



Energieeffizienz in Warmbandstraßen – Hochleistungsentzunderung mit Druckspeicherstationen

Vortrag VDEh-Anlagenausschuss
am 27.09.2011
Düsseldorf

Dipl.-Ing. Peter Pawlitzki
Schäfer & Urbach GmbH
Ratingen





Energieeffizienz in Warmbandstraßen – Hochleistungsentzunderung mit Druckspeicherstationen

- Gliederung -

- 1. Aufgabenstellung**
- 2. Ermittlung der hydraulischen Leistungssteigerung**
- 3. Einsatz der mehrstufigen KSB Hochdruck Kreiselpumpe HGC 4/6**
- 4. Auslegung der Druckwasserversorgung mit und ohne Speicherstation**
- 5. Dimensionierung der Pumpstation mit und ohne Speicherstation**
- 6. Gegenüberstellung der beiden Anlagenkonzepte mit Kosten**





Aufgabenstellung

- **Druckerhöhung an den Entzunderungsanlagen einer konventionellen Warmbandstraße von 100 bar auf 120 bar ohne Änderung der Düsenkonfiguration (Düsenanzahl und Düsentyp)**
- **Erhöhung des Betriebsdruckes bei konstanter Düsenkonfiguration nur über Erhöhung des Volumenstromes an den einzelnen Entzunderungspositionen möglich → Anpassung Druckwasserversorgung erforderlich**
- **Randbedingungen für die Auslegung:**
 - (1) Verwendung von mehrstufigen KSB Kreiselpumpen**
 - (2) Betriebsdrücke**
 - 16 bar am Saugstutzen der Kreiselpumpen
 - 10 bar max. Druckdifferenz zwischen oberem und unterem Betriebsdruck bei der Variante mit Speicherstation
 - 95 bar minimaler Betriebsdruck aufgrund von Düsenverschleiß
- **Überprüfung einer weiteren Verwendung vorhandener Kreiselpumpen und deren Antriebsmotoren insbesondere der Baureihe HGC 4/6**
- **Umbau der Kreiselpumpe HGC 4/6 falls erforderlich**





Energieeffizienz in Warmbandstraßen – Hochleistungsentzunderung mit Druckspeicherstationen

- Gliederung -

1. Aufgabenstellung
2. **Ermittlung der hydraulischen Leistungssteigerung**
3. Einsatz der mehrstufigen KSB Hochdruck Kreiselpumpe HGC 4/6
4. Auslegung der Druckwasserversorgung mit und ohne Speicherstation
5. Dimensionierung der Pumpstation mit und ohne Speicherstation
6. Gegenüberstellung der beiden Anlagenkonzepte mit Kosten





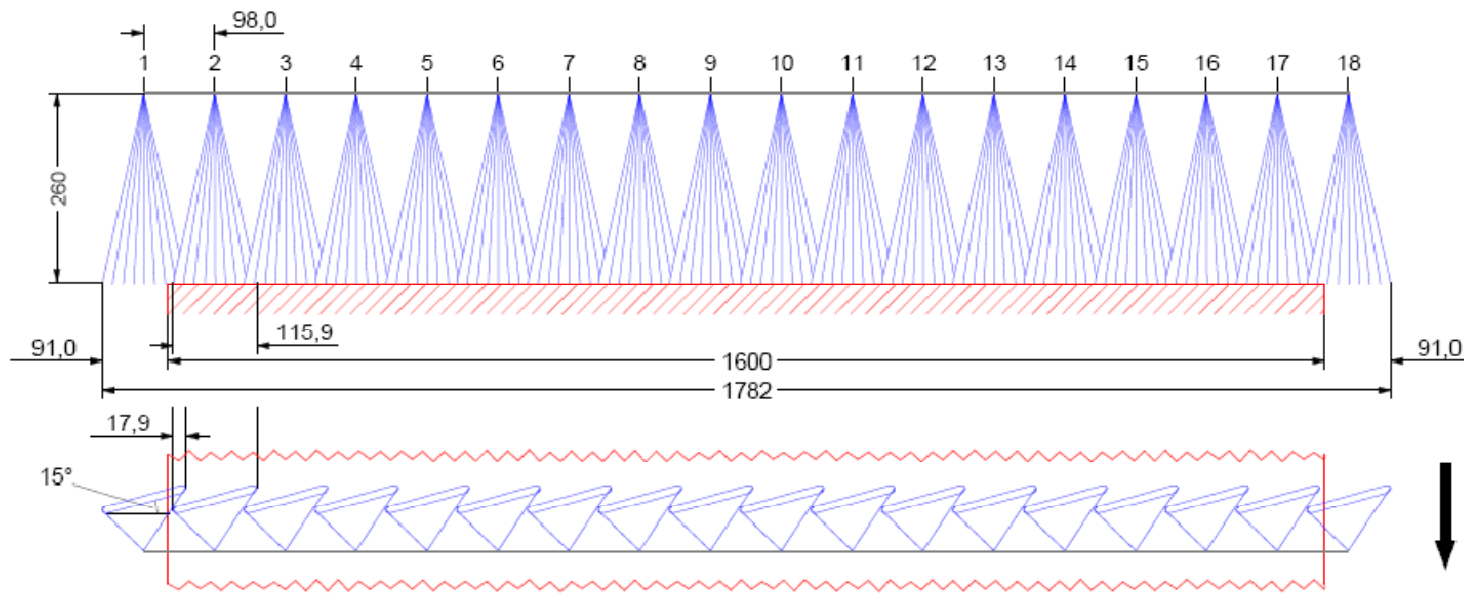
Wasserverbrauch Entnahmestellen (Betriebsdruck 100 bar)

