

Eine weitere Klassifizierung nach Einbaubereichen und Belastungsfällen für Schachtabdeckungen und -aufsätze im Verkehrsraum wird in der DIN EN 124 vorgenommen:

- **Gruppe 1:** Verkehrsflächen, die ausschließlich von Fußgängern und Radfahrern benutzt werden können und vergleichbare Flächen, zum Beispiel Grünflächen (*mindestens Klasse A 15*)
- **Gruppe 2:** Gehwege, Fußgängerzonen und vergleichbare Flächen, Pkw-Parkflächen und Pkw-Parkdecks (*mindestens Klasse B 125*)
- **Gruppe 3:** Gilt nur für Aufsätze im Bordinnenbereich der, gemessen ab Bordsteinkante, maximal 0,5 m in die Fahrbahn und 0,2 m in den Gehweg hineinreicht sowie für Seitenstreifen von Straßen (*mindestens Klasse C 250*)
- **Gruppe 4:** Fahrbahnen von Straßen (auch Fußgängerstraßen), Seitenstreifen von Straßen, Parkflächen, die für alle Arten von Straßenfahrzeugen

zugelassen sind und vergleichbare befestigte Verkehrsflächen (z.B. BAB-Parkplätze) (*mindestens Klasse D 400*)

- **Gruppe 5:** Nicht öffentliche Verkehrsflächen, die mit besonders hohen Radlasten befahren werden, zum Beispiel Verkehrswege im Industriebau, Dockanlagen, Flugbetriebsflächen (*mindestens Klasse E 600*)
- **Gruppe 6:** Flächen, mit besonders hohen Radlasten, wie zum Beispiel Flugbetriebsflächen von Verkehrsflughäfen (*Klasse F 900*)

Neben diesen Unterteilungen gibt es noch verschiedene Ausführungsvarianten, die je nach Anforderung an die Schachtabdeckung gewählt werden können:

- **Gesicherte Schachtabdeckungen:**

Schachtabdeckungen werden mit Sicherungen eingebaut, um zu verhindern, dass unbefugte Personen die Schachtdeckel öffnen und herausnehmen können. Diese Schachtabdeckungen dienen gleichzeitig als Sicherung gegen das Hochdrücken oder Herausschleudern durch Wasser bei einem Kanalrückstau. Um dies gewährleisten zu können, werden Schraubverriegelungen und zum Teil auch integrierte Komponenten verwendet. Die Diebstahlsicherung der Aufsatzkonzeption wird durch das Zusammenwirken von Bohrungen im Rost, sowie Aufsatzrahmen und zwei Scharnierbolzen erreicht.

- **Tagwasserdichte Schachtabdeckungen:**

Tagwasserdicht bedeutet, dass drucklos anfallendes Wasser (Niederschlagswasser) nicht durch die Schachtabdeckung in den Schacht gelangt. Dies wird durch Dichtungen und Schraub- bzw. Vorreiberverschlüsse erreicht. Andere Möglichkeiten der Ausführung sind übergreifende Deckel oder lose übergreifende Innendeckel. Bei der zuletzt genannten Ausführung weist der Rahmen eine umlaufende Rinne mit einem Auslaufstutzen aus, in die das anfallende Niederschlagswasser fließt und von dort in den Kanal abgeleitet wird.

- **Rückstausichere Schachtabdeckungen:**

Rückstaugesicherte Schachtabdeckungen müssen für Schächte mit einem Innendruck verwendet werden. Für die Dimensionierung müssen die entstehenden Drücke bekannt sein, um die Schachtabdeckung für die Belastungssituation anpassen zu können. Diese Variante der Abdeckung wird ähnlich der gesicherten Abdeckung ausgebildet und zusätzlich mit Dichtungen und Befestigungselementen ausgestattet.

- **Gas-/ geruchsdichte Schachtabdeckungen:**

Tagwasserdichte Abdeckungen mit Dichtungen und Verschlüssen, sowie sämtliche rückstaugesicherten Schachtabdeckungen müssen zugleich gas- und geruchssicher verbaut werden, um eventuelle Geruchsbelästigungen von Anwohnern zu vermeiden.

Im Allgemeinen lassen sich drei verschiedene Schachtabdeckungsvarianten unterscheiden. Zum einen gibt es den Standardfall in Deutschland, bei dem die Schachtabdeckung direkt auf den Konus gesetzt beziehungsweise direkt mit dem Schacht verbunden wird. Hierbei werden die Lasten mit annähernd 100 % an die Schachtwände weitergegeben und von dort in den Untergrund eingeleitet. Bei den beiden übrigen Varianten handelt es sich um entkoppelte Systeme, die eine Lastverteilung erreichen wollen. Auf der einen Seite gibt es die schwimmenden und auf der anderen Seite die teleskopierbaren Abdeckungen. Betrachtet man die Schadensbilder der Schächte in Deutschland, so lassen sich viele dieser Schäden auf eine zu hohe Belastung der Schächte zurückführen. Verkehrslasten wirken sich jedoch nicht nur auf den oberen Teil der Schächte aus. Durch Setzungen respektive vertikale Verschiebungen von Schächten werden auch die Anschlüsse der Leitungen an den Schacht stark beeinträchtigt und somit in der Folge ein undichtes System provoziert. Die drei Arten von Schachtabdeckungen werden in den folgenden Unterkapiteln näher betrachtet [26].

7.2.2. Direkter Lastabtrag

Durch einen direkten Lastabtrag werden die vertikal einwirkenden Lasten über den Schachtkonus abgeleitet. Hierbei verlaufen die einwirkenden Kräfte senkrecht zu den Schachtwänden und werden so bis in den Schachtboden übergeleitet. Dieser trägt sie dann in den Untergrund beziehungsweise Unterbau ab. Die horizontalen Lasten werden im Wesentlichen durch die Einbindung in den Straßenkörper aufgenommen. Aber auch durch Umlenkungen vom Schacht selber, können Horizontalkräfte abgeleitet werden, da bei diesem Lastabtragsverfahren die Schachtabdeckung direkt mit dem darunterliegenden Schacht verbunden ist. In *Abbildung 7-I* ist eine Abdeckungsvariante mit zueinander senkrechten Widerlagerflächen dargestellt. Diese können mit oder ohne dämpfende Einlagen ausgeführt werden. Hier wirken sich die Lasten (grün dargestellt) ausschließlich in horizontaler und senkrechter Form auf den Schacht aus. Die Reaktionskräfte, die die Belastung für den Schacht darstellen, werden durch die roten Pfeile gekennzeichnet.

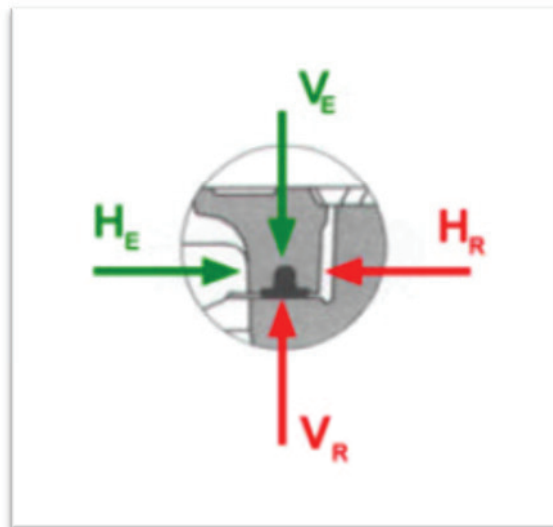


Abbildung 7-I: Lastabtrag Deckel-Rahmen, orthogonale Widerlagerflächen

In *Abbildung 7-J* ist eine andere Ausführung der Schachtabdeckung aufgeführt. Hier wirken sich die Verkehrslasten ebenfalls in horizontaler und senkrechter Form auf die Abdeckung aus. Die Reaktionskräfte bilden im Gegensatz zu der ersten Variante aber eine Resultierende Kraft K_R . Dies wird durch die konische Form des Elastomer-

Widerlagers erreicht. Durch die Ausformung am Deckel sind die Flächen der Widerlager in der Lage, sich der Lastgröße anzupassen.

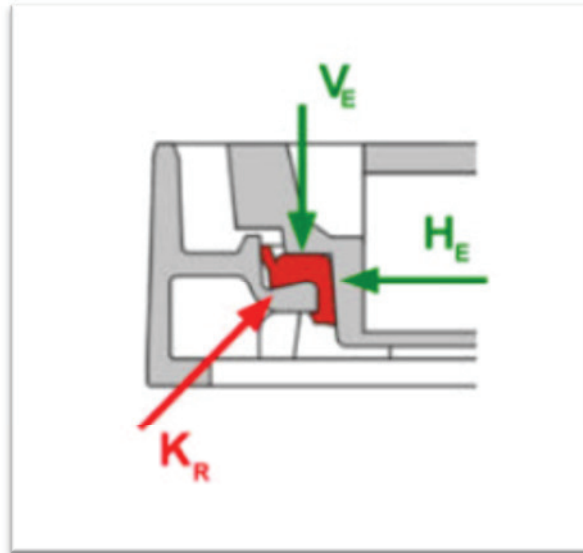


Abbildung 7-J: Lastabtrag Deckel-Rahmen, konisches Elastomer-Widerlager

Der Verbund zwischen Schachtkonus und Auflagering wird mittels Vermörtelung erreicht. Diese Mörtelfuge, analog verhält sich die Mörtelschicht zwischen Schachtrahmen und Auflagering, verbindet die beiden Elemente kraftschlüssig. Ein Verschieben der Abdeckung wird durch eine Falz sichergestellt respektive unterbunden. Die Einbindung in den Straßenkörper wird mittels Asphaltbeton, Formsteinen mit bituminösem Verguss oder Gussasphalt ausgeführt. Diese Art des Lastabtrags gestaltet sich bei den meisten Kunststoffschächten schwierig, da sie mit ihren Wandstärken einer direkten Belastung nicht standhalten können. Es gibt zwar Systeme die solchen Beanspruchungen standhalten, doch aus Sicherheitsgründen und um die Schächte zu entlasten wird ein Lastabtrag über einen Betonauflagering empfohlen [27].

