

Kläranlage, biologischer Teil (Abwasserreinigungsanlage, ARA)

Peter Bützer

Inhalt

1	Abwasser?	1
2	Einleitung	2
3	Aufgabe	2
3.1	Substanzdaten.....	2
3.2	Daten für das Kläranlagemodell.....	3
3.3	Anlage	3
3.4	Prozessdaten	3
4	Simulation	4
4.1	Simulationsdiagramm (Typ 1, 2, 4)	4
4.2	Zeitdiagramme	5
4.3	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	6
4.4	Interpretation	8

1 Abwasser?

Das Abwasser ist ein Gemisch einer Vielzahl verschiedenster Inhaltsstoffe, bei welchem sich gelöste und feste Stoffe unterscheiden lassen. Die festen Stoffe lassen sich physikalisch (Sedimentation, Filtration) abtrennen, während die gelösten Stoffe chemisch oder biochemisch entfernt werden müssen. Das Rohabwasser enthält als wichtige Bestandteile organische Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Bei der Abwasserbehandlung bildet sich Schlamm (belebt oder unbelebt) sowie gereinigtes Restwasser. Bei den biologischen Prozessen wird organischer Kohlenstoff in Kohlendioxid umgewandelt, welcher in die Atmosphäre entweicht. Entsprechend dem Verfahren werden noch andere Gase wie molekularer Stickstoff (N_2) gebildet, der ungefährlich freigesetzt werden kann. Das Ziel der Abwasserreinigung ist es, gelöste und ungelöste Schmutzstoffe aus dem Wasser zu entfernen, oder in eine andere, weniger umweltschädliche Form zu bringen.



Abbildung 1: Belebungsbecken, Kläranlage Teufen AR

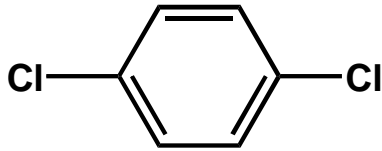
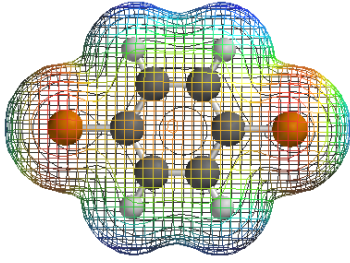
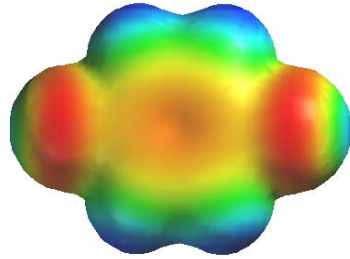
2 Einleitung

In der biologischen Stufe einer Kläranlage werden durch Mikroorganismen organische Verbindungen der Abwasserinhaltsstoffe abgebaut und anorganische Stoffe teilweise oxidiert. Hierzu wurden zahlreiche Verfahren entwickelt. Im Belebungsbecken werden durch Belüften des mit Bakterien-schlamm (Belebtschlamm) versetzten Abwassers die Abwasserinhaltsstoffe des frischen Abwassers mit dem Belebtschlammverfahren biologisch abgebaut.

3 Aufgabe

Mit einem Modell für den Abbau von 1,4-Dichlorbenzol soll das zeitliche Verhalten dieser Substanz in der biologischen Stufe simuliert werden.

1. Wie verhält sich 1,4-Dichlorbenzol im Belebtschlammbecken dieser Kläranlage? (Menge)
2. Welchen zeitlichen Verlauf zeigt die Konzentration von 1,4-Dichlorbenzol im geklärten Abwasser?

		
1,4-Dichlorbenzol	Stick and Ball-Modell mit der Elektronenhülle	Elektronendichten: Rot: grosse Dichte Blau: kleine Dichte

Chlorbenzole treten häufig im Grundwasser im Abstrom von punktuellen Schadstoffquellen auf. 1,4-Chlorbenzol gehört zu den am häufigsten im Grundwasser nachgewiesenen Verbindungen dieser Stoffgruppe und wird daher als Leitsubstanz verwendet¹. Verwendung: Mottenbekämpfungsmittel- und Luftverbesserungsmittel (Beckensteine)

