

Vom Kanalisations- und Abfuhrwesen zur Selektivbehandlung von Wasserschadstoffen

-

Möglichkeiten und Grenzen der Chemisch-Physikalischen Abwasserbehandlung

Potsdam, am 22.09.2022

Dr. Olaf Boehnke, Leipzig

Vortragsgliederung:

1) Geschichtlicher Rückblick zur „Abwasserfrage“

Rom

Mittelalter

19. Jh.

20. Jh.

Abfall / Abwasser

2) Gegenwart – Juristischer Rahmen

BImSchG / WHG / Indirekteinleitung (Referentenentwurf Anh. 27)

3) Anlagentechnik

3.1 Durchlaufanlage

3.2 Chargenanlage

- Mechanische Trennung
- Emulsionsspaltung
- Komplexbrechung
- Oxidation
- Reduktion
- Fällung / Neutralisation

4) Indirekteinleitung

5) Schlammverbringung

6) Diskussionspunkte

Rückblick:

- Menschliche Siedlungen waren schon im Altertum mit der „doppelten Nutzung“ des Wasser eng gekoppelt (Wassernutzung und Unrat- / Fäkalbeseitigung)

am wohl bekanntesten die „Cloaca maxima“ in Rom; (ca. 100 v.Chr.)
gebaut als Entwässerungsbauwerk, Jahrhunderte genutzt als Fäkalkanal



Auslaufbauwerk Tiber (rekonstruierte Zeichnung) aus Lit. 1



Profil Kanal aus Lit. 1

Probleme:

- Keine konstante Fließgeschwindigkeit, kein Wassertor, kein Wasserschloß
ständige Verschlammung, hohe Geruchsbelästigung,
- Anfall von zwei verschieden zu behandelnden Reststoffen (fest / flüssig)
- starke Verunreinigung der Vorflut im Stadtgebiet (Anlage eines öffentlichen Badeteiches wurde notwendig)
- Reinigung (durch Kriegsgefangene) wird kommunal gelöst (einschließlich „cloacarium“)

- ca. 200 Jahre später entstand eine Privatlatrinenindustrie (Eintrittsgeld + Verkaufserlös der abgesetzten Feststoffe an Gärtnereien/Landwirtschaft)

- Trennung der beiden Abfallströme am Entstehungsort

- deshalb Einführung der „Urinsteuer“ unter Vespasian

(Anekdote Vespasian im Gespräch mit Titus: „Riechst Du was? ...“)

„düsteres“ Mittelalter

- Gesellschaftlicher Übergang von 400 – 700 nach Chr. war schleichend;
- nur Klosteranlagen beachteten die Notwendigkeit der Wasser- und Abwasserführung;
- Städte waren Lebensraum, Tierhaltung, Handwerk und Gewerbe auf engstem Raum
- meist an einem Gewässer gelegen, jedoch fast nie von einem Gewässer durchflossen
- Leipzig hatte mehr Schweine als Einwohner in der engen Innenstadt
- Es war über ca. 800 Jahre die Zeit der Versatzgruben mit Flüssigkeitsüberlauf, nur dass die Gruben nie ordnungsgemäß geleert wurden;

Mittelalterliche Städte waren reinste Kloaken

Vers (ca. 1370)

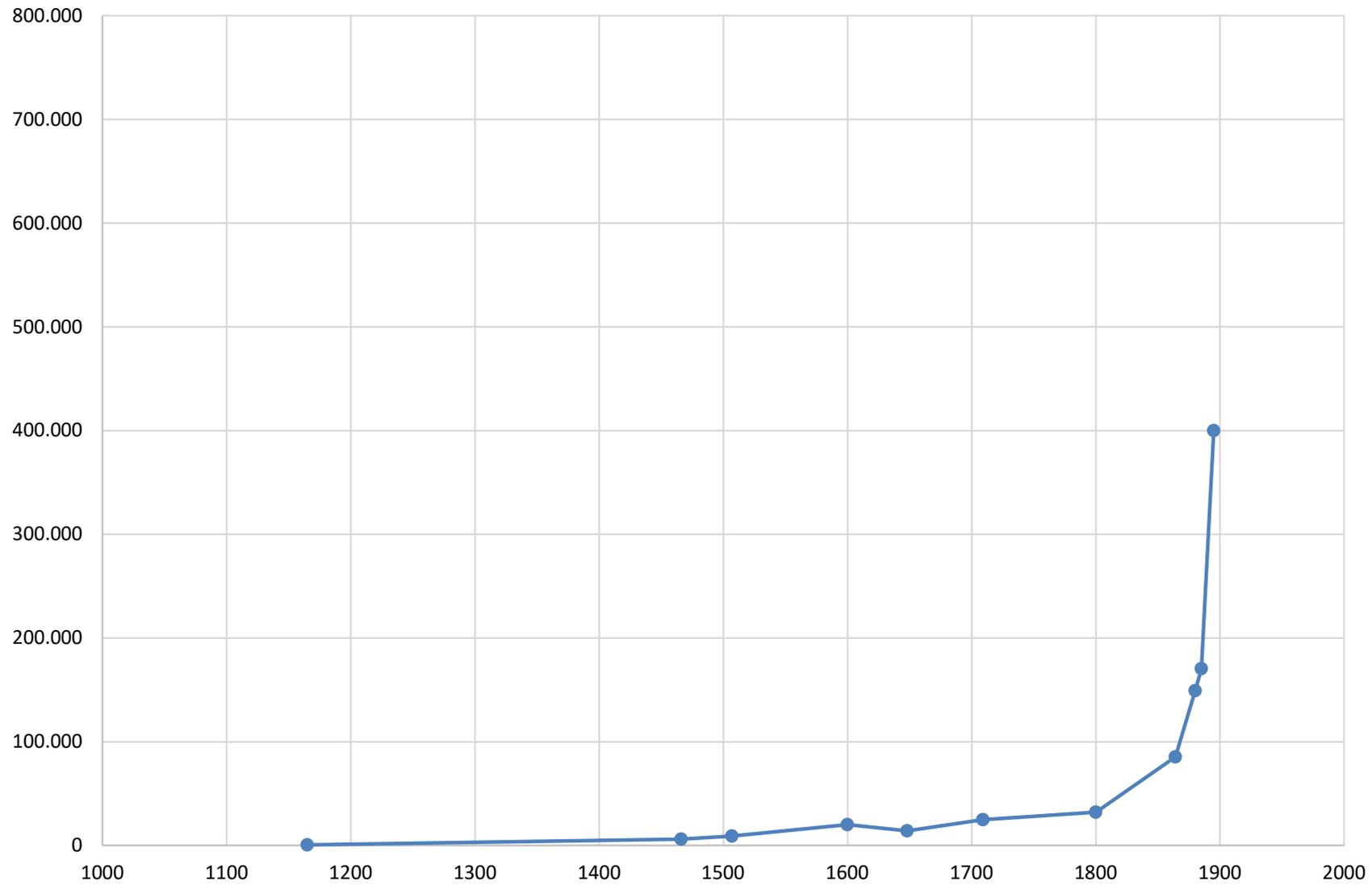
„Kot und Unflat vor den Türen
ist binnen drei Tagen wegzuführen, -
Sowie auch mit dem Schweinehalten
Soll geschehen, so wie vor alten,
Damit niemand keinen Unflat
vor seiner Türe oder auf der Gasse hat,
Unsauberes aus den Häusern giessen
wird man auch mit Strafe büßen.“