7.2.3. Entkoppelte Abdeckung

Da die potentiellen Belastungen der Schächte durch den zunehmenden Straßenverkehr und den wachsenden Schwerlastanteil immer größer werden, steigen auch die Anforderungen an den schadensfreien Abtrag der auftretenden Lasten. Die nicht schadensfrei abgeleiteten Kräfte wirken sich in Form von vertikalen Verschiebungen,

Abplatzungen und Rissen, aber besonders bei den Mörtelfugen zwischen Abdeckung und Schachtkonus beziehungsweise Auflageringen aus und erzeugen somit Undichtigkeiten bei einer Vielzahl von Schächten. Diese Schäden entstehen durch dynamische Verkehrslasten, sowie chemisch-physikalischen Beanspruchungen und treten laut dem Institut für Unterirdische Infrastruktur in Gelsenkirchen, kurz IKT, bereits nach wenigen Jahren auf. Somit fallen erneut Kosten für die Instandhaltung respektive Sanierung an. Dieser Problemstellung treten die entkoppelten Abdeckungssysteme entgegen und versuchen durch verschiedene Ausführungsvarianten den Lastabtrag vom Schacht zu entkoppeln. Bei Lösungen dieser Art werden die Lasten größtenteils oberhalb des Schachtes in den Baugrund abgeleitet und somit der Schacht als tragendes Element entlastet.

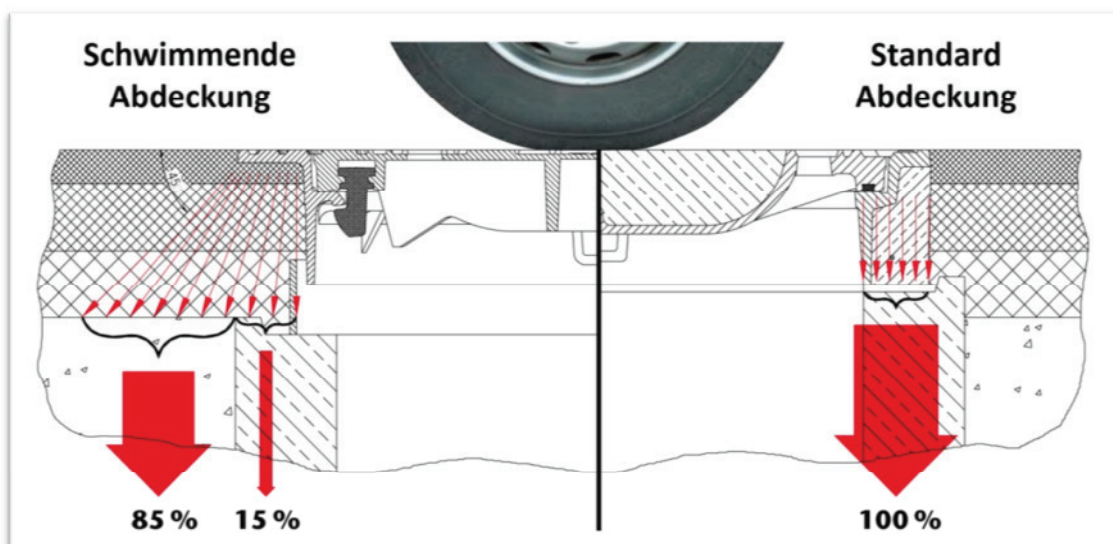


Abbildung 7-K: Lastabtragsvergleich

Durch die Schachtabdeckung werden die vertikalen Lasten in den umgebenden Baugrund eingeleitet und die horizontalen Lasten von der Straßendecke aufgenommen. Hierzu hat das IKT Versuche durchgeführt, um einen genauen Einblick in das Lastabtragsverhalten derartiger Abdeckungssysteme zu erhalten. Es wurden, wie in *Abbildung 7-K* dargestellt, eine Entkopplung erreicht, die 85 % der Lasten in den umgebenden Straßenaufbau und –untergrund einleitet. Hierbei wird die Schachtabdeckung zusammen mit dem heißen Asphalt eingewalzt und „schwimmt“ somit in der Asphaltdecke. Es werden auch Lösungen angeboten, bei denen die

Schachtabdeckung vollständig vom Schachtkonus entkoppelt ist. Die anfallenden Lasten werden mittels eines Betonrahmens oder ähnlichen Betonteilen über das an den Schacht angrenzende Erdreich übertragen. Dabei wird wahlweise mit speziellen Formsteinen oder Gussasphalt gearbeitet [28].

7.2.3.1. Teleskopierbare Abdeckungen

Teleskopierbare Abdeckungen lassen sich als eine Untergruppe der entkoppelten Schachtabdeckungssysteme klassifizieren. Betrachtet man den Lastabtrag, verhalten sie sich analog zu den vollständig entkoppelten Systemen. Die Abdeckung wird in den Straßenkörper eingewalzt und „hängt“ somit in der Straßendecke. Um die Lasten bei begehbaren Schachtbauwerken in den Untergrund einleiten zu können, werden Lastverteilerrahmen eingesetzt.

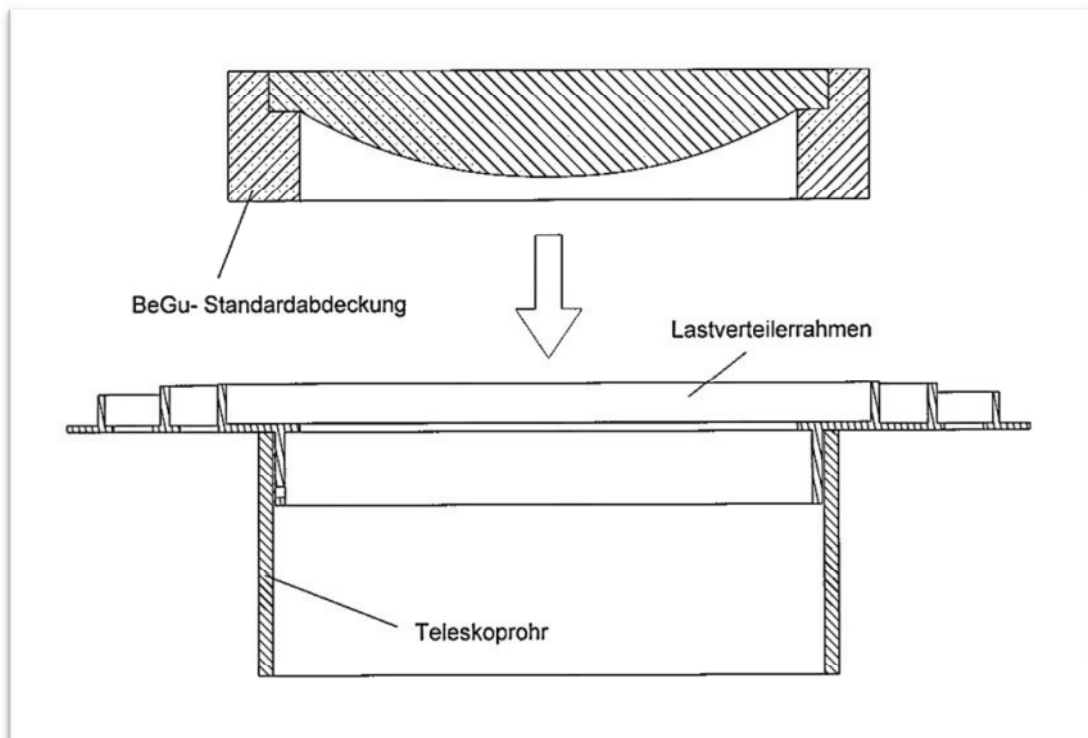


Abbildung 7-L: BeGu-Abdeckung mit Lastverteilerahmen und Teleskoprohr

Diese funktionieren ähnlich wie die Betonauflageringe und leiten die auftretenden Lasten in den angrenzenden Straßenaufbau ab. Wie in *Abbildung 7-M* dargestellt, können diese Systeme an eine bestimmte Einbautiefe angepasst werden und auch nach dem Verbau leichte Hebungen und Setzungen ausgleichen. Diese dürfen die

Anschlüsse natürlich nicht beeinträchtigen, um ein dichtes System garantieren zu können. Bei nicht begehbaren Systemen fallen die Lastverteilungsrahmen meist kleiner aus, da diese nicht den gleichen Beanspruchungen unterliegen wie die im Verkehrsraum verbauten, begehbaren Systeme. Sie finden meist Verwendung im privaten Bereich und können mit verschiedenen Abdeckungen kombiniert werden, beispielsweise als seitlicher Straßenablauf. Größter Vorteil für den privaten und öffentlichen Gebrauch ist die variable Höhenanpassung, wodurch Kosten für ausgleichende Maßnahmen entfallen.