3.1 Substanzdaten

- 1,4-Dichlorbenzol, p-Dichlorbenzol, C₆H₄Cl₂, CAS-Nr.: 106-46-7; MR 147,00 g/mol
- Siedepunkt: 174 °C; Schmelzpunkt: 53 °C
- Flammpunkt: 66 °C; Selbstentzündungstemperatur: 413 °C;
- Explosionsgrenzen, Vol% in Luft: 2.5 - 16
- Relative Dichte (Wasser = 1): 1.2
- Löslichkeit in Wasser: praktisch unlöslich
- MAK (ml/m³=ppm): 50; MAK (mg/m³): 300,

¹ Umweltbundesamt, Chlorbenzole,
<http://www.umweltbundesamt.de/altlast/web1/berichte/wrrl/anhang35.htm#Heading186>, 2006-07-29

- LD50, oral [mg/kg]: 3900 [Ratte, männl.]; 3800 [Ratte, weibl.]²
- Geruchsschwelle: 90 - 180 mg/m³
- WGK 2: wassergefährdend

3.2 Daten für das Kläranlagemodell³

Modellannahmen⁴:

Es werden für das biologische Becken der Kläranlage folgende Prozesse angenommen:

Cin: Konzentration 1,4-Dichlorbenzol im Zufluss (kg/m³)

Qin: Zufluss von 1,4-Dichlorbenzol (m³/s)

Kaw: Henry-Konstante (Ausgasung, dimensionslos)

Qa: Belüftungsfluss (m³ Luft pro Sekunde)

Ctot: Gesamtkonzentration an 1,4-Dichlorbenzol (kg/m³)

Vtot: Gesamtvolumen des Beckens = Vs + Vw (m³)

Vs: Volumen Schlamm (m³)

Vw: Volumen Wasser (m³)

$X = V_s/V_w$

Kd = 10^{logKow} (dimensionslos)

Cw: Konzentration von 1,4-Dichlorbenzol im Abfluss (kg/m³)

Lambda: Abbaukonstante (1/s)

- Zufluss des mit 1,4-Dichlorbenzol belasteten Abwassers → Qin*Cin (kg/s)
- Abbau (Stoffumwandlung) als Reaktion 1. Ordnung → lambda*Vtot*Ctot (kg/s)
- Sedimentation mit dem Klärschlamm → Qs*Cs (kg/s)
- Ausgasung über die Luft → Qa*Cw*Kaw (kg/s)
- Ausfluss mit dem geklärten Abwasser mit Restkonzentrationen von 1,4-Dichlorbenzol → Qin*Cw (kg/s)

3.3 Anlage

Der biologische Teil einer Kläranlage hat ein Volumen von 200 m³. Pro Sekunde fließt 0.1 m³ Abwasser zu und dieselbe Menge geklärtes Wasser ab. Es hat sich 10 kg Klärschlamm durch Bakterienwachstum pro m³ Wasser gebildet. Dieser setzt sich ab und wird entnommen. Das Becken wird mit 0.1 m³ Luft pro Sekunde belüftet.

3.4 Prozessdaten

logKow = 3.4, Kaw = 0.1, Abbaukonstante Lambda: 0.1 d⁻¹, Konzentration im Abwasserzufluss = 1 µg/l;

