

Gesamtbericht

Projekt Belüftung

Beispiel

Grunddaten

Beckengeometrie

Beckenform: Ringbecken		
Anzahl Becken	nBB =	1
Durchmesser, Außen	Da =	33,0 m
Durchmesser, Innen	Di =	20,0 m
Wassertiefe	hW =	5,0 m
Gesamtvolumen	VBB,gesamt =	2.705,7 m ³

Bemessungsdaten

Täglicher Trockenwetterzufluss	Qt,d =	2.700 m ³ /d
BSB5-Konzentration - Zulauf Belebung	CBSB,ZB =	250 mg/l
TS-Konzentration - Zulauf Belebung	XTS,ZB =	230 mg/l
Tägliche BSB5-Fracht	Bd,BSB =	675 kgBSB5/d
Einwohnerwert	EW =	11.250 EW

Sauerstoffverbrauch

Stickstoffbilanz

Reinigungsverfahren:	Intermittierende Denitrifikation	
TKN - Zulauf Belebung	CTKN,ZB =	42,0 mg/l
Nitrat - Zulauf Belebung	CNO ₃ ,ZB =	0,0 mg/l
Inkorporierter org. Stickstoff	XorgN,BM =	10,0 mg/l
Ammonium - Ablauf Nachklärung	SNH ₄ -N,AN =	1,0 mg/l
Org. Stickstoff - Ablauf Nachklärung	SorgN,AN =	2,0 mg/l
Nitrat - Ablauf Nachklärung (bei TBem.)	SNO ₃ ,AN =	0,5 mg/l

Phosphorbilanz

Reinigungsverfahren:	Keine chemische Phosphatfällung	
Phosphor Konzentration - Zulauf Belebung	CP,ZB =	11,0 mg/l
In die Biomasse eingebauter Phosphor	XP,BM =	3,8 mg/l
Biologisch gebundener Phosphor	XP,BioP =	0,0 mg/l
ÜS-Produktion aus der Phosphatfällung	ÜSd,P =	0,0 kgTS/d
Phosphor Konz. - Ablauf Nachklärung	CP,AN =	7,3 mg/l

Spitzen-Sauerstoffverbrauch

Temperatur-Lastfälle	T	°C	10,00	12,00	20,00
Sicherheitsfaktor für Nitrifikation	SF	-	1,80	1,80	1,80
TS-Gehalt im Belebungsbecken	TSBB	kg/m³	5,00	5,00	5,00
BSB5-Schlammbelastung	BTS	kg/(kg*d)	0,050	0,050	0,050
Erforderliches aerobes Schlammalter	tTS,aerob	d	9,99	8,21	3,75
Temp.faktor für endogene Veratmung	FT	-	0,71	0,81	1,42
Tägliche Schlammproduktion	ÜSd	kgTS/d	580,6	568,4	530,7
Gesamt-Schlammalter	tTS	d	23,30	23,80	25,49
Spez. O2-Verbrauch für C-Elimination	OVC,BSB	kgO2/kgBSB	1,21	1,24	1,32
O2-Verbrauch für C-Elimination	OVd,C	kgO2/d	816,77	834,57	890,11
Denitrifizierbares Nitrat	SNO3,denibar	mg/l	28,50	28,50	28,35
Zu denitrifizierendes Nitrat	NO3,D	mg/l	29,00	29,00	29,00
Nitrat - Ablauf Nachklärung	SNO3,AN	mg/l	0,50	0,50	0,65
O2-Gewinn durch Denitrifikation	OVd,D	kgO2/d	223,16	223,16	221,98
O2-Verbrauch für Nitrifikation	OVd,N	kgO2/d	336,69	336,69	336,69
Denitrifikationsverhältnis, maximal	VD/VBBmax	-	0,38	0,38	0,35
Denitrifikationsverhältnis, gewählt	VD/VBB	-	0,38	0,38	0,35
Belüftungszeit	tL	h	14,88	14,88	15,60
Stoßfaktor für Kohlenstoffatmung	fC	-	1,11	1,11	1,10
Stoßfaktor für Ammoniumoxidation	fN	-	1,59	1,56	1,50
O2-Verbrauch, max N	OVh,D (1,fN)	kgO2/d	46,97	47,36	48,88
O2-Verbrauch, max C	OVh,D (fC,1)	kgO2/d	41,45	42,20	44,65
O2-Verbrauch, mittel	OVh,D (1,1)	kgO2/d	38,76	39,50	41,87
O2-Verbrauch, max N (ohne Deni)	OVh,N (1,fN)	kgO2/d	56,27		
O2-Verbrauch, max C(ohne Deni)	OVh,N (fC,1)	kgO2/d	51,75		

