

Energieeffizienz auf Kläranlagen



- 1. Energie – Was ist das?**
- 2. Messung des Stromverbrauches**
- 3. Gegenwärtige Situation**
- 4. Orientierungswerte**
- 5. Analysen**
- 6. Maßnahmen zur Senkung des Stromverbrauchs**



Energie = Arbeit = Wärmemenge [Joule]

Kinetische (Bewegungs-) Energie

Ist die Kraft, die notwendig ist um 1 kg in 1 s gleichförmig auf 1 m/s zu beschleunigen ($1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$)

Potentielle (Lage-) Energie

ist die beim Anheben einer Schokoladentafel (ca. 100 g) um 1 Meter in dieser Tafel gespeicherte Energie.

1 Joule = 1 Newton · Meter



Energie = Arbeit = Wärmemenge [Joule]

Elektrische Arbeit

Für die Dauer von einer Sekunde die Leistung von einem Watt aufzubringen (\approx Leistung des menschlichen Herzens)

1 Joule = 1 Watt · Sekunde = Volt · Ampere · Sekunde



Energie = Arbeit = Wärmemenge [Joule]

Wärmemenge

Ein Gramm Wasser unter normalem Luftdruck (1 atm) von 14,5 auf 15,5 °C zu erwärmen entspricht:

4,187 Joule = 1 Kalorie

1 m³ Wasser um 1 °C zu erwärmen = 1,163 kWh



Primärenergie - Erdgas



16 g/mol

64 g/mol

44 g/mol

22,4 l/mol = molares Volumen bei 0°C und 1 atm

O₂ = CSB !

$$\rightarrow 22,4 \text{ l CH}_4/\text{mol} / 64 \text{ g O}_2/\text{mol} = 0,35 \text{ l CH}_4/\text{g O}_2$$

$$\rightarrow 44 \text{ g CO}_2/\text{mol} / 64 \text{ g O}_2/\text{mol} = 0,69 \text{ g CO}_2/\text{g O}_2$$



Gesamtwirkungsgrad

1 t CSB	→	350 Nm ³ CH ₄	1,7 g CSB/g oTS
1 t oTS	→	595 Nm ³ CH ₄	0,7 g oTS/g TS
1 t TS	→	416 Nm ³ CH ₄	
1 Nm ³ CH ₄	→	2,85 kg CSB	
1 Nm ³ CH ₄	→	10 kWh	
1 kg CSB	→	3,5 kWh	120 g CSB/EW*d
1 EW/a	→	153 kWh/a	
1,0 kWh	→	0,20 kg CO ₂	0,69 g CO ₂ /g CSB



Gesamtwirkungsgrad

	1 kg CSB = 0,85 kg TS	Faulung	BHKW	Elektro- motor	Pumpe
Verluste		5%	65 %	20 %	40 %
Energieeinsatz	3,50 kW	3,33 kW	1,16 kW	0,93 kW	0,55 kW
Wirkungsgrad	100 %	95 %	33 %	26 %	16 %

6,2 kW ← — — — — — — — — — — 1,0 kW



1. Direkte Messung mit einem Drehstromzähler

Mit elektronischem Zähler auch die Leistung und $\cos \varphi$

2. Kurzzeitmessung der elektr. Leistungsaufnahme P_w

Mit einer Messzange. Der Stromverbrauch entspricht dann:

$$W = P_w \cdot t_B$$

$W = EV$: Elektrische Arbeit
bzw. Elektroenergieverbrauch

P_w : Wirkleistung

t_B : Betriebsstunden



3. Berechnung wenn die Stromstärke gemessen werden kann

$$W = P_w \cdot t_B = [U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi] \cdot t_B$$

W = EV: Elektr. Arbeit bzw. Elektroenergieverbrauch

P_w : Wirkleistung

t_B : Betriebsstunden

U: Spannung (üblicherweise 400 V)

I: Stromstärke in A

$\cos \varphi$: Leistungsfaktor zwischen 0,6 und 0,9
(auf Typenschild des Motors)



Relationen der Energieeinsparung

Bundesweit werden ca. 150 Mio. EW mit einem energetischen Einsatz von im Mittel 40 kWh/EW*a behandelt.

Das entspricht der Leistung eines 700 MW Kraftwerkes bzw. 1 – 1,5 % des Jahresstromverbrauches der Bundesrepublik

40 kWh entspricht dem Verbrauch von ca. 4 l Heizöl

Ein Einfamilienhaus verbraucht ca. 3.000 l Heizöl im Jahr.



Relationen der Energieeinsparung

Nach aktuellen Studien ist es möglich bei Erreichen von Zielwerten ca. 20% des Elektroenergieverbrauches aus Kläranlagen einzusparen.

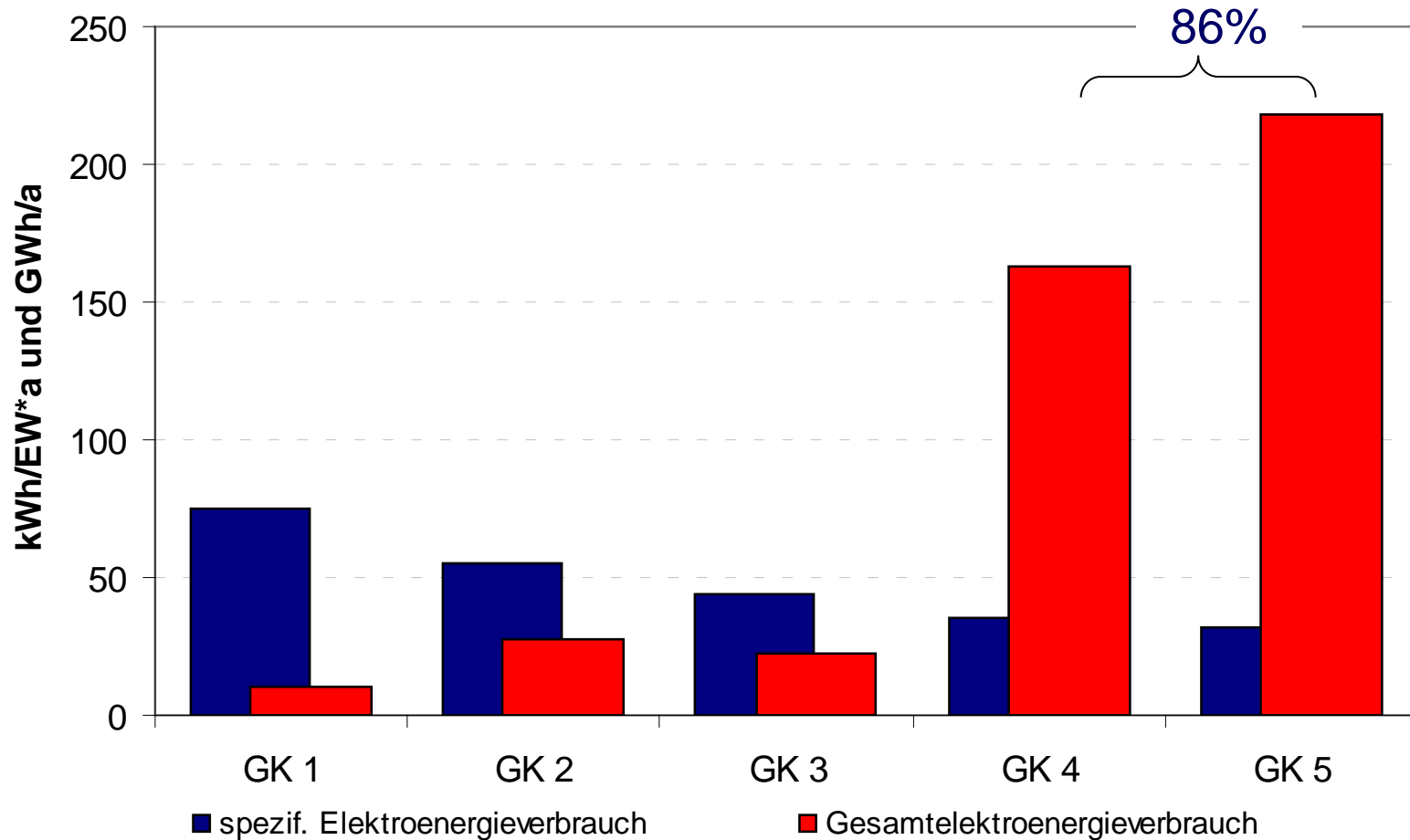
In Zahlen sind das für eine Gemeinde mit 50.000 EW:

$$40 \text{ kWh}/(\text{EW} \cdot \text{a}) * 50.000 \text{ EW} * 0,12 \text{ EUR/kWh} * 0,2 = 48.000 \text{ EUR/a}$$

