

## 3.5 Korrosion der Baumetalle

- Korrosionswirkung

**Korrosion** - Materialveränderung an der Oberfläche fester Körper durch korrosive Stoffe oder Medien (Wasser, Ionen, Gase)

Korrosion von Metallen, Beton, Naturstein, Bitumen oder Glas

nicht immer mit negativen Einfluss auf die Nutzbarkeit der Werkstoffe

Schutz durch Deckschichten

Für die Beständigkeit, z. B. im Trinkwasserbereich, ist häufig eine Korrosion des Werkstoffs notwendig.

# Korrosion metallischer Werkstoffe

Normalspannungsreihe der Metalle und kathodische Reduktion (Potentiale in V)

$\text{Mg}^{2+} \text{Mg}$	$\text{Al}^{3+} \text{Al}$	$\text{Zn}^{2+} \text{Zn}$	$\text{Fe}^{2+} \text{Fe}$	$2\text{H}^{+} \text{H}_2$	$\text{Pb}^{2+} \text{Pb}$	$2\text{H}^{+} \text{H}_2$	$\text{Cu}^{2+} \text{Cu}$	$\text{O}_2 \text{OH}^-$	$\text{O}_2 \text{H}_2\text{O}$
- 2,36	- 1,66	- 0,76	- 0,44	- 0,41	- 0,13	0	+ 0,34	+ 0,82	+ 1,23
				pH = 7		pH = 0		pH = 7	pH = 0

Unedel

Edel



Oxidierbarkeit (Korrosion)

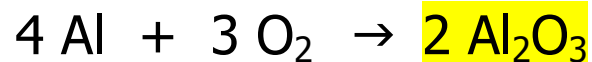


Besonderheiten der elektrochemischen Korrosion → praktische (technische) Spannungsreihe

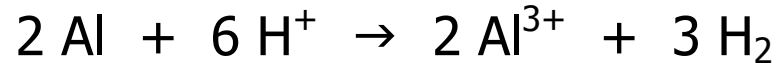
- Berücksichtigung der Korrosionsprodukte bzw. Deckschichten (**Passivität**)
- praxisnahe Medien
- Phänomen der **Überspannung** infolge Reaktionshemmung

# Aluminium

Gute Beständigkeit an der Atmosphäre  
infolge passivierender Deckschicht (transparent)



Aufhebung der Passivierung durch Säuren ( $\text{pH} < 3 - 4$ ) und Alkalien ( $\text{pH} > 9$ ),  
Auflösung von Deckschicht und Metall



In sauerstoffhaltigen Wässern fördern Chloride zusätzlich die Korrosion

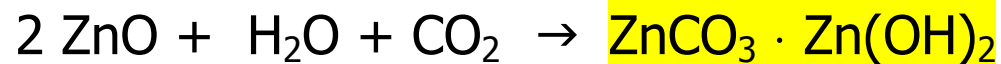
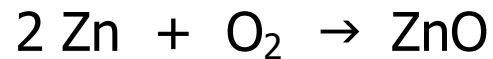
Besondere Korrosionsgefahr durch gelöste  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen (Lochkorrosion),  
Probleme bei Mischinstallation (Kupfer vor Aluminium → siehe Zn)

Wenig Korrosionsgefahr in sauerstoffarmen, geschlossenen Kreisläufen,  
Korrosionsgefahr bei Ansteigen des pH-Wertes (Kalk-Kohlensäure-  
Gleichgewicht)

Korrosionsschutz durch künstliche Verstärkung der Oxidschicht (elektrolytisch  
oxidiertes Aluminium – [Eloxal-Verfahren](#))

# Zink

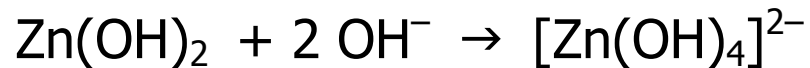
Beständig an feuchter Luft



Bildung von voluminösem Weißrost bei gehemmtem Luftzutritt (kein  $\text{CO}_2$ ), z. B. bei längerem Verbleib von Feuchtigkeit



Aufhebung der Passivierung durch Säuren, Alkalien und aggressive Chloride



Besondere Korrosionsgefahr durch gelöste  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen (Lochkorrosion), Probleme bei Mischinstallation (Kupfer vor verzinktem Stahl)