Wasserverbrauch Entnahmestellen						
Entzunderungsposition	Ort	vorhandener Düsentyp	Anzahl der Düsen	Abstand h2 [mm]	Wasserverbrauch [l/min]	
					je Düse 100 bar	je Spritzbalken 100 bar
Ofenspritzkasten, System 2	oben	694.886.27	17	225	112,00	1904,0
	unten	694.886.27	17	240	112,00	1904,0
Ofenspritzkasten, System 3	oben	694.886.27	17	225	112,00	1904,0
	unten	694.886.27	17	240	112,00	1904,0
Sekundärentzunderung vor R1	oben	666.886.12	15	274	112,00	1680,0
	unten	666.886.12	15	251	112,00	1680,0
Sekundärentzunderung hinter R1	oben	666.886.12	15	274	112,00	1680,0
	unten	666.886.12	15	251	112,00	1680,0
Zunderwäscher Z3	oben	694.726.27	17	240	45,00	765,0
	unten	694.726.27	17	229	45,00	765,0
Entzunderung F0	oben	694.806.27	18	260	72,00	1296,0
	unten	694.806.27	14	279	72,00	1008,0
Entzunderung F1	oben	666.726.11	15	268	45,00	675,0
	unten	666.726.11	13	290	45,00	585,0
Zunderwäscher, System 1	oben	644.727.27	28	110	45,00	1260,0
	unten	644.727.27	28		45,00	1260,0
Zunderwäscher, System 2	oben	644.727.27	28	110	45,00	1260,0
	unten	644.727.27	28		45,00	1260,0

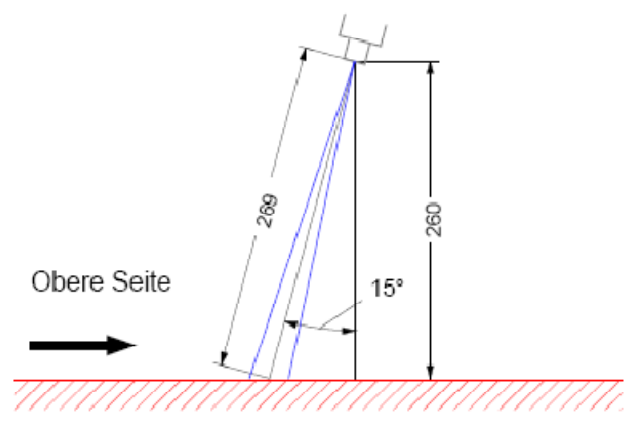




Spritzbild Entzunderung Gerüst F0 oben (Betriebsdruck 100 bar) - Düsenauslegungsprogramm Lechler -



1



Typennummer:	694.806
Düsenstrahlwinkel (α):	26°
Spritzdruck:	100 bar
Volumenstrom:	72,00 l/min
Anstellwinkel (β):	15°
Verdrehungswinkel (γ):	15°
senkrechter Spritzabstand (h_2):	260 mm
Strahlbreite (B):	120 mm
Strahltiefe:	10,35 mm
Gesamtkraft:	168 N
Impact, av85%:	0,18 N/mm ²
max. Impact:	0,24 N/mm ²
Volumenstrom, total:	1296,0 l/min
Überlappung (D):	17,9 mm



Impact Werte in N/mm² bei Betriebsdrücken von 100 bar und 120 bar

Entzunderungsposition	Betriebsdruck: 100 bar		Betriebsdruck: 120 bar	
	Oben	Unten	Oben	Unten
Ofenspritzkasten, System 2	Oben	Unten	Oben	Unten
	0,43	0,39	0,51	0,47
Ofenspritzkasten, System 3	Oben	Unten	Oben	Unten
	0,43	0,39	0,51	0,47
Sekundärentzunderung vor R1	Oben	Unten	Oben	Unten
	0,32	0,37	0,39	0,44
Sekundärentzunderung hinter R1	Oben	Unten	Oben	Unten
	0,32	0,37	0,39	0,44
Zunderwäscher Z3	Oben	Unten	Oben	Unten
	0,18	0,19	0,21	0,23
Zunderwäscher, System 1	Oben	Unten	Oben	Unten
	0,43	0,43	0,51	0,51
Zunderwäscher, System 2	Oben	Unten	Oben	Unten
	0,43	0,43	0,51	0,51
Entzunderung F0	Oben	Unten	Oben	Unten
	0,24	0,21	0,29	0,26
Entzunderung F1	Oben	Unten	Oben	Unten
	0,15	0,13	0,18	0,16

Durch die geplante Erhöhung des Betriebsdruckes auf 120 bar ist ein Anstieg der Impact-Werte um maximal 20% zu erwarten.



Volumenströme in l/min bei Betriebsdrücken von 100 bar und 120 bar

Entzunderungsposition	Betriebsdruck: 100 bar			Betriebsdruck: 120 bar		
	Oben	Unten	Gesamt	Oben	Unten	Gesamt
Ofenspritzkasten, System 2	1.904	1.904	3.808	2.086	2.086	4.172
Ofenspritzkasten, System 3	1.904	1.904	3.808	2.086	2.086	4.172
Sekundärentzunderung vor R1	1.680	1.680	3.360	1.840	1.840	3.680
Sekundärentzunderung hinter R1	1.680	1.680	3.360	1.840	1.840	3.680
Zunderwäscher Z3	765	765	1.530	838	838	1.676
Zunderwäscher, System 1	1.260	1.260	2.520	1.380	1.380	2.760
Zunderwäscher, System 2	1.260	1.260	2.520	1.380	1.380	2.760
Entzunderung F0	1.296	1.008	2.304	1.420	1.104	2.524
Entzunderung F1	675	585	1.260	739	641	1.380

Das Ergebnis zeigt, dass die Volumenströme jeweils um etwa 10% angehoben werden müssen um den gewünschten Betriebsdruck von 120 bar zu erreichen.