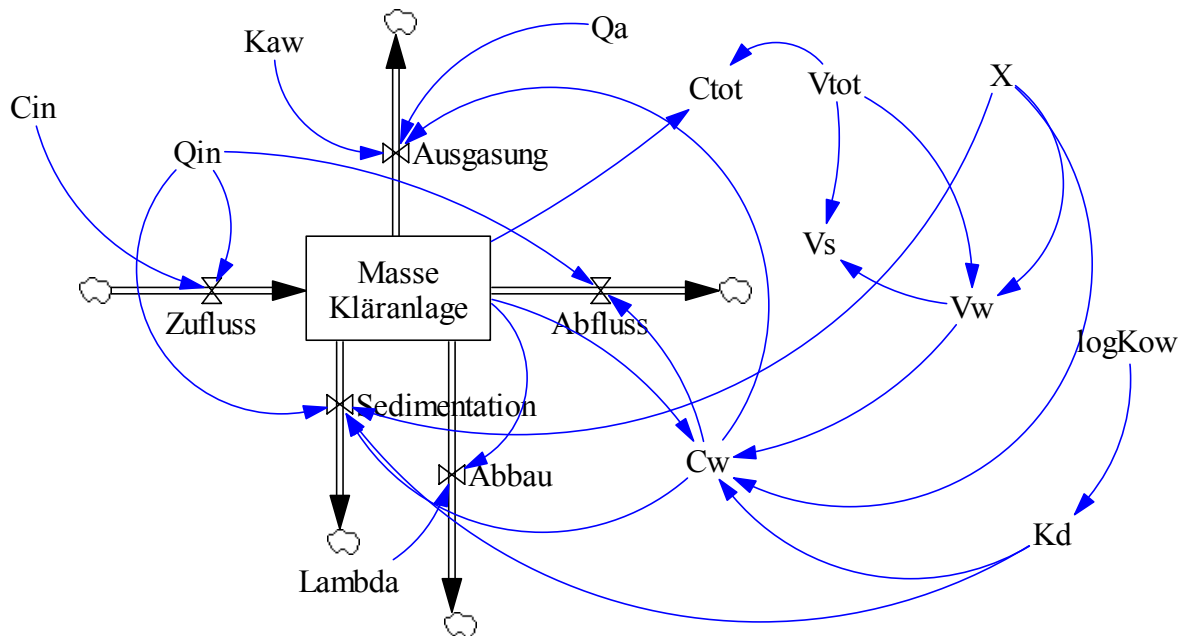
² Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1,4-Dichlorbenzol, http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/alfaweb/berichte/tba14-94/ksb0071.html#Heading5332_, 2006-07-29

³ Trapp Stefan, Matthias Michael, Dynamik von Schadstoffen - Umweltmodellierung mit ChemoS, Springer Verlag Berlin, 1996, S. 80-81

⁴ Kummert Robert, Stumm Werner, Gewässer als Ökosysteme, VdF-Verlag, Zürich, B.G. Teubner, Stuttgart, 1992, S.163

4 Simulation

4.1 Simulationsdiagramm⁵ (Typ 1, 2, 4)⁶



C_{in} : Konzentration 1,4-Dichlorbenzol im Zufluss (kg/m^3)

Q_{in} : Zufluss von 1,4-Dichlorbenzol (m^3/s)

K_{aw} : Henry-Konstante (Ausgasung, dimensionslos)

Q_a : Belüftungsfluss (m^3 Luft pro Sekunde)

C_{tot} : Gesamtkonzentration an 1,4-Dichlorbenzol (kg/m^3)

V_{tot} : Gesamtvolumen des Beckens = $V_s + V_w$ (m^3)

V_s : Volumen Schlamm (m^3)

V_w : Volumen Wasser (m^3)

$X = V_s/V_w$

$K_d = 10^{\log K_{ow}}$ (dimensionslos)

C_w : Konzentration von 1,4-Dichlorbenzol im Abfluss (kg/m^3)

Λ : Abbaukonstante ($1/\text{s}$)

⁵ Simulations-Software: Vensim[®] PLE, Ventana Systems, Inc., <http://www.vensim.com/>

⁶ Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, Systemdynamik in Chemie und Biochemie, verlag pestalozzianum, Zürich 2006, S. 37ff, 43ff, 57ff



Abbildung 2: Abwasseruntersuchungen (Bild von Altenrhein SG)

