

# Chemische Desinfektionsverfahren und Trinkwasserversorgungsleitungen aus Kunststoffen

---

H. Richter, H. Muschik,

TGM- Versuchsanstalt, FB- Kunststoff- und Umwelttechnik, A-1200 Wien

Durch Trinkwasser können eine Reihe von Erkrankungen, insbesondere des Magen-Darm-Traktes übertragen werden. Hierbei handelt es sich vor allem um Typhus, Paratyphus, Cholera und Brechdurchfall, um bakterielle Ruhr, Leptospirosen, evtl. Wurmkrankheiten sowie Viruserkrankungen wie z. B. Hepatitis und Poliomyelitis. Ebenso treten Wund-, Harn- und Atemwegsinfektionen durch Pseudomonaden oder Legionellen auf.

Typisch für eine Trinkwasserepidemie ist die explosionsartige Ausbreitung der Erkrankungen über das gesamte Versorgungsgebiet im Gegensatz zu chemischen Beeinträchtigungen Wassers, bei denen üblicherweise die toxischen Werte erst langsam erreicht werden.

Zur Verhütung von Epidemien durch Trinkwasser sollte möglichst immer ein von Hause aus mikrobiologisch einwandfreies, d.h. nicht verunreinigtes bzw. zu beeinträchtigendes Wasser verwendet werden, also vorzugsweise ein Tiefengrundwasser.

Dies ist leider nicht überall möglich, da Tiefengrundwasser an vielen Orten nicht ausreichend zur Verfügung steht und die Wasserversorger genötigt sind auf Oberflächenwasser oder chemisch und mikrobiologisch unsicherer Wasserquellen zurückzugreifen, welche zu einer erhöhten Bildung von Biofilmen neigen.

Biofilme sind Orte mit einer hohen Anzahl an unterschiedlichen Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Protozoen), die sich auf Oberflächen, die von Wasser benetzt werden (zB Rohren, Boilern, Armaturen), ansiedeln. Die Mikroorganismen sind dabei in einer Matrix (Film) aus Schleimsubstanzen (extrazellulärer polymerer Substanzen, EPS), die von den Mikroorganismen produziert werden, eingelagert und so miteinander und an Oberflächen fixiert. Die EPS, die bis zu 90 % des Biofilms ausmachen können, enthalten weitere gelöste und partikuläre Stoffe (zB Korrosionsprodukte und Kalk), die Nährstoffe für Mikroorganismen sind.

Aus dem Biofilm treten die Mikroorganismen in Form einzelner Zellen oder größerer Aggregate in das vorbeiströmende Trinkwasser über. Die mikrobiologische Trinkwasserqualität kann beeinträchtigt werden, wenn im Biofilm eine hohe Anzahl krankheitserregender Mikroorganismen (zB Legionella, Pseudomonas aeruginosa) enthalten ist. Innerhalb der Schleimschicht (EPS) können sich die Mikroorganismen gut geschützt vermehren und sind ebenso gut geschützt vor Desinfektionsmitteln.

Da der überwiegende Anteil der in einer Trinkwasserinstallation vorhandenen Mikroorganismen im Biofilm lebt, können alle Maßnahmen zur Reduzierung der Mikroorganismen im Trinkwasser nur dann dauerhaft Erfolg haben, wenn Biofilmentstehung und -wachstum minimiert werden. Während Biofilmentstehung nicht vollständig verhindert werden kann, kann Biofilmwachstum durch Veränderung der Wassertemperatur, Verringerung des Nährstoffangebots (zB durch Wasserbehandlungsmaßnahmen), Änderung der Betriebsbedingungen oder entsprechende Maßnahmen bei der Wartung und Instandhaltung des Leitungsnetzes vermindert werden.

In vielen Fällen ist es daher notwendig, evtl. vorkommende Krankheitserreger aus dem Wasser zu entfernen (abzutöten), oder sie durch Zugabe bestimmter Substanzen im Wasser zu inaktivieren, d.h. das Wasser zu desinfizieren.

Wenn eine Substanz als Desinfektionsmittel eingesetzt wird, so muss sichergestellt sein, dass sie nicht toxisch ist und dass sie für den Zweck der Desinfektion voll zur Verfügung steht, d.h., dass sie nicht im Zuge der Aufbereitung für andere Aufgaben verbraucht wird. Die Reduktion der Mikroorganismen soll mindestens 4-log-Stufen (99,99%) betragen.

Vor dem Einsatz eines Desinfektionsmittels müssen daher die suspendierten Partikel aus dem Wasser entfernt werden, um so zu verhindern, dass diese Bakterien und Viren umhüllen bzw. einen großen Anteil des Desinfektionsmittels (meist Oxidationsmittel) binden.

Die Wirkung der Oxidationsmittel ist zudem eine Zeitreaktion, bei der geschwindigkeitsbestimmend die Diffusion in das Zellinnere der Bakterien bzw. Viren ist. Diese notwendige Reaktionszeit muß vor Abgabe an den ersten Verbraucher zur Verfügung stehen.