Berücksichtigt man nur noch die Erhöhung des Betriebsdruckes um 20%, so ergibt sich ein Anstieg der hydraulischen Leistung um etwa 30%.

Dieser Leistungsanstieg muss durch die Antriebsmotoren aufgebracht werden.





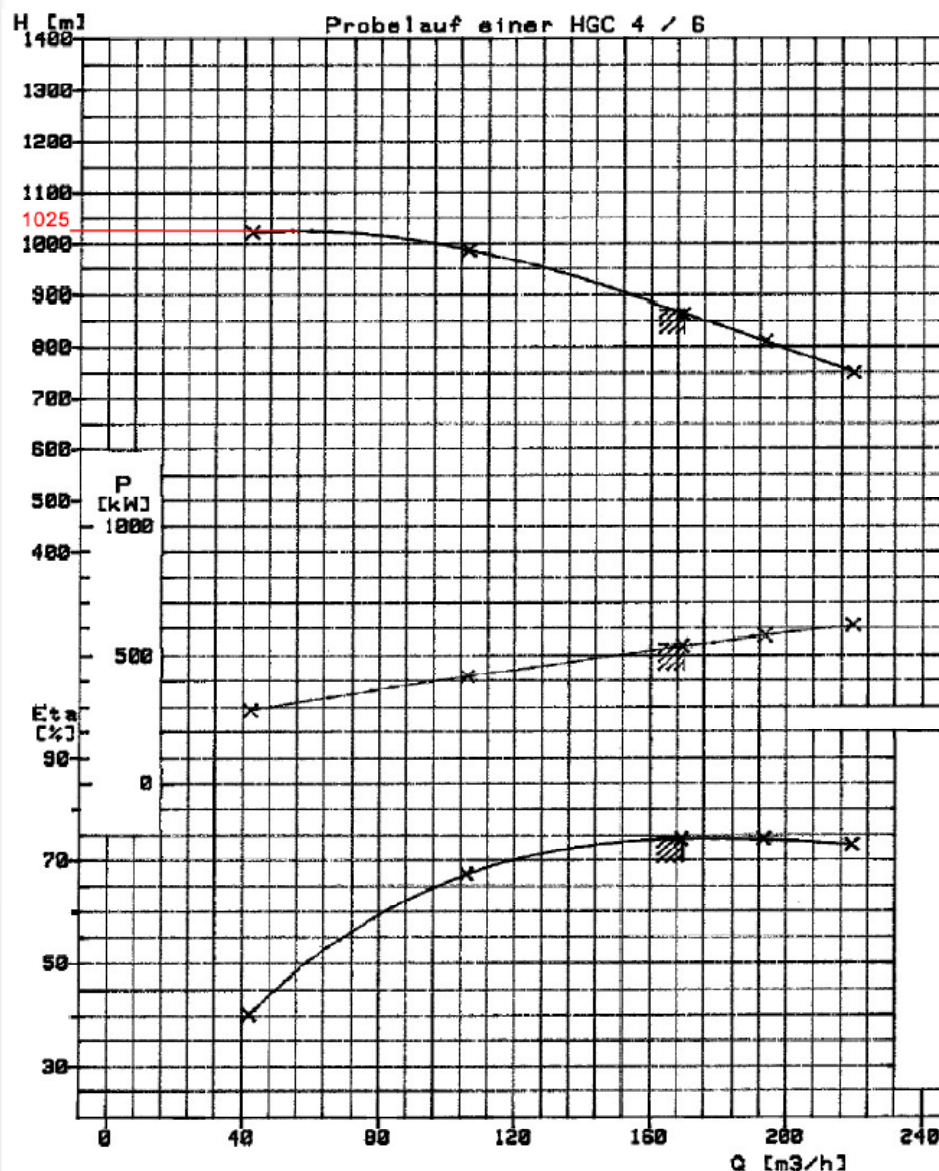
Energieeffizienz in Warmbandstraßen – Hochleistungsentzunderung mit Druckspeicherstationen

- Gliederung -

1. Aufgabenstellung
2. Ermittlung der hydraulischen Leistungssteigerung
3. **Einsatz der mehrstufigen KSB Hochdruck Kreiselpumpe HGC 4/6**
4. Auslegung der Druckwasserversorgung mit und ohne Speicherstation
5. Dimensionierung der Pumpstation mit und ohne Speicherstation
6. Gegenüberstellung der beiden Anlagenkonzepte mit Kosten



Kennlinie der KSB Hochdruck Kreiselpumpe HGC 4/6



Die mehrstufige KSB Hochdruck Kreiselpumpe weist eine max. Förderhöhe von 1,025 m auf. Dies entspricht einem Druck von 100 bar. Der Förderstrom an diesem Punkt beträgt jedoch nur noch 55 m³/h.

Somit ist selbst unter Einbeziehung des Saugdrucks von 16 bar nur ein Förderdruck von 116 bar zu erzielen. Damit ist der geforderte Betriebsdruck von 120 bar nicht erreicht und die Pumpe ist somit ohne Änderungen nicht einsetzbar.