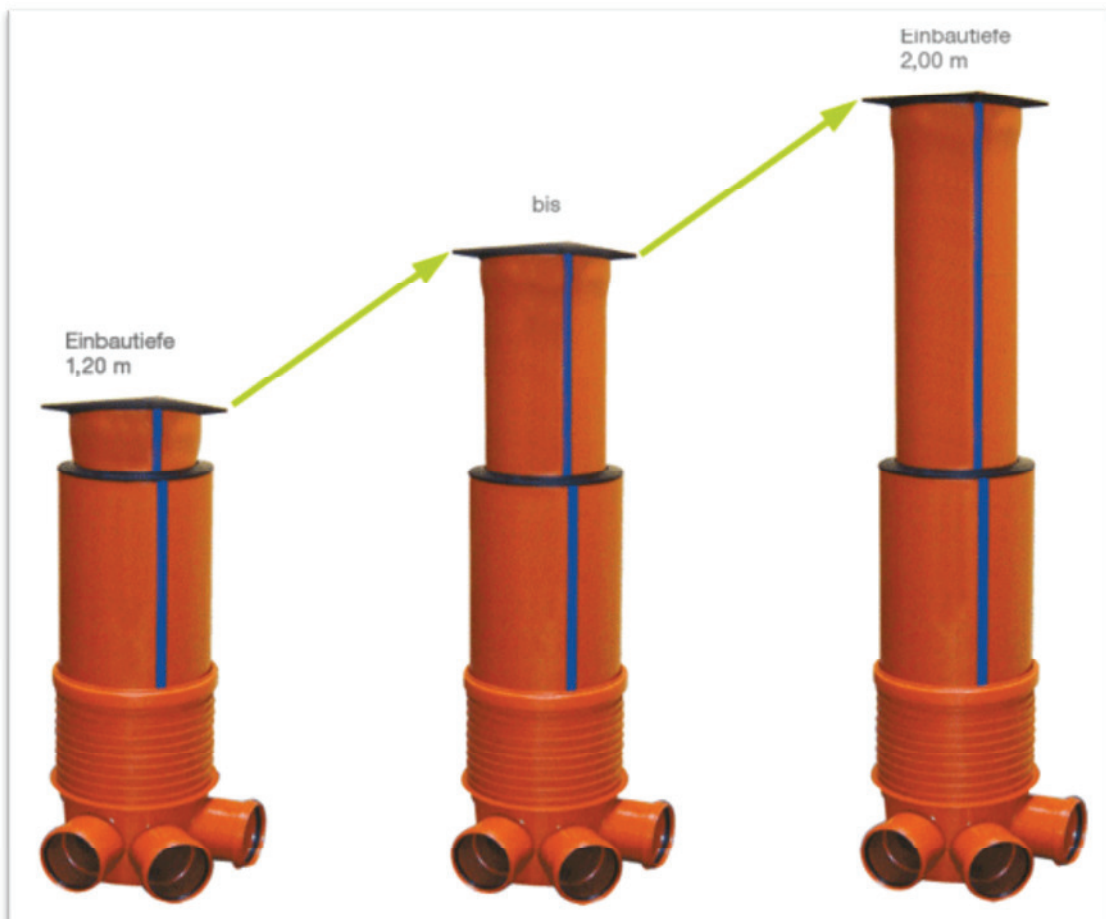


Abbildung 7-M: Teleskopierbare Schachtabdeckung

8. Normung – Definition der Anforderungen

Kunststoff- und Betonschächte unterliegen den DIN-Normen. Hierbei werden Normen von allgemeinen Entwässerungssystemen, über Normen für Abdeckungen und die jeweiligen werkstoffspezifischen Normen berücksichtigt. Um einen Überblick der zurzeit geltenden Normen zu erhalten, wird im Folgenden eine stichpunktartige Übersicht gegeben:

- **DIN EN 752:**
Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden
- **DIN EN 476:**
Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerung
- **DIN EN 124:**
Aufsätze und Abdeckungen für Verkehrsflächen
- **DIN EN 1610:**
Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen
- **DIN 1986-100:**
Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke
- **DIN 19537-3:**
Rohre, Formstücke und Schächte aus Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) für Abwasserkanäle und Abwasserleitungen; Fertigschächte; Maße, Technische Lieferbedingungen
- **DIN 19572:**
Haltevorrichtungen zum Einsteigen in begehbare Schächte - Anforderungen, Prüfung
- **DIN EN 13598-2:**
Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und Abwasserleitungen; Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) - Teil 2: Anforderungen an Einsteigschächte und Kontrollschächte für Verkehrsflächen und tiefe Erdverlegung

- **DIN EN 14802:**
Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Kontrollschächte (Inspektionsöffnungen) und Einsteigschächte aus Thermoplasten - Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen Belastungen der Oberfläche und Verkehrslasten
- **DIN EN 14982:**
Kunststoff-Rohrleitungssysteme und Schutzrohrsysteme - Schachtringe und Steigrohre für Kontroll- und Einsteigschächte aus thermoplastischen Kunststoffen - Bestimmung der Ringsteifigkeit
- **DIN 4034-1:**
Schächte aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen – Schächte für erdverlegte Abwasserkanäle und –leitungen; Maße, Technische Lieferbedingungen

Diese Liste könnte noch durch mehrere Normen ergänzt werden, jedoch würde dies den Rahmen eines Einblicks in die geltenden Normen übersteigen.

8.1. Vergleich der Normanforderungen

Im Folgenden werden zwei entscheidende Anforderungsunterschiede betrachtet. Zum einen die Maßhaltigkeit und zum anderen die Prüfung auf Wasserdichtheit.

Die Maßhaltigkeit wird in den werkstoffspezifischen Normen im Allgemeinen in Tabellenform dargestellt. In den Tabellen der Produktnormen müssen laut DIN EN 476 für Innendurchmesser und Grenzabmaße folgende Informationen enthalten sein:

- Innendurchmesser und Grenzabmaße; oder
- Außendurchmesser, Wanddicken und Grenzabmaße; oder
- Mindestinnendurchmesser

Die maximalen Grenzabmaße für den Innendurchmesser sind ebenfalls in der DIN EN 476 in einer Tabelle aufgeführt:

Nennweite	Grenzabmaße von mittleren Innendurchmessern [mm]	Grenzabmaße von einzelnen Innendurchmessern [mm]
DN ≤ 100	$\pm 0,05 \times \text{DN}$	$\pm 0,1 \times \text{DN}$
100 < DN ≤ 250	± 5	± 10
250 < DN ≤ 600	$\pm 0,02 \times \text{DN}$	$\pm 0,04 \times \text{DN}$
DN > 600	± 15	± 30

Tabelle 8-1: Maximale Grenzabmaße für Innendurchmesser

In den einzelnen Produktnormen werden die Maße unterschiedlich ausgelegt. In der DIN 4034-1 für Beton- und Stahlbetonfertigteile werden folgende Werte für Schachtringe angegeben:

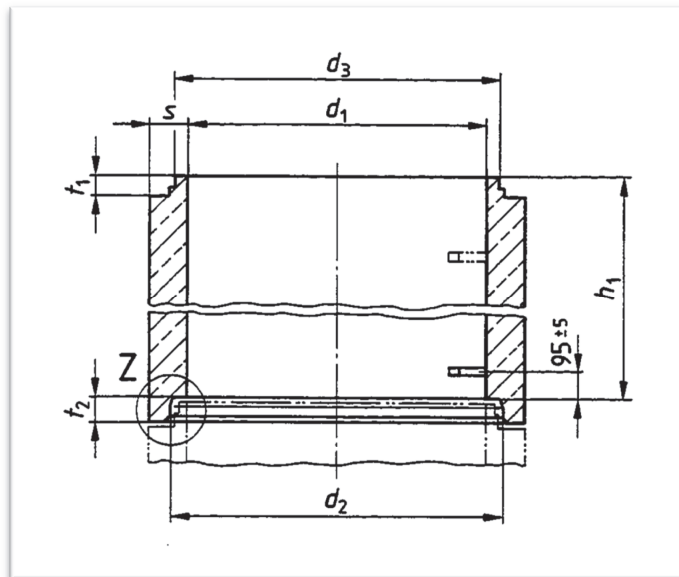


Abbildung 8-A: Auszug aus der DIN 4034-1

Nennweite DN	Innendurchmesser d_1	Innendurchmesser am Spitzende d_3
1000	1000 ± 8	$1090 \pm 2,0$
1200	1200 ± 10	$1300 \pm 3,0$
1500	1500 ± 11	$1620 \pm 3,5$

Tabelle 8-2: Maße DIN 4034-1

Vergleicht man die Toleranzen der Innendurchmesser mit der DIN 19537-3 für Polyethylenschächte hoher Dichte lässt sich ein deutlicher Unterschied erkennen. Bei der DIN-Norm für die Kunststoffschächte sind nur Toleranzen für die Außendurchmesser zulässig. Die Innendurchmesser dieser Konstruktionen müssen maßhaltig sein. Die Maßhaltigkeit der Innendurchmesser ist die Grundlage für einen guten Verbund bei modularen Schachtsystemen. In diesem Fall wird zwischen den Schachtringen, mit Hilfe der Dichtungen, die optimale Auflagefläche und somit die Ausführung mit der bestmöglichen Dichtheit erzielt. Die zulässigen Toleranzabweichungen bei Betonschächten sind kritisch zu betrachten, da in einem ungünstigen Fall zwei Schachtringe mit einer Nennweite von 1.500 mm miteinander verbunden werden, die eine Abweichung von 20 mm bezüglich des Innendurchmessers aufweisen. Die Spitzenden der Betonschachtringe besitzen natürlich für sich ebenfalls noch kleine Toleranzen. Die Toleranzen für Innendurchmesser und Wanddicke bei Betonschächten begründen sich in der Herstellung der Schächte. Beton ist ein Werkstoff bei dem es zum sogenannten Schwinden während des Aushärtens kommt. Hierbei findet eine Volumenreduzierung statt, bei der die Betonfertigteile „zusammenschrumpfen“. Ob eine Verbindung mit diesen Unterschieden bei den Abmessungen als dicht gewertet werden kann beziehungsweise dicht ist, bleibt fraglich. Formteile aus Kunststoff weisen diese Eigenschaft des Schwindens nicht auf und bleiben somit maßhaltig im Innendurchmesser. Nur für die Außendurchmesser, und somit auch gleichzeitig für die Wandstärken, werden in den Normen für Formteile aus Kunststoff, Maßtoleranzen zugelassen. Hierbei werden aber immer Mindestmaße angegeben, sodass die Konstruktionen in ihren statischen Eigenschaften nicht beeinträchtigt werden.