Der stündliche Sauerstoffverbrauch OVh wird unter Berücksichtigung der Stoßfaktoren nach folgender Formel berechnet:

$$OV_h = \frac{f_C * (OV_{d,C} - OV_{d,D}) + f_N * OV_{d,N}}{24} \left[\frac{kgO_2}{h} \right]$$

Erforderliche Sauerstoffzufuhr

Belüftungssystem:	Druckluftbelüftung				
Temperatur-Lastfälle	T	°C	10,00	12,00	20,00
O2-Sättigungskonzentration (T)	CS,T	mg/l	11,29	10,78	9,10
O2-Sättigungskonzentration (20°C)	CS,20	mg/l	9,10	9,10	9,10
O2-Konzentration Belebungsbecken	CX	mg/l	2,00	2,00	2,00
Temp.korrektur Belüftungskoeffizient	$\Theta^{(T-20)}$	-	0,79	0,83	1,00
Faktor für Wasserüberdruck	fd	-	1,23	1,23	1,23
Korrekturfaktor (T,p)	-	-	1,19	1,20	1,22
Std. O2-Zufuhr, max N	$\alpha_{OC,D} (1,f_N)$	kgO2/h	90,42	91,79	91,62
Std. O2-Zufuhr, max C	$\alpha_{OC,D} (f_C,1)$	kgO2/h	79,79	81,80	83,69
Std. O2-Zufuhr, mittel	$\alpha_{OC,D} (1,1)$	kgO2/h	74,62	76,56	78,47
Std. O2-Zufuhr, max N (ohne Deni)	$\alpha_{OC,N} (1,f_N)$	kgO2/h	67,16		
Std. O2-Zufuhr, max C (ohne Deni)	$\alpha_{OC,N} (f_C,1)$	kgO2/h	61,77		

Ungünstigster Lastfall:	Denitrifikation	
Temperatur	TLastfall =	12,00 °C
Erforderliche Sauerstoffzufuhr	erf. α_{OC} =	91,79 kgO2/h

Zur Berechnung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr erf. α_{OC} wird der Ansatz von Wagner verwendet:

$$erf.\alpha_{OC} = \alpha SOTR = OV_h * \frac{f_d * C_{S,20}}{(f_d * C_{S,I} - C_X) * \Theta^{(T-20)}} * \frac{1}{1 - V_D / V_{BB}} \quad \left[\frac{kgO_2}{h} \right]$$

Für Druckbelüftung gilt:

$$f_d = 1 + 0,5 * h_D / 10,35$$

Gebläse

Auslegung Gebläse

Erforderliche Norm-Luftmenge (p0, T0)

Erf. O2-Zufuhr, gewählt	erf. α_{OC} =	91,79 kgO2/h
Sauerstoffzufuhrfaktor	α =	0,65 -
Erf. O2-Zufuhr, Nachweis in Reinwasser	OC = SOTR =	141,21 kgO2/h
Spez. O2-Ausnutzung, Bemessung	SSOTE =	18,5 gO2/(m³*m)
Erf. Norm-Luftmenge, stündlich	erf.QL,h,0 =	1.624,09 Nm³/h
Gebäläselaufzeit	tL =	14,9 h
Erf. Norm-Luftmenge, täglich	erf.QL,d,0 =	24.166,45 Nm³/d

Erforderliche Luftmenge (p,T) unter Betriebsbedingungen

Ansaugtemperatur	TAnsaug =	20,0 °C
Höhe über NN	hatm =	500 m
Atm. Druck	patm =	955 mbar
Erf. Luftmenge, stündlich	erf.QL,h =	1.850,06 m³/h
Erf. Luftmenge, täglich	erf.QL,d =	27.528,89 m³/d

Die erforderliche stündliche Norm-Luftmenge erf.QL,,d,0 wird nach folgender Formel berechnet:

$$erf.QL,d,0 = \frac{1000 * SOTR}{SSOTE * h_D} = \frac{1000 * SOTR}{3 * SSOTE\% * h_D} \quad \left[\frac{Nm^3}{h} \right]$$

Die Umrechnung in den Betriebszustand erfolgt mit Hilfe der Internationalen Höhenformel und der Idealen Gasgleichung.

