

# **Kinetiek van aërobe afvalwaterzuivering**

Boudewijn Van De Steene



## Snelheidsvergelijkingen van het homogene type

$pA + qB \Rightarrow \text{product}$

$$r = k C_A^m C_B^n$$

In aërobe waterzuivering

Substraat + biomassa  $\Rightarrow \text{energie} \Rightarrow \text{biomassa}$

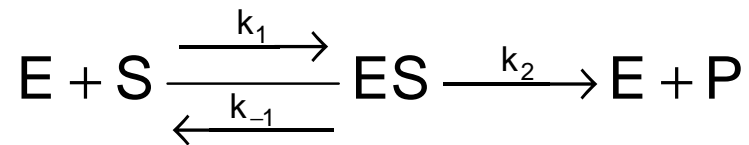
$$r_s = k S^m X^n$$

Als X constant blijft:

$$r_s = (kX^n)S$$

pseudo eerste orde kinetiek

## Snelheidsvergelijking van het enzymatische type



E = enzym

$$r = k_2 (E_{\text{tot}}) \frac{(S)}{K_s + (S)}$$

$$K_s = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1}$$

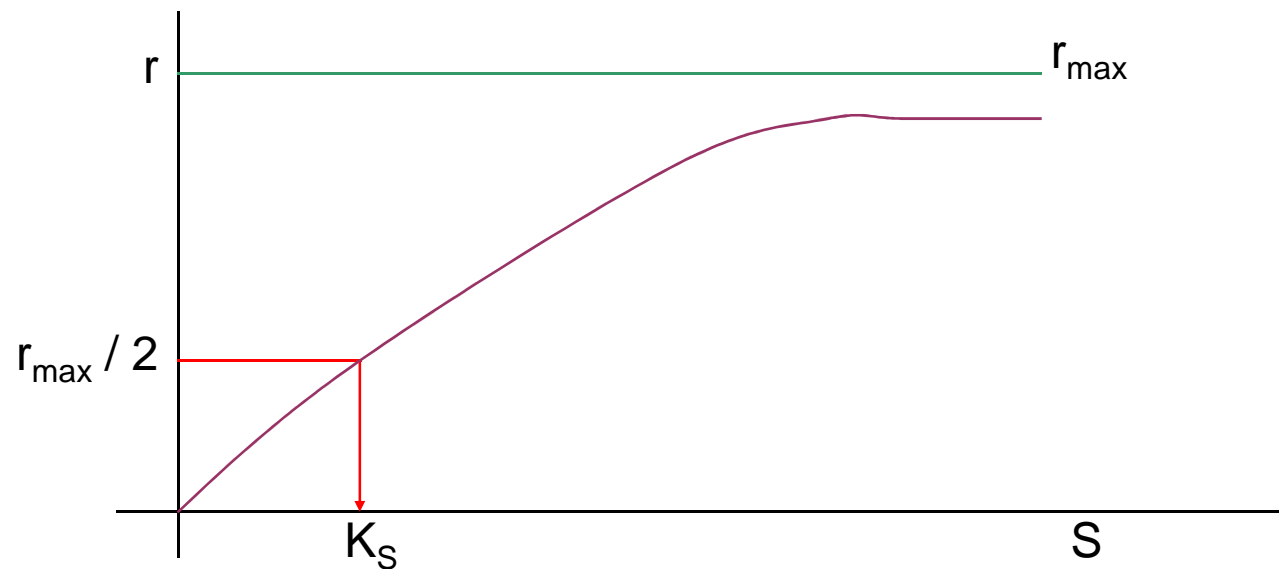
$$r = r_{\text{max}} \cdot \frac{S}{K_s + S}$$

Michaelis – Menten vergelijking met 2 onbekenden  $r_{\text{max}}$ ,  $K_s$

of:

$$\frac{S}{r} = \frac{K_s}{r_{\max}} + \frac{1}{r_{\max}} \cdot S$$

of nog:



**$K_s$  is de substraatconcentratie  
waarbij de snelheid de helft is van de max. snelheid**

**Voor kleine substraatconcentraties:**

$$r = \frac{r_{\max}}{K_s} \cdot S$$

eerste orde

**Voor grote substraatconcentraties:**

$$r = r_{\max}$$

nulde orde

**Voor tussenliggende concentraties:**

partiële orde

# Groei van micro organismen

**Netto groei = bruto groei -**

**Massa verloren door endogene  
respiratie en afsterving**

$$r_{x,n} = r_{x,b} - r_{x,e}$$

met  $r_{x,b} = \mu X$

$\mu$  = specifieke groeisnelheid van de  
biomassa

$$r_{x,e} = k_D X$$

$k_D$  = specifieke afstervingsnelheid

$$r_s = qX$$

$q$  = specifieke substraatafbraaksnelheid

**Waaruit:**  $r_{x,b} = \frac{dX}{dt} = \mu X \Rightarrow X = X_0 e^{\mu t}$

## Monod vergelijkingen

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S}$$

$$q = q_m \frac{S}{K_s + S}$$

Zodat een relatie kan gemaakt worden met  $r_{\max}$

$$r_s = \frac{r_{\max} \cdot S}{K_s + S} = \frac{q_m X}{K_s + S} \cdot S$$

Tevens: definitie celopbrengstfactor  $Y$

$$Y = \frac{r_{x,b}}{r_s} = \frac{\mu_m}{q_m}$$

## Finaal worden de vergelijkingen

$$r_s = \frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{S \cdot X}{K_s + S}$$

of substraatverbruik

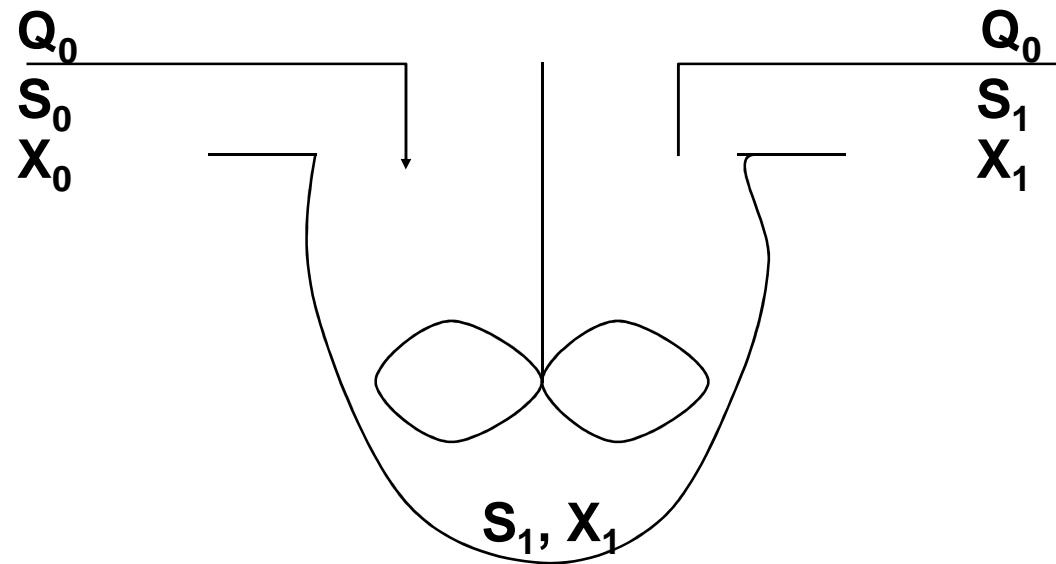
$$r_{x,n} = \mu_m \cdot \frac{S \cdot X}{K_s + S} - k_D X$$

of netto slibproductie



# Reactorvergelijkingen

## Continue reactor met volkomen vermenging (CSTR)



### 1. Continuïteitsvergelijking op het substraat / biomassa

$$Q_0 S_0 - Q_0 S_1 = r_s V$$

$$Q_0 X_1 - Q_0 X_0 = r_x V$$

## 2. Kinetische vergelijkingen

$$S_1 = S_0 - r_s \left( \frac{V}{Q_0} \right)$$

- Pseudo eerste orde  $r_s = k'S = kX^n S$

waaruit: 
$$S_1 = S_0 - kX^n S_1 \left( \frac{V}{Q_0} \right)$$

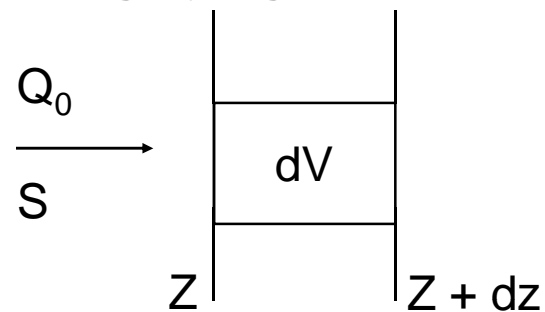
of finaal 
$$S_1 = \frac{S_0}{1 + kX^n \left( \frac{V}{Q_0} \right)}$$

