



## **Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg**

Fakultät Life Sciences

Department Umwelttechnik

# Beurteilung der Trinkwassereignung von Schlauchlinern durch Untersuchung von Baustellenproben

Bachelorarbeit

Vorgelegt von

**Dennis Ladewig**

**Matrikelnummer: 2193261**

Hamburg, den 06.02.2018

**Gutachter:** Prof. Dr.-Ing. Jörn Einfeldt (HAW Hamburg)  
Dipl.-Ing. Andreas Haacker (Firma Siebert + Knipschild GmbH)

## **Abstract**

In dieser Bachelorarbeit wurde das Ziel verfolgt ein Prüfverfahren für Trinkwasserschlauchliner zu entwickeln. Da es sich bei Schlauchlinern um ein vor Ort hergestelltes Produkt handelt, können Systemeignungsnachweise die individuelle Prüfung der einzelnen Baumaßnahmen nicht ersetzen. Zum Vergleich wurden die gängigen Prüfverfahren von Schlauchlinerproben aus Abwasserleitungen aufgelistet. Anhand von Proben, die dem Trinkwasserliner auf der Baustelle entnommen werden, soll die Trinkwassereignung der Schlauchliner in Anlehnung an die KTW-Leitlinie bestätigt werden. Denkbar ist eine Prüfung die die Qualität der abgelaufenen Reaktion ermittelt. Eine Korrelation von mechanischen Werten und der Styrolkonzentration im Versuchswasser erweist sich als nicht geeignet, da die mechanischen Messungen einer zu hohen Streuung unterliegen und die Änderung der mechanischen Werte im Bereich der ausreichenden Aushärtung zu gering ausfällt. Damit ist eine mechanische Überprüfung der Trinkwassereignung nicht möglich. In dieser Arbeit wurde die Reststyrolanalyse mit einer Einzelstoffanalyse nach KTW-Leitlinie für Styrol korreliert. Zwischen der Menge an enthaltenem Reststyrol im Laminat und der Migration von Styrol im Versuchswasser wurde ein exponentieller Zusammenhang entdeckt.

## **Danksagung**

Bei der Bearbeitung dieser Bachelorarbeit wurde ich von einigen Menschen aus meinem Umfeld unterstützt. Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um mich bei Ihnen zu bedanken.

Allen voran möchte ich mich bei meinen Betreuern Prof. Dr.-Ing. Jörn Einfeldt und Dipl.-Ing. Andreas Haacker für die aufgebrauchte Zeit, die lehrreichen Einwände und die aufmunternden Worte bedanken.

Des Weiteren gilt mein Dank dem Unternehmen Siebert + Knipschildt GmbH für die Möglichkeit die Gerätschaften und Einrichtungen zu nutzen, um an dem bearbeitetem Thema zu forschen. Zusätzlich möchte ich mich bei dem Team für Ratschläge und die freundliche Aufnahme bedanken. Das geäußerte Interesse an meiner Bachelorarbeit hat mich stets motiviert.

Die Durchführung der Versuche wäre ohne den Spender des großzügig bemessenen Harzmaterials nicht möglich gewesen.

Zum Schluss möchte ich die Unterstützung aus meinem privaten Umfeld erwähnen. Ganz besonderer Dank gilt hierbei Jasmin, Kerstin und Marcel für das Gegenlesen meiner Texte und die motivierenden Worte beim Erstellen meiner Arbeit.

# Inhalt

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	I
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	II
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	III
1 Einführung .....	1
2 Zielsetzung .....	3
3 Technische Grundlagen .....	4
3.1 Schlauchlinersanierung .....	4
3.1.1 Typische Einsatzmöglichkeiten .....	4
3.1.2 Aufbau von Schlauchlinern .....	5
3.1.3 Einbauverfahren .....	7
3.2 Typische Zulassungsanforderungen für Schlauchliner .....	9
3.2.1 DWA-A 143-3 .....	9
3.2.2 DIN EN ISO 11296-4 .....	11
3.2.3 Zulassung durch das DIBt .....	13
3.3 Besonderheiten für den Einsatz im Trinkwasserbereich .....	16
3.4 Nachweis der Trinkwassereignung von Schlauchlinern .....	17
3.5 Die KTW-Leitlinie .....	18
3.5.1 Anforderungen der KTW-Leitlinie an die Produkte .....	18
3.5.2 Prüfungen der KTW-Leitlinie .....	20
4 Nachweis der Trinkwassereignung von Baustellenproben .....	24
4.1 Mögliche Prüfverfahren .....	25
4.2 Versuchsbeschreibung .....	25
4.2.1 Probekörper herstellen .....	26
4.2.2 Reststyrolanalyse .....	27
4.2.3 Migrationsversuch .....	29
4.2.4 Gaschromatographie .....	34
5 Versuchsdurchführung .....	35
5.1 Probekörper herstellen .....	35
5.2 Reststyrolanalyse .....	37

5.3 Migrationsversuch.....	37
6 Ergebnisse .....	40
6.1 Resultate der Reststyrolanalyse .....	40
6.2 Resultate der Migrationswässer.....	40
7 Bewertung.....	41
7.1 Reststyrolanalyse.....	41
7.2 Migrationsversuch.....	42
7.3 Korrelation der Messwerte.....	42
8 Zusammenfassung und Fazit .....	44
Quellenverzeichnis .....	46

## Abkürzungsverzeichnis

<b>ATP</b>	-	Adenosintriphosphat
<b>DIBt</b>	-	Deutsches Institut für Bautechnik
<b>DSC</b>	-	Dynamische Differenzkalorimetrie
<b>DWA</b>	-	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
<b>DWPLL</b>	-	Drinking Water Positive List Limit
<b>EFSA</b>	-	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
<b>EP</b>	-	Epoxidharz
<b>E-Modul</b>	-	Elastizitätsmodul
<b>FID</b>	-	Flammenionisationsdetektor
<b>GFK</b>	-	Glasfaserverstärkte Kunststoffe
<b>KTW-Leitlinie</b>	-	Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Materialien im Kontakt mit Trinkwasser
<b>O/V</b>	-	Oberflächen zu Volumen (Verhältnis)
<b>STP</b>	-	System-Prüfdruck
<b>TDI</b>	-	Tolerable Daily Intake
<b>UP</b>	-	Ungesättigtes Polyesterharz
<b>VE</b>	-	Vinylesterharz
<b>WHO</b>	-	World Health Organization

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau eines Schlauchliners	7
Abbildung 2: Aufbau eines Flammenionisationsdetektors	34
Abbildung 3: Probekörper mit zugehöriger Belichtungszeit im UV-Kanal	36
Abbildung 4: Probekörper mit ermittelter Barcolhärte nach einer Lagerungsdauer von fünf Minuten und 48 Stunden	36
Abbildung 5: Diagramm der Kalibriergrade Migrationswasser	39
Abbildung 6: Korrelation von Reststyrolgehalt und der maximal zu erwartenden Konzentration am Wasserhahn $c_{\text{Tap}}$ der ersten Migrationsperiode	43
Abbildung 7: Reststyrolgehalt in Verbindung zur Belichtungszeit	43

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Übersicht der verwendeten Harze in der Kanalsanierung	6
Tabelle 2:	Anforderungen der DWA-A 143-3 an einen Schlauchliner	10
Tabelle 3:	Anforderungen der DIN EN ISO 11296-4 an einen Schlauchliner	12-13
Tabelle 4:	Typische Prüfungsanforderung des DIBt	14-15
Tabelle 5:	Produktgruppen und Konversationsfaktoren aus der KTW-Leitlinie	22
Tabelle 6:	Mögliche Prüfverfahren für Beurteilung der Trinkwassertauglichkeit	25
Tabelle 7:	Zusammenfassung der Gaschromatographie-Parameter aus der DIN 53394-2	29
Tabelle 8:	Anforderungen an Versuchswasser	30
Tabelle 9:	Extraktionsvolumenverhältnisse nach DIN 38407-9	33
Tabelle 10:	Auswertung der Kalibrierlösungen	39
Tabelle 11:	Ergebnisse der Reststyrolanalyse	40
Tabelle 12:	Ergebnisse der Analyse von Migrationswässern mit dem Gaschromatographen	41

# 1 Einführung

Im Bundesgebiet Deutschland wurden im Jahr 2013 laut Statistischem Bundesamt 3,5 Milliarden Kubikmeter Trinkwasser über das Versorgungsnetz an Haushalte und Kleingewerbe verteilt und entnommen (Ulland 2016). Das Trinkwasserversorgungsnetz stellt mit einer Länge von 530.000 Kilometer (Statistisches Bundesamt 2015a) ein Grundpfeiler der Deutschen Infrastruktur dar. Die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit ist mit Instandhaltungsaufwand verbunden. Im Vordergrund steht der Leitsatz der Trinkwasserverordnung 2001, die Genusstauglichkeit und Reinheit des Mediums zu erhalten sowie die menschliche Gesundheit vor den Einflüssen aus Verunreinigung im Trinkwasser zu schützen (Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz 2017). Im Jahr 2013 waren 99,3 % (Statistisches Bundesamt 2015b) der Einwohner Deutschlands an das Trinkwassernetz angeschlossen. Ein weiterer Indikator für die Qualität des Deutschen Trinkwassernetzes ist ein Verlust von 7 % (Statistisches Bundesamt 2008) gemessen auf das Bruttowasseraufkommen von 4,7 Milliarden Kubikmeter, Stand 2004 (Statistisches Bundesamt 2017). Um diesen Zustand zu bewahren, sind technische Eingriffe in das Versorgungsnetz nötig. Die Verfahren reichen dabei von der Sanierung der vorhandenen Trinkwasserleitung bis zum kompletten Austausch von beschädigten Abschnitten. Eine Sanierungsmethode von besonderem Interesse ist die Schlauchlinersanierung. Die Schlauchlinersanierung einer bestehenden Druckleitung weist eine technische Nutzungsdauer von 50 Jahren (DWA 2014) auf. Bei der Sanierung von Leitungen durch einen Schlauchliner wird die bestehende Infrastruktur genutzt und angrenzende Strukturen, wie Bauten oberhalb der betreffenden Leitung, bleiben weitestgehend unberührt. Um den Sanierungsbedarf an Wasserversorgungsleitungen decken zu können, bieten Hersteller innovative Sanierungsmöglichkeiten an. Über die Sanierung von Wasserleitungen sind noch keine technischen Richtlinien verfügbar, die die korrekte Anwendung und die anschließende Überprüfung beschreiben, wie es für Schlauchliner in Freispiegelabwasserleitungen der Fall ist. Die Schlauchlinersanierung findet ihren Ursprung im Abwasserbereich und wurde 1983 das erste Mal im Bundesgebiet Deutschland in Hamburg angewandt (Aarslef Rohrsanierung 2011). Für diese Sanierung von Freispiegelleitungen gibt es Richtlinien und Normen, wie z.B. die DIN EN ISO 11296-4 oder die DWA-A 143-3. Für den Bereich der Trinkwasserleitungen, bei denen ausschließlich Druckrohre eingesetzt werden, fehlen diese Vorgaben. Diese Situation sorgt für eine Unsicherheit bei den Auftraggebern, da eine Ausschreibungsgrundlage fehlt. Um eine Aussage über die Trinkwassereignung der

verwendeten Produkte zu bekommen, besteht die Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Materialien im Kontakt mit Trinkwasser (KTW-Leitlinie), entworfen vom Umweltbundesamt (Umweltbundesamt 2016). Hierbei handelt es sich um eine Empfehlung zu Prüfverfahren, die eine Aussage über die Trinkwassereignung der verwendeten Materialien geben. Da es sich bei einem Schlauchliner nach DIN EN ISO 11296-4 um ein „vor Ort härtendes Schlauch-Lining-Rohrprodukt“ handelt, ist zu beachten, dass die Qualität des Schlauchliners von den Gegebenheiten der jeweiligen Maßnahme abhängig ist. Schwankungen in der Aushärtung des Liners könnten beispielsweise aus Verarbeitungsfehlern oder nachteiligen Einflüssen vor Ort entstehen. Die Prüfung in Anlehnung an die KTW-Leitlinie ist ein wichtiger Bestandteil einer möglichen Zulassung eines solchen Sanierungsverfahrens. Bei der Sanierung im Abwasserbereich gehört es zum Standard, Proben aus den vor Ort eingebrachten Schlauchlinern zu entnehmen und diese auf ihre Anforderungen hinsichtlich der Dichtheit, statischen Tragfähigkeit sowie Betriebssicherheit zu überprüfen (DWA 2014). Eine Prüfung nach KTW-Leitlinie sollte nicht zur Bewertung von Baustellenproben dienen, da diese als Langzeitprüfung zu zeit- und kostenaufwendig (Haacker 2017a; Umweltbundesamt 2016) ist, um eine Schlauchlinersanierung gegenüber der Erneuerung wettbewerbsfähig anbieten zu können. So ist zu erkennen, dass für die Aussage über den Sanierungserfolg bei Trinkwasserlinern weitere Prüfungen notwendig sind, die z.B. die Statik sowie die Qualität des Liners im Einzelfall bewerten. Bei einem ausreagierten Harzsystem im Kontakt mit Lebensmitteln sind die Belastungen durch die Monomere nicht nachweisbar, da hier der Großteil aller Monomere des Harzsystems miteinander verkettet sind und so langkettige und für den Menschen ungefährliche Polymere entstehen. Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) sind ebenso ein Verbund aus einem Trägermaterial (Glasfasern) und einem Reaktionsharz und finden unter anderem in der Lebensmittelindustrie Anwendung, beispielsweise als Speichertanks. Als Grundlage der folgenden Betrachtung dient der Aspekt, dass eine vollständige Reaktion niemals stattfindet, so dass Monomere-Reste in den Produkten verbleiben. Bei entstandenen Fehlern in der Aushärtung, wie Mischungsdefizite oder Ungenauigkeiten in der Zusammensetzung, fällt die Menge an Restmonomeren dem Fehler entsprechend höher aus. Monomere haben aufgrund ihrer geringen Molekülgröße den Nachteil, dass sie diffusionsfähig sind und somit in das anliegende Trinkwasser gelangen können.

Die verwendeten Monomere in der Schlauchlinersanierung sind, je nach Harzsystem:

- Styrol - Möglicherweise krebserregend (Umweltbundesamt 2003)
- Epichlorhydrin – Giftig, sensibilisierend (Baader 2017a)
- Bisphenol-A – Hormonelle Wirkung (Zumtick und Bambauer 2017)
- oder andere Verbindungen bzw. Ersatzstoffe.

Die Qualität der Reaktion beeinflusst die Migration der Restmonomere zweifach. Einerseits sind bei einer besseren Reaktion mehr Monomere in den Polymerketten gebunden und somit nicht mehr in der Harzmatrix beweglich. Andererseits bildet die Matrix bei einer Reaktion mit einem hohen chemischen Umsetzungsgrad ein engmaschigeres Gebilde, wodurch die Diffusionsfähigkeit der Monomere innerhalb der Matrix abnimmt. Der aktuelle Stand ist, dass Schlauchliner ein grundsätzlich geeigneten Sanierungsverfahren im Trinkwasserbereich sind, ohne dass diese im Einzelnen hinreichend auf ihre Trinkwassereignung überprüft werden können. Zurzeit kommen Sanierungsverfahren zum Einsatz die ihre grundsätzliche Eignung nach KTW bereits nachgewiesen haben. Ein Nachweisverfahren, das die jeweilige Vernetzung auf den Baustellen sicherstellt und damit die Trinkwassereignung des vor Ort hergestellten Schlauchliners kontrolliert, fehlt. (Koroschetz & Münstermann 2017)

## **2 Zielsetzung**

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll eine Prüfmethode entwickelt werden, die die Trinkwassereignung von Schlauchlinern, nach Vorgaben der KTW-Leitlinie, an Baustellenproben bestätigt. Diese Baustellenproben entstammen vor Ort härtenden Schlauchlinern, welche zur Sanierung von Trinkwasserleitungen eingesetzt wurden. Um die Trinkwassereignung zu beurteilen, werden Kennwerte einer Prüfung in Anlehnung an die KTW-Leitlinie mit materialspezifischen Kennwerten korreliert. Wird eine Verbindung zwischen der Trinkwassereignung nach KTW-Leitlinie und einem ausgewählten Materialkennwert gefunden, ist eine kurzfristige Überprüfung der Trinkwassereignung über den zusammenhängenden Materialkennwert denkbar. Ein individueller Eignungsnachweis nach KTW-Leitlinie für Baustellenproben wäre mit einem unverhältnismäßigen Aufwand verbunden.

## **3 Technische Grundlagen**

Für einen Überblick über das Schlauchlinerverfahren wird in den folgenden Kapiteln das Konzept des Schlauchliners erläutert. Hierfür wird die Sanierung im Abwasserbereich betrachtet, da in diesem Bereich das Konzept technisch gereift ist. Anschließend sollen die besonderen Anforderungen erfasst werden, die an einen Schlauchliner für den Trinkwasserbereich gestellt werden müssen. Um den aktuellen Stand der behandelten Thematik zu erfassen, ist es außerdem notwendig, aktuelle Regelungen zu beleuchten. Als Vorgaben für die Schlauchlinersanierung im Abwasserbereich sind die DWA-A 143-3, die DIN EN ISO 11296-4 und die Bauproduktzulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) zu betrachten (DWA 2014, DIN 2017, Geschäftsstelle der Bauministerkonferenz 2016). Für Schlauchliner im Trinkwasserbereich ist die KTW-Leitlinie zur Beurteilung von Materialien im Kontakt mit Trinkwasser als Vorgabe zu berücksichtigen (Umweltbundesamt 2016).

Wird im Folgenden von einem Schlauchliner gesprochen, so ist der Verbund von Trägermaterial und Reaktionsharz gemeint.

### **3.1 Schlauchlinersanierung**

Für die technischen Grundlagen der Schlauchlinersanierung sind die folgenden drei Verfahrensmerkmale zu betrachten. Zuerst sollen die Einsatzmöglichkeiten erläutert werden, da hier die Vor- und Nachteile eines solchen Verfahrens zu erkennen sind. Im Anschluss wird der Grundaufbau des Schlauchliners, gefolgt von den gängigen Einbauverfahren, erklärt, um das Grundkonzept darzustellen.

#### **3.1.1 Typische Einsatzmöglichkeiten**

Bei der Sanierung einer Leitung mit einem Schlauchliner können typische Schäden behoben werden. Durch das neu eingebrachte wasserführende Profil des Liners werden Undichtigkeiten der Leitung entfernt. Grundvoraussetzung hierfür ist ein einwandfreier Schlauchliner sowie die korrekte Schachthanbindung. Abwasserverluste, die in die Umwelt gelangt sind, oder aber Grundwasserinfiltrationen, die vorher teilweise das Wasserwerk belastet haben, entfallen. Ein weiterer Vorteil ist, dass Wurzeleinwüchse, durch die Muffen an Steinzeugrohren beispielsweise, gestoppt werden. Hindernisse wie Ablagerungen und Wurzeln müssen vorher entfernt werden. In der Planung der Sanierungsmaßnahme muss beachtet werden, dass Schäden in der Lageabweichung, wie z.B. Unterbögen oder negatives Gefälle, oder Verformungen nicht behoben werden können (DWA 2014).

### 3.1.2 Aufbau von Schlauchlinern

Bei dem Trägermaterial handelt es sich um ein Gewebe mit der Hauptaufgabe, das Reaktionsharz gleichmäßig zu binden und die Aushärtung nicht negativ zu beeinflussen. Bei dem verwendeten Gewebe kann es sich um ein einfaches Nadelfilz aus Synthesefasern handeln oder aber um Glasfasern. Die Glasfasern haben den Vorteil, dass diese, eingebunden in die spätere Harzmatrix, gleichzeitig noch eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften bewirken (DWA 2014). Glasfasern nehmen bei entsprechender Belastungsrichtung zusätzlich Zugkräfte auf, wohingegen ein Nadelfilz lediglich die Aufgabe übernimmt, das Reaktionsharz zu fixieren. Somit ist bei der Ermittlung von statischen Kennwerten zu beachten, dass bei einem Laminat mit Nadelfilz das reine Harz den alleinigen Einfluss auf die Kraftaufnahme hat. Als Gewebe in Schlauchlinern finden, je nach statischen Anforderungen, beide Varianten Anwendung. Eine weitere Möglichkeit ist die Kombination aus beiden Fasern (Pipe-Aqua-Tec 2015). So könnte beispielsweise ein Liner geschaffen werden mit einer durchgängigen Glasfaser in Längsrichtung, um ein Überdehnen der Fasern, bei den im Einbau wirkenden Kräften, zu verhindern und gleichzeitig das kostengünstigere Nadelfilz als Harzträger beinhalten. Für die Reaktionsharze gibt es einige Kriterien, die bei der Auswahl zu beachten sind. In der Kanalsanierung werden hauptsächlich gefüllte und ungefüllte Harze verwendet. Typische Füllstoffe sind Glaskugeln, Aluminiumoxid, Talkum und andere Stoffe. Je nach eingesetztem Füllstoff werden die Eigenschaften des Harzes, wie zum Beispiel die Festigkeit oder der Schrumpf in der Aushärtung, verändert (Ehrenstein 1992). Als Reaktionsharz in der Kanalsanierung werden ungesättigte Polyesterharze (UP), Epoxidharze (EP) und Venylesterharze (VE) verwendet. Diese sind gut für die Abwasserführung geeignet, da hier eine hohe Resistenz gegen Wasseraufnahme und eine gute chemische Beständigkeit gefordert wird (DIN 2017). Zusätzlich ist zu beachten, dass eine Verarbeitung hinsichtlich Topfzeit und Aushärtbarkeit möglich ist. Eine nicht unbedeutende Anforderung an die verwendeten Harzsysteme ist ein geringer Schrumpf in der Aushärtung, da man bei einer Schlauchlinersanierung einen geringen Ringspalt erhalten möchte (DIN 2017). Unter Ringspalt versteht man die Differenz zwischen dem Innendurchmesser des Altröhres und dem Außendurchmesser des Schlauchliners. Ein geringer Ringspalt ist nötig, um die Hinterläufigkeit von eindringendem Grundwasser oder austretendem Abwasser zu verhindern bzw. zu minimieren. Um die unterschiedlichen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten der Harze zu erfassen, sind diese in Tabelle 1 verdeutlicht. (Flemming 1995, Saechtling et al. 2013, Schwarzer 2013, DWA 2014)

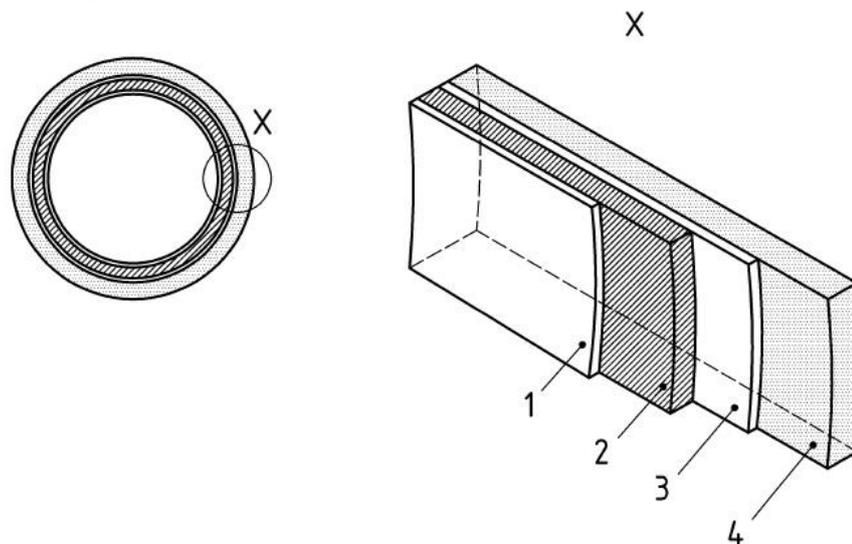
**Tabelle 1: Übersicht Reaktionsharze in der Sanierung**

Harztyp	ungesättigtes Polyesterharz	Epoxidharz	Vinylesterharz
Reaktion	radikale Copolymerisation	Polyaddition	radikale Copolymerisation
Einsatzgebiet	- Abwässer mit geringer chemischer Belastung - Kommunale Abwässer	- Kommunale Abwässer - vor Abscheideranlagen	- vor Abscheideranlagen
Vorteile	- geringe Härter- und Beschleunigerzugabe - tolerant bei leichten Mischfehlern - Hydrolysebeständig - Kaltaushärtung möglich	- geringer Schrumpf - gute mechanische Werte - gute chemische Beständigkeit	- geringer Schrumpf - hohe mechanische Werte - gute chemische Beständigkeit
Nachteile	- Styrol ist bei geringer Konzentration bereits über den Geruch wahrnehmbar (führt zu hohen Geruchsbelastungen)	- stöchiometrisch korrekte Mischung erforderlich - hohe Materialkosten	- Styrol ist bei geringer Konzentration bereits über den Geruch wahrnehmbar (führt zu hohen Geruchsbelastungen)

Als letzte Komponente des Aufbaus sollen die Innen- und Außenfolien betrachtet werden. Diese Barrieren haben die Aufgabe, das Harz im flüssigen Zustand vor den äußeren Einflüssen zu schützen. Die Folien bestehen üblicherweise aus Polyethylen, Polypropylen, Polyurethan, Polyamid, Polyvinylchlorid oder Kombinationen der genannten Stoffe (DWA 2014). Die Innenfolie soll das Harz vor dem Abwasser schützen und verhindern, dass mögliche Einbauhilfen mit dem Harz in der Aushärtung verkleben. Die Außenfolie hat den Nutzen, dass die Harzkomponenten im flüssigen Zustand nicht in die Umwelt, z.B. über eintretendes Grundwasser, gelangen können (DWA 2014; Bosseler und Schlüter 2003). Die Innen- sowie Außenmembranen werden nach DIN EN ISO 11296-4 in drei Beständigkeitsklassen unterschieden. Nach dem Vokabular der Norm sind dies „dauerhaft“, „halb-dauerhaft“ und „provisorisch“. An die dauerhafte Membran bestehen die gleichen Anforderungen zur Standfestigkeit wie an den Schlauchliner. Im Gegensatz dazu wird eine provisorische Folie, als Beispiel die Innenfolie, nach der Aushärtung des Reaktionsharzes umgehend entfernt. Diese gilt als

reiner Schutz beim Einbau und vor eventuell eintretendem Wasser und wird deshalb als Einbauhilfe definiert. Die Abwasserführung findet direkt über das Laminat statt. Als Hybrid der beiden Varianten gilt die halb-dauerhafte Membran. Diese verbleibt im Schlauchliner nach dem Einbau, allerdings behält die Folie die Funktion nicht bei (DIN 2017). Dies kann an möglichen einberechneten Beschädigungen beim Einbau oder aber an einer verminderten Lebensdauer liegen.