## Bitumenkorrosion

Korrosion von Zink, Titan-Zink-Legierungen u. a. Metallen (Al, Fe, Cu, Pb)

unterhalb von bituminösen Abdichtungen durch saures Regenwasser ( $H_2SO_4$ , org. Säuren)

Photooxidation von Bitumen

Schutz der Abdichtung

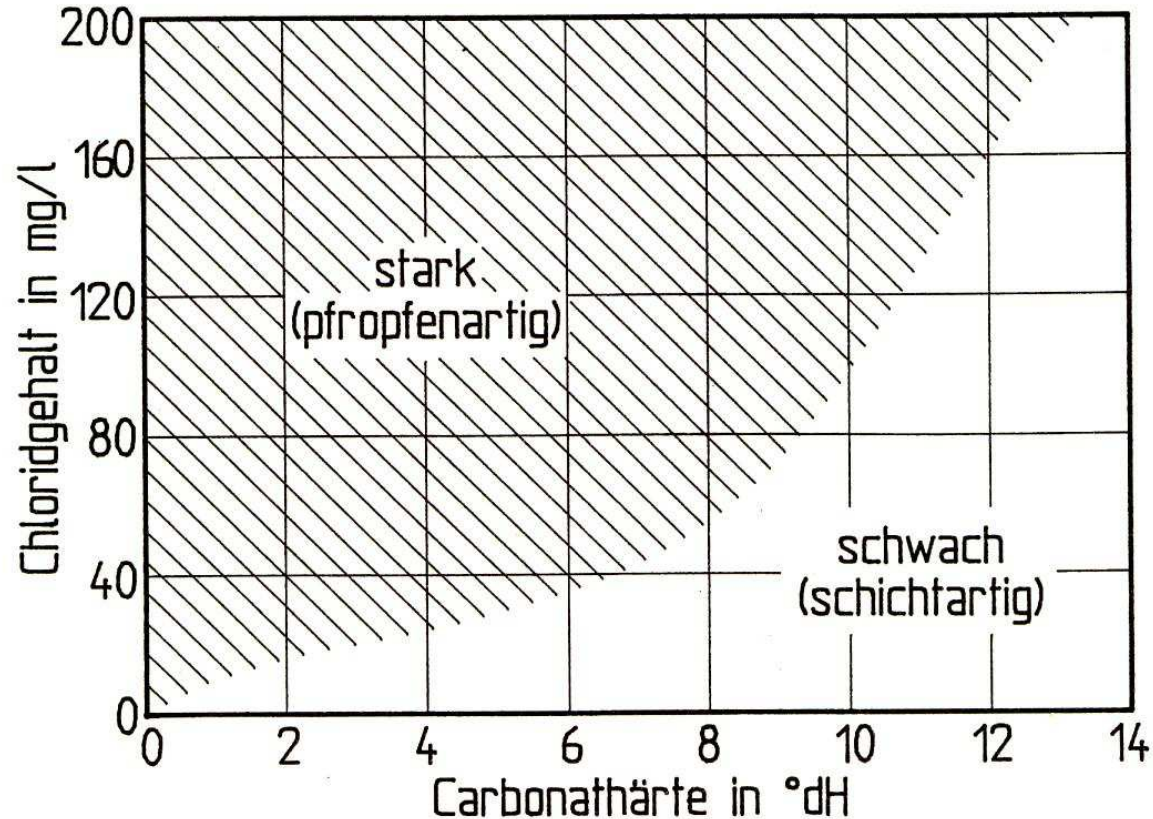
- Acrylat-Imprägnierung
- Kiesschüttung

Schutz des Metalls

- Schutzanstrich

## Entzinkung von Messing

Turner-Diagramm (Nürnberger, 1995)