- Enzymatische kinetiek 
$$r_s = \frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{SX}{K_S + S}$$

$$S_1 = S_0 - \frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{S_1 X_1}{K_S + S_1} \left( \frac{V}{Q_0} \right)$$

## Continue reactor met propstrooming

### 1. Continuïteitsvergelijking op het substraat / biomassa



$$Q_0 S - (Q_0 S + d(Q_0 S)) = r_s dV$$

$$\text{of} \quad - \frac{dS}{d\left(\frac{V}{Q_0}\right)} = r_s$$

$$\text{of} \quad - \frac{dS}{d\tau} = r_s \quad \text{met} \quad \tau = \frac{V}{Q_0}$$

$$\text{of} \quad \frac{dX}{d\tau} = r_x$$

## 2. Kinetische vergelijkingen

Pseudo eerste orde:  $r_s = k's = k X^n S$

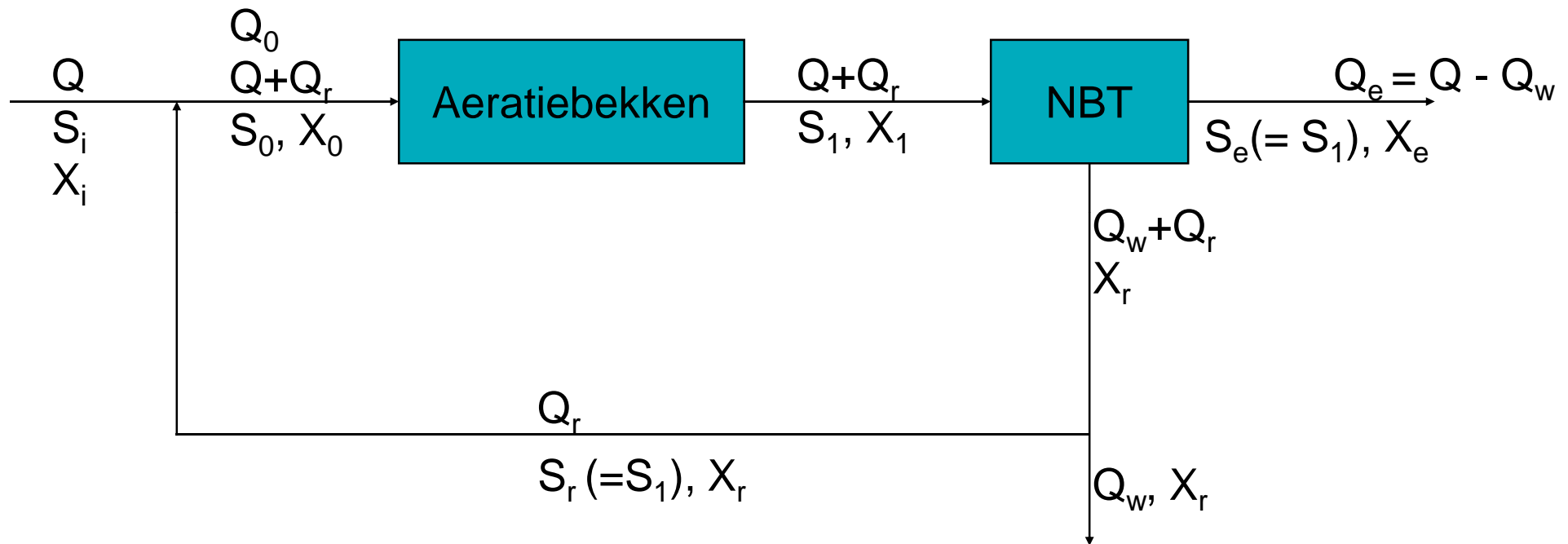
$$+ \frac{dS}{d\tau} = -(kX^n)S \quad \text{of} \quad S = S_0 e^{-kX^n \tau}$$

Enzymatische kinetiek

$$r_s = \frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{SX}{K_s + S}$$

$$\frac{dS}{d\tau} = -\frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{SX}{K_s + S}$$