Einen Überblick über den gesamten Aufbau bietet die Abbildung 1 Hier ist im Schnitt ein Schlauchliner mit den einzelnen vorher erläuterten Schichten zu sehen.



**Legende**

- 1 Innenmembran
- 2 Verbund (Harz in Trägermaterial/Verstärkung)
- 3 Außenmembran
- 4 Altrohr

Abbildung 1: Aufbau eines Schlauchliners, Quelle: DIN 2017

**3.1.3 Einbauverfahren**

Bei der Schlauchlinersanierung gibt es verschiedene Einbauverfahren, die im Folgenden erläutert werden. Eine grundsätzliche Unterscheidung gibt es nicht, da die Wahl des Verfahrens von mehreren Faktoren abhängt. Als Beispiele für diese Einflüsse wären die Einbaulänge, der Durchmesser des zu sanierenden Profils und das verwendete Harz zu nennen. Zur Differenzierung der Methoden soll zuerst das Einbringen des Liners in die zu sanierende Leitung bzw. Haltung aufgezeigt werden und anschließend die Aufstellung und Aushärtung des Schlauchliners.

Um den Liner in die Haltung bzw. Leitung einzubringen, stehen zwei Verfahren zur Auswahl. Die erste Möglichkeit ist das Einzugsverfahren. Hierbei ist zu beachten, dass für den Einzug der Anfangspunkt und der Endpunkt der zu sanierenden Haltung zugänglich sind, was auch gleichzeitig den größten Nachteil dieses Verfahrens beschreibt. Der Schlauchliner wird an einem Ende der Leitung positioniert und an dem anderen Zugangspunkt wird eine Seilwinde eingerichtet. Über einen Fieberglasstab oder den Fahrwagen eines Roboters wird das Zugseil zum Liner befördert und angebunden. Die Seilwinde kann nun über entsprechende Umlenkungen, um den Schacht nicht zu beschädigen, auch lange Schlauchliner in die Haltung einziehen (Koroschetz und Münstermann 2017). Ein weiterer Nachteil ist, dass der gesamte Liner für den Einzug über den Untergrund bewegt werden muss. Vorher eingebrachte Gleitfolien können hier Beschädigungen vorbeugen. Das Einbringen von Schlauchlinern ist außer dem Einzug noch über das Inversionsverfahren möglich. Hierbei wird ein Schlauchliner mit der Innenfolie außen mit dem Reaktionsharz imprägniert und anschließend in einen Schussschlauch oder eine Trommel gezogen. Der Schlauchliner wird mit Wasser oder Luft in die Leitung hineingekrempelt, so dass sich die Innenfolie auf der Innenseite befindet. Bei Leitungen im Hausanschlussbereich mit kleinem Durchmesser ist nur ein Zugangspunkt notwendig (DWA 2014).

Unabhängig von dem gewählten Verfahren zur Einbringung des Schlauches muss dieser nun aufgestellt werden. Um den Schlauchliner an die Konturen des Altröhres anzu drücken und so ein Laminat zu pressen, wird Luft- oder Wasserdruck verwendet. Entweder wird der Schlauch bzw. die Innenfolie selbst unter Druck gesetzt oder ein Hilfschlauch wird eingezogen und mit einem Druckmedium gefüllt. Bei kleinen Durchmessern und dem vorher gewählten Inversionsverfahren bietet sich ein zusätzlicher Stützschauch an, da bei nur einem Zugang zur Leitung sich das Verschließen des nicht zugänglichen Endes schwierig gestaltet. Im Gegenzug ist ein zusätzlicher Stützschauch in einem größeren Profil eine unnötige Investition und ein logistischer Aufwand, der mit dem Verschließen des Schlauchliners im zweiten Zugangspunkt vermieden wird.

Bei der Aushärtung der Reaktionsharze muss ein Verfahren gefunden werden, das den Anforderungen des Harzes entspricht. Hierbei sind drei wesentliche Verfahren zu unterscheiden. Zuerst soll die Kaltaushärtung betrachtet werden, welche nur mit Harzen funktioniert, die ausreichend bei den vorhandenen Temperaturen im Kanal reagieren. Diese Reaktion kann mit eingebrachter Wärme beschleunigt werden. Hier werden

Harze mit starker exothermer Reaktion verwendet, die vor dem Imprägnieren des Schlauchliners mit Härter und Beschleuniger entsprechend versetzt werden. Für Harzprodukte, die bei niedrigen Temperaturen nicht oder sehr langsam reagieren, bietet sich die Warmaushärtung an. Ein Wärmetransportmedium wie Dampf oder Wasser wird in den Schlauchliner im aufgestellten Zustand geleitet und bringt die nötige Energie in das Harz ein. Die Reaktion des Harzes wird über diesen Wärmeeintrag gestartet. Ein Mischungsspezifischer Schwellenwert muss überschritten werden, welcher abhängig von den beigeetzten Reaktionsinhibitoren ist. Die Wärmeenergie wird eingebracht, bis die vorhandenen Reaktionspartner ausreagiert sind. Diese Schlauchliner können im Werk imprägniert werden und über kurze Zeit gelagert bzw. transportiert werden. Eine Kühlung der Liner ist zwingend erforderlich (Aarslef Rohrsanierung 2013). Als dritte vertretene Variante gilt die Aushärtung von Reaktionsharzen, die als Indikatoren mit Fotoinitiatoren versetzt sind. Der Schlauchliner wird im aufgestellten Zustand mit einer Lichtquelle in vorgegebener Geschwindigkeit abgefahren, die eine Wellenlänge, abgestimmt auf die Initiatoren, emittiert. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass die Schlauchliner bereits im Werk imprägniert werden können. Die lighthärtenden Schlauchliner weisen eine lange Lagerbeständigkeit auf, solange diese kühl und dunkel gelagert werden (Eulenburg 2016).

### **3.2 Typische Zulassungsanforderungen für Schlauchliner**

Wie bereits im Vorwort zu dem Kapitel 3 erwähnt sind die Anforderungen für Schlauchliner im Abwasserbereich definiert. Verglichen mit den bisherigen Anforderungen an einen Trinkwasserliner ist das Defizit im Reglement deutlich zu erkennen. In diesem Abschnitt soll eine Übersicht gegeben werden, wie so ein Anforderungsprofil aussehen könnte, am Beispiel des Schlauchliners für die Sanierung von Abwasserleitungen. Für den aktuellen Stand werden die wichtigsten Regelwerke für die Sanierung mit Schlauchlinern in Freispiegelleitungen betrachtet. Hierbei handelt es sich um die DWA-A 143-3 und die DIN EN ISO 11296-4. Als weitere Anforderung soll die Zulassung des DIBt betrachtet werden.

#### **3.2.1 DWA-A 143-3**

Die DWA-A 143-3 „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden“ ist ein Regelwerk, entworfen durch die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA). Als Anforderungen gemäß der Richtlinie sind folgende Aspekte angeführt:

- Dichtheit
- Statische Tragfähigkeit
- Betriebssicherheit

Mit der Unterteilung in Grundlagen, Planung, Ausführung und Qualitätssicherung ist der komplette Sanierungsablauf definiert. Die Dichtheitsprüfung erfolgt nach Vorgaben der DIN EN 1610 direkt an der sanierten Haltung, vor dem Öffnen von Zuläufen. Für Materialprüfungen ist eine Probe aus dem Schlauchliner zu entnehmen, diese kann aus einem angrenzenden Schacht oder aus der Haltung stammen. Die Tabelle 2 entstammt der DWA-A 143-3 in gekürzter Form und bietet einen Überblick über die erforderlichen Prüfungen. Aufgeführt sind außerdem die Normen, die als Grundlage der Prüfungen dienen sowie der gesuchte Wert mit entsprechender Einheit (DWA 2014).

**Tabelle 2: Anforderungen der DWA-A 143-3**

Prüfung	Norm	Wert	Einheit
Dreipunkt-Biegung	DIN EN ISO 178 DIN EN ISO 11296-4	Verbunddicke $e_m$	mm
		Biege-Elastizitätsmodul (E-Modul) $E_f$	N/mm <sup>2</sup>
		Biegespannung beim ersten Bruch $\sigma_{fb}$	N/mm <sup>2</sup>
Scheiteldruckversuch	DIN EN 1228	Verbunddicke $e_m$	mm
		Ringsteifigkeit $S_0$	N/m <sup>2</sup>
		Umfangs-EU-Modul	N/mm <sup>2</sup>
Kriechneigung	i. A. a. DIN EN ISO 899-2	Verbunddicke $e_m$	mm
		E-Modul $E_{1h}$	N/mm <sup>2</sup>
		E-Modul $E_{24h}$	N/mm <sup>2</sup>
		Kriechneigung $K_{n24}$	%
Kriechneigung	i. A. a. DIN EN 761	Verbunddicke $e_m$	mm
		Umfangs-E-Modul $E_{1h}$	N/mm <sup>2</sup>
		Umfangs-E-Modul $E_{24h}$	N/mm <sup>2</sup>
		Kriechneigung $K_{n24}$	%
Reststyrolgehalt	DIN 53394-2	Probeneinwaage	g
		Reststyrolgehalt	%
Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC-Analyse)	ISO 11357-2	Glasübergangstemperatur ( $T_{G1}$ , $T_{G2}$ )	°C
Bestimmung des Füllstoff- und Glasgehalts	DIN EN ISO 1172	Harzanteil	%
		Füllstoffanteil	%
		Glasanteil	%

Das Regelwerk DWA-A 143-3 setzt Auftraggeber in die Pflicht, die Qualifikation des Auftragnehmers zu hinterfragen. Hierzu wird der Bezug zum Deutschen Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. genutzt. Das RAL-GZ 961 (Gütezeichen Kanalbau) bewertet die Unternehmen deckungsgleich der durch die DWA-A 143-3 geforderten Aspekte:

- Qualifikation des Personals
- Beschaffenheit der Geräte
- Stand der Aus- und Weiterbildung
- Eigenüberwachung
- Einsatz von Nachunternehmern
- Bezug von Lieferungen und Fremdleistungen

Diese Gütezeichen ist ein Indikator für die Erfüllung der Qualitätsansprüche durch das Arbeitsblatt DWA-A 143-3 (DWA 2014).

### **3.2.2 DIN EN ISO 11296-4**

Die DIN EN ISO 11296-4 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitung) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining“ umfasst die Anforderungen und Prüfverfahren an einen Schlauchliner im nicht gehärteten und im gehärteten Zustand. Für die Beschreibung der Anforderungen durch die DIN EN ISO 11296-4 wurde die DIN EN ISO 11296-4:2017-05 verwendet. Diese liegt derzeit als Entwurf vor und wird die DIN EN ISO 11296-4:2011-07 zeitnah ersetzen. Nach Aussage von Dipl.-Ing. Andreas Haacker als Mitglied des DIN-Spiegelausschusses wird der Großteil der Änderungen durch den Entwurf angenommen (Haacker 2017b). Kriterien für die Bewertung des ungehärteten Liners sind der zu vermeidende Ringspalt und die passende Länge für die zu sanierende Haltung (DIN EN ISO 11296-4:2017-05). In Tabelle 3 (DIN EN ISO 11296-4:2017-05) sind die Daten der nötigen Prüfungen zusammengefasst. In Anlehnung an Tabelle 2 sind auch hier die Prüfungen mit den gültigen Normen erfasst und die zu ermittelnden Werte mit zugehörigen Einheiten.

**Tabelle 3: Anforderungen durch die DIN EN ISO 11296-4**

Prüfung	Norm	Wert	Einheit
<b>Werkstoffeigenschaften der Harzsysteme</b>			
Temperatur der Verformung unter Last	ISO 75-2, Verfahren A		°C
<b>Geometrische Eigenschaften</b>			
Mittlere Wanddicke des Verbundes	DIN EN ISO 11296-4	$e_m$	mm
Mindestwanddicke des Verbundes	DIN EN ISO 11296-4	$e_{min}$	mm
<b>Mechanische Kurzzeit-Eigenschaften</b>			
Spezifische Anfangsringsteifigkeit	DIN EN ISO 11296-4	$S_0$	N/m <sup>2</sup>
Kurzzeit-Biegemodul	DIN EN ISO 11296-4	$E_0$	N/m <sup>2</sup>
Biegefestigkeit beim ersten Bruch	DIN EN ISO 11296-4	$\sigma_{fb}$	N/m <sup>2</sup>
Biegedehnung beim ersten Bruch	DIN EN ISO 11296-4	$\epsilon_{fb}$	%
Zugfestigkeit beim Bruch	ISO 8513	$\sigma_L$	N/m <sup>2</sup>
Bruchdehnung	ISO 8513		%
<b>Mechanische Langzeit-Eigenschaften</b>			
Kriechfaktor trocken	ISO 7684 ISO 10468	$a_{x,trocken}$	
Langzeit-Biegemodul unter trockenen Bedingungen	DIN EN ISO 11296-4	$E_{x,trocken}$	N/m <sup>2</sup>
Kriechfaktor feucht	ISO 10468	$a_{x,feucht}$	
Langzeit-Biegemodul unter feuchten Bedingungen	DIN EN ISO 11296-4	$E_{x,feucht}$	N/m <sup>2</sup>
Langzeit-Biegefestigkeit unter trockenen Bedingungen	DIN EN ISO 11296-4	$\sigma_{x,trocken}$ (extrapoliert auf 50 Jahre)	N/m <sup>2</sup>
Langzeit-Biegefestigkeit unter feuchten Bedingungen	DIN EN ISO 11296-4	$\sigma_{x,feucht}$ (extrapoliert auf 50 Jahre)	N/m <sup>2</sup>

**Tabelle 3 (Fortsetzung): Anforderungen durch die DIN EN ISO 11296-4**

<b>Weitere Eigenschaften</b>			
Beständigkeit gegen chemische Angriffe in verformtem Zustand	ISO 10952	min. Bruchdehnung (extrapoliert auf 50 Jahre)	%
Langzeit-Biegefestigkeit unter säurehaltigen Bedingungen	DIN EN ISO 11296-4	$\sigma_x$ (extrapoliert auf 50 Jahre)	N/m <sup>2</sup>

Für die Probeentnahme gilt wie in der DWA-A 143-3, dass die Proben möglichst aus der Haltung oder angrenzenden Schächten entnommen werden. Für Proben, die anders erzeugt wurden, wie zum Beispiel parallel zur Haltung in einem Proberohr, ist vermerkt, dass die Eigenschaften der Probe die des Liners nicht notwendigerweise überschreiten. Wie in der DWA-A 143-3 regelt die Norm den Einbau von Schlauchlinern und zusätzlich den simulierten Einbau von Schlauchlinern für eine Probenerzeugung (DIN 2017).

### **3.2.3 Zulassung durch das DIBt**

In der Branche der Kanalsanierung ist die bauaufsichtliche Zulassung für Sanierungsmaßnahmen auf privatem Grund verpflichtend. Die gründliche Prüfung durch das DIBt bringt Auftraggebern auf öffentlichem Grund Sicherheit über das Bauprodukt. Diese Tatsache macht die Zulassung des DIBt zur angesehensten Zertifizierung für Schlauchlinersysteme. Der Anspruch des Institutes ist die Zulassung von Bauprodukten, für die keine Normen vorhanden sind oder deren Produkte erheblich von der bestehenden Norm abweichen. Das DIBt wurde von der Bundesrepublik Deutschland als technische Bewertungsstelle eingesetzt (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2015) und hat somit die Aufgabe, Zulassungen von nicht geregelten Bauprodukten zu erstellen. Diese Zulassung wird für unregelmäßige Bauprodukte nach der Musterbauordnung gefordert (Geschäftsstelle der Bauministerkonferenz 2016). Diese Musterbauordnung dient als Grundlage der Landesbauordnungen und beinhaltet die Mindestanforderungen (Merschbacher 2017). Das DIBt stellt für die Prüfung eines Bauprodukts ein Prüfverfahren zusammen, welches den Anforderungen des Zulassungsraums (national oder europaweit) entspricht. Dieses wird nicht veröffentlicht, da sich das DIBt Änderungen an dem Verfahren vorbehält, um so eine individuelle

Prüfung jedes Produktes zu ermöglichen (Haacker 2017a). In Tabelle 4 (Ehrenstein 1992, DWA 2014, DIN 2017, DIBt 2017) wird ein typisches Prüfprogramm des DIBt für Schlauchliner im Freispiegelbereich zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 4: Typische Prüfungsanforderung des DIBt**

<b>Prüfung von Eigenschaften</b>	<b>Norm</b>	<b>Bemerkung</b>
<b>Harze</b>		
Viskosität	DIN EN ISO 3219	
Dichte	DIN 51757	
Reinheit	-	
Reaktivität	-	
pH-Wert	-	
Infrarotspektroskopie	-	
<b>Trägermaterialien</b>		
Flächengewicht/-masse	-	
Fadenfeinheit	-	
<b>Prüfplatten aus Reinharz und Füllstoff</b>		
Biegeeigenschaften	DIN EN ISO 178	10 Probekörper
Zugfestigkeit und Reißdehnung	DIN EN ISO 527-2	10 Probekörper
Wärmeformbeständigkeitstemperatur	DIN EN ISO 75-2 Verfahren A	10 Probekörper
<b>Wandaufbau mit integrierter Folie (Beschichtung)</b>		
Abriebverhalten	DIN EN 295-3	Darmstädter Kipprinne Mindestlastwechsel 100.000
Hochdruckspülfestigkeit	DIN 19523 Abschnitt 3.3	
Verbund von Folie/Beschichtung und Wandkonstruktion	DIN EN 1542	
Trennversuch am ungetränkten Schlauch	DIN 53357	
integrierte Folie (Beschichtung)	-	
Alterungsbeständigkeit	DIN EN 728	
Zugeigenschaften	DIN 12311-1	
Temperaturwechselbeanspruchung	DIN EN 1055 Programm A	15°C und 65°C

**Tabelle 4 (Fortsetzung): Typische Prüfungsanforderung des DIBt**

<b>Probekörper</b>		
Aushärtung	-	
Wasserdichtheit	DIN EN 1610	
Wandaufbau und Wanddicke	-	Gleichmäßigkeit
Spezifikation der Glaskomplexe	-	Dicke und Glasgewicht
Eigenschaften der Folie	-	z.B. Dehnfähigkeit
Glasgehalt	DIN EN ISO 1172	
Wasseraufnahme	DIN EN ISO 62	Über 24 h, 7 Tage und 30 Tage
Prüfung des Harzgehalts	-	
Dichte des Schlauchliners	DIN EN ISO 1183	
Spektralanalyse / IR-Spektroskopie	-	Am Schlauchliner
Kurzzeit-Ringsteifigkeit	DIN EN 1228	
Langzeit-Ringsteifigkeit	DIN EN ISO 761	10.000 h Extrapoliert auf 50 Jahre
Kurzzeit-Biege-E-Modul am Kreisring	-	
Langzeit-Biege-E-Modul am Kreisring	-	Extrapoliert auf 50 Jahre
Kurzzeit-Biege-E-Modul am Kreis-ausschnitt	DIN EN ISO 178	Vergleichswert für Baustellenproben
Kurzzeit-Biegespannung am Kreisring	DIN EN 761	
Kurzzeit-Biegespannung am Kreis-ausschnitt	DIN EN ISO 178	Vergleichswert für Baustellenproben
Kriechneigung am Kreisring	DIN EN 16869-2	
Kriechneigung am Kreis-ausschnitt	DIN EN ISO 899-2	
Querkontraktionszahl	DIN EN ISO 527-1	Volumenänderung unter Zugbelastung
Abriebverhalten und Hochdruckspülfestigkeit	DIN EN 295-3 DIN 19523	Prüfungen am selben Probekörper
Chemische Beständigkeit gegen häusliches Abwasser	DIN 1986-3	
Temperaturbeständigkeit	DIN EN 476	
Infrarotspektroskopie	-	
Glasübergangstemperatur für EP-Harze	-	Verfahren: Dynamische-Differenz-Kalorimetrie
Glasübergangstemperatur für UP- und VE-Harze	-	Verfahren: Dynamisch-mechanische Analyse

Bei einer Rezepturveränderung oder dem Wechsel des Harzes oder des Trägermaterials, sieht die Zulassung des DIBt eine Nachweisprüfung vor, die im Vergleich zur Zulassungsprüfung kürzer ausfällt. Langzeitversuche werden hier mit einer Dauer von 2000 h angesetzt. Das Prüfprogramm setzt fest, dass „In-Situ-Prüfungen“ stattfinden

müssen. Hierbei handelt es sich um die Kontrolle einer Baumaßnahme durch Vertreter der Prüfstelle und des DIBt. Für Baustellenproben wird ebenfalls ein Prüfprogramm zur individuellen Kontrolle der Liner festgeschrieben. Hier werden Werte des Wandaufbaus, der verwendeten Produkte und der Statik überprüft.

Der Fachbereich Gesundheits- und Umweltschutz des DIBt prüft bei einem Zulassungsverfahren die Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und Gewässer. Bei dieser Bewertung wird geprüft, ob es sich um ein Bauprodukt handelt, welches mit Grundwasser in Kontakt kommen könnte. Über die erforderliche Rezepturoffenlegung des Antragstellers werden die Einzelstoffe und entstehenden Verbindungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen bewertet und die Möglichkeit ins Grundwasser zu gelangen untersucht (DIBt 2011).