Erforderlicher Gebläse-Gegendruck

Eintragstiefe	hD =	4,70 m
Rohrleitungswiderstand	pRohr =	100 mbar
Belüfterwiderstand	pBelüfter =	53 mbar
Gebläsegegendruck, erf.	erf.p =	623 mbar

Auswahl Gebläse

Nr	St. Gebläse	Typ	QL m³/h	QLgesamt m³/h	PN kW	PK kW	p mbar
1	2 Drehkolbengebläse	Aerzener GM 25 S	992,37	1.984,74	30,00	22,39	623

Luftmenge Gebläse Betrieb, gesamt QL,gesamt = 1.984,74 m³/h

Rührwerk

Art	Horizontal
Fabrikat / Typ	EMU TR 220
Erforderliche Leistungsdichte	LDerf. = 2,50 W/m³
Anzahl Rührwerke, je Becken	nRW = 2 -
Leistungsdichte, gewählt	LD = 1,85 W/m³
Durchmesser Rührwerk	DRW = 2.000 mm
Nennleistung, je Rührwerk	PN = 2,50 kW

Belüftungseinrichtung

Belüfter (Datenbank)

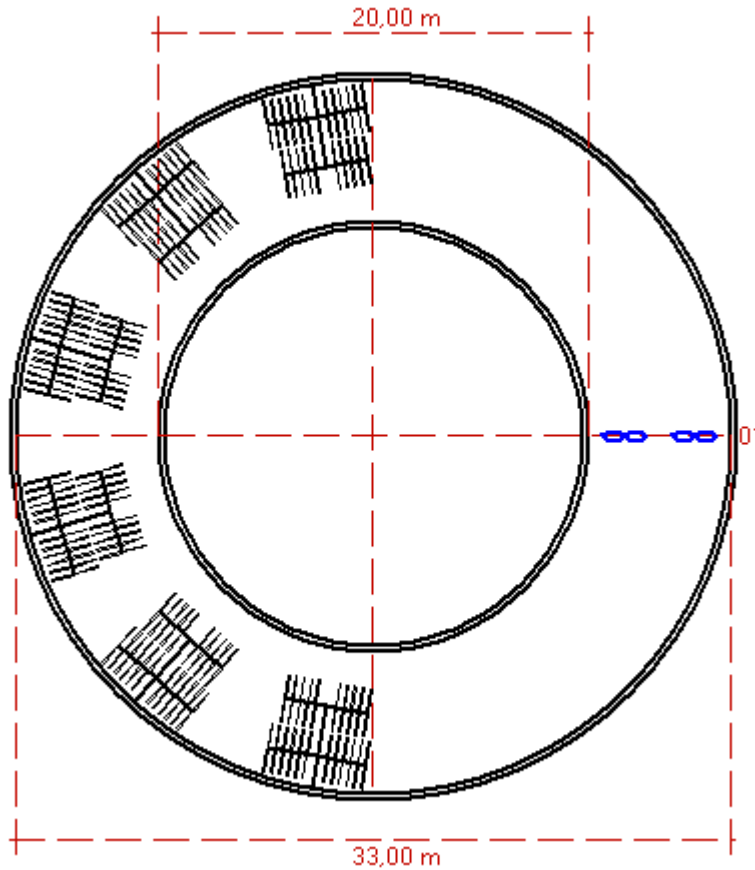
Art	Rohrbelüfter		
Fabrikat / Typ	Passavant-Intech Bioflex IV HPI 1000 mm EPDM		
Länge	L =	1.050	mm
Durchmesser	D =	63	mm
Gasungslänge	L' =	1.000	mm
Gasungsfläche, je Belüfter	A' =	0,164	m ²
Spez. O ₂ -Ausnutzung, Belüfter	SSOTE =	18,5	gO ₂ /(Nm ³ *m)
Beaufschlagung, Belüfter	bA =	7,00	Nm ³ /(m*h)