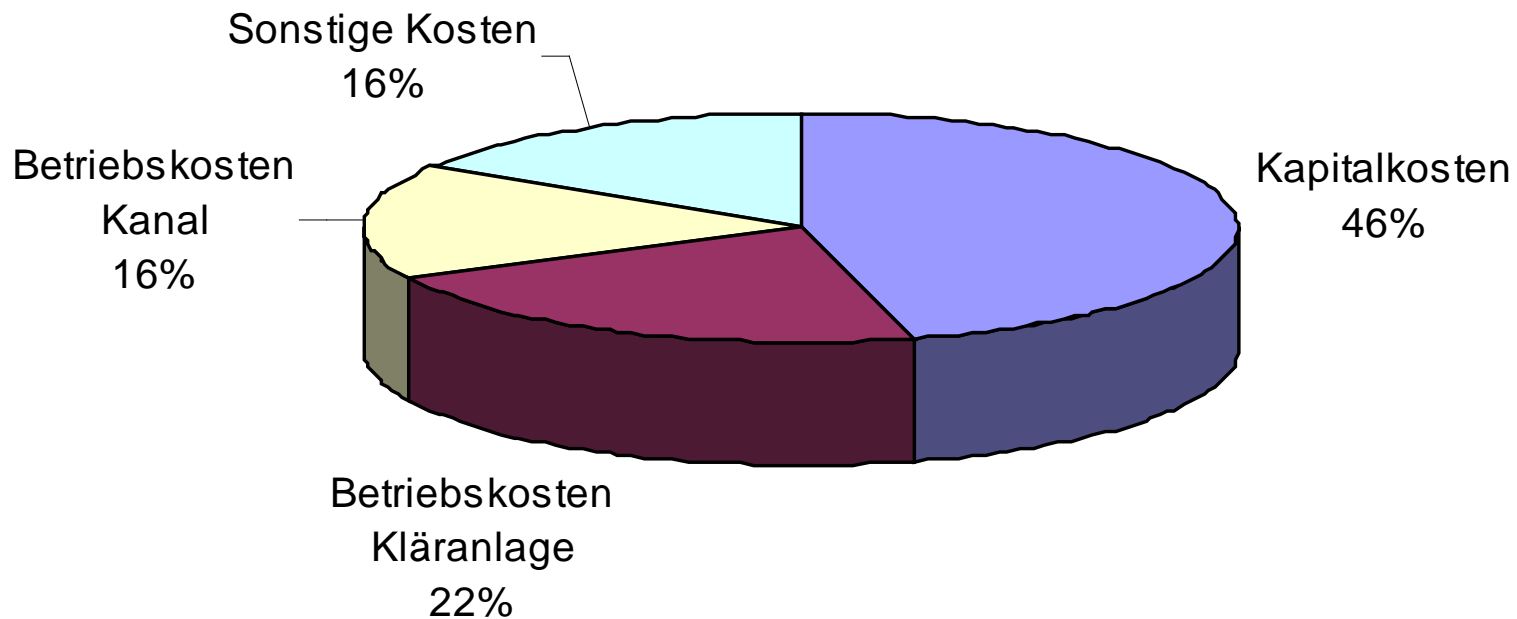
Dafür könnte Anlagentechnik im Wert von ca. 500.000 EUR angeschafft werden!



Spezifischer versus Gesamt - Elektroenergieverbrauch



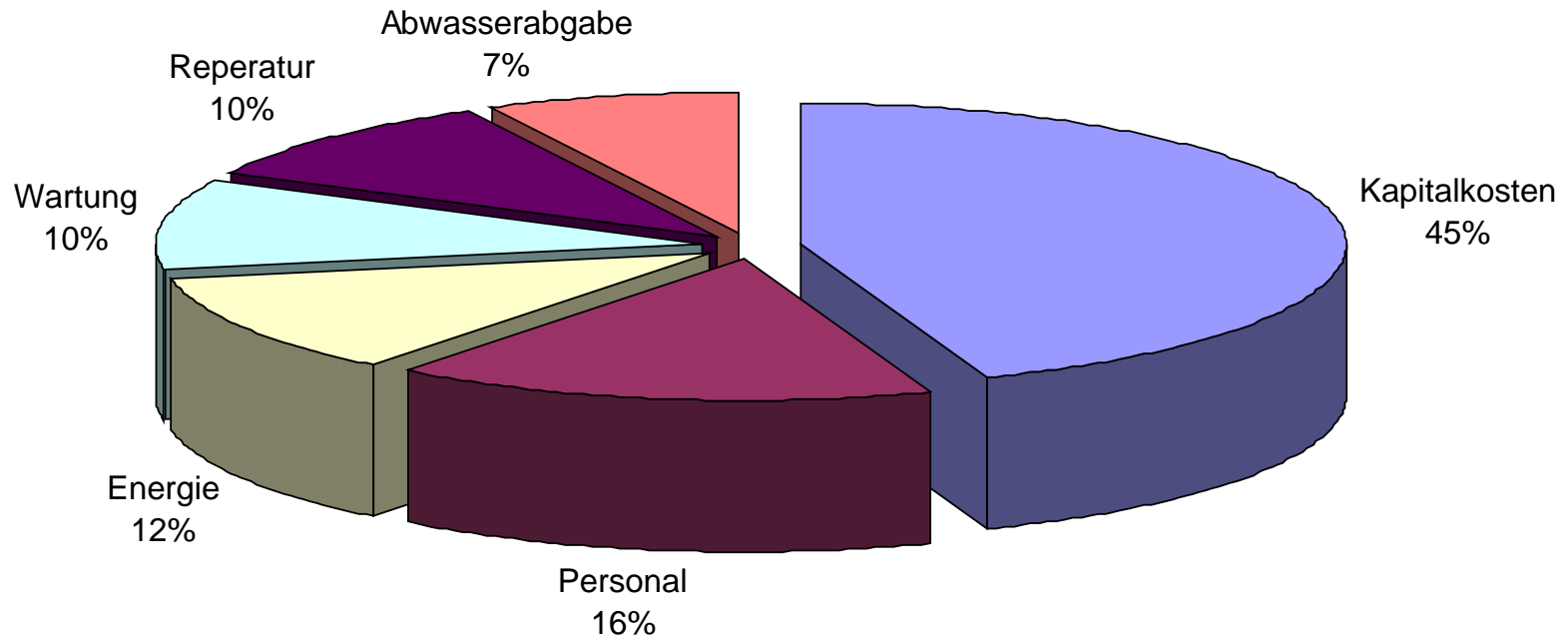
Kosten der Abwasserwirtschaft



Kläranlagen sind in der Regel die größten Stromverbraucher der Kommunen!



Kostenverteilung in einer Kläranlage



Spezifischer Stromverbrauch in kWh/EW*a

Zielwerte entsprechen dem Optimum, das jedoch nicht von jeder Kläranlage mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erreicht werden kann.

Toleranzwerte beschreiben den Stand der Energieeffizienz, der üblicherweise bei optimierter Betriebsweise erreicht werden kann.



Spezifischer Stromverbrauch in kWh/EW*a

Verfahren	GK1 < 1.000 EW	GK2 < 5.000 EW	GK3 < 10.000 EW	GK4 < 100.000 EW	GK5 > 100.000 EW
Belüftete Abwasserteiche	50 - 32	40 - 30	35 - 25	-	-
Rotations-tauchkörper	34 - 23	23 - 18	18 - 15	-	-
Tropfkörper	32 - 20	25 - 17	20 - 15	25 - 18	25 - 18
Belebung mit aerober Stabil.	70 - 38	45 - 28	38 - 23	34 - 20	-
Belebung mit Faulung	60 - 32	40 - 24	34 - 20	30 - 18	27 - 18