### **3.3 Besonderheiten für den Einsatz im Trinkwasserbereich**

Grundsätzlich haben Schlauchliner die Eignung für den Einsatz im Druck- und Trinkwasserbereich. Anforderungen durch grundlegende Regelwerke, Arbeitsblätter und Normen beschreiben den Freispiegelbereich und werden derzeit durch den DWA, RSV und DIN auf den Druckleistungsbereich erweitert, oder sind bereits erweitert worden. Als zusätzliche Kernpunkte müssen zwei weitere Anforderungsbereiche beachtet werden. An erster Stelle steht der Schutz des Trinkwassers, also keine unzulässige Beeinflussung des Mediums durch Transportstrecken. Dieses Thema wird im Kapitel 3.4 behandelt. An zweiter Stelle gilt der wesentliche Unterschied zur Abwasserleitung. Bei einer Trinkwasserleitung handelt es sich um eine Druckwasserleitung. Die DIN EN ISO 11298-1 fordert für Sanierungssysteme ein Bestehen der Wasserdruckprüfung. Die verwendeten Linersysteme müssen somit in der Lage sein, Schäden in der bestehenden Rohrwandung zu überbrücken. Der System-Prüfdruck (STP) entspricht dem niedrigeren Wert der folgenden zwei Formeln, errechnet aus dem geplanten Dauerbetriebsdruck  $p$ :

$$STP = p * 1,5 \tag{3.1}$$

$$STP = p + 5,0 \text{ bar} \tag{3.2}$$

Mit:

$STP$ : Bei der Druckprüfung zu wählender Prüfdruck in bar

$p$ : Leistungsdruck im Betrieb in bar

Für Trinkwasserliner ergibt sich aufgrund der Erhaltung der Trinkwasserqualität die Anforderung, dass alle mit dem Trinkwasser in Kontakt stehenden Komponenten der Lebensdauer des Schlauchliners entsprechen müssen (DIN 2011a). Die zuvor erwähnten halb-dauerhaften Innenfolien finden hier keine Anwendung.

### **3.4 Nachweis der Trinkwassereignung von Schlauchlinern**

In der DIN EN ISO 11298-1 ist die Anforderung gestellt, dass ein Lining-System für den Trinkwassergebrauch keine unzulässige Verschlechterung der Wasserqualität hervorrufen darf (DIN 2011a). Um dieser Anforderung gerecht zu werden, ist eine hygienische Überprüfung der verwendeten Materialien zwingend erforderlich. Eine Verschlechterung der Qualität kann eine oder mehrere der folgenden Ursachen haben (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2017).

- Mikrobielles Wachstum wird nachteilig gefördert
- Rezepturspezifische Einzelstoffe oder Verbindungen gelangen in gesundheitsschädlichen Mengen in das Trinkwasser
- Die verwendeten Stoffe wirken sich unterhalb des gesundheitsgefährdenden Grenzwerts nachteilig auf den Geruch oder Geschmack des Trinkwassers aus

Hinsichtlich dieser zu kontrollierenden Aspekte dient die KTW-Leitlinie als Empfehlung zur Beurteilung von organischen Materialien im Kontakt mit Trinkwasser. Über diese Leitlinie sind Verfahren festgelegt, die in Kapitel 4 erläutert werden (Umweltbundesamt 2016).

Die Trinkwasserverordnung legt zusätzlich zu den erwähnten Anforderungen fest, dass eine Überschreitung von Mengen der verwendeten Stoffe, die ins Trinkwasser gelangen, nicht so weit überschritten werden, wie es bei Einhaltung von anerkannten Regeln der Technik der Fall wäre. Als Folge lässt sich ableiten, dass der Einfluss auf das Trinkwasser auch unter Wahrnehmungsgrenzen so gering wie möglich gehalten werden soll (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2017).

In der Trinkwasserverordnung wird vermutet, dass ein Produkt bzw. Verfahren die erwähnten Anforderungen erfüllt, wenn dies von einem für den Trinkwasserbereich akkreditierten Labor durch ein Zertifikat bestätigt wurde (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2017).

### **3.5 Die KTW-Leitlinie**

Die Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Materialien im Kontakt mit Trinkwasser ist derzeit rechtlich nicht verbindlich. Das geplante Ziel ist eine Überführung in die Trinkwasserverordnung, wodurch die KTW-Leitlinie rechtliche Grundlage werden würde. Der Anwendungsbereich dieser Leitlinie bezieht sich auf Kunststoffe und Silikone und ist daher für die Beurteilung von Schlauchlinern im Kontakt mit Trinkwasser geeignet. Im Folgenden soll eine Prüfung nach KTW-Leitlinie zusammengefasst dargestellt werden (Umweltbundesamt 2016).

#### **3.5.1 Anforderungen der KTW-Leitlinie an die Produkte**

Die verwendeten Stoffe in dem zu prüfenden Produkt müssen in einer der nach Stoffgruppen sortierten, vorgeschriebenen Positivlisten aufgeführt sein. Da in dieser Bachelorarbeit die Monomere erfasst werden sollen, sind hier die Positivlisten der Verordnung Nr. 10/2011 der Europäischen Kommission, der Bedarfsgegenstandsverordnung und der Bewertung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) zu wählen. Für Produkte, welche aus mehreren Schichten bestehen und auf der Trinkwasser zugewandten Seite eine totale Barriere aufweisen, muss nur diese bewertet werden. Um totale Barrieren handelt es sich nach Definition der KTW-Leitlinie, wenn diese jegliche Diffusion von Stoffen verhindert. Dies gilt nach der Leitlinie nur für eine durchgängige Aluminiumschicht mit einer Mindestdicke von 9 µm oder um eine Glasschicht. Da diese Schichten bei flexiblen Schlauchlinern keine Anwendung finden, kann die Innenbeschichtung als funktionelle Barriere nach KTW-Leitlinie bezeichnet werden. Dieser funktionellen Barriere ist es geschuldet, dass für die hygienische Beurteilung der komplette Aufbau betrachtet werden muss, was eine Untersuchung auf Restmonomere in der Harzmatrix rechtfertigt. Die verwendeten Stoffe müssen eine Reinheit aufweisen, die für die geplante Verwendung der Produkte geeignet ist.

Als Grundanforderung gilt für alle verwendeten Stoffe, dass der Geruch und der Geschmack des Migrationswassers nicht verändert werden dürfen. Zusätzlich muss die gemessene Konzentration von organischem Kohlenstoff im Migrationswasser unter dem Grenzwert von 0,5 mg/l bleiben. Die Erzeugung des Migrationswassers wird in Kapitel 4.2 erläutert.

Für Stoffe mit erhöhtem Gefahrenpotential wie Amine, Peroxide, Schwermetallkatalysatoren, Füllstoffe, Farbstoffe oder Polymerisationshilfsmittel gelten zusätzliche Beschränkungen, die in der Leitlinie festgeschrieben sind.

Für die Einzelstoffbeurteilung werden die Grenzwerte aus den Positivlisten entnommen. Im Rahmen der KTW-Prüfungen ist der DWPLL (Drinking Water Positive List Limit) maßgebend. Zur Errechnung des DWPLL sind zwei Möglichkeiten vorgesehen, die sich auf den TDI (Tolerable Daily Intake), angegeben in g/kg Körpergewicht, oder den spezifischen Migrationswert (SML), in g/kg Lebensmittelmasse, beziehen (Europäische Union 2011):

$$DWPLL = \frac{TDI * 60,0 \text{ kg}}{2,0 \text{ l}} * \frac{10 \%}{100 \%} \quad (3.3)$$

$$DWPLL = \frac{1}{20} SML \quad (3.4)$$

Mit:

*DWPLL*: Drinking Water Positive List Limit in g/l

*TDI*: Tolerable Daily Intake in g/kg Körpergewicht

*SML*: spezifischen Migrationswert in g/kg Lebensmittelmasse

Bei der Formel 3.3 handelt es sich um das WHO-Konzept (World Health Organization), welches als Berechnungsgrundlage ein durchschnittliches Körpergewicht von 60,0 kg und eine tägliche Wasseraufnahme von 2,0 l annimmt. Es wird davon ausgegangen, dass die Schadstoffaufnahme über das Trinkwasser einen Anteil von 10 % der totalen täglichen Exposition aufweist. Die Formel 3.4 entspricht einer Abschätzung des Umweltbundesamtes. Eine dritte Möglichkeit des Ursprungs des DWPLL könnte eine Berechnung des Bundesinstituts für Risikobewertung nach den Prinzipien der EFSA sein. Stoffe mit einer Migrationsbegrenzung müssen im Migrationswasser analysiert werden. Aus dieser Konzentration ist die maximal am Wasserhahn zu erwartende Konzentration  $c_{\text{Tap}}$  zu berechnen. Neben der experimentellen Untersuchung der Migrationswässer besteht die Möglichkeit, die Migration von Stoffen über die Modellierungsleitlinie abzuschätzen. Bei der Modellierungsleitlinie handelt es sich um die Leitlinie zur mathematischen Abschätzung der Migration von Einzelstoffen aus organischen Materialien in das Trinkwasser (Umweltbundesamt 2008). Eine Restgehaltprüfung ist notwendig, wenn eine Angabe zur Konformitätsprüfung durch Restgehalt je mit Lebensmittel in Kontakt stehender Fläche (QMA) in der Positivliste zu finden ist. Hierbei handelt es sich um einen Wert, der den Restgehalt an Stoffen je Oberfläche beschreibt. Diesem Wert liegt ein Würfel mit 6 Flächen von jeweils 1 dm<sup>2</sup> zugrunde, weshalb der Wert in [mg/6 dm<sup>2</sup>]

angegeben wird (Europäische Union 2011). Über den QMA-Wert lässt sich ebenfalls der DWPLL errechnen:

$$DWPLL = \frac{1}{20} * QMA * \frac{6 \text{ dm}^2}{1 \text{ kg}} \quad (3.5)$$

Mit:

*DWPLL*: Drinking Water Positive List Limit in g/l

*QMA*: Restgehalt an Stoffen je Oberfläche in mg/6 dm<sup>2</sup>

Bei angegebenem QMA-Wert und DWPLL muss nur eine Beschränkung überprüft werden, wobei der DWPLL vorzuziehen ist. Für die Auswertung jedes verwendeten Stoffes mit Beschränkung gilt:

$$c_{Tap} \leq DWPLL \quad (3.6)$$

Mit:

*DWPLL*: Drinking Water Positive List Limit in g/l

*c<sub>Tap</sub>*: Maximale am Wasserhahn zu erwartende Konzentration in g/l

Für die Prüfung der Vermehrung von Mikroorganismen wird die DIN EN 16421 als normative Grundlage verwendet. Hierbei schreibt die KTW-Leitlinie Grenzwerte fest, die die Ergebnisse der Prüfungen nach Verfahren 1 und 2 der Norm bewerten. Der vorgeschriebene Grenzwert des Biomasseproduktionspotentials und der des Oberflächenbewuchses sind hierbei für die Trinkwassertauglichkeit einzuhalten (Umweltbundesamt 2016).

### 3.5.2 Prüfungen der KTW-Leitlinie

Die Überprüfung der hygienischen Eignung von Produkten soll an dem gefertigten Produkt erfolgen, um Einflüsse aus der Herstellung zu berücksichtigen. Für Bauteile, die nicht als fertiges Produkt geprüft werden können, sind Prüfplatten in der Abmessung 200 x 200 x 2 mm herzustellen. Diese müssen unter den Bedingungen des Herstellungsprozesses erzeugt werden.

Um die maximale am Wasserhahn zu erwartende Konzentration von Einzelstoffen sowie die Auswirkung auf Geruch und Geschmack des Trinkwassers zu erfassen, ist eine Migrationsprüfung notwendig. Als Grundlage dieser Prüfung dienen die Normen DIN

EN 1420-1, DIN EN 12873-1 und DIN EN 12873-2. Die KTW-Leitlinie stützt sich in der Beschreibung der Prüfung auf die Normen als Grundlage und beschreibt Abweichungen, wenn diese nötig sind. Es wird grundsätzlich zwischen Kaltwasserprüfung und Warm- oder Heißwasserprüfung unterschieden. Eine Migrationsperiode ist bei einer Kaltwasserprüfung eine Einlagerung des Produktes in Versuchswasser für 72 Stunden bei 23°C und bei Warm- oder Heißwasserprüfung 24 Stunden bei 60 – 85°C. Die anzuwendende Prüfung ist abhängig vom Verwendungszweck des Produktes (DIN EN 12873-2:2005-04). Sollten nach drei Migrationsperioden für Kaltwasserprüfungen, bzw. nach sieben Migrationsperioden der Warm-/Heißwasserprüfungen noch Überschreitungen des gesamtorganischen Kohlenstoffs, des Geruchs- oder Geschmackschwellenwertes, oder von  $c_{\text{Tap}}$  der einzelnen Stoffe auftreten, kann der Migrationsversuch um weitere sechs bzw. 15 Perioden verlängert werden. Für Produkte mit einem mehrschichtigen Aufbau ist eine Warmwasserprüfung mit 22 Migrationsperioden angegeben. Bei der Auswertung der erzeugten Migrationswässer sind standardisierte Analyseverfahren anzuwenden bzw. Verfahren zu wählen, die über die benötigte Genauigkeit verfügen. Alternativ kann zur Auswertung von einzelnen Stoffkonzentrationen die Modellierungsleitlinie herangezogen werden, wenn für den zu ermittelnden Stoff Diffusionsmodelle und Kennwerte gegeben und anerkannt sind. Für die Modellierung werden die Stoffkonzentrationen in dem Produkt benötigt. Für Stoffe, die in der Herstellung nicht umgewandelt werden, kann die Einsatzmenge verwendet werden. Für Monomere in einem Harzsystem müsste eine Rest-Monomer-Analyse zur Ermittlung der vorhandenen Konzentration durchgeführt werden. Die Einsatzmenge kann hier nicht als Referenzmenge eingesetzt werden, da die Monomere während der Reaktion verketteten und nicht mehr diffusionsfähig sind. Bei einer Überschreitung von Grenzwerten, die nach der Modellierung festgestellt werden, kann eine zusätzliche experimentelle Untersuchung über eine Migrationsprüfung erfolgen. Die praktisch ermittelten Werte sind als aussagekräftiger anzusehen. Um die ermittelten Konzentrationen im Migrationswasser umzurechnen als maximal am Wasserhahn zu erwartende Konzentration ( $C_{\text{Tap}}$ ), sieht die Leitlinie folgende Formel vor:

$$C_{\text{Tap}} = \frac{F_c \cdot C_{\text{gemessen}}}{\frac{V}{V^*} \cdot t} \quad (3.7)$$

Mit den folgenden Parametern:

- $F_c$ : Konversionsfaktor nach Tabelle 5 in d/dm  
 $c_{\text{gemessen}}$ : Stoffkonzentration im Migrationswasser in g/l

- $O$  : Oberfläche der eingelagerten Probe in  $\text{dm}^2$   
 $V$  : Volumen des Migrationswassers in  $\text{dm}^3$   
 $t$  : Dauer der Migrationsperiode in d

Die Tabelle 5 ist der KTW-Leitlinie entnommen und zeigt typische Produktgruppen mit dem zugehörigen Umrechnungsfaktor (Umweltbundesamt 2016).

**Tabelle 5: Produktgruppen mit den dazugehörigen Konversionsfaktoren**

Produktgruppe	Konversionsfaktor $F_c$ in d/dm
Rohre mit $\text{DN} < 80$ mm (Trinkwasser-Installation)	20
Rohre mit $80 \text{ mm} \leq \text{DN} < 300$ mm (Versorgungsleitungen)	10
Rohre mit $\text{DN} \geq 300$ mm (Hauptleitungen)	5
Ausrüstungsgegenstände für Rohre mit $\text{DN} < 80$ mm	4
Ausrüstungsgegenstände für Rohre mit $80 \text{ mm} \leq \text{DN} < 300$ mm	2
Ausrüstungsgegenstände für Rohre mit $\text{DN} \geq 300$ mm	1
Dichtungen für Rohre mit $\text{DN} < 80$ mm	0,4
Dichtungen für Rohre mit $80 \text{ mm} \leq \text{DN} < 300$ mm	0,2
Dichtungen für Rohre mit $\text{DN} \geq 300$ mm	0,1
Behälter in der Trinkwasser-Installation einschließlich Reparatursystemen	4
Behälter außerhalb der Trinkwasser-Installation einschließlich Reparatursystemen	1
Reparatursysteme für Behälter der Trinkwasser-Installation mit 1/100 der Oberfläche des Behälters	0,04
Reparatursysteme für Behälter außerhalb der Trinkwasser-Installation mit 1/100 der Oberfläche des Behälters	0,01
Kleinflächige Bauteile aus Materialien für Rohre mit $\text{DN} < 80$ mm, die nur an einer Stelle im Verteilungssystem eingebaut sind (z.B. Gleitlager einer Pumpe)	0,004
Kleinflächige Bauteile aus Materialien für Rohre mit $80 \text{ mm} \leq \text{DN} < 300$ mm, die nur an einer Stelle im Verteilungssystem eingebaut sind (z.B. Gleitlager einer Pumpe)	0,002
Kleinflächige Bauteile aus Materialien für Rohre mit $\text{DN} \geq 300$ mm, die nur an einer Stelle im Verteilungssystem eingebaut sind (z.B. Gleitlager einer Pumpe)	0,001

Für die vollständige Beurteilung der Trinkwassertauglichkeit nach KTW ist noch die Auswirkung des Produktes auf das mikrobielle Wachstum zu untersuchen. Wie bereits in Kapitel 3.5.1 erwähnt, ist die Grundlage dieser Prüfung die DIN EN 16421, mit der Einschränkung, dass das Verfahren 3 der DIN nicht für die Beurteilung von Produkten

im Kontakt mit Trinkwasser geeignet ist. Verfahren 3 weist eine zu hohe Nachweisgrenze auf und ist daher nicht für desinfektionsmittelfreies Trinkwasser. Die verbleibenden zwei Verfahren sind unter Beachtung der Auflage der Leitlinie anwendbar (Umweltbundesamt 2016).

Verfahren 1 wird verwendet, um zu untersuchen, inwieweit das getestete Produkt das Wachstum von Biomasse fördert. Proben des Produktes werden in ein Wasser eingelagert mit bekanntem Organismengehalt. Über einen Zeitraum von 16 Wochen wird regelmäßig ein Probestück entnommen und die Menge an Adenosintriphosphat (ATP) an den Proben und im Wasser bestimmt. Über die Zunahme von ATP lässt sich die Zunahme von Biomasse nachvollziehen. Die KTW-Leitlinie schreibt vor, dass dieses Verfahren nicht für die Überprüfung von Mehrschichtprodukten geeignet ist. Eine Einlagerung von allen vorhandenen Schichten würde das Ergebnis verfälschen, da im realen Betrieb nur die Wasserführende Schicht eine eventuelle Wachstumsförderung bewirken würde. Die inneren Schichten, die real keine Auswirkung haben, könnten das Ergebnis bei einer Einlagerung verfälschen (Umweltbundesamt 2016, DIN EN 16421:2015-05).

Verfahren 2 ist überführt aus dem technischen Regelwerk W 270 des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches. Um den Einfluss des Produktes auf das Biomassewachstum zu bestimmen, wird in diesem Verfahren ein Probestück desinfiziert und anschließend langsam fließendem Prüfwasser ausgesetzt. Zur Bestimmung der Biomasse wird das Probestück nach einem definierten Zeitraum entnommen und abgeschabt. Das Gewicht der Biomasse wird ermittelt. Aufgrund der verfahrenstechnischen Anforderungen ist die Einschränkung durch die KTW-Leitlinie, dass Schmierstoffe und Fette über das Verfahren 2 nicht geprüft werden können (Umweltbundesamt 2016; DIN EN 16421:2015-05).

Besteht das getestete Produkt die Prüfungen hinsichtlich der geltenden Grenzwerte, so wird vom Prüfinstitut eine Konformitätsbescheinigung ausgestellt. Diese Bescheinigung gilt für fünf Jahre und enthält die Produktgruppe und den in der Prüfung verwendeten Temperaturbereich. Nach Ablauf der fünf Jahre kann diese Konformitätsbescheinigung verlängert werden, wenn die verwendeten Stoffe nicht verändert wurden und sich keine Änderungen in den Positivlisten ergeben haben, die das zu beurteilende Produkt betreffen (Umweltbundesamt 2016).

## **4 Nachweis der Trinkwassereignung von Baustellenproben**

Da es sich, wie in Kapitel 3 beschrieben, bei einem Schlauchliner um ein vor Ort härtendes Produkt handelt, ist die individuelle Überprüfung der Eigenschaften notwendig. Die Bedingungen an den jeweiligen Baustellen können sich stark unterscheiden, was zum Beispiel die Umgebungstemperatur betrifft. Zusätzlich sind mögliche Fehler in der Verarbeitung von Schlauchlinern zu berücksichtigen. Unter diesen Umständen ist zu erkennen, dass bei Materialien, die im Kontakt mit Trinkwasser stehen, Maßnahmen zu treffen sind, die die einwandfreie Beschaffenheit der verwendeten bzw. hergestellten Produkte dokumentieren und bewerten. Die Überprüfung von Trinkwasserliner, anhand von Baustellenproben bringt dem Kunden und dem Anwender die benötigte Sicherheit, dass die Qualität des Trinkwassers nicht verschlechtert wird. Neben der bereits zum Standard gewordenen KTW-Prüfung für Trinkwasserschlauchliner müssen weitere Prüfungen verpflichtend werden, die die Trinkwassertauglichkeit im Einzelfall und die mechanischen Eigenschaften von verbauten Linern überwachen. Für die Trinkwassereignung sollte das Hauptaugenmerk auf die Einzelstoffanalyse gelegt werden (Haacker 2017a). Untersuchungen hinsichtlich Geruchs- oder Geschmacksveränderungen des Trinkwassers sowie die Überschreitungen des Grenzwertes für organischen Kohlenstoff und Wachstumspotential für Mikroorganismen sind als Zulassungskriterien weiterhin zu bewerten. Eine Einzelstoffanalyse ist ebenfalls zwingend erforderlich, sollte aber an Kennwerte für eine schnelle Überprüfung geknüpft sein. Als Grundgedanke ist eine Korrelation von Migrationswerten von Einzelstoffen und mechanischen oder chemischen Anforderungen herzustellen. Wenn die Einzelstoffe in der KTW-Prüfung bewertet werden, muss erfasst werden, welcher Stoff in der kritischsten Konzentration hinsichtlich des individuellen Grenzwertes vorliegt, so dass eine spätere Aussage zur Bewertung von Einzelstoffen anhand eines Stoffes getroffen werden kann. Unterschreitet der kritischste Einzelstoff den stoffspezifischen Grenzwert, gilt dies auch für alle anderen relevanten Einzelstoffe. Sollte es nun noch möglich sein, die Konzentration des kritischsten Stoffs in Korrelation mit einem Stoffkennwert zu bringen, wie zum Beispiel einem mechanischen Kennwert, könnte anhand einer mechanischen Prüfung, die deutlich weniger Zeit benötigt, eine Aussage zur Einzelstoffanalyse abgeschätzt werden. Dies würde die Wirtschaftlichkeit von den betreffenden Sanierungsverfahren trotz anschließender Überprüfung erhalten.

## 4.1 Mögliche Prüfverfahren

Wie in der Einführung betrachtet, ist die Migration von Monomeren stark abhängig von der Qualität der Reaktion. Für die Korrelation von Kennwerten sollten also Prüfungen gewählt werden, die die Güte der Reaktion bewerten. Dies kann an enthaltenen Restmonomeren oder an der Bewertung der vorhandenen Vernetzung erfolgen. In der Tabelle 6 werden möglich Prüfungen kurz erläutert und der Zusammenhang aufgezeigt, die Migration von Einzelstoffen bewerten zu können (Ehrenstein 1992, Umweltbundesamt 2008).

**Tabelle 6: Mögliche Prüfverfahren für Beurteilung der Trinkwassertauglichkeit**

Prüfverfahren	Kennwert	Zusammenhang
3-Punkt-Biegung	E-Modul	Der Vernetzungsgrad der Probe nimmt Einfluss auf die Festigkeit und die Bindung der Restmonomere
Reststoffanalyse (Reststyrolanalyse)	Reststyrolgehalt	Die Menge der vorhandenen Restmonomere steht in direkter Verbindung zur Migrationsfähigkeit der Monomere
DSC-Analyse	Glasübergangstemperatur	Gibt Aufschluss über die Güte der Reaktion, was das Migrationsverhalten doppelt beeinflusst

Wie in Kapitel 3.5.1 erwähnt, bietet die KTW-Leitlinie eine Abschätzung des Migrationsverhaltens von Einzelstoffen über die Modellierungsleitlinie. Für diese Rechnung ist es nötig, die im Produkt enthaltene Menge des Stoffes zu kennen. Da die Annahme, dass das Migrationsverhalten abhängig von der Menge des betreffenden Stoffes ist, durch diese Aussage in der KTW-Leitlinie bestätigt wird, soll ein Versuchsaufbau erfolgen, welcher den Beweis erbringt.