Die Anzahl der Belüftersegmente bzw. die Belüfterlänge ergibt sich aus folgender Beziehung:

$$n = \frac{Q_{L,0}}{b_A} \quad [\text{Stück}, m]$$

Berechnung für ein Becken

Beaufschlagung, gewählt	bA =	7,00	Nm ³ /(m*h)
Luftmenge Gebläse	QL =	1.984,74	m ³ /h
Luftmenge Gebläse, Norm	QL,0 =	1.742,32	Nm ³ /(m*h)
	QL,0/erf.QL,0 =	107,28	%
Belüfterelemente, erf.		249	
Belüfterlänge, erf.		249,00	m
Anzahl Belüftergitter		6	
Belüfterelemente, je Gitter		44	
Querverteiler, je Gitter		2	
Abstand Gitter zur Wand		0,40	m
Abstand Belüfter		0,30	m
Effektive Belüfterlänge, je Kerze		1,00	m
Effektive Anzahl Belüfterelemente		264	
Effektive Gesamtlänge		264,00	m
Oberfläche Belebungsbecken	ABB =	541,14	m ²
Gasungsfläche	A' =	43,30	m ²
Belegungsichte	A'/ABB =	8,00	%



Rohrleitungen

			Ansaugseite	Druckseite
Druck	p	mbar	954,62	1.577,62
Temperatur	T	K	293,15	338,40
Luftmenge Gebläse	QL, Gebläse	m ³ /h	1.984,74	1.386,33
Zulässige Strömungsgeschwindigkeit			VL =	12,00 m/s

St.	Beschreibung	Volumenstrom m ³ /h	Rohrquerschnitt m ²	Freier Rohrdurchmesser mm	Fr. Quadratrohrbreite mm	DN
2	GM 25 S	693,16	0,016	143	127	150
1	Zuleitung	1.386,33	0,032	202	179	250
1	Verteilerleitung	693,16	0,016	143	127	150
6	Falleitung	231,05	0,005	83	73	100

Die komprimierte Luftmenge QL,D wird unter der vereinfachenden Annahme einer adiabaten Verdichtung bestimmt.

Sauerstoffertragswert

Gebläse

Nr	St. Gebläse	Typ	η %	Mech. Verluste %	FU Verluste %	PK kW	PA kW	PA gesamt kW
1	2 Drehkolbengebläse	Aerzener GM 25 S	93,00	2,0	3,0	22,4	25,3	50,6
Gesamt	2 -	-	-	-	-	-	-	50,6

Leistungsaufnahme (alle Gebläse) PAGEDläse = 50,6 kW

Die Leistungsaufnahme eines Gebläses ergibt sich mit der Kupplungsleistung PK und dem Wirkungsgrad η unter Berücksichtigung der Verluste nach folgender Formel:

$$PA = \frac{PK * (1 + V_{mech}\%) * (1 + VFU\%)}{\eta} \quad [kW]$$

Rührwerke

Anzahl Rührwerke (alle Becken) n = 2,0 -
 Leistungsaufnahme (alle Rührwerke) PARührwerke = 5,0 kW

O2-Ertragswert

Eintragstiefe	hD =	4,7 m
Luftmenge (alle Gebläse)	QL,gesamt =	1.984,74 m³/h
Spez. O2-Ausnutzung, Betrieb	SSOTE =	20,5 gO2/(Nm³*m)
Sauerstoffeintrag, Betrieb	SOTR =	191,23 kgO2/h
O2-Ertragswert Gebläse	SAE,Gebläse =	3,78 kgO2/kWh
O2-Ertragswert Gebläse + Rührwerke	SAE =	3,44 kgO2/kWh

Sauerstoffeintrag bzw. O2-Ertragswert werden nach folgenden Formeln berechnet:

$$SOTR = \frac{Q_L * SSOTE * h_D}{1000} \quad \left[\frac{kgO_2}{h} \right]$$

$$SAE = \frac{SOTR}{PA} \quad \left[\frac{kgO_2}{kWh} \right]$$

Investition

Planung

Kosten Planung 15.000,00 €

Bau - Gebläseraum, Fundamente

Richtpreis, umbauter Raum	250,00 €/m ³	
Volumen, umbauter Raum	46,00 m ³	
Baukosten 1		11.500,00 €