Energieeffizienz in Warmbandstraßen – Hochleistungsentzunderung mit Druckspeicherstationen

- Gliederung -

1. Aufgabenstellung
2. Ermittlung der hydraulischen Leistungssteigerung
3. Einsatz der mehrstufigen KSB Hochdruck Kreiselpumpe HGC 4/6
4. **Auslegung der Druckwasserversorgung mit und ohne Speicherstation**
5. Dimensionierung der Pumpstation mit und ohne Speicherstation
6. Gegenüberstellung der beiden Anlagenkonzepte mit Kosten





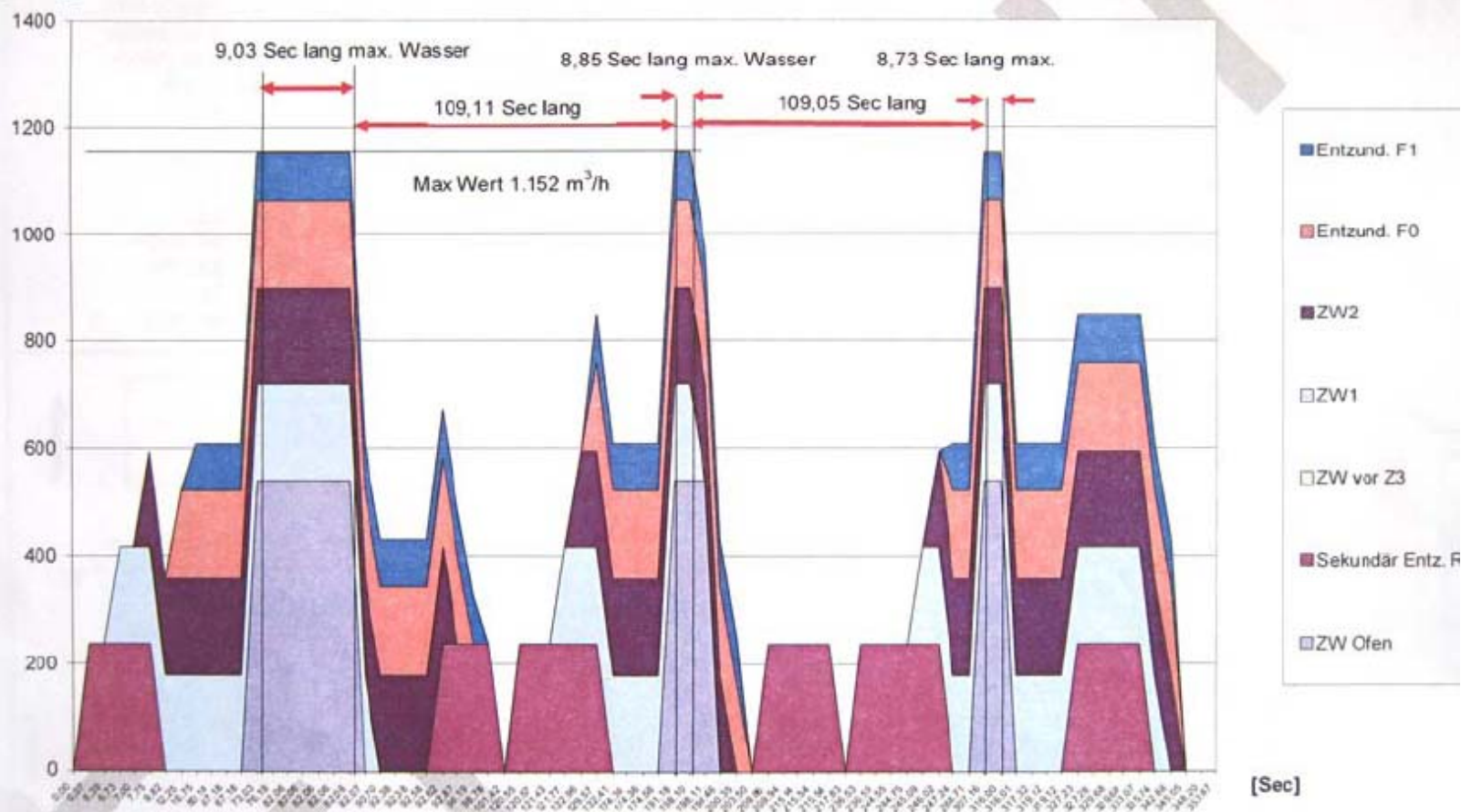
Entzunderungsanlage in einer Warmbandstraße – Spritzplan als Grundlage für die Berechnung der Pumpstation

