

Energiebedarf von Melk- und Kühlanlagen

Schriftenreihe, Heft 1/2015



Energiebedarf von konventionellen Melkanlagen und Gesamtenergieeffizienz von Anlagen zur Kühlung von Milch

Renè Pommer

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Energiebedarf von konventionellen Melkanlagen	7
2.1	Material und Methoden	7
2.2	Ergebnisse der Energiebedarfsermittlung von konventionellen Melksystemen	8
2.3	Ableitung von Modellen zum Energiebedarf konventioneller Melksysteme	9
2.3.1	Grundlagen der Kalkulation	9
2.3.2	Ergebnisse	12
3	Gesamtenergieeffizienz von Anlagen zur Kühlung von Milch	16
3.1	Material und Methoden	16
3.2	Ergebnisse der Energiebedarfsermittlung von Milchkühlanlagen	18
3.2.1	Sommermessungen	18
3.2.2	Wintermessungen.....	23
3.3	Ableitung von Modellen zum Energiebedarf Milchkühlanlagen	24
3.3.1	Grundlagen der Kalkulation	24
3.3.2	Ergebnisse	26
4	Zusammenfassung	28
4.1	Energiebedarf Melken	28
4.2	Energiebedarf Kühlen.....	29
	Anlage 1: Dokumentation der einzelnen Untersuchungsbetriebe Melken (1A bis 1J)	30
	Anlage 2: Dokumentation der einzelnen Untersuchungsbetriebe Kühlen (2A bis 2H)	50
	Literaturverzeichnis	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Energiebedarf einzelner Komponenten der Fischgräten- und Side-by-side-Melkstände in Prozent	15
Abbildung 2:	Prinzip der begrifflichen Abgrenzung am Beispiel einer Direktkühlung mit Wärmerückgewinnung.....	17
Abbildung 3:	Spezifischer Energiebedarf der Kälteaggregate in Abhängigkeit von der Zulufttemperatur am Verflüssiger im Betrieb A.....	22
Abbildung 4:	Spezifischer Energiebedarf der Kälteaggregate beider Messreihen, korrigiert auf 10 °C in Abhängigkeit von der Milchmenge	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Energiebedarf unterschiedlicher Melksysteme im Praxiseinsatz	8
Tabelle 2:	Grundannahmen für alle Modelle	9
Tabelle 3:	Herdengrößen und spezielle Ausstattungsmerkmale der einzelnen Modelle	10
Tabelle 4:	Gemessene Arbeitszeit im Prozessabschnitt der Milchgewinnung mit verschiedenen Melksystemen	11
Tabelle 5:	Ergebnisse der Energiebedarfskalkulation Milchgewinnung Fischgräten- und Side-by-side-Melkstände	13
Tabelle 6:	Ergebnisse der Energiebedarfskalkulation Milchgewinnung Fischgräten- und Side-by-side-Melkstände mit einfachem Melkzeugbesatz (Swing-over)	14
Tabelle 7:	Ergebnisse der Energiebedarfskalkulation Milchgewinnung Tandemmelkstände	14
Tabelle 8:	Ergebnisse der Energiebedarfskalkulation Milchgewinnung Karussellmelkstände	14
Tabelle 9:	Charakteristik der Untersuchungsbetriebe	18
Tabelle 10:	Tankauslastung	19
Tabelle 11:	Elektrische Arbeit und Wärmeenergiebedarf der Milchkühlanlagen je Abholung, gestaffelt nach Art der Verbraucher (Sommer)	19
Tabelle 12:	Nutz-Kälteenergie der Milchkühlanlagen je Abholung	20
Tabelle 13:	In Wasser übertragene Wärmemenge in Anlagen mit Wärmerückgewinnung	20
Tabelle 14:	Ergebnisübersicht der Praxismessungen	21
Tabelle 15:	Temperaturen des Kältemittels vor und nach dem Verflüssiger	23
Tabelle 16:	Elektrische Arbeit und Wärmeenergiebedarf der Milchkühlanlagen je Abholung, gestaffelt nach Art der Verbraucher (Winter)	23
Tabelle 17:	Spezifischer Energiebedarf der Kältemaschinen im Sommer und Winter sowie Zulufttemperaturen	24
Tabelle 18:	Ausgewählte Ergebnisse der Modellberechnungen – Direktkühlung	26
Tabelle 19:	Ausgewählte Ergebnisse der Modellberechnungen – Eiswasserkühlung	27
Tabelle 20:	Ausgewählte Ergebnisse der Modellberechnungen – Direktkühlung mit Vorkühler	28

Abkürzungsverzeichnis

AEL	Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft
AKmin	Arbeitskraftminute
AMS	Automatisches Melksystem
DWD	Deutscher Wetterdienst
lakt.	laktierend
MVA	Milchviehanlage
R+D	Reinigung und Desinfektion
ZKZ	Zwischenkalbezeit
WRG	Wärmerückgewinnung

1 Einleitung

Der sparsame Einsatz von Energie ist nicht nur eine umweltpolitische Zielstellung, vielmehr ist er für landwirtschaftliche Unternehmen von wachsender betriebswirtschaftlicher Bedeutung. Das Ziel des Vorhabens bestand darin, praxisübliche Energieeffizienzwerte der Milchgewinnung mit konventionellen Melkanlagen und der Milchkühlung zu ermitteln, Kalkulationsmodelle abzuleiten und damit Milchviehbetrieben eine Orientierungshilfe zu geben.

Das Vorhaben wurde durch das KTBL-Arbeitsprogramm Kalkulationsunterlagen gefördert.

2 Energiebedarf von konventionellen Melkanlagen

2.1 Material und Methoden

Die Ermittlung des Energiebedarfes im Prozessabschnitt der Milchgewinnung erfolgte in unterschiedlich großen Milchviehbetrieben mit den folgenden Melkstandformen:

- Melkkarussell Innenmelker (Kar IM)
- Melkkarussell Außenmelker (Kar AM)
- Side-by-side-Melkstand (SbS)
- Fischgrätenmelkstand (FGM)
- Tandemmelkstand (Tandem)

Zum Zweck der Ermittlung der elektrischen Arbeit der Melksysteme wurden alle systemrelevanten Stromverbraucher dokumentiert und deren Nennleistungen sowie Auslastungsparameter wie Betriebsstunden, Tierzahlen, Gemelke, Milchmenge erfasst. Einbezogen wurden auch die jeweils vorhandenen Hilfseinrichtungen wie automatische Kuhreiber, Ventilatoren und die Beleuchtung im Vorwarte Hof.

Zur Validierung der theoretisch ermittelten elektrischen Arbeit wurden bereits vorliegende Daten aus dem Projekt „Nutzung automatischer Melksysteme in der sächsischen Milchproduktion“ genutzt. In begrenztem Umfang erfolgten weitere Messungen. Die Messergebnisse wurden unter Einbeziehung der Hersteller und Betreiber auf Plausibilität geprüft.

Weiterhin wurde der Warmwasserbedarf ermittelt. Dieser beinhaltet neben der Melkanlagenspülung auch den Bedarf von Sonderausstattungen (z. B. Melkzeugzwischendesinfektion) und den manuellen Bedarf über Euerduschen und Schläuche.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen und unter Einbeziehung von Richtwerten wurden für verschiedene Melksysteme und Bestandsgrößen Modelle zum Energiebedarf abgeleitet.

2.2 Ergebnisse der Energiebedarfsermittlung von konventionellen Melksystemen

Der ermittelte Energiebedarf je Gemelk lag in den untersuchten Melkanlagen zwischen 0,18 und 0,49 kWh. Er schwankt erheblich in Abhängigkeit von der Auslastung und den Ausstattungsmerkmalen einer Melkanlage. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse. In Anlage 1 dieses Berichts werden die einzelnen Messergebnisse, Energieverbraucher sowie deren Anschlusswerte und Laufzeiten der Betriebe dargestellt.

Tabelle 1: Energiebedarf unterschiedlicher Melksysteme im Praxiseinsatz

Melkstand	Melkplätze	Kuhzahl	Gemelke/(Kuh*d)	Energiebedarf		
				kWh/Tag	kWh/(Kuh*a)	kWh/Gemelk
Tandem 2 x 4	8	146	2,00	154	154	0,24
FGM 2 x 5	10	62	2,00	46	270	0,42
FGM 2 x 10	20	291	3,00	177	249	0,23
FGM 2 x 18	36	825	2,87	446	197	0,22
SbS 2 x 16	32	655	2,00	557	310	0,49
SbS 2 x 24	48	1.344	2,00	466	127	0,19
Karusell IM	18	255	2,00	115	165	0,26
Karusell IM	24	482	2,00	213	162	0,25
Karusell IM	40	1.419	3,00	647	167	0,18
Karusell AM	40	529	2,77	285	196	0,23

Der größte Stromverbraucher einer Melkanlage ist in der Regel die Vakuumpumpe. Alle betrachteten Anlagen halten bei der Bemessung des Luftdurchflusses gegenüber den Anforderungen der DIN ISO 5707 „Melkanlagen“ mehr oder weniger stark vor. Mit Ausnahme des Tandem-Melkstandes kamen in allen Anlagen bereits sparsame frequenzgesteuerte Pumpen zum Einsatz. Diese wiesen in unterschiedlichen Anlagen einen Auslastungsfaktor zwischen 37 und 70 % auf.

Ein Grund für große Differenzen im Energieverbrauch der Melksysteme ist ihr unterschiedlicher Druckluftbedarf. Ursachen sind die unterschiedliche Ausstattung mit Druckluftverbrauchern und deren Wartungszustand. In einigen Betrieben laufen die Kompressoren ähnlich lang wie die Vakuumpumpe. So verursacht beispielsweise allein die Melkzeugzwischendesinfektion des SbS 2 x16 eine elektrische Arbeit von 0,05 kWh je Gemelk.

Beachtliche Unterschiede im Energiebedarf resultieren aus der im Melkprozess eingesetzten Warmwassermenge und den Verfahren der Wassererwärmung. Warmes Wasser wird nicht nur zum Spülen des Melkstandes verwendet, sondern auch über Euterduschen, zur Melkzeugzwischendesinfektion sowie weiteren Wasch- und Reinigungsarbeiten. Die erforderliche Wärmeenergie wird in den untersuchten Betrieben zu unterschiedlichen Anteilen aus Wärmetauschprozessen und elektrischem Strom gewonnen. Wo Abwärme aus Biogasanlagen quasi gratis zur Verfügung steht, wird mit warmem Wasser oft großzügig umgegangen. Systembedingte Unterschiede sind eher gering.

Weiterhin ist zu beachten, dass die betrachteten Melkanlagen sich hinsichtlich ihrer Sonderausstattung deutlich unterscheiden. In vielen Betrieben findet man Ventilatoren im Vorwarte- und Melkbereich, welche zwar zur Milchgewinnung nicht zwingend notwendig sind, den Kuhkomfort und damit die Leistungsbereitschaft aber verbessern. Hinzu können Heizgebläse, höhenverstellbare Melkflure und andere arbeitserleichternde Zusatzausstattungen kommen.

In gleichen Melkstandformen wurde sowohl mit zunehmender Bestandsgröße als auch mit zunehmender Melkstandgröße eine bessere Energieeffizienz festgestellt. So werden beispielsweise im 2 x 5 FGM 0,42 kWh je Gemelk benötigt, im 2 x 18 FGM nur 0,22. Ursache für diese Degression ist, dass sich feste Energiebedarfswerte, z. B. für die Spülung, auf eine unterschiedliche Anzahl Gemelke verteilen. Während der kleine Melkstand inkl. Spülung etwa 5 Stunden pro Tag in Betrieb ist und in dieser Zeit 122 Gemelke erzielt werden, erreicht der große Betrieb in 22 Betriebsstunden 2.368 Melkungen. Damit werden im großen Betrieb nicht nur absolut mehr Kühe gemolken, auch die Auslastung je Melkplatz ist mit 66 gegenüber 12 Gemelken deutlich höher. Die Spülung benötigt je Gemelk im kleinen Melkstand 1,45 l warmes Wasser, im Großen nur 0,61.

2.3 Ableitung von Modellen zum Energiebedarf konventioneller Melksysteme

2.3.1 Grundlagen der Kalkulation

Das Ziel der Modellkalkulationen besteht darin, für typische konventionelle Melksysteme Orientierungswerte für den Elektroenergiebedarf darzustellen. In Abhängigkeit von Auslastung, Bestandsgröße und Ausstattung sind in der Praxis deutliche Abweichungen möglich.

Als Grundlage für die Kalkulation wurden verschiedene Herdengrößen in Anlehnung an die Vorgaben zur Milchkühltechnik (Kap. 3) verwendet. Die in Tabelle 2 dargestellten Eckdaten wurden einheitlich für alle Modelle unterstellt.

Tabelle 2: Grundannahmen für alle Modelle

Kuhbestand insgesamt	60 bis 1.200
verk. Milchmenge/Kuh und Jahr	10.000
ZKZ	410
Trockenstehdauer	56
Melkintervall	2
mittleres Minutengemelk	2,0

Alle Melksysteme verfügen über eine automatische Melkzeugabnahme und Melkzeugzwischenreinigung. Das Dippen erfolgt grundsätzlich manuell. Nur die Außenmelkerkarusselle verfügen über eine vollautomatische Dippvorrichtung. Die Spülung nach dem Melken erfolgt mit einer Zirkulationsreinigung. Für die unterschiedlichen Melksysteme wurden folgende Herdengrößen und weiteren Ausstattungsmerkmale festgelegt:

Tabelle 3: Herdengrößen und spezielle Ausstattungsmerkmale der einzelnen Modelle

Melksystem	Milchkühe ges.	Vorwarte Hof	Schnellaustrieb
FGM 2 x 5	60	-	-
FGM 2 x 6	70	-	-
FGM 2 x 7	80	-	-
FGM 2 x 8	120	-	-
FGM 2 x 10	180	x	x
FGM 2 x 12	240	x	x
SbS 2 x 14	480	x	
SbS 2 x 16	480	x	
SbS 2 x 20	720	x	
SbS 2 x 24	720	x	
Sbs 2 x 30	1.200	x	
SbS 2 x 40	1.200	x	
FGM 1 x 10	120	-	-
FGM 1 x 12	180	x	x
FGM 1 x 14	240	x	x
SbS 1 x 16	480	x	
SbS 1 x 20	480	x	
SbS 1 x 24	720	x	
SbS 1 x 28	720	x	
Sbs 1 x 32	1.200	x	
SbS 1 x 40	1.200	x	
Tandem 2 x 4	70	-	
Tandem 2 x 5	120	x	
Kar IM 20	240	x	
Kar IM 24	480	x	
Kar IM 28	480	x	
Kar IM 36	720	x	
Kar AM 48	720	x	
Kar AM 60	1.200	x	
Kar AM 72	1.200	x	

Bei Systemen ohne Vorwarte Hof ist der Melkstand in den Stall integriert.

Die für das Melken notwendige Arbeitszeit stellt eine wichtige Basis für die Kalkulation der Laufzeiten der einzelnen Stromverbraucher dar. Sie wurde auf der Basis der einzelnen Taktzeiten berechnet.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass ein Melker bis zu 20 Melkzeuge bedient. Bei mehr als 20 Melkeinheiten wird unterstellt, dass eine „halbe Arbeitskraft“ hinzukommt, was in Praxis bedeutet, dass der Treiber zeitweise im Melkstand hilft. Im 2 x 40 SbS werden drei Arbeitskräfte unterstellt.

In eigenen Untersuchungen (2013) wurden die in Tabelle 4 dargestellten Arbeitszeiten ermittelt. Die kalkulierten Arbeitszeiten stimmen gut mit den gemessenen überein.