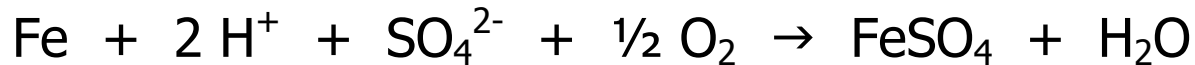
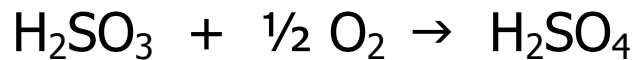
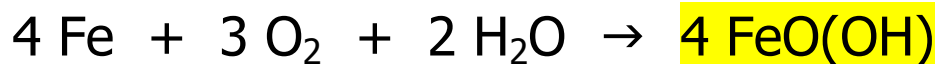
In Trinkwasserinstallationen bei **erhöhten Chloridgehalten** und **geringer Carbonathärte** (keine ausreichende Schutz-schichtbildung), in schwach sauren Wässern in Gegenwart von Sauerstoff



## Eisen (unlegierte und niedrig legierte Stähle)

Beständig in trockener und sauberer Luft sowie in Laugen, Bildung einer 50 nm starken Oxidschicht (Schutzschicht)

Korrosion in feuchter ( $> 65$  % rel. LF) und verunreinigter Luft ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}^-$ )



eiserne Säule in Delhi, 400 n. Chr.  
→ Schutzschicht, trockenes Klima

## Kalk-Rost-Schutzschichten auf der Oberfläche von Eisenwerkstoffen

In Wässern bestimmen Art und Menge der gelösten Inhaltsstoffe (Sauerstoff, CO<sub>2</sub>, Carbonathärte, Chloride), Temperatur und Fließgeschwindigkeit die Korrosivität

Ausbildung von Kalk-Rost-Schutzschichten (FeCO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>) in sauerstoffhaltigen, nicht zu weichen, fließenden Wässern (Wasserleitungsrohren)

$$c(\text{O}_2) > 3 \text{ mg/L}$$

$$K_{S4,3}^{1)} > 2 \text{ mmol/L}$$

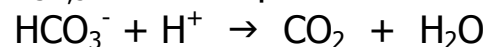
$$c(\text{Ca}^{2+}) > 0,5 \text{ mmol/L}$$

$$v > 0,1 \text{ m/s}$$

Korrosionsbegünstigung:

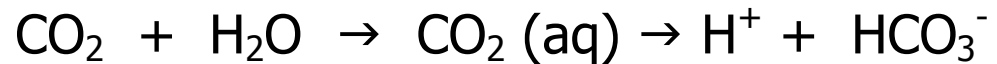
$$\frac{c(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})}{K_{S4,3}} > 1$$

1)  $K_{S4,3}$  - Säurekapazität



# Korrosion der Stahlbewehrung in Beton

## Carbonatisierung



pH = 12,5

Bewehrungsstahl durch  
Passivierung geschützt

pH ≈ 9

Verlust der Passivität  
ab pH ≈ 11

Bohrkern aus hinterlüfteter  
Vorsatzschale (Westseite)

Bestimmung der Carbonati-  
sierungstiefe

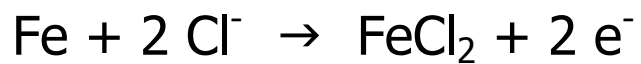
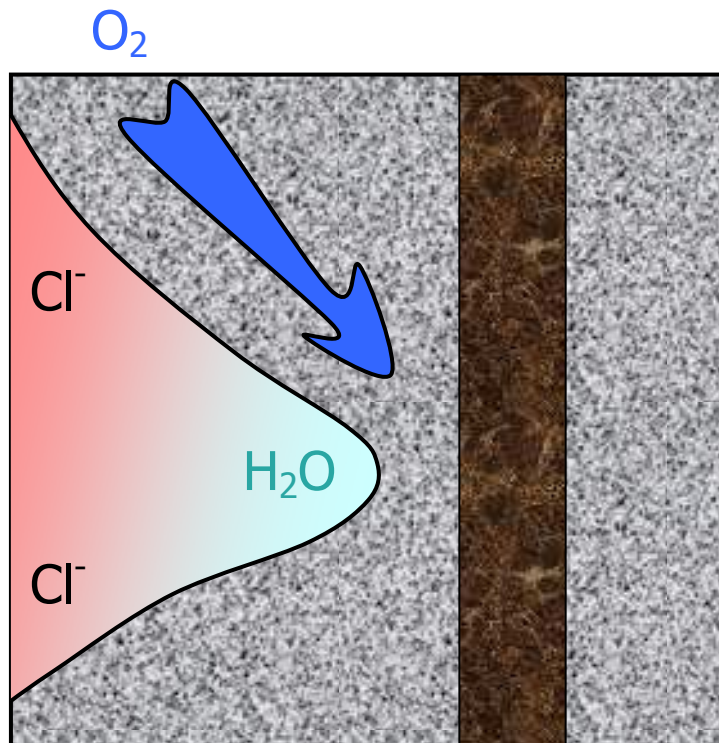
## Carbonatisierung von Beton und Umgebungsbedingungen (DIN 1045-1)