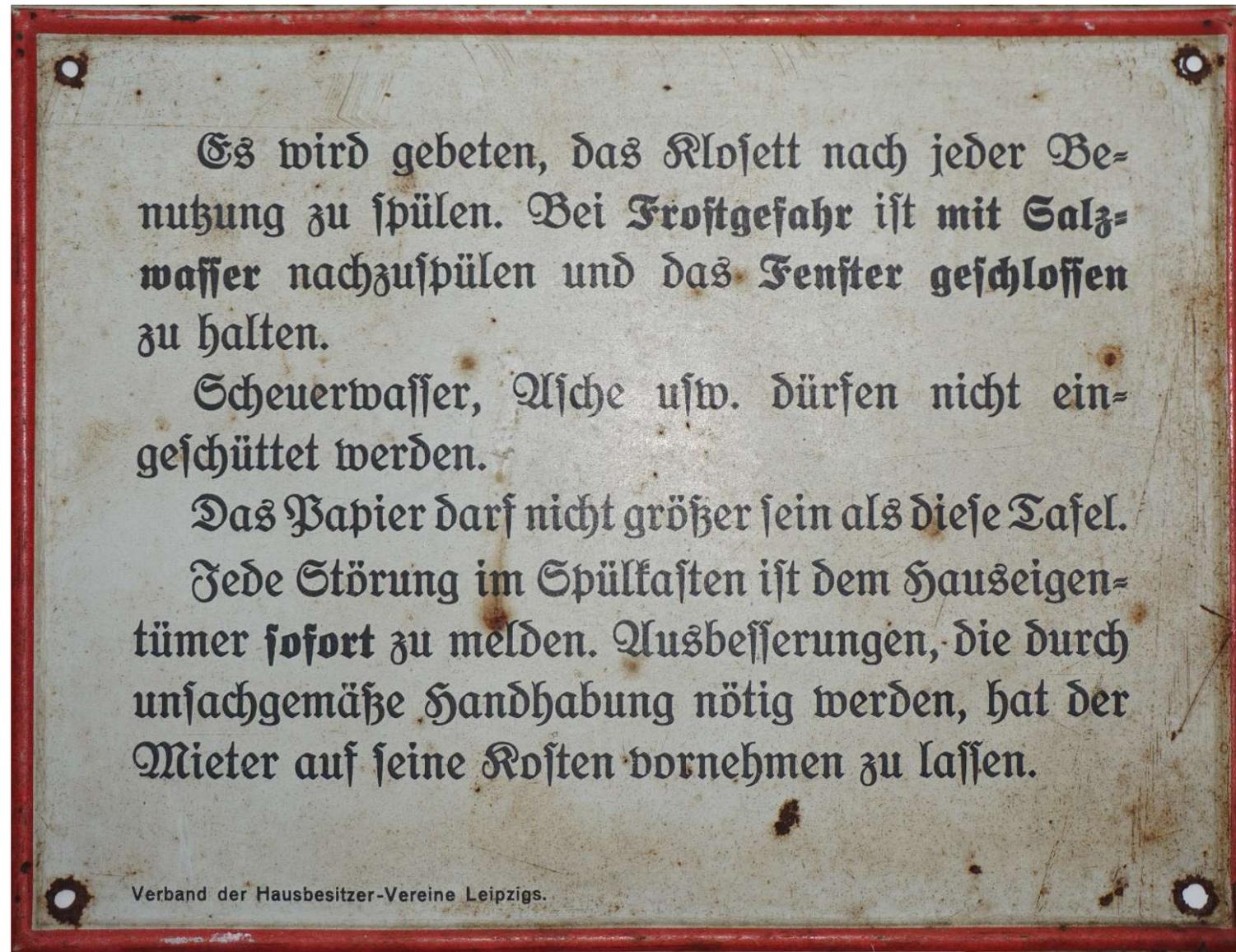
- Reinhaltung der Vorflut war nicht von Interesse (Nur vereinzelte Hinweise)
- Hygienische Maßnahmen waren fast unbekannt (Ein Hinweis in Krakau: (1373)“... bis yn dy helffte des gerynnes vor seine hausze schweffeln und nach der stad gewohnheit reinhalten“)
- Ab 17. Jh. Beginn der Straßenordnung (5 Karren + 5 Beiknechte im Dienst der Stadt)

Entscheidende Änderung brachte das 19.Jh. insbesondere durch den medizinischen und chemischen Erkenntnisfortschritt (Streitschriften u.a. Justus von Liebig in München)

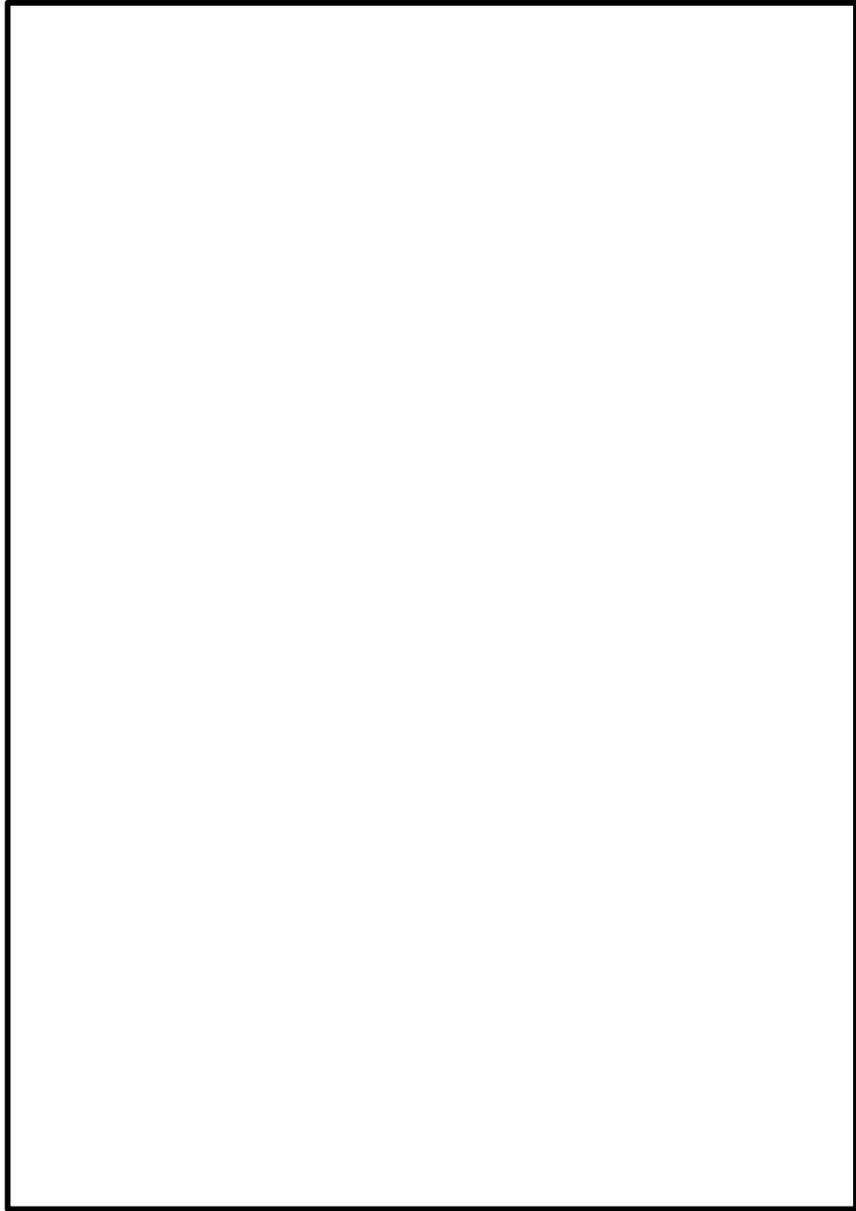
- Umfangreiche Investitionen in Kanalbauten und städtische Klärwerke in der Gründerzeit – Durchsetzung des Schwemmsystems
- Kläranlagen mit
 - mechanischen Absatzvorrichtungen,
 - chemischen Behandlungsverfahren
 - „natürlichen“ biologische Reinigungsverfahren
 - „künstliche“ biologische Reinigungsverfahren
- wissenschaftliche Diskussion und praktische Versuche zur Abfallverbringung
(Streitschriften zwischen Hamburger Gelehrten (Verbrennung) gegen Leipziger Gelehrten (Deponierung) – erste wissenschaftlich angelegte Abfalldéponie in Leipzig 1880 – 1910 „Scherbelberg“)
- Problematik der gesellschaftlichen Akzeptanz der Trennungsforderung (s. nächsten 2 Folien)
- Erste Wassergesetzgebung mit Behandlung der Abwasserfragen (23.03.1907 Bayern; 01.04.1914 Preußen) einschließlich Industrieabwässer
ab hier auch juristische Trennung von Flüssigkeit und Feststoff (Abschwemmung)