Tabelle 4: Gemessene Arbeitszeit im Prozessabschnitt der Milchgewinnung mit verschiedenen Melk-systemen

	FGM 2 x 5	FGM 2 x 5	Kar. IM 24	Kar. AM 40	SbS 2 x 16	FGM 2 x 18	SbS 2X 24	Kar. IM 40
Kuhzahl	60	52	482	529	655	825	1.258	1.419
Gemelke	100	91	837	1.391	1.132	1.978	2.148	3.513
Melkarbeitszeit AKmin/Gemelk								
Melkstand vorbereiten	0,060	0,061	0,037	0,025	0,024	0,023	0,022	0,027
Melken inkl. Service und techn. Wartezeiten	1,24	1,32	0,84	0,46	0,84	0,95	0,84	0,70
Nachbereitung Melkstand, Vor- und Nachwartebereich	0,44	0,99	0,49	0,23	0,31	0,14	0,10	0,07
Treiben zum Melkstand und zurück	0,16	0,43	0,37	0,19	0,22	0,34	0,18	0,13
Summe	1,89	2,81	1,74	0,91	1,39	1,45	1,14	0,92

Vakuumversorgung der Melkanlage

Nach DIN ISO 5707 „Melkanlagen“ (DIN e. V. 2007) wurde der zum Melken erforderliche Luftdurchfluss der Vakuumpumpe ermittelt, mit einem praxisüblichen Zuschlag für Spülung und Sonderausstattungen von einheitlich 25 % beaufschlagt und in Abstimmung mit Herstellerangaben der Anschlusswert der Vakuumpumpe festgelegt. Der Faktor für die Frequenzsteuerung beschreibt den verringerten Strombedarf, der sich aus der drehzahlangepassten Betriebsweise der Pumpe während des Melkens ergibt.

Die Spülung nach dem Melken folgt grundsätzlich dem gleichen Ablauf aus Vorspülung mit handwarmem Wasser zum Milchentfernen, Ringspülung mit heißer R+D-Lösung und Nachspülung mit kaltem Wasser. Weil sich aus der Anlagengröße kaum Unterschiede in der erforderlichen Dauer feststellen lassen, wird diese mit 2 x 30 min zusätzlicher Vollastlaufzeit je Tag unterstellt.

Milchpumpe

Die notwendige Milchpumpenleistung hängt nicht nur von der Anzahl der angeschlossenen Melkzeuge ab, sondern auch von den Druckverlusten, welche ihrerseits von Druckleitungslänge und -querschnitt, Anzahl und Gestaltung von Winkeln, Höhenunterschieden, Plattenkühler und Milchfilter beeinflusst werden. Eine exakte Berechnung der notwendigen Milchpumpenleistung wäre deshalb relativ aufwendig.

Vereinfacht wurden die Anschluss- und Förderleistungen der Milchpumpen in Anlehnung an Herstellerangaben festgelegt. Für die Summe der Druckverluste wird einheitlich mit einem Faktor von 60 % Förderleistung gerechnet.

Reinigung der Melkanlage

Neben der Elektroenergie für den Antrieb der Vakuumpumpe, welcher bereits berücksichtigt wurde, ist für die Spülung vor allem die Erhitzung von Wasser zu betrachten. Für die Modellkalkulation ist es notwendig, den Gesamtenergiebedarf zu ermitteln, wohl wissend, dass ein Teil dieses Bedarfes in der Praxis häufig aus preisgünstigen Wärmerückgewinnungsprozessen gedeckt werden kann. Der Wasserbedarf für die Spülung wurde in Anlehnung an das AEL Merkblatt 25/97 kalkuliert. Unterstellt wurde dabei einheitlich, dass die Melkanlagen über eine Milchmengenmessung verfügen, nicht aber über sonstige in die Ringspülung einzubindende Zusatzausrüstung, z. B. Plattenkühler. Weiterhin wird einheitlich unterstellt, dass eine einmalige Erwärmung der Wassermenge für die Zirkulationsreinigung auf 85 °C ausreicht, um die geforderte Rücklauftemperatur von 40 °C während der gesamten Zeit der Zirkulationsreinigung zu gewährleisten.

Beleuchtung im Melkstand

Zur Ableitung des Energiebedarfes für die Beleuchtung des Melkstandes einschließlich Vorwartebereich, Zu- und Abtrieb wird einheitlich eine installierte Leistung von 80 W je Melkplatz unterstellt. Die Beleuchtungsdauer entspricht der Melkzeit.

Druckluft

In modernen Melkständen ist für zahlreiche Teilprozesse der Einsatz von Druckluft erforderlich. Neben dem Öffnen und Schließen von Toren stellt der Druckluftbedarf der Melkzeugzwischeninfektion eine entscheidende Größe dar. Die Variabilität ist dabei sehr groß und hängt wesentlich ab von Leitungsquerschnitten und den programmierten Abläufen. In eigenen Untersuchungen an verschiedenen Melkanlagen in den Jahren 2010 bis 2012 wurden Elektrische Arbeiten von 14,7 bis 65,0 Wh/Gemelk gemessen. Für die Kalkulation des Bedarfes wird ein einheitlicher Bedarf von 20 Wh je Gemelk unterstellt.

Warmwasser für Euterduschen

Zum Warmwasserverbrauch der Euterduschen gehört all jenes Wasser, welches zu Reinigungszwecken während des Melkprozesses im Melkstand eingesetzt wird (Standfläche, Geräte, ggf. Euter). Üblicherweise werden dafür die Euterduschen mit etwa 37 °C warmem Wasser benutzt. Für die Kalkulation wird ein Wert von 0,5 l je Gemelk unterstellt. Der Bedarf weiterer Stromverbraucher wurde mit Laufzeit mal praxisüblicher Anschlussleistung kalkuliert.

2.3.2 Ergebnisse

In den Tabellen 5 bis 8 sind die Ergebnisse der einzelnen Modellberechnungen dargestellt. Weitere Werte können in den EXCEL-Kalkulationen „Energiekalkulation_FGM_Sbs.xls“ und „Energiekalkulation_Kar.xls“ im Internet unter <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/34368.htm> eingesehen und teilweise variiert werden.

Tabelle 5: Ergebnisse der Energiebedarfskalkulation Milchgewinnung Fischgräten- und Side-by-side-Melkstände

Melkstand	lakt. Kühe	VP*	MP	WW Sp	Licht	DL	WW ED	Summe Energie Melken kWh je			
								kWh/d			
FGM 2 x 5	52	8,4	0,9	17,8	2,7	2,1	1,6	33,5	0,32	203,7	20,4
FGM 2 x 6	60	8,9	1,4	21,3	3,6	2,4	1,9	39,5	0,33	205,9	20,6
FGM 2 x 7	69	12,5	1,5	24,8	4,5	2,8	2,2	48,2	0,35	220,1	22,0
FGM 2 x 8	104	15,6	1,8	28,2	6,8	4,1	3,3	59,8	0,29	182,0	18,2
FGM 2 x 10	155	19,1	2,3	46,4	10,9	6,2	4,9	89,8	0,29	182,1	18,2
FGM 2 x 12	207	31,8	2,7	53,4	16,5	8,3	6,5	119,1	0,29	181,1	18,1
SbS 2 x 14	414	37,6	4,2	64,4	21,6	16,6	13,0	157,4	0,19	119,7	12,0
SbS 2 x 16	414	38,4	4,2	81,2	24,1	16,6	13,0	177,5	0,21	135,0	13,5
SbS 2 x 20	622	49,4	10,3	102,7	32,0	24,9	19,5	238,8	0,19	121,0	12,1
SbS 2 x 24	622	52,6	10,3	124,1	38,1	24,9	19,5	269,5	0,22	136,6	13,7
Sbs 2 x 30	1036	69,4	15,7	155,6	49,0	41,4	32,5	363,8	0,18	110,6	11,1
SbS 2 x 40	1036	94,0	15,7	200,6	66,7	41,4	32,5	451,1	0,22	137,2	13,7

*VP - Vakuumpumpe; MP – Milchpumpe; WW Sp - Warmwasser für Spülung; Licht - Beleuchtung Melkstand; DL – Kompressoren für Druckluftherzeugung; WW ED - Warmwasser für Euterduschen etc.

Tabelle 6: Ergebnisse der Energiebedarfskalkulation Milchgewinnung Fischgräten- und Side-by-side-Melkstände mit einfachem Melkzeugbesatz (Swing-over)

Melkstand	lakt. Kühe	VP*	MP	WW Sp	Licht	DL	WW ED	Summe Energie Melken kWh je			
								Tag	Gemelk	Kuh * a	t Milch
		kWh / Tag									
FGM 1 x 10	104	14,6	1,3	17,8	8,0	4,1	3,3	49,1	0,24	149,4	14,9
FGM 1 x 12	155	17,2	2,3	32,6	11,6	6,2	4,9	74,9	0,24	151,8	15,2
FGM 1 x 14	207	29,3	2,8	36,0	17,1	8,3	6,5	100,1	0,24	152,2	15,2
SbS 1 x 16	414	49,7	4,8	44,3	33,5	16,6	13,0	161,9	0,20	123,1	12,3
SbS 1 x 20	414	48,2	4,8	57,7	41,4	16,6	13,0	181,6	0,22	138,1	13,8
SbS 1 x 24	622	62,6	5,8	71,3	45,8	24,9	19,5	229,9	0,18	116,6	11,7
SbS 1 x 28	622	63,0	5,8	84,9	54,6	24,9	19,5	252,7	0,20	128,1	12,8
Sbs 1 x 32	1.036	101,7	8,9	98,5	94,8	41,4	32,5	377,8	0,18	114,9	11,5
SbS 1 x 40	1.036	89,8	15,7	119,9	87,6	41,4	32,5	387,0	0,19	117,7	11,8

*VP - Vakuumpumpe; MP – Milchpumpe; WW Sp - Warmwasser für Spülung; Licht - Beleuchtung Melkstand; DL – Kompressoren für Druckluftherzeugung; WW ED - Warmwasser für Euterduschen etc.

Tabelle 7: Ergebnisse der Energiebedarfskalkulation Milchgewinnung Tandemmelkstände

Melkstand	lakt. Kühe	VP*	MP	WW Sp	Licht	DL	WW ED	Summe Energie Melken kWh je			
								Tag	Gemelk	Kuh * a	t Milch
		kWh / Tag									
Tandem 2 x 4	60	7,6	0,9	11,7	2,7	2,4	1,9	27,3	0,23	142,2	14,2
Tandem 2 x 5	120	13,9	1,3	22,8	5,0	4,1	3,3	50,4	0,24	153,3	15,3

*VP - Vakuumpumpe; MP – Milchpumpe; WW Sp - Warmwasser für Spülung; Licht - Beleuchtung Melkstand; DL – Kompressoren für Druckluftherzeugung; WW ED - Warmwasser für Euterduschen etc.

Tabelle 8: Ergebnisse der Energiebedarfskalkulation Milchgewinnung Karussellmelkstände

Melkstand	lakt. Kühe	VP*	MP	WW Sp	Licht	DL	Antr	WW ED	Dipp	Summe Energie Melken kWh je			
										Tag	Gemelk	Kuh * a	t Milch
		kWh/Tag											
Kar IM 20	207	21,7	2,8	35,2	12,4	8,3	1,4	6,5		88,2	0,21	134,2	13,4
Kar IM 24	414	49,3	4,2	42,1	25,5	16,6	2,8	13,0		153,5	0,19	116,7	11,7
Kar IM 28	414	47,8	4,2	49,0	29,5	16,6	2,7	13,0		162,9	0,20	123,8	12,4
Kar IM 36	622	48,2	5,8	75,1	27,7	24,9	2,1	19,5		203,3	0,16	103,1	10,3
Kar AM 48	622	39,0	10,3	106,8	28,1	24,9	1,5	19,5	11,5	241,7	0,19	122,5	12,3
Kar AM 60	1.036	53,0	15,7	148,5	36,9	41,4	1,8	32,5	13,3	343,3	0,17	104,4	10,4
Kar AM 72	1.036	61,5	15,7	183,5	46,1	41,4	1,8	32,5	13,3	395,9	0,19	120,4	12,0

*VP - Vakuumpumpe; MP – Milchpumpe; WW Sp - Warmwasser für Spülung; Licht - Beleuchtung Melkstand; DL – Kompressoren für Druckluftherzeugung; Antr - Antrieb Karussell; WW ED - Warmwasser für Euterduschen etc.; Dipp - Dipproboter

Im Ergebnis der Modellberechnungen kann festgestellt werden, dass sich mit zunehmender Bestandsgröße der Energiebedarf je Gemelk bzw. je Produkteinheit tendenziell verringert.

Die systembedingten Unterschiede sind gering. Im Wesentlichen begünstigen hohe Durchsatzleistungen einen niedrigeren Energiebedarf, wovon gut ausgelastete Karussellmelkstände leicht profitieren.

Am Beispiel der jeweils größten Melkstände wird deutlich, dass der Energiebedarf überproportional ansteigen kann, wenn eine Überdimensionierung zu einer suboptimalen Auslastung führt. Eine über die Annahmen hinausgehende Bestandserhöhung würde wieder einen sinkenden Energiebedarf je t Milch zur Folge haben.

Bei ökonomischen Betrachtungen muss beachtet werden, dass zwischen 35 bis fast 60 % des Gesamtenergiebedarfes zur Erwärmung von Wasser benötigt werden. Hierbei handelt es sich nicht zwangsläufig um Elektroenergie.

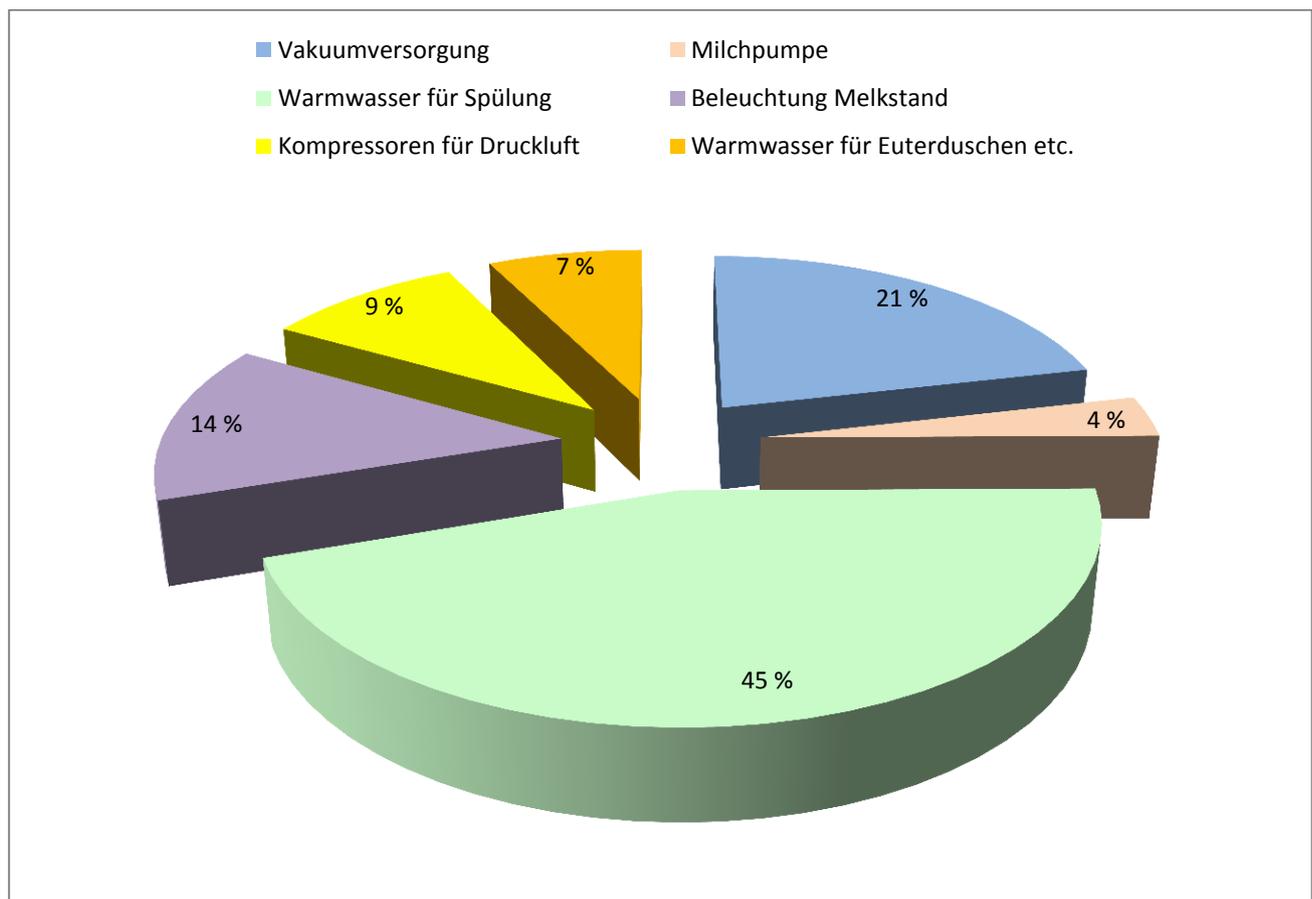


Abbildung 1: Energiebedarf einzelner Komponenten der Fischgräten- und Side-by-side-Melkstände in Prozent

3 Gesamtenergieeffizienz von Anlagen zur Kühlung von Milch

3.1 Material und Methoden

Messprogramm

Um die Energieeffizienz unterschiedlicher Kühlsysteme beurteilen zu können, ist es erforderlich, die elektrische Arbeit aller am Kälteprozess notwendigerweise beteiligten Stromverbraucher zu erfassen (vgl. Abbildung 2). Dies sind in der Regel

- die Verdichter der Kühlaggregate,
- die Ventilatoren am Verflüssiger der Kühlaggregate,
- die Rührwerke der Milchlagertanks (ohne die eine Lagerkühlung nicht steuerbar wäre) und
- bei Eiswasserkühlung zusätzlich die Eiswasser-Umwälzpumpen.