## Historische Betrachtung

Ein Blick in die Geschichte verdeutlicht den Stellenwert der Trinkwasserhygiene.

Im Jahr 1892 brach in Hamburg eine der schwersten Cholera-Epidemien Deutschlands aus, die zu weit über 8.000 Toten und 16.000 Erkrankungen führte. Schon damals wusste man, unter anderem durch die Forschungen von Robert Koch, um die Zusammenhänge zwischen nicht oder nur schlecht aufbereitetem Trinkwasser, fehlender oder schlechter Abwasserentsorgung und Krankheitserregern. Der Auslöser dieser Epidemie war damals das ungereinigte, verseuchte Elbewasser, welches als Trinkwasser verwendet wurde.

Im wenige Kilometer elbeabwärts liegenden Altona wurde bereits seit 1859 das Elbwasser nach einer Konstruktion des Engländers James Simpson aus dem Jahre 1828 durch Sedimentation über Langsandsfilter aufbereitet. Die Stadt blieb sodann bis auf einige Kontaktinfektionen von der Epidemie verschont.

Diese oben angeführte Cholera-Epidemie und die fortschreitende Erkenntnis über die Zusammenhänge zwischen Hygiene und Gesundheit förderten den beschleunigten Ausbau von Wasseraufbereitungen, z.B. mittels Sandfiltration.

So entstand in Deutschland 1906 die „Anleitung für die Einrichtung, den Betrieb und die Überwachung öffentlicher Wasserversorgungsanlagen, welche nicht ausschließlich technischen Zwecken dienen“, die am 16. Juni 1906 vom Bundesrat veröffentlicht wurde.

Nachdem gegen Mitte bis Ende des 19. Jahrhunderts diverse Oxidationsverfahren zur Desinfektion erforscht wurden (z.B. Ozon 1886 DE MERITENS und Chlorgas JAKOWKIN 1899), war MIDDDELKERKE in Belgien die erste Stadt, die 1902 mit der kontinuierlichen Chlorung des Trinkwassers begonnen hat. In Deutschland wurden bei den Wasserwerken in Martinikenfeld bei Berlin, Wiesbaden und Paderborn um 1900 die ersten Ozon-Anlagen in Betrieb genommen. Erste Versuche von DIENERT Ende des 19. Jahrhunderts in Paris und Brüssel zur Trinkwasserdesinfektion mit Chlordioxid wurden aufgrund technischer Probleme nicht weitergeführt.

1912 wurde in den USA die erste, nach dem indirekten Verfahren arbeitende Chlorgasdosieranlage für die Desinfektion von Trinkwasser in Betrieb genommen.

Die erste leistungsfähige Wassersilberung im Katadyn Verfahren wurde durch KRAUSE um 1930 entwickelt.

Daneben liefen auch Versuche mit anderen chemischen Desinfektionsverfahren wie z.B. Chloraminen, die aber keine nennenswerten Ergebnisse brachten.

Parallel dazu wurden ab 1935 die ersten Trinkwasserversorgungsleitungen aus Kunststoff (auf Basis PVC) eingeführt.

Ab Mitte des 20. Jahrhunderts wurden auch andere Kunststoffe wie Polyethylen und Glasfaser verstärkte Kunststoffe (GFK) vermehrt bei Bau von Trinkwasserversorgungsleitungen eingesetzt.

## Werkstoffbetrachtung

Die Auslegung von Trinkwasserversorgungsleitungen erfolgt heute hinsichtlich einer Verwendungsdauer von 50 Jahren. Die tatsächlichen Einsatzzeiten belaufen sich auf ca. 70-80 Jahre.