Bevölkerungsentwicklung Stadt Leipzig bis 1895





(Original im Besitz des Vortragenden)



Witzpostkarten zur ersten geordneten
Abfalldponierung in Leipzig (um 1900)

**Das 20ste Jahrhundert ist eines der kürzesten der Weltgeschichte.
Es dauerte nur 75 Jahre, vom 1. August 1914 bis zum 9. November 1989.**

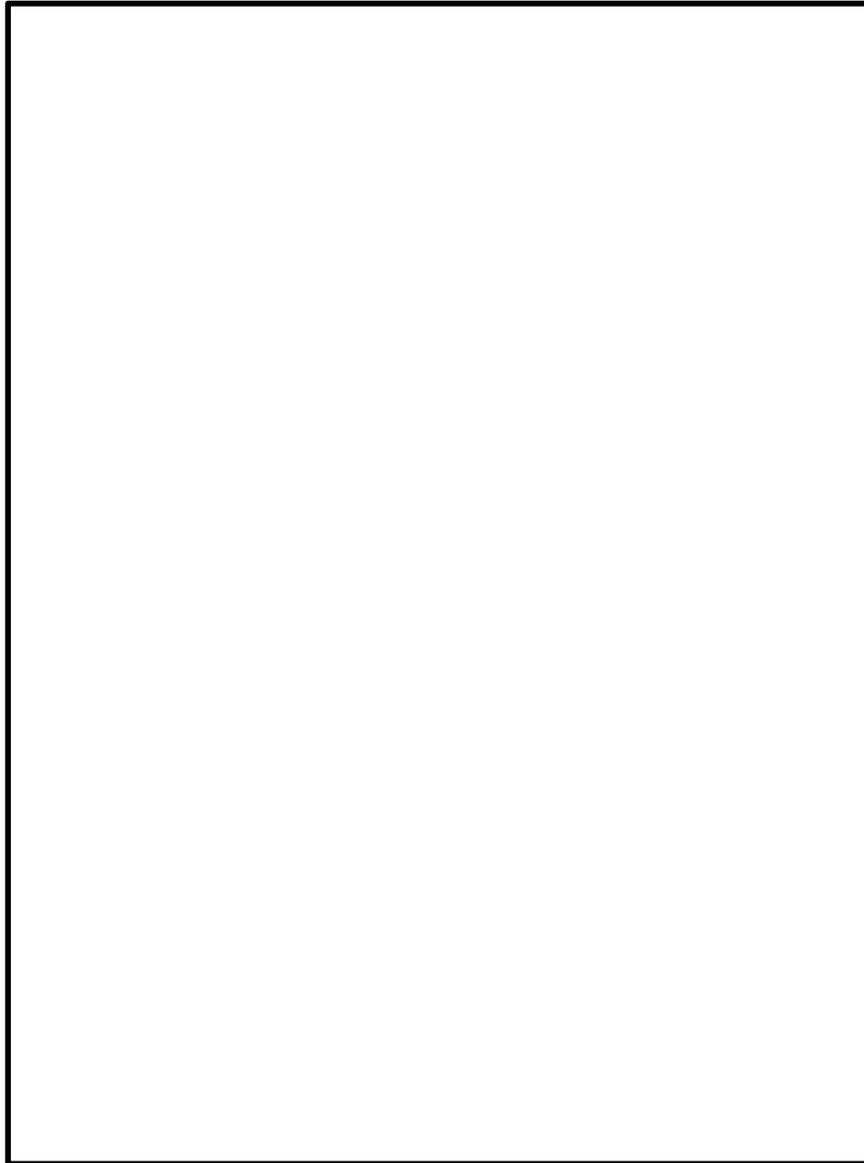
(Heiner Müller)

„Vor dem Ersten Weltkrieg war noch das 19te
und nach dem Mauerfall bereits das 21ste Jahrhundert.“

- Das 20. Jh. lebte in vielerlei Hinsicht von der Substanz und dies speziell auch in der Abwassertechnik
- Fast immer war die Abwasserreinigung der industriellen Entwicklung nachgeschaltet (sowohl aus privatwirtschaftlichen als auch aus gesellschaftlichen Gründen)
- Jedoch wurde die chemische Produktion enorm gesteigert von ca. 2.000 auf \approx 100.000 verschiedene Grundchemikalien („geREACHt sind 92.000 Grundchemikalien in der EU)

Als Beispiele:

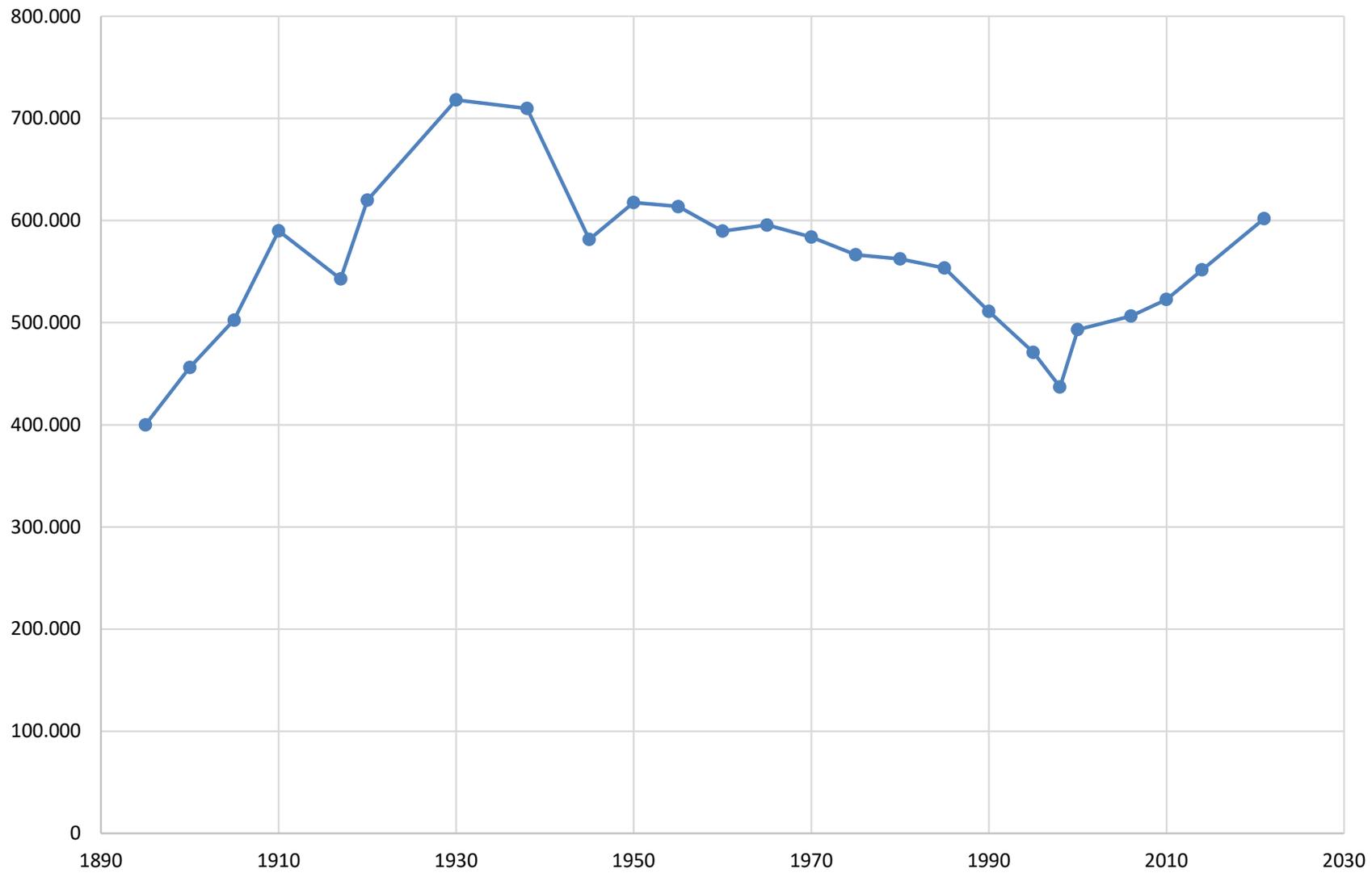
- Problematik Rieselfelder bei Großstädten
- Klärwerk Dresden-Kaditz
- Chicago Sanitary Canal



Schulatlas für das Land Sachsen
(1948)

Darstellung der kommunalen Entsorgung
mit Druckleitung und Rieselfelder

Bevölkerungstatistik Stadt Leipzig 1895 - 2021



2. Gegenwart

Definition einer CPA - gemäß 4. BImSchV:

Anlagen zur Chemischen Behandlung , insbesondere zur chemischen Emulsions-Spaltung, Fällung, Flockung, Neutralisation oder Oxidation von ... Abfällen...

(4. BImSchV Anh. 1 Punkt 8.8)

- Trifft umsatzmäßig nur auf einen Teil der zu behandelnden Abfälle zu

z.B. Waschemulsionen, Entfettungslösungen (?), Bohremulsionen, Farbwässer, Säuren, Laugen

z.T. auch Anlagen zur physikalisch-chemischen Behandlung ... Verdampfen...

(4. BImSchV Anh. 1 Punkt 8.10)

z.T. auch Anlagen zur Behandlung von gefährlichen Abfällen, ausgenommen...,

zum Zweck der Rückgewinnung ...

zum Zweck der Regenerierung ...

(4. BImSchV Anh. 1 Punkt 8.11.1)

Vorschlag aus dem Wasserrecht (Referentenentwurf Anhang 27 AbwV) ist umfangreicher:

Abwasser aus:

(1.) mechanische Abfallbehandlung:

- (1.1) Beh. von Metallabfällen im Schredder
- (1.2) Beh. von Elektro- und Elektronik-Altgeräten die flüchtige FCKW oder KW enthalten
- (1.3) Beh. von heizwertreichen Abfällen zur Erzeugung von Ersatzbrennstoff einschließlich Klärschlamm-trocknung
- (1.4) Beh. von Hg-haltigen Elektro- und Elektronikaltgeräten
- (1.5) Beh. von Aschen und Schlacken aus thermischen Abfallbehandlungsanlagen

Vorschlag aus dem Wasserrecht (Referentenentwurf Anhang 27 AbwV) :
Abwasser aus:

(2.) Chemische und physikalische Behandlung:

- (2.1) Altölaufbereitung
- (2.2) chemisch-physikalische Behandlung von LM-Abfällen, Farben...zur Erzeugung von Ersatzbrennstoffen
- (2.3) Bodenwäsche ... von kontaminierten Böden
- (2.4) chemisch-physikalische Behandlung von festen oder pastösen Abfällen für den Bergversatz
- (2.5) Regeneration von LM
- (2.6) Behandlung oder Regeneration von beladenen Ionenaustauschern, verbrauchter Aktivkohle, sowie andere Adsorptionsmaterialien und kontaminierte Böden
- (2.7) Dekontamination von Ausrüstungen mit PCB
- (2.8) Behandlung von
 - Säuren, Laugen, Emulsionen, Bilgen- und Slopwasser
 - mit Ladungsrückständen verunreinigtem Wasser von Schiffen
 - sonstigen wasserbasierten flüssigen Abfällen

Vorschlag aus dem Wasserrecht (Referentenentwurf Anhang 27 AbwV) :
Abwasser aus:

(3.) Sonstige Behandlung von Abfällen

(3.1) Anlagen zur Hydrothermalen Carbonisierung (HTC-Anlagen)

(3.2) Abfallsortier- und Abfallrecyclinganlagen

(3.3) Vergasungs- und Pyrolyseanlagen (ohne abschließender Verbrennung)

(3.4) Schrottplätze (wenn nicht zu 1.1 gehörend)

(4.) Innereinigung von Behältern und Behältnissen nach Lagerung und Transport

(5.) Lagerung von gefährlichen Abfällen

Eigene Definition für eine CPA:

Anlage, die eine(n) nicht einleitfähige(n) Flüssigkeit/Schlamm soweit behandelt, aufbereitet und trennt, dass eine möglichst *einleitfähige* Flüssigphase sowie eine zu verwertende oder zu entsorgende Feststoffphase entsteht.

z.B. eine gezielte Metallschlammherstellung

z.B. eine vorgeschaltete Neutralisation vor einer SAV

Alle anderen denkbaren Variationen werden preislich begrenzt:

- Kosten für Abwasser (incl. Verschmutzerzuschläge): 8,00 – 35,00 €/m³
- Annahmehkosten für flüssigen Abfall: > 80,00 €/t
- Kosten für den abgetrennten Feststoff: > 120,00 €/t
- + ggf. notwendige Transporte
wie Transportkosten für „rollendes Rohr“ > 25,00 €/t
- reine Energiekosten für Niederdruckverdampfung > 30,00 €/t

Stand 08/2022

3. Anlagentechnik

3.1 Durchlaufanlagen sind in der CPA bis auf Ausnahmen nicht mehr gebräuchlich

Ausnahmen nur dort, wo ein sehr konstanter Abfall (Abwasser) ohne gefährliche Einzeleigenschaft zu behandeln ist.

z.B. Wässrige Emulsionen (Waschflüssigkeiten, Nasslackabscheider, Bohrflüssigkeiten, Feinstaubwäscher usw.)