# Modellering van de aerobe afvalwaterzuivering



## Balansen op het mengbekken

$$(Q + Q_r) S_0 = QS_i + Q_r \cdot S_1 \text{ waaruit } S_0 = \frac{S_i + RS_1}{1 + R}$$

$$\text{met } R = \frac{Q_r}{Q}$$

= recyclageverhouding

$$(Q + Q_r) X_0 = QX_i + Q_r \cdot X_r \text{ waaruit } X_0 = \frac{X_i + \beta R X_1}{1 + R}$$

met  $X_i \sim 0$  in influent

$$\text{met } \beta = \frac{X_r}{X_1}$$

= indikkingsfactor

## Balansen op NBT

$$S_e = S_1 = S_r$$

$$Q(1+R)X_1 = Q(1-W)X_e + Q(R+W)\beta X_1 \quad \text{met } W = \frac{Q_w}{Q} = \text{spuiverhouding}$$

$$\text{of } X_e = \frac{(1+R) - (R+W)\beta}{1-W} \cdot X_1 \quad (1)$$

## Pseudo eerste orde wet voor aeratie en een CSTR reactor

$$S_0 = \frac{S_i + RS_1}{1 + R}$$
$$S_1 = \frac{S_0}{1 + kX^n \left( \frac{V}{Q_0} \right)}$$

waaruit

$$S_1 = \frac{S_i}{1 + (1 + R) kX^n \left( \frac{V}{Q_0} \right)}$$

## Enzymatische kinetiek voor aeratie en een CSTR

$$Q_0 S_0 - Q_0 S_1 = r_s V \quad \text{met } Q_0 = Q(1 + R)$$

$$r_s = \frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{S_1 X_1}{K_s + S_1}$$

waaruit 
$$Q(1+R)(S_0 - S_1) = \frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{S_1 X_1}{K_s + S_1} V$$

of ook 
$$Q(1+R)(X_1 - X_0) = \left( \mu_m \frac{S_1 X_1}{K_s + S_1} - k_D X_1 \right) V$$

vermits 
$$S_0 = \frac{S_i + RS_1}{1+R} \text{ en } X_0 = \frac{\beta R}{1+R} \cdot X_1$$

volgt na eliminatie:



$$Q(S_i - S_1) = \frac{\mu_m}{Y} \cdot \frac{S_1 X_1}{K_s + S_1} V \quad (2)$$

$$Q(1 + (1 - \beta)R) = (\mu_m \frac{S_1}{K_s + S_1} - k_D) V \quad (3)$$

Biomassacontinuïteitsvergelijking is onafhankelijk van de biomassaconcentratie

Vergelijkingen (1), (2) en (3) bepalen volledig het zuiveringssysteem

vb. ontwerp

gekend:  $Q$ ,  $S_i$

opgelegd:  $X_e$ ,  $S_1$

vast te leggen:  $X_1$ ,  $R$ ,  $W$ ,  $V$  en  $\beta$

$\beta$  = meestal tussen 2 en 3

$X_1$  = in de praktijk tussen 2 en 4 kg / m<sup>3</sup>

## Enzymatische kinetiek voor aeratie en een plug flow reaktor

substraat:

$$-\frac{dS}{d\tau} = \frac{\mu_m}{Y} \frac{SX}{K_s + S} = r_s$$
$$\frac{dX}{d\tau} = \mu_m \frac{SX}{K_s + S} - k_D X = r_x$$

numerisch te integreren

# Pragmatisch ontwerpvergelijking

**Slibleeftijd** = SRT (solids retention time)  
 = hoeveelheid slib in aeratiebekken (kg)  
 netto slibproductie (kg / uur)

**Netto slibproductie: NSP** =  $YQ\Delta BZV - k_D XV$

bij volkomen vermenging  
 bekomen uit:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{x,n} = r_{x,b} - r_{x,e} \\ Y = \frac{r_{x,b}}{r_s} \\ S_0 - S_1 = r_s \frac{V}{Q_0} \end{array} \right.$$

of  $SRT = \frac{X \frac{V}{Q}}{Y\Delta B - k_D X \frac{V}{Q}}$

**Ruimtelijke belasting B = hoeveelheid substraat gevoed per m<sup>3</sup> aeratieruimte per dag**

$$B = \frac{QS_i}{V}$$

**waaruit slibbelasting B<sub>x</sub> =  $\frac{B}{X}$  (sludge loading)**

$$B_x = \frac{QS_i}{VX} = \frac{\text{kg BZV}}{\text{kg slib dag}}$$

**of** 
$$V = \frac{QS_i}{B_x X}$$

	<u>omloopreactor</u>	<u>actief slib</u>
<b>slibbelasting</b>	<b>0,05</b>	<b>0,1</b>
<b>slibgehalte</b>	<b>4</b>	<b>3</b>