Wärmerückgewinnungsanlagen (WRG) sind mit dem Kältekreislauf der Kältemaschine technisch untrennbar verbunden. Kältemitteltemperatur und Druck sind auf die Bedürfnisse der WRG abgestimmt und beeinflussen den Energiebedarf der Kompressoren. Um die Gesamtenergieeffizienz einer Milchkühlanlage ermitteln zu können, ist es deshalb notwendig, die in Wasser übertragene Wärmeenergie und den zusätzlichen Strombedarf der Umwälzpumpen zu erfassen.

Die sachgerechte Reinigung und Desinfektion des Milchtanks (Tankspülung) ist für eine hygienische Milchlagerung unerlässlich. Wenngleich die für die Erwärmung von Spülwasser und den Betrieb der Spülpumpe erforderliche Energie nicht dem Kälteprozess anzulasten ist, muss sie in die Beurteilung der Gesamtenergieeffizienz von Milchkühlanlagen in die Betrachtungen einbezogen werden.

Platten- oder Rohrkühler zur Vorkühlung der Milch mit Brunnenwasser reduzieren die Vorlaufemperatur der Milch zum Kühl- und Lagertank. Sie sind jedoch für den Betrieb der Milchkühlanlage nicht essenziell. Deshalb ist der Energiebedarf der erforderlichen Wasserpumpe nicht in die Betrachtung der Gesamtenergieeffizienz des Kälteanlagen Gesamtsystems einzubeziehen.

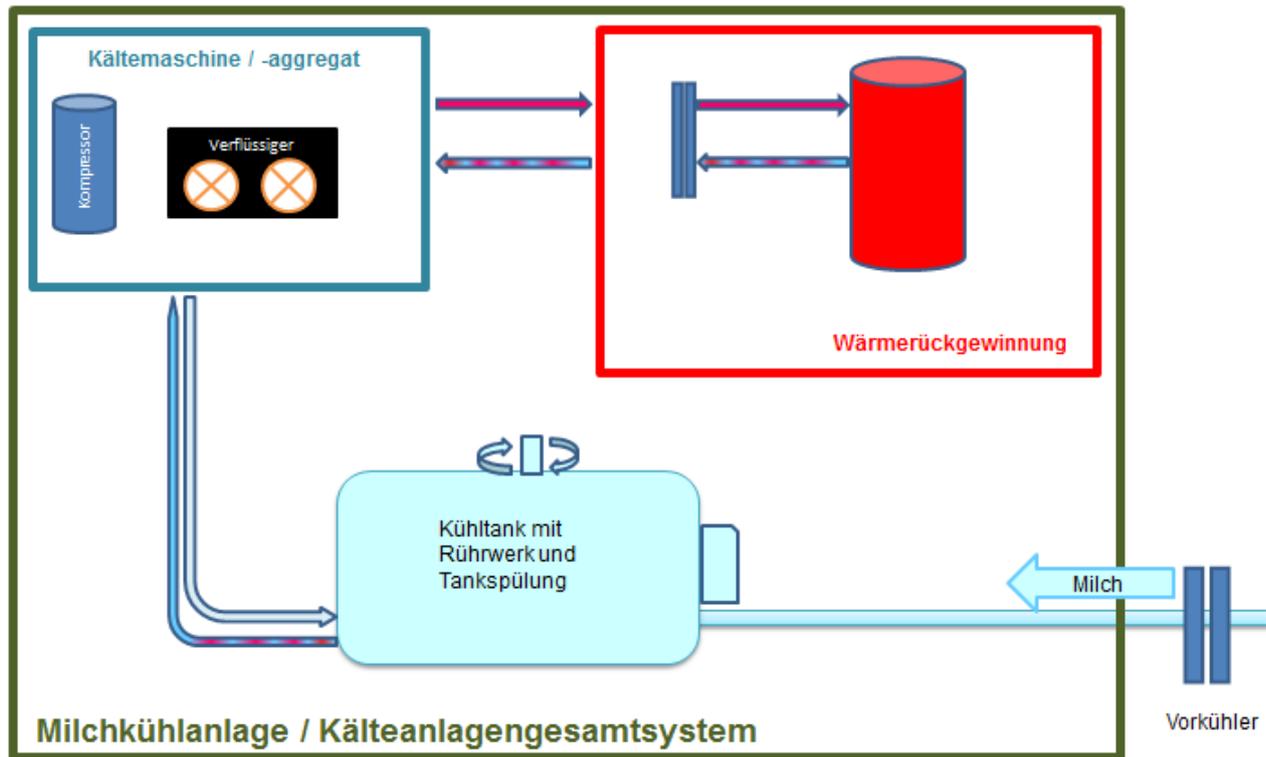


Abbildung 2: Prinzip der begrifflichen Abgrenzung am Beispiel einer Direktkühlung mit Wärmerückgewinnung

Im Einzelnen wurden die folgenden Parameter dokumentiert:

- Typ, Nennleistung und Laufzeit aller zur Milchkühlanlage gehörenden elektrischen Geräte
- Milchmenge laut Zählwerk des Milchtankers
- Endtemperatur der Milch bei Abholung im Kältesystem laut Tankanzeige

Folgende Daten wurden gemessen:

- Elektrische Arbeit der Kälteaggregate inkl. Ventilatoren mit fest installierten Stromzählern oder mobilem Diagnosegerät PEL 102
- in drei Anlagen zusätzlich der Lastgang der Kälteaggregate mit PEL 102 oder vergleichbarem Gerät
- die Umgebungstemperatur in der Nähe der Zuluftöffnung zum Verflüssiger mit Tinytag Ultra TGU 1500 oder TGP 4500
- im Winter zusätzlich die Zulufttemperatur unmittelbar am Verflüssiger
- die Temperatur der Milch vor einem eventuell vorhandenen Vorkühler mit Oberflächenmessfühler und am Vorlauf zum Kühlsystem mit Tinytag Plus 2 TGP 4520 mit Oberflächensensor
- die Temperaturen vor und nach dem Verflüssiger mit Tinytag Plus 2 TGP 4520 mit Oberflächensensor
- die Wärmemenge, die aus der Milch durch eine Wärmerückgewinnungsanlage in Wasser übertragen wurde mit fest installierten Wärmemengenzählern
- zusätzlich in drei Anlagen die Temperaturkurve im Tank mit Tinytag Splash
- Wassermenge der Tankspülung mit Unterzählern, alternativ nach Herstellerangaben

Untersuchungsbetriebe

Zur Untersuchung der Energieeffizienz der Milchkühlung unter Praxisbedingungen wurden acht unterschiedlich große Milchviehanlagen in den in Tabelle 9 dargestellten Konstellationen ausgewählt. In die Auswahl wurden die führenden Ausrüsterfirmen einbezogen.

Tabelle 9: Charakteristik der Untersuchungsbetriebe

Anzahl Kühl tanks/Volumen l	mittlere Liefermenge*	Liefer-rhythmus	Kühlsystem (Direkt; Eis-wasser)	Vor-kühlung	WRG
1 x 3.100	3.100	2-tägig	direkt	ja	ja
1 x 6.750	5.400	täglich	direkt	ja	ja
1 x 8.000 1 x 1.000 (Überbrückung)	3.800 (Bestandsaufbau)	täglich	direkt	ja	ja
1x 12.000	8.800	täglich	direkt	nein	ja
1 x 25.000	16.800	täglich	direkt	ja	nein
1 x 20.000	15.100	täglich	direkt	nein	nein
2 x 6.000; 1 x 8.200	16.800	täglich	Eisbank	ja	ja
2 x 18.000	25.900	täglich	Eiswasser Kühlblock	ja	ja

* Sommermessreihe

Zur Ermittlung der erforderlichen Daten wurden jeweils Messfenster von mindestens sieben Zyklen von Abholung bis Abholung der Milch vorgesehen, im Regelfall sieben Tage. Ein Betrieb liefert die Milch im zweitägigen Rhythmus, hier verdoppelt sich die Zeitspanne entsprechend.

Eine Sommermessreihe sollte in den Monaten August und September 2013 stattfinden, eine Wintermessreihe folgte in den Monaten Dezember und Januar. Hierzu muss angemerkt werden, dass sich in Sachsen im Juni 2013 ein nahezu flächendeckendes Hochwasser dramatischen Ausmaßes einstellte. Durch diese Naturkatastrophe waren fast alle für den Einbau der notwendigen Unterzähler benötigten Elektriker und Klempner direkt oder indirekt betroffen. In Folge der zahlreichen Schäden kam es zu Lieferengpässen bei verschiedenen benötigten Armaturen. Wenngleich die Milchkühlanlagen nicht direkt betroffen waren, gab es in den zwischenzeitlich vertraglich gebundenen Untersuchungsbetrieben ebenfalls beträchtliche Schäden. Diese außergewöhnliche Situation führte dazu, dass in sieben von acht Betrieben die Messungen nur mit deutlicher Verspätung begonnen werden konnten. Dadurch waren die für die Beurteilung der Energiemessungen wichtigen Umgebungstemperaturen der unterschiedlichen Anlagen inhomogen und insgesamt niedriger als vorgesehen.

3.2 Ergebnisse der Energiebedarfsermittlung von Milchkühlanlagen

3.2.1 Sommermessungen

Die erste Messreihe wurde im Zeitraum vom 18.07. bis 17.10.2013 durchgeführt. Die Dokumentationen der einzelnen Kühlanlagen mit der Darstellung der einzelbetrieblichen Ergebnisse sind in Anlage 2 ersichtlich.

Die Auslastung der Kühl- und Lagertanks liegt in den untersuchten Betrieben zwischen knapp 50 und fast 100 %. Die Unterschiede sind in einzelbetrieblichen Entscheidungen und momentanen Situationen zu suchen

und nicht verallgemeinerungswürdig. Sowohl Milcherzeuger als auch Anbieter gaben bei Befragungen an, dass das Tankvolumen sicherheitshalber auf drei Melkzeiten bemessen werden sollte. Das entspräche einer gewünschten Auslastung von 66,7 %.

Tabelle 10: Tankauslastung

Betrieb		A	B	C	D	E	F	G	H
Kühlsystem		direkt	direkt	direkt	direkt	Eiswasser	Eisbank	direkt	direkt
Abholung		täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	2-tägig
Tankvolumen	l	20.000	12.000	25.000	6.750	36.000	20.200	8.000	3.100
Milchmenge	kg/Abholung	15.140	8.825	16.751	5.373	25.879	16.785	3.815	3.072
Auslastung	%	75,7	73,5	67,0	79,6	71,9	83,1	47,7	99,1

Die Gesamtanlagen benötigen je nach Milchmenge, Einlauf- und Zieltemperatur der Milch und weiteren Einflussfaktoren zwischen 40 und 220 kWh pro Abholung. In Tabelle 11 sind die absoluten Energieverbräuche der einzelnen Komponenten dargestellt.

Tabelle 11: Elektrische Arbeit und Wärmeenergiebedarf der Milchkühlanlagen je Abholung, gestaffelt nach Art der Verbraucher (Sommer)

Kühlsystem		direkt	direkt	direkt	direkt	Eiswasser	Eisbank	direkt	direkt
Tankvolumen	l	20.000	12.000	25.000	6.750	36.000	20.200	8.000	3.100
Zulufttemperatur am Verflüssiger	°C	22,2	11,8	21,7	8,5	9,4	11,3	24,6	15,7
Kälteaggregate	kWh/Abholung	204,9	144,9	203,0	74,1	132,5	195,9	69,0	35,9
Eiswasserpumpen	kWh/Abholung					30,4	12,5		
Rührwerke, Zirkulationspumpen WRG	kWh/Abholung	1,7	4,6	5,9	2,1	1,5	7,2	1,7	2,4
Spülpumpe + Durchlauferhitzer	kWh/Abholung	4,2	2,7	3,2	2,7	20,4	1,7	2,2	0,3
Warmwasser Spülung	kWh/Abholung	9,3	7,8	10,0	4,0	7,8	11,0	7,4	1,15
Milchkühlanlage	kWh/Abholung	220,0	160,0	222,1	82,9	192,6	228,3	80,2	39,7

Die Nutz-Kälteenergie wird aus Milchmenge und Temperaturdifferenz berechnet. Tabelle 12 zeigt daneben die Vorlauftemperaturen der Milch in den Tank bzw. zum Sturzkühler. Die ersten beiden Anlagen haben keinen Vorkühler. Die Vorlauftemperatur der Milch beträgt hier etwa 34 °C. In den weiteren Anlagen ist ein Vorkühler vorhanden. Bei optimaler Einstellung und Dimensionierung kann die Milch bereits auf 17 °C gekühlt werden, unter suboptimalen Verhältnissen wurden nur 26 °C erreicht.

Tabelle 12: Nutz-Kälteenergie der Milchkühlanlagen je Abholung

Kühlsystem		direkt	direkt	direkt	direkt	Eiswasser	Eisbank	direkt	direkt
Tankvolumen	l	20.000	12.000	25.000	6.750	36.000	20.200	8.000	3.100
Vorlauftemperatur der Milch zum Kühlsystem	°C	34,2	33,9	22,6	25,0	17,3	20,7	26,0	21,8
Temperatur der Milch bei Abholung	°C	4,7	5,1	6,5	6,2	5,1	6,1	3,9	3,6
Temperaturdifferenz ΔT	K	29,5	28,9	16,2	18,9	12,2	14,6	22,1	18,2
Milchmenge	kg/Abholung	15.594	9.090	17.253	5.534	26.655	17.288	3.929	3.164
Nutz-Kälteenergie	kWh/Abholung	480,0	274,0	291,0	108,9	338,7	263,6	90,5	60,1

Die Nutz-Kälteenergie entspricht der der Milch entzogenen Energie. Diese steht letztendlich für die Erwärmung von Wasser zur Verfügung. Mit einem Liter Milch, der von 33 auf 4 °C gekühlt wird, können etwa 0,6 l Wasser von 10 auf 53 °C erwärmt werden (FÜBBEKER o. J.). In Tabelle 13 wird die über Wärmemengenzähler gemessene Energie, die in Wasser übertragen wurde, zur Nutz-Kälteenergie ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 13: In Wasser übertragene Wärmemenge in Anlagen mit Wärmerückgewinnung

Kühlsystem		direkt	direkt	direkt	direkt	Eiswasser	Eisbank	direkt	direkt
Tankvolumen	l	20.000	12.000	25.000	6.750	36.000	20.200	8.000	3.100
Nutz-Kälteenergie	kWh/Abholung	466,0	264,8	282,5	105,3	328,8	255,9	87,6	58,3
WRG	kWh/Abholung		49,5		73,8	169,2	134,8	11,2	49,9
WRG	%		18,1		67,7	50,0	51,1	12,4	83,0

Während das Maximalergebnis von 83 % in etwa die Grenze des Erreichbaren darstellt, kann eine Auslastung von unter 50 % nicht befriedigen. Diese Auslastung steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Abnahme von warmem Wasser. Energie wird nur zurückgewonnen, solange auch eine Abnahme erfolgt. Ist die Zieltemperatur der Wärmerückgewinnung im Vorlauf des Wärmetauschers von in der Regel 53 °C erreicht, kann keine weitere Wärmeenergie aus dem Kältemittel entzogen werden. Die Abkühlung des komprimierten Kältemittels erfolgt dann ausschließlich im Verflüssiger. Die auf Grund des Bestrebens, warmes Wasser zu erzeugen, hohe Verdichtung des Kältemittels führt dann zu Effizienzverlusten.