Ein weiterer Unterschied lässt sich bei den Vorgaben für die Dichtheitsprüfungen der Schächte ausmachen. Die Abläufe der einzelnen Verfahren für die unterschiedlichen Werkstoffe werden in Kapitel 9 näher erläutert. Kunststoff- und Betonschächte beziehen sich in den jeweiligen Produktnormen bezüglich der Prüfung auf Dichtheit mit Wasser auf die DIN EN 1610. Diese stellt für beide Werkstoffe dieselben Anforderungen, die sich aber an Betonschächten orientieren. Dies wird deutlich, da relativ hohe Wasserzugabemengen erlaubt sind, die bei der Prüfung von

Kunststoffschächten nicht notwendig wären. Aus diesem Grund sind in den einzelnen Produktnormen für Schächte aus Kunststoffen auch keine Wasserzugabemengen angegeben, im Gegensatz zu den Betonschachtnormen. In der DWA-A-139 von Dezember 2009 – Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen – wird eine klare Unterscheidung von Anforderungen an Kunststoff- und Betonschächte vorgenommen. Die Wasserzugabemenge für zementgebundene Werkstoffe soll sich auf die DIN EN 1610 beziehen und beträgt somit $0,4 \text{ l/m}^2$, für alle anderen Schachtwerkstoffe gilt eine Zugabemenge von $0,3 \text{ l/m}^2$ bei einer Prüfdauer von 30 Minuten. Des Weiteren wird in der DIN 4034-1 eine Wasserzugabe von $0,07 \text{ l}^2/\text{m}$ für die Prüfdauer von 15 Minuten vorgegeben. Die Anforderungen sind hier nicht klar definiert. Da Beton ein Werkstoff mit der Eigenschaft der Wasseraufnahme ist dürfen die zu prüfenden Schächte bei der Erstprüfung mit Wasser vorbehandelt werden. Dies stellt in Bezug auf die praxisnahe der Prüfung jedoch eine Diskrepanz dar. Bei den Prüfungsabläufen stellen sich ähnliche Probleme heraus. In Kapitel 9.3 werden die Abläufe ausführlich erläutert. Die Normen müssten in diesem Fall konkrete Bedingungen für die Prüfaufbauten auf Baustellen und im Werk festlegen. Denn die Ergebnisse der werkseigenen Prüfung lassen sich so nicht auf die Baustelle übertragen, da auf jeder Baustelle andere Randbedingungen herrschen. Da Dichtheitsprüfungen für die Qualitätssicherung von erheblicher Bedeutung sind, müssen diese Lücken in den Normen geschlossen werden. Hierdurch würde auch die Verunsicherung der Bauherren bezüglich des Themas Dichtheit abnehmen und mehr Klarheit in diesem Bereich herrschen.

9. Dichtheitsprüfung

Die Wasserdichtheit von Abwasserschächten, -kanälen und -leitungen ist eine Anforderung der DIN EN 752-2 und der DIN EN 476 an den Betrieb von Abwasserleitungen und -kanälen, sowie Schächten und dient dem Schutz von Grundwasser und Boden. Die Dichtheit von diesen Systemen ist wichtig, da so eine In- und Exfiltration vermieden werden kann, was speziell bei gefährlichen Stoffen, aber auch Trinkwasserschutzgebieten von großer Bedeutung ist. Aus diesem Grund sind in den jeweilig zugehörigen DIN-Normen Vorgaben festgelegt worden, nach denen die unterschiedlichen Schachtsysteme geprüft werden müssen. Neu errichtete Schachtsysteme sind auf der Baustelle nach der DIN EN 1610 hinsichtlich der Wasserdichtheit zu prüfen. Dies geschieht entweder mit der Prüfung nach dem Verfahren mit Luft (Verfahren „L“), die wie folgt abläuft:

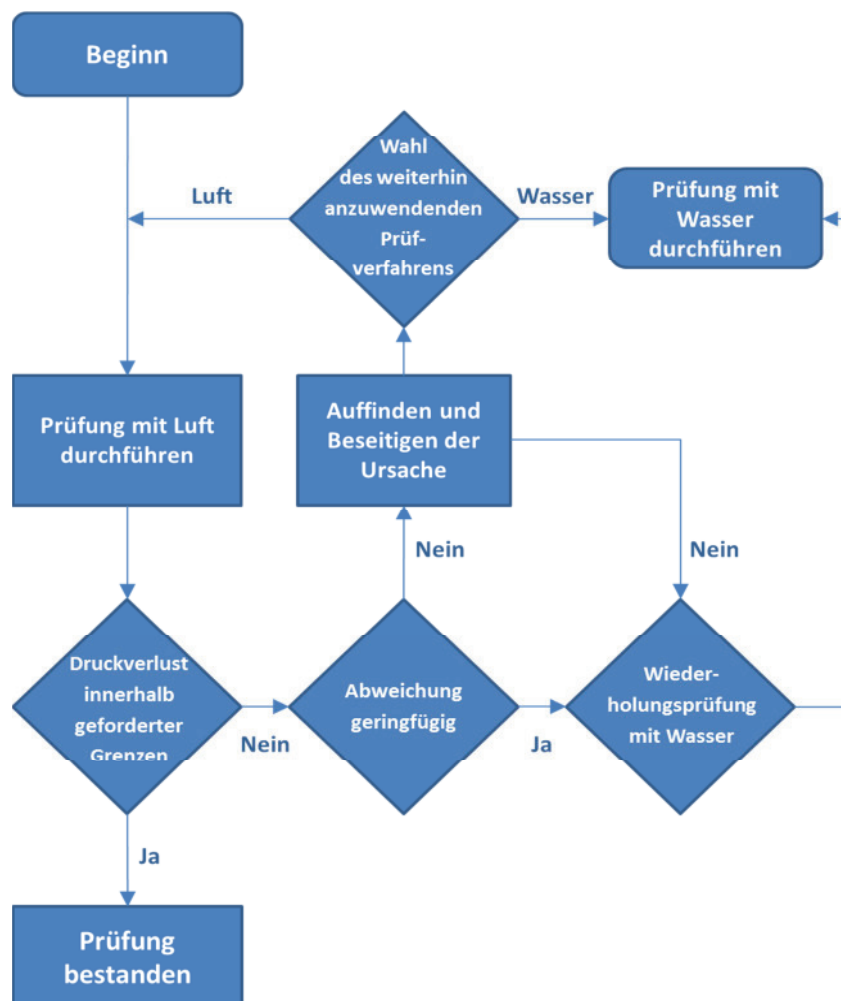


Abbildung 9-A: Prüfung mit Luft

Oder die Prüfung erfolgt mit Wasser (Verfahren „W“), die für Schachtbauwerke im Allgemeinen laut DWA-A-139 [29] empfohlen wird:

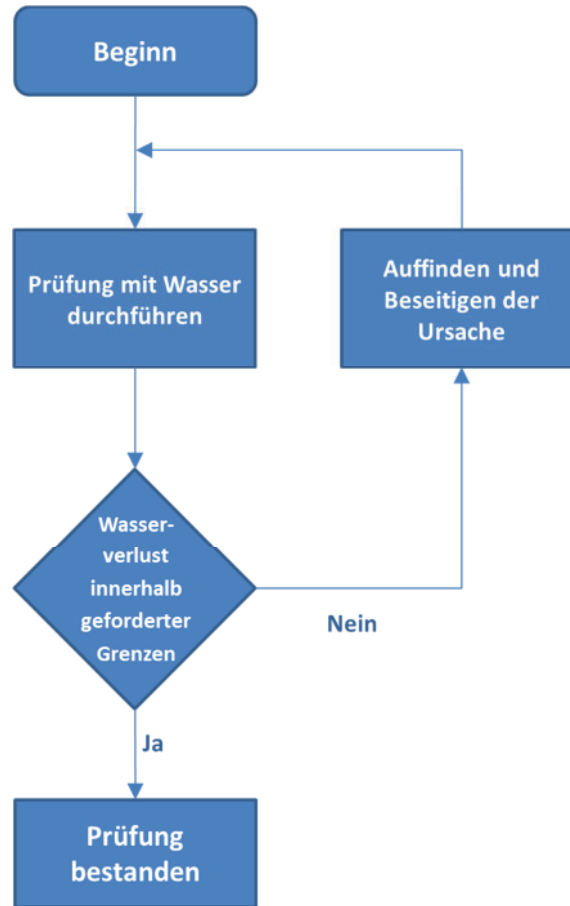


Abbildung 9-B: Prüfung mit Wasser

Eine Dichtheitsprüfung mit dem „W“-Verfahren erfolgt auf der Baustelle für Kanäle, Anschlüsse und Schächte nach folgendem Aufbau:

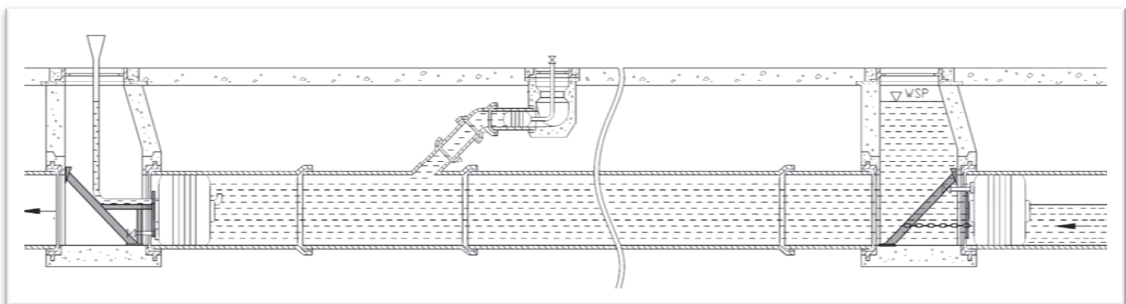


Abbildung 9-C: Prinzip der Wasserdruckprüfung von Kanal, Anschluss und Schacht

Bevor die Schachtbauteile auf die Baustelle geliefert werden, müssen diese im Rahmen von Eignungs- und Funktionsprüfungen in den Fertigungswerken überprüft beziehungsweise überwacht werden. Diese Prüfungen werden bei unterschiedlichen Schachtmaterialien auf verschiedene Arten und differierenden Häufigkeiten durchgeführt. In den folgenden beiden Absätzen werden die verschiedenen Verfahren und die vorgegebenen Richtwerte zunächst zusammengetragen und anschließend kritisch beurteilt.