## 4.2 Versuchsbeschreibung

Für die Auswertung von Baustellenproben, die eingebauten Trinkwasserlinern entnommen wurden, ist es nötig, ein Prüfverfahren zu wählen, welches einige Kriterien erfüllt. Die Überprüfung muss kostenschonend, kurzfristig durchführbar und an den teilweise kleinen Baustellenproben anwendbar sein. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird ein Versuch durchgeführt, welcher ein mögliches Prüfverfahren und eine Migrationsprüfung in Anlehnung an die KTW-Leitlinie beinhaltet. Im Anschluss werden die ermittelten Werte miteinander korreliert und das gewählte Prüfverfahren bewertet.

Für eine geeignete Aussagekraft des Versuchs gilt es, den Versuchsablauf möglichst praxisnah zu gestalten, um die Ergebnisse auf eine Überprüfung von einer realen Baustellenprobe übertragen zu können. Eine der wichtigsten Annahmen für diesen Versuch ist die Wahl des verwendeten Materials. Als Ausgangsstoff wurde ein Reaktionsharz auf Styrol-Basis gewählt, welches mit Fotoinitiatoren die Reaktion beginnt. Die zwei entscheidenden Faktoren für diese Wahl sind die gute Nachweisbarkeit von Styrol und die gut steuerbare Reaktion von lighthärtenden Harzen. Die Reststyrolanalyse an Laminaten ist normativ in der DIN 53394-2 geregelt und der Nachweis von Styrol in Wasser unterliegt der Norm DIN 38407-43 bzw. der DIN 38407-9. Der Versuchsablauf lässt sich in drei Abschnitte unterteilen, die im Folgenden erläutert werden sollen. Außerdem ist ein kurzer Überblick über die Gaschromatographie nötig um die hergestellten Lösungen zu analysieren.

#### **4.2.1 Probekörper herstellen**

Die erforderlichen Probekörper, die nach Vorgaben durch die KTW-Leitlinie Prüfplatten mit einer Abmessung von 200 x 200 x 2 mm ausweisen sollen, werden aus dem Reaktionsharz gegossen. Hierfür ist eine lichtdurchlässige Form, bestehend aus zwei Glasplatten und einem Abstandshalter, nötig. Das zu verwendende Harz muss Fotoinitiatoren beinhalten, die auf den Wellenlängenbereich von ultraviolettem Licht (100 – 400 nm) reagieren (Bundesamt für Strahlenschutz 2017). Für die Verarbeitung bedeutet das, dass das Harz bzw. die Probekörper vor Tageslicht geschützt werden müssen. Das Licht einer Leuchtstofflampe hingegen wirkt sich kaum merkbar auf das Harzsystem aus, da es im Spektrum kaum Überschneidungen gibt. Die Aushärtung der Harzplatte erfolgt über einen UV-Kanal, bestehend aus einem blickdichten Gehäuse, einem 400 W UV-Leuchtmittel, einem Schott und einer Aufnahme für die Glasplattenform. Das Schott ist notwendig, da für eine kontrollierte Belichtungszeit das Schott geöffnet werden muss. Über die Ansteuerung des UV-Leuchtmittels ist dieses nicht möglich, da ein Aufheizen nötig ist, um das gewünschte Spektrum von 100 – 400 nm zu erreichen. Um eine Differenz in der Aushärtung der Harzplatten zu erreichen, wird eine Anzahl von Probeplatten unterschiedlich lang belichtet. Im Folgenden soll eine typische UV-Aushärtung von Schlauchlinern am Beispiel eines Liners mit DN 1200 betrachtet werden, was dem Abstand von 60 cm des UV-Leuchtmittels im UV-Kanal von der Probe entspricht. Zur Aushärtung eines DN 1200 Liners mit einer Wandstärke von 9 – 15 mm wird eine Aushärtevorrichtung bestehend aus zwei identischen Kernen mit jeweils sechs 400 W Leuchtmitteln, in kreisrunder Anordnung, verwendet (DIBt 2017). Aus

dieser Anordnung lässt sich erschließen, dass ein beliebiger Punkt der Linerinnenfläche von jeweils drei Leuchtmitteln gleichzeitig bestrahlt wird. Als Zuggeschwindigkeit der Kerne durch den Liner wird eine Geschwindigkeit von 5 – 80 cm/min angegeben (DIBt 2017). Die Länge der Lampenkette wird mit zwei Metern abgeschätzt (Böhm 2009), was eine Belichtungszeit von 2,5 – 40 Minuten mit drei 400 W UV-Leuchtkörpern ergibt. Geht man davon aus, dass eine Reduzierung der Leistung linear im Zusammenhang mit der Belichtungszeit steht, so ergibt sich bei einem 400 W UV-Leuchtmittel, wie in dem verwendeten UV-Kanal, eine Belichtungszeit von 7,5 – 120 Minuten für Materialstärken von 9 – 15 mm. Um eine gute Vernetzung zu erreichen wird die 2,0 mm Probepatte mit einer Belichtungszeit von 12 Minuten ausgehärtet. Über ein Barcol-Härteprüfgerät wird kurze Zeit nach der Belichtung der Harzplatte ein Härtetest durchgeführt (Ehrenstein 1992). Die Barcolhärte wird bestimmt, indem ein kegelförmiger Eindringkörper mit einer definierten Kraft auf eine glatte Oberfläche gedrückt und die Eindringtiefe gemessen wird. Die Eindringtiefe ist an einer mechanischen Skala, übersetzt in Barcolhärte, ablesbar. Die Skalierung reicht hierbei von 0 bis 100, wobei der maximale Eindruck von 0,760 mm einer Barcolhärte von 0 entspricht und der Wert 100 Barcolhärte einer Eindringtiefe von 0,000 mm (DIN 2016). Die Barcolhärte eines gut reagierten Harzsystems beträgt ca. 40, was einer Eindringtiefe des Kegels von 0,456 mm entspricht (DIN 2016, DVS 2011). Wird nach einer Belichtungszeit von 12 Minuten eine gut ausgehärtete Harzplatte hergestellt, soll die Belichtungszeit verkürzt werden. Als Untergrenze soll eine Harzplatte hergestellt werden, welche formstabil, aber flexibel ist. Die Barcolhärte an der Untergrenze sollte ca. einem Wert von 10 entsprechen. Weitere Platten sind so herzustellen, dass ein gleichmäßiger Verlauf in dem Ablauf der Reaktion erreicht wird. Bereits bei der Herstellung der Platten muss darauf geachtet werden, diese vor UV-Strahlung aus anderen Quellen zu schützen. Die Reinharzplatten sind im Anschluss für mindestens 48 Stunden lichtgeschützt zu lagern und anschließend erneut mit dem Barcol-Härteprüfgerät zu messen, um eine eventuell stattfindende Nachreaktion zu erfassen.

#### **4.2.2 Reststyrolanalyse**

Die Reststyrolanalyse ist in der DIN 53394-2 geregelt. Hierbei wird ein Probekörper in Plättchen der Größe 5,0-10,0 mm x 1,0-2,0 mm x Liner-Wanddicke geschnitten und anschließend in Dichlormethan eingelagert. Da die Vorgabe der KTW-Leitlinie 2,0 mm starke Probekörper fordert und die minimale Wandstärke von Linern 3,0 mm beträgt, sind Plättchen der Größe 5,0-10,0 mm x 2,0 mm x 3,0 mm herzustellen (DWA 2014).

Diese Plättchen werden zu 2,0 g abgewogen und in ein 25 ml-Fläschchen überführt. Das genaue Gewicht der Plättchen ist auf 1 mg genau zu notieren. Anschließend werden 20 ml Dichlormethan hinzugefügt sowie die Menge n-Decan, die der zu erwartenden Menge Styrol entspricht. Als Grenzwert für den Reststyrolgehalt soll der allgemein geltende Monomerstyrolgehalt von maximal 2,0 % angenommen werden, was bei einer Einwaage von 2000 mg einer Styrolmenge von 40,0 mg entspricht (AVK 2010). Mit einer Dichte von 0,729 mg/µl des n-Decan entspricht dies einem Volumen von 54,869 µl (Schramel 2016). Das Gemisch aus Dichlormethan, n-Decan und den Harzplättchen wird verschlossen und 24 Stunden auf einem Rütteltisch bewegt. Anschließend wird das Dichlormethan mit enthaltenem n-Decan sowie dem herausgelösten Styrol abfiltriert und in der Gaschromatographie (siehe 4.2.4) ausgewertet. Für die Gaschromatographie ist eine Kalibrierung erforderlich. Diese muss mindestens aus drei Messpunkten bestehen und ermöglicht die Umrechnung der ermittelten unbekanntem Styrol-Peaks. Die DIN 53394-2 sieht vor, die Kalibrierung mit n-Decan als inneren Standard vorzunehmen. Die folgenden Formeln aus der DIN 53394-2 dienen dabei der Kalibrierung und Auswertung:

Kalibrierung:

$$F_{(2/1)} = \frac{C_2}{C_1} * \frac{A_1}{A_2} \quad (4.1)$$

Mit:

$F_{(2/1)}$ : Umrechnungsfaktor, wird bei der Kalibrierung erzeugt

$C_1$  und  $C_2$ : Konzentration n-Decan (1) und Konzentration Styrol (2) in g/l

$A_1$  und  $A_2$ : Fläche n-Decan Peak (1) und Fläche Styrol Peak (2)

Auswertung:

$$w = \frac{m_1}{m_0} * F_{(2/1)} * \frac{A_2}{A_1} * 100 \quad (4.2)$$

Mit:

$w$ : Massenanteil Styrol in %

$m_0$ : genaue Masse von Harzplättchen (Einwaage) in g

$m_1$ : Masse des internen Standards (n-Decan) in g

$A_1, A_2$  und  $F_{(2/1)}$ : Gleichbedeutend zur Kalibrierung

Die Auswertung in der Gaschromatographie muss mit den in Tabelle 7 zusammengefassten Vorgaben der DIN 53394-2 erfolgen.

**Tabelle 7: Zusammenfassung der Gaschromatographie-Parameter aus der DIN 53394-2**

Parameter	Wert	Einheit
Temperatur Einspritzblock	240	°C
Temperatur Säulenofen	100	°C
Temperatur Flammenionisationsdetektor	250	°C
Säulenvordruck Helium (Trägergas)	130	kPa
Splitstrom	1/100	ml/min
Brenngas Wasserstoff	40	ml/min
Brenngas Luft	300	ml/min

(DIN 53394-2:1993-12) Der ermittelte Reststyrolgehalt soll, in Prozent angegeben, als Korrelationswert für die spätere Auswertung dienen.

### 4.2.3 Migrationsversuch

Als Grundlage für die folgende Migrationsversuchsbeschreibung dienen die KTW-Leitlinie sowie die DIN EN 12873-2. Für die anschließende Auswertung des Migrationswassers dient die DIN 38407-9.

#### Migrationsversuch

Das Migrationsverhalten der freien Monomere, in diesem Fall Styrol, wird über eine Einlagerung von Harzformstoffen in Versuchswasser und anschließender Extraktion sowie der Auswertung des Extraktes über eine Gaschromatographie bewertet. In diesem Teilabschnitt des Migrationsversuchs werden die Parameter der Einlagerung erfasst und beschrieben. Für die Bewertung werden sich die Versuche auf Kaltwasserleitungen beziehen mit einem Durchmesser von 80 mm bis < 300 mm. In diesem Bereich spricht man von Versorgungsleitungen, welche im Kontakt mit Trinkwasser stehen, welches nahezu die Temperatur des Erdreichs aufweist. Für die Migrationsprüfung nach KTW wäre somit eine Kaltwasserprüfung bei  $(23 \pm 2)$  °C erforderlich (Umweltbundesamt 2016). Das Versuchswasser für die Einlagerung ist ein handelsübliches

destilliertes Wasser. Dieses muss nach der Richtlinie VDE 0510 hergestellt sein, welche aussagt, dass das Nachfüllwasser den Vorgaben der IEC 60993 entsprechen muss, welche durch die DIN EN 60993:2003-04 abgelöst wurde (DIN 2011b). Die Anforderungen an das Versuchswasser sind in Tabelle 8 zusammengefasst (DIN EN 60993:2003-04, DIN EN 12873-2:2005).

**Tabelle 8: Anforderungen an das Versuchswasser**

Parameter	Anforderungen DIN EN 12873-2	Anforderungen DIN EN 60993
Leitfähigkeit	< 2 mS/m	$\leq 10 \mu\text{S/cm} \triangleq \leq 1 \text{ mS/m}$
gesamtoorganischer Kohlenstoff	< 0,2 mg/l	30 mg/l

Die Überschreitung des Grenzwertes der DIN 12873-2 für den gesamtoorganischen Kohlenstoff im Versuchswasser ist für den Migrationsversuch nicht relevant. Diese Anforderung muss eingehalten werden, wenn in der KTW-Prüfung der gesamtoorganische Kohlenstoff bestimmt werden soll.

Die KTW-Leitlinie sieht vor, dass ein Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis (O/V-Verhältnis) von  $> 5 \text{ dm}^{-1}$  eingehalten werden muss. Um dieses zu bestimmen, müssen die Oberfläche der Probekörper und das Volumen des Versuchswassers bekannt sein. Das Gefäß, in dem die Einlagerung erfolgt, sollte gut gefüllt sein, um ein mögliches Ausgasen von Styrol zu verhindern. Für den Migrationsversuch wird ein Fläschchen verwendet mit 30 ml Fassungsvermögen, ohne dass ein übermäßig großer Dampfraum verbleibt. Die Probeplatte ist mit einer Diamantsäge mit Wasserkühlung in definierte Plättchen zu zerkleinern, welche eine Größe von 20,0 mm x 10,0 mm x 2,0 mm aufweisen. Eingelagert werden jeweils sechs Plättchen einer Probe, wobei für eine Probe zwei Ansätze parallel zu erstellen sind. Aus diesen Bedingungen ergibt sich folgendes O/V-Verhältnis:

$$O/V = \frac{n \cdot O_P}{V_V} = \frac{6 \cdot 2 \cdot (0,2 \text{ dm} \cdot 0,1 \text{ dm} + 0,2 \text{ dm} \cdot 0,02 \text{ dm} + 0,1 \text{ dm} \cdot 0,02 \text{ dm})}{0,03 \text{ dm}^3} \quad (4.3)$$

$$O/V = \underline{10,4 \text{ dm}^{-1}}$$

Mit:

$O/V$ : Oberflächen zu Volumen – Verhältnis in  $\text{dm}^{-1}$

$n$ : Anzahl Plättchen je Ansatz

$O_P$ : Oberfläche je Plättchen in  $\text{dm}^2$

$V_V$ : Volumen Versuchswasser je Ansatz in  $\text{dm}^3$

Vor der eigentlichen Migrationsprüfung sind die Harzplatten noch zu behandeln. Die KTW-Leitlinie bzw. die DIN EN 12873-2 sieht vor, dass die Plättchen mit definierter Spülgeschwindigkeit von 1,0 – 3,0 m/min mit Leitungswasser  $60 \pm 5$  Minuten zu spülen sind und im Anschluss  $24 \pm 1$  Stunden bei Raumtemperatur im Versuchswasser stagnieren müssen. Nach Ablauf der Stagnation werden die Plättchen erneut mit Leitungswasser unter den gleichen Bedingungen wie zuvor gespült. Vor der Einlagerung in das Migrationswasser sind die Plättchen weitere zwei Minuten mit Versuchswasser abzuspielen. Für eine Kaltwasserprüfung ist eine Migrationsperiode von drei Tagen vorgesehen, wobei nur die Migrationswässer der ersten und dritten Migrationsperiode bewertet werden. Das Migrationswasser der zweiten Periode ist für die Einzelstoffanalyse nach KTW-Leitlinie nicht zu untersuchen und somit in diesem Teilversuch zu verwerfen. Als Richtwert für die spätere Analyse gilt es, den Grenzwert von Styrol in Wasser so genau wie möglich zu bestimmen. Die stoffspezifischen Grenzwerte der KTW-Einzelstoffprüfungen entstammen den unter 3.5.1 erwähnten Positivlisten. Da es für Styrol noch keinen Grenzwert in diesen Listen gibt, wird der TDI-Wert der WHO zur Bestimmung des Styrol-Grenzwertes gewählt (WHO 2004). In der KTW-Leitlinie gilt das WHO-Konzept, um aus dem TDI einen DWPLL zu überführen, daher ist die Angabe des TDI durch die WHO als Annahme legitim. Sollte es in Zukunft zu einer verstärkten Sanierung von Trinkwasserleitungen mit einem styrolhaltigen Linersystem kommen, ist davon auszugehen, dass ein nachgereicherter Grenzwert für die Positivlisten dem errechneten DWPLL im Folgenden entspricht. Der TDI für Styrol, festgelegt durch die WHO, beträgt  $7,7 \mu\text{g}/\text{kg}$  Körpergewicht (WHO 2004). Daraus ergibt sich ein angenommener DWPLL von:

$$DWPLL = \frac{TDI * 60,0 \text{ kg}}{2,0 \text{ l}} * \frac{10 \%}{100 \%} = \frac{7,7 \frac{\mu\text{g}}{\text{kg}} * 60,0 \text{ kg}}{2,0 \text{ l}} * \frac{10 \%}{100 \%} = \underline{\underline{23,1 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}}} \quad (4.4)$$

Mit den Parametern aus Formeln 3.3

Der DWPLL muss in der hier durchgeführten Betrachtung der maximal am Wasserhahn zu erwartenden Konzentration entsprechen. Für die weitere Auswertung des Versuchswassers muss nun analog zu dem ermittelten Grenzwert eine Obergrenze für

Styrol im Migrationswasser errechnet werden. Hierfür wird die Formel 3.7 zur Berechnung der maximal am Wasserhahn zu erwartenden Konzentration entsprechend umgestellt.

$$c_{gemessen,max} = \frac{c_{Tap,max} \cdot \frac{Q}{V} \cdot t}{F_c} = \frac{23,1 \frac{\mu g}{l} \cdot 10,4 \text{ dm}^{-1} \cdot 3 \text{ d}}{10 \frac{d}{dm}} = \underline{\underline{72,072 \frac{\mu g}{l}}} \quad (4.5)$$

Mit:

$c_{gemessen,max}$ : Grenzwert von Styrol im Migrationswasser in  $\mu\text{g/l}$

$c_{Tap,max}$ : Grenzwert für Styrol im Wasser nach WHO in  $\mu\text{g/l}$

$F_c$ : Konversionsfaktor nach Tabelle 5 für Versorgungsleitungen in  $\text{dm}^{-1}$

$t$ : Dauer einer Migrationsperiode in d

### Auswertung des Migrationswassers

Nach der gültigen DIN 38407-43 ist Styrol in Wasser über ein Headspace-Verfahren zu analysieren. Eine Wasserprobe von ca. 10,0 ml wird hierbei in ein 20,0 ml Fläschchen mit gasdichtem Septum im Deckel überführt, einem sogenannten Headspace-Vial und auf 80°C erwärmt. Der Probengeber der Headspace-Chromatographie hat die technische Möglichkeit, die Injektionsspritze des Gaschromatographen ebenfalls auf die benötigten 80°C zu erwärmen und konstant zu halten. Da die Spritze nun durch das Septum sticht und 2,5 ml des Gasraumes im Vial abnimmt, ist es erforderlich eine Gasdichte Injektionsspritze zu verwenden. In dem Vial kommt es im Gasraum zu einer Aufkonzentration von Styrol, da dieses als leichtflüchtige Komponente aus dem Wasser ausgast, was durch die Erwärmung verstärkt wird. In die Gaschromatographie wird nun eine Gasphase injiziert und ausgewertet (DIN 2014). Abweichend dieser Vorgabe wird sich in der folgenden Auswertung auf die zurückgezogene Norm DIN 38407-9 bezogen, da durch einen fehlenden Headspace-Probengeber davon ausgegangen wird, dass eine Extraktion wie in dem veralteten Teil 9 sicherer durchgeführt werden kann, als ein händisches Headspace-Verfahren. Das Aufheizen von Probe und Injektionsspritze könnte nur separat erfolgen. Vor der Injektion in die Gaschromatographie ist eine Abkühlung der Spritze unvermeidlich, was eine Kondensation des enthaltenen Styrols zur Folge hätte.

Die Extraktion beschrieben durch die DIN 38407-9 erfolgt über einen Scheidetrichter in dem das Migrationswasser mit einem Lösungsmittel ausgeschüttelt wird. Über die Phasentrennung kann das Lösemittel entnommen werden. Als Migrationswasser stehen 2 x 30,0 ml zur Verfügung die aus zwei Ansätzen je Probe entstammen, welche nach KTW-Leitlinie als Mischprobe analysiert werden sollen. Für die Extraktion werden 50,0 ml Probenvolumen gewählt. Die Zugabe von Lösungsmittel erfolgt nach der Tabelle 9, welche der DIN 38407-9 entstammt und sich auf Benzol und dessen Derivate bezieht.

**Tabelle 9: Extraktionsvolumenverhältnisse nach DIN 38407-9**

Volumenverhältnis Organische Phase : Wasserprobe	Bereich der Massen- konzentration an Benzol
1 : 100	1 bis 10 µg/l
10 : 100	10 bis 100 µg/l
50 : 50	100 bis 1000 µg/l
100 : 10	1 bis 10 mg/l

Für eine möglichst genaue Auflösung im Grenzbereich, welcher mit 72,072 µg/l berechnet wurde, ergibt sich bei einem Migrationswasservolumen von 50,0 ml ein Lösungsmittelzusatz von 5,0 ml. Bewährt aus der Reststyrolanalyse aus Kapitel 4.2.2 wird als Styrol bindendes Lösungsmittel Dichlormethan eingesetzt. Dichlormethan ist mit einer Dichte von 1,33 g/cm<sup>3</sup> dichter als das verwendete destillierte Wasser mit einer Dichte von 1,00 g/cm<sup>3</sup> und sammelt sich daher im Scheidetrichter unten an. (Baader 2017b, Grimm 2004) Dieser Dichteunterschied ist zwingend erforderlich, um die Substanzen im Scheidetrichter trennen zu können. Sind die Substanzen zusammengeführt ist ein 5 minütiges Schütteln von Hand oder auf dem Rütteltisch vorgesehen. Nach der Durchmischung setzt sich das Dichlormethan wieder an die untere Spitze des Trichters und kann über das Auslassventil abgeführt und filtriert werden, ohne das Wasser mit in das Vial gelangt (DIN 1992). Wie in der zuvor beschriebenen Reststyrolanalyse handelt es sich im Endprodukt um ein Dichlormethan und Styrol Gemisch. Die Analysespezifischen Einstelldaten für die Gaschromatographie aus Tabelle 7 können verwendet werden.

Da sich in der Migration über drei Tage nicht der komplette Reststyrolgehalt lösen wird, sind in der Migrationswasserauswertung deutlich geringere Konzentrationen zu erwarten, was eine neue Kalibrierung für die geringere Styrolmenge erfordert. Um eventuelle Verluste durch mangelhafte Styrolauslöse aus dem Migrationswasser oder Verluste bei der Filtration zu umgehen werden die Kalibrierlösungen auch als Gemisch aus Styrol und Wasser angesetzt und anschließend wie das Migrationswasser weiterbehandelt. Die Kalibrierung ist über mindestens drei Punkte erforderlich.