Als Vorschlag für die Bewertung von Kälteanlagen-Gesamtsystemen im laufenden Betrieb empfiehlt BECKER (2009) die Arbeitszahl TEPF (Total Energy Performance Factor), welche sich aus der Summe der Nutz-Kälteenergie durch die Summe der elektrischen Energien inkl. der Hilfsenergien in einer frei wählbaren Zeitperiode ergibt. Weil die vorliegenden Untersuchungen in jeweils kurzen Messfenstern durchgeführt werden, wird in den Auswertungen der TEPF nach BECKER dargestellt.

In Anlagen mit Wärmerückgewinnung ist zusätzlich zur Nutz-Kälteenergie die gewonnene Wärmeenergie zu berücksichtigen.

Tabelle 14: Ergebnisübersicht der Praxismessungen

Betrieb		A	B	C	D	E	F	G	H
Kühlsystem		direkt	direkt	direkt	direkt	Eiswasser	Eisbank	direkt	direkt
WRG			x		x	x	x	x	x
Tankvolumen	l	20.000	12.000	25.000	6.750	36.000	20.200	8.000	3.100
Milchmenge	kg/Abholung	15.594	9.090	17.253	5.534	26.655	17.288	3.929	3.164
Nutz-Energie gesamt	kWh/Abholung	480,0	323,5	291,0	182,7	507,9	398,4	101,7	109,9
Energieeinsatz gesamt	kWh/Abholung	220,0	160,0	222,1	82,9	192,6	228,3	80,2	39,7
TEPF (Total Energie Performance Factor)		2,18	2,02	1,31	2,20	2,64	1,74	1,27	2,77
spezifischer Energiebedarf der Kältemaschinen*	Wh/(kg*K)	0,417	0,735	0,569	0,716	0,510	0,788	0,798	0,664

* um 1 kg Milch um ein K abzukühlen, bei 20 °C

Der TEPF der Anlagen liegen zwischen 1,27 und 2,77. Weil unter Praxisbedingungen stets mehrere Einflussfaktoren gleichzeitig auf die Energieeffizienz wirken, ist die ermittelte Datenbasis zu gering, um einzelne Faktoren zu quantifizieren. Betrieb H zeichnet sich beispielsweise durch eine hervorragende Tankauslastung und eine hervorragende Ausnutzung der Wärmerückgewinnung aus. Im Betrieb G ist das Gegenteil der Fall. Dieser Betrieb befindet sich noch im Bestandsaufbau. Hinzu kommt hier, dass die Anordnung der Verflüssiger ungünstig ist und die Ventilatoren die eigene Abluft teilweise wieder ansaugen. Die Effektivität der Kühlung wird dadurch beeinträchtigt.

Zur Erarbeitung von Kalkulationsmodellen ist der TEPF als Kennzahl nicht brauchbar. Hierzu ist es vielmehr notwendig, die einzelnen Anlagenkomponenten zu veranschaulichen. Als zentrale Kennzahl wird deshalb der spezifische Energiebedarf dargestellt, der von der Kältemaschine zur Abkühlung von 1 kg Milch um 1 K verbraucht wird.

Hier liegen die Anlagen zwischen 0,417 und 0,798 Wh/(kg*K), rechnerisch korrigiert auf eine Zulufttemperatur von 20 °C. Die einzelbetrieblichen Darstellungen der Ergebnisse und der Kurven sind in den Anlagen enthalten. Beispielhaft ist in Abbildung 3 der Zusammenhang zwischen Temperatur am Verflüssiger und spezifischem Energiebedarf für den Betrieb A dargestellt.

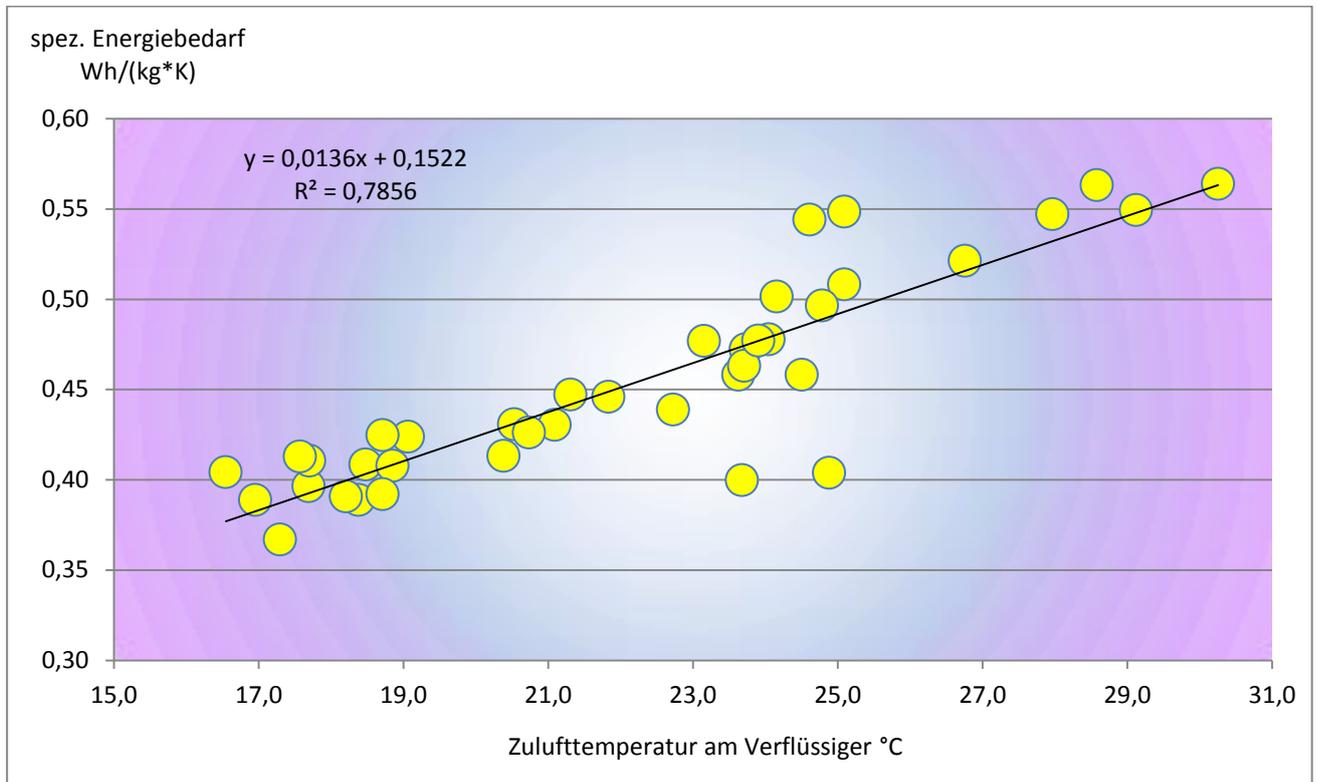


Abbildung 3: Spezifischer Energiebedarf der Kälteaggregate in Abhängigkeit von der Zulufttemperatur am Verflüssiger im Betrieb A

Demnach erhöht sich die Energieaufnahme der Kältemaschine hier um 1,36 % je K höherer Zulufttemperatur. Dieser Zusammenhang belegt die Notwendigkeit, die Verflüssiger so aufzustellen, dass die Zuluft kältestmöglich angesaugt werden kann!

Weiterhin wurde festgestellt, dass in allen Anlagen die Umgebungstemperatur auch einen Einfluss auf die Milcheinlauftemperatur hat. Allein in den kurzen Messfenstern von ca. zwei Wochen wurden bis zu 3 K Schwankungsbreite festgestellt. Eine höhere Milchtemperatur ist mit einem höheren Energiebedarf verbunden.

Selbstverständlich spielt die eingesetzte Technik selbst eine nicht unwesentliche Rolle für den Energiebedarf. Bei jeder Energieumwandlung treten Verluste auf. Indirekte Kühlsysteme, bei denen zunächst Eiswasser erzeugt wird, welches dann entweder über eine Sturzkühlung oder die Tankwand die Wärmeenergie der Milch aufnimmt, müssen diese Verluste doppelt in Kauf nehmen. Hinzu kommt jeweils mindestens eine zusätzliche Pumpe für das Eiswasser. Eiswasserkühlverfahren haben deshalb einen um etwa 20 % höheren Gesamtenergiebedarf (VLK 2009). Andererseits kann durch eine intelligente Steuerung der Aufbau einer Eiswasserreserve gering gehalten werden. Bei der in die Untersuchungen einbezogenen Eiswasseranlage handelt es sich um eine so genannte „Eisblockanlage“, bei der milchflussangepasst immer nur so viel Wasser gekühlt wird, wie aktuell zur Sturzkühlung benötigt wird. Diese Anlage dient damit nicht dem Zweck, preiswerten Strom zum Erzeugen eines Eiswasserpuffers einzusetzen.

Mit zunehmender Verdichtung des Kältemittels steigt dessen Temperatur. Damit steigt aber auch der Energiebedarf für die Kompressoren. Als technischer Einflussfaktor wurden deshalb die Temperaturen des Kältemittels an verschiedenen Stellen gemessen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Temperaturen des Kältemittels vor und nach dem Verflüssiger

Betrieb		A	B	C	D	E	F	G	H
Kühlsystem		direkt	direkt	direkt	direkt	Eiswasser	Eisbank	direkt	direkt
Tankvolumen	l	20.000	12.000	25.000	6.750	36.000	20.200	8.000	3.100
WRG			x		x	x	x	x	x
T1 nach Kompressor	°C	55	70 - 75	70 - 75	58 - 83	65 - 72	64 - 72	-	-
T2 vor Verflüssiger	°C	55	50 - 60	70 - 75	37 - 45	30 - 35	40 - 60	50 - 70	41
T3 nach Verflüssiger	°C	30	40 - 45	40 - 45	32 - 39	26 - 32	34 - 40	35 - 40	38,5
spezifischer Energiebedarf der KM	Wh/(kg*K)	0,417	0,735	0,569	0,716	0,510	0,788	0,798	0,664

Die Kältemaschine mit dem niedrigsten spezifischen Energiebedarf (Betrieb A) weist mit 55 °C nach Kompression und 30 °C nach Verflüssigung die niedrigsten Temperaturen auf. Auf Grund der multifaktoriellen Einflüsse unter Praxisbedingungen kann dieser Messwert jedoch allenfalls als Indiz betrachtet werden.

3.2.2 Wintermessungen

Die Wintermessreihe wurde im Zeitraum von 19.12.2013 bis 07.03.2014 durchgeführt.

Die Milchkühlanlagen benötigten je nach Milchmenge, Einlauf- und Zieltemperatur der Milch und weiteren Einflussfaktoren zwischen 34 und 194 kWh pro Abholung. In Tabelle 16 sind die absoluten Energieverbräuche der einzelnen Komponenten dargestellt.

Tabelle 16: Elektrische Arbeit und Wärmeenergiebedarf der Milchkühlanlagen je Abholung, gestaffelt nach Art der Verbraucher (Winter)

Betrieb		A	B	C	D	E	F	G	H
Kühlsystem		direkt	direkt	direkt	direkt	Eiswasser	Eisbank	direkt	direkt
Tankvolumen	l	20.000	12.000	25.000	6.750	36.000	20.200	8.000	3.100
Milchmenge	l/Abholung	14.797	8.706	20.272	5.971	28.783	18.142	5.198	3.257
Auslastung	%	74,0	72,6	81,1	88,5	80,0	89,8	65,0	105,1
Zulufttemperatur am Verflüssiger	°C	7,1	7,1	20,3	9,0	16,0	5,2	26,0	11,0
Kälteaggregate	kWh/Abholung	152,7	175,4	166,8	71,3	132,0	148,6	97,3	29,8
Eiswasserpumpen	kWh/Abholung					29,5	10,1		
Rührwerke, Pumpen WRG	kWh/Abholung	1,3	5,5	7,1	2,0	1,5	6,0	2,2	2,1
Spülpumpe + Durchlauferhitzer	kWh/Abholung	4,2	2,7	3,2	2,7	23,1	1,7	2,2	0,6
Spülwasser, von 10 auf 53 °C erwärmt	kWh/Abholung	9,3	7,8	10,0	4,0	7,8	11,0	7,4	1,15
Milchkühlanlage	kWh/Abholung	167,4	191,4	187,0	80,0	193,9	177,3	109,1	33,6

Erwartungsgemäß wird im Winter weniger Strom benötigt als im Sommer. Tabelle 17 zeigt die Gegenüberstellung der Sommer- und Wintermesswerte für den spezifischen Energiebedarf der Kältemaschinen sowie die mittleren Zulufttemperaturen.

Tabelle 17: Spezifischer Energiebedarf der Kältemaschinen im Sommer und Winter sowie Zulufttemperaturen

Betrieb		A	B	C	D	E	F	G	H
Zulufttemperatur am Verflüssiger, Sommer	°C	22,2	11,9	21,7	8,5	9,4	11,3	25,0	15,7
spezifischer Energiebedarf der Kälteaggregate bei 20 °C	Wh/(kg*K)	0,417	0,735	0,569	0,716	0,510	0,788	0,798	0,664
Zulufttemperatur am Verflüssiger, Winter	°C	7,1	7,1	20,3	9,0	16,0	5,2	26,0	11,0
spezifischer Energiebedarf der Kälteaggregate bei 5 °C	Wh/(kg*K)	0,401	0,680	0,326	0,593	0,404	0,693	0,691	0,530

Die Temperaturen in diesem Winter waren überdurchschnittlich hoch. Laut DWD (2014) lag die Durchschnittstemperatur um 3,1 K über dem langjährigen Durchschnitt. Hinzu kommt, dass in sieben von acht Betrieben die Kältemaschinen komplett im Gebäude aufgestellt sind. Im Winter wird in den meisten Betrieben aus Vorsorge gegen Schäden durch Nachtfrost der Raum verschlossen gehalten. Deshalb wurden zusätzlich die Temperaturen direkt am Kondensator gemessen. Die Kältemaschinen und andere im Raum befindliche Maschinen erzeugen neben ihrer Nutzleistung Wärme und heizen den Raum auf. Dadurch lagen die Zulufttemperaturen am Kondensator nur unwesentlich unter, im Einzelfall sogar über denen der Sommermessreihe. Im Extremfall verhält sich die Raumlufttemperatur scheinbar umgekehrt proportional zur Außentemperatur (Betrieb C).

Änderungen im Energiebedarf sind jedoch nicht ausschließlich durch die Umgebungstemperatur zu begründen. In einigen Betrieben hat sich die Milchmenge und damit die Tankauslastung deutlich geändert (Betrieb C und G). Auch wurden zwischenzeitlich routinemäßige Wartungen am Kühlsystem durchgeführt (Betrieb D).