Bau - Erdarbeiten, Leitungsverlegung

Richtpreis, Aushub	100,00 €	
Erdaushub	50,00 m ³	
Baukosten 2		5.000,00 €

Maschinentechnik

		EP		GP
Rührwerk EMU TR 220	2 St.	16.000,00 €		32.000,00 €
Gebläse Aerzener GM 25 S	2 St.	6.500,00 €		13.000,00 €
Anschlussleitung DN150, V2A	2,00 m	450,00 €		900,00 €
Absperrklappe DN150	2 St.	150,00 €		300,00 €
Zuleitung DN250	25,00 m	170,00 €		4.250,00 €
Absperrklappe DN250	1 St.	250,00 €		250,00 €
Verteilleitung DN150	107,00 m	115,00 €		12.305,00 €
Absperrklappe DN150	2 St.	150,00 €		300,00 €
Falleitung DN100	30,00 m	95,00 €		2.850,00 €
Absperrklappe DN100	6 St.	100,00 €		600,00 €
Gitter	6 St.	5.500,00 €		33.000,00 €
Rohrbelüfter Passavant-Intech	264 St.	24,00 €		6.336,00 €
Bioflex IV HPI 1000 mm EPDM				
Aushebevorrichtung	1 St.	1.500,00 €		1.500,00 €

Kosten Maschinentechnik 107.591,00 €

Elektrotechnik

Schaltschrank	50.000,00 €
Verkabelung	15.000,00 €
Messtechnik	25.000,00 €
Kosten E-Technik	90.000,00 €

Übersicht Investition

Planung	15.000,00 €
Baumaßnahmen	16.500,00 €
Maschinentechnik	107.591,00 €
Elektrotechnik	90.000,00 €

Investitionsvolumen 229.091,00 €

Betriebskosten

Energiekosten

EVU Tarif	0,12 €/kWh
Belüftungszeit tL	14,88 h

Gebläse

Sauerstoffbedarf SOTR	141,21 kgO2/d	
Faktor mittlerer O2-Bedarf	0,86 -	
Mittlerer O2-Bedarf SOTRm	121,44 kgO2/d	
O2-Ertragswert SAEGebläse	3,78 kgO2/kWh	
Mittlere Leistungsaufnahme	32,13 kW	
Energiebedarf, täglich	478,04 kWh/d	
Energiebedarf, jährlich	174.604,06 kWh/a	
Energiekosten, täglich	57,36 €/d	
Energiekosten, jährlich		20.952,49 €/a

Rührwerke

Anzahl Rührwerke	2 -	
Leistungsaufnahme, gesamt	5,00 kW	
Anzahl RW, belüftete Phase	2 -	
Energiebedarf, täglich	120,00 kWh/d	
Energiebedarf, jährlich	43.830,00 kWh/a	
Energiekosten, täglich	14,40 €/d	
Energiekosten, jährlich		5.259,60 €/a

Die Energiekosten BK der Gebläse werden über den Sauerstoffertragswert SAE, eine mittlere Gebläseleistung PA und den Frachtanteil in der Hochtarif-Zeit ermittelt:

$$PA_m = \frac{SOTR * m}{SAE_{\text{Gebläse}}} \quad [kWh / h]$$

$$BK = PA_m * tL * \left(\text{TarifHT} * \frac{\text{Fracht}\%}{100} + \text{TarifNT} * \frac{100 - \text{Fracht}\%}{100} \right) \quad [€ / d]$$

Der Energiebedarf W der Rührwerke setzt sich zusammen aus dem Leistungsanteil in der belüfteten und der unbelüfteten Phase. Für die Betriebskosten werden Hoch- und Niedertarifzeit anteilig gewichtet.

Es gilt:

$$W_{RW} = PA_{\text{bel.Phase}} * 24h/d + PA_{\text{unbel.Phase}} * (24h/d - tL) \quad [kWh/d]$$

$$BK = W_{RW} * \left(\frac{24 - tNT}{24} * \text{TarifHT} + \frac{tNT}{24} * \text{TarifNT} \right) \quad [€/d]$$

Übersicht Betriebskosten

Energiekosten	26.212,09 €/a
Summe Betriebskosten	26.212,09 €/a

Projektkostenbarwert

Alle Kosten werden auf den Bezugszeitpunkt umgerechnet. Der Bezugszeitpunkt ist der Zeitpunkt der Investition (Jahr 0).

Beobachtungszeitraum	25,0 a
Zinssatz real	3,00 % p.a.
Preissteigerung für Betriebskosten (ohne Energie)	2,00 % p.a.
Preissteigerung Energie	2,50 % p.a.