#### 4.2.4 Gaschromatographie

Bei der Chromatographie geht es um das Trennen von Stoffen. Um eine Trennung zu erreichen wird eine mobile Phase, in der Gaschromatographie ist diese eine Gasphase, über eine stationäre Phase geführt. Die stationäre Phase der Gaschromatographie ist eine teilpolare Säule, die im Prozess von der Gasphase durchströmt wird. Die verwendete Säule ist eine Glaskapillare mit organischer Beschichtung. Zwischen der Beschichtung der Säule und den unterschiedlichen Komponenten der Gasphase treten Wechselwirkungen auf, die je nach Inhaltsstoff verschieden stark ausfallen. Je stärker die auftretende Wechselwirkung, desto mehr wird der Durchfluss der Komponente durch die Säule abgebremst, was zu unterschiedlichen Durchlaufzeiten führt (Retentionszeiten). In der folgenden verwendeten Gaschromatographie wird die Probe flüssig in ein Heizelement injiziert und verdampft (Otto 2006). Von dem entstehenden Gasvolumen wird nur eine geringe Menge in die Säule geleitet, der verbleibende Anteil wird verworfen. Diese sogenannte Split Injektion ist nötig um die Säule nicht zu überlasten. Der zu analysierende Split Anteil reicht dabei von einem Hundertstel bis zu einem Zehntel und wird mit einem Trägergasstrom aus Stickstoff durch die Säule geführt (Meyer 2013). Über die Wechselwirkungen mit der stationären Phase werden je nach Stoff nun unterschiedliche Zeiten benötigt um die komplette Säule zu passieren. Im

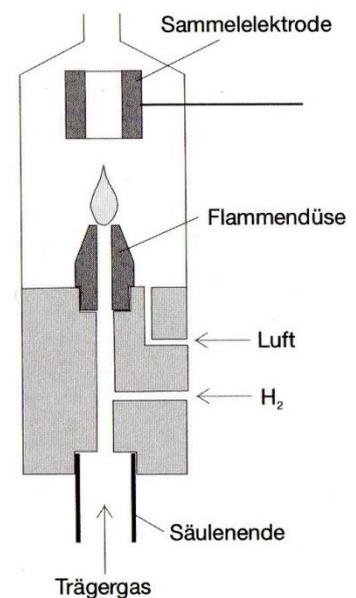


Abbildung 2: Aufbau eines Flammenionisationsdetektors (Otto 2006)

Anschluss der Säule befindet sich eine Flammenionisationsdetektor (FID), welcher die ankommenden Komponenten in einer Wasserstoffflamme verbrennt. Bei der Verbrennung entstehen Ionen, die über einen Spannungsabfall in einer angrenzenden Sammelelektrode detektiert werden. Der Aufbau des FID wird in Abbildung 2 schematisch

dargestellt. Das Ergebnis einer Messung wird in einem Chromatogramm dargestellt. Dieses Diagramm zeigt auf der Abszissenachse die verstrichene Zeit der Messung und auf der Ordinatenachse das Detektorsignal. Detektierte Komponenten werden als Peak in einem Chromatogramm erkennbar (Otto 2006).

## **5 Versuchsdurchführung**

Das Kapitel der Versuchsdurchführung beinhaltet die tatsächlichen Versuchsbedingungen und beschreibt die eventuell aufgetretenen Probleme. Für eine schlüssige Übersicht wird die Versuchsdurchführung wieder unterteilt in Probekörper, Reststyrolanalyse und Migrationsversuch.

### **5.1 Probekörper herstellen**

Die Probekörper wurden, wie in der Versuchsbeschreibung Kapitel 4.2.1 erläutert, in einer lichtdurchlässigen Form und entsprechenden Abmessungen erzeugt. Als Aufheizdauer des UV-Leuchtkörpers wurden jeweils zwei Minuten gewählt, sodass augenscheinlich keine Veränderung der Lichtfarbe mehr wahrnehmbar war. Anschließend wurde die erste Platte 12 Minuten gehärtet und nach ungefähr fünf Minuten die Barcolhärte von 30 ermittelt. Um einen zweiten Punkt zu erfassen, wurde eine Belichtungszeit von 6 Minuten angesetzt. Dieser Probekörper wies eine Barcolhärte von 20 auf. Weitere Probestücke wurden angefertigt, um sich der geplanten Obergrenze und Untergrenze anzunähern. Nach 48 Stunden erfolgte die zweite Barcolhärte-Überprüfung um eine Nachreaktion zu erfassen. In Abbildung 2 werden die Belichtungszeiten der Harzplatten aufgezeigt. Abbildung 3 veranschaulicht die Barcolhärte der Probekörper, sowie die aufgetretene Nachhärtung. Alle Zahlenwerte der zwei Diagramme sind in der Messwerttabelle A1 im Anhang 1 einzusehen.

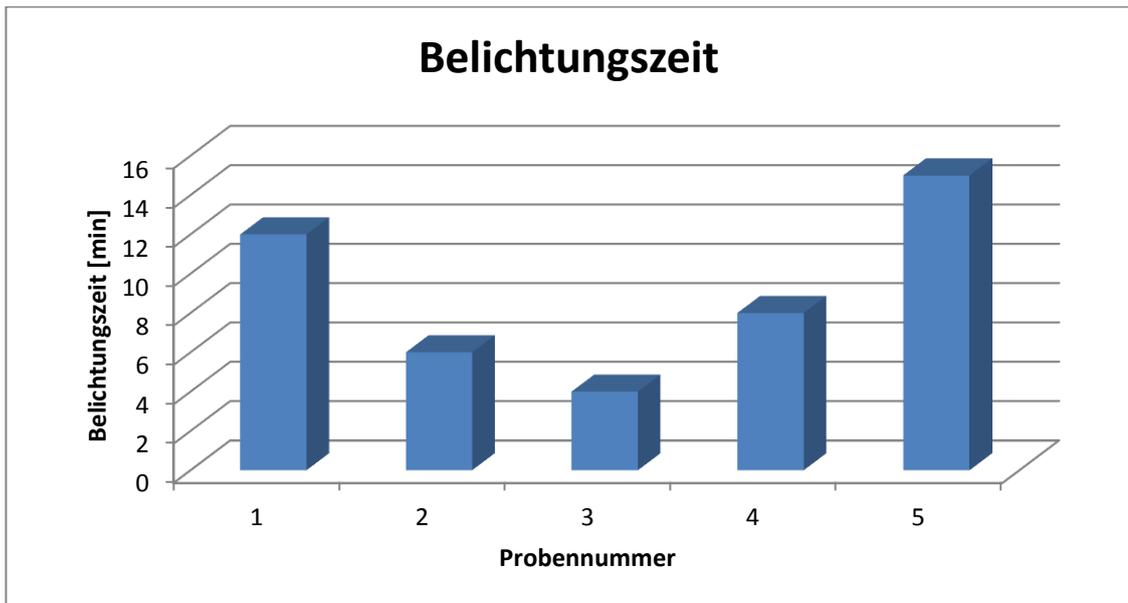


Abbildung 3: Probekörper mit zugehöriger Belichtungszeit im UV-Kanal

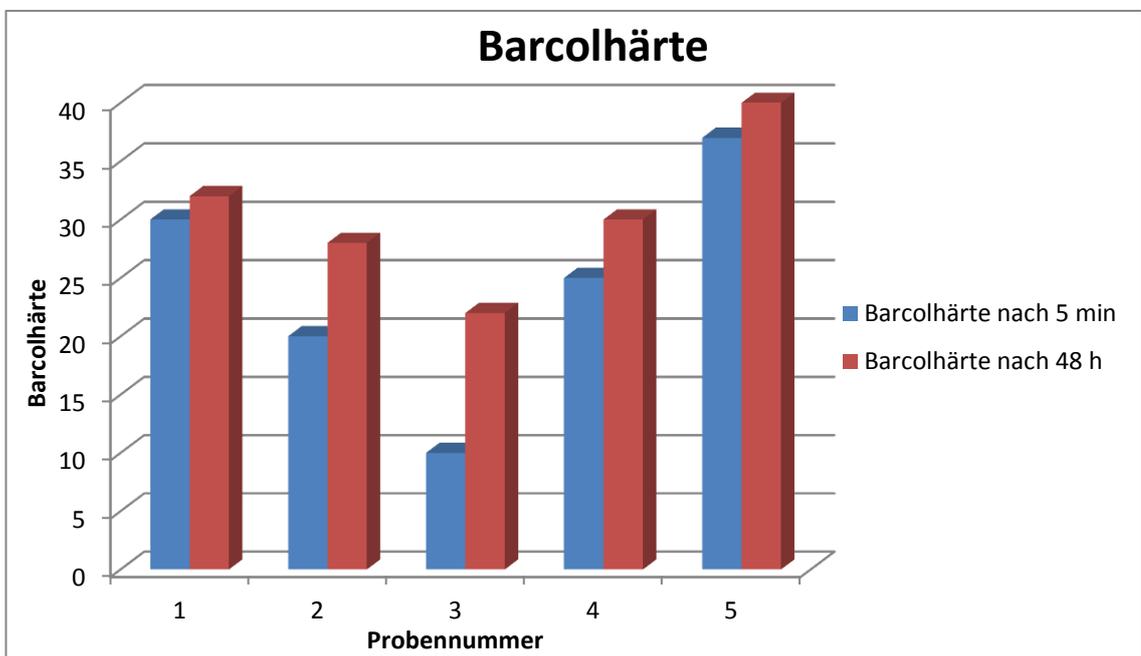


Abbildung 4: Probekörper mit ermittelter Barcolhärte nach einer Lagerungsdauer von fünf Minuten und 48 Stunden

In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass trotz der Lagerung unter Lichtausschluss eine Nachreaktion stattgefunden hat. Diese läuft je nach Vollständigkeit der zuvor stattgefundenen Reaktion mehr oder weniger stark ab. Der Nachreaktion geschuldet werden in den folgenden Versuchen Harzplatten mit einer Barcolhärte-Spannweite von 22 – 40 geprüft, was von den zunächst angenommenen 10 – 40 aus der Versuchsbeschreibung abweicht.

## 5.2 Reststyrolanalyse

Aus den zuvor hergestellten Harzplatten wurde ein Streifen mit einer Breite von 10 mm möglichst mittig herausgetrennt, um eventuelle Verschattungen am Rand zu vernachlässigen. Aus diesem Streifen wurden Plättchen der in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Größe gefertigt. Die Plättchen sind über eine Analysewaage auf 1 mg genau abgewogen und in ein 25 ml Fläschchen überführt worden. Die einzelnen Einwaagen sind der Tabelle 11 zu entnehmen. Anschließend wurden die fünf Fläschchen mit jeweils 20 ml Dichlormethan gefüllt. Diesen fünf Ansätzen wurden jeweils 54,9 µl n-Decan als internen Standard hinzugefügt, da ein Reststyrolgehalt von 2,0 % an den gut gehärteten Harzplatten 1 und 5 erwartet wurde. Die Fläschchen sind verschlossen und für 30 Minuten in einem Ultraschallbad bewegt worden. Anschließend wurden die Ansätze für die restlichen 23,5 Stunden gelagert. Die hochfrequente Durchmischung des Ultraschallbads und gelegentliches Bewegen der Ansätze soll die 24-stündige Durchmischung auf dem Rütteltisch imitieren. Nach der Einlagerung erfolgte eine Dichlormethan Entnahme von ca. 3,0 ml, welche filtriert und in ein Vial gefüllt wurde. Dieser Anteil wird in der Gaschromatographie analysiert.

Für die Auswertung der enthaltenen Styrolmengen ist wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben, eine Kalibrierung erforderlich. Aus der hinterlegten Kalibrierung der Gaschromatographie wurde händisch der Umrechnungsfaktor  $F_{(2/1)}$  ermittelt. Diese hinterlegte Kalibrierung ermöglicht im täglichen Gebrauch eine automatische Auswertung, auf die in diesem Versuch verzichtet wurde. Im Anhang 2 ist die Tabelle A2 zu sehen, welche die Messergebnisse der Kalibrierung beinhaltet, sowie den sich daraus ergebenden Faktor  $F_{(2/1)}$  für jede einzelne Messung. Aus den 33 entstandenen Faktoren, welche einer Mischungs- und Messunsicherheit unterliegen wurde anschließend unter Formel A2.1 der Mittelwert gebildet. Aus dieser Berechnung ergibt sich ein Faktor  $F_{(2/1)} = 1,02676$ , welcher zur weiteren Auswertung der gaschromatografischen Messung in Kapitel 7 genutzt werden soll.

## 5.3 Migrationsversuch

Der Migrationsversuch wurde analog zu den Vorgaben der Versuchsbeschreibung durchgeführt. Es wurden pro Probepalette 12 Plättchen von 20,0 x 10,0 x 2,0 mm für zwei parallele Ansätze mit einem wassergekühlten Schneidwerkzeug gefertigt und vorgebehandelt. Die Spülung der Proben erfolgte in einem Behälter, welcher einen untenliegenden Schlauchanschluss besitzt. Die Probepalättchen können über diesen Schlauchanschluss eingehängt werden. Der Spülbehälter wies zwischen Oberkante und Mitte

Schlauchdurchführung eine Höhe von 25,0 cm auf und das Wasser benötigte 14,7 Sekunden zum Überlaufen des Gefäßes. Dies entspricht einer Spülgeschwindigkeit von 1,02 m/min und entspricht daher den in Kapitel 4.2.3 aufgeschlüsselten Vorgaben der KTW-Leitlinie von 1,0 – 3,0m m/min. Nach Ablauf der 60 Minuten wurden die Plättchen nach Probennummer sortiert und in das Versuchswasser für 24 Stunden eingelagert. Am Folgetag wurde die Spülung unter den gleichen Bedingungen wiederholt. Nach einem kurzen Abspülen mit Versuchswasser, um das anhaftende Leitungswasser zu entfernen, sind die Plättchen in die 30 ml Fläschchen, gefüllt mit Versuchswasser, eingelagert worden. Die drei Migrationsperioden wurden ohne Unterbrechungen durchgeführt.

Aus den zu analysierenden Migrationswässern der Perioden 1 und 3 wurde der Gehalt an Styrol wie in der Versuchsbeschreibung extrahiert. Hierfür wurden die zwei Ansätze einer Probe je nach Migrationsperiode als Mischprobe zusammengefasst und hieraus 50 ml in einen Scheidetrichter überführt. Anschließend wurde dieses Migrationswasser mit 5 ml Dichlormethan 5 Minuten ausgeschüttelt. Das Dichlormethan wurde entnommen, filtriert und in eine Vial überführt. Zu beachten galt es hierbei, die größtmögliche Trennung von Wasser und Dichlormethan zu erreichen. Das Dichlormethan sinkt regulär ab, allerdings kann es vorkommen, dass das Dichlormethan an der Oberfläche des Wassers anhaftet und nicht in die Sohle des Scheidetrichters sinkt. Dies ist an einer trichterförmigen Oberfläche des Wassers zu erkennen, da sich das schwerere Dichlormethan in der Mitte dieser Oberfläche als großer Tropfen ausbildet. Unter diesen Umständen kann es vorkommen, dass die Menge an Dichlormethan in der Trichtersohle nicht ausreicht.

Die Kalibrierung wurde dem Grenzwert des zu ermittelnden Styrols im Migrationswasser angepasst, was einer Konzentration von 72,072 µg/l entspricht. Für die Einbringung von Styrol in Wasser ist es nötig, ein Lösungsmittel als Lösungsvermittler beizufügen. Dieser soll so wenig Einfluss wie möglich auf die Messung haben, weshalb dieser nach DIN 38407-9 eine Konzentration von 1 ml/l Wasser nicht überschreiten soll. In der DIN 38407-9 wird Aceton empfohlen. Die drei benötigten Punkte für eine Kalibriergerade werden über folgende Verdünnungsreihe hergestellt und sind mit einer Styrol-Dichte von 0,91 kg/l errechnet:

1. 250 ml Messkolben wird mit 10 µl Styrol und 0,25 ml Aceton versetzt und bis zum Eichstrich aufgefüllt. Konzentration: 36,4 mg/l
2. 250 ml Messkolben mit 0,99 ml der Lösung 1 vermischt und bis zum Eichstrich aufgefüllt. Konzentration: 144,144 µg/l
3. 100 ml Messkolben mit 50 ml der Lösung 2 vermischt und bis zum Eichstrich aufgefüllt. Konzentration: 72,072 µg/l
4. 100 ml Messkolben mit 25 ml der Lösung 2 vermischt und bis zum Eichstrich aufgefüllt. Konzentration: 36,036 µg/l

Lösung 1 ist nur für die Herstellung der Kalibrierlösungen erforderlich und wird nicht analysiert. Die drei Lösungen wurden wie das Migrationswasser mit Dichlormethan im gleichen Verhältnis ausgeschüttelt und das enthaltene Styrol extrahiert. Die Messung erfolgt am Dichlormethan- und Styrol-Gemisch. In Tabelle 10 sind die Kalibrierlösungen mit den ermittelten Peak-Flächen aufgeführt, die als Grundlage des Diagramms der Kalibriergeraden in Abbildung 4 dienen.

**Tabelle 10: Auswertung der Kalibrierlösungen**

Name	Konzentration [µg/l]	Peak-Fläche
Lösung 2	144,144	665
Lösung 3	72,072	328
Lösung 4	36,036	218

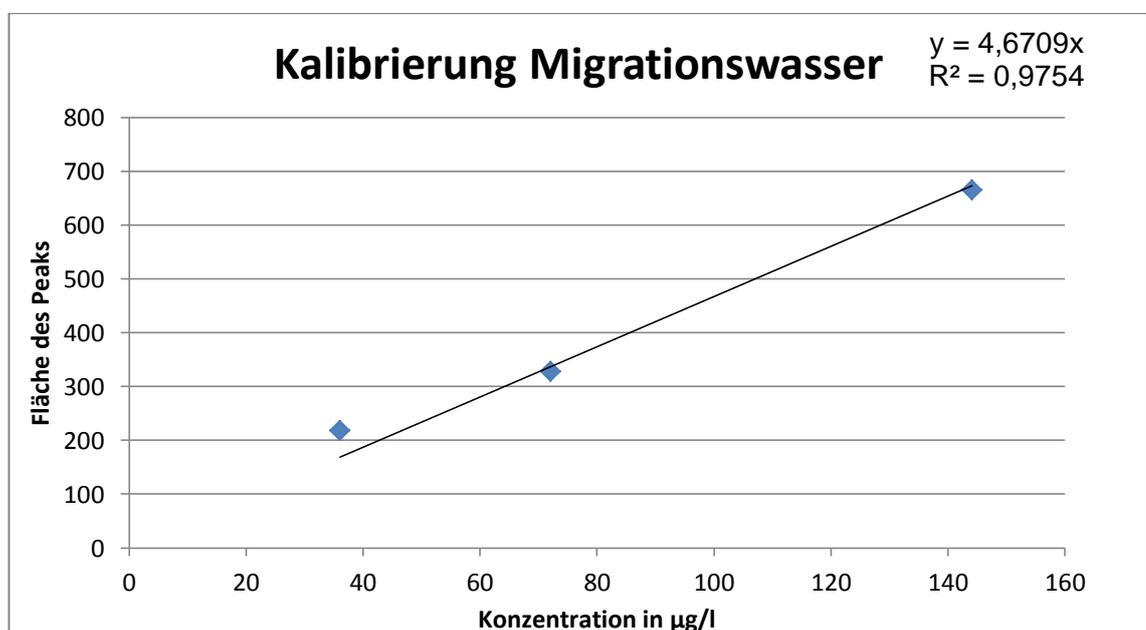


Abbildung 5: Diagramm der Kalibriergerade Migrationswasser

Die sich hieraus ergebene Kalibriergerade ist mit der Formel 5.1 ( $y = 4,6709 \cdot x$ ) zu beschreiben. Die Berechnung für die analysierten Migrationswässer ist somit:

$$c_{ges} = \frac{A_p}{4,6709} \quad (5.2)$$

Mit:

$c_{ges}$ : Gesuchte Styrol-Konzentration des Migrationswasser in  $\mu\text{g/l}$

$A_p$ : Fläche des ermittelten Styrolpeaks

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Resultate der Reststyrolanalyse

In Tabelle 11 werden die Ergebnisse der Reststyrolanalyse zusammenfassend dargestellt. Diese Tabelle beinhaltet die tatsächlichen Werte der Einwaage an Harzplättchen und die Peak-Flächen des n-Decan Peaks und des Styrol Peaks, sortiert nach den fünf Probekörpern. Mit der Formel 4.2 wird aus den gemessenen Werten der Reststyrolgehalt bezogen auf Einwaage als Massenanteil ermittelt.

**Tabelle 11: Ergebnisse der Reststyrolanalyse**

Probekörper	Einwaage [g]	Peakfläche Styrol	Peakfläche n-Decan	Massenanteil Styrol [%] Formel 4.2
1	2,00045	2979061	595803	10,27
2	2,00125	3598332	586456	12,59
3	2,00035	4253544	618745	14,11
4	2,00074	3064949	598954	10,50
5	2,00100	2586125	601896	8,82

### 6.2 Resultate der Migrationswässer

Die Ergebnisse der gaschromatografischen Untersuchungen der extrahierten Migrationswässer sind in der Tabelle 12, sortiert nach Probekörpern, als Messwerte aufgezeigt. Die gemessene Konzentration  $c_{gemessen}$  wird über die angefertigte Kalibrierung Formel 5.2, aus dem Kapitel 5.3, ermittelt. Aus den gemessenen Konzentrationen  $c_{gemessen}$  wird die maximal am Wasserhahn zu erwartende Styrolkonzentration  $c_{Tap}$  über die Formel 3.7 errechnet.

**Tabelle 12: Ergebnisse der Analyse von Migrationswässern mit dem Gaschromatographen**

Probennummer	Migrationsperiode	Peak-Fläche	$c_{gemessen}$ [ $\mu\text{g/l}$ ] Formel 5.2	$c_{Tap}$ [ $\mu\text{g/l}$ ] Formel 3.7
1	M1	41816	8952,45	2869,38
1	M3	34836	7458,09	2390,41
2	M1	106988	22905,22	7341,42
2	M3	80385	17209,75	5515,94
3	M1	271379	58099,94	18621,77
3	M3	141874	30374,02	9735,26
4	M1	80187	17167,36	5502,36
4	M3	50703	10855,08	3479,19
5	M1	25953	5556,32	1780,87
5	M3	18137	3882,98	1244,54

## 7 Bewertung

Für die Bewertung der Ergebnisse werden die beiden parallel gelaufenen Versuche einzeln betrachtet. Im Anschluss wird im Abschnitt 7.3 die Korrelation der Messwerte durchgeführt.

### 7.1 Reststyrolanalyse

Die Probekörper, hergestellt nach den im Kapitel 4.2.1 beschriebenen Bedingungen, weisen einen Reststyrolgehalt von 8,82 – 14,11 % auf. Die erwarteten 2,0 % für ein gut reagiertes System sind damit weit überschritten. Da es sich bei dem verwendeten Harz um das Produkt eines angesehenen Wettbewerbers der Kanalsanierungsbranche handelt, der in dieser Arbeit nicht namentlich erwähnt werden möchte, kann davon ausgegangen werden, dass das Harz die 2,0 % Reststyrolschwelle bei richtiger Härtung unterschreiten kann. Die erreichte Barcolhärte deutete darauf hin, dass eine ausreichende Reaktion stattgefunden hat (Ehrenstein 1992; DVS 2011). Die unter 4.2.1 getroffenen Annahmen zur Belichtungszeit, die auf Vorgaben für den Einbau im Freispiegelbereich beruhen, scheinen nicht geeignet um einen Schlauchliner mit Trinkwassereignung herzustellen. Da das Ziel der durchgeführten Versuche die Überprüfung der Aussagekraft der Reststyrolanalyse bezüglich der Trinkwassereignungsbestätigung ist und die zeitlichen Rahmenbedingungen einen zweiten Versuchsablauf nicht zulassen, wurde der Versuch mit den erhöhten Reststyrolwerten im Laminat fortgesetzt.

## 7.2 Migrationsversuch

Bei dem durchgeführten Migrationsversuch und der anschließenden Auswertung wurde die Migration von Styrol nachgewiesen. Wie erwartet sind die Styrolkonzentrationen im Migrationswasser abhängig von der Belichtungszeit der eingelagerten Probekörper. Verglichen mit dem zuvor angenommenem DWPLL für Styrol von 23,1 µg/l ist in den maximal am Wasserhahn zu erwartenden Konzentrationen eine Überschreitung dieses DWPLL erkennbar. Die maximal am Wasserhahn zu erwartenden Konzentrationen liegen teilweise so hoch, dass ein Mensch mit 60 kg Körpergewicht 100% seines Styrol TDI mit 25 ml Wasser aus der Leitung erreicht hätte. In Anbetracht dieser hohen Expositionen wird erkennbar, warum die Aushärtung von Schlauchlinern in Trinkwasserleitungen geprüft werden muss. Zu beobachten ist, dass die Migration von Styrol zeitabhängig abnimmt. Die Konzentrationen im Migrationswasser nehmen zwischen der ersten und dritten Migrationsprüfung bis zu 50% ab.