EA-AT-WM
Anforderungs-Nr.: 346/21603

Austausch der Druckbehälter

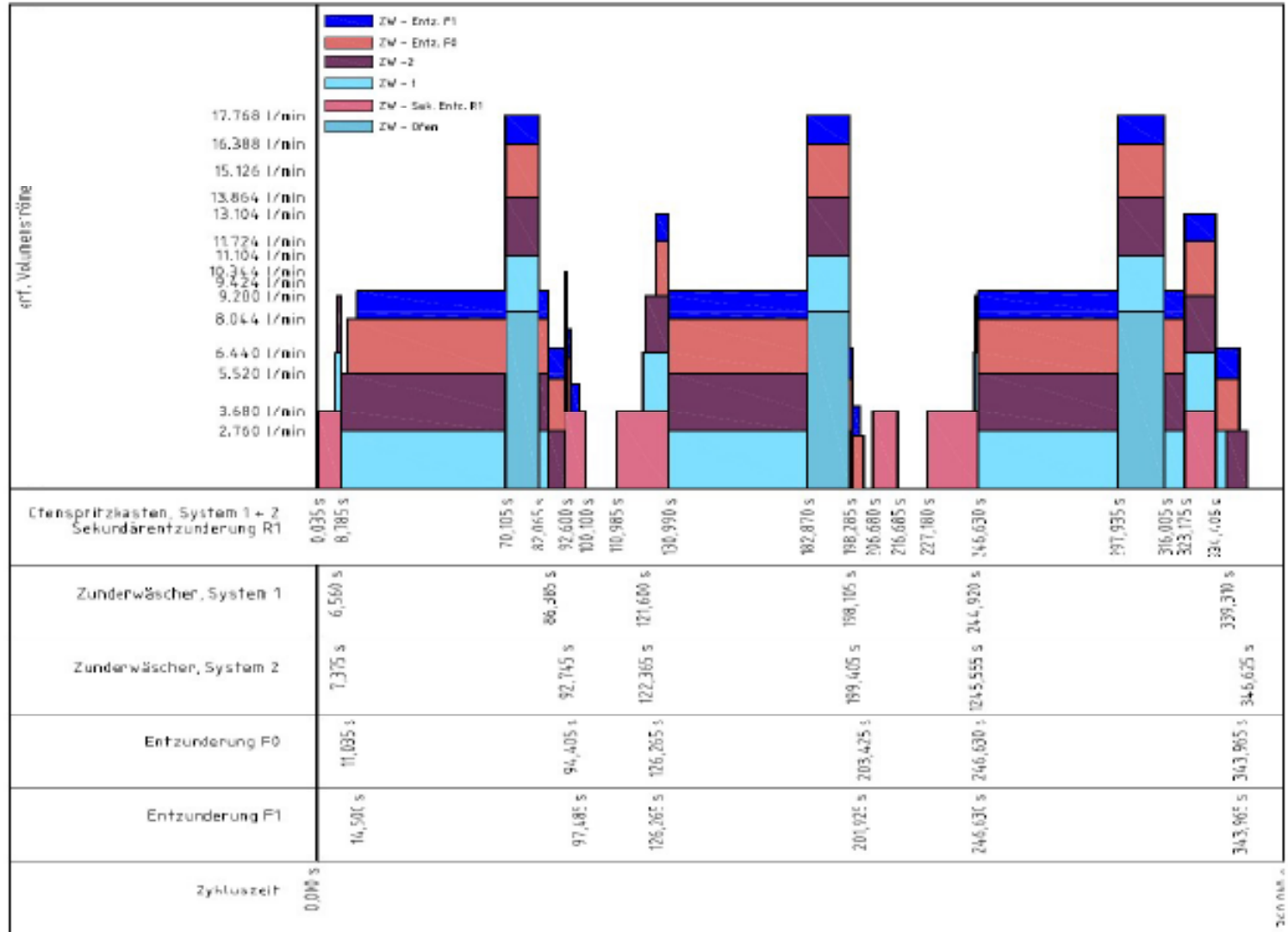
Seite 8 von 39

[m³/h] Entzunderung WBW1. Neuauslegung der Wassermengen bei 120 bar am Beispiel 31.1.10, 6:28 Uhr bis 6:34 Uhr