Nominale Reinvestitionskosten

Nutzungs- dauer	Beschreibung	Invest	Reinvest Nominal
	Planung	15.000,00 €	0,00 €
25,0 a	Bau - Gebläse- und Fundamente	11.500,00 €	0,00 €
25,0 a	Bau - Erdarbeiten, Leitungsverlegung	5.000,00 €	0,00 €
7,0 a	Maschinenteknik 1 Belüfter Passavant-Intech Bioflex IV HPI 1000 mm EPDM	6.336,00 €	
	Zwischensumme	6.336,00 €	19.008,00 €
10,0 a	Maschinenteknik 2 Gitter Aushebevorrichtung	33.000,00 € 1.500,00 €	
	Zwischensumme	34.500,00 €	69.000,00 €
12,5 a	Maschinenteknik 3 Schieber DN150 Schieber DN250 Schieber DN150 Schieber DN100	300,00 € 250,00 € 300,00 € 600,00 €	
	Zwischensumme	1.450,00 €	1.450,00 €

20,0 a	Maschinentechnik 4		
	Rührwerk EMU TR 220	32.000,00 €	
	Gebläse Aerzener GM 25 S	13.000,00 €	
	Zwischensumme	45.000,00 €	45.000,00 €
25,0 a	Maschinentechnik 5		
	Anschlussleitung, Aerzener GM 25 S	900,00 €	
	Zuleitung	4.250,00 €	
	Verteilerleitung	12.305,00 €	
	Falleitung	2.850,00 €	
	Zwischensumme	20.305,00 €	0,00 €
20,0 a	Elektrotechnik	65.000,00 €	65.000,00 €
10,0 a	Messtechnik	25.000,00 €	50.000,00 €

Barwert Reinvestitionskosten

		Nominal	DFAKE	Barwert
Maschinentechnik 1				
1. Reinvest	7,0 a	6.336,00 €	0,8131	5.151,75 €
2. Reinvest	14,0 a	6.336,00 €	0,6611	4.188,84 €
3. Reinvest	21,0 a	6.336,00 €	0,5375	3.405,91 €
Maschinentechnik 2				
1. Reinvest	10,0 a	34.500,00 €	0,7441	25.671,24 €
2. Reinvest	20,0 a	34.500,00 €	0,5537	19.101,81 €
Maschinentechnik 3				
1. Reinvest	12,5 a	1.450,00 €	0,6911	1.002,08 €
Maschinentechnik 4				
1. Reinvest	20,0 a	45.000,00 €	0,5537	24.915,41 €
Elektrotechnik				
1. Reinvest	20,0 a	65.000,00 €	0,5537	35.988,92 €
Messtechnik				
1. Reinvest	10,0 a	25.000,00 €	0,7441	18.602,35 €
2. Reinvest	20,0 a	25.000,00 €	0,5537	13.841,89 €
Summe Reinvest		249.458,00 €		151.870,21 €

Reinvestitionskosten werden als einmalige Zahlungen zu dem entsprechenden Bezugszeitpunkt betrachtet. Die Umrechnung erfolgt nach den KVR-Richtlinien der LAWA mit dem Diskontierungsfaktor DFAKE. Es wird keine Preissteigerung berücksichtigt.

$$DFAKE(i; n) = \frac{1}{(1+i)^n}$$

i = Zinssatz in %

n = Nutzungsdauer in Jahre

Barwert Betriebskosten

		Nominal p.a.	DFAKRP	Barwert
Energiekosten	25 a	26.212,09 €	23,4819	615.510,27 €
Sonstige Betriebskosten	25 a	0,00 €	22,0766	0,00 €
Summe Betriebskosten				615.510,27 €

Die laufenden Kosten der Anlage werden auf den Bezugszeitpunkt zurückgerechnet. Dabei werden neben dem Zinssatz auch die allgemeine Preissteigerung sowie die Steigerung der Energiekosten berücksichtigt. Der Barwert einer jährlich um r%-steigenden Kostenreihe ergibt sich aus der Multiplikation der Ursprungsgröße mit dem Diskontierungsfaktor für Reihenprogression DFAKRP.

$$\text{DFAKRP}(r, i, n) = (1+r) \frac{(1+i)^n - (1+r)^n}{(1+i)^n (i-r)}$$

r = Preissteigerung in %

i = Zinssatz in %

n = Nutzungsdauer in Jahre

Übersicht Projektkostenbarwert

	Nominal	Barwert
Investition	229.091,00 €	229.091,00 €
Reinvestition	249.458,00 €	151.870,21 €
Betriebskosten	26.212,09 €/a	615.510,27 €/a
Projektkostenbarwert		996.471,48 €/a