9.1. Kunststoffschächte

Die Vorgaben für die jeweiligen Kunststoffschächte lassen sich in den Normen wiederfinden:

Bei glasfaserverstärkten Kunststoffen gilt die DIN 19565-5, bei Polyethylen die DIN EN 12666-1 und Polyethylen hoher Dichte die DIN 19537-3, sowie bei Polypropylen und Polyethylen die DIN EN 13598 Teil 1 und Teil 2 und für Polyesterharzformstoffe die DIN EN 14636-6. In diesen Normen wird unter den Kapiteln „Prüfungen“ meist auf die DIN 4033, die mittlerweile von der DIN EN 1610 abgelöst wurde, verwiesen. Für den Prüfungsablauf wird in den Produktnormen auf die DIN EN 1610 verwiesen, nur in der DIN EN 14636-2 wird dieser kurz beschrieben:

„Die Bauteile für die Herstellung von Einstiegs- oder Kontrollschächten dürfen mit ihren Verbindungen geprüft werden, entweder als vollständig montierten Einstiegschacht oder Kontrollschacht oder durch Zusammenfügen zweier Bauteile mit einer Verbindung und einer geeigneten Aufnahmevorrichtung für die Prüfanlage, die mit Platten mit geeigneten Verbindungsprofilen ausgestattet ist. Vertikale Bauteile dürfen einzeln in einer geeigneten, ähnlichen Prüfanlage geprüft werden. Wenn notwendig, sind die Enden des Prüfaufbaus mit geeigneten Verschlusseinrichtungen abzudichten.

Die Prüfung von beweglichen Verbindungen ist mit den geforderten Werten für die Abwinkelung und/oder den Auszug, sofern zutreffend, durch geeignete Auflager im Prüfaufbau durchzuführen.

Der Prüfaufbau wird mit Wasser befüllt und für die Dauer von 15 Minuten mit einem festgelegten Druck beaufschlagt. Es ist darauf zu achten, dass während des

Füllvorganges die gesamte Luft entweichen kann. Danach wird der Prüfaufbau auf Anzeichen für Undichtigkeit oder Durchsickern untersucht. Nach vollständiger Entleerung des Prüfaufbaus ist dieser mit einem Unterdruck für die Dauer von 15 Minuten zu beaufschlagen. Als dicht gelten Bauteile für Einstiegs- oder Kontrollschächte und deren Verbindungen, wenn keinerlei Anzeichen für Undichtigkeit oder Durchsickern an den Verbindungen oder den Bauteilen auftreten. Bei der Prüfung mit Unterdruck dürfen weder Anzeichen von Beschädigungen an den Bauteilen erkennbar sein noch die festgelegte Änderung des Druckes überschritten werden.“

9.2. Betonschächte

Die Wasserdichtheit von Schächten aus Beton, Stahlbeton und Stahlfaserbeton respektive deren Fertigteilen, wird nach der DIN EN 752-2, der DIN 1610 und der DIN 4034-1 geprüft. Wobei die zuletzt erwähnte die Prüfungsgrundlagen beschreibt. Die bei den Schächten verwendeten Elastomerdichtungen unterliegen der DIN 4060. Die Prüfungen solcher Fertigteilerschächte laufen wie folgt ab:

Es wird ein Schachtsystem, meist bestehend aus zwei Schachtringen und dem Schachtunterteil, zusammengebaut und auf ein Stahlportal gestellt. Dann wird an der oberen Öffnung eine Abdeckung mit Anschlussmöglichkeit für die Wasserzufuhr und die Druckmessung aufgesetzt. Anschließend wird der Betonschacht mit einem Stahlquerriegel verkeilt, damit die Auftriebskräfte des Wassers aufgenommen und abgeleitet werden können. Ist die Konstruktion vollständig aufgebaut, wird das Wasser eingeleitet, die Konstruktion vollständig entlüftet und ein Prüfdruck von mindestens 0,5 bar aufgebaut. Dies entspricht einer 5 Meter hohen Wassersäule, wenn man von einem Schacht mit 1.000 Millimeter Durchmesser ausgeht. In der vorgeschriebenen Prüfzeit von 15 Minuten (DIN EN 1917) bei Prüfung im Werk oder 30 Minuten (DIN EN 1610) bei der Prüfung auf der Baustelle, im verbauten Zustand, wird dann die Wasserzugabemenge gemessen, die benötigt wird, um den Prüfdruck aufrecht zu halten beziehungsweise kann bei der Prüfung nach DIN EN 1610 die Höhe der Wassersäule gemessen werden. Laut der DIN 4034-1 darf dabei die Wasserzugabe für erdverlegte Betonfertigteilerschächte im Mittel $0,07 \text{ l/m}^2$ der benetzten Innenfläche bei einer Prüfung von 15 Minuten und entsprechend der DIN EN 1610 nicht mehr als 0,40

l/m² bei einer Prüfungsdauer von 30 Minuten überschritten werden. Die zulässigen Wasserzugabemengen werden durch die Quadratmeter der benetzten Innenfläche der Rohrwand bzw. Schachtwand bestimmt. Beim Kreisprofil wird dies errechnet mit der Formel:

$$DN / 1.000 \times \pi \times L \quad [\text{m}^2]$$

Bei einem Schacht mit einem Durchmesser von 1.000 mm und einer Höhe von 3 Metern ergibt sich die benetzte Innenfläche zu:

$$1.000 / 1.000 \times \pi \times 3 = \underline{9,43 \text{ m}^2}$$

Bezieht man diese Fläche auf die erlaubte Wasserzugabemenge von 0,40 l/m² ergibt sich:

$$9,43 \text{ m}^2 \times 0,04 \text{ l/m}^2 = \underline{3,77 \text{ l}}$$

Betonschächte mit einer Höhe von 3 Metern dürfen, in einem Zeitraum von 30 Minuten, also annähernd 4 Liter Wasser aufnehmen beziehungsweise durchlassen. Der Schacht wird erst als „undicht“ deklariert, wenn diese Kriterien nicht eingehalten werden. Wenn sich während der Prüfung auf der Betonaußenfläche feuchte Flecken bilden oder einzelne Tropfen entstehen, nimmt dies keinen Einfluss auf die Dichtheit der Schächte.

Werden nicht einzelne Bauteile, sondern Verbindungen geprüft, muss dies nach DIN EN 1917 geschehen. Hierbei werden zwei Bauteile in eine Prüfeinrichtung mit einer Dichtung oder einem Dichtmittel nach den Angaben der Werksunterlagen zusammengesetzt und an ihren Enden respektive Öffnungen verschlossen. Bei ständigen Messungen muss für die Erstprüfung an den Bauteilen die ungünstigste Kombination der zulässigen Maßtoleranzen gewählt werden. Beim Füllvorgang der Konstruktion mit Wasser müssen diese sorgfältig entlüftet werden, um keine verfälschten Messergebnisse zu erhalten. Der Prüfdruck beträgt 0,3 bar bei Bauteilen von Kontrollschächten und 0,5 bar bei Bauteilen von Einstiegsschächten. Dieser Druck

ist über die Prüfdauer von 15 Minuten aufrechtzuerhalten. Während der Prüfung muss kontrolliert werden, ob Wasser aus dem Schacht austritt, wobei an der Oberfläche haftende Feuchtigkeit nicht als Undichtigkeit gilt. Anschließend kann der Innendruck auf null reduziert werden.

9.3. Bewertender Vergleich

Vergleicht man die unterschiedlichen Prüfungen für Beton- und Kunststoffschächte, ergeben sich kleine Unterschiede, die sich jedoch entscheidend auf die Anforderungen der zu erbringenden Dichtheit auswirken. Zum einen ist hierbei die Wasserzugabemenge, die sich auf die benetzte Innenfläche des Schachtes bezieht, bei der Prüfung von Betonschächten zu beachten. Begründet wird diese Zugabemenge durch die Tatsache, dass der Beton ein Werkstoff ist, der im Rahmen der Wasserdiffusion als wasserdurchlässig bezeichnet werden kann respektive Wasseraufnahmefähig ist. Laut der DIN EN 1610 sind Wasserzugabemengen von bis zu $0,40 \text{ l/m}^2$ für Schächte und Inspektionsöffnungen zulässig. Laut den einzuhaltenden Normungen der DIN 4034-1 Abschnitt 3.5 dürfen während der Prüfung feuchte Flecken oder Wassertropfen auf der Außenfläche des Werkstoffes auftreten. Dies wird in *Abbildung 9-D* aufgezeigt.



Abbildung 9-D: Austrittendes Wasser bei der Prüfung

Hierdurch können, wie in der Beispielrechnung aufgezeigt, mehrere Liter des Abwassers in die angrenzenden Böden und das Grundwasser gelangen. Hier bleibt offen, ob man solche Systeme als dicht deklarieren kann. Bei Kunststoffschächten,

beispielsweise Polyesterharzformstoffe in Verbindung mit der DIN EN 14636-2, ist im Prüfungsablauf klar definiert, dass keinerlei Anzeichen für Undichtigkeit oder Durchsickern an den Verbindungen oder den Bauteilen auftreten dürfen. Der Wasseraustritt bei Betonschächten wird als zulässig gewertet, obwohl sich die Prüfung nur über einen Zeitraum von 15 beziehungsweise 30 Minuten erstreckt. Bei intensiven Niederschlagsereignissen können die Schachtbauwerke länger als 15 Minuten diesen Bedingungen ausgesetzt sein. Welche Menge an belastetem Wasser dann durch die Schachtwände dringt, kann nicht abgeschätzt werden, zumal sich die Belastungssituation des Schachtes bei der Prüfung und in der Realität differenzieren.

Hier wird der zweite kritische Punkt maßgebend, die Einspannung der Betonschächte mittels Druckausübung. Die Schächte werden auf der Baustelle nach DIN EN 1610 bis knapp unter die Oberkante des Konus mit Wasser gefüllt und nach 30 Minuten wird der Wasserverlust gemessen.



Abbildung 9-E: Prüfung Betonschacht auf der Baustelle

Erfahrungen des IKT und der Stadtentwässerung Braunschweig haben gezeigt, dass die Ergebnisse bei Betonschächten alarmierend sind. Annähernd die Hälfte der geprüften Schächte ist undicht. Um die Undichtigkeiten lokalisieren zu können wurde mit der sehr aufwendigen Freilegung der betroffenen Schächte begonnen. Da dies jedoch oft

zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis gekommen ist, werden neue Schachtbauwerke nur noch bei offener Baugrube geprüft. Durch diesen Umstand führte das IKT daraufhin Dichtheitsprüfungen im Labor durch. Diese wurden nach FBS-Qualitätsrichtlinien – Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. – und der DIN 4034 durchgeführt. Im Gegensatz zur Baustellenprüfung wurde bei diesen Prüfungen mit Wasserdruck von 0,5 bar bis 1 bar geprüft. Um die dabei entstehenden Auftriebskräfte in Form von Auseinanderdrücken der Bauteile kontrollieren zu können, wurden die Prüfkörper unter massiven Querriegeln vorgespannt und anschließend verkeilt (*Abbildung 9-F*).