## 7.3 Korrelation der Messwerte

Obwohl die Reststyrolwerte im Laminat und die Styrolkonzentrationen im Migrationswasser von den erwarteten Ergebnissen abweichen, kann die Korrelation der Werte durchgeführt werden. Der proportionale Zusammenhang zwischen dem Reststyrolgehalt im Laminat und den Styrolkonzentrationen im Migrationswasser ist vorhanden, da aus den Messwerten erkennbar wird, dass keine Styrol-Sättigung im Wasser erreicht wird. Von Bedeutung ist für die Korrelation die erste Migrationsperiode, da über die voranschreitende Migration der Styrolgehalt in der Probe absinkt. Der Reststyrolgehalt wurde an einer Probe ermittelt, die keiner Einlagerung ausgesetzt war. Zusätzlich muss bedacht werden, dass eine angenommene Grenzwertunterschreitung in der dritten Migrationsperiode eine Grenzwertüberschreitung der ersten Migrationsperiode nicht rechtfertigt, da die Nutzer der sanierten Wasserleitung kurzzeitig hohen Styrolexpositionen ausgesetzt wären. In Abbildung 6 sind die am Wasserhahn zu erwartenden Konzentrationen der ersten Migrationsperiode auf der Ordinate mit den Reststyrolwerten der Probekörper auf der Abszisse korreliert aufgezeigt.

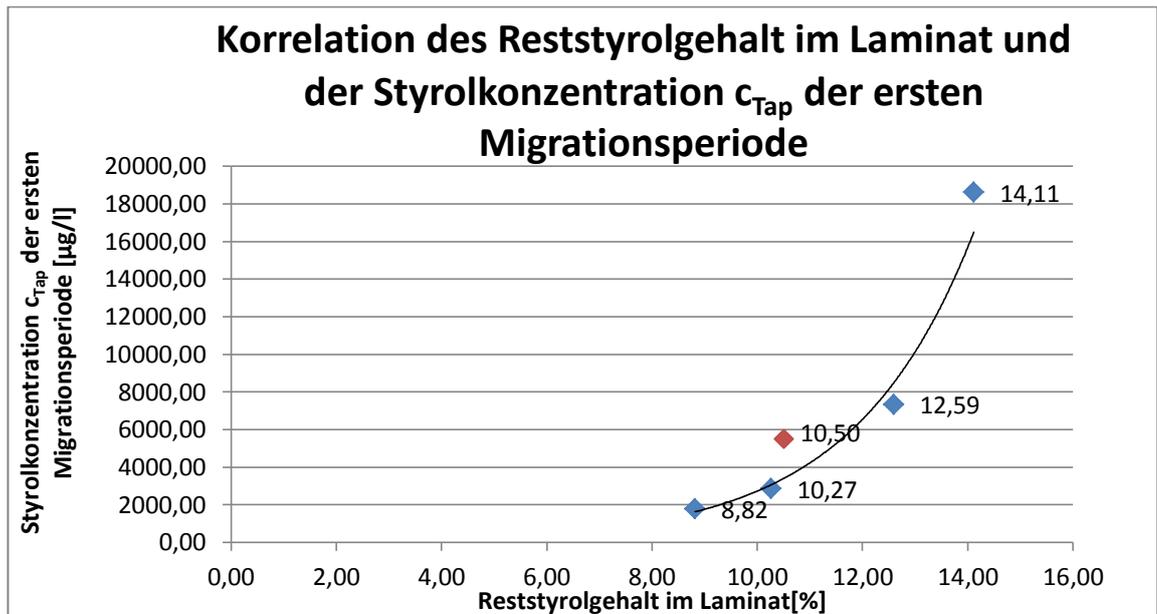


Abbildung 6: Korrelation von Reststyrolgehalt und der maximal zu erwartenden Konzentration am Wasserhahn  $c_{\text{Tap}}$  der ersten Migrationsperiode

In Anbetracht der Korrelation von dem Reststyrolgehalt im Laminat und der Konzentration von Styrol im Migrationswasser lässt sich ein exponentieller Verlauf erkennen. Das bedeutet, dass die Styrolbelastung des Trinkwassers noch stärker vom Reststyrolgehalt abhängt als bisher vermutet. Zusätzlich lässt sich in der Abbildung 6 eine Messabweichung erkennen. Die Probe 4, als roter Messpunkt eingetragen, mit einem Reststyrolgehalt von 10,50 % bei einer Belichtungszeit von 8 Minuten scheint einen zu geringen Reststyrolwert aufzuweisen. Um dies zu bestätigen, wird die Belichtungszeit in Verbindung mit dem Reststyrolgehalt der fünf Proben in Abbildung 7 betrachtet.

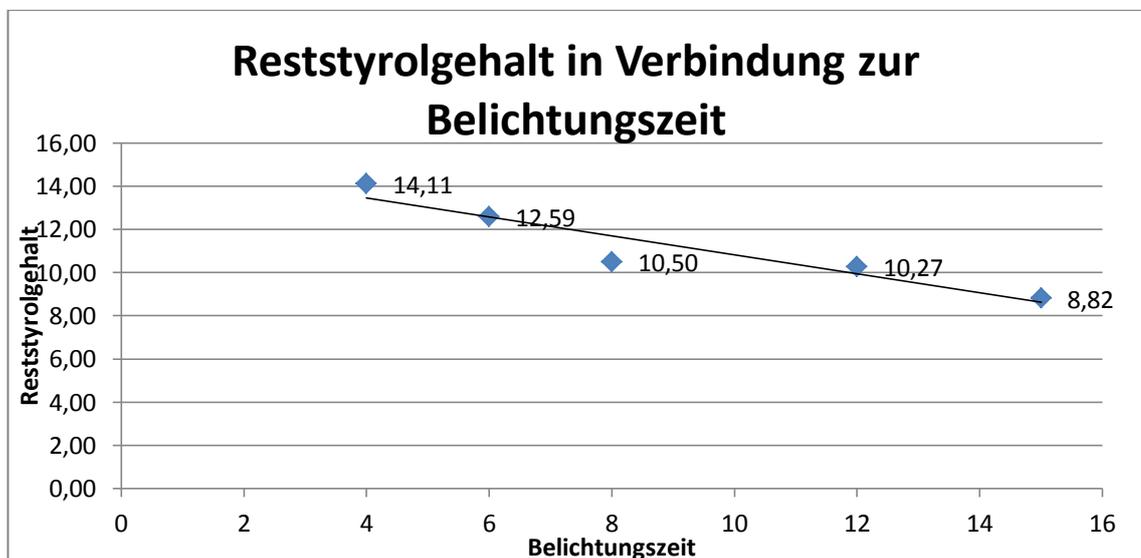


Abbildung 7: Reststyrolgehalt in Verbindung zur Belichtungszeit

In Abbildung 6 und 7 lässt sich erkennen, dass der Messpunkt der Probe 4 jeweils von dem vermuteten Verlauf abweicht. Aus diesem Grund wurde der Messpunkt 4 bei der Erstellung der Trendlinie in Abbildung 6 nicht berücksichtigt.

Bei der Auswertung der Ergebnisse ist zusätzlich aufgefallen, dass die Barcolhärte gegen die Erwartung keine Abschätzung über den Reststyrolgehalt im Laminat zulässt. Zu erwarten war, dass nahezu alle Eigenschaften eines UP-Harzes durch eine mangelhafte Härtung nachteilig beeinflusst werden (Ehrenstein 1992). Während die gemessene Barcolhärte hier ein gut gehärtetes Laminat erwarten ließ, zeigt der vorgefundene Reststyrolgehalt eine mangelnde Vernetzung der Harzprobe. Bei der weiteren Aushärtung ist für die Barcolhärte kein signifikanter Anstieg zu erwarten, wohingegen der Reststyrolgehalt weiter sinken wird. Aufgrund der zu geringen Veränderung in der Barcolhärte ist dieses Messverfahren wie andere mechanische Messverfahren auf Grund der im Verhältnis zu großen Streuung der Messwerte nicht geeignet um eine genaue Aussage über den Reststyrolgehalt im Laminat zu erhalten. Aus dieser Tatsache lässt sich ableiten, dass eine mechanische Prüfung zur Abschätzung der Migration von Styrol und dem damit verbundenen Trinkwassereignungsnachweis nicht möglich ist.

## **8 Zusammenfassung und Fazit**

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde eine Prüfmethode entwickelt, die die Trinkwassereignung von Schlauchlinern, nach Vorgaben der KTW-Leitlinie, an Baustellenproben bestätigen kann. Bei der Versuchsdurchführung und der anschließenden Auswertung wurde der Reststyrolgehalt im Laminat mit der Konzentration von Styrol im Migrationswasser in Korrelation gebracht. Auf Grund der zeitlichen Einschränkungen dieser Bachelorarbeit fand die Prüfung an Laminatproben mit erhöhtem Reststyrolgehalt statt. Trotz der erhöhten Messwerte war zu erwarten, dass das Ziel dieser Arbeit erreicht werden kann und ein zweiter Versuchsdurchlauf zeitlich nicht durchzuführen ist. Die Korrelation zwischen dem Reststyrolgehalt im Laminat und der Konzentration von Styrol im Migrationswasser deutet auf einen exponentiellen Verlauf hin. Bei der Weiterbehandlung dieses Themas sollte eine Korrelation aus den hier verwendeten Werten für Lamine, welche die Trinkwassereignung nach der KTW-Leitlinie erfüllen, hergestellt werden. Nach der Durchführung der Korrelation wäre es zu empfehlen, die Reststyrolanalyse als Standardprüfmethode für den individuellen Trinkwassernachweis festzulegen. Ergänzend mit den Prüfungen nach der KTW-Leitlinie, die grundsätzlich

die Eignung der Schlauchlinersysteme prüft, wäre so die individuelle Kontrolle von eingebauten Schlauchlinern, bezüglich der Einhaltung der Trinkwassereignung möglich. Diese kurzfristige Kontrolle ist für ein Lebensmitteltransportmedium wichtig um erhöhte Expositionen schnellstmöglich zu unterbinden. In der Versuchsdurchführung hat sich gezeigt, warum vor Ort härtende Schlauchliner ein Problem für die Trinkwasserführung darstellen könnten. Eine fehlerbehaftete Aushärtung könnte in der Praxis durch Anwendungsfehler möglich sein.

Bei der Kontrolle des möglichen Prüfverfahrens hat sich ergeben, dass eine Bestätigung der Trinkwassereignung über mechanische Werte, wie in diesem Beispiel der Barcolhärte, nicht möglich ist. Trotz guter mechanischer Eigenschaften lag der Reststyrolgehalt weit über den erwarteten 2,0 %. Während der Reststyrolgehalt in der weiteren Aushärtung weiter absinkt ist keine signifikanter Anstieg der Barcolhärte zu erwarten.

Eine weitere Thematik der Trinkwassereignung von Schlauchlinern ist die Verwendung von anderen Harzsystemen. Bei styrolhaltigen Harzen war die Reststyrolanalyse als geeignete Prüfung zu betrachten. Bei EP-Harzen sollten die kritischen Inhaltsstoffe nach Inhaltsmengen und der Höhe des Grenzwertes bewertet werden, um einen Indikator für ein gut gehärteten Liner zu finden. Denkbar wäre als korrelierte Prüfmethode die in Kapitel 4.1 erwähnte DSC-Analyse. Hier könnte die Möglichkeit der Korrelation in einem ähnlichen Versuch überprüft werden.

## Quellenverzeichnis

- Aarslef Rohrsanierung GmbH (2011): 40 Jahre Schlauchlining in Europa – 40 Jahre Insituform [online] [http://www.aarsleff-gmbh.de/aktuelles/details/article/40-jahre-schlauchlining-in-europa-40-jahre-insituform.html?no\\_cache=1&cHash=6dc600098e1e89dd91a9645ac0c793f2](http://www.aarsleff-gmbh.de/aktuelles/details/article/40-jahre-schlauchlining-in-europa-40-jahre-insituform.html?no_cache=1&cHash=6dc600098e1e89dd91a9645ac0c793f2) [02.02.2018]
- Aarslef Rohrsanierung GmbH (2013): Schlauchlining mit Warmhärtung [online] [http://www.aarsleff-gmbh.de/uploads/tx\\_nxttcontentadditionalfields/01\\_Schlauchlining\\_Waermehaertung\\_01.pdf](http://www.aarsleff-gmbh.de/uploads/tx_nxttcontentadditionalfields/01_Schlauchlining_Waermehaertung_01.pdf) [07.01.2018]
- AVK (Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V.) (2010): Handbuch Faserverbundkunststoffe, Wiesbaden, Vieweg + Teubner
- Baader, Andreas (2017a): 1-Chlor-2,3-epoxypropan [online] [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis\\_de/013370.xml?f=templates\\$fn=default-doc.htm\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/013370.xml?f=templates$fn=default-doc.htm$3.0) [26.11.2017]
- Baader, Andreas (2017b): Dichlormethan [online] [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis\\_de/000000.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$vid=gestisdeu:sdbdeu\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates$fn=default.htm$vid=gestisdeu:sdbdeu$3.0) [13.01.2018]
- Baader, Andreas (2018): Styrol [online] [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis\\_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu) [14.01.2018]
- Böhm, Petra (2009): Newsletter II/2009 vom 3. September 2009 - Projektspezifische Lösungen gefragt - Diring & Scheidel Rohrsanierung saniert auf dem Gelände der Flughafens Dresden International [online] [http://www.saertex-multicom.de/de/news-termine/archiv?news=20090803\\_1426](http://www.saertex-multicom.de/de/news-termine/archiv?news=20090803_1426) [02.02.2018]
- Bosseler, Bert und Schlüter, Marco (2003): Qualitätseinflüsse Schlauchliner – Stichproben-Untersuchungen an sanierten Abwasserkanälen [online] <http://www.ikt.de/website/down/f0104langbericht.pdf> [27.11.2017]
- Bundesamt für Strahlenschutz (2017): Was ist UV-Strahlung? [online] [http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/einfuehrung/einfuehrung\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/einfuehrung/einfuehrung_node.html) [03.01.2017]
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2015): Gesetz zur Durchführung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Umsetzung und Durchführung anderer Rechtsakte der Europäischen Union in Bezug auf Bauprodukte (Bauproduktengesetz – BauPG) [online] [http://www.gesetze-im-internet.de/baupg\\_2013/](http://www.gesetze-im-internet.de/baupg_2013/) [28.11.2017]

- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, [online] [https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv\\_2001/TrinkwV\\_2001.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2001/TrinkwV_2001.pdf) [23.11.2017]
- DIBt (2011): Grundsätze zur Bewertung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser [online] [https://www.dibt.de/en/Departments/data/Aktuelles\\_Ref\\_II\\_6\\_5.pdf](https://www.dibt.de/en/Departments/data/Aktuelles_Ref_II_6_5.pdf) [30.11.2017]
- DIBt (2017): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Zulassungsnummer Z-42.3-350, Berlin, DIBt,
- DIN (2014): DIN 38407-43:2014-10, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) – Teil 43: Bestimmung ausgewählter leichtflüchtiger organischer Verbindungen in Wasser – Verfahren mittels Gaschromatographie und Massenspektrometrie nach statischer Headspacetechnik (HS-GC-MS) (F43), (DIN 38407-43:2014-10), Deutsche Norm
- DIN (1992): DIN 38407-9:1991-05, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) – Teil 9: Bestimmung von Benzol und einigen Derivaten mittels Gaschromatographie (F9), (DIN 38407-9), Deutsche Norm
- DIN (1993): DIN 53394-2:1993-12, Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen - Gaschromatographisches Verfahren: (DIN 53394-2), Deutsche Norm
- DIN (2005): DIN EN 12873-2:2005-04, Einfluss von Materialien auf Trinkwasser – Einfluss infolge der Migration – Teil 2: Prüfverfahren für vor Ort aufgebrachte nicht metallische und nicht zementgebundene Materialien, Kennzeichen: (EN 12873-2:2005), Deutsche Fassung
- DIN (2015): DIN EN 16421:2015-05, Einfluss von Materialien auf Wasser für den menschlichen Gebrauch – Vermehrung von Mikroorganismen, Kennzeichen: (EN 16421:2014), Deutsche Fassung
- DIN (2011b): DIN EN 50272-1; VDE 0510-1:2011-10, Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen – Teil1: Allgemeine Sicherheitsinformationen, VDE-Verlag
- DIN (2016): DIN EN 59:2016-06, Glasfaserverstärkte Kunststoffe – Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Barcol-Härteprüfgerät, (EN 59:2016), Deutsche Fassung
- DIN (2003): DIN EN 60993:2003-04, Elektrolyt für geschlossene wiederaufladbare Nickel-Cadmium-Zellen: (EN 60993:2002), Deutsche Fassung

- DIN (2017): DIN EN ISO 11296-4:2017-05, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispielleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining (ISO/DIS 11296-4:2017); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 11296-4:2017
- DIN (2011a): DIN EN ISO 11298-1:2011-07, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten Wasserversorgungsnetzen – Teil 1: Allgemeines, Kennzeichen: (ISO 11298-1:2010), Deutsche Fassung EN ISO 11298-1:2011
- DVS (Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.) (2011): Richtlinie DVS 2220: Prüfung von Kunststofflaminiern und –klebern Laminat sowie Laminat- und Klebeverbindungen aus GFK (UP-GF und EP-GF), Berlin, Beuth Verlag GmbH
- DWA (2014): DWA-A 143-3:2014-05, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden Teil 3: Vor Ort härtende Schlauchliner, DWA
- Ehrenstein, G.W. (1992): Kunststoff-Schadensanalyse Methoden und Verfahren“, Erlangen, Carl Hanser Verlag München Wien
- Eulenburg, Artur (2016): Mit Licht in die Anschlusskanäle [online] [http://www.bluelight-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads/bi-UmweltBau\\_6-2016\\_142-144.pdf](http://www.bluelight-gmbh.de/fileadmin/user_upload/Downloads/bi-UmweltBau_6-2016_142-144.pdf) [28.11.2017]
- Europäische Union (2011): Verordnung (EU) Nr. 10/2011 der Kommission vom 14. Januar 2011 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen [online] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:012:0001:0089:DE:PDF> [30.11.2017]
- Flemming, Manfred et al. (1995): Faserverbundbauweisen – Fasern und Matrices, Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
- Geschäftsstelle der Bauministerkonferenz (2016): Musterbauordnung [online] <https://www.is-argebau.de/Dokumente/42318979.pdf> [29.11.2017]
- Grimm, Heiner (2004): Wasser und Dichte [online] [http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser\\_dichte.html#kap02](http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser_dichte.html#kap02) [13.01.2018]
- Haacker, Andreas (2017a): Fachgespräch Vorstandsvorsitzender RSV, 24.11.2017, Oststeinbek
- Haacker, Andreas (2017b): Fachgespräch Vorstandsvorsitzender RSV, 29.11.2017, Oststeinbek
- Koroschetz, Matthias und Münstermann, Timo (2017): Technik und Forschung in der Praxis: Sanierung einer Trinkwasserleitung DN 225 mit Saertex-Liner H2O am Schöneberger Ufer zur Wasser Berlin International [online] [http://www.saertex-multicom.de/de/news-termine?news=20170324\\_1146](http://www.saertex-multicom.de/de/news-termine?news=20170324_1146) [27.11.2017]

- Merschbacher, Adam (2017): Aktueller Rechtsstand in Deutschland [online] <http://www.bauordnungen.de/html/deutschland.html> [29.11.2017]
- Meyer, Marleen (2013): Gaschromatographie [online] <http://chemieplanet.org/wiki/Gaschromatographie#Split.2FSplitless> [27.01.2018]
- Otto, Matthias (2006): Analytische Chemie, 3.Auflage, Weinheim, WILEY-VCH Verlag
- Pipe-Aqua-Tec GmbH & Co.KG (2015): BlueLine Produktdatenblatt [online] [http://www.pipe-aqua-tec.de/dateien/db/td/blueline\\_19\\_03\\_2015\\_de\\_an-sicht.pdf](http://www.pipe-aqua-tec.de/dateien/db/td/blueline_19_03_2015_de_an-sicht.pdf) [27.11.2017]
- RP Photonics Consulting GmbH (2017): Leuchtstofflampe [online] <https://www.energie-lexikon.info/leuchtstofflampe.html> [03.01.2017]
- Saechtling et al. (2013): Kunststoff, Taschenbuch 31.Ausgabe, München, Hanser Verlag
- Schramel, Oliver (2016): Spezifikation 8.03405.0100 n-Decan zur Synthese [online] [http://www.merckmillipore.com/DE/de/product/n-Decane,MDA\\_CHEM-803405#anchor\\_Spezifikationen](http://www.merckmillipore.com/DE/de/product/n-Decane,MDA_CHEM-803405#anchor_Spezifikationen) [05.01.2018]
- Schwarzer, Stefan (2013) „Empfehlung zur Prüfung von vor Ort härtenden Schlauchlinern zur Sanierung von Druckleitungen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung unter Berücksichtigung geltender Regelwerke“, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften Suderburg
- Statistisches Bundesamt (2008): Wasserverluste in ausgewählten europäischen Ländern (in Prozent vom Bruttowasseraufkommen) [online] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/155692/umfrage/wasserverluste-in-der-wasserversorgung-in-europa/> [24.11.2017]
- Statistisches Bundesamt (2015a): Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung – Öffentliche Wasserversorgung –, [online] [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/WasserOeffentlich2190211139004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/WasserOeffentlich2190211139004.pdf?__blob=publicationFile), [23.11.2017]
- Statistisches Bundesamt (2015b): Anzahl der mit Trinkwasser versorgten Einwohner und Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung in Deutschland in den Jahren 2004 bis 2013 [online] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/289003/umfrage/anschlussgrad-an-die-wasserversorgung-in-deutschland/> [24.11.2017]
- Statistisches Bundesamt (2017): Trinkwasserabgabe in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2015 (in Millionen Kubikmeter) [online] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152735/umfrage/entwicklung-der-wasserabgabe-an-verbraucher-seit-1990/> [24.11.2017]

- Ulland, Jan (2016): Wasserwirtschaft investiert 7,3 Milliarden Euro, [online] <https://www.bdew.de/internet.nsf/id/20160212-pi-wasserwirtschaft-investiert-73-milliarden-euro-de> [23.11.2017]
- Umweltbundesamt (2003): Zusammenfassung des Technical Support Document (TSD) zu: Styrol (Status: "proposed", Stand: 09/2003) [online] <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/dokumente/styrol.pdf> [26.11.2017]
- Umweltbundesamt (2008): Leitlinie zur mathematischen Abschätzung der Migration von Einzelstoffen aus organischen Materialien in das Trinkwasser (Modellierungsleitlinie), Umweltbundesamt, 07.10.2008
- Umweltbundesamt (2016): Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Materialien im Kontakt mit Trinkwasser (KTW-Leitlinie), Umweltbundesamt
- WHO (2004): Guidelines for Drinking-water Quality – Third Edition – Volume 1 Recommendations [online] <https://books.google.de/books?id=SJ76COTm-nQC&printsec=frontcover&hl=de#v=onepage&q&f=false> [08.01.2018]
- Zumdick, Ulrich & Bambauer, Ann (2017): Bisphenol A (4,4'-isopropylidendiphenol) [online] <http://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/de/REACH/Kandidatenliste/Listen/Bisphenol%20A/Bisphenol%20A.html> [26.11.2017]

## **Eidesstattliche Erklärung**

Verfasst von: Dennis Ladewig

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema „Beurteilung der Trinkwassereignung von Schlauchlinern durch Untersuchung von Baustellenproben“ ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Datum:

Unterschrift: \_\_\_\_\_

## Anhang 1

**Tabelle A1: Übersicht der erzeugten Harzplatten**

Probennummer	Belichtungszeit	Barcolhärte	
	[min]	5 Minuten	48 Stunden
1	12	30	32
2	6	20	28
3	4	10	22
4	8	25	30
5	15	37	40