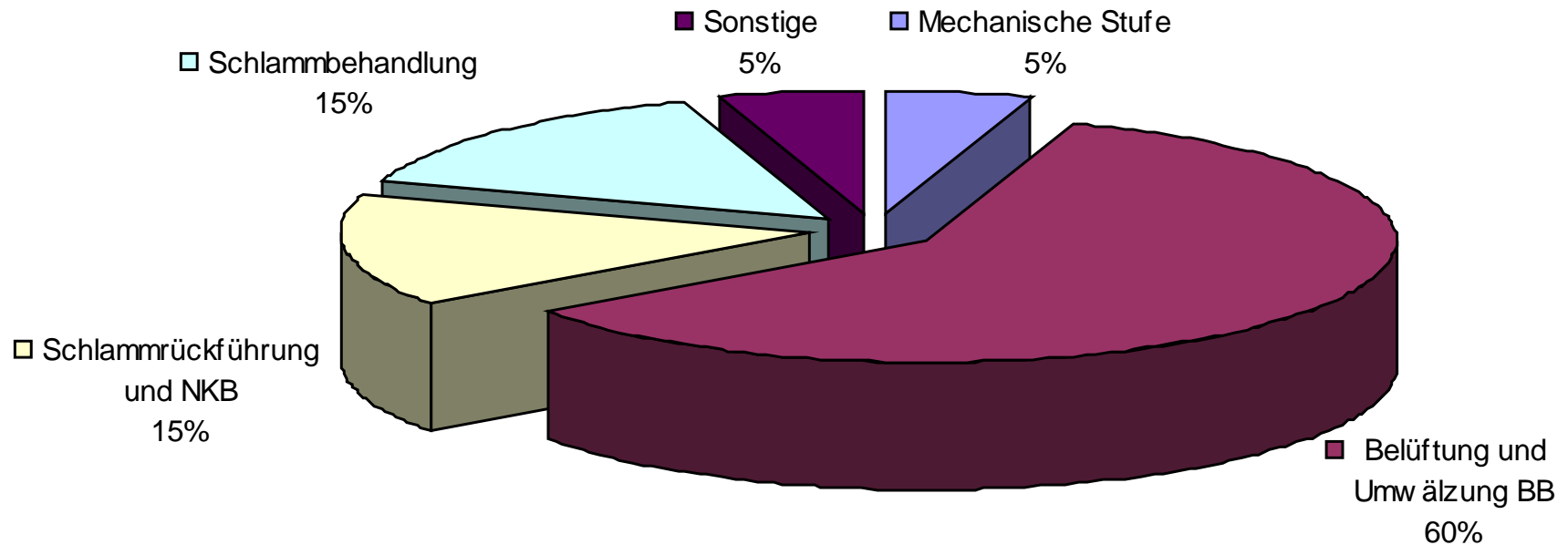
[Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg]

Toleranzwert
bzw. Richtwert

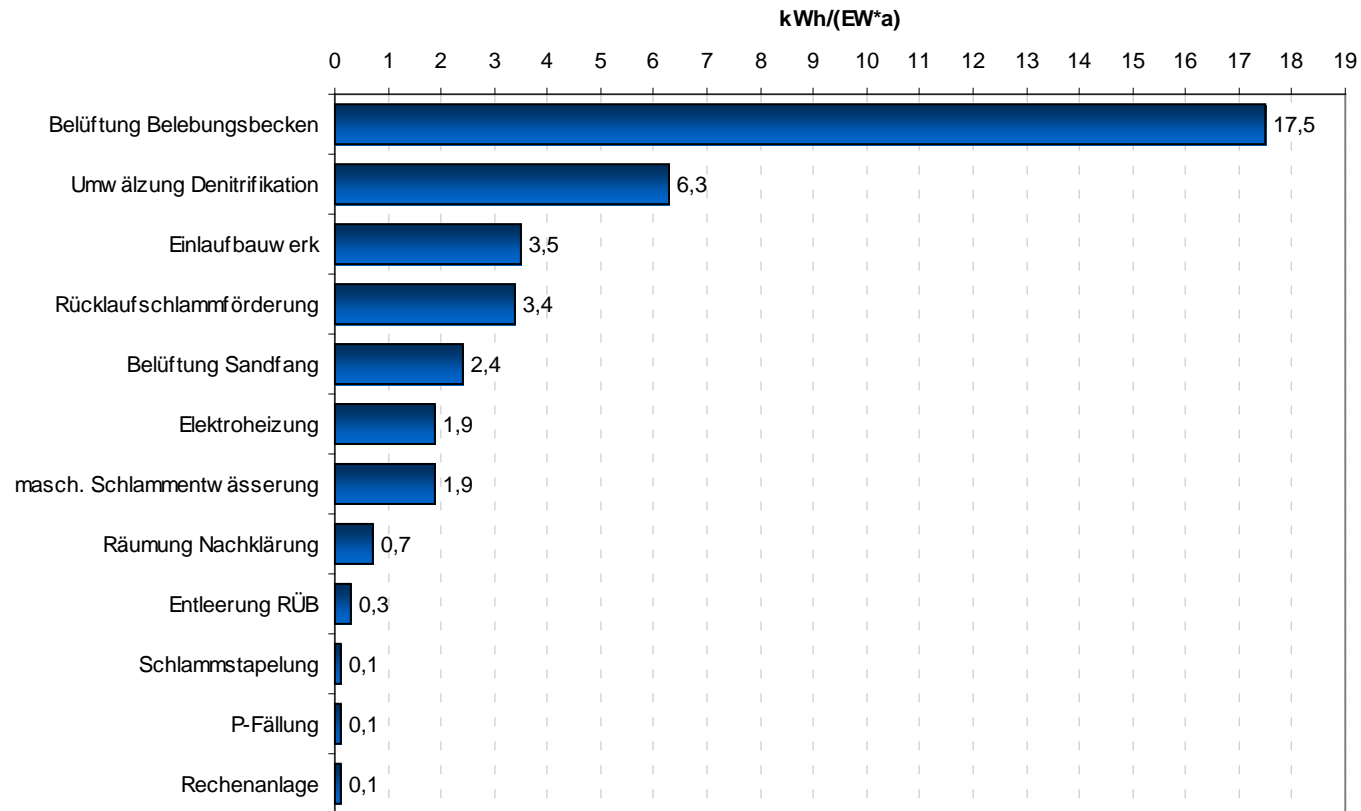
Zielwert bzw.
Idealwert



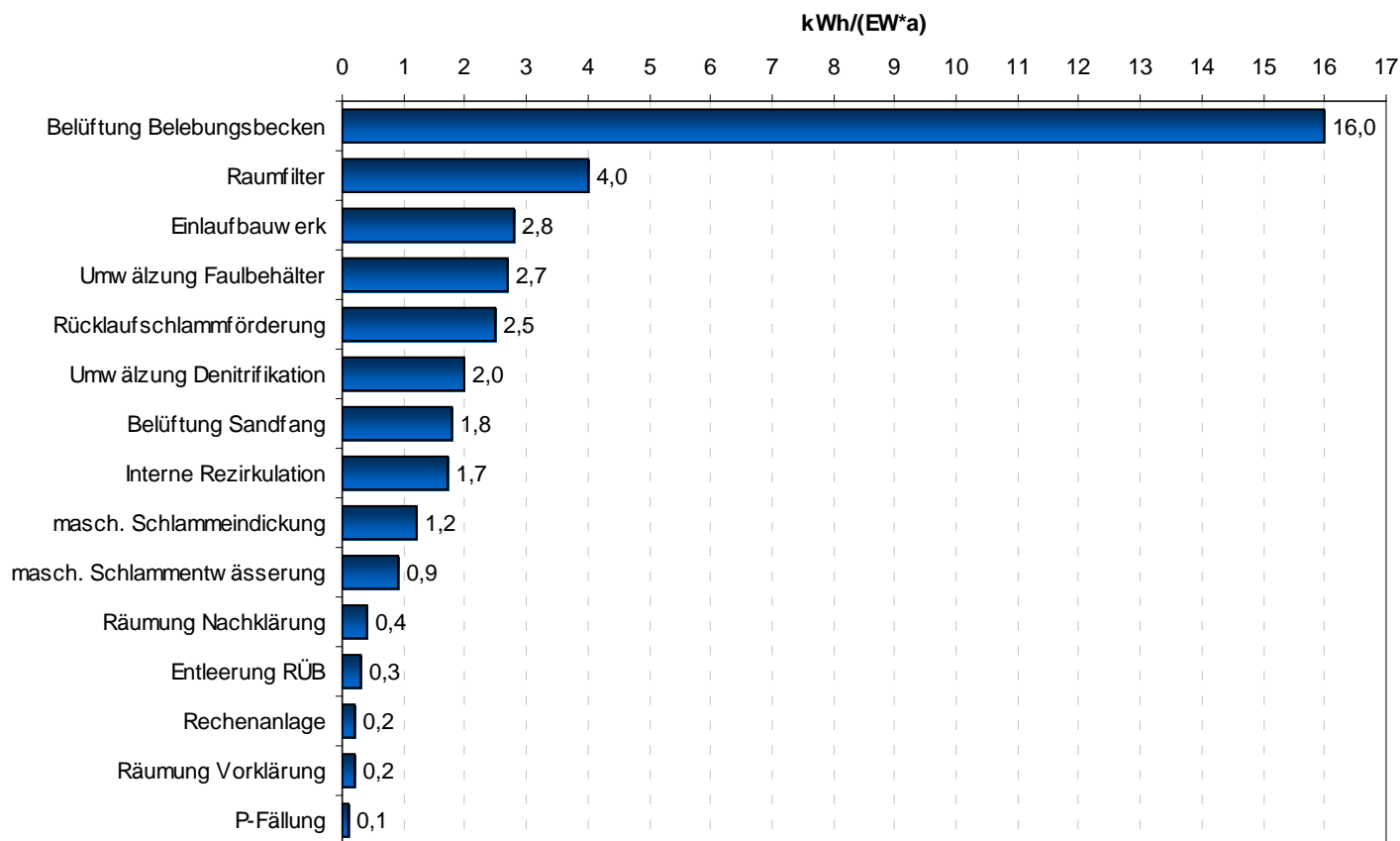
Typische Aufteilung des Elektroenergiebedarfs auf die Verfahrensstufen