Abbildung 9-F: Prüfung beim IKT

Auch bei diesen Prüfungen kam es aufgrund von Wasseraustritt zu keinen akzeptablen Ergebnissen. Zu denselben Erkenntnissen bezüglich der Schachtverbindungen sind auch die Stadtentwässerungswerke Witten gekommen. Dies wird auch von Baufirmen und Herstellern von Schachtbauteilen und Dichtungsmitteln bestätigt, da es diese Stellen betreffend öfter Reklamationen von Auftraggebern gibt. Deswegen prüfen die Hersteller ihre Schächte bereits im Werk auf Dichtheit. Diese Prüfungen wurden bei Besuchen von Betonwerken durch das IKT begutachtet. Hierbei stellten die Mitarbeiter fest, dass bei den Werksprüfungen von Betonschächten Kettenzüge und Druckzylinder eingesetzt werden und somit hohe Vorspannkräfte in das zu prüfende System

eingeleitet werden. Dies ermöglicht bei Wasseraustritt im Verbindungsbereich, die Vorspannkkräfte so lange zu erhöhen, bis kein Wasser mehr austritt und das Bauwerk „dicht“ ist.



Abbildung 9-G: Prüfung der Betonschächte beim Hersteller

Eine solche Prüfung senkt die Prüfanforderungen der Schachtverbindung so herab, dass am Ende nicht die Wasserdichtheit der Betonschächte als Bauteil, sondern des Betons als Werkstoff geprüft wird. In den Normen werden die Vorspannkkräfte für die Prüfung auf Dichtheit nicht geregelt. Hier müssten die Normen mit sachgemäßen Hinweisen respektive Vorschriften nachgebessert werden, um die Realitätsnähe der Prüfungen zu gewährleisten. Denn verbaute Schächte werden zu großen Teilen nur mit ihrem Eigengewicht und minimalen Erdlasten dauerhaft belastet [30].

Probleme die bei Kunststoffschächten auftreten können, werden in Bezug auf die Prüfung mit Luft erzeugt. Wenn die Schächte mit Hilfe der Unterdruckprüfung geprüft werden kann dies zu Einbeulungen der Schachtwände führen. Diese Prüfung soll im Allgemeinen die Anforderungen an Schächte in der Praxis, in Bezug auf anstehendes

Grundwasser, wiedergeben. Um ein Einbeulen der Kunststoffschächte zu verhindern, durchlaufen die Systeme vor der Markteinführung Tests, die vom DIBT ausgeführt werden. Bei positivem Verlauf der Prüfungen erhalten die Hersteller Zertifikate, die den Nachweis gegen Einbeulen erbringen.

Für einen besseren Vergleich der Systeme aus Kunststoff und Beton sollten die Normen so angepasst werden, dass die Bedingungen und Anforderungen für alle Werkstoffe gleich sind. Hierdurch ließen sich Vor- und Nachteile der jeweiligen Systeme klarer erkennen und die Auswahl des wirtschaftlicheren Systems einfacher gestalten. Ergänzend hierzu sollten die Normen das Thema Schächte einzeln behandeln und nicht, wie es in den meisten Normen der Fall ist, analog zu den Rohren ihre Anforderungen stellen. Denn passende Vorgaben zu formulieren, die die Bedingungen für Rohre und Schächte gleichermaßen abdecken, gestaltet sich schwierig.

10. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit von Kunststoffschächten gegenüber Betonschächten lässt sich schwer beurteilen, da sich hier ein großes Themenfeld ergibt und es von vielen Seiten betrachtet werden kann. Eine komplette Analyse und Gegenüberstellung der beiden Systeme mit ihren wirtschaftlichen Vor- und Nachteilen würde über das Pensum dieser Abschlussarbeit hinausgehen. Hier würde sich die Ausarbeitung einer eigenen wissenschaftlichen Arbeit empfehlen, um eine detaillierte Betrachtung der Wirtschaftlichkeit zu gewinnen. In den folgenden Unterkapiteln wird aus diesem Grund eine kurze Übersicht über relevante Themengebiete und deren Betrachtungsweisen gegeben.

10.1. Herstellung und Transport

Vergleicht man die Herstellungsverfahren von Beton und den jeweiligen Kunststoffen lassen sich nur marginale Vorteile der Kunststoffproduktion erkennen. Die bei den Herstellungsverfahren von Kunststoff-Formteilen anfallenden Abfälle können erneut eingeschmolzen und somit wiederverwertet werden, ausgenommen sind glasfaserverstärkte Kunststoffe. Bei Abfällen in der Betonindustrie können diese zwar zu Betonsplitt oder –sand weiterverarbeitet werden, die Wiederverwertung des Werkstoffes „Beton“ gestaltet sich jedoch aufwendiger als bei Kunststoffen.

Beim Thema Transport spielen mehrere Einflussfaktoren eine Rolle. Entscheidend sind das Gewicht, Frachtraumeinnahmen beziehungsweise die Verstaumöglichkeiten, wobei mögliche Lagerungsvarianten eine Rolle spielen, und das Handling der Endprodukte. Kunststoffschächte sind um ein Vielfaches leichter als Schachtsysteme aus Beton. Hierdurch entstehen auch Vorteile beim Transport. Bei Betonschächten besteht durch das hohe Eigengewicht das Risiko, dass beim Transport kleine Schäden, wie Abplatzungen oder Risse, verursacht werden. Daraus resultieren weitere Einschränkungen, wie zum Beispiel die beschränkte Stapelbarkeit der Einzelteile.

Ein anderer Aspekt beim Transport ist der Lieferweg. Bezieht man hier die günstigen Standardschächte aus Beton in den Vergleich mit Kunststoffschächten ein, so sind diese klar im Vorteil. Grund ist die Anzahl an Betonwerken, die solche Standardschächte anbieten. Hierdurch verkürzen sich die Transportwege und –kosten,

sodass dementsprechend die CO₂-Emissionen verringert werden. Vergleicht man jedoch einen Schacht mit gleichwertigen Eigenschaften, verringert sich dieser Vorteil. Es gibt zwar insgesamt mehr Firmen die Betonfertigteilschächte herstellen als Kunststoffschachthersteller, jedoch ist der Unterschied bei gleichwertigen Schachtsystemen wesentlich geringer.

10.2. Einbau und Kosten

Der Einbau kann aus verschiedenen Sichtweisen betrachtet werden. Für den Verbau von Schächten muss zunächst die Baugrube ausgehoben werden. Hierfür ist immer ein Bagger nötig, der die Baugrube anschließend auch wieder mit dem Aushub verfüllt. Bei dem darauf folgenden Arbeitsschritt lässt sich nun zwischen Beton- und Kunststoffschächten differenzieren. Betonschächte können, im Gegensatz zu Kunststoffschächten, durch ihr hohes Eigengewicht nicht von Hand verbaut werden. Hier müssen die einzelnen Schachtformteile also mit Hilfe des Baggers angehoben und vorsichtig in die Baugrube abgelassen werden. Bei Kunststoffschächten könnten die Bauteile von einem beziehungsweise zwei Mitarbeitern der Baufirma per Hand bis zur Baugrube transportiert und verbaut werden. Zusätzlich zu beachten sind die Risiken, die durch die Schadensanfälligkeit, resultierend aus dem hohen Eigengewicht der Betonfertigteile, beim Verbau mit dem Bagger entstehen.

Betrachtet man die Kosten, verhält sich der Vergleich ähnlich dem der CO₂-Emissionen bezogen auf die Länge der Transportwege. Die Standard-Betonfertigteilschächte kosten schätzungsweise um die Hälfte weniger als Kunststoffschächte. Werden aber gleichwertige Produkte miteinander verglichen, befinden sich beide Systeme annähernd auf dem selben Niveau. Nach den Anschaffungskosten werden dann die laufenden Kosten in Verbindung mit den Abschreibungswerten beziehungsweise der Lebensdauer entscheidend. Die Lebensdauer von Schächten wird von den Schachtherstellern angegeben. Für Beton- und Kunststoffschächte werden ungefähr 80 Jahre als Lebensdauer angesetzt. Bei den laufenden Kosten sind die Kunststoffschächte durch ihren Lastabtrag und die bessere chemische Beständigkeit im Vorteil. Betonschächte weisen immer wieder Abplatzung, Risse und Undichtigkeiten auf, da sie durch die Verkehrslasten und das Abwasser stark beeinflusst werden.

Kunststoffschächte werden nur gering von diesen Faktoren betroffen, da der Lastabtrag zum größten Teil über den umgebenden Straßenaufbau stattfindet oder direkt selbstnivellierende Schachtabdeckungen eingesetzt werden und sie eine bessere chemische Beständigkeit aufweisen. Kosten für Nacharbeiten fallen deswegen geringer aus als bei Betonschächten. Diese müssen teilweise aufwändig saniert werden, beispielsweise durch kostenintensive Beschichtung der Innenwände. Die selbstnivellierenden Schachtabdeckungen verursachen zwar höhere Anschaffungskosten, rechnen sich aber über die Jahre, da Nacharbeiten aufgrund von Setzungen entfallen. Weiterer Vorteil dieser Variante ist, dass bei einer Straßendeckenerneuerung und der dabei auszuführenden Abfräsung der alten Straßendecke, nicht um die Schächte herumgefahren werden muss, sondern die Abdeckungen einfach entfernt werden können.

11. Beurteilung und Handlungsempfehlung

In diesem Kapitel werden zunächst nochmal alle vorher aufgezeigten Sachverhalte dargestellt, anschließend bewertet und ein Ausblick formuliert. Des Weiteren wird die Problematik, mit der Komplexität der Aufgabenstellung, erläutert und eine Handlungsempfehlung abgegeben.