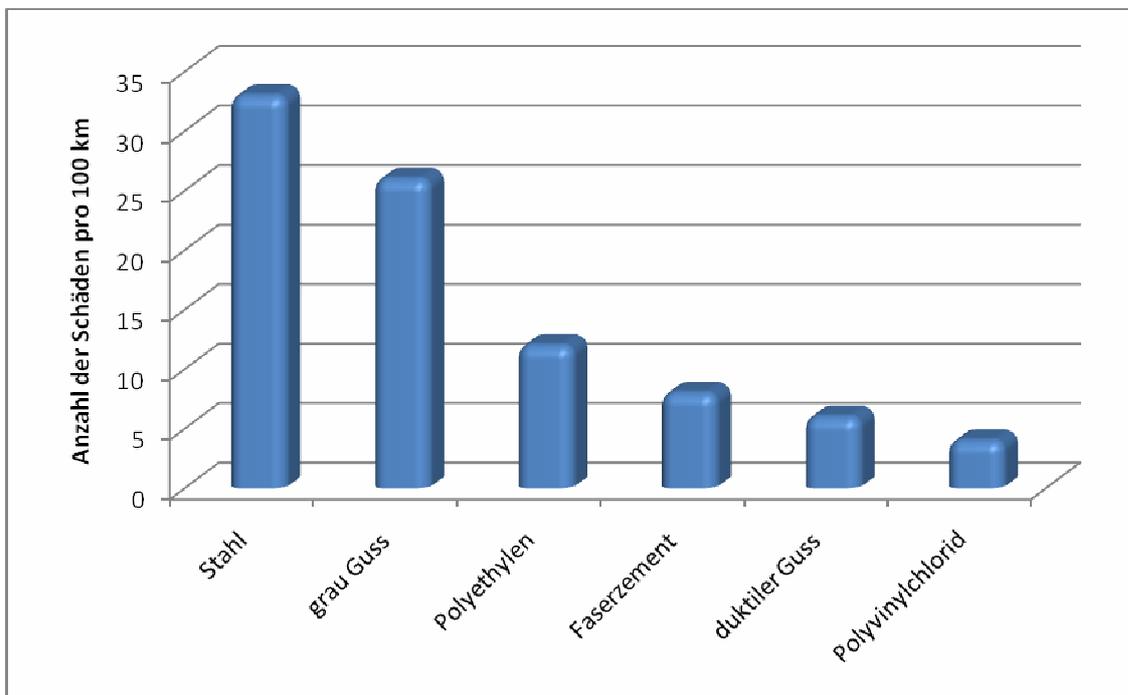


Abbildung 1: Anzahl der Schäden pro 100 km (DVGW Statistik 1999)

## Polyethylen

Polyethylen wurde im Jahre 1898 vom Chemiker Hans von Pechmann entdeckt und am 27. März 1933 erstmals durch Reginald Gibson und Eric Fawcett in den ICI-Laboratorien in England industriell hergestellt.

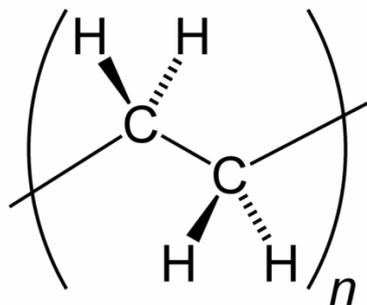


Abbildung 2: Strukturdarstellung des Polyethylen

Aufgrund der Verzweigung und der mittleren Kettenlängen unterscheidet man folgende PE-Typen:

- PE-HD (HDPE): schwach verzweigte Polymerketten, daher hohe Dichte zwischen  $0,94 \text{ g/cm}^3$  und  $0,97 \text{ g/cm}^3$ , („HD“ steht für „high density“).
- PE-LD (LDPE): stark verzweigte Polymerketten, daher geringe Dichte zwischen  $0,915 \text{ g/cm}^3$  und  $0,935 \text{ g/cm}^3$ , („LD“ steht für „low density“).
- PE-LLD (LLDPE): lineares Polyethylen niedriger Dichte, dessen Polymermolekül nur kurze Verzweigungen aufweist. Diese Verzweigungen werden durch Copolymerisation von Ethen und höheren  $\alpha$ -Olefinen (typischerweise Buten, Hexen oder Octen) hergestellt („LLD“ steht für „linear low density“).
- PE-HMW: hochmolekulares Polyethylen. Die Polymerketten sind länger als bei PE-HD, PE-LD oder PE-LLD, die mittlere Molmasse liegt bei 500–1000 kg/mol.
- PE-UHMW: ultrahochmolekulares Polyethylen mit einer mittleren Molmasse von bis zu 6000 kg/mol und einer Dichte von  $0,93\text{--}0,94 \text{ g/cm}^3$  („UHMW“ steht für „ultra high molecular weight“).

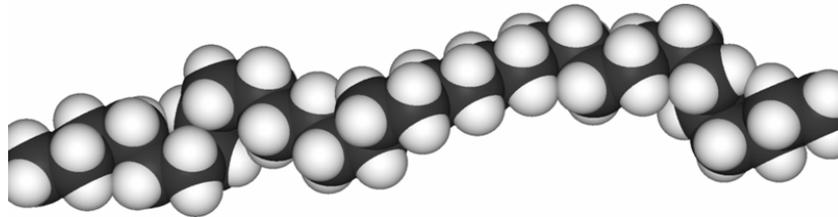


Abbildung 3: Kalottenmodell einer Polyethylenkette

Für die Trinkwasserversorgung kommen hauptsächlich PE-HD Werkstoffe des Typs PE-80 und PE-100 zu Einsatz.

Polyethylen zeichnet sich als Werkstoff für Trinkwasserleitungen durch folgende Punkte aus:

- niedrige Dichte
- hohe Zähigkeit und Reißdehnung
- gutes Gleitverhalten, geringer Verschleiß
- Temperaturbeständigkeit von  $-85 \text{ °C}$  bis  $+90 \text{ °C}$
- sehr gutes elektrisches und dielektrisches Verhalten
- sehr geringe Wasseraufnahme
- sehr gut spanabhebend und spanlos zu verarbeiten
- gute chemische Beständigkeit, **mit Ausnahme starker Oxidationsmittel**

## Polyvinylchlorid

Der französische Chemiker Henri Victor Regnault war 1835 der erste, der im Gießener Laboratorium von Justus von Liebig Vinylchlorid herstellte.