## Anhang 2

**Tabelle A2: Berechnung des Faktors  $F_{(2/1)}$  zur Reststyrolanalyse**

n-Decan [mg/l]	Styrol [mg/l]	Massenanteil in % bei 2,000g Einwaage	Kalibrierung 1			Kalibrierung 2			Kalibrierung 3		
			Peakfläche Styrol	Peakfläche n-Decan	Faktor $F_{(2/1)}$ aus Formel 4.1	Peakfläche Styrol	Peakfläche n-Decan	Faktor $F_{(2/1)}$ aus Formel 4.1	Peakfläche Styrol	Peakfläche n-Decan	Faktor $F_{(2/1)}$ aus Formel 4.1
200	50	0,05	11097,7	49045	1,10485	10493,7	48795	1,16248	11612,1	46639	1,00410
200	100	0,1	23760,3	49947	1,05106	24086,3	49435	1,02621	23278,9	49118	1,05499
200	200	0,2	49867,8	50073	1,00411	48301,2	47793	0,98948	45072,1	47010	1,04300
2000	500	0,5	118556,4	547851	1,15525	121817	536730	1,10151	115095,1	496316	1,07806
2000	1000	1	252163,3	556089	1,10264	248041,3	531816	1,07203	236357,1	495877	1,04900
2000	1500	1,5	402704	553628	1,03108	396716,1	525956	0,99433	362592,3	501566	1,03746
2000	2000	2	544620	549065	1,00816	534326,5	533871	0,99915	475450,2	493635	1,03825
2000	2500	2,5	681471,5	547343	1,00397	678461,3	540019	0,99493	599713,5	493884	1,02942
2000	3000	3	843353,3	547235	0,97332	831196	539166	0,97299	731274,2	515304	1,05700
2000	4000	4	1148915,9	564554	0,98276	1127794,1	520285	0,92266	999139,4	491267	0,98338
2000	6000	6	1736013,8	550612	0,95151	1724707,6	540241	0,93971	1544884,2	496601	0,96435

$$F_{(2/1)} = \frac{\sum F_{(2/1),n}}{n} = \frac{33,88319}{33} = \underline{\underline{1,02676}} \quad (\text{A2.1})$$

Mit:

$n$ : Anzahl der Messungen und dazugehörigen Faktoren

## Anhang 3 – Messprotokolle

### Messprotokoll der Reststyrolanalyse Probekörper 1

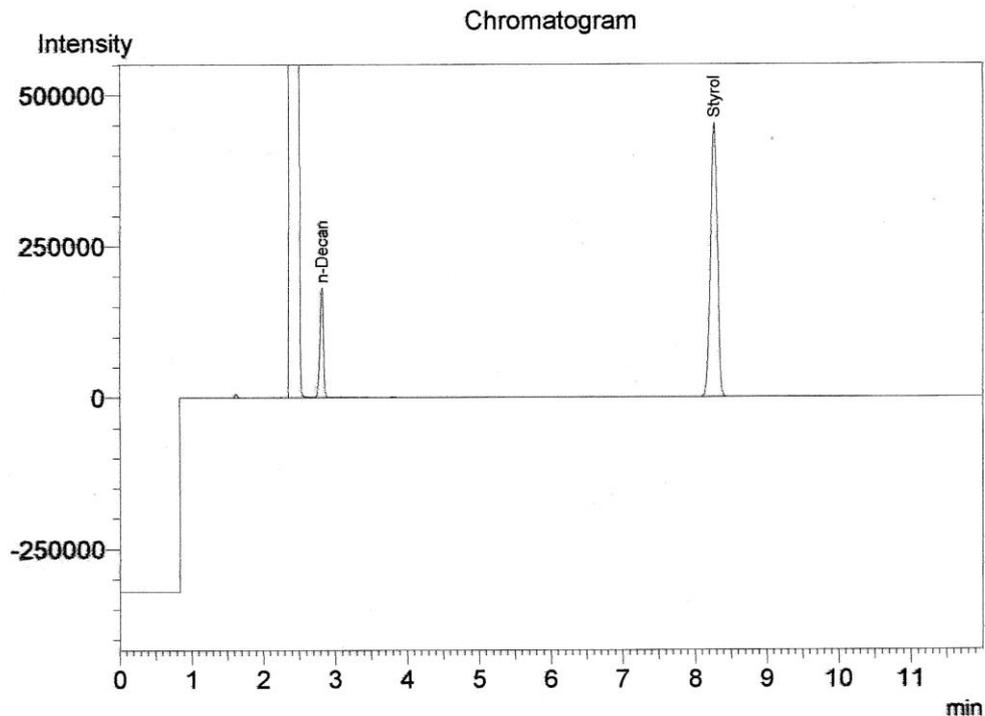


#### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 5394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: RS1  
Auftraggeber: Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: RS1  
Probenmaterial: UP

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse: 2,00045 g

Prüfdatum : 04.01.2018  
Prüfer:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	2,815	595803	181010	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,266	2979061	452452		%	Target

## Messprotokoll der Reststyrolanalyse Probekörper 2

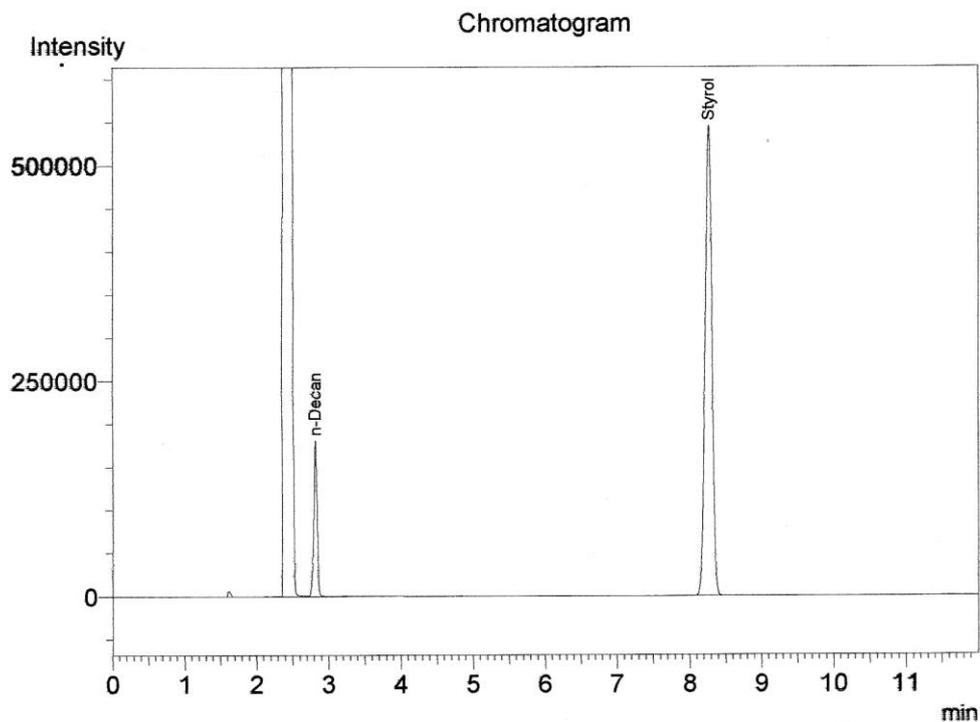


### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 53394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: RS2  
Auftraggeber: Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: RS2  
Probenmaterial: UP

Prüfdatum : 04.01.2018  
Prüfer:

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse: 2,00125 g



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	2,814	586456	181148	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,267	3598332	545255		%	Target

### Messprotokoll der Reststyrolanalyse Probekörper 3

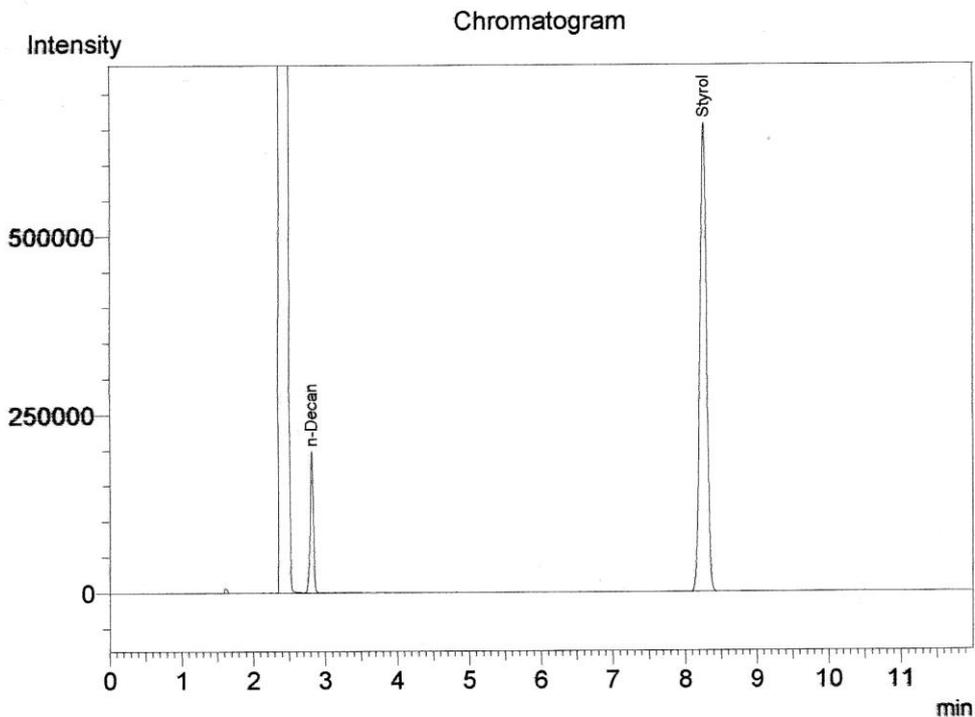


### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 53394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: RS3  
Auftraggeber: Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: RS3  
Probenmaterial: UP

Prüfdatum : 04.01.2018  
Prüfer:

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse: 2,00035 g



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	2,810	618745	198222	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,260	4253544	657464		%	Target

## Messprotokoll der Reststyrolanalyse Probekörper 4

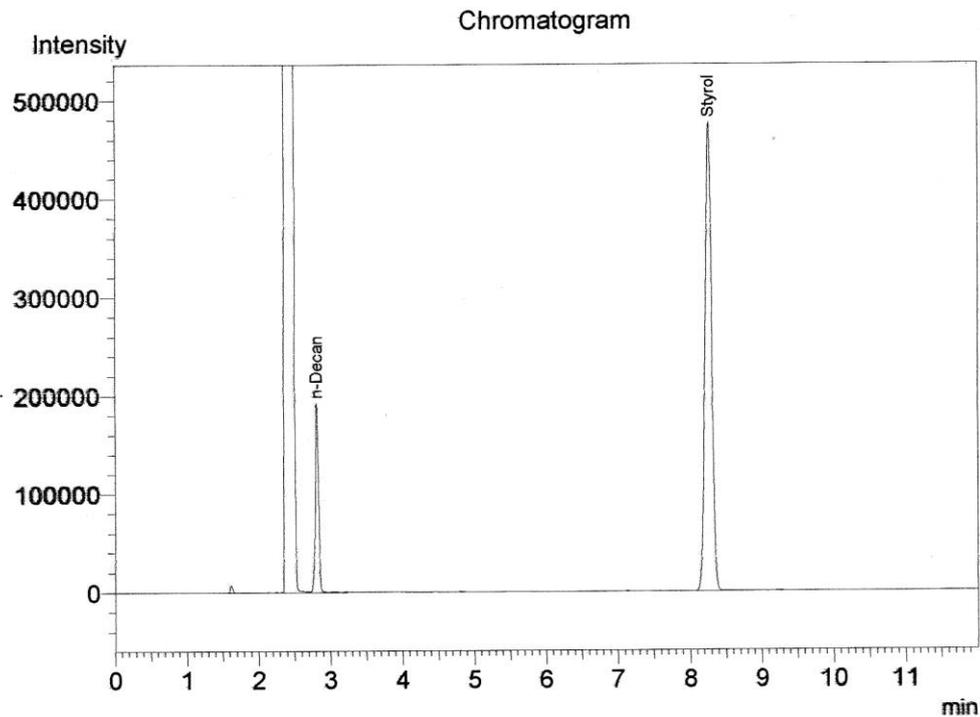


### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 53394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: RS4  
Auftraggeber: Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: RS4  
Probenmaterial: UP

Prüfdatum : 04.01.2018  
Prüfer:

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse: 2,00074 g



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	2,810	598954	191679	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,261	3064949	475658		%	Target

## Messprotokoll der Reststyrolanalyse Probekörper 5

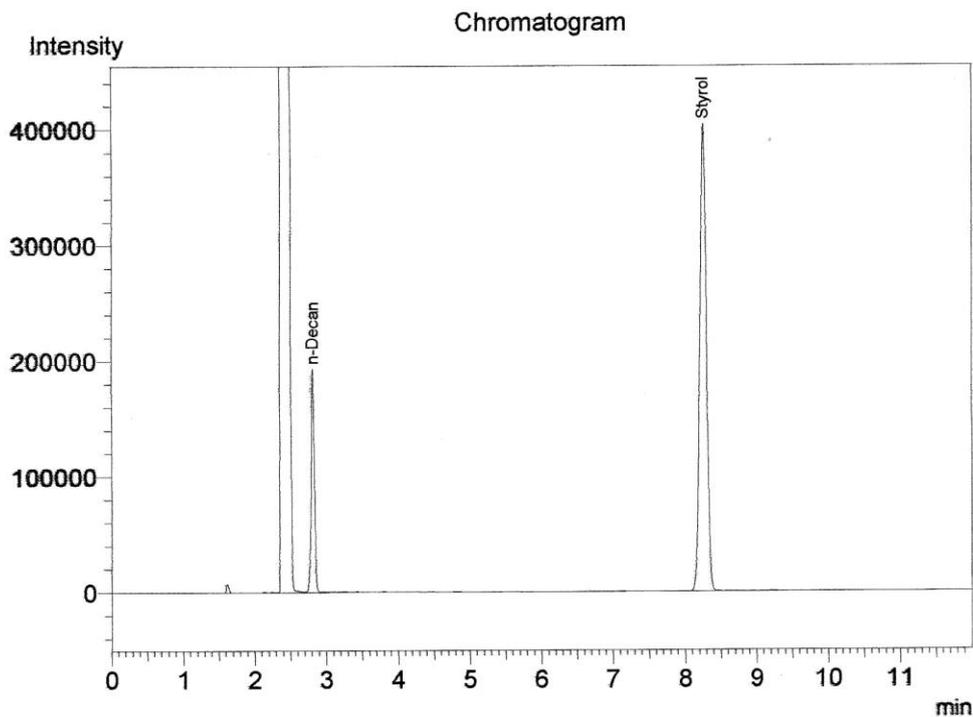


### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 5394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: RS5  
 Auftraggeber: Ladewig  
 Hersteller (Liner): ---  
 Probenbezeichnung: RS5  
 Probenmaterial: UP

Lösungsmittel: Dichlormethan  
 Probenmasse: 2,001 g

Prüfdatum : 04.01.2018  
 Prüfer:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	2,809	601896	192653	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,257	2586125	403701		%	Target

## Messprotokoll der Kalibrierlösung 2 – 144,144 µg/l Styrol

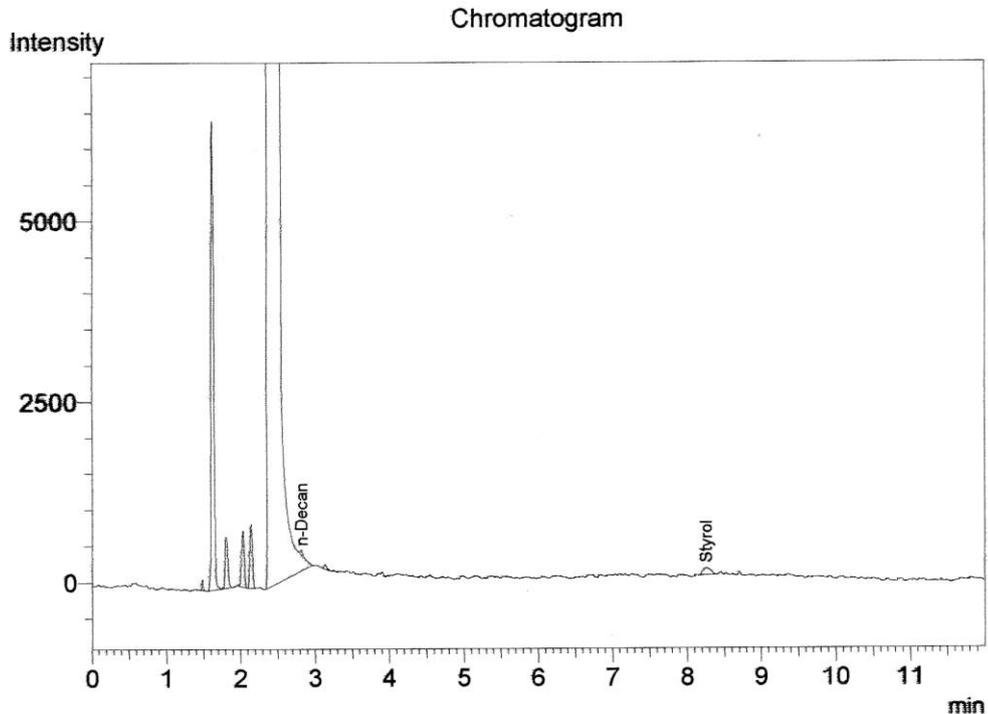


### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 53394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: V2S3  
Auftraggeber: intern  
Hersteller (Liner): intern  
Probenbezeichnung: V2S3  
Probenmaterial: Styrol

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse: ,

Prüfdatum : 14.12.2017  
Prüfer:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	2,820	157	62	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,256	665	95	8,0781	%	Target

# Messprotokoll der Kalibrierlösung 3 – 72,072 µg/l Styrol

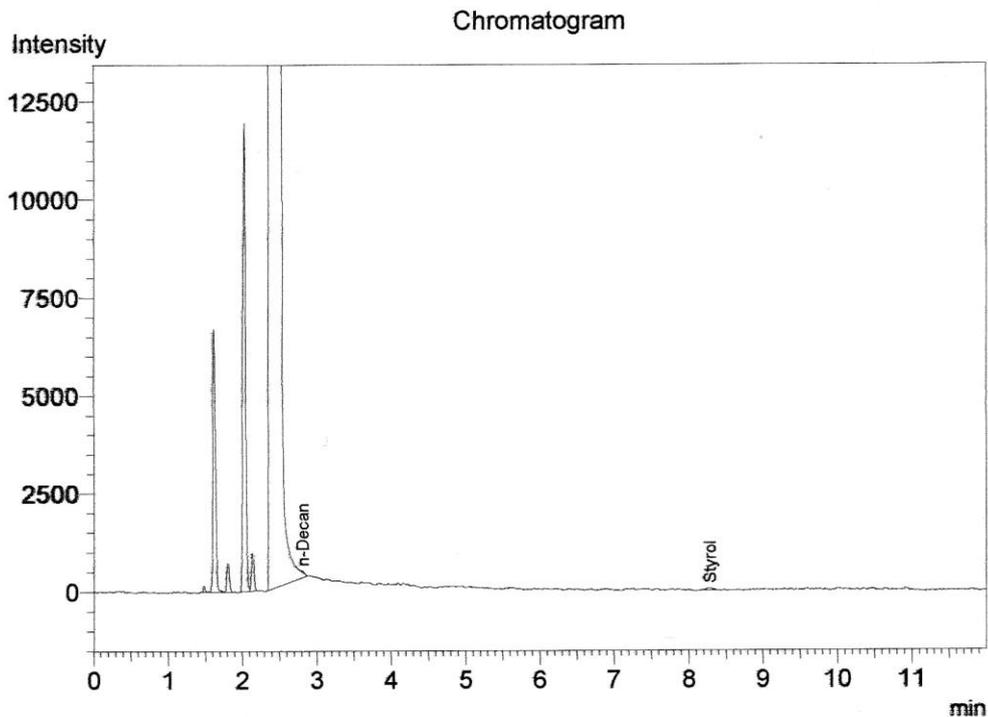


## Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 53394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: V2S2  
Auftraggeber: intern  
Hersteller (Liner): intern  
Probenbezeichnung: V2S2  
Probenmaterial: Styrol

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse:

Prüfdatum : 14.12.2017  
Prüfer:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

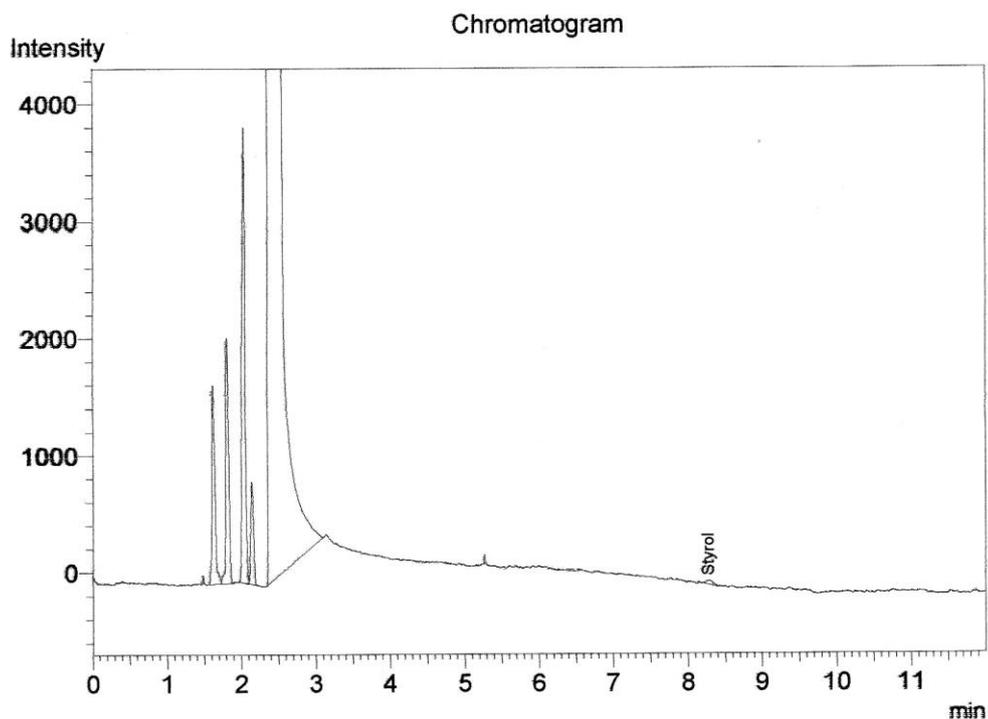
Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	2,816	79	38	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,292	328	51	7,8942	%	Target

# Messprotokoll der Kalibrierlösung 4 – 36,036 µg/l Styrol



## Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 5394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: S2  
Auftraggeber: intern  
Hersteller (Liner):  
Probenbezeichnung: Standard 2  
Probenmaterial: Styrol  
Lösungsmittel: Dichlormethan  
Prüfdatum : 13.12.2017  
Prüfer:  
Probenmasse:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,270	219	33	0,0000	%	Target

## Messprotokoll des Probekörpers 1 – Migrationsperiode 1

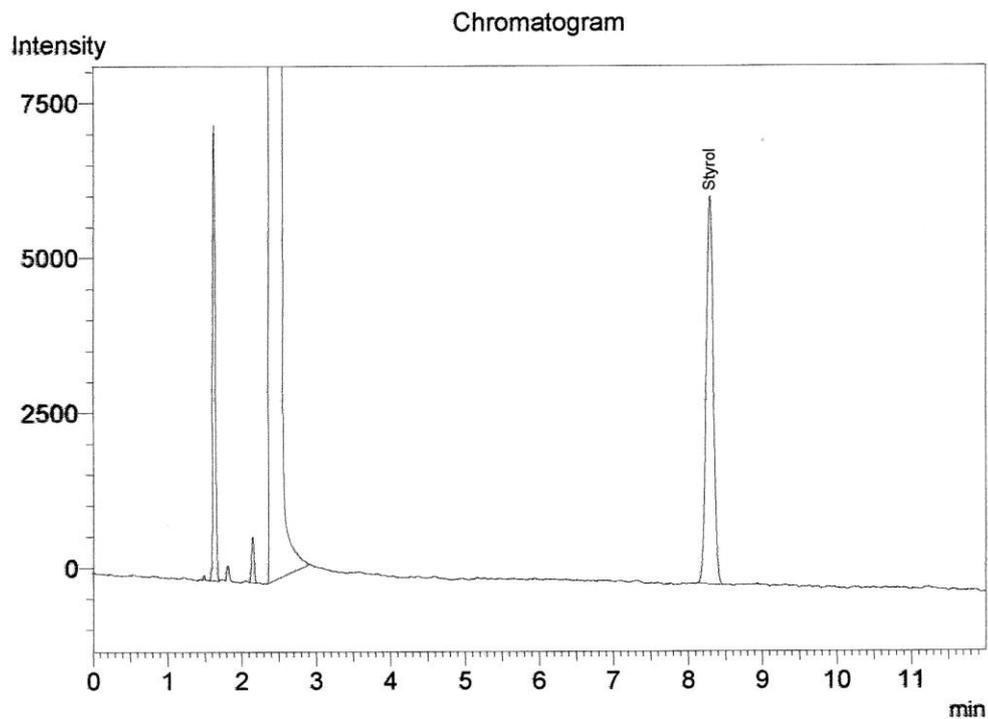


### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 53394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: 1M1  
Auftraggeber: D.Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: 1M1  
Probenmaterial: UP