4.2 Zeitdiagramme

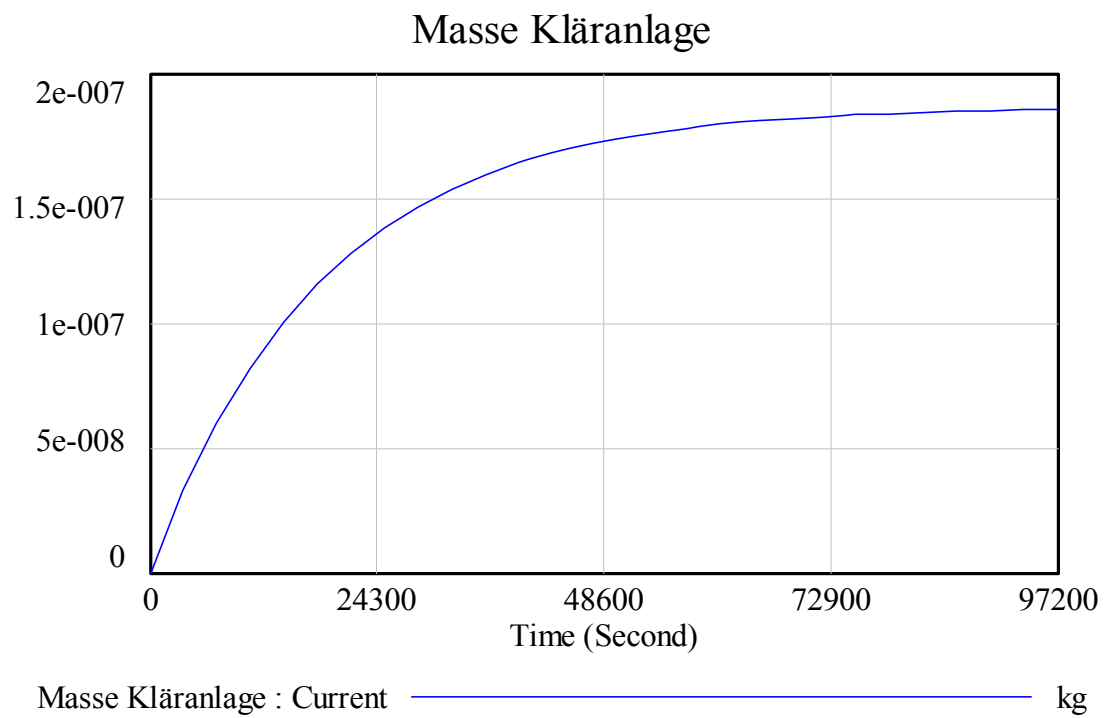


Abbildung 3: Masse im Klärbecken vorhandenen von 1,4-Dichlorbenzol in kg

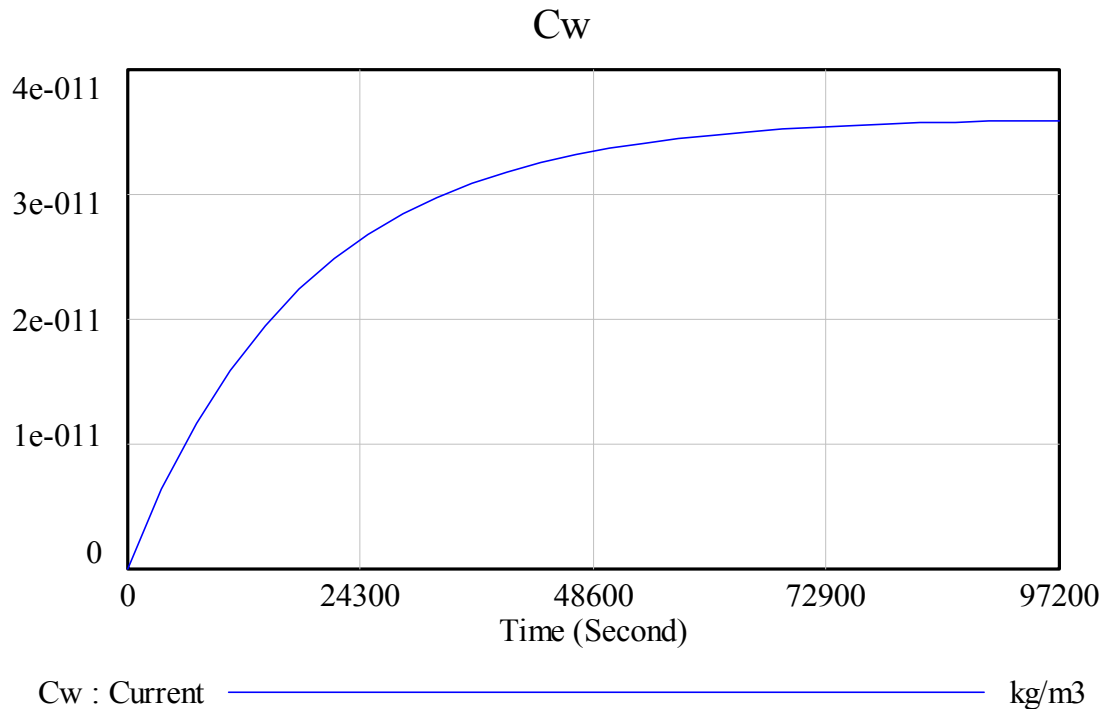


Abbildung 4: Konzentration von 1,4-Dichlorbenzol im geklärten Abwasser

4.3 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) $\text{Abbau} = \text{Lambda} * \text{Masse Kläranlage}$
 Units: kg/Second [0,?]
 Abbau des Schadstoffs
- (02) $\text{Abfluss} = \text{Qin} * C_w$
 Units: kg/Second [0,?]
 Abfluss aus der Kläranlage (Annahme: Zufluss = Abfluss)
- (03) $\text{Ausgasung} = \text{Qa} * C_w * K_{aw}$
 Units: kg/Second [0,?]
 Ausgasung des Schadstoffs mit der Belüftung
- (04) $C_{in} = 1e-009$
 Units: kg/m³ [0,?]
 Konzentration an abbaubarem Schadstoff
- (05) $C_{tot} = \text{Masse Kläranlage} / V_{tot}$
 Units: kg/m³ [0,?]
 Totale Konzentration der Schadstoffe in der Kläranlage
- (06) $C_w = \text{Masse Kläranlage} / (V_w * (1 + X * K_d))$
 Units: kg/m³ [0,?]
 Konzentration der gelösten Schadstoffe im Wasser
- (07) FINAL TIME = 100000
 Units: Second
 The final time for the simulation.
- (08) INITIAL TIME = 0
 Units: Second
 The initial time for the simulation.
- (09) $K_{aw} = 0.1$

- Units: Dmnl [0,100]
Henry-Konstante
- (10) $K_d = 10^{(\log K_{ow})}$
Units: Dmnl [0,?]
- (11) $\lambda = 1.157e-006$
Units: 1/Second [0,0.0004]
Abbaukonstante
- (12) $\log K_{ow} = 3.4$
Units: Dmnl [-10,15]
log Verteilungskoeffizient Konzentration Octanol/Wasser
- (13) Masse Kläranlage= INTEG (+Zufluss-Abbau-Abfluss-Ausgasung-Sedimentation, 0)
Units: kg [0,?]