1912 synthetisierte der deutsche Chemiker Fritz Klatte Vinylchlorid aus Acetylen und Chlorwasserstoff.

Mit der Rohstoffknappheit während und nach dem Ersten Weltkrieg wurden die Anstrengungen verstärkt, PVC als Rohstoff zu nutzen um damit teure Rohstoffe durch kostengünstige Materialien zu ersetzen. Es kam jedoch erst Ende der 1920er Jahre zu weiteren Anwendungen. 1928 erfolgte die großtechnische Ausweitung der PVC-Produktion in den USA und 1930 in Rheinfelden durch die BASF; 1935 nahm die I.G. Farben die PVC-Produktion auf.

Heute werden rund 80% der Weltproduktion in einer Suspensionspolymerisation aus Rohöl und Kochsalz hergestellt.

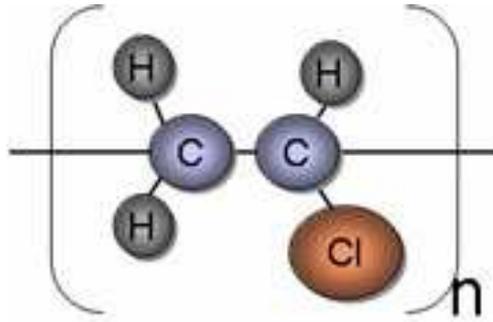


Abbildung 4: Atomformel von Polyvinylchlorid

Heute wird PVC in PVC-weich (PVC-P /P=plasticized) und PVC-hart (PVC-U /U=unplasticized) unterteilt, wobei für Trinkwasserleitungen nur PVC-U und nachchloriertes PVC (PVC-C) zum Einsatz kommen.

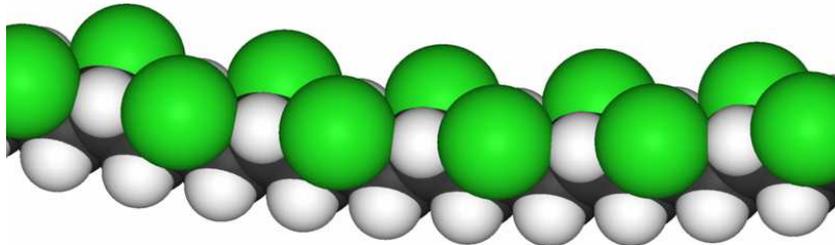


Abbildung 5: Kalottenmodell einer Polyvinylchloridkette

Die Vorteile des Werkstoffes sind:

- Keine Korrosion (natürliche oder elektrolytische)
- klebbar
- einfach und schnelle Installation
- lange Lebensdauer in aggressiven/korrosiven Umgebungen
- hoher Sicherheitsfaktor
- niedrige Unterhaltskosten
- schwer entflammbar
- selbstisolierend

### Glasfaserverstärkter Kunststoff

Glasfaserverstärkter Kunststoff, kurz GFK, ist ein Faser-Kunststoff-Verbund aus einem Kunststoff (z.B. Polyesterharz, Epoxidharz oder Polyamid) und Glasfasern. Er ist der am häufigsten eingesetzte langfaserverstärkte Kunststoff.

Erstmals wurden 1935 in den USA Endlos-Glasfasern als Verstärkungsfasern industriell hergestellt, das erste Flugzeug aus GFK war der Phoenix aus dem Jahr 1957.

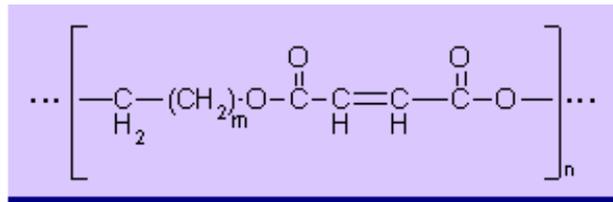


Abbildung 6: Unverzweigter Polyesterstrang

Bei Rohrleitungssystemen werden heute hauptsächlich glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe ( GFK) auf der Basis von ungesättigten Polyesterharzen (UP), die im Wickel- oder Schleuderverfahren hergestellt werden, verwendet.

Die Vorteile dieses Werkstoffes liegen in seiner hohen Festigkeit und seiner sehr guten chemischen Beständigkeit.

## Trinkwasserinstallation

Bei der Installation einer Trinkwasserversorgung, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht, sollten Desinfektionsmaßnahmen nicht erforderlich sein.

Diese Regeln sind in einer großen Anzahl an Gesetzen, Normen, Richtlinie usw. auf nationaler und internationaler Ebene zusammengefasst und gliedern sich in folgende Anforderungen:

- Auswahl des Wasserspenders
- Planung und Bau auf Basis der vorgesehenen Nutzung
- Werkstoffauswahl
- Unvermeidbare Stagnationen gering halten
- Vermeidung von nicht durchströmten Leitungen
- Vermeidung von Verunreinigungen bei Bau und Inbetriebnahme
- Erstbefüllung mit filtriertem Trinkwasser
- Fachgerechte Spülung und Dichtheitsprüfung
- Fachgerechte Dämmung
- Fachgerechte Rohrnetzwartung

Es gibt keine gesetzlichen Forderungen, Trinkwasser grundsätzlich zu desinfizieren bzw. zur Aufrechterhaltung einer Desinfektionsmittelrestkonzentration im Netz.