Expositionsklasse	Umgebungsbedingungen	Beispiele
XC1	Trocken oder ständig nass	Innenräume
XC2	Nass, selten trocken	Wasserbehälter, Gründung
XC3	Mäßige Feuchte	Offene Hallen, Feuchträume
XC4	Wechselnd nass und trocken	Fassade (direkte Beregnung)

# Chloridionen

Chloridionen können durch Diffusion (**Huckepacktransport**) in den Beton eindringen (Tausalze, Meerwasser, Betonbestandteile u. a. m.)

Lokale Zerstörung der Passivschicht von Bewehrungsstählen



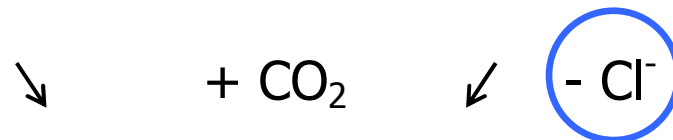
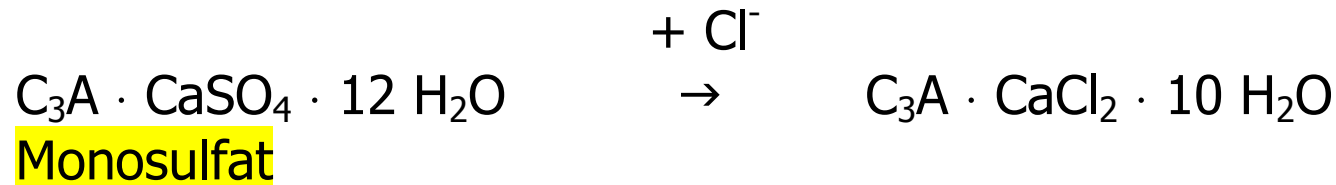
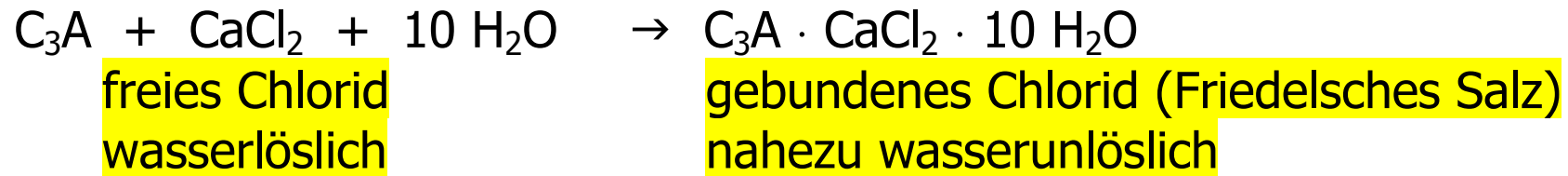
**Lochfraßkorrosion** an Bewehrungsstahl durch aggressive Chloride

## Eindringen von Chloriden in Beton und Umgebungsbedingungen (DIN 1045-1)

Expositionsklasse	Umgebungsbedingungen	Beispiele
XD1	Mäßige Feuchte	Sprühnebelbereich
XD2	Nass, selten trocken	Solebäder, Abwässer
XD3	Wechselnd nass und trocken	Brücken, Fahrbahndecken

Korrosionswirksamer Chloridgehalt → freies Chlorid

freies Chlorid  
+ gebundenes Chlorid  
Gesamtchlorid



## Zulässige Höchstwerte an Chloriden im Beton bezogen auf den Zementgehalt

	Beton	Stahlbeton	Spannbeton
Chloridgehalt <sup>1)</sup>	1,0 M.-%	0,4 M.-%	0,2 M.-%