Mittlere Verbrauchswerte einzelner Verfahrensgruppen in Belebungsanlagen GK 2 + 3



Mittlere Verbrauchswerte einzelner Verfahrensgruppen in Belebungsanlagen GK 4 + 5



Belüftung Zielwerte in kWh/(EW*a)

GK	Druckbelüftung	Belüftung und Umwälzung
1		
2		20
3	12	17
4	10	15
5	10	



Rührwerke

werden über die Leistungsdichte W_R (in W/m^3) beurteilt.

$$W_R = \frac{\text{Summe der Leistung aller Rührwerksmotoren}}{\text{Reaktorvolumen}}$$

Beckenvolumen	Leistungsdichte
> 2.000 m ³	1,5 W/m ³
1.000 m ³ – 2.000 m ³	2,5 – 1,5 W/m ³
500 m ³ – 1.000 m ³	2,0 – 2,5 W/m ³
200 m ³ - 500 m ³	2,5 – 4,0 W/m ³



Pumpwerke

Die Wirkleistung einer Kreiselpumpe wird bestimmt nach:

$$P_w = \frac{Q \text{ (l/s)} * H \text{ (m)} * 102}{\eta_{hydr} * \eta_{motor}} \quad (\text{kW})$$

Berechnung des spezifischen Stromverbrauches

$$\text{Spez. SV}_p = \frac{P_w * 1000}{Q * H} \quad (\text{Wh}/(\text{m}^3 * \text{m}))$$



Pumpwerke - Zielwerte

Pumpenart	Fördermedium	Wirkungsgrad η_{ges}	Spezif. EV in Wh/(m ³ *m)
Schnecken- trog- pumpen	Rohabwasser	50 - 60	4,5 – 5,4
	Rücklaufschlamm, interner Kreislauf	60 - 70	3,9 – 4,7
Kreiselpumpen	Rohabwasser	50 – 60	4,7 – 5,4
	Rücklaufschlamm, interner Kreislauf	65 – 75	3,6 – 4,2
Propellerpumpe	Interner Kreislauf	65 – 80	3,4 – 4,2
Exzentrerschnecken- pumpen	Schlämme	50 - 65	4,2 – 5,4



Grobanalyse:

- Vergleich von Baugruppen an Hand von Richtwerten

Feinanalyse:

- Vergleich von Aggregaten an Hand von Richtwerten und Idealwerten.
- Sollte fester Bestandteil jeder Planung sein.
- Ist auszuführen, wenn Grobanalyse Einsparpotentiale angezeigt hat.
- Sollte vor jeder Erweiterung, jedem Umbau oder jeder Sanierung beauftragt werden.



Orientierung – Wo sind die größten Potenziale?

- 1. Größte Motoren:** **Gebläse der Belebungsbecken**
- 2. Dauerläufer:** **Rührwerke, Rezirkulationspumpen,
Sandfanggebläse**
- 3. Betriebsweise:** **Primärschlammproduktion versus
aerobe Schlammstabilisierung**



Sauerstoffkonzentration

Grundsätzlich gilt es ausreichend Sauerstoff für aeroben Stoffwechsel zur Verfügung zu stellen.

Kleiner $0,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$ wird bereits Denitrifikation beobachtet.

Die minimale Sauerstoffkonzentration hängt von der Durchmischung des Belebungsbeckens ab.

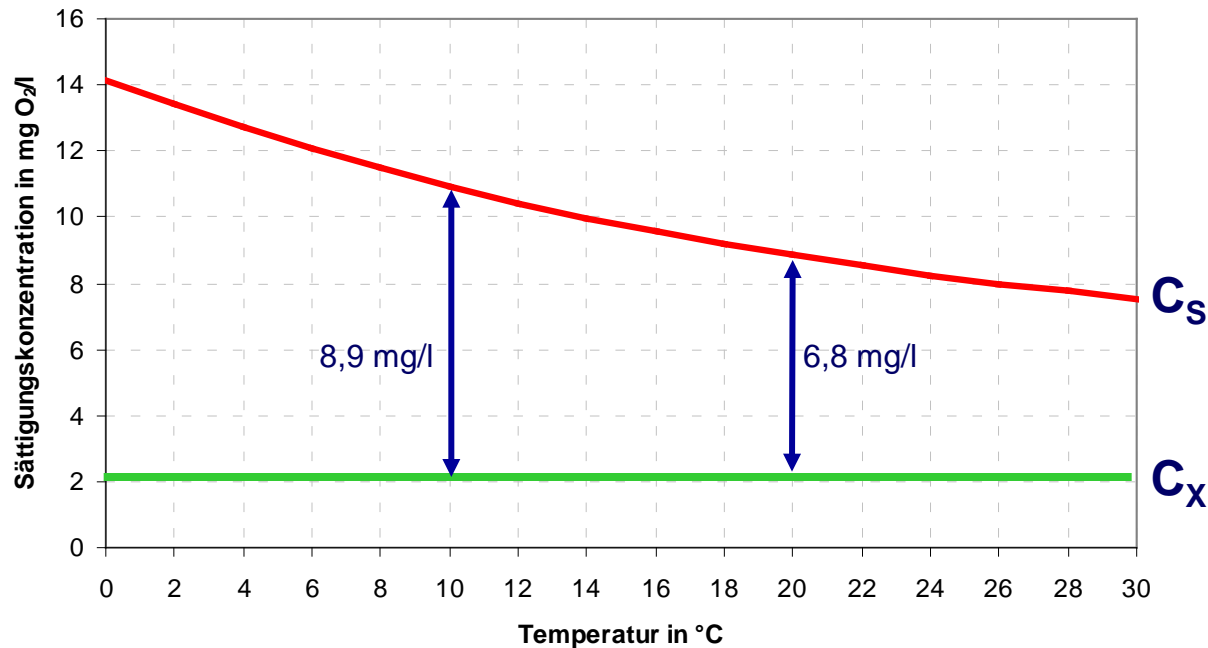
schlechte Durchmischung	2,0 mg O ₂ /l
gute Durchmischung	1,5 mg O₂/l
sehr gute Durchmischung	1,0 mg O ₂ /l



Sauerstoffkonzentration

Je weiter sich die O_2 -Konz. C_x der Sättigungskonzentration C_s annähert, desto schwerer wird es diesen Sauerstoff in Lösung zu bringen.