Demulgieren über: chemische Reaktionstrennmittel (meist Tonmineralbasis mit Zusätzen)
 elektrochemische Reaktion

Zusammenlagerung über: Koaleszenz
 Entspannungsflotation

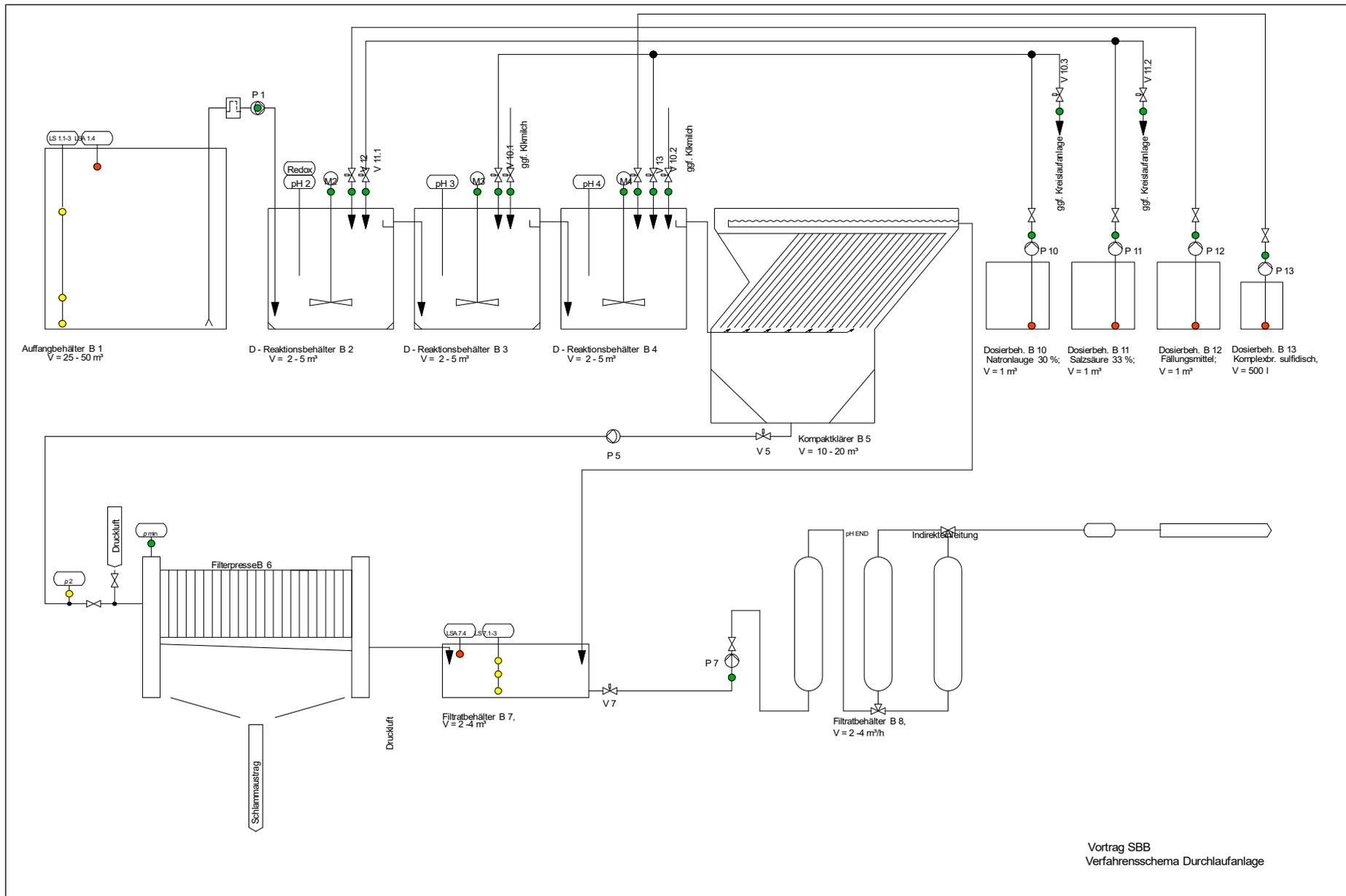
Trennen / Anreichern: Membranverfahren, Zentrifugen
 Ionenaustauscher-Kreislaufanlagen

Fast alles Verfahren für monotypes Abwasser, dann sehr preiswert;

Wird häufig vom Erzeuger selbst installiert; (ergänzende Umweltschutzmaßnahmen)

In einigen CPA als eigenständiger Kreislauf in Form einer Kompaktanlage vorhanden

Beispiele: „Kompaktklärer“; Membranfiltrationstechniken (z.B. Deponiesickerwasseranlagen);



Vortrag SBB
Verfahrensschema Durchlaufanlage

Vorteile: mehr physikalische Methoden
keine oder nur geringe pH-Änderungen
keine oder nur geringe Aufsalzungen, deutlich geringerer Schlammanfall
selektive Wertstoffrückgewinnung möglich