<sup>1)</sup> Gesamtchlorid in alkalischen, nicht carbonatisierten Beton

## Zulässige Höchstwerte für den Chloridgehalt in Betonausgangsstoffen

Ausgangsstoff	Regelwerk	Beton	Stahlbeton	Spannbeton
Zement	DIN 1164-1	0,1 M.-%	0,1 M.-%	0,1 M.-%
Zuschlag	DIN 4226-1	0,04 M.-%	0,04 M.-%	0,02 M.-%
Wasser	DBV-Merkblatt, DIN 4227-1,-5	4500 mg/L	2000 mg/L	600 mg/L
Zusatzmittel	Rili DAfStb	0,2 M.-%	0,2 M.-%	0,2 M.-%
Zusatzstoff	Rili DAfStb	0,1 M.-%	0,1 M.-%	0,1 M.-%



## Praktische Vorgehensweise (DAfStb Heft 401, 1989)

Je Entnahmestelle Proben aus mindestens 5 unterschiedlichen Tiefen (0 - 10 mm, 10 - 20 mm, 20 - 30 mm u. s. w.) → Tiefenprofil

Je Probe Betonvolumen von 8 - 80 cm<sup>3</sup> (Ø Bk 1,6 cm - 5 cm) → Mittelwert Cl<sup>-</sup>

Salpetersäure heiß (Labor)

→ 95 % Cl<sup>-</sup>

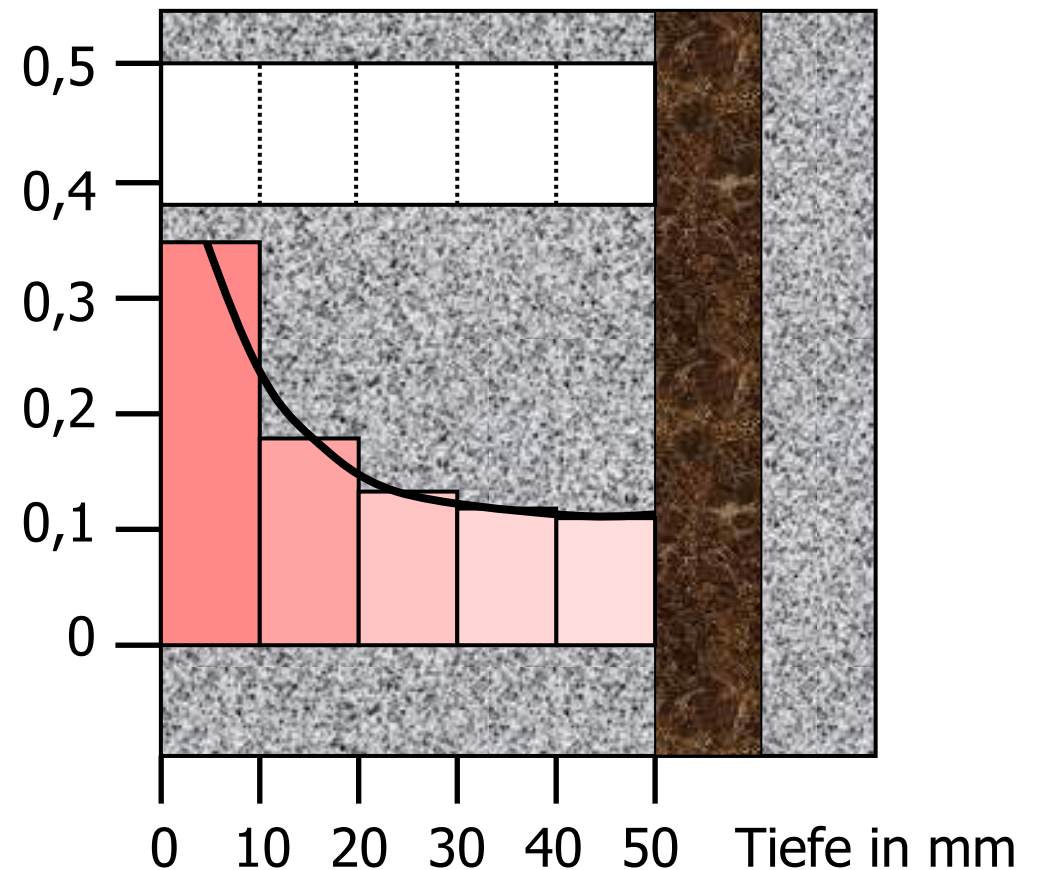
Salpetersäure kalt (vor Ort)

→ 80 % Cl<sup>-</sup>

Wasser

→ freies Chlorid

Cl<sup>-</sup> in M.-%



Zur Bestimmung des Chloridgehaltes wurde eine Probe eines Portlandzementbetons (Stahlbeton) gemahlen und bei 105 °C bis zur Massekonstanz getrocknet. Nach Behandeln von 1 g des Betonmehls mit 20 mL Salpetersäure in der Wärme wurde in der Lösung ein Gesamtchloridgehalt von 28 mg/L ermittelt!