## Desinfektionsmaßnahmen

Bei Desinfektionsmaßnahmen muss unterschieden werden zwischen

- Reinigungs- und Sanierungsmaßnahmen und
- Aufbereitung in mikrobiologischer Hinsicht.

## Sanierungsmaßnahmen

Sanierungsmaßnahmen können nur dann sinnvoll zum Einsatz gelangen, wenn bei einer mehrmaligen mikrobiologischen Infektion des Trinkwassers verfahrenstechnische Maßnahmen ergriffen werden, die die Gefahr einer neuerlichen Infektion minimieren.

Folgende Maßnahmen sind für die Reinigung und Sanierung vorgesehen:

- thermische Desinfektion,
- chemische Desinfektion,
- endständige Filter (Filter an der Entnahmestelle).

## Chemische Desinfektion

Unter einer chemischen Desinfektion einer Trinkwasser-Anlage versteht man den zeitlich begrenzten Einsatz hoher Konzentrationen von Oxidationsmitteln zur Inaktivierung und zum Abbau von Biofilmen im Verteilsystem.

Folgende Desinfektionsverfahren kommen zum Einsatz:

Wirkstoff	Formel	Einsatzkonzentration	Mindest-Wirkkonzentration	Einwirkdauer
		mg/l	mg/l	Stunden
Chlordioxid	$\text{ClO}_2$	5 bis 10 als $\text{Cl}_2$	3 bis 5 als $\text{Cl}_2$	8 bis 12
Hypochlorit	$\text{ClO}^-$	50 als $\text{Cl}_2$	10 als $\text{Cl}_2$	8 bis 12
Permanganat	$\text{MnO}_4^-$	15		24
Wasserstoffperoxid	$\text{H}_2\text{O}_2$	150	150	24

Bei derartigen Sanierungen ist eine Verwendung als Trinkwasser nicht möglich.

## Aufbereitung in mikrobiologische Hinsicht

In manchen Fällen kann es notwendig sein native oder aufbereitete Wässer, die bereits chemisch und physikalisch den gesetzlichen Anforderungen entsprechen, mikrobiologisch aufzubereiten, wobei man landläufig auch von Desinfektion spricht.

Folgende Verfahren kommen bei dieser Art von Desinfektion zu Einsatz:

- Chlorung mit Natrium-, Kalium-, Calcium- oder Magnesiumhypochlorit
- Chlorung mit Chlorgas
- Behandlung mit Chlordioxid
- Ozonung
- UV-Bestrahlung

## Chemische Desinfektion (Aufbereitung)

In Deutschland und Österreich zulässige Verfahren und Konzentration:

Wirkstoff	Chemische Formel	Maximale Konzentration am Trinkwasserauslass	Mindest-Wirkkonzentration im Trinkwasser
		mg/l	mg/l
Chlordioxid	$\text{ClO}_2$	0,4 als $\text{ClO}_2$	0,05 als $\text{ClO}_2$
Kupfer	$\text{Cu}^{2+}$	2,0 als Mittelwert	20
Hypochlorit	$\text{ClO}^-$	0,3 freies Chlor als $\text{Cl}_2$	0,05 freies Chlor als $\text{Cl}_2$
Ozon	$\text{O}_3$	0,05	0,1
Silber	$\text{Ag}^+$	0,08	0,08
Wasserstoffperoxid	$\text{H}_2\text{O}_2$	0,1	–

Vor allem im Bereich der Chlorchemie sind die Erfolge sehr stark vom pH-Wert des Wassers abhängig.

Das Desinfektions-Milieu wird an Besten durch das Redoxpotential (Redoxspannung)  $E_H$  beschrieben. Eine Desinfektion bzw. Inaktivierung erfolgt bei  $E_H \geq 850$  mV