Sauerstoffsättigungskonzentration



Sauerstoffkonzentration

Das Sauerstoffdefizit ist das Verhältnis von Sättigungskonzentration zur noch „fehlenden“ O₂-Konzentration bis die Sättigung erreicht ist.

$$D = \frac{C_s}{C_s - C_x}$$

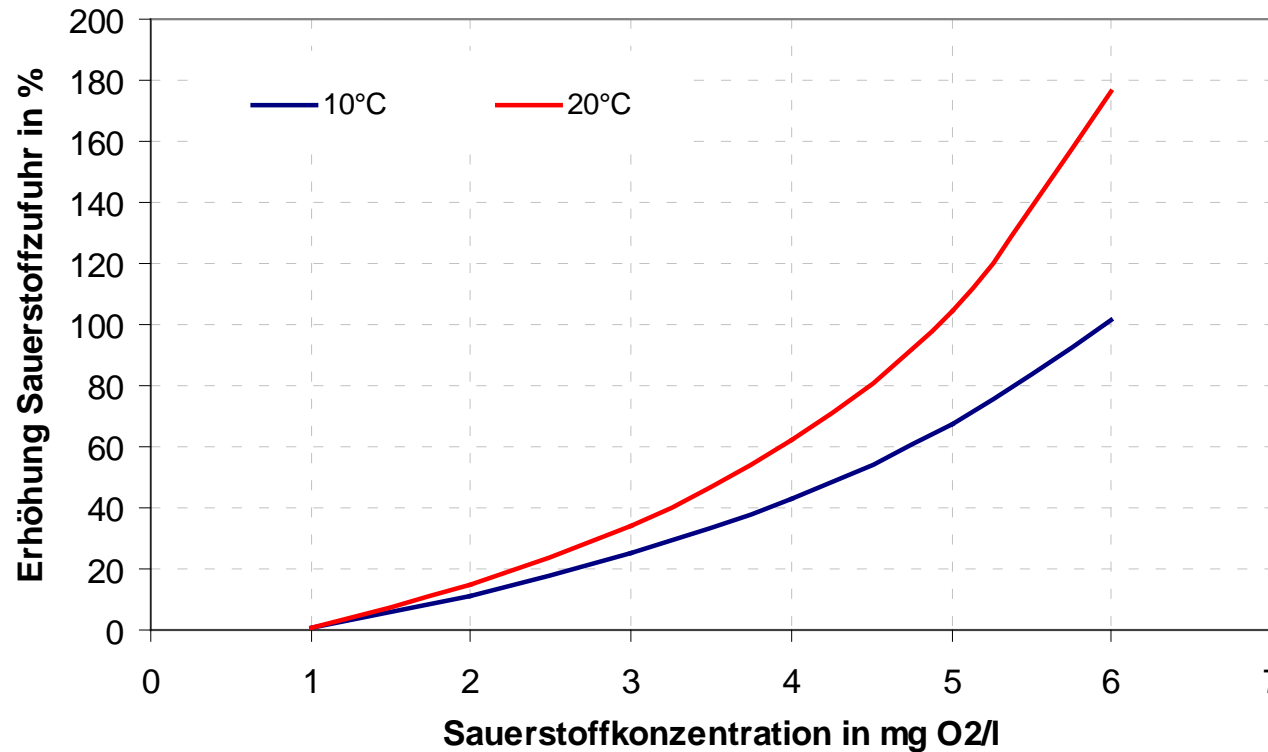
Das Sauerstoffdefizit geht als Multiplikator in die Berechnung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr ein.

$$\alpha OC = D \cdot OV$$



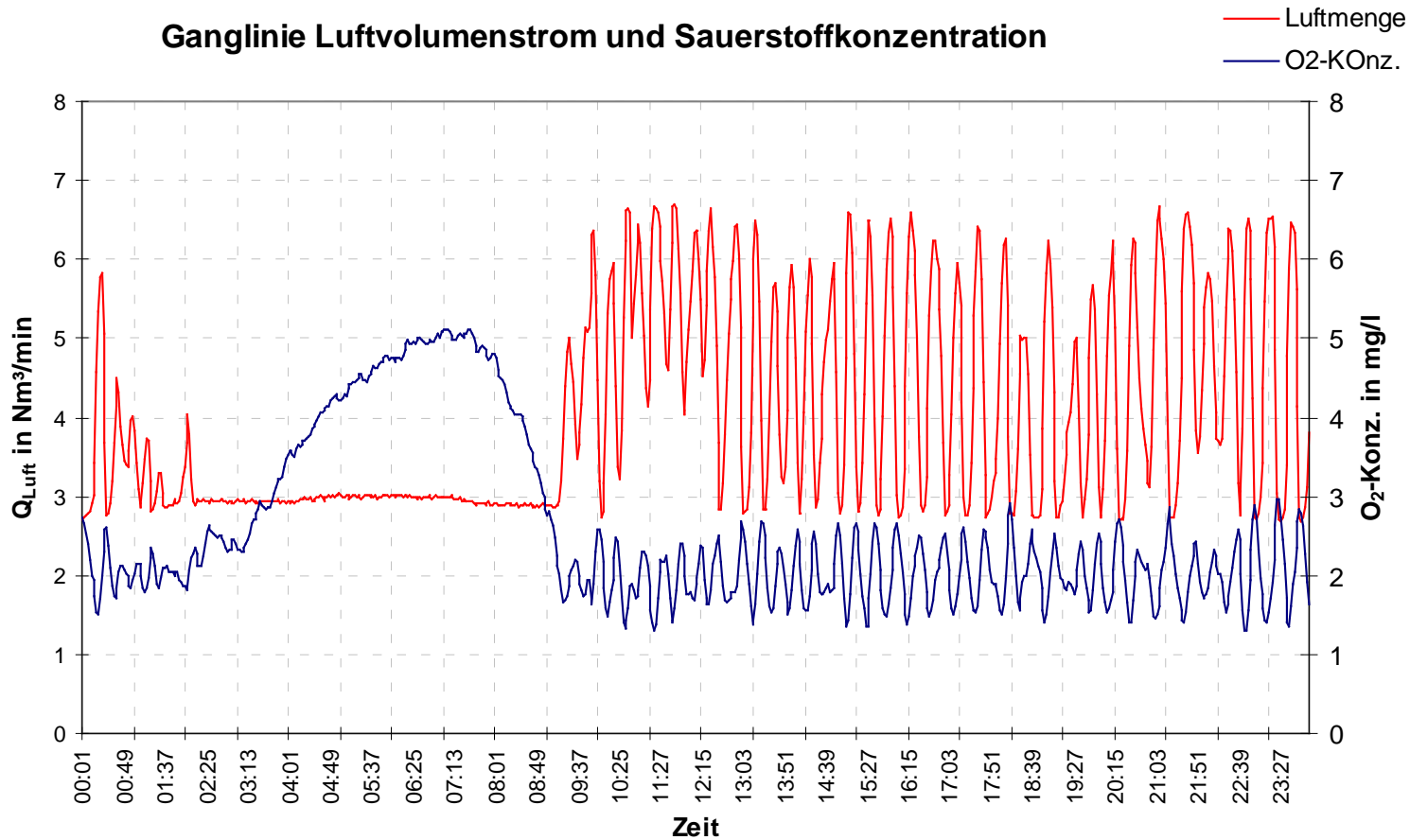
Sauerstoffkonzentration

Erhöhung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr in % in Abhängigkeit der Sauerstoffkonzentration C_x und der Temperatur T (bezogen auf 1,0 mg O_2/l)



Regelung der Sauerstoffkonzentration

Ganglinie Luftvolumenstrom und Sauerstoffkonzentration



Druckverlust von Belüftermembranen

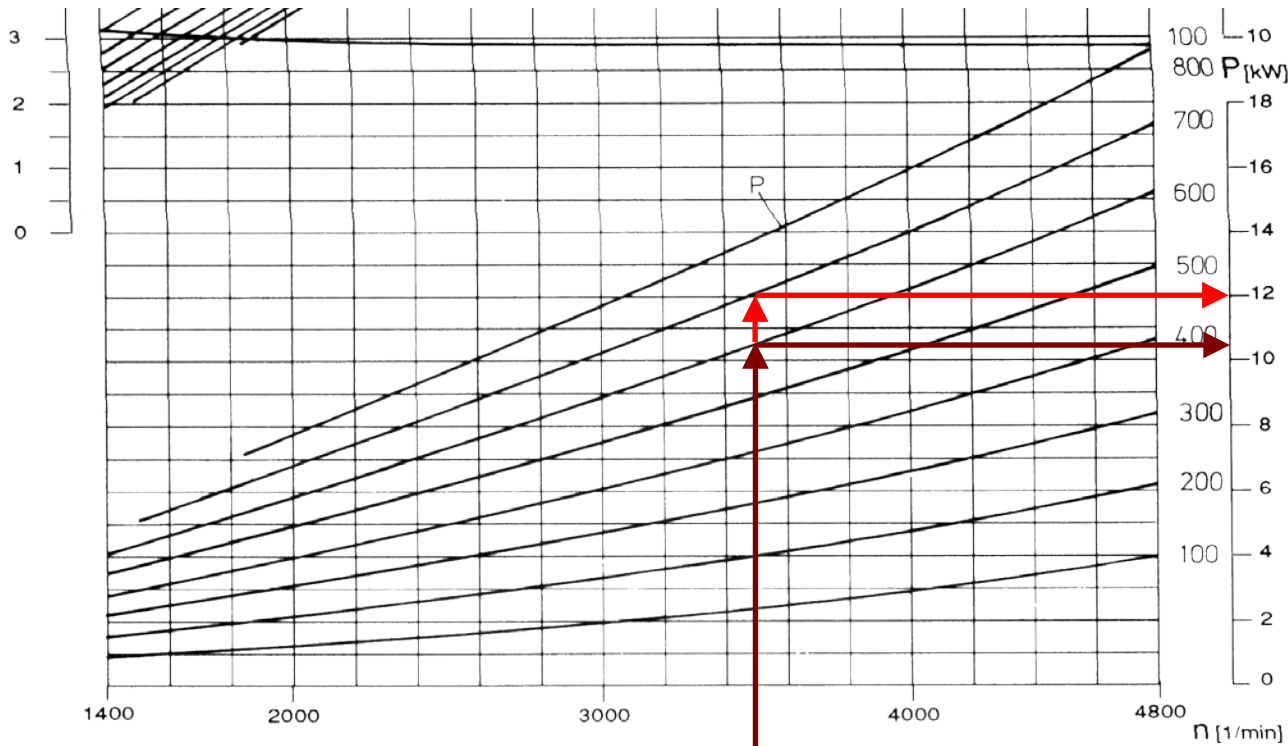
- Wird verursacht durch Alterung oder anorganische und organische Belege