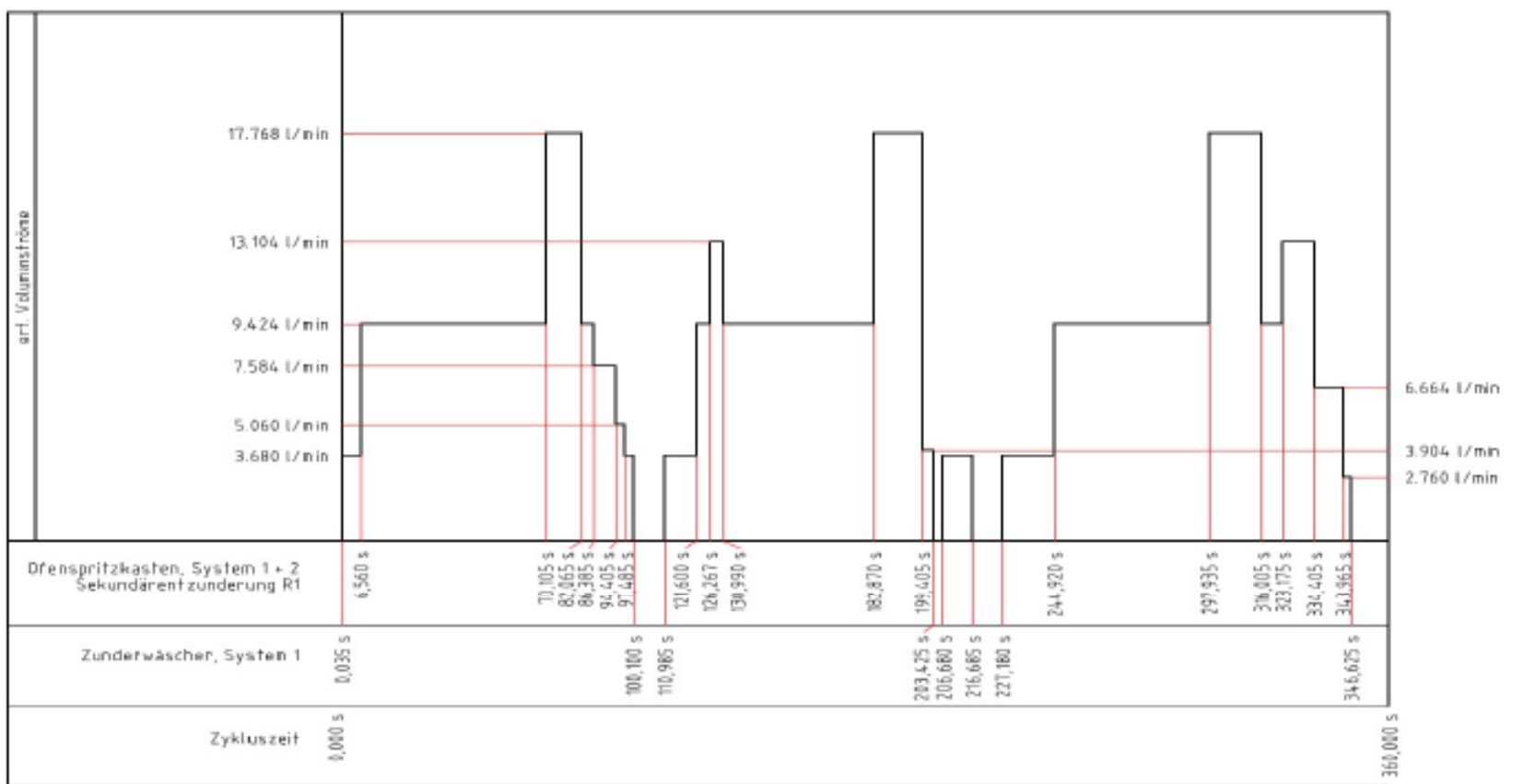


Entzunderungsanlage in einer Warmbandstraße – Wassermengen bei 120 bar





Entzunderungsanlage in einer Warmbandstraße – Wassermengen bei 120 bar



21 Zeitintervalle der Wasserentnahme bilden die Grundlage für die Erstellung der Pumpen – Düsen Diagramme





Pumpen – Düsen Diagramm Zeitintervall 2

Pumpen Daten HGC 4/10:

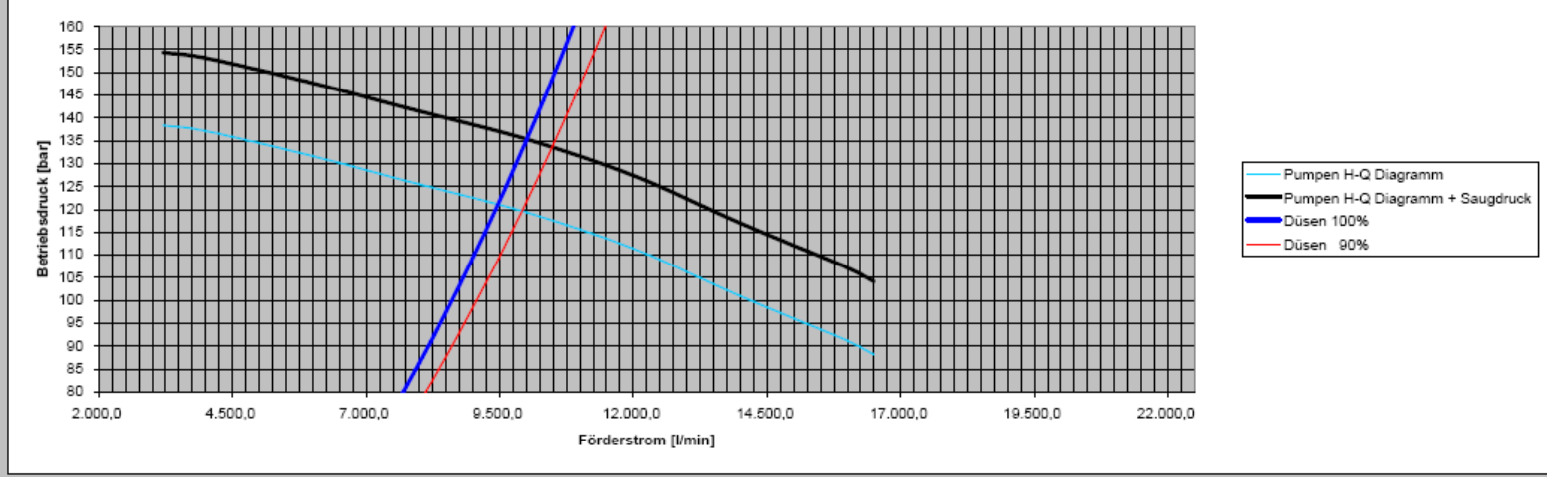
Förderstrom	m³/h	64	80	120	160	200	240	280	320	330
	l/min	1.066,7	1.333,3	2.000,0	2.666,7	3.333,3	4.000,0	4.666,7	5.333,3	5.500,0
Förderhöhe	m	1.412,5	1.400,0	1.343,8	1.281,3	1.218,8	1.137,5	1.031,3	931,3	900,0
	bar	138,3	137,1	131,6	125,5	119,4	111,4	101,0	91,2	88,1
Saugdruck	bar	16								
Betriebsdruck	bar	154,3	153,1	147,6	141,5	135,4	127,4	117,0	107,2	104,1

Zeitintervall 2 (6.560 s - 70.105 s)

Anzahl Betriebspumpe(n)		3								
Förderstrom gesamt		3.200,0	4.000,0	6.000,0	8.000,0	10.000,0	12.000,0	14.000,0	16.000,0	16.500,0
Düse 666.726	Düsenanzahl:	28	Durchfluß pro Düse:		45,00 l/min	Δp:	100,00 bar	Δp-10%:	90,00 bar	
Düse 644.727	Düsenanzahl:	112	Durchfluß pro Düse:		45,00 l/min	Δp:	100,00 bar	Δp-10%:	90,00 bar	
Düse 694.806	Düsenanzahl:	32	Durchfluß pro Düse:		72,00 l/min	Δp:	100,00 bar	Δp-10%:	90,00 bar	
Düse 6 **.886	Düsenanzahl:	0	Durchfluß pro Düse:		112,00 l/min	Δp:	100,00 bar	Δp-10%:	90,00 bar	
Betriebsdruck	bar	14	22	49	86	135	195	265	346	368
Betriebsdruck-10%	bar	12	19	44	78	122	175	238	311	331



Pumpen - Düsen Diagramm





Energieeffizienz in Warmbandstraßen – Hochleistungsentzunderung mit Druckspeicherstationen