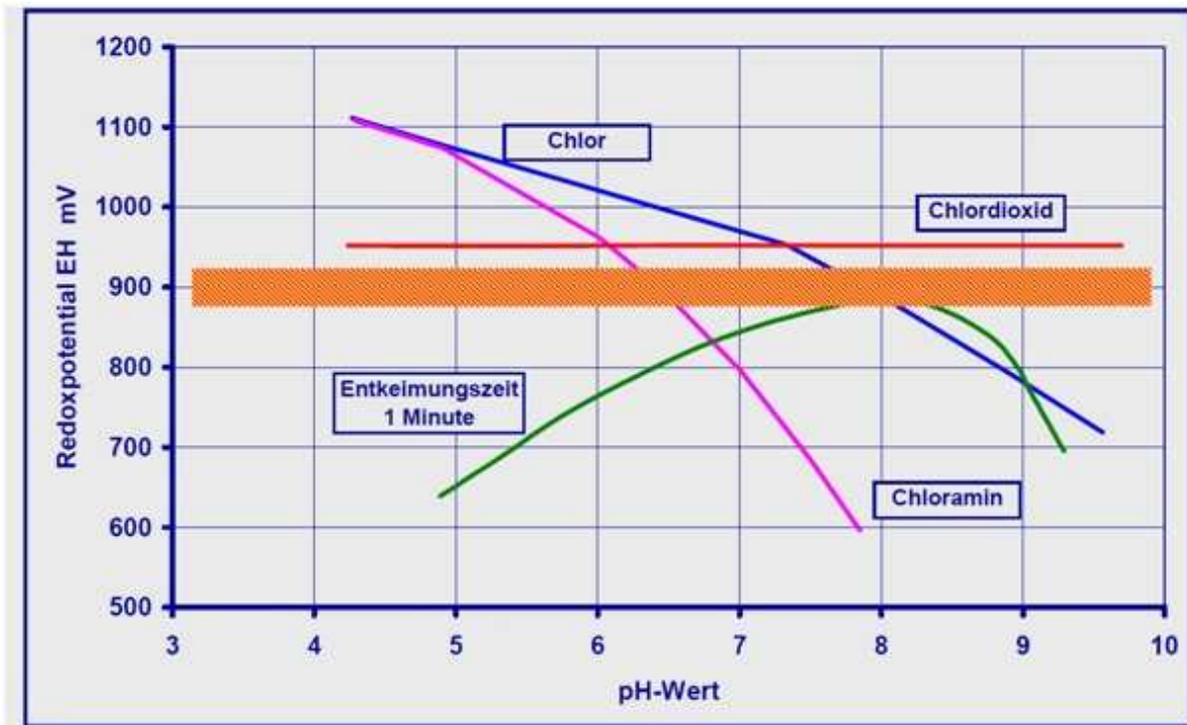


Abbildung 7: Darstellung des Redoxpotential in Abhängigkeit der Redoxspannung

## Kunststoffbeständigkeit

Bei den Zulassungsprüfungen von Kunststoff-Rohrleitungssystem für die Wasserversorgung, vor allem im Bereich der Thermoplaste, wird den erforderlichen Mindestfestigkeiten (MRS) der Werkstoffe sehr großes Augenmerk geschenkt. Aus diesen Mindestfestigkeiten ergeben sich die für bestimmte Anwendungen und Betriebszustände zulässigen Spannungen bzw. werden die Durchmesser-Wanddicken-Verhältnisse (SDR) unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren abgeleitet.

Die klassischen Versagensmechanismen laufen in drei Stufen ab.

- Stufe I Verformungsbruch
- Stufe III Sprödbbruch
- Stufe II Mischformen

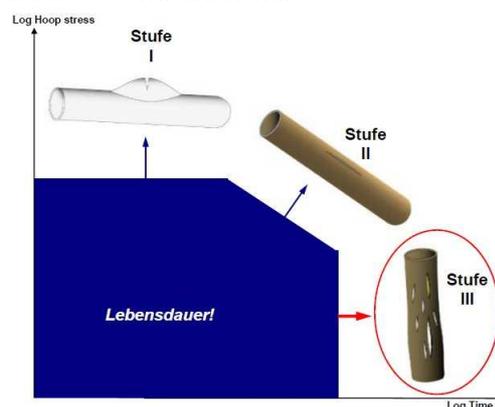


Abbildung 8: Darstellung des Bruchverlaufes bei Thermoplasten

Für die Ermittlung der Zeitstands-Innendruckfestigkeit nach 50 Jahren bei 20°C werden statistische Extrapolationsverfahren angewendet, die auf einer großen Anzahl von Einzelprüfungen beruhen. So werden bei drei Temperaturen (Werkstoffabhängig) je Temperatur mindesten 30 aus drei Einzelprüfungen bestehenden Prüfergebnisse ermittelt, die über mindesten fünf Innendruckstufen regelmäßig verteilt sind. Die Innendruckstufen sind so ausgewählt, dass bei einer Beanspruchung von 7000 h mindesten vier Messwerte vorliegen und bei einer Beanspruchung über 9000 h mindesten ein Messwert vorliegt. Falls eine Knick (Sprödbbruchverhalten) vorliegt, ist eine statistisch hinreichende Anzahl an Messwerten für beide Kurvenäste zu ermitteln.

Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel bei einem Vertrauensgrenze von 97,5%:

$$\frac{\log_{10} t}{T} = c_1 + c_2 + c_3 \log_{10} \sigma + c_4 \left( \frac{\log_{10} [\sigma]}{T} + e \right)$$

Dabei ist:

- $t$  die Zeit bis zu Versagen (Standzeit), in Stunden
- $T$  die Temperatur, in Kelvin
- $\sigma$  die Umfangspannung, in MPa
- $c_1$  bis  $c_4$  die im Modell ermittelten Parameter
- $e$  die Fehlervariable einer Laplace-Gauß-Verteilung

Daraus ergeben sich für PVC-U folgende Mindestanforderungen:

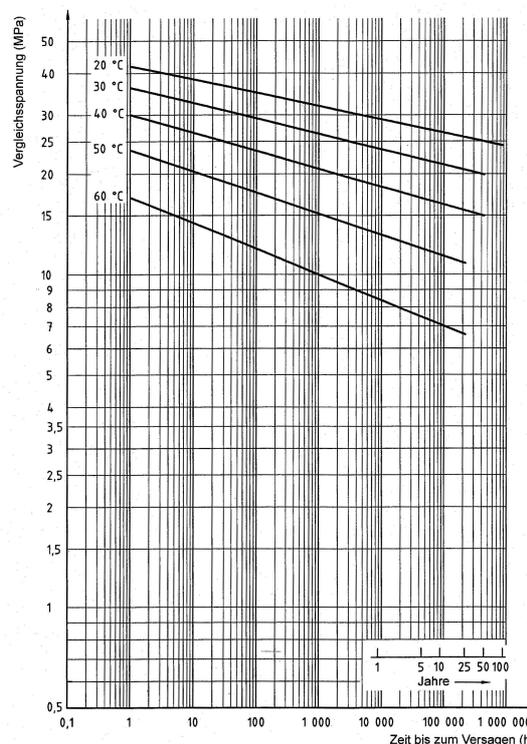


Abbildung 9: Regressionskurve für das Zeitstand-Innendruckverhalten von PVC-U gemäß EN ISO 15493

Aufgrund der hohen Temperaturbeständigkeit ist bei PVC-C der Mindestanforderungsbereich bis 95°C definiert.

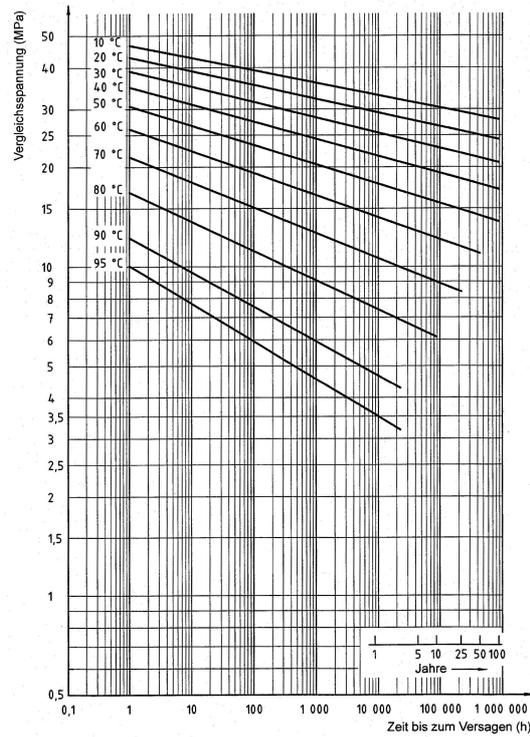


Abbildung 10: Regressionskurve für das Zeitstand-Innendruckverhalten von PVC-C gemäß EN ISO 15493

Für Polyethylen ist die Mindestanforderung wie folgt definiert:

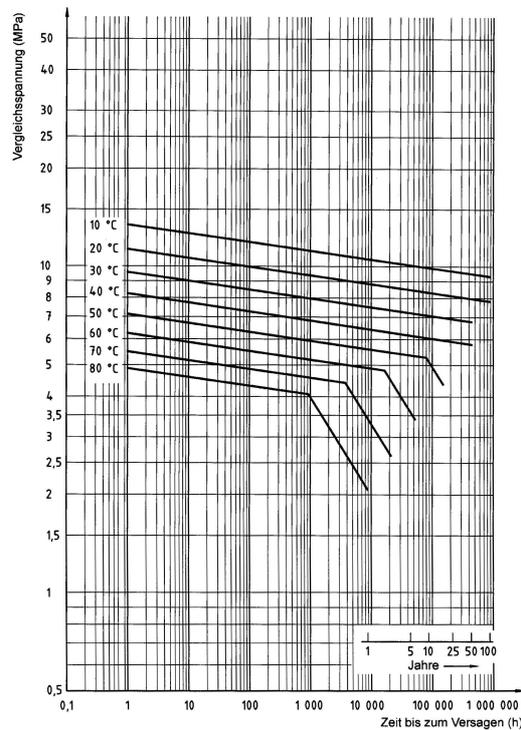


Abbildung 11: Regressionskurve für das Zeitstand-Innendruckverhalten von PE 80 gemäß EN ISO 15494