Maßnahmen:

1. Austausch der Membranen
2. Verhinderung der Unterbeaufschlagung (stets $> 2,0 \text{ Nm}^3/(\text{m}^*\text{h})$)
3. Regelmäßiges Dehnen der Membranen (ca. $12,0 \text{ Nm}^3/(\text{m}^*\text{h})$)



Druckverlust von Belüftermembranen



Leistungsbedarf
an der Welle:

12,0 kW

10,5 kW

Druckerhöhung: Differenzdruck 700 mbar
Ausgangszustand: Differenzdruck 600 mbar

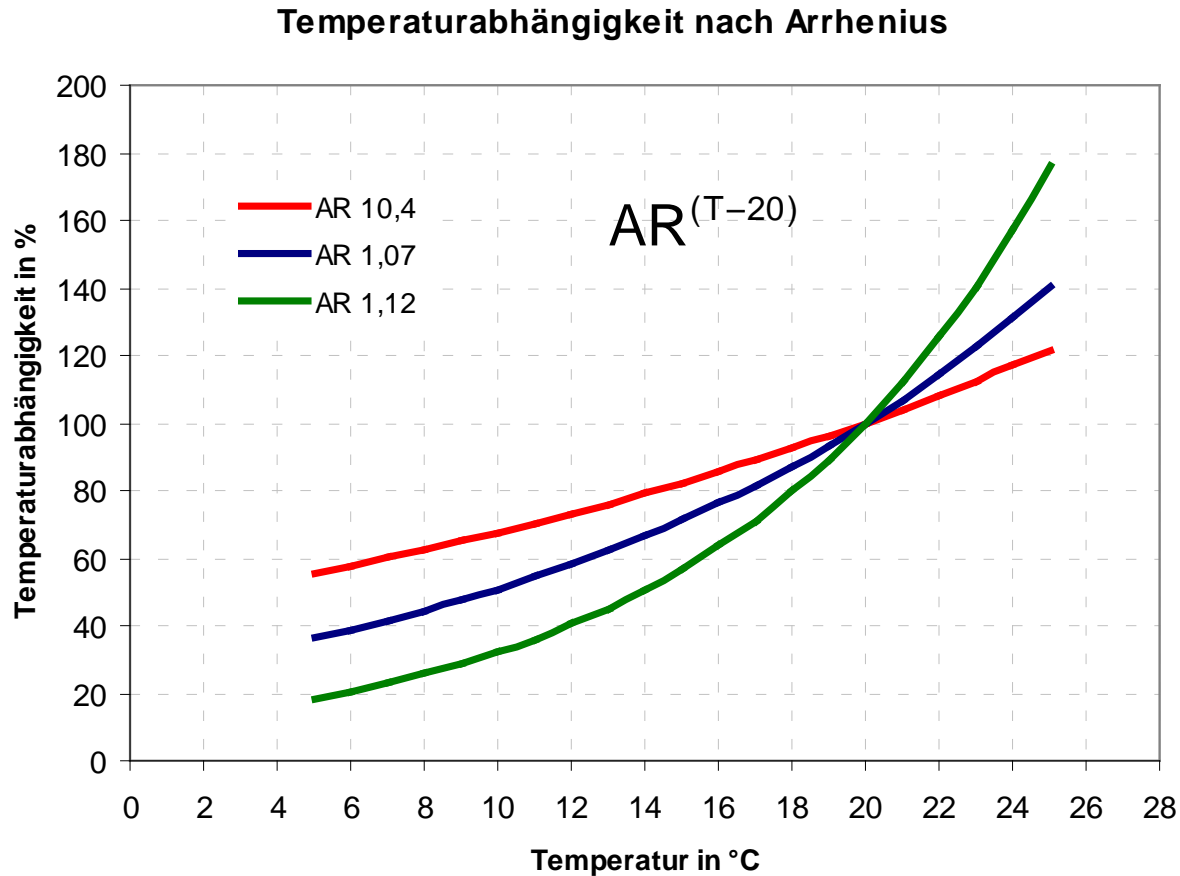
Hohe Sauerstoffzehrung im Sommer

- Wird verursacht durch weitergehende Stabilisierung des Belebtschlammes bei hohen Temperaturen

Prozess	Arrhenius-Konstante θ	Verdoppelung der Geschwindigkeit
Schlammstabilisierung	1,04	je 18°C
Denitrifikation	1,07	je 10°C
Nitrifikation	1,12	je 6°C

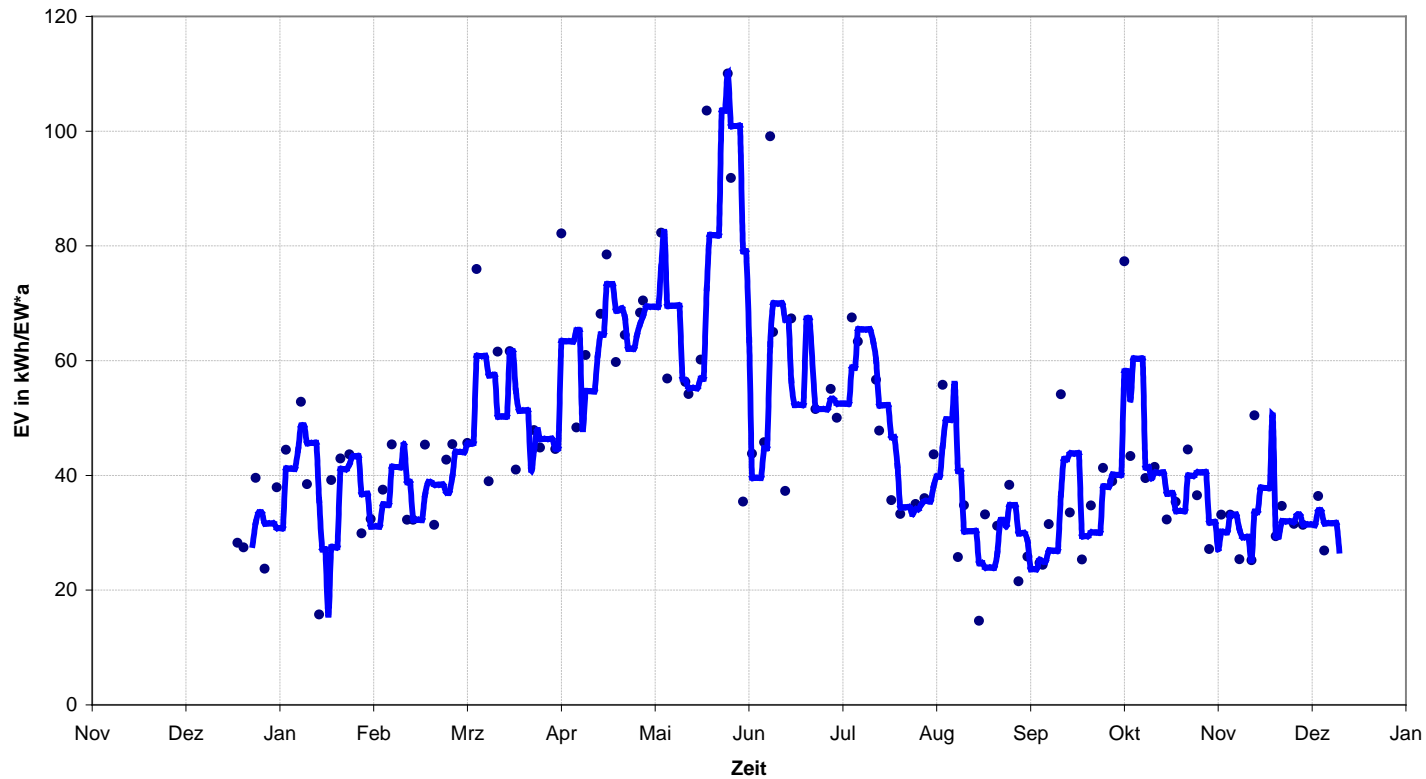


Hohe Sauerstoffzehrung im Sommer



Hohe Sauerstoffzehrung im Sommer

Einwohnerspezifischer Elektroenergieverbrauch im Jahresgang



Hohe Sauerstoffzehrung im Sommer

Maßnahmen:

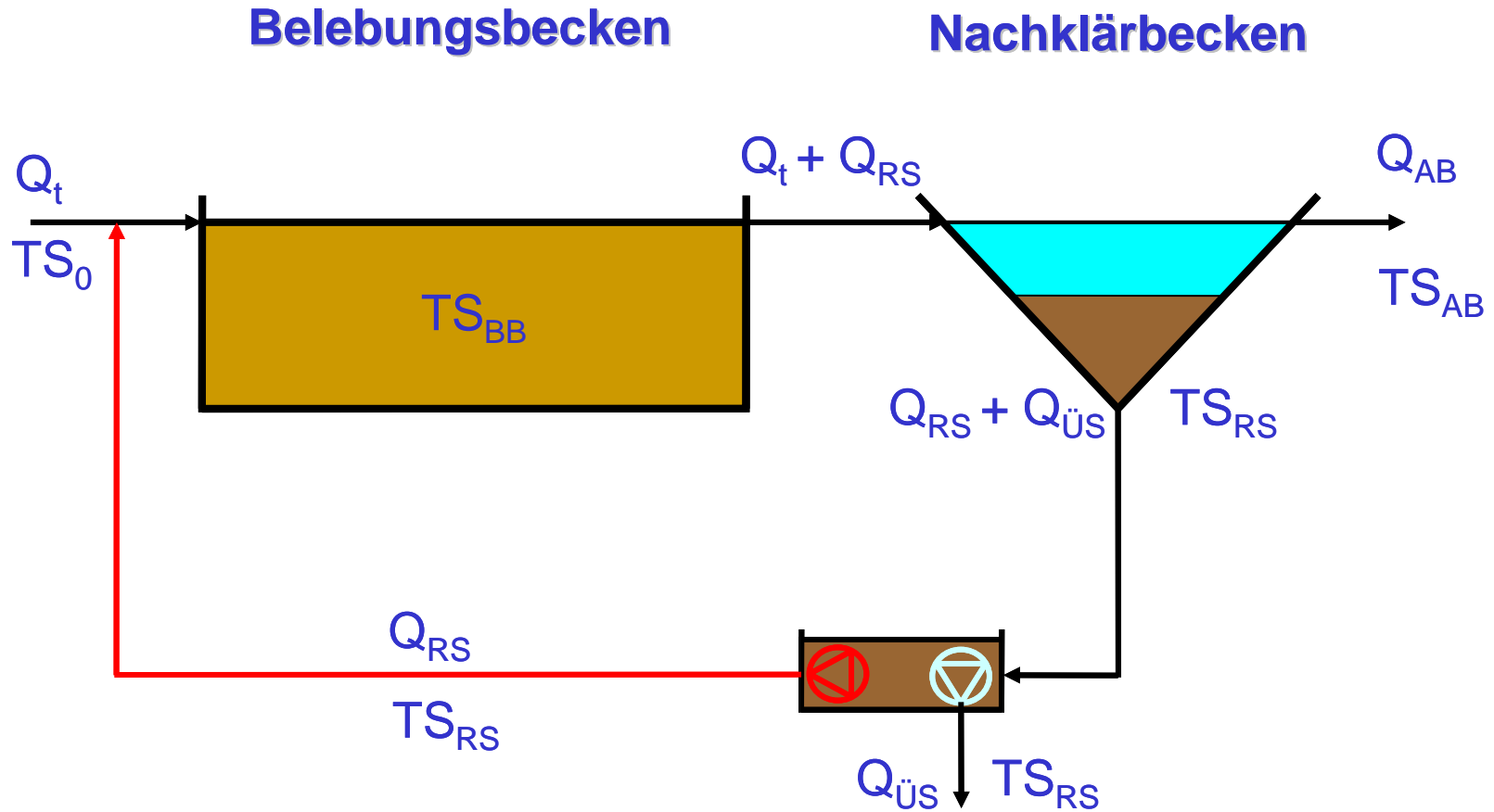
1. TS-Konzentration senken
2. Belebungsbecken außer Betrieb nehmen
3. Überschussschlamm nicht mehr in die Faulung

Positiver Effekt:

Durch erhöhte Sauerstoffzehrung verringert sich der Überschussschlammanfall analog!