Berechnen Sie den Chloridgehalt des Betons (bezogen auf den Zementgehalt), wenn der Glührückstand A des Betonmehls 93 M.-% und der unlösliche Rückstand B nach Behandeln mit Salzsäure 74 % beträgt!

Glührückstand A (Glühen bei 1000 °C) → 93 M.-% → Zement + Zuschlag

Unlöslicher Rückstand B (Lösen in HCl) → 74 M.-% → Zuschlag

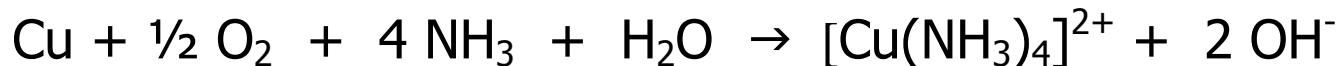
# Kupfer

Beständig in der Atmosphäre, Patina-Bildung



Beständig in schwach sauren und alkalischen Medien (pH < 12,5), auch bei Zerstörung der Deckschicht nur langsame Reaktion

Korrosion bzw. Aufhebung der Passivierung durch NH<sub>3</sub> bzw. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Bildung von löslichen Kupfer-Komplexen), Angriff durch H<sub>2</sub>S



Weitgehende Beständigkeit im Trink- und Brauchwasser, in neutralen bis alkalischen Wässern (6,5 > pH > 8) in Gegenwart von Sauerstoff Ausbildung von Schutzschichten (s. oben), TrinkwV 2001: 2 mg/L

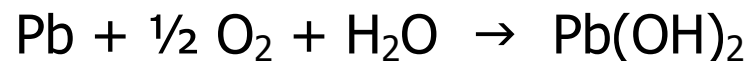
Bereits im schwach sauren Bereich geringer Angriff (→ Hausinstallation!)



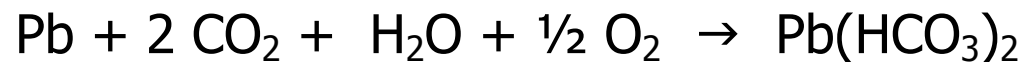
## Blei

An der Atmosphäre und in neutralen Wässern Bildung schützender Überzüge von  $\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$

In weichen ( $< 8 \text{ °dH}$ ), sauerstoffreichen Wässern entsteht poröses, nicht schützendes  $\text{Pb(OH)}_2$

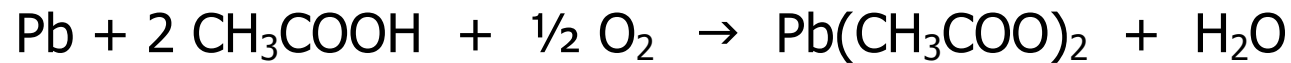


Kohlensäurehaltiges Wasser mit freier, überschüssiger Kohlensäure führt zur Bildung von löslichem Bleihydrogencarbonat



In Bleirohren  $> 0,1 \text{ mg/L}$  Löslichkeit (TrinkwV 2001:  $0,1 \text{ mg/L}$ ), insbesondere in Warmwasser-Rohrleitungen, Anreicherung im Organismus  $\rightarrow$  Blut- und Nervengift

Beständig gegen  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  und  $\text{HCl}$  (Schutzüberzug aus den gebildeten Salzen)  $\rightarrow$  Säurebeständigkeit von der Löslichkeit der Bleisalze abhängig; Angriff durch organische Säuren bereits im schwach sauren Bereich, auch unbeständig gegen  $\text{HNO}_3$



Im Alkalischen ist Blei bereits ab  $\text{pH} = 9$  unbeständig