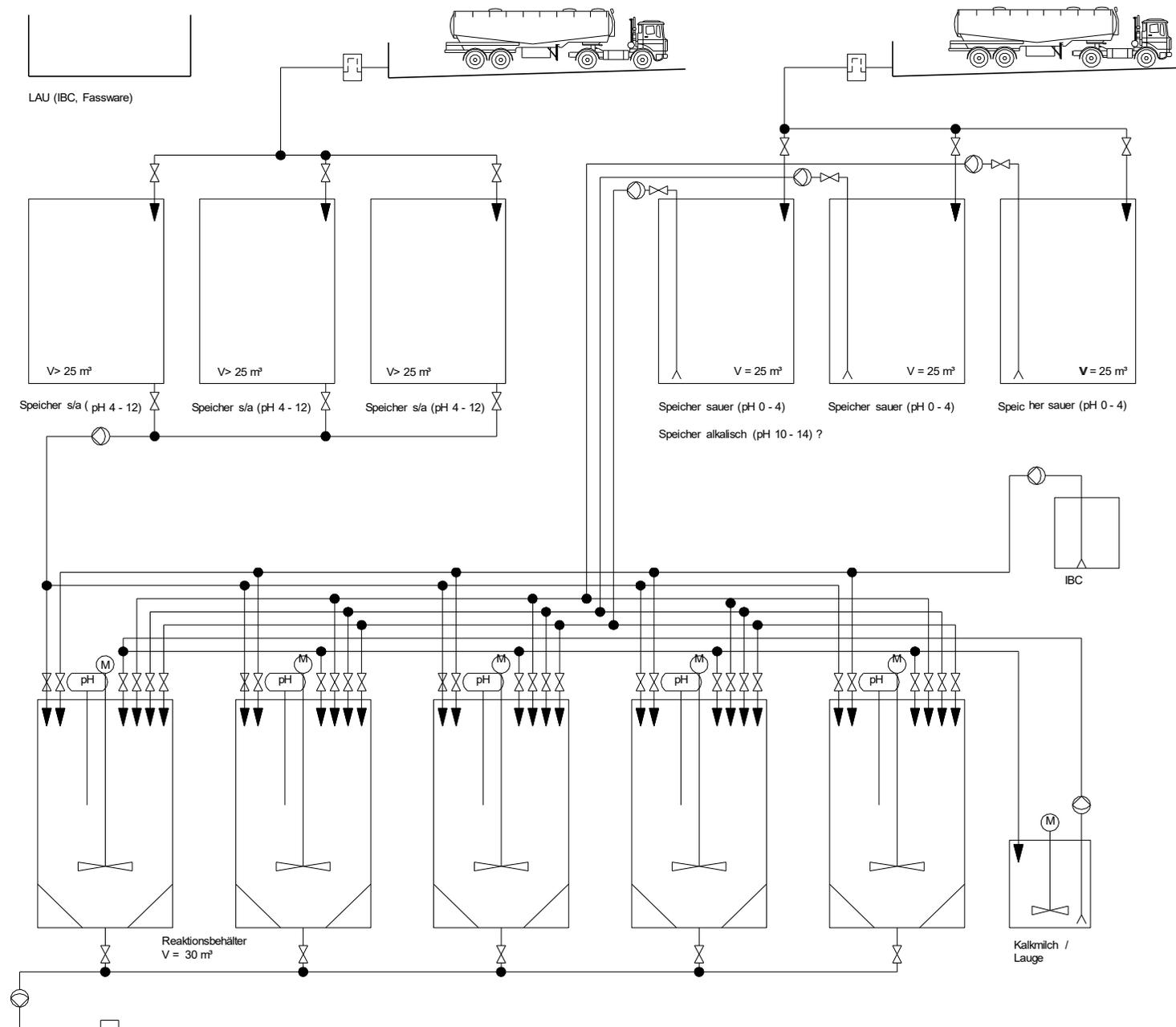
Probleme: Trennleistung Partikel / Klarphase ist geschwindigkeitsbestimmend,
Trüblauf- / Verblockungsgefahr,
bei Verfahren mit Druckänderungen → Kristallisationen,
Konzentrationsänderung → Überschreitung von Löslichkeitsgrenzen
Möglichkeit der „Vergiftung“ von Ionenaustauschern
Anfall von Konzentraten / Rückspülwässern

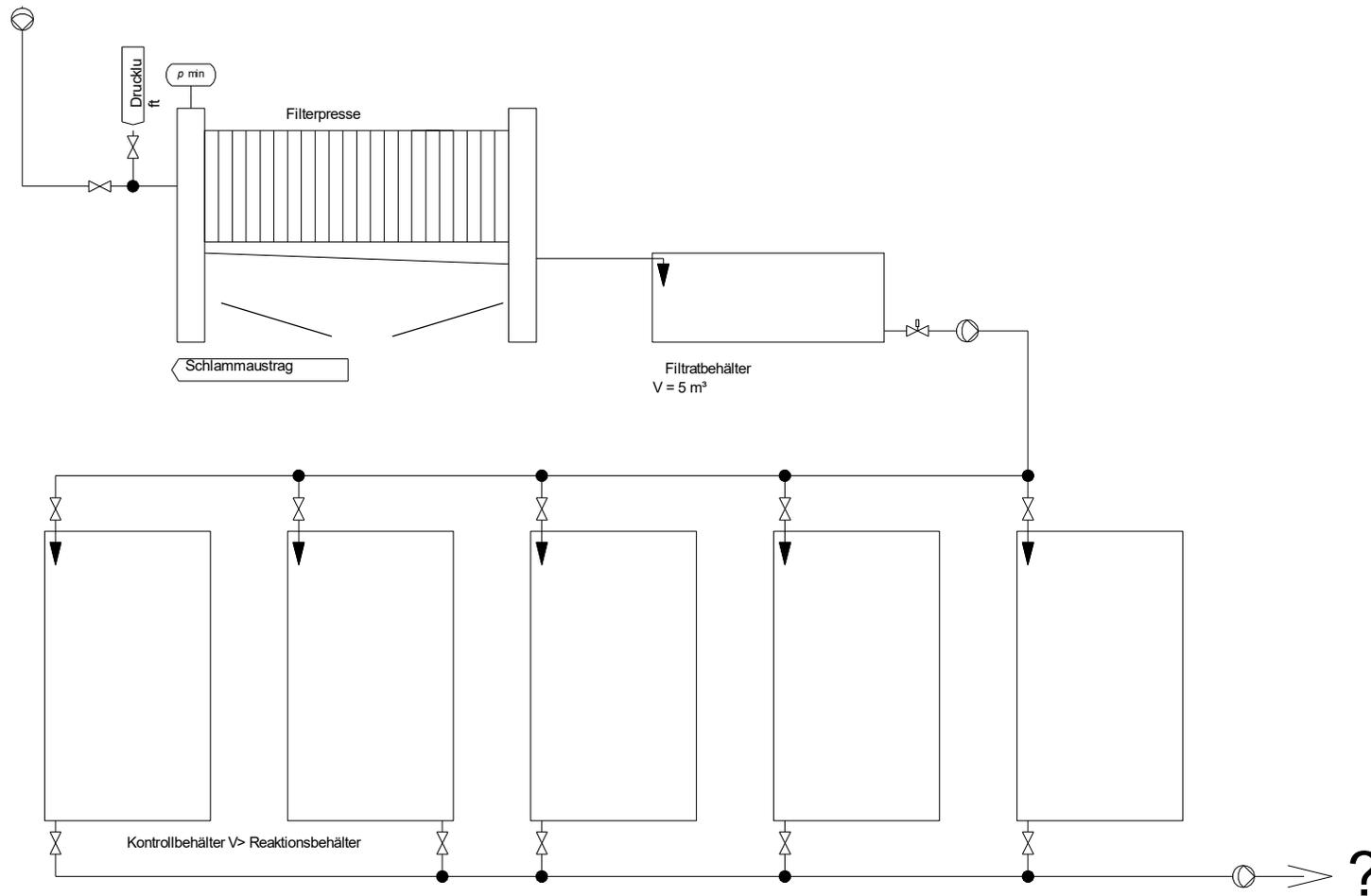
Verbleibende bzw. Rückspülkonzentrate sind häufig Eingänge in eine CPA

3.2 Chargenanlagen

Chargenanlagen gestatten eine reaktive Behandlung des Abfalls

- Oxidation (Peroxid, seltener Chlorbleichlauge, seltener Chromsäure und Permanganat)
- Reduktion (Bisulfit)
- Komplexspaltung (Organosulfide, ggf. anodische Oxidation, ggf. UV+Peroxid)
- Entladung / Fällung über saure Reaktionsstufe
- Nachfällung mittels Bentonit
- Nachfällung / Adsorption mittels Aktivkohle (Wasserkohle)
- Deutliche pH-Änderungen, Verbrauch / Verarbeitung von Säuren und Laugen
- Deutlich höhere Schlammmenge (40 – 60 % des Abfalleinganges)