3.3 Ableitung von Modellen zum Energiebedarf Milchkühlanlagen

3.3.1 Grundlagen der Kalkulation

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden genutzt, um Kalkulationsmodelle für Direkt- und Eiswasserkühlsysteme zu programmieren. Die EXCEL-Kalkulation „Energiekalkulation_Kühlen.xls“ steht im Internet unter <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/34368.htm> zur Verfügung. Ergänzend zu den Tank- und Bestandsgrößen wurden die nachfolgend beschriebenen Eingangsdaten festgelegt.

Die Temperatur der Milch bei Eingang in das Kühlsystem beträgt einheitlich 33 °C. Die Zieltemperatur liegt bei 6 °C. Aus der Temperaturdifferenz, der spezifischen Wärmekapazität der Milch und der Milchmenge ergibt sich die Nutz-Kälteenergie.

Abbildung 4 zeigt den spezifischen Energiebedarf der Kälteaggregate beider Messreihen in Abhängigkeit von der Milchmenge.

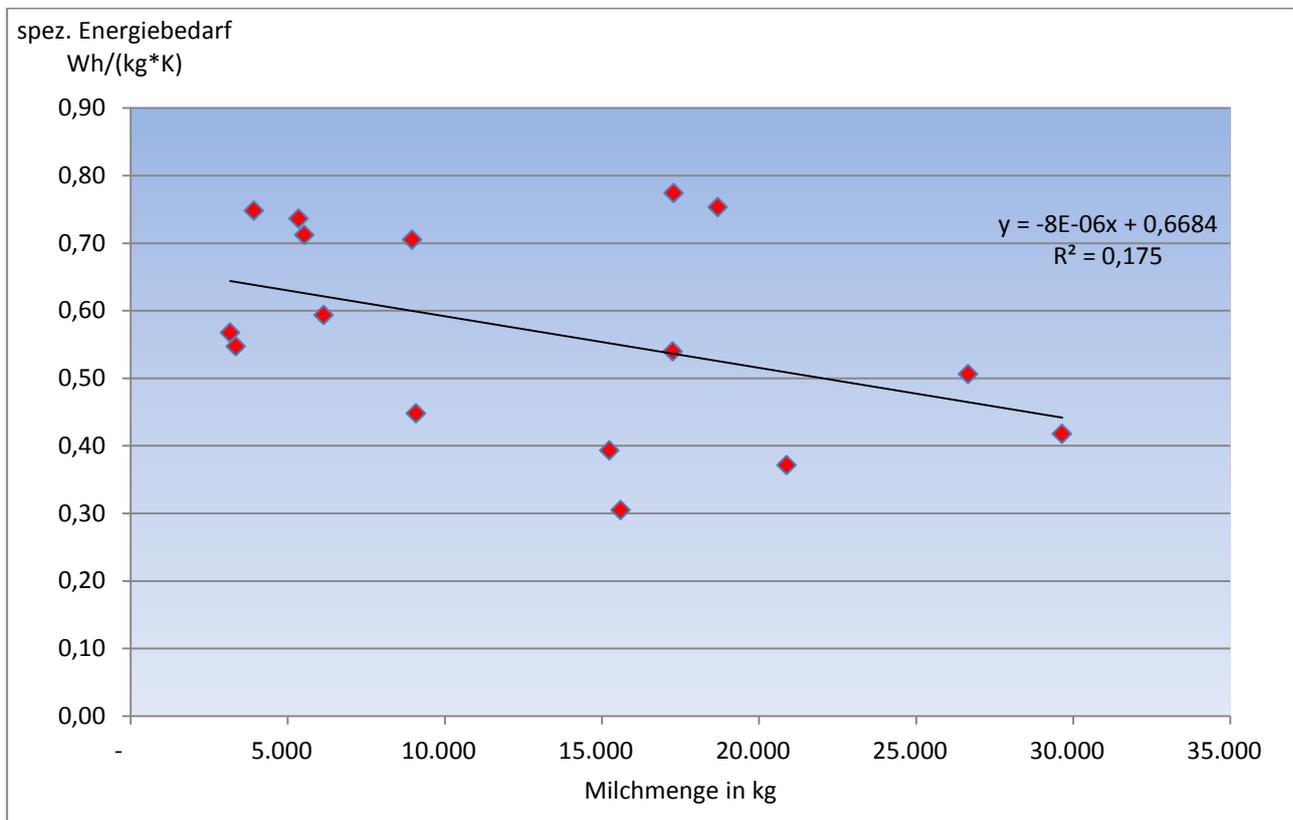


Abbildung 4: Spezifischer Energiebedarf der Kälteaggregate beider Messreihen, korrigiert auf 10 °C in Abhängigkeit von der Milchmenge

Die Jahresdurchschnittstemperatur für Deutschland lag im Jahr 2012 bei 9,1 °C, Tendenz steigend (DWD 2013). Deshalb wurden die Werte auf 10 °C korrigiert. Davon ausgehend wird für den Energiebedarf der Kältemaschinen im Modell ein spezifischer Energiebedarf von 0,5 Wh zur Abkühlung von 1 kg Milch um 1 K festgelegt. Dieser Wert liegt etwas unter dem Durchschnitt der Praxismessungen, wird aber von besten Anlagen bereits unterboten. Die Trendlinie lässt eine Degression vermuten. Weil die Aussagesicherheit jedoch nicht hinreichend gegeben ist, wurde von einer Umsetzung im Modell Abstand genommen.

Weitere Abhängigkeiten bestehen in der Praxis von der Auslastung der Tanks, dem Wartungszustand der Aggregate und technischer Parameter. Eine Variierung dieser Parameter würde den Rahmen einer Modellierung sprengen.

Der Energiebedarf der Rührwerke wird durch Laufzeit mal elektrischem Anschlusswert gebräuchlicher Motoren berechnet. Zur Ermittlung der Laufzeit wurden praxisübliche Melkzeiten zuzüglich zwei Stunden Kühlzeit bis zum Erreichen der Zieltemperatur zuzüglich sechs Minuten je Stunde nach Erreichen der Zieltemperatur bis zur Milchabholung unterstellt. Bei Eiswasserkühlung laufen die Rührwerke nur im Intervall, weil ein Anfrieren der Milch nicht zu befürchten ist.

Die Warmwassermenge für die Spülung wurde in Anlehnung an Herstellerangaben festgelegt. Für eine ordnungsgemäße Desinfektion ist eine Spüldauer von 20 Minuten bei einer Rücklauftemperatur von mindestens 40 °C erforderlich. Dies wird in der Praxis entweder durch den Einsatz eines Durchlauferhitzers oder durch hohe Ausgangstemperaturen gewährleistet. Im Modell wird unterstellt, dass die Spüllösung einmalig auf eine Temperatur von 85 °C erhitzt wird und im Spülprozess keine Nachheizung erfolgt. In der Praxis entstammt

diese Energie im Regelfall zumindest teilweise Wärmerückgewinnungsprozessen. Zur Beurteilung der Energieeffizienz von Milchkühlanlagen ist die Quelle der Energie jedoch nicht relevant. Die benötigte Wärmemenge in kWh ergibt sich aus der Wassermenge, der spezifischen Wärmekapazität des Wassers und der Temperaturdifferenz zu einer üblichen Brunnenwassertemperatur von 10 °C. Für Spülpumpen wurden gebräuchliche Anschlusswerte und Laufzeiten auf einheitlicher Basis festgelegt.

Für Eiswasseranlagen wird ein um 10 % höherer spezifischer Energiebedarf der Kältemaschinen angesetzt, weil es infolge der zweimaligen Energieumwandlung und der Lagerung von Eiswasser zu zusätzlichen Energieverlusten kommt.

Für Wärmerückgewinnungsanlagen wird ein Zuschlag für die höhere Verdichtung von 10 % unterstellt.

3.3.2 Ergebnisse

In der Tabelle 18 sind ausgewählte Ergebnisse der Modellkalkulation für Direktkühlanlagen ohne und mit Wärmerückgewinnung dargestellt.

Tabelle 18: Ausgewählte Ergebnisse der Modellberechnungen – Direktkühlung

Tankgröße		3.600 l	14.400 l	3 x 24.000 l
laktierende Kühe		60	240	1.200
Tagesmilchmenge	kg/d	2.160	8.640	43.200
1. Energiebedarf der Kältemaschine				
spez. Energiebedarf	Wh/(kg*K)	0,500	0,500	0,500
Strombedarf	kWh/d	29,2	116,6	583,2
2. Rührwerke				
Anzahl		1	2	6
Anschlussleistung	KW	0,1	0,1	0,1
Laufzeit	Bh / d	8,7	11,5	14,5
Strombedarf	kWh/d	1,1	3,0	11,3
3. Tankspülung				
Warmwassermenge	l/d	63	156	716
Energiebedarf Wasser	kWh/d	5,5	13,6	62,5
Anzahl Spülpumpen		1	1	3
Anschlussleistung	KW	0,5	1,1	1,1
Dauer der Spülung	h/d	0,5	0,5	0,5
Strombedarf Spülpumpe	kWh/d	0,3	0,6	1,7
Energiebedarf Tankspülung gesamt	kWh/d	5,8	14,2	64,1
Gesamtenergiebedarf Milchkühlung ohne Wärmerückgewinnung				
Summe Energiebedarf	kWh/d	36,1	133,8	658,6
	kWh/(Kuh*a)	189,4	175,7	173,0
	kWh/t Milch	16,7	15,5	15,2
Total Energie Performance Factor		1,7	1,8	1,8
4. Wärmerückgewinnung				
Zuschlag Energiebedarf KM	%	10	10	10
Anzahl Zirkulationspumpen		1	1	3
Anschlussleistung	kW	0,1	0,1	0,1

Tankgröße		3.600 l	14.400 l	3 x 24.000 l
Laufzeit	Bh/d	7,8	10,8	14,0
Strombedarf Pumpe	kWh	0,8	1,1	4,2
Wärmeertrag aus Milch	%	70	70	70
Wärmeertrag aus Milch	kWh/d	42,6	170,3	851,6
Gesamtenergiebedarf Milchkühlung mit Wärmerückgewinnung				
Summe Energiebedarf	kWh/d	39,8	146,5	721,1
	kWh/(Kuh*a)	208,8	192,4	189,4
	kWh/t Milch	18,4	17,0	16,7
Total Energie Performance Factor		2,6	2,8	2,9

Unter den getroffenen Annahmen werden zur Kühlung von 1 t Milch zwischen 15,2 und 16,7 kWh benötigt. Die Wärmerückgewinnung verursacht einen höheren Energiebedarf, führt aber zu einer Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz.

Tabelle 19: Ausgewählte Ergebnisse der Modellberechnungen – Eiswasserkühlung

Tankgröße		3.600 l	14.400 l	3 x 24.000 l
lakt. Kühe		60	240	1.200
1. Energiebedarf der Kältemaschine				
spez. Energiebedarf	Wh/(kg*K)	0,55	0,55	0,55
Strombedarf	kWh/d	32,1	128,3	641,5
Anschlussleistung Eiswasserpumpe	KW	0,5	1,3	2,0
Strombedarf	kWh/d	1,9	8,8	20,0
2. Rührwerke				
Anzahl		1	2	6
Anschlussleistung	KW	0,1	0,1	0,1
Laufzeit	Bh / d	1,6	1,8	1,9
Strombedarf	kWh/d	0,2	0,5	1,5
3. Tankspülung				
Energiebedarf Wasser	kWh/d	5,5	13,6	62,5
Strombedarf Spülpumpe	kWh/d	0,3	0,6	1,7
Energiebedarf Tankspülung	kWh/d	5,8	14,2	64,1
Gesamtenergiebedarf Milchkühlung ohne Wärmerückgewinnung				
Summe Energiebedarf	kWh/d	40,0	151,8	727,1
	kWh/(Kuh*a)	209,9	199,3	191,0
	kWh/t Milch	18,5	17,6	16,8
Total Energie Performance Factor		1,5	1,6	1,7

Unter den für eine Eiswasserkühlung zu treffenden Annahmen werden zur Kühlung von 1 t Milch zwischen 16,8 und 18,5 kWh benötigt.

Tabelle 20: Ausgewählte Ergebnisse der Modellberechnungen – Direktkühlung mit Vorkühler

Tankgröße		3.600 l	14.400 l	3 x 24.000 l
lakt. Kühe		60	240	1.200
Tagesmilchmenge	kg/d	2.160	8.640	43.200
Vorlauftemperatur Milch	°C	18	18	18
Gesamtenergiebedarf Milchkühlung ohne Wärmerückgewinnung				
Summe Energiebedarf	kWh/d	19,9	69,0	334,6
	kWh/Kuh/a	104,3	90,6	87,9
	kWh/t Milch	9,2	8,0	7,7

Wird über einen Plattenkühler die Vorlauftemperatur zum Kühlsystem auf 18 °C reduziert, sinkt der Energiebedarf je t Milch auf 7,7 bis 9,2 kWh.

4 Zusammenfassung

4.1 Energiebedarf Melken

Zum Zweck der Ermittlung der elektrischen Arbeit der Melksysteme wurden in ausgewählten Milchviehbetrieben alle systemrelevanten Stromverbraucher dokumentiert. Deren Nennleistungen und Auslastungsparameter wie Betriebsstunden, Tierzahlen, Gemelke, Milchmenge wurden erfasst. Zur Validierung der theoretisch ermittelten elektrischen Arbeit wurden in ausgewählten Milchviehanlagen Messungen durchgeführt.

Der ermittelte Energiebedarf je Gemelk lag in den untersuchten Melkanlagen zwischen 0,18 und 0,49 kWh. Er schwankt in der Praxis erheblich in Abhängigkeit von

- Durchsatzleistung (Gemelke je Stunde),
- täglicher Auslastung (Betriebsstunden je Tag) und
- den Ausstattungsmerkmalen einer Melkanlage.

Mit zunehmender Bestandsgröße unterliegt der Energiebedarf je Gemelk bzw. je Produkteinheit einer Degression. Systembedingte Unterschiede zwischen verschiedenen Melkstandtypen sind hingegen gering.

Allgemeine Empfehlungen für die Praxis

Melkanlagen müssen hinsichtlich ihrer Größe unter Beachtung realisierbarer Arbeitsrhythmen eine angemessene Größe zum Tierbestand haben. Überdimensionierungen führen zu unnötigem Energiebedarf. Die Reinigung und Desinfektion ist beispielsweise nach jeder Melkzeit durchzuführen, unabhängig von der Zahl der zuvor gemolkenen Kühe. Gleichzeitig tragen hohe Durchsatzleistungen zur Vermeidung unnötiger Betriebszeiten während des Melkprozesses bei. Als Beispiel seien die Vakuumversorgung und die Melkstandbeleuchtung genannt. Bei der Ausstattung sollte nicht nur auf die Investitionskosten, sondern auch auf die Folgekosten geachtet werden. Beispielsweise benötigen Kompressoren zur Druckluftherzeugung unter Umständen erhebliche Strommengen, die im Verhältnis zum Nutzen betrachtet werden müssen.

4.2 Energiebedarf Kühlen

Um die Gesamtenergieeffizienz von Milchkühlsystemen beurteilen zu können, war es erforderlich, den Energiebedarf aller am Kälteprozess direkt und indirekt beteiligten Verbraucher zu erfassen. Hierzu gehört neben dem Strombedarf der Kälteaggregate, Rührwerke und Pumpen auch die Ermittlung des Wärmebedarfes für die Tankspülung sowie die Betrachtung gegebenenfalls vorhandener Wärmerückgewinnungsanlagen. In acht ausgewählten Milchviehanlagen wurden die erforderlichen Parameter gemessen. Dazu wurden die Energieverbraucher und die Auslastungskennzahlen dokumentiert. Zur Messung der Daten wurde jeweils im Sommerhalbjahr und im Winterhalbjahr ein Messfenster von mindestens sieben Tagen festgelegt. Bedauerlicherweise wurden die Sommermessungen durch das flächendeckende Hochwasser in Sachsen 2013 zeitlich verzögert.

Eine wichtige Kennzahl zur Beurteilung der Energieeffizienz ist der spezifische Energiebedarf der Kältemaschinen zur Abkühlung von 1 kg Milch um 1 K. Bei 20 °C Umgebungstemperatur liegen die Anlagen im Mittel bei 0,649 Wh/(kg*K), bei 5 °C bei 0,540 Wh/(kg*K).