Toilettenzusatzstoff Dichlorbenzol: $\log K_{ow} = 3.4$; $K_{aw} = 0.1$;
 $\lambda = 0.1 \text{ d}^{-1} = 1.157e-6 \text{ s}^{-1}$; $C_{in} = 1 \text{ mikrog/l} = 1 \text{ mg/m}^3 = 1e-6 \text{ kg/m}^3$,
Klärbecken: $10 \times 10 \times 2 \text{ m}$, Belüftung $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, Klärschlamm 10 kg/m^3
- (14) $Q_a = 0.1$
Units: m^3/Second [0,?]
Entspricht der Belüftung des Beckens der Kläranlage
- (15) $Q_{in} = 0.01$
Units: m^3/Second [0,1]
Zufluss
- (16) SAVEPER = 3600
Units: Second [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (17) Sedimentation= $X \cdot Q_{in} \cdot K_d \cdot C_w$
Units: kg/Second [0,?]
Sedimentation des Schadstoffs mit dem Klärschlamm
- (18) TIME STEP = 10
Units: Second [0,?]
The time step for the simulation.
- (19) $V_s = V_{tot} - V_w$
Units: m^3 [0,?]
Schlammvolumen
- (20) $V_{tot} = 200$
Units: m^3 [0,?]
Totales Volumen der Kläranlage (Schlammvolumen+Wasservolumen)
- (21) $V_w = V_{tot} / (1 + X)$
Units: m^3 [0,?]
Volumen der gelösten Stoffe im Wasser (Wasservolumen)
- (22) $X = 0.01$
Units: Dmnl [0,?]
 $X = V_s / V_w = 10 / 1000$
- (23) Zufluss= $Q_{in} \cdot C_{in}$
Units: kg/Second

4.4 Interpretation

Im biologischen Teil der Kläranlage stellt sich ein Gleichgewicht ein. Die Beeinflussung dieses Gleichgewichts durch die verschiedenen Parameter lässt sich mit dem Modell gut erkennen.

Der berechnete Wirkungsgrad entspricht ungefähr den gemessenen Werten⁷.

⁷ Kummert Robert, Stumm Werner, Gewässer als Ökosysteme, Verlag der Fachvereine, Zürich, 1988, 274-275