Prüfdatum : 15.01.2018  
Prüfer:

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,292	41816	6258	0,0000	%	Target

## Messprotokoll des Probekörpers 1 – Migrationsperiode 3

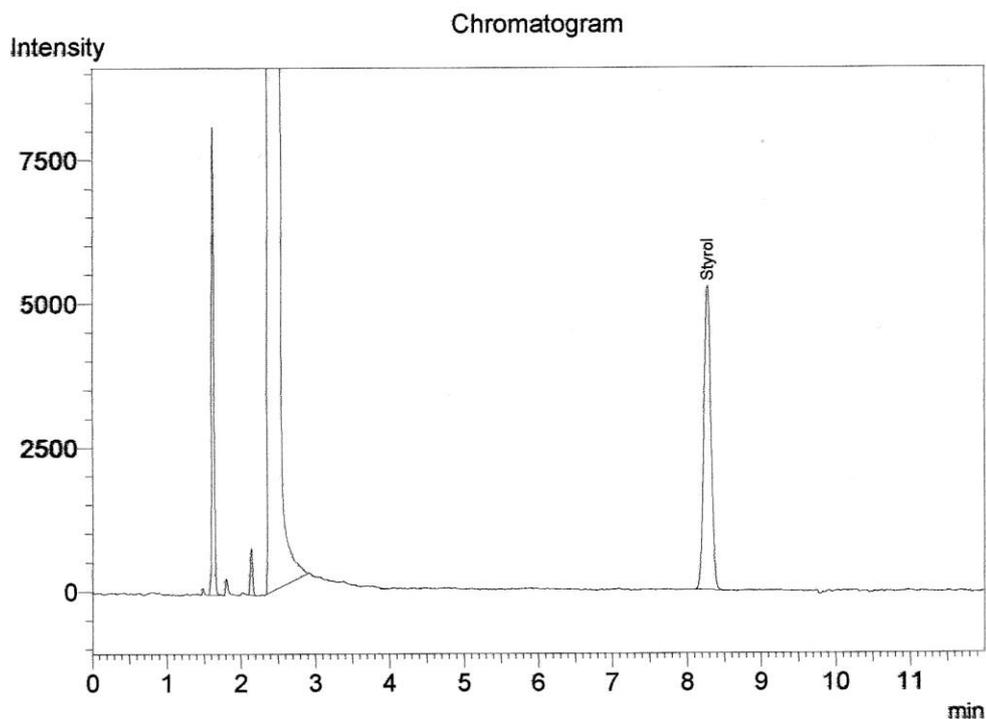


### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 5394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: 1M3  
Auftraggeber: D.Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: 1M3  
Probenmaterial: UP

Prüfdatum : 15.01.2018  
Prüfer:

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,275	34836	5276	0,0000	%	Target

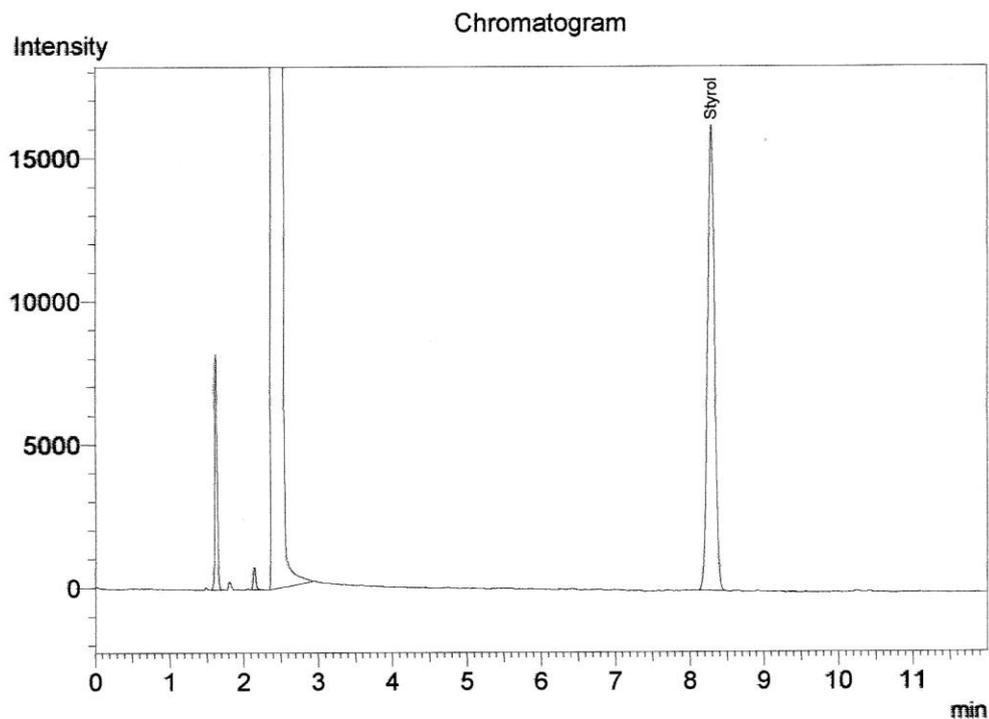
## Messprotokoll des Probekörpers 2 – Migrationsperiode 1

### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 53394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: 2M1  
Auftraggeber: D.Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: 2M1  
Probenmaterial: UP

Prüfdatum : 15.01.2018  
Prüfer: ---

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse: ---



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,287	106988	16250	0,0000	%	Target

## Messprotokoll des Probekörpers 2 – Migrationsperiode 3

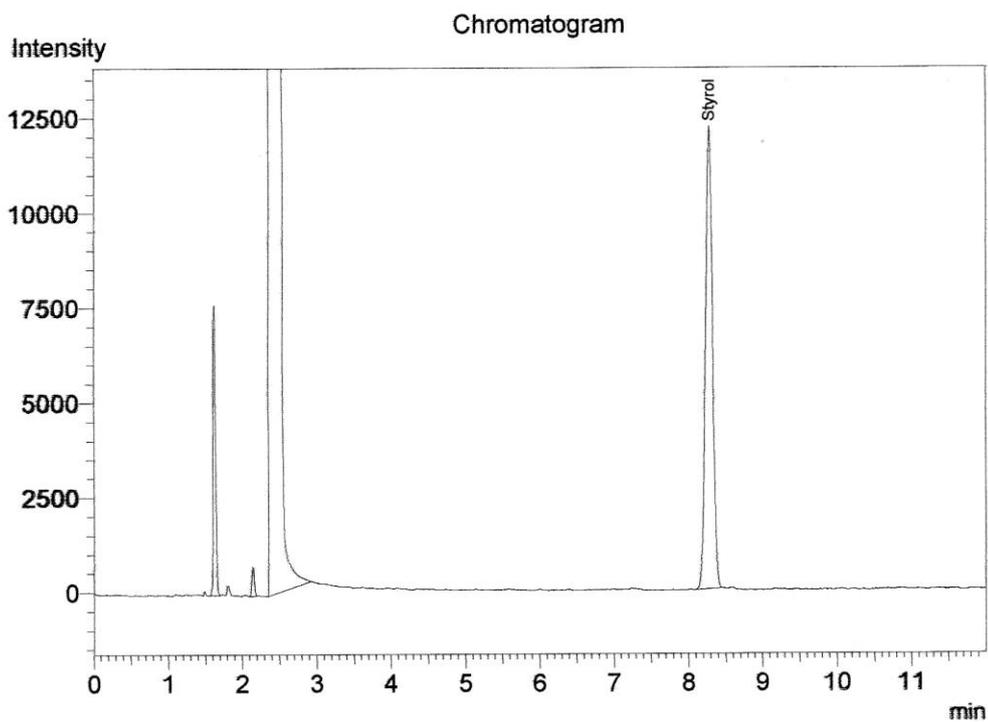


### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 5394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: 2M3  
Auftraggeber: D.Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: 2M3  
Probenmaterial: UP

Prüfdatum : 15.01.2018  
Prüfer: .....

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,280	80385	12188	0,0000	%	Target

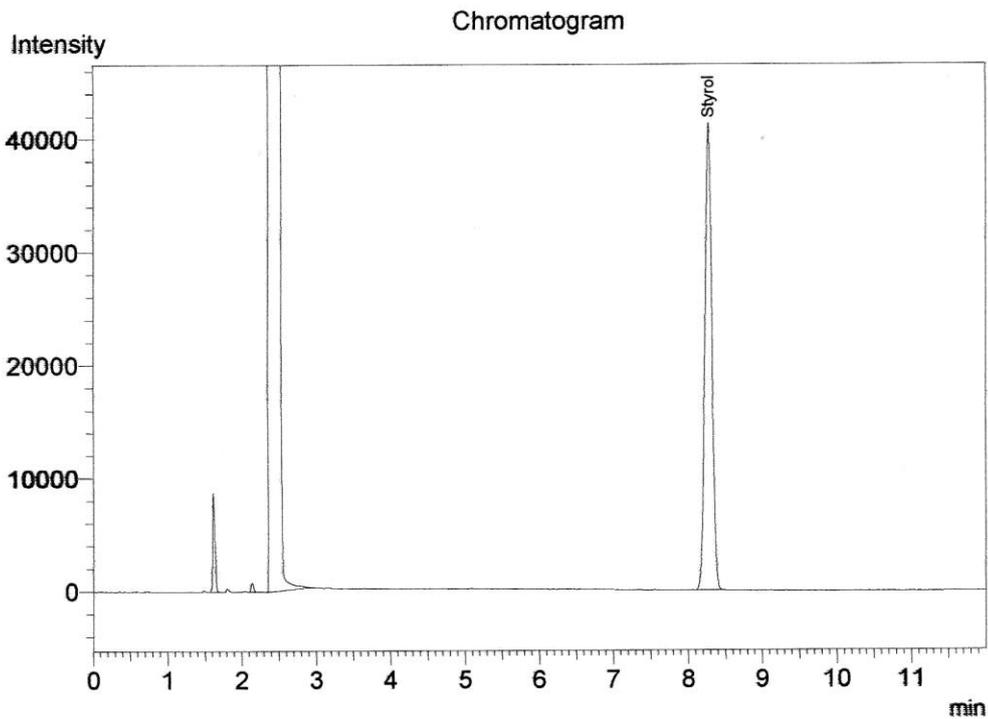
## Messprotokoll des Probekörpers 3 – Migrationsperiode 1



### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 5394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: 3M1  
Auftraggeber: D.Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: 3M1  
Probenmaterial: UP  
Prüfdatum : 15.01.2018  
Prüfer:

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

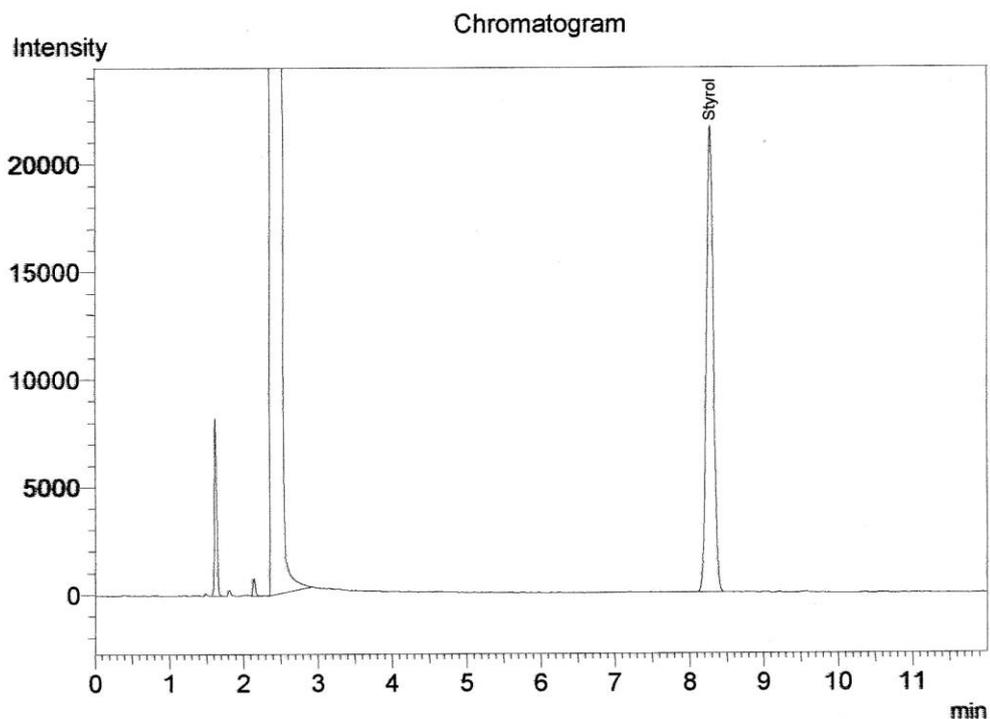
Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,275	271379	41341	0,0000	%	Target

### Messprotokoll des Probekörpers 3 – Migrationsperiode 3



### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 5394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: 3M3  
Auftraggeber: D.Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: 3M3  
Probenmaterial: UP  
Lösungsmittel: Dichlormethan  
Prüfdatum : 15.01.2018  
Prüfer: Probenmasse:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

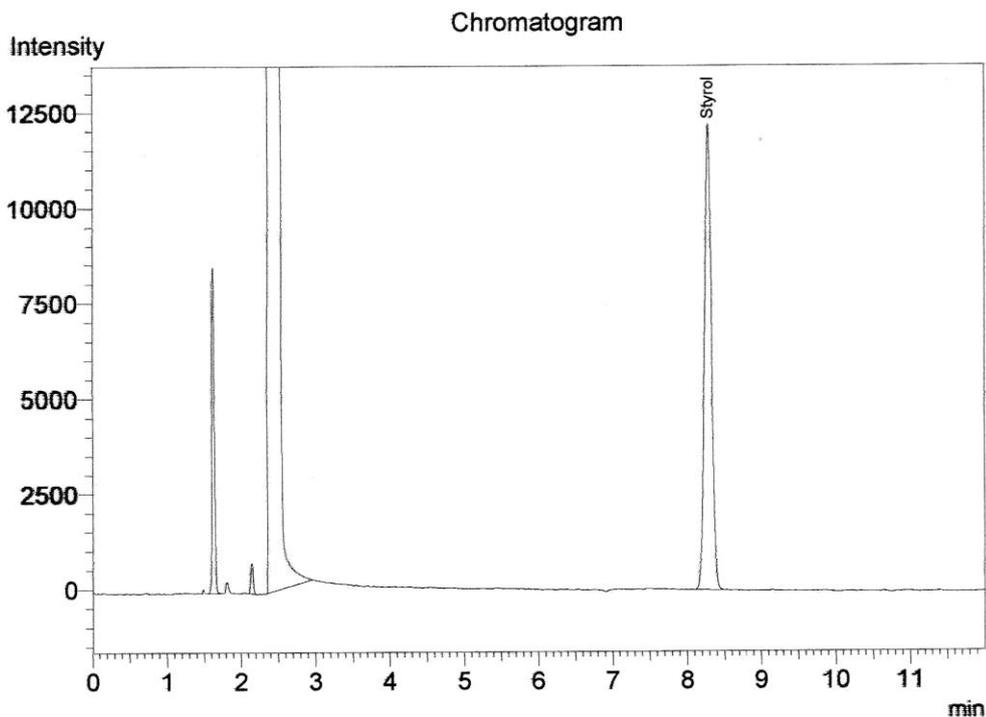
Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,276	141874	21631	0,0000	%	Target

Messprotokoll des Probekörpers 4 – Migrationsperiode 1



**Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen  
auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 5394 Teil 2  
Gaschromatographisches Verfahren**

Probennummer: 4M1  
 Auftraggeber: D.Ladewig  
 Hersteller (Liner): ---  
 Probenbezeichnung: 4M1  
 Probenmaterial: UP  
 Lösungsmittel: Dichlormethan  
 Prüfdatum: 15.01.2018  
 Prüfer:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,283	80187	12203	0,0000	%	Target

## Messprotokoll des Probekörpers 4 – Migrationsperiode 3

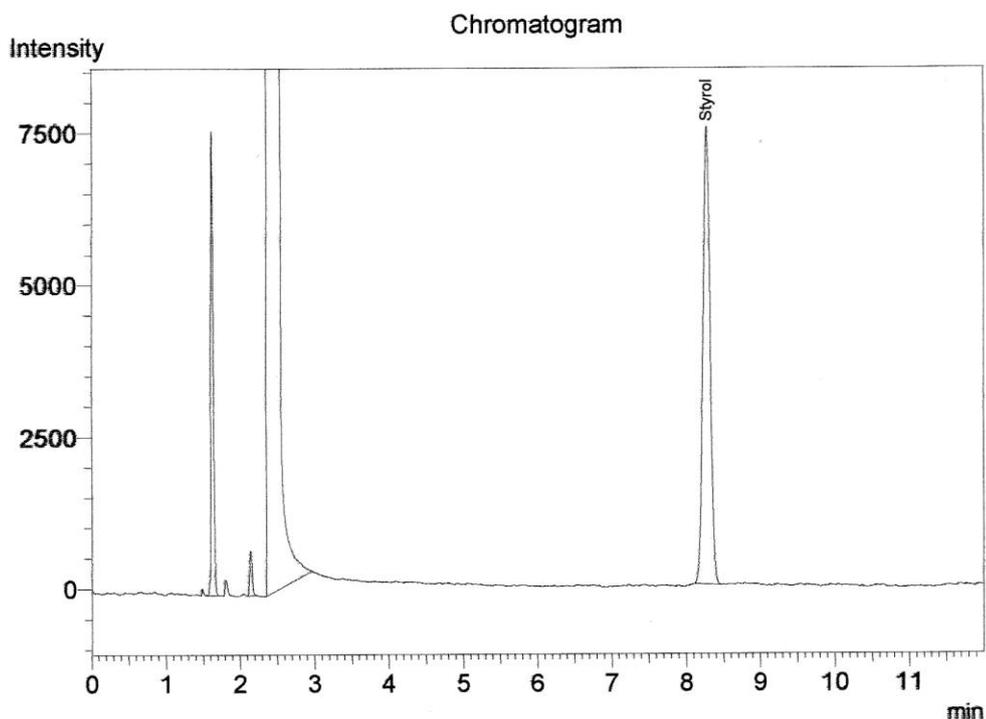


### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 53394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: 4M3  
Auftraggeber: D.Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: 4M3  
Probenmaterial: UP

Prüfdatum : 15.01.2018  
Prüfer:

Lösungsmittel: Dichlormethan  
Probenmasse:



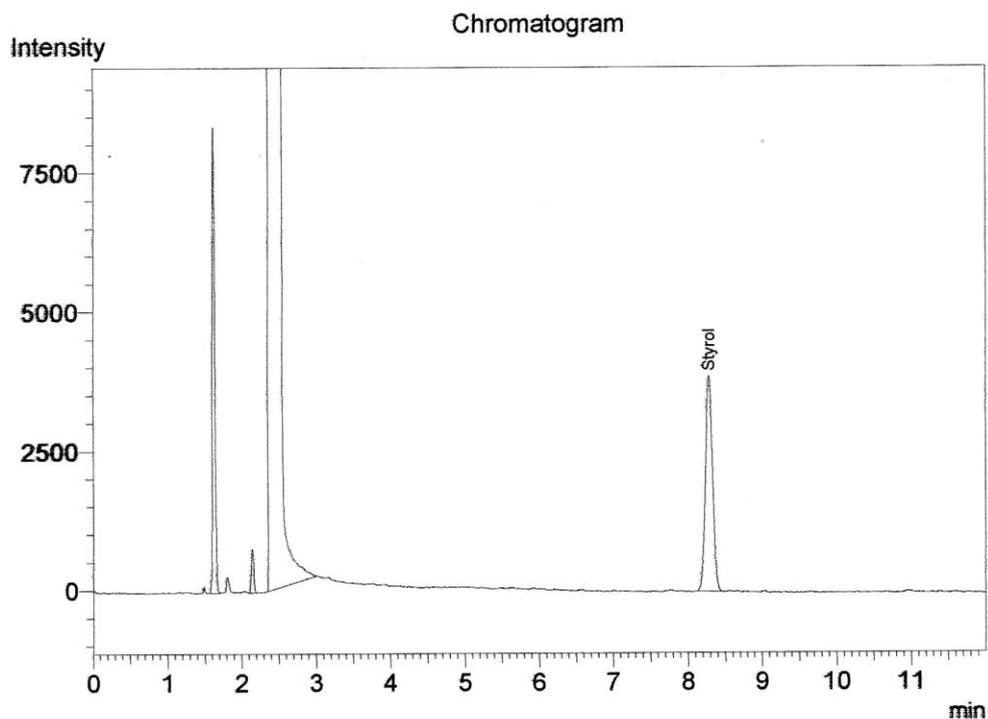
Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,274	50703	7528	0,0000	%	Target

## Messprotokoll des Probekörpers 5 – Migrationsperiode 1

### Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 5394 Teil 2 Gaschromatographisches Verfahren

Probennummer: 5M1  
Auftraggeber: D.Ladewig  
Hersteller (Liner): ---  
Probenbezeichnung: 5M1  
Probenmaterial: UP  
Lösungsmittel: Dichlormethan  
Prüfdatum : 15.01.2018  
Prüfer: Probenmasse:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,282	25953	3866	0,0000	%	Target

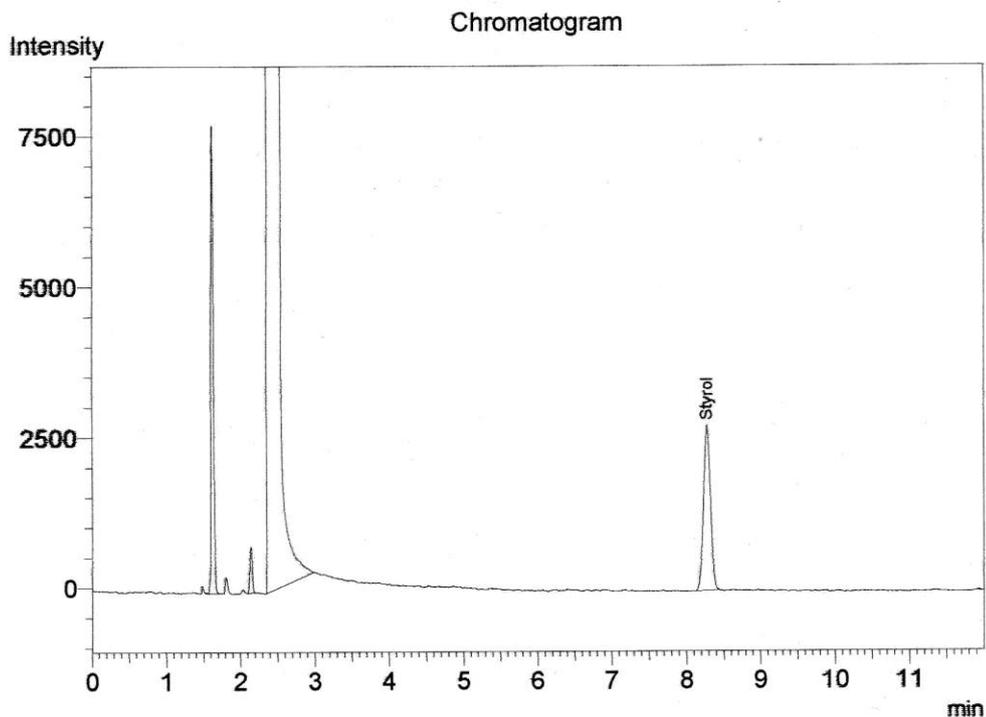
Messprotokoll des Probekörpers 5 – Migrationsperiode 3



**Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen  
auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen nach DIN 53394 Teil 2  
Gaschromatographisches Verfahren**

Probennummer: 5M3  
 Auftraggeber: D.Ladewig  
 Hersteller (Liner): ---  
 Probenbezeichnung: 5M3  
 Probenmaterial: UP  
 Prüfdatum : 15.01.2018  
 Prüfer:

Lösungsmittel: Dichlormethan  
 Probenmasse:



Quantitative Ergebnisse - Channel 1

Name	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Type
n-Decan	0,000	0	0	0,0000	%	ISTD
Styrol	8,277	18137	2745	0,0000	%	Target