Zwar wirken unter Praxisbedingungen mehrere Einflussfaktoren gleichzeitig, jedoch lassen sich folgende Trends festhalten:

- Die Energieaufnahme der Kältemaschine erhöht sich mit steigender Zulufttemperatur am Kondensator.
- Die Umgebungstemperatur hat einen messbaren Einfluss auf die Milcheinlauftemperatur, damit verbunden auf die notwendige Energiemenge zur Kühlung.
- Der Einsatz eines Brunnenwasservorkühlers kann die Milchttemperatur halbieren, was zu einer erheblichen Energieeinsparung führt.
- Eine schlechte Tankauslastung verschlechtert die Energieeffizienz, weil viel Luft gekühlt werden muss.
- Eine Wärmerückgewinnungsanlage verbessert die Gesamtenergieeffizienz. Voraussetzung dafür ist aber eine hinreichende Nutzung des warmen Wassers.
- Die Sauberkeit der Lamellen des Kondensators ist eine wichtige Voraussetzung für eine effektive Kältemittelabkühlung.

Allgemeine Empfehlungen für die Praxis

Energieeffizienz beginnt bei der Planung! Dabei sollten unnötige Überdimensionierungen vermieden werden. Ein Brunnenwasservorkühler mit milchflussgesteuerter Pumpe kann die Milchttemperatur bereits halbieren. Das angewärmte Wasser kann den Tränken zugeführt werden. Damit wird die Wasseraufnahme der Kühe zusätzlich begünstigt. Bei der Aufstellung der Kälteaggregate sollte darauf geachtet werden, dass sie kältestmögliche Zuluft ansaugen. Im Winter kann z. B. ein unsachgemäßes Frostschutzmanagement zu überhöhten Raumtemperaturen führen, was unnötige Energieverluste hervorruft. Eine wichtige Voraussetzung für eine effektive Wärmeabgabe des Kältemittels an die Luft ist die Sauberkeit der Kühllamellen am Kondensator. Diese sollten planmäßig gereinigt werden.

Wärmerückgewinnungsanlagen benötigen höhere Kältemitteltemperaturen, was durch eine stärkere Komprimierung erreicht wird. Dafür wird zunächst mehr Energie benötigt. Ihre Dimensionierung sollte sich deshalb nicht nur an der verfügbaren Milchmenge, sondern vor allem am Warmwasserbedarf orientieren. Wem bereits durch Biogasanlagen Wärme im Überfluss zur Verfügung steht, kann auf die Wärmerückgewinnung aus der Milch verzichten.

Anlage 1: Dokumentation der einzelnen Untersuchungsbetriebe Melken (1A bis 1J)

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 1A

In der MVA wurden etwa 130 Kühe täglich 2-mal mit einem 2 x 4-Tandemmelkstand gemolken.



Tandemmelkstände sind in Sachsen kaum noch vorhanden. Im November 2013 wurde auch im Betrieb 1A der Melkstand durch einen Melkroboter ersetzt. Für den alten Tandemmelkstand wurden die Stromverbraucher und deren tägliche Laufzeiten dokumentiert. Der Warmwasserbedarf für die Spülung wurde laut Herstellerangaben und für die Euterreinigung nach Richtwerten ermittelt. Das warme Wasser stammt aus externer Quelle. Für die Spülung wurde im Spülautomaten nachgeheizt.

Aus den ermittelten Daten wurde der Energiebedarf der Milchgewinnung kalkuliert. Er setzte sich demnach wie folgt zusammen:

Energieverbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d
Vakuumpumpe Wasserringpumpe RPA 40	1	4	7,5	100%	30,0
Milchpumpe	1	0,55	2	100%	1,1
kleiner Kompressor für Pulsation	1	0,75	6,5	25%	1,2
großer Kompressor für Nachmelkarme	1	1,5	6,5	25%	2,4
Beleuchtung Melkbereich	8	0,057	6,5	100%	3,0
Zentralrechner	1	0,1	7,5	100%	0,8
Melkplatzcontroller Methadron	8	0,005	6,5	100%	0,3
Steuereinheit Tore	8	0,005	6,5	100%	0,3
Melkplatzcontroller System Happel	8	0,005	6,5	100%	0,3
					0,0
Zwischensumme Strom					39,3
Warmwasserverbraucher	m³/d	Vorlauf °C	KW °C	Faktor	kWh / d
Spülung	0,23	85	10	100%	20,3
Euterdusche	0,06	37	10	100%	1,9
Zwischensumme Wärme					22,2
Gesamtenergiebedarf kWh / d					61,5

Hochgerechnet benötigte der Betrieb 154 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,24 kWh/Gemelk für die Milchgewinnung.

laktierende Kühe	130
Gesamtbestand Kühe	146
Tagesenergiebedarf kWh/d	61,5
Jahresenergiebedarf kWh/a	22.432
kWh/Kuh und Jahr	154
Gemelke/Tag	260
kWh/Gemelk	0,24

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 1B

Im untersuchten Milchviehstall werden etwa 55 Kühe täglich 2-mal mit einem einfach ausgestatteten 2 x 5-Fischgrätenmelkstand gemolken.



Für die Ermittlung des Energie- und Wasserverbrauches wurden zu Beginn des Untersuchungszeitraumes 2010 bis 2012 mehrere Unterzähler installiert. Die Messergebnisse wurden mit den Verbrauchern und deren Laufzeiten abgeglichen. Das warme Wasser für die Spülung kommt mit etwa 43 °C aus der Wärmerückgewinnung der Milch und wird im Spülautomaten nacherhitzt. Für Reinigungsarbeiten und die gelegentliche Euterreinigung werden zusätzlich etwa 0,3 m³ Warmwasser verbraucht.

Der Energiebedarf der Milchgewinnung setzt sich demnach wie folgt zusammen:

Energieverbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Zähler Melkanlage + Vakuumpumpe						
Vakuumpumpe (frequenzgesteuert)	1	4	6	50	12,0	
Milchpumpe	1	1,1	1	100	1,1	
Steuerung / PC	1	0,1	6	100	0,6	
Zwischensumme Zähler Beleuchtung + HD-Reiniger					13,7	13,6
Zähler Beleuchtung + HD-Reiniger						
Beleuchtung Melkflur	8	0,058	8,3	100	3,9	
HDR	1	3	1	100	3,0	
Zwischensumme Zähler Beleuchtung + HD-Reiniger					6,9	6,9
Zähler Spülung FGM						
Heizung	1	24	0,3	100	7,1	
Zwischensumme Zähler Spülung FGM					7,1	7,1
Zwischensumme Strom					27,6	
Warmwasserverbraucher						
	m³/d	Vorlauf °C	KW °C	Faktor	kWh / d	Meßwert
Spülwasser durch WRG aufgeheizt	0,177	43	10		6,8	
Euterduschen	0,3	43	10		11,5	
Zwischensumme Wärme					18,3	
Gesamtenergiebedarf					45,9	kWh / d

Hochgerechnet benötigte der Betrieb 270 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,42 kWh/Gemelk für die Milchgewinnung.

laktierende Kühe	55
Gesamtbestand Kühe	62
Tagesenergiebedarf kWh/d	45,9
Jahresenergiebedarf kWh/a	16.768
kWh/Kuh und Jahr	270
Gemelke/Tag	109
kWh/Gemelk	0,42

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 1C

In der MVA werden etwa 260 Kühe täglich 3-mal mit einem 2 x 10-Fischgrätenmelkstand mit schnellem Front-austrieb gemolken.



Für den Melkstand wurden die Stromverbraucher und deren tägliche Laufzeiten dokumentiert. Der Warmwasserbedarf für die Spülung wurde über vorhandene Wasserzähler ermittelt. Der zusätzliche Wasserbedarf der Euterduschen wurde mit 0,5 l/Gemelk kalkuliert.

Für die Warmwasserbereitung stehen im Betrieb sowohl die Wärmerückgewinnung der Milch als auch die Wärme einer Biogasanlage zur Verfügung. Für die Melkstandspülung wird das Wasser für den Hauptspülgang extern bis auf etwa 85 °C vorgeheizt. Eine Nachheizung während der Spülung erfolgt dann nicht mehr.

Aus den ermittelten Daten wurde der Energiebedarf der Milchgewinnung kalkuliert. Er setzte sich demnach wie folgt zusammen:

Elektroenergieverbraucher	Typ	n	Nennleistung KW	Bh / Tag	Faktor	kWh / d
Vakuumpumpe	ACS 600	1	11	12,5	50%	68,8
Vakuumpumpe	3 mal Spülen!	1	11	1,5	100%	16,5
Milchpumpe		2	1,5	2	100%	6,0
Kompressor		1	5,5	1,5	100%	8,3
Kompressor		1	3,7	1,5	100%	5,6
						0,0
el. Treiber		1	0,36	12,5	20%	0,9
						0,0
Beleuchtung Melkbereich		8	0,058	12,5	100%	5,8
weitere Beleuchtung		8	0,058	12,5	100%	5,8
						0,0
Zentralrechner		1	0,1	14	100%	1,4
Melkplatzcontroler		20	0,005	14	100%	1,4
						0,0
Zwischensumme Wärme						120,4
Warmwasserverbraucher		m³/d	Vorlauf °C	KW °C	Faktor	kWh / d
Spülung		0,51	85	10		44,5
Euterduschen		0,39	37	10		12,2
Zwischensumme Wärme						56,7
Gesamtenergiebedarf kWh / d						177,1

In der Hochrechnung des täglichen Bedarfes ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf von 249 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,23 kWh/Gemelk.

laktierende Kühe	260
Gesamtbestand Kühe	291
Tagesenergiebedarf kWh/d	177,1
Jahresenergiebedarf kWh/a	64.635
kWh/Kuh und Jahr	249
Gemelke/Tag	780
kWh/Gemelk	0,23

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 1D

In der MVA wurden im Untersuchungszeitraum 2010 bis 2012 im Mittel 736 Kühe täglich 2- bis 3-mal in einem 2 x 18-Fischgrätenmelkstand gemolken. Die durchschnittliche Melkfrequenz lag bei 2,7 Gemelken je Kuh und Tag.



Über mehrere Unterzähler wurden die elektrische Arbeit und die Wasserverbräuche im Melkprozess gemessen. Die Verbraucher und deren tägliche Laufzeiten wurden dokumentiert.

Die MVA verfügt über eine Biogasanlage, aus der warmes Wasser mit etwa 54 °C in den Milchgewinnungsprozess eingespeist wird. Für den Hauptspülgang wird das Wasser auf 64 °C nacherwärmt. Eine Rücklauf-temperatur von 50 °C nach einer 30-minütigen Zirkulationsspülung wird durch die starke Heizung eingehalten.

Der Energiebedarf des Melkprozesses setzt sich demnach wie folgt zusammen:

Energieverbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Vakuumpumpe (frequenz -> 70%)	1	7,5	22	68%	112,0	112,0
Milchpumpe	2	0,75	3	100%	4,5	4,3
Spülung FGM						
Spülung (Aufheizen von 54 auf 64 °C)	1	30	0,9	100%	26,3	
Spülung (Nachheizen 30 min Zirkulator)	1	30	1,0	100%	30,0	
Zwischensumme Spülung FGM					56,3	56,3
Beleuchtung FGM	30	0,058	17,6	100%	30,6	30,6
Kompressoren	1	7,5	3,9	100%	29,4	29,4
Antriebe Schnellaustrieb	4	0,5	22	1%	0,4	0,4
Netzteil Desinfektor	1	0,2	1	100%	0,2	0,2
Reinigungstechnik	1	0,3	1	100%	0,3	0,3
Nicht am Zähler						
Melkplatzsteuerung	36	0,005	22	100%	4,0	
Beleuchtung VWH	18	0,058	23	100%	24,0	
Ventilatoren VWH	3	0,55	5	100%	8,3	
Zwischensumme nicht am Zähler					32,3	
Zwischensumme Strom					266,1	
Warmwasserverbraucher	m³/d	Vorlauf °C	KW °C	Faktor	kWh / d	Meßwert
Spülung (Wanne)	1,45	54	10	91%	81,7	
Euterduschen	1,40	33	10	98%	38,2	
Schlauch Melkstand	1,15	54	10	98%	60,0	
Zwischensumme Wärme					179,8	
Gesamtenergiebedarf					445,9	kWh / d

In der Hochrechnung des täglichen Bedarfes ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf von 197 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,22 kWh/Gemelk.

laktierende Kühe	736
Gesamtbestand Kühe	825
Tagesenergiebedarf kWh/d	445,9
Jahresenergiebedarf kWh/a	162.758
kWh/Kuh und Jahr	197
Gemelke/Tag	1.998
kWh/Gemelk	0,22

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 1E

In der MVA wurden im Untersuchungszeitraum 2010 bis 2012 im Mittel 585 Kühe täglich 2-mal in einem 2 x 16-Side-by-side-Melkstand gemolken.



Über mehrere Unterzähler wurden die elektrische Arbeit und die Wasserverbräuche im Melkprozess gemessen. Die Verbraucher und deren tägliche Laufzeiten wurden dokumentiert.

Die MVA verfügt sowohl über eine Wärmerückgewinnungsanlage der Milchkühlung als auch über eine Biogasanlage. Mit der Wärmerückgewinnung der Milchkühlung wird das Wasser auf etwa 52 °C erwärmt. Über die Abwärme der Biogasanlage erfolgt eine Nacherwärmung auf etwa 78 °C. Für die Kochendwasserreinigung der Melkanlage wird das Wasser elektrisch auf nahe 100 °C nacherhitzt.

Als Besonderheit ist anzumerken, dass die Melkzeugzwischeninfektion mit einem „Backflush“-System erfolgt, das einen hohen Druckluftbedarf und damit ebenfalls einen erhöhten Energiebedarf aufweist.

Anmerkung: Eine Wirkungsbetrachtung der energieintensiven Sonderausstattungen war nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Der Energiebedarf des Melkprozesses setzt sich demnach wie folgt zusammen:

Energieverbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Zähler Nummer 2459895						
Vakuumpumpe	1	7,5	18	68%	91,2	
Kompressor	1	5,5	13,0	100%	71,7	71,7
Kärcher	1	6,1	2	100%	12,2	
Milchpumpe (Plattenkühler!)	1	1,5	1,5	200%	4,5	
Leuchtstoffröhren Melkstand	12	0,065	18	100%	14,0	
Leuchtstoffröhre Milchsleuse	1	0,065	2	100%	0,1	
Beleuchtung Melkstand Dampfampen	3	0,25	18	100%	13,5	
Beleuchtung VWH + Zutrieb Dampfampen	7	0,25	9	100%	15,8	
Leuchtstoffröhren in Nebenräumen	12	0,065	2	100%	1,6	
Heizlüfter Melkstand - Gebläse	5	0,05	18	100%	4,5	
el. Kuhltrieb	1	0,75	14	56%	5,9	
Curtains	6	0,75	0,5	100%	2,3	
Spülpumpe	2	0,012	0,2	100%	0,0	
Zentralrechner	1	0,1	18	100%	1,8	
Netzteile UCC + Melktechnik	32	0,005	18	100%	2,9	
Umwälzpumpe Heizung	2	0,038	24	100%	1,8	
Schmutzwasserpumpe Milchsleuse	1	0,05	2	100%	0,1	
Heizung Boiler	4	4,5	4,12	100%	74,2	
Zwischensumme Strom					318,0	318,0
Warmwasserverbraucher	m³/d	Vorlauf °C	KW °C	Faktor	kWh / d	Meßwert
WRG Biogasanlage	2,56	78	52		77,4	
WRG Milchkühlung (->Boiler, Flur)	3,30	52	10		161,4	
Zwischensumme Wärme					238,8	
Gesamtenergiebedarf					556,8	kWh / d

In der Hochrechnung des täglichen Bedarfes ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf von 310 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,49 kWh/Gemelk.

laktierende Kühe	585
Gesamtbestand Kühe	655
Tagesenergiebedarf kWh/d	556,8
Jahresenergiebedarf kWh/a	203.219
kWh/Kuh und Jahr	310
Gemelke/Tag	1.132
kWh/Gemelk	0,49

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 1F

In der MVA werden etwa 1.200 Kühe täglich 2-mal mit einem 2 x 24-Side-by-side-Melkstand gemolken. Der Melkstand verfügt über eine Unterkellerung.