11.1. Reflektion und Bewertung der Sachverhalte

Kunststoffschächte besitzen nur einen geringen Marktanteil in Deutschland. Die Gründe hierfür sind mangelnde Informationen und unwirtschaftliches Kalkulieren beziehungsweise falsche Abschätzungen bei Investitionen. Viele Kommunen vergleichen vor dem Bau von neuen Schachtbauwerken für das Kanalnetz die verschiedenen Kunststoff- und Betonschächte. Die vorliegenden Informationen zeigen dabei Möglichkeiten und Referenzen der unterschiedlichen Systeme auf. Prinzipiell gibt es hier auf beiden Seiten Systeme, mit nahezu identischen Eigenschaften. Am Ende ist aber oft der Preis entscheidend, wobei hierdurch die Wahl auf den „Standardschacht“ aus Beton fällt, den fast alle Betonwerke liefern können. Das dieser jedoch nicht annähernd die Anforderungen der teureren Schächte erfüllt, wird hierbei außer Acht gelassen beziehungsweise vernachlässigt. Diese Rechnung geht jedoch über die Zeit gesehen nicht auf. Offiziell gelten 12 % der Schächte als undicht, wobei die Zahl in den nächsten Jahren wahrscheinlich noch steigen wird. Die Sanierung der Schächte beläuft sich auf ungefähr 3.500 Euro pro Schacht und zusätzlich zu beachten ist, dass die Nutzungsdauer eines sanierten Schachtes nur um wenige Jahre verlängert wird. Denn die Statik von verbauten Schachtsystemen lässt sich, durch entsprechende Maßnahmen, nur schwer verbessern. Eine wichtige Rolle, betrachtet man die Schachtsysteme von ihrer Abdeckung bis zum Schachtboden, spielt hierbei der Lastabtrag der Schächte. Entkoppelte Systeme verursachen zwar höhere Anschaffungskosten, doch gerade auf vielbefahrenen Straßen rentiert sie sich innerhalb weniger Jahre. Die Vorteile beginnen mit der ruckelfreien und somit geräuschärmeren Befahrung der Straße und enden mit der Entlastung der Schächte. Hierdurch können Schäden und folglich Undichtigkeiten, sowie Setzungen vermieden werden. Unter den Abdeckungen folgt der Schacht, der wenn er aus Kunststoff

hergestellt ist, Vorteile im Bereich der chemischen Resistenz und des Korrosionsverhaltens aufweist. Nicht ohne Grund werden Betonschächte mit Kunststoffgerinnen versehen. Diese Gerinne aus Kunststoffen werden mittlerweile in einer Vielzahl von Schächten eingesetzt, da sie, in Bezug auf Hydraulik, Abrasion und Beständigkeit, bessere Werte als Betongerinne erzielen. Doch das Gerinne kann nicht vor Ausgasungen aus den Abwässern schützen, wodurch die Zersetzung von Beton und den Steigeisen hervorgerufen werden kann. Hier spielt auch der Faktor Sicherheit eine Rolle. Beginnen die Steigeisen zu korrodieren, ist die Sicherheit des Wartungs- und Kontrollpersonals nicht mehr gewährleistet. Aus diesem Grund werden Betonschächte infolge von Sanierungsarbeiten zum Beispiel komplett mit Kunststoffen ausgespritzt, um diese gegen chemische Angriffe zu schützen und die Dichtheit zu verbessern. Das umfangreiche Thema „Dichtheit“ und die dazugehörigen Prüfungen werden in den Normen nicht detailliert genug beschrieben und ermöglichen Systemen mit Mängeln, hierdurch ein Bestehen der Prüfanforderungen. Schächte sollten geprüft werden, indem nur ihr Eigengewicht auf ihnen lastet, da so realitätsnahe Bedingungen geschaffen werden. Dass die abgedichteten Systeme während der Prüfung gegen ein Auseinanderdrücken der Bauteile gesichert werden müssen, ist in Bezug auf den Schutz des Personals, von großer Relevanz. Dieser Sachverhalt wird in den zugehörigen Normen nicht behandelt, sodass keine konkreten Anforderungen, für die Sicherung der Systeme während der Prüfung, bestehen. Diese Lücke in den Normen wird jedoch von einigen Herstellern ausgenutzt, um ihre Schachtbauwerke während der Dichtheitsprüfung mit Vorrichtungen zu verspannen. Durch die hohen einwirkenden Kräfte, werden die einzelnen Schachtbauteile in dem Maße zusammengedrückt, dass diese zwangsläufig dicht werden. Hierdurch ist es auch für Schächte mit hohen Maßtoleranzen möglich, bei einer Verspannung der Bauteile, ein dichtes System zu erreichen. Da Beton ein Werkstoff ist, bei dem es während des Aushärtungsprozesses zu Schwindungen kommen kann, müssen in den Normen gewisse Maßtoleranzen erlaubt sein. Um hohe Maßunterschiede, bezogen auf die einzelnen Bauteilen, zu vermeiden, müsste in den jeweiligen Normen festgelegt werden, wie groß die Unterschiede der Einzelmaße maximal sein dürfen. Durch die erhöhte Maßhaltigkeit der Einzelteile von modularen Schachtbauwerken aus Beton, würden die Schächte und somit auch das Kanalnetz an Dichtheit gewinnen. Auf diesen Sachverhalt sollten sich

die jeweiligen Normen detaillierter beziehen und klare Vorgaben formulieren. Nur so kann ein direkter Vergleich der Schachtsysteme aus Kunststoff und Beton, in Bezug auf die Dichtheit, erfolgen.

11.1. Problematik und Handlungsempfehlung

Die Problematik dieser Abschlussarbeit lag darin, den Umfang der Aufgabenstellung abzudecken. Die Arbeit beinhaltet viele Themengebiete, für deren ausführliche Erläuterung es möglich wäre, eigene Abschlussarbeiten zu verfassen. Um hier dennoch einen qualitativen Einblick der Sachverhalte geben zu können, mussten die Themen ausführlich recherchiert und strukturiert werden. Hierdurch konnten die Informationen klar gegliedert und die wichtigsten respektive informativsten Gesichtspunkte, der jeweiligen Themengebiete, dargestellt werden. Diese Vorgehensweise ließ sich beispielsweise bei den Herstellungsverfahren oder den Rohstoffen gut umsetzen. Problematischer waren die Themen Lastabtrag, Dichtheitsprüfung und Normen. Hier reicht der Umfang einer einzelnen Abschlussarbeit nicht aus, um diese komplexen Themen in ihren Einzelheiten ausgiebig zu erläutern. Aus diesem Grund stellt diese Bachelorarbeit einen Einstieg in das umfangreiche Thema Kunststoffschächte dar und zeigt Vor-, wie auch Nachteile des Werkstoffes, der Konstruktionen, Prüfungen und Normen auf. Bei den meisten Themengebieten wurden Betonschächte vergleichend mit einbezogen, da diese in direkter Konkurrenz zu den Kunststoffschächten stehen. Dieses Konkurrenzverhalten am Markt stellt sich bei Kanalrohren in gleicher Weise dar. Als vor ungefähr 30 Jahren Kunststoffrohre am Markt angeboten wurden, waren die Vorurteile bezüglich des neuen Werkstoffes vergleichbar mit den heutigen in Bezug auf die Kunststoffschächte. Damals gingen nur die wenigsten Experten davon aus, dass sich Kunststoffrohre etablieren würden. Die Gründe gleichen ebenfalls denen, die heute gegen den Einsatz von Schächten aus Kunststoff angegeben werden. Um diesen unbegründeten Vorurteilen, die aus mangelnden Informationen über das Thema resultieren, entgegenzuwirken, sollte unter anderem diese Bachelorarbeit geschrieben werden. Kunststoffschächte besitzen viele Vorteile und können den gleichen, in den meisten Fällen sogar höheren, Anforderungen wie Betonschächte gerecht werden. In der

Aufklärungsarbeit und Informationsverbreitung liegt deswegen die größte Aufgabe der Kunststoffschächthersteller. Um Marktanteile zu gewinnen, müssen sie ein Umdenken, ähnlich dem bei den Rohrwerkstoffen, bei Städten, Planern und Ausführenden erreichen. Dies kann sich noch über Jahre hinziehen, jedoch sollte sich Systeme mit klaren Vorteilen, in die Zukunft blickend, etablieren können. Der Kunststoffrohrverband wird hierzu einen entscheidenden Beitrag in Bezug auf Publikationen und Aufklärungsarbeit leisten und leisten müssen, damit Kunststoffschächte eine höhere Akzeptanz finden.

12. Literaturverzeichnis

- [1] Kunststoffrohrverband e.V. Bonn: Kunststoffrohrsysteme in der Abwassertechnik, Vulkan-Verlag Essen 2003, S.16
- [2] Dipl. Ing. FH Hans-Ulrich Gränicher, IPG Gränischer AG:
Bericht: Verdrängen die Kunststoffschächte den traditionellen Betonschacht?
Weblink: <http://www.graenicher.ch/Kunststoffschacht%20GWA%202010.pdf>
Stand: 20.09.2011
- [3] Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt: Abwasserableitung - Bemessungsgrundlagen, Regenwasserbewirtschaftung, Fremdwasser, Netzsanierung, Grundstücksentwässerung
Verlag der Bauhaus-Universität Weimar, 2. Auflage (Dez. 2009), in fachlicher Kooperation mit der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Kap. 1.6.3, Seite 66 ff
- [4] Kunststoffrohrverband e.V. Bonn: Kunststoffrohrsysteme in der Abwassertechnik, Vulkan-Verlag Essen 2003, Seite 8/9
- [5] DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.:
Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009
- [6] IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, gemeinnützige GmbH, Dipl. Ing. René Puhl: Handbuch Schacht 2007, Seite 8
- [7] DIN 4034-1: Schächte aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen
Schächte für erdverlegte Abwasserkanäle und –leitungen
Maße, Technische Lieferbedingungen, September 1993