- Gliederung -

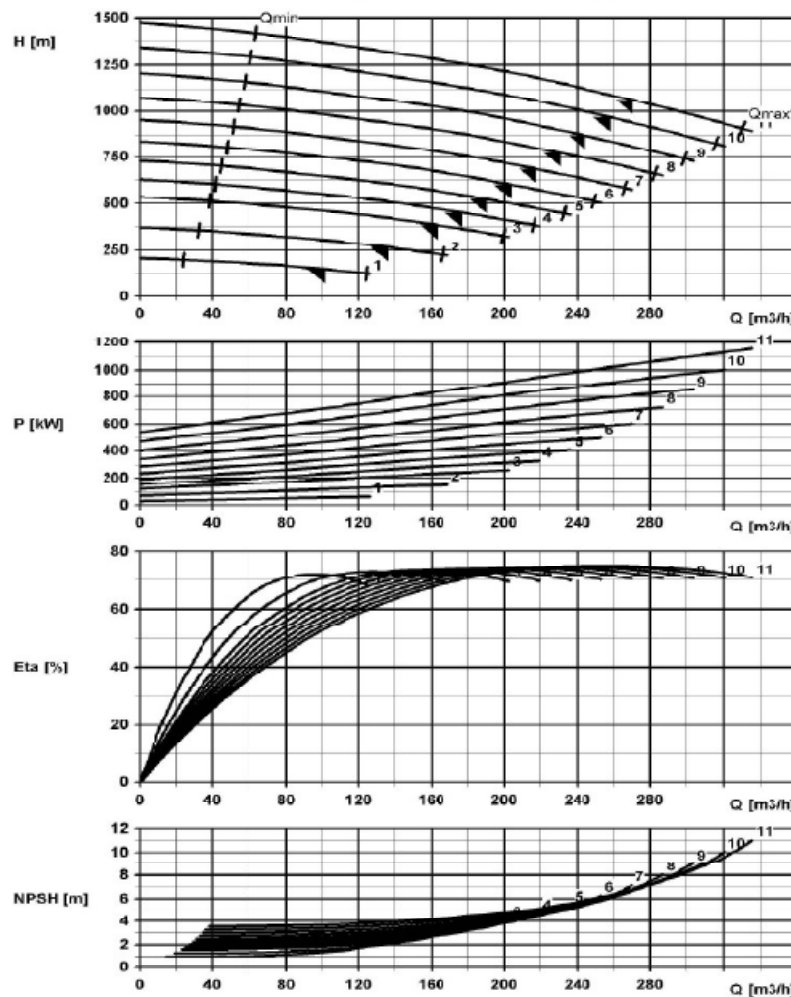
1. Aufgabenstellung
2. Ermittlung der hydraulischen Leistungssteigerung
3. Einsatz der mehrstufigen KSB Hochdruck Kreiselpumpe HGC 4/6
4. Auslegung der Druckwasserversorgung mit und ohne Speicherstation
- 5. Dimensionierung der Pumpstation mit und ohne Speicherstation**
6. Gegenüberstellung der beiden Anlagenkonzepte mit Kosten





Kennwort NULL	Pos.-Nr.	Datum 25.8.2010	Seite 1
Projekt-Nr. 4001293603	Revision C0	Hydraulik HG 4/10 8,51S 8,1,3	
Typ - Größe HG 4/10		Temperatur [°C] 20	Dichte [kg/m³] 998,3

- Drehzahlen
- 1: 1122 [1/min]
 - 2: 1500 [1/min]
 - 3: 1800 [1/min]
 - 4: 1950 [1/min]
 - 5: 2100 [1/min]
 - 6: 2250 [1/min]
 - 7: 2400 [1/min]
 - 8: 2550 [1/min]
 - 9: 2700 [1/min]
 - 10: 2850 [1/min]
 - 11: 2985 [1/min]



Dimensionierung Pumpstation bei einem direkten Pumpenantrieb ohne Hochdruck-Speicherstation

Die Auswertung der 21 Düsendiagramme hat ergeben, dass für den Betrieb max. 4 mehrstufige Kreiselpumpen vom Typ HGC 4/10 erforderlich sind.

Von den 4 Betriebspumpen sind 2 Pumpen mit konstanter Drehzahl und 2 Pumpen mit einer Drehzahlregelung zu betreiben.

Eine Drehzahlregelung kann zur Leistungsreduzierung genutzt werden während die Mindestmenge abgeführt werden muss.



Zeitintervall	Anzahl Betriebs-pumpen	Leistung [kW] pro Pumpe	Anzahl Pumpe(n) mit Mindestmengen-förderung	Leistung [kW] pro Pumpe	Energie-bedarf [kWh]
1 (6,525 s)	2	735	2	485	4,4
2 (63,545 s)	3	883	1	485	55,3
3 (11,960 s)	4	725	0	-	9,6
4 (4,320 s)	3	883	1	485	3,8
5 (8,020 s)	2	917	2	485	6,2
6 (3,080 s)	2	684	2	485	2,0
7 (2,615 s)	2	742	2	485	1,8
(10,885 s)	0	-	4	485	5,9
8 (10,615 s)	2	735	2	485	7,2
9 (4,667 s)	3	883	1	485	4,1
10 (4,723 s)	3	1.000	1	405	4,6
11(51,880 s)	3	883	1	485	45,2
12(16,535 s)	4	725	0	-	13,3
13 (4,020 s)	2	758	2	485	2,8
(3,255 s)	0	-	4	485	1,8
14(10,005 s)	2	735	2	405	6,0
(10,495 s)	0	-	4	485	5,7
15(17,740 s)	2	735	2	485	12,0
16(53,015 s)	3	883	1	485	46,2
17(18,070 s)	4	725	0	-	9,6
18 (7,170 s)	3	803	1	405	6,2
19(11,230 s)	3	1.000	1	485	4,6
20 (9,560 s)	3	883	1	485	8,3
21 (2,660 s)	2	684	2	485	1,7
(13,410 s)	0	-	4	485	7,2
360 s	Gesamt				276,3