Vortrag SBB
Verfahrensschema Chargenanlage

Verfahrensschritte:

3.2.1 Mechanische Trennung

Feststoffabtrennung im Anlageneingang über Siebe, Absetzbecken mit Räumern

3.2.2 Emulsionsspaltung

hier für Abfälle mit emulgierten Partikeln, geringere Ölanteile, Komplexe Mischungen z.T. mit LsM

Höhere Ölanteile → Kreislaufanlagen mit Ölrecycling

monotype Öle, KW → Kreislaufanlagen mit Recycling oder biologische Verwertung

typische Eingänge CPA zur Emulsionsspaltung:

Entfettungslösungen,

Luftwäscher mit KW und Partikelanteilen, Spülreste von Lackieranlagen,

wassergelöste Lacke von Schwallwänden, KTL-Lacke,

seltener Abscheiderinhalte

typische Verfahren der Emulsionsspaltung: anorganische, neutrale Spaltnittel

[Druckentspannung (Entspannungsflotation)]

Säurespaltung (weitreichende Auswirkung auf Anlagentechnik)

(benötigt werden starke, anorganische Säuren, kann auch oxidierendes Milieu sein)

Elektrolytische Spaltung (Korrosionsbeständigkeit Elektroden beachten),

3.2.3. Komplexbrechung

Ausgangspunkt Waschwässer mit leichten bis harten Komplexbildnern

(Glukonate, Citrate, NTA, EDTA)

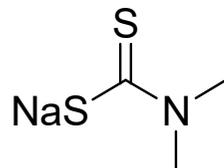
unbedingt auf Herkunftsbereiche achten; Mischung org. und anorg. Herkunft kritisch wenn Metallkomplexe vorhanden, dann

- a) Sulfid bei pH 4,5 – 5 (H₂S – Bildung !)
- b) Organosulfid bei pH 5 – 6 (DMDTC, TMT)
- c) Ozon mit H₂O₂ (ist in der CPA aufgrund hoher Trübung meist ineffektiv)

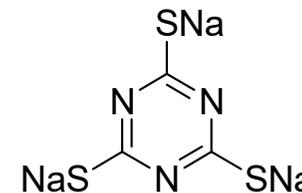
Aufgrund der extrem niedrigen Löslichkeit von 2- und 3-wertigen Metallsulfiden, ist die chemische Dekomplexierung und Metallbindung eine sichere Methode (Abwassergrenzwerte für Metalle werden ohne Anwendung von Ionenaustauscher sicher eingehalten)

Me 2+	P Kl	Me 1+	P Kl	Me 3+	P Kl
ZnS	21	Hg ₂ S	47	As ₂ S ₃	28
NiS	26	Cu ₂ S	49	Fe ₂ S ₃	85
CuS	40,2	Ag ₂ S	52	Co ₂ S ₃	124

aus Lit. 3



Na-Dimethyldithiocarbamat



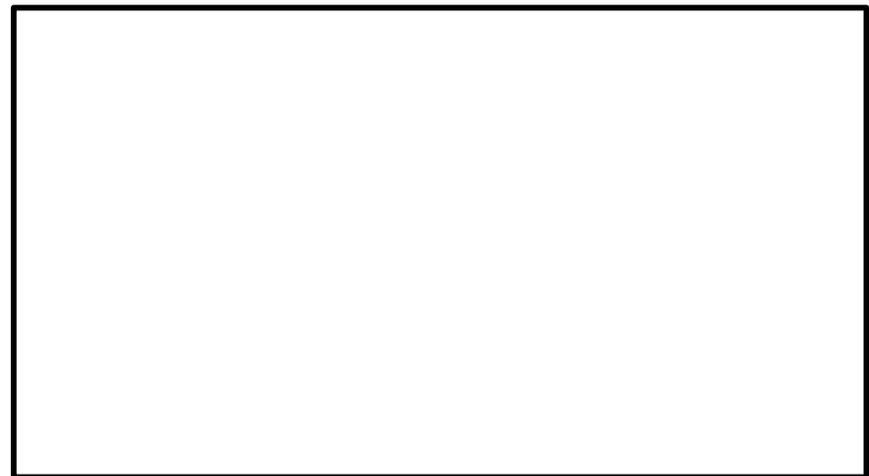
Trimercapto-s-triazin-trinatriumsalz

2.2.3. Komplexbrechung

Abb. 1 Abhängigkeit der Sulfidverbindungen vom pH-Wert



Abb. 2 Gleichgewicht der Metallsulfidfällung als Funktion des pH-Wertes



aus Lit. 2

3.2.4 Oxidation

Oxidationsmittel	Anwendung	Bemerkungen
Natriumhypochlorid	Nitrit, Cyanid	Führt bei Organik zu AOX-Gehalten sicherer als Peroxide
Wasserstoffperoxid	Nitrit, Cyanid, Nitrose Gase	Neigt zu spontanen Reaktionen in Anwesenheit von Metallen (Ag!) Bei Ag u. Au keine 100 %ige Oxidation Positiv: keine Aufsalzungen
Peroxomonosulfat (Caroat)	Nitrit, Cyanid	Keine spontane Reaktion Preis !
Wasserstoffperoxid + UV	Nitrit, Cyanid Wirkt auch auf Organika	Hat sich als allgemeine Vorbehandlung bewährt (z.T. eine Spaltung)
Ozon, z.T. in Kombination mit Peroxid	auch harte Komplexe	Preis, komplizierte Anlagentechnik
Luftsauerstoff, Sauerstoff	Allgemeine Oxidation, z.B. auch Fe 2+ auf 3+	bei biologischen Klärungen, Erhöhung der Sauerstoffaufnahme
Chromsäure	Allgemeine Oxidation, gute CSB Verringerung	„Auslaufmodell“
Permanganat	Allgemeine Oxidation, gute CSB Verringerung	Hat durch Verwendungsbegrenzung der Chromsäure an Bedeutung gewonnen

- Allgemeines Problem der nicht definierten Reaktionsprodukte bei Organika (z.B. bei Diclofenac stabiler als das Ausgangsprodukt)
- Eine unkontrollierte Peroxidreaktion führt bei Abwasser immer zu einer (mind.) Volumenverdoppelung
- Kein Angriff auf „Persistente“ Stoffe

3.2.5 Reduktion

Reduktionsmittel	Anwendung	Bemerkungen
Natriumbisulfit	Chromate	Nur unter pH 2,5 vollständig
Natriumdithionit	Chromate	Wirkt auch im Neutralbereich Jedoch \approx 5x teurer

3.2.6 Fällung / Neutralisation

Fällungsmittel	Anwendung	Bemerkungen
Eisen (II) / (III)-Lsg.	universal	muss unter pH 3,5 gefahren werden, Chlorid oder Sulfat
Al (III) – chlorid-Lsg.	universal	Wirkt ab pH 6; voluminöse Flocke; Leichte Flocke; Chlorid
Bentonitprodukte	spezifisch	gutes Adsorptionsverhalten ggüber Organika Keine Aufsalzung
Phosphorsäureprodukte	universal	Nicht mehr üblich aufgrund der Phosphatanreicherung
Kalkmilch Mischfällung	universal	Bessere Schlammkonditionierung; Jedoch Anlagenprobleme bei jeder Druckänderung
Aktivkohle / Wasserkohle (Adsorption)	unspezifisch	Wirkt auf alle Organika (wird meist bei AOX- Problematik eingesetzt); Verändert Schlammparameter!