Im Untersuchungszeitraum 2010 bis 2013 wurden die elektrische Arbeit und die Wasserverbräuche im Melkprozess über Unterzähler gemessen. Die Verbraucher und deren tägliche Laufzeiten wurden dokumentiert. Die MVA verfügt über eine Biogasanlage, aus der vorgewärmtes Wasser mit etwa 55 °C in den Milchgewinnungsprozess eingespeist wird.

Der Energiebedarf des Melkprozesses setzt sich demnach wie folgt zusammen:

Energieverbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Zähler "Niedersp."						
Kompressoren incl. Treiberantrieb	3	5,5	6,5		107,3	
Melkstand außer Licht						
2 Milchpumpen	2	1,1	4,0		8,8	
Melkplatzcontroler	48	0,005	20		4,8	
Milchmengenmessung	48	0,005	20		4,8	
Zwischensumme Niedersp.					125,6	125,6
Zähler "Klpfl. 1"						
Spülautomaten Melkstand nachheizen	2	12	1,2		28,4	
Zwischensumme Nachheizung					28,4	28,4
Zähler "Klpfl. 2"						
Vakuumpumpe (Melken->frequenzg.)	1	12	18	37%	80,4	
Vakuumpumpe (Spülen)	1	12	2	100%	24,0	
Zwischensumme Vakuumpumpe					104,4	104,4
nicht am Zähler						
Beleuchtung, insgesamt 46 Leuchtstoffröhren	46	0,058	16		42,7	
6 Ventilatoren VWH und Melkstand	6	0,55	5		16,5	
Zentralrechner	1	0,1	20		2,0	
Zwischensumme nicht am Zähler					61,2	
Zwischensumme Strom					319,6	
Warmwasserverbraucher						
	m³/d	Vorlauf °C	KW °C		kWh / d	Meßwert
Spülung	1,135	55	10		59,4	
Airwash	0,224	55	10		11,7	
Reinigung	1,444	55	10		75,6	
Zwischensumme Wärme					146,7	
Gesamtenergiebedarf					466,3 kWh / d	

In der Hochrechnung des täglichen Bedarfes ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf von 127 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,19 kWh/Gemelk.

laktierende Kühe	1.200
Gesamtbestand Kühe	1.344
Tagesenergiebedarf kWh/d	466,3
Jahresenergiebedarf kWh/a	170.195
kWh/Kuh und Jahr	127
Gemelke/Tag	2.400
kWh/Gemelk	0,19

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 1G

In der MVA werden etwa 220 Kühe mit einem Innenmelker-Karussell mit 18 Melkplätzen 2-mal täglich gemolken.



Für das Melkkarussell wurden die Stromverbraucher und deren tägliche Laufzeiten dokumentiert. Der Warmwasserbedarf für die Spülung wurde nach Herstellerangaben ermittelt. Der zusätzliche Wasserbedarf der Euterduschen wurde mit 0,5 l/Gemelk kalkuliert.

Für die Warmwasserbereitung steht im Betrieb eine Wärmerückgewinnung der Milch zur Verfügung, womit das Wasser auf etwa 53 °C erwärmt wird. Während der Spülung erfolgt eine Nacherwärmung über einen Durchlauferhitzer.

Aus den ermittelten Daten wurde der Energiebedarf der Milchgewinnung kalkuliert. Er setzte sich demnach wie folgt zusammen:

Elektroenergieverbraucher	Typ	n	el. Leistung KW	Bh / Tag	Faktor	kWh / d
Vakuumpumpe melken	DVP2000F	1	5,5	7	50%	19,3
Vakuumpumpe	DVP2000F	1	5,5	1	100%	5,5
Milchpumpe		1	1,5	7	20%	2,1
Milchpumpe		1	1,1	1	100%	1,1
Kompressor	Kaeser EPC 340- 100	1	1,7	3,5	100%	6,0
Antrieb		1	0,4	7	50%	1,4
Beleuchtung Melkbereich		12	0,06	7	100%	5,0
Zentralrechner	ALPRO	1	0,05	24	100%	1,2
Melkplatzcontroler		18	0,005	7	100%	0,6
kein weiteres Licht						0,0
Durchlauferhitzer		1	13	0,67	100%	8,7
						0,0
Zwischensumme Strom						50,9
Warmwasserverbraucher		m³/d	Vorlauf °C	KW °C		kWh / d
Spülung		1,14	53	10		57,2
Reinigung und Euterduschen		0,22	37	10		6,9
Zwischensumme Wärme						64,1
Gesamtenergiebedarf kWh / d						114,9

In der Hochrechnung des täglichen Bedarfes ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf von 165 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,26 kWh/Gemelk.

laktierende Kühe	220
Gesamtbestand Kühe	255
Tagesenergiebedarf kWh/d	114,9
Jahresenergiebedarf kWh/a	41.956
kWh/Kuh und Jahr	165
Gemelke/Tag	440
kWh/Gemelk	0,26

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 1H

In der MVA werden etwa 420 Kühe mit einem Innenmelker-Karussell mit 24 Melkplätzen 2-mal täglich gemolken.



Im Untersuchungszeitraum 2010 bis 2012 wurden Strom- und Wasserverbräuche im Melkprozess über Unterzähler gemessen. Die Stromverbraucher und deren tägliche Laufzeiten wurden dokumentiert.

Für die Warmwasserbereitung steht im Betrieb eine Wärmerückgewinnung aus Milch und Abwärme der Biogasanlage zur Verfügung, womit das Wasser auf etwa 68 °C erwärmt wird. Vor und während der Zirkulationsreinigung erfolgt keine Nachheizung.

Der Energiebedarf der Milchgewinnung setzt sich demnach wie folgt zusammen:

Energieverbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Zähler Nr. 2459895						
Vakuumpumpe frequenzgest.; 33 %	1	7,5	18	41%	54,7	
Antrieb	1	0,37	17	60%	3,8	
el. Treiber	1	0,36	1	100%	0,4	
Kärcher	1	1,5	1	100%	1,5	
Milchpumpe	1	1,5	4	100%	6,0	
Licht Kar.	12	0,058	17	100%	11,8	
Steuerung PC	1	0,1	18	100%	1,8	
MPC/Anzeige	24	0,005	18	100%	2,2	
keine Heizung Spülautomat !					0,0	
					0,0	
Zwischensumme Zähler					82,1	82,1
nicht am Zähler						
Licht VWH	34	0,058	16	100%	31,6	
Zwischensumme nicht am Zähler					31,6	
Zwischensumme Strom					113,7	
Warmwasserverbraucher	m³/d	Vorlauf °C	KW °C		kWh / d	Meißwert
Warmwassermenge insgesamt	1,48	68	10		99,7	
Zwischensumme Wärme					99,7	
Gesamtenergiebedarf					213,3	kWh / d

In der Hochrechnung des täglichen Bedarfes ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf von 162 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,25 kWh/Gemelk.

laktierende Kühe	419
Gesamtbestand Kühe	482
Tagesenergiebedarf kWh/d	213,3
Jahresenergiebedarf kWh/a	77.872
kWh/Kuh und Jahr	162
Gemelke/Tag	837
kWh/Gemelk	0,25

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 11

In der ehemaligen 1930er-MVA werden etwa 1.200 Kühe täglich generell 3-mal mit einem Innenmelker-Karussell mit 40 Melkplätzen gemolken.



Im Untersuchungszeitraum 2010 bis 2012 wurden Strom- und Wasserverbräuche im Melkprozess über Unterzähler gemessen. Die Stromverbraucher und deren tägliche Laufzeiten wurden dokumentiert.

Für die Warmwasserbereitung steht im Betrieb eine Wärmerückgewinnung aus Milch zur Verfügung, womit das Wasser auf bis zu 63 °C erwärmt wird. Für die Spülung wird das Wasser auf 80 °C elektrisch nachgeheizt. Während der Zirkulationsreinigung erfolgt eine Nachheizung.

Der Energiebedarf der Milchgewinnung setzt sich demnach wie folgt zusammen:

Energieverbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Vakuumpumpe (frequenz -> 70%)	1	12	23	70%	193,2	
Milchpumpe (Plattenkühler!)	2	1,5	5	100%	15,0	
Karussellantrieb	2	0,37	23	56%	9,6	
Tankspülung	1	20	0,75	100%	15,0	
Beleuchtung Kar.	30	0,058	23	100%	40,0	
Beleuchtung VWH	18	0,058	23	100%	24,0	
Kompressoren	3	5,5	8,765	100%	144,6	
Ventilatoren VWH	2	0,5	6	100%	6,0	
Kuhbürste VWH	1	0,25	24	10%	0,6	
Waschmaschinen	1	6	10	100%	60,0	
Spülung (Nachheizen)	1	12	3	100%	36,0	
Zentralrechner	1	0,1	24	100%	2,4	
Melkplatzcontroler	40	0,005	23	100%	4,6	
Milchmengenmessung	40	0,005	23	100%	4,6	
Zwischensumme Zähler					555,6	555,6
Abzug						
Tankspülung	1	20	0,75	100%	15,0	
Zwischensumme Abzug					15,0	
Zwischensumme Strom					540,6	
Warmwasserverbraucher	m³/d	Vorlauf °C	KW °C		kWh / d	Meßwert
WW Karusellspülung nachheizen	1,80	80	63		35,6	
WRG Milchkühlung	1,80	63	25		79,5	79,5
WRG Vorkühler	1,80	25	12		27,2	27,2
Zwischensumme Wärme					106,8	
Gesamtenergiebedarf					647,4	kWh / d

In der Hochrechnung des täglichen Bedarfes ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf von 167 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,18 kWh/Gemelk.

laktierende Kühe	1.219
Gesamtbestand Kühe	1.419
Tagesenergiebedarf kWh/d	647,4
Jahresenergiebedarf kWh/a	236.301
kWh/Kuh und Jahr	167
Gemelke/Tag	3.657
kWh/Gemelk	0,18

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 1J

In der 2010 neu errichteten Milchviehanlage wurden im Untersuchungszeitraum 2010 bis 2013 im Mittel 472 Kühe täglich bis zu 4-mal mit einem Außenmelker-Karussell mit 40 Melkplätzen gemolken. Die mittlere Melkfrequenz lag bei 2,7. Als Besonderheit muss erwähnt werden, dass die Zitzen nach Melkende automatisch über das Melkzeug gedippt werden. Der Tierbestand ist noch im Aufbau begriffen. Es ist zu erwarten, dass sich mit einer höheren Auslastung der Melkanlage die Energieeffizienz weiter verbessern wird.



Strom- und Wasserverbräuche im Melkprozess wurden über Unterzähler gemessen. Die Stromverbraucher und deren tägliche Laufzeiten wurden dokumentiert.

Für die Warmwasserbereitung nutzt der Betrieb eine Wärmerückgewinnung aus der Biogasanlage, womit das Wasser auf bis zu 75 °C erwärmt wird. Für die Spülung wird das Wasser auf 85 °C elektrisch nachgeheizt. Während der Zirkulationsreinigung erfolgt keine weitere Nachheizung.

Der Energiebedarf der Milchgewinnung setzt sich demnach wie folgt zusammen:

Energieverbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Zähler Melkstand						
Vakuumpumpe RPS 2800 (Melken)	1	7,2	17	37,2	45,5	
Vakuumpumpe RPS 2800 (Spülung)	1	7,2	1	38,5	2,8	
Kompressor Kaeser SX 4	1	3	1	100	3,0	
Milchpumpe	1	2,25	1,5	100	3,4	
Licht Karussell	8	0,25	8	100	16,0	
Licht Melkplatz	4	0,058	16	100	3,7	
Antrieb Karussell	1	0,37	16	80	4,7	
HDR	1	0,75	0,5	100	0,4	
Melkplatzcontroler	40	0,005	16	100	3,2	
Zentralrechner	1	0,1	18	100	1,8	
Boiler	1	11	0,9	100	9,9	
Zwischensumme Melken					94,4	94,4
weitere Verbraucher (nicht am Zähler)						
Licht VWH	3	0,25	6	100	4,5	
el. Kuhlreiber	1	0,36	1	100	0,4	
Ventilator VWH	1	0,75	3	100	2,3	
					0,0	
Zwischensumme weitere Verbraucher					7,1	
Zwischensumme Strom					101,5	
Warmwasserverbraucher						
	m³/d	Vorlauf °C	KW °C	Faktor	kWh / d	Meßwert
WW-Bezug aus Biogasanlage	2,42	75	10		183,1	
Zwischensumme Wärme					183,1	
Gesamtenergiebedarf					284,6	kWh / d

In der Hochrechnung des täglichen Bedarfes ergibt sich ein Gesamtenergiebedarf von 196 kWh/Kuh und Jahr bzw. 0,23 kWh/Gemelk.

laktierende Kühe	472
Gesamtbestand Kühe	529
Tagesenergiebedarf kWh/d	284,6
Jahresenergiebedarf kWh/a	103.880
kWh/Kuh und Jahr	196
Gemelke/Tag	1.253
kWh/Gemelk	0,23

Anlage 2: Dokumentation der einzelnen Untersuchungsbetriebe Kühlen (2A bis 2H)

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 2A

Im 2011 neu gebauten Stall werden etwa 540 Kühe mit 8 AMS gemolken. Die Milchviehanlage ist ausgestattet mit einem Milchtank mit einem Fassungsvermögen von 20.000 l. Es handelt sich um eine Direktkühlung. Zur Überbrückung der Tankspülung sind zwei Zwischentanks vorhanden, in denen aber keine Kühlung erfolgt.



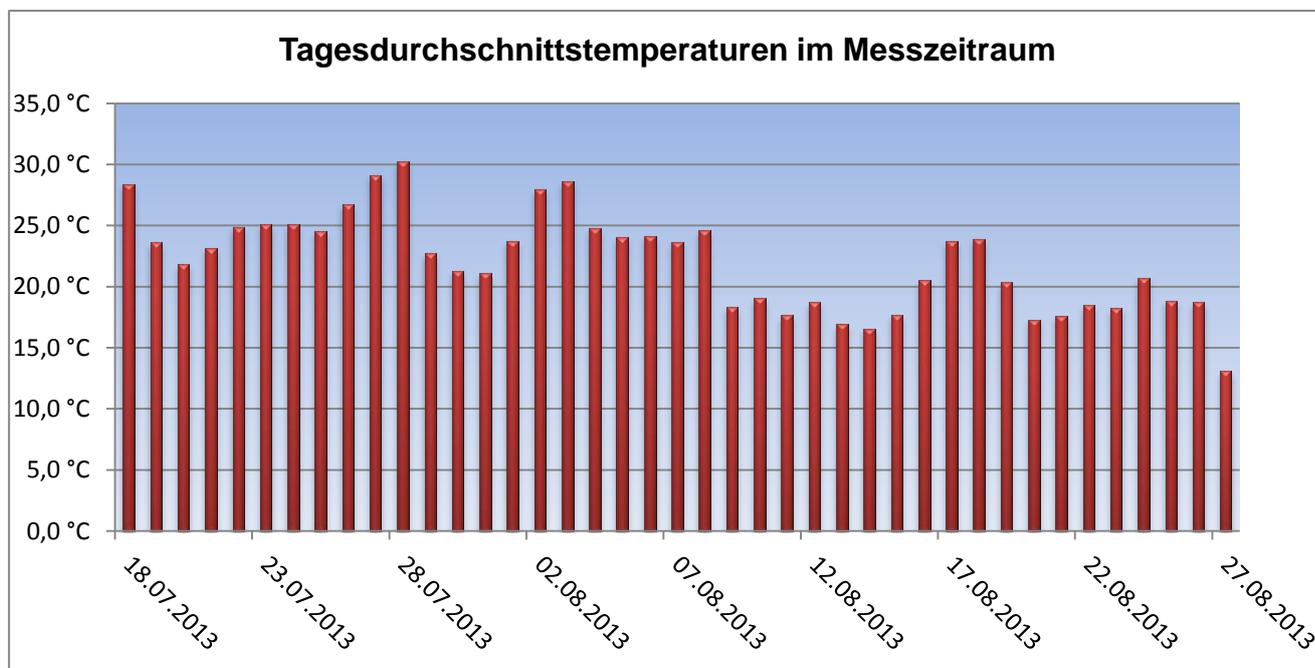
Die beiden Scrollverdichter der Kälteaggregate haben eine elektrische Anschlussleistung von 5,8 KW. Die Verflüssiger befinden sich auf der Nordseite außen am Milchhaus.