Energiebedarf Pumpstation bei einem direkten Pumpen-antrieb ohne Hochdruck-Speicherstation

Dargestellt ist die Auswertung der 21 Pumpendiagramme



Energiebedarf Pumpstation bei einem direkten Pumpenantrieb mit Hochdruck-Speicherstation

Zeitintervall	Anzahl Betriebspumpen	Leistung [kW] pro Pumpe	Anzahl Pumpe(n) mit Mindestmengenförderung	Leistung [kW] pro Pumpe	Energiebedarf [kWh]
1 (10,000 s)	1	1.070	1	485	4,3
2 (80,000 s)	2	1.070	0	-	47,6
3 (30,000 s)	1	1.070	1	485	13,0
4 (90,000 s)	2	1.070	0	-	53,5
5 (40,000 s)	1	1.070	1	485	17,3
6(110,000 s)	2	1.070	0	-	65,4
360 s	Gesamt				201,1

Die Änderung des Förderstromes, verursacht durch die während des Betriebes hervorgerufene Druckabsenkung, wurde berücksichtigt, indem ein arithmetischer Mittelwert zwischen dem Förderstrom bei 110 bar und 120 bar gebildet wurde.

Die Berechnung ergab, dass für einen Betrieb mit Hochdruck-Speicherstation zwei Betriebspumpen erforderlich sind.

Von den zwei Betriebspumpen ist eine Pumpe mit konstanter Drehzahl und die zweite Pumpe mit einer Drehzahlregelung zur Abdeckung der Förderstromspitzen zu betreiben.



Energiebedarf Pumpstation bei einem direkten Pumpenantrieb mit Hochdruck-Speicherstation

Zeitintervall	Anzahl Betriebspumpen	Leistung [kW] pro Pumpe	Anzahl Pumpe(n) mit Mindestmengenförderung	Leistung [kW] pro Pumpe	Energiebedarf [kWh]
1 (10,000 s)	1	1.070	1	485	4,3
2 (80,000 s)	2	1.070	0	-	47,6
3 (30,000 s)	1	1.070	1	485	13,0
4 (90,000 s)	2	1.070	0	-	53,5
5 (40,000 s)	1	1.070	1	485	17,3
6(110,000 s)	2	1.070	0	-	65,4
360 s	Gesamt				201,1

Für den Betrieb der Anlage zwischen dem oberen Betriebsdruck von 120 bar und dem unteren Betriebsdruck von 110 bar weist das Speicher-Auslegungsprogramm ein Gesamtvolumen von 70.000 Liter aus.

Aufgeteilt auf vier Druckbehälter ergibt sich damit ein Druckbehältervolumen von 17.500 Liter pro Druckbehälter.





Energiebedarf Pumpstation bei einem direkten Pumpenantrieb mit Hochdruck-Speicherstation – Diagramm der Volumenströme





Energieeffizienz in Warmbandstraßen – Hochleistungsentzunderung mit Druckspeicherstationen

- Gliederung -

1. Aufgabenstellung
2. Ermittlung der hydraulischen Leistungssteigerung
3. Einsatz der mehrstufigen KSB Hochdruck Kreiselpumpe HGC 4/6
4. Auslegung der Druckwasserversorgung mit und ohne Speicherstation
5. Dimensionierung der Pumpstation mit und ohne Speicherstation
6. **Gegenüberstellung der beiden Anlagenkonzepte mit Kosten**





Vergleich der Anlagenkonzepte

Technische Daten	Anlagenkonzept	
	OHNE Speicherstation	MIT Speicherstation
Hardware		
Betriebspumpen	4	2
	2 mit fester Drehzahl 2 mit regelbarer Drehzahl	1 mit fester Drehzahl 1 mit regelbarer Drehzahl
Hochdruck-Speicherstation bestehend aus		
Akku-Schnellschluß-Ventil	-	1
Absperrventil	-	1
Druckbehälter (17.500l)	-	4
Niveaustandserfassung	-	1
Hochdruckkompressor	-	2 - 3
Verrohrung (Wasser)	-	1
Verrohrung (Luft)	-	1
Sicherheitsventil	-	1 - 2
Betriebsdruck	120 – 147 bar	110 - 120 bar





Kostenvergleich

Kosten	Anlagenkonzept	
	OHNE Speicherstation	MIT Speicherstation
Energiebedarf pro 360 s Zyklus	276,3 kWh	201,1 kWh
Energiekosten pro 360 s Zyklus bei 7 Cent / kWh	19,34 €	14,08 €
Energiekosten pro Jahr bei 8.000 h / Jahr	1.547.200 €	1.126.400 €

Diese Kostenaufstellung zeigt, dass die jährlichen Energiekosten bei einem Anlagenkonzept mit Speicherstation um 420.800 € oder 27% niedriger liegen als bei einem Konzept ohne Speicherstation.





Energievergleich

Der Jahresenergieeinsparung bei der Lösung mit Speicherstation beträgt:

$$(276,3 - 201,1) \frac{kWh}{Walzyklus} \cdot 80000 \frac{Walzyklen}{Jahr} = 6016 \frac{MWh}{Jahr}$$

Durch den Einbau der Druckspeicherstation wird ein erheblicher Beitrag zur energieeffizienten Warmbänderzeugung geleistet.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