- Fällung und Flockung muss immer im Zusammenhang mit der nachfolgenden Trennung gesehen werden
- Eisenfällung führt immer zu Luftoxidation bis zu Fe (III) Hydroxiden; Korrosionspotenzial insbesondere zusammen mit Chloriden berücksichtigen

4. Indirekteinleitung

- Vorgaben durch AbwV
- Wichtig die lokale Satzung des AWZV
- Kritisch sind die vom Klärwerk z.T. behandelbaren Parameter:
N_(ges), N_(org.), Ammonium, Cl (?), SO₄, PO₄, CSB, BSB₅,

Des weiteren zukünftige Grenzparameter beachten:

- Schwer abbaubare Organika,
- Persistente Stoffe,
- Biologische Wirkstoffe,

Schlammverbringung des Klärwerkes ist entscheidend

Schwer fassbar:

- Biologische Behandelbarkeit des Abwassers
- Störung der Stickstoffelimination, (Zahn-Wellens-Test ist für CPA aus Zeitgründen nicht praktikabel)
- Einschätzung der Abbaubarkeit der Stickstoffverbindungen (Verhältnis N_{ges} / N_{org} wird kritisch gesehen)
- Mögliche Chloridfracht ist abhängig von der Vorflut (weitere Nutzung stromabwärts, Lage zu K+S Betrieben)

Alternativen zur Indirekteinleitung:

- Verdampfung, Dünnschichtverdampfung, Unterdruckverdampfung, Verdunstung,
- Nutzung als Brauchwasser (Versatzindustrie)
- Mehrfachnutzung in der CPA

Behandelbare Parameter:

Fluoride: gut mit Ca (Kalkmilch) fällbar,

(Ammoniumbifluorid, Fluorwasserstoff, Fluorborsäure, Kieselfluorwasserstoff, Hexafluorkieselsäure)

Löslichkeit des CaF_2 wird durch Alkalien erhöht; Fe^{3+} erniedrigt die Löslichkeit der Fluoride; Schlammentwicklung beachten!

Sulfate: gut mit Ca (Kalkmilch) fällbar,

Löslichkeit erhöht sich bei „Anionenmischungen“ (Normalfall) – Frage nach der Kanalsituation

Phosphate: gut mit Fe (III) fällbar,

Bildung von schwerlöslichem Eisenphosphat

Schwermetalle:

Gut mit Natronlauge /Kalkmilch als Hydroxid fällbar,

Zusätzlich mit Na_2S behandelbar und ggf. mit Organosulfid nachfällbar

(In einer Chargen-CPA ist ein Ionenaustauscher überflüssig – Labor mit DIN Technik vorausgesetzt)

Säuren (auch organische) / Laugen: immer neutralisierbar

Jedoch: Industrielaugen meist kritisch (Komplexbildner), gemischte Säuren zeigen häufig AOX, Säuren können persistente Stoffe enthalten,

(Beispiele: Beizen Feuerverzinker, Edelstahlbeizen, Extremsäuren „Melange“)

Durchläufer:

Chlorid: kann ein Problem bei der Direkteinleitung werden

z.T. Sulfat: gut mit Ca (Kalkmilch) fällbar, Löslichkeit erhöht sich bei „Anionenmischungen“ (Normalfall)
– Frage nach der Kanalsituation

Nitrat: lässt sich nur biologisch behandeln (Salpetersäuren)

z.T. CSB: eine Reduzierung um 50 % ist normal; ab 80 % muss Aktivkohle oder Bentonit eingesetzt werden (mit Chromsäure sind auch Verringerungen bis 80 % möglich)
bei Verdampfern bis über 95% möglich

Parameter vor Vermischung für Indirekteinleitung

Parameter	27. (2004)	27. (Entw. 2022)	Rumänien (2005)
AOX [mg/l]	1,0	1,0	
As [mg/l]	0,1	0,05 – 0,1	0,2
Pb [mg/l]	0,5	0,1 – 0,5	0,5
Cd [mg/l]	0,2	0,05 – 0,2	0,3
Cr [mg/l]	0,5	0,15 – 0,5	1,5
Cu [mg/l]	0,5	0,5	0,2
Ni [mg/l]	1,0	0,5 – 1,0	1,0
Hg [mg/l]	0,05	0,005 – 0,05	0,05
Zn [mg/l]	2,0	1,0 – 2,0	1,0
			(Cu+Cr+Ni+Mn < 5,0)
KW [mg/l]	20,0	10 - 20	

5. Schlammverbringung

Schlammausgang fast immer unter ASN 19 02 05* - „Schlämme ..., die gefährliche Stoffe enthalten“

- Summe Metalle
- Organika
- Restfeuchte

Zunehmend problematisch für den Abfallausgang:

- Kombination von organischen und anorganischen Komponenten
- Mitverbrennung – alle Schwermetalle (insbesondere Zn), Chlorid
- SAV – leichtflüchtige Metalle + Chlorid
- Bergversatz – Metalle (insbesondere Nickel) + alle Organika (auch Aktivkohle)
- Deponierung – Organika (auch Aktivkohle)

- 6. Diskussionspunkte
- Der Wille zu einem einheitlichem Ansatz in der Umweltpolitik ließ sich bisher nur zum Teil durchsetzen (Versuch UGB)
- Die Überlegung, CPA-Anlagen zugunsten der SAV zu begrenzen verlagert das Schadstoffproblem in einen anderen Bereich
- Integrierter Umweltschutz in der Produktion führt zu weniger, jedoch konzentrierteren Abfallströmen
- Die gesamten Verwendungsbeschränkungen führen (unserer Meinung nach) zu ökologisch nicht immer belastbaren Lösungen:
 - AltautoVO: Chromatierung auf Zn → Zn/Ni mit Passivierung
 - RoHS: Pb → Bi
 - REACH: Co(2+) Verbot wurde stillschweigend wieder „einkassiert“
 - Cr(6+) Beschränkung wird seit nunmehr 14 Jahren „vorangebracht“
- Persistente Stoffe: PFOS → „H4PFOS“
- Hier sollte nach einer Umsetzungszeit eine jeweilige Ökobilanz gefordert werden

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit und freue mich auf Ihre Fragen bzw. auf die gemeinsame Diskussion .

Literatur:

- 1) Die Abwasserfrage, Dr. M. Strell, Leipzig 1913, Reprint ATV 1988
- 2) Abwassertechnik in der Produktion (Band 2-4), Autorenkollektiv (Gräf, Hartinger, Lohnmeyer, Schwering), WEKA Verlag, 2000 - 2002
- 3) Lehrbuch der ... anorganischen Chemie, Jander, Blasius, 15. Auflage, S. Hirzel Verlag, Stuttgart Leipzig, 2002