- [8]** DIN 19565-5: Rohre, Formstücke und Schächte aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (UP-GF) für erdverlegte Abwasserkanäle und –leitungen
Maße, Technische Lieferbedingungen, November 1990
- [9]** DIN EN 14830: Böden von Kontroll- und Einsteigschächten aus thermoplastischen Kunststoffen – Prüfverfahren für die Widerstandsfähigkeit gegen Einbeulen, Januar 2007
- [10]** DIN EN 14802: Kunststoff-Rohrleitungssysteme – Kontrollschächte (Inspektionsöffnungen) und Einsteigschächte aus Thermoplasten – Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen Belastungen der Oberfläche und Verkehrslasten, März 2006
- [11]** Kunststoffrohrverband e.V. Bonn: KRV-Arbeitskreis, Gespräch vom 14.09.2011
- [12]** DIN EN 1917: Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton, April 2003
- [13]** Schwarz / Ebeling: Kunststoffkunde, Vogel Buchverlag, 7. Auflage, Seite 23-25
- [14]** Schwarz / Ebeling: Kunststoffkunde, Vogel Buchverlag, 7. Auflage, Seite 26-30
- [15]** Schwarz / Ebeling: Kunststoffkunde, Vogel Buchverlag, 7. Auflage, Seite 32
- [16]** Weblink: <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Abwasser.html>
Stand: 15.09.2011
- [17]** Kunststoffrohrverband e.V. Bonn: Kunststoffrohr Handbuch, 4. Auflage, Vulkan-Verlag Essen 2000, Seite 482/483
- [18]** Prof. Dr.-Ing. Stein: Gutachtliche Stellungnahme – Kunststoffrohre in der Abwassertechnik, Bochum, Februar 1994

- [19]** Umgang mit Korrosion in Freispiegel-Abwasserkanälen, Dipl.-Ing. Christoph Pöllmann, M. Eng., Frankfurt am Main
Weblink: [http://pci-group.de/fileadmin/user_upload/
Umgang_mit_Korrosion_in_Freispiegel-Abwasserkanaelen_01.pdf](http://pci-group.de/fileadmin/user_upload/Umgang_mit_Korrosion_in_Freispiegel-Abwasserkanaelen_01.pdf)
Stand: 28.09.2011
- [20]** Spannungsrisskorrosion bei Kunststoffen – Ursachen und Strategien zur Vermeidung, Michael Rudschuck, DKI, Darmstadt
Weblink: http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/JT0502.pdf
Stand: 05.10.2011
- [21]** Kunststoffrohrverband e.V. Bonn: Kunststoffrohr Handbuch, 4. Auflage, Vulkan-Verlag Essen 2000, Seite 94 ff
- [22]** Friedrich Johannaber, Walter Michaeli: Handbuch Spritzgießen, Carl Hanser Verlag München 2004, Seite 416/417
- [23]** Rotationsformen von Kunststoffbauteilen
Weblink: <http://www.gruetterag.ch/smmx.pdf>
Stand: 22.09.2011
- [24]** Prospekt Amitech: Flowtite Rohrsysteme, Trinkwasser
- [25]** Schachtbau – Individualisierte Produktion
Weblink: <http://beton-heller.de/files/rohrbaujournal.pdf>
Stand: 21.09.2011
- [26]** Schachtabdeckungen
Weblink: [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/
Haustechnik_Schachtabdeckungen_160266.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Haustechnik_Schachtabdeckungen_160266.html)
Stand: 15.09.2011

- [27]** IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Bericht:
Eignungsprüfung von Verfahren zur Sanierung von Schachtabdeckungen,
November 2002
- [28]** Aco Drain Passavant GmbH, Dipl.-Ing. Alfred Fuchs: Neue technische Lösung
zum Entkoppeln von Schacht und Schachtabdeckung
- [29]** Arbeitsblatt DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen
und –kanälen, Dezember 2009
- [30]** IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Bericht:
Neubau: Abwasserschächte häufig schon bei Bauabnahme undicht
Weblink: <http://www.ikt.de/printversion.php?doc=108>
Stand: 06.10.2011

13. Quellenverzeichnis der Abbildungen

- Abbildung 4 A:** http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/d/dc/Pincerno_-_William_Lindley_1879_II.jpg
- Abbildung 4 B:** DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009
- Abbildung 4 C:** DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009
- Abbildung 5 A:** Prospekt Pipelife: Schachtsysteme M800 und M1000
- Abbildung 5 B:** CD Wavin – Tiefbau, Technische Infos auf CD
- Abbildung 5 C:** CD Wavin – Tiefbau, Technische Infos auf CD
- Abbildung 5 D:** Prospekt: SIMONA PE Eiprofil-Rohrsysteme: Für stark schwankende Abwassermengen
- Abbildung 5 E:** Firma Amitech – CD
- Abbildung 5 F:** Firma Amitech – CD
- Abbildung 5 G:** Firma Amitech – CD
- Abbildung 5 H:** DIN EN 1917: Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton, April 2003

- Abbildung 5 I:** DIN 4034-1: Schächte aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen
Schächte für erdverlegte Abwasserkanäle und –leitungen
Maße, Technische Lieferbedingungen, September 1993
- Abbildung 5 J:** Prospekt Pipelife: Drainage-Rohre
- Abbildung 6 A:** Schwarz / Ebeling: Kunststoffkunde, Vogel Buchverlag, 7.
Auflage, Seite 23
- Abbildung 6 B:** Schwarz / Ebeling: Kunststoffkunde, Vogel Buchverlag, 7.
Auflage, Seite 24/25
- Abbildung 6 C:** Schwarz / Ebeling: Kunststoffkunde, Vogel Buchverlag, 7.
Auflage, Seite 26
- Abbildung 6 D:** Schwarz / Ebeling: Kunststoffkunde, Vogel Buchverlag, 7.
Auflage, Seite 27
- Abbildung 6 E:** Schwarz / Ebeling: Kunststoffkunde, Vogel Buchverlag, 7.
Auflage, Seite 27
- Abbildung 6 F:** Schwarz / Ebeling: Kunststoffkunde, Vogel Buchverlag, 7.
Auflage, Seite 29
- Abbildung 6 G:** [http://www.wipo.krv.de/images/stories/images/
Grundwissen/Klassifizierung/Bild3-2.png](http://www.wipo.krv.de/images/stories/images/Grundwissen/Klassifizierung/Bild3-2.png)
- Abbildung 6 H:** [http://www.wipo.krv.de/images/stories/images/
Grundwissen/Klassifizierung/Bild3-1.png](http://www.wipo.krv.de/images/stories/images/Grundwissen/Klassifizierung/Bild3-1.png)
- Abbildung 6 I:** [http://www.wipo.krv.de/images/stories/images/
Grundwissen/Klassifizierung/Bild3-3.png](http://www.wipo.krv.de/images/stories/images/Grundwissen/Klassifizierung/Bild3-3.png)

- Abbildung 6 J:** http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/polyurethane/elastomer_struktur.gif
- Abbildung 6 K:** Prospekt Wavin: Ultra Rib 2
- Abbildung 6 L:** Spannungsrissskorrosion bei Kunststoffen – Ursachen und Strategien zur Vermeidung, Michael Rudschuck, DKI, Darmstadt
Weblink: http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/JT0502.pdf
Stand: 05.10.2011
- Abbildung 6 M:** Spannungsrissskorrosion bei Kunststoffen – Ursachen und Strategien zur Vermeidung, Michael Rudschuck, DKI, Darmstadt
Weblink: http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/JT0502.pdf
Stand: 05.10.2011
- Abbildung 7 A:** <http://www.fenster-wiki.de/images/a/a3/Spritzgiessen.gif>
- Abbildung 7 B:** <http://www.biowerkstoffe.info/fileadmin/baw/images/Biokunststoffe/Spritzguss061004-s22.jpg>
- Abbildung 7 C:** http://kleinklaeranlage.com/images/content/Picobells_KI%c3%a4rbeh%c3%a4lter.jpg
- Abbildung 7 D:** Prospekt Amitech: Flowtite Rohrsysteme, Trinkwasser
- Abbildung 7 E:** Prospekt Amitech: Flowtite Rohrsysteme, Trinkwasser
- Abbildung 7 F:** Schachtbau – Individualisierte Produktion
Weblink: <http://beton-heller.de/files/rohrbaujournal.pdf>
Stand: 21.09.2011

- Abbildung 7 G:** <http://www.bfs-casagrande.de/ted/products/atlantic.html>
- Abbildung 7 H:** IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Bericht:
Eignungsprüfung von Verfahren zur Sanierung von Schachtabdeckungen, November 2002
- Abbildung 7 I:** IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Bericht:
Eignungsprüfung von Verfahren zur Sanierung von Schachtabdeckungen, November 2002
- Abbildung 7 J:** IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Bericht:
Eignungsprüfung von Verfahren zur Sanierung von Schachtabdeckungen, November 2002
- Abbildung 7 K:** Aco Drain Passavant GmbH, Dipl.-Ing. Alfred Fuchs: Neue technische Lösung zum Entkoppeln von Schacht und Schachtabdeckung
- Abbildung 7 L:** http://www.maincor.de/downloads/mca_techinfo_mss1000.pdf
- Abbildung 7 M:** <http://www.boehmtec.com/images/products/sub/119/1.jpg>
- Abbildung 8 A:** DIN 4034-1: Schächte aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen
Schächte für erdverlegte Abwasserkanäle und –leitungen
Maße, Technische Lieferbedingungen, September 1993
- Abbildung 9 A:** DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und- kanälen, Oktober 1997

Abbildung 9 B: DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und-kanälen, Oktober 1997

Abbildung 9 C: Arbeitsblatt DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen, Dezember 2009

Abbildung 9 D: IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Bericht:
Neubau: Abwasserschächte häufig schon bei Bauabnahme undicht
Weblink: <http://www.ikt.de/printversion.php?doc=108>
Stand: 06.10.2011

Abbildung 9 E: IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Bericht:
Neubau: Abwasserschächte häufig schon bei Bauabnahme undicht
Weblink: <http://www.ikt.de/printversion.php?doc=108>
Stand: 06.10.2011

Abbildung 9 F: IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Bericht:
Neubau: Abwasserschächte häufig schon bei Bauabnahme undicht
Weblink: <http://www.ikt.de/printversion.php?doc=108>
Stand: 06.10.2011

Abbildung 9 G: IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur Bericht:
Neubau: Abwasserschächte häufig schon bei Bauabnahme undicht
Weblink: <http://www.ikt.de/printversion.php?doc=108>
Stand: 06.10.2011