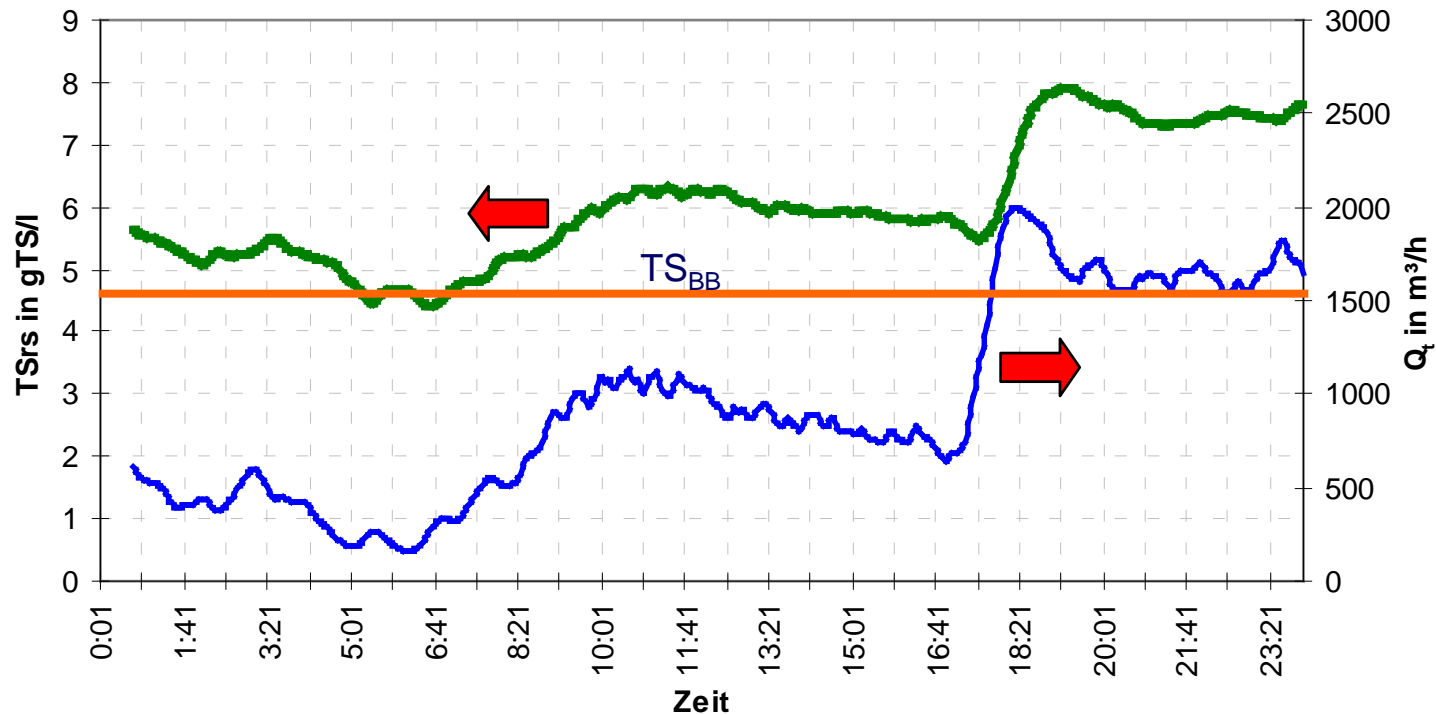


Zu hoher Rücklaufschlammvolumenstrom

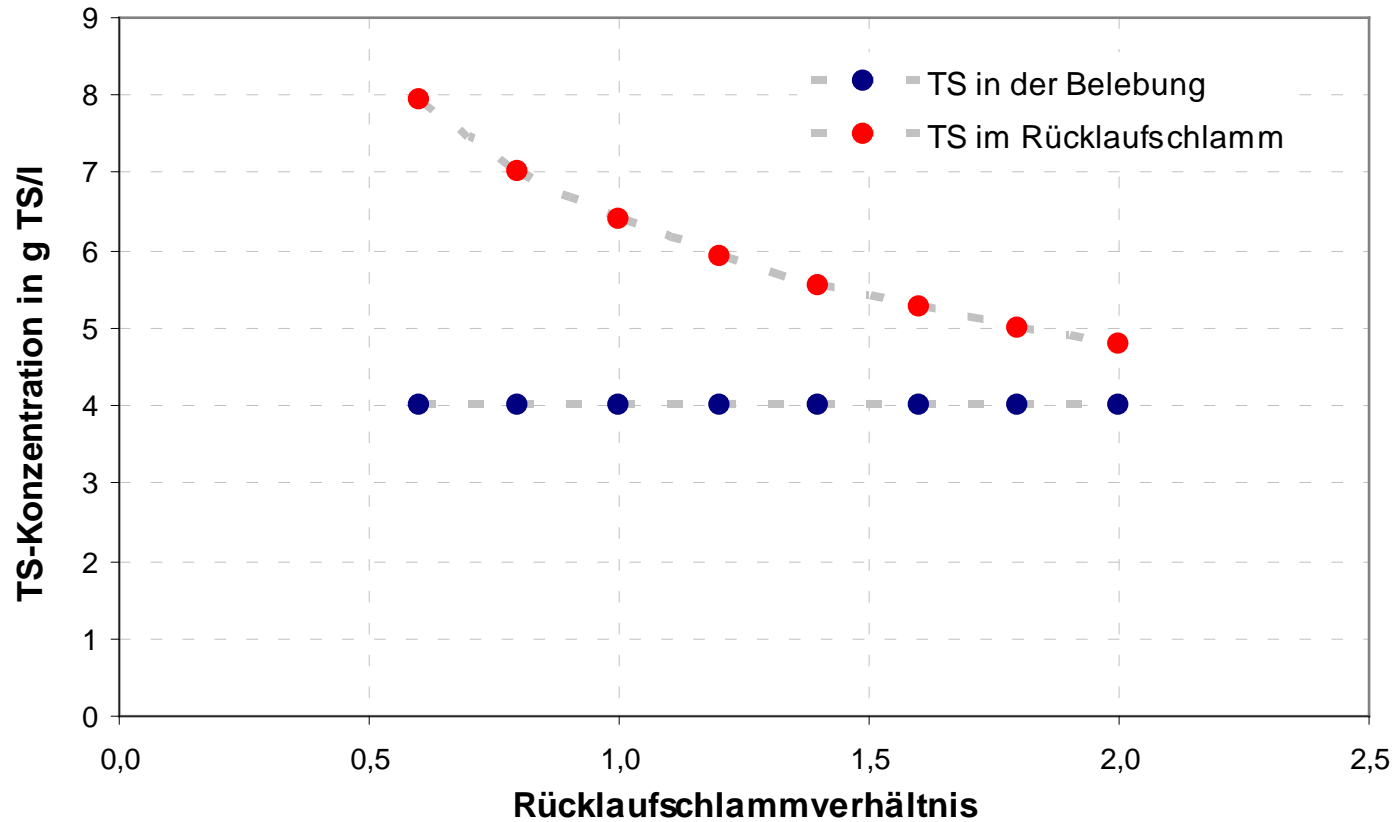


Zu hoher Rücklaufschlammvolumenstrom

➔ RS-Pumpen sind zu groß ausgelegt und ungeregelt



Zu hoher Rücklaufschlammvolumenstrom



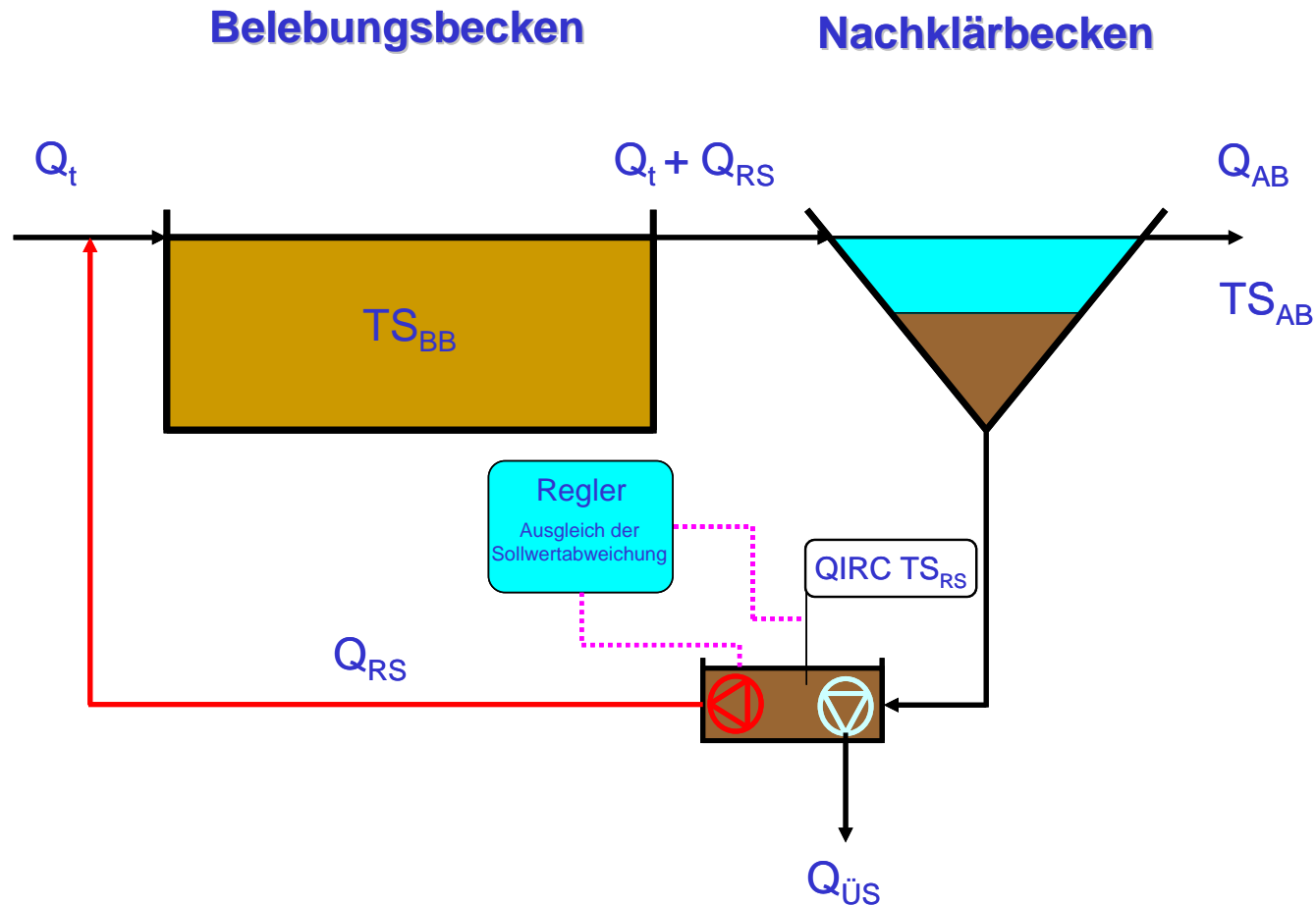
Zu hoher Rücklaufschlammvolumenstrom

Maßnahmen:

1. Zusätzliche kleine Pumpe einbauen
2. Pumpen mit FU ausrüsten
3. Regelung von Q_{RS} nach dem TS_{RS}



Zu hoher Rücklaufschlammvolumenstrom



Zu hoher Rücklaufschlammvolumenstrom

Effekte:

1. Aufgrund der Vergleichmäßigung von TS_{RS} ist eine höhere betriebliche Eindickung im NKB möglich.
2. Durch höhere Eindickung wird $Q_{\ddot{U}S}$ minimiert.
3. Energieeinsparung durch geringeren Q_{RS} .
4. Durch $TS_{RS} = \text{konstant}$ lässt sich die $\ddot{U}S$ -Menge pro Tag und damit das Schlammalter besser bestimmen.



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