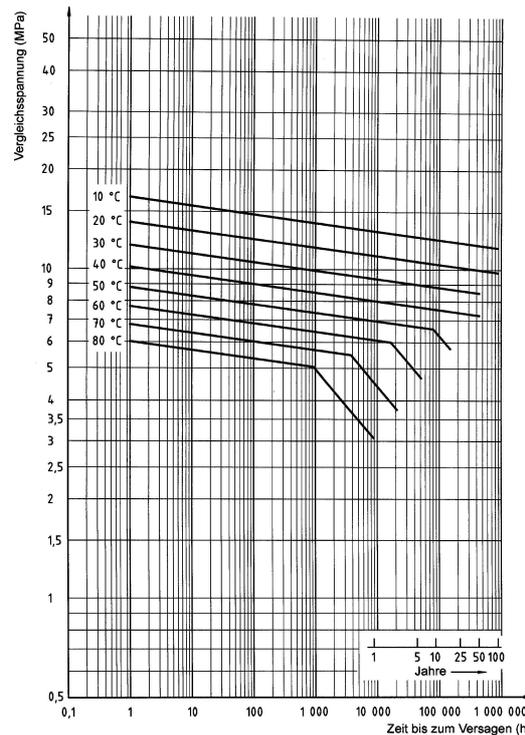


Abbildung 12: Regressionskurve für das Zeitstand-Innendruckverhalten von PE 100 gemäß EN ISO 15494

Diese oben angeführten Innendruck-Zeitstands-Prüfungen werden in Europa seit Anfang der 60 Jahre durchgeführt, wobei moderne Werkstoffe diese Mindestanforderungen bei weitem übertreffen. Die damals ermittelten Extrapolationswerte stimmen mit den heute bestimmten Werten gut über ein.

Da die Prüfungen bei 20°C mit Trinkwasser durchgeführt werden, wird auch ein nicht unbeträchtlicher Teil an Desinfektionsmittel eingebracht und die entsprechende Belastung der Materialien mitbestimmt ohne sie zu erfassen.

Aufgrund der Erfahrungen, auch aus anderen Bereichen (z.B. Chemikalienbehälter), stellt ein normaler Umgang mit Desinfektionsmittel kein Problem für die Werkstoffe.

Ebenso werden bei Zulassungsprüfungen die Reststabilität der Materialien und die Neigung zu langsamem Risswachstum überprüft.

Beim durch Chlor induzierten Abbau der Kunststoffe geht man von einem mehrstufigen Mechanismus aus:

- Schritt 1: Chlor verbraucht die Anti-Oxidantien auf der inneren Schicht des Bauteils, das mit dem Trinkwasser ausgesetzt ist.
- Schritt 2: Die innere Schicht beginnt zu oxidieren und abzubauen.
- Schritt 3: Mikro-Risse werden auf der Innenseite initiiert.
- Schritt 4: Die Risse pflanzen sich durch die Wand des Bauteils durch Mechanismus des langsamen Risswachstums fort. Abhängig von Widerstand des Materials gegen langsames Risswachstum, das kann, muss aber nicht, die durch die Chlor-induzierten Abbau des Materials stattfinden.
- Schritt 5: Letztlich, spröder Bruch.

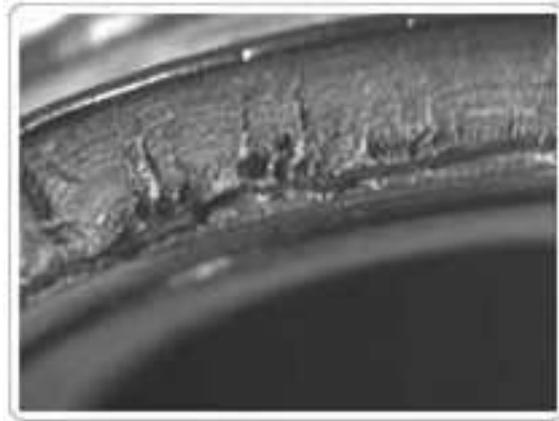


Abbildung 13. Rissbild einer Kunststoffleitung

Bei Materialien, die nicht ordnungsgemäß ausgewählt und formuliert sind oder durch Chemikalien, die missbräuchlich verwendet werden, können Brüche durch Chlor-induzierten Abbau sehr viel schneller auftreten, als es mit Standard-Material-Tests der Fall ist.

In der Trinkwasserversorgung d.h. bei Kaltwasser ist die Kombination von erprobtem und geprüftem Kunststoffrohrmaterial und chemischen Desinfektionsverfahren seit gut 50 Jahren ohne Probleme im Einsatz. Die Berücksichtigung diverser Sicherheitsfaktoren, sowie die Tatsache, dass chemisch sehr beständige Werkstoffe zu Einsatz kommen und im Versorgungsbereich die Wassertemperatur deutlich unter der Prüftemperatur liegt, ist ein Garant für die Funktion des Systems.

Die letzten Jahre sind gekennzeichnet durch vermehrten Einsatz von Desinfektionsanwendungen im Bereich von Gebäuden und Anlagen, gleichzeitig ist eine Zunahme von Schadensfällen vor allem im Warmwasserbereich festzustellen. Die Ermittlung der Ursachen, Mechanismen und Werkstoffbeständigkeiten sind Inhalte diverser Forschungsprojekte. Mit fundierten Ergebnissen ist in ca. 1-2 Jahren zu rechnen.

Eine prophylaktische Desinfektion von Trinkwasser (vor allem im Hausinstallationsbereich) bei nach den Regeln der Technik errichteten Anlage, ist weder sinnvoll noch notwendig und widerspricht dem Minimierungsgebot.