Vorkühler und Wärmerückgewinnung sind nicht vorhanden.

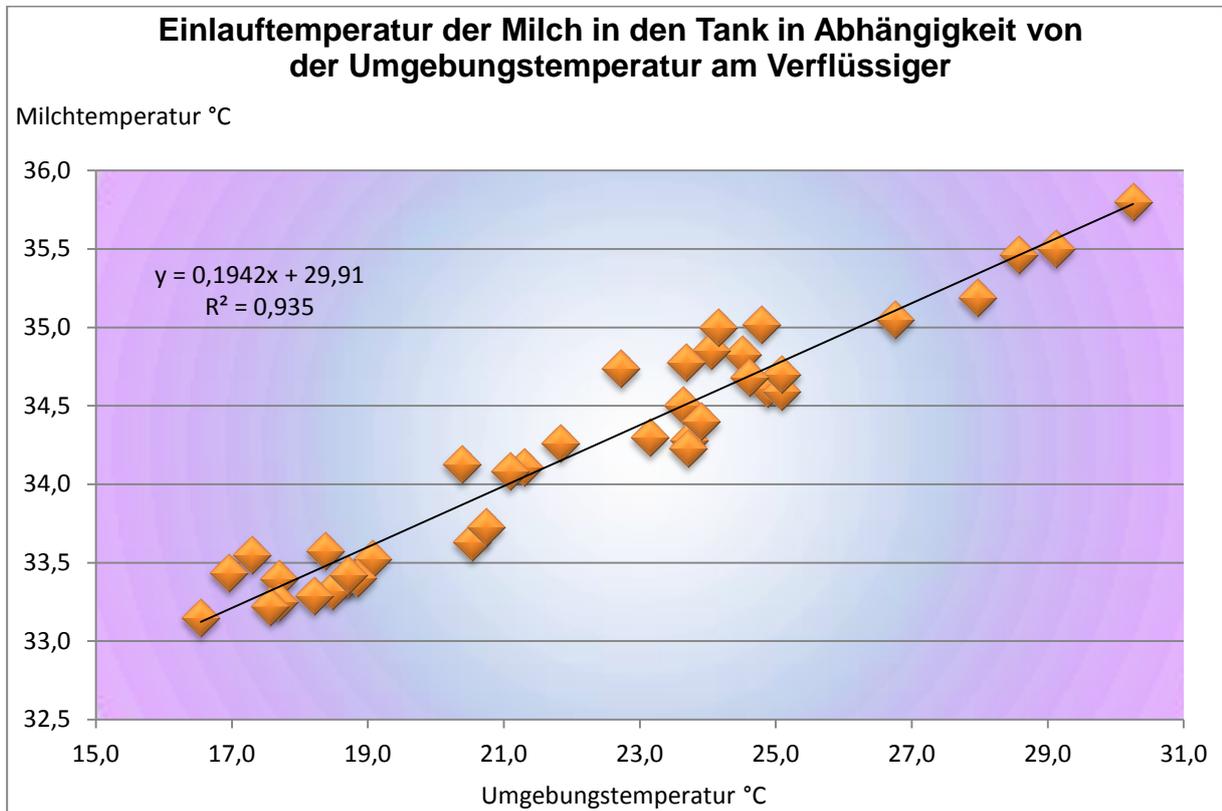
Die Sommermessreihe wurde vom 19.07. bis 26.08.2013 durchgeführt. In diesem Zeitraum wurden täglich nach der Milchabholung der Zählerstand des Stromzählers, die gelieferte Milchmenge mit der Temperatur und die Abholzeit dokumentiert. Mit Datenloggern wurden die Umgebungstemperatur des Verflüssigers und die Temperatur auf den beiden Milcheinläufen aufgezeichnet. Zusätzlich wurde über einen kurzen Zyklus die Temperaturkurve im Tank aufgezeichnet.

Die Tagesdurchschnittstemperaturen lagen im Messfenster zwischen 13,1 und 30,3 °C, im Durchschnitt bei 22,2 °C. Die Höchsttemperatur lag bei 38 °C, die Tiefsttemperatur bei 8,5 °C.

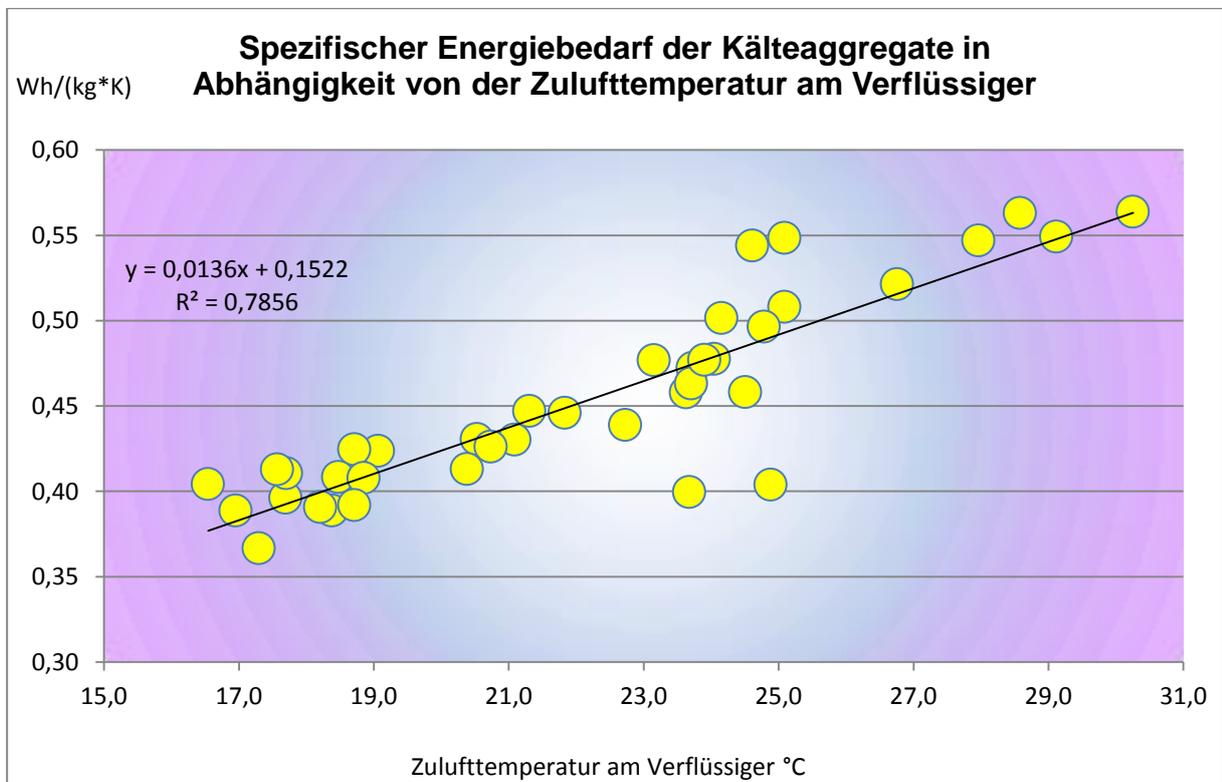


Die tägliche elektrische Arbeit der Kälteaggregate inkl. Lüfter lag im Durchschnitt bei 204,9 kWh in einer Spanne von 161,1 und 284,4 kWh. Diese große Schwankungsbreite erklärt sich u. a. durch unregelmäßige Milchabholzeiten. Weil im AMS-Betrieb kontinuierlich über 24 Stunden gemolken wird, bedingt eine Verspätung der Milchabholung eine Erhöhung der Milchmenge, die bis dahin auch unter Energieeinsatz gekühlt werden musste.

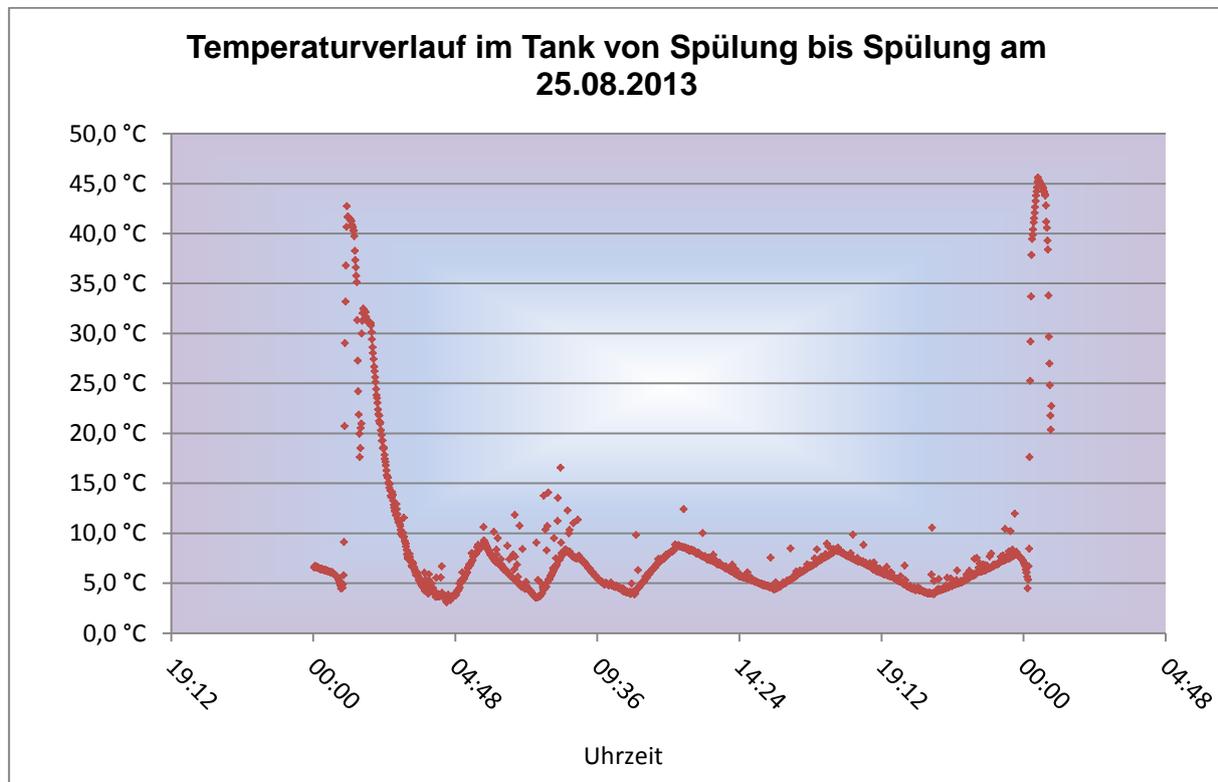
Die Umgebungstemperatur wirkt sich auf die Einlauftemperatur der Milch aus. Mag auch die Schwankungsbreite von 3 K nicht groß erscheinen, so entspricht diese Temperaturdifferenz bei einer durchschnittlichen Ablieferungsmilchmenge von 15.140 kg einer Energie von 47 kWh. Diese Energie muss der Milch unter Einsatz elektrischer Energie entzogen werden!



Bereinigt um die genannten Einflussfaktoren, wurde der spezifische Energiebedarf der Kälteaggregate ermittelt, der zum Energieentzug aus der Milch aufgewendet werden muss. In Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur werden zwischen 0,36 und 0,55 Wh je kg und K benötigt, korrigiert auf 20 °C liegt er bei 0,417 Wh/(kg*K).



Zusätzlich wurde der Temperaturverlauf im Tank gemessen. Daraus kann ein Rückschluss auf die Dauer der einzelnen Kühlzyklen und damit auf die geleisteten Betriebsstunden der Aggregate gezogen werden. Im Verlauf des 25.08. arbeiteten die Aggregate demnach etwa 13,2 h. Multipliziert mit dem elektrischen Anschlusswert ergibt sich mit 163,7 kWh eine hervorragende Übereinstimmung mit dem Messwert für diesen Tag (161,1 kWh).



Der tägliche Gesamtenergiebedarf setzt sich wie folgt zusammen:

Dokumentation der angeschlossenen Stromverbraucher						
Angeschlossene Verbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Tank						
Kälteaggregate	2	5,8	16,53	100	191,7	
Lüfter Kälteaggregate	4	0,2	16,53	100	13,2	
Zwischensumme Kühlen					204,9	204,9
Rührwerk Tank	2	0,05	17,15	100	1,7	
Tankspülung						
Heizung	1	13	0,25	100	3,3	
Spülpumpe	1	0,7	0,5	100	0,4	
Spülpumpe Puffertank	2	0,55	0,5	100	0,6	
Zwischensumme Spülung					4,2	
eingesetzte Wärmeenergie						
	Warmwasser m³ / d	Vorlauf °C	Rücklauf °C		kWh / d	Messwert
Spülwasser	0,185	10	53		9,3	
Zwischensumme Wärme					9,3	
Gesamtenergiebedarf					220,0	KWh/d

Die Wintermessreihe wurde im Zeitraum 19.12.2013 bis 08.01.2014 durchgeführt. Mit einem spezifischen Energiebedarf der Kälteaggregate von 0,401 Wh/(kg*K) bei 5 °C Zulufttemperatur wurde erwartungsgemäß ein geringerer Stromverbrauch bei niedrigeren Umgebungstemperaturen nachgewiesen.

Fazit

Der spezifische Energiebedarf der Kälteaggregate liegt unter dem Durchschnitt der untersuchten Anlagen. Ein wesentlicher Faktor ist die Anordnung der Verflüssiger an der nördlichen Außenseite des Milchhauses. Damit wird die niedrigstmögliche Zulufttemperatur gewährleistet. Auch kann der Anlage ein guter Wartungszustand bescheinigt werden.

Nicht beurteilt werden kann auf Grundlage der vorliegenden Messungen, inwieweit die Aggregate selbst und deren Steuerung sowie der kontinuierlich über 24 Stunden gewährleistete Milchzufluss einen Einfluss auf die Effizienz haben. Bei den Kompressoren handelt sich um Scrollverdichter, denen im Allgemeinen ein geringerer Energiebedarf als Hubkolbenverdichtern unterstellt wird.

Zur weiteren Verringerung des Gesamtenergieverbrauches ist dem Betreiber die Nachrüstung eines Vorkühlers nahezu legen.

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 2B

Im Untersuchungsbetrieb werden etwa 260 Kühe im 2 x 10 FGM mit schnellem Frontantrieb 3-mal täglich gemolken. Die Milch wird in einem Direkt-Kühltank mit einem Volumen von 12.000 l gelagert und gekühlt. Im ersten Messzeitraum wurden im Schnitt 8.787 l Milch täglich ermolken. Das entspricht einer Tankauslastung von 73 %.

Die beiden Kälteaggregate sind mit Scrollverdichtern ausgestattet. Die Zuluft zum Verflüssiger wird durch ein Lamellenfenster von außen angesaugt.



Die Anlage verfügt über eine Wärmerückgewinnung. Das auf 53 °C erwärmte Wasser wird zur Spülung und im Sanitärbereich eingesetzt. Eine Vorkühlung ist nicht vorhanden. Die Sommermessreihe zum Energiebedarf der Milchkühlung wurde im Zeitraum vom 13. bis 27.09.2013 durchgeführt. In diesem Zeitraum lagen die Tagesdurchschnittstemperaturen – gemessen am Zuluftfenster von Abholung bis Abholung – bei 11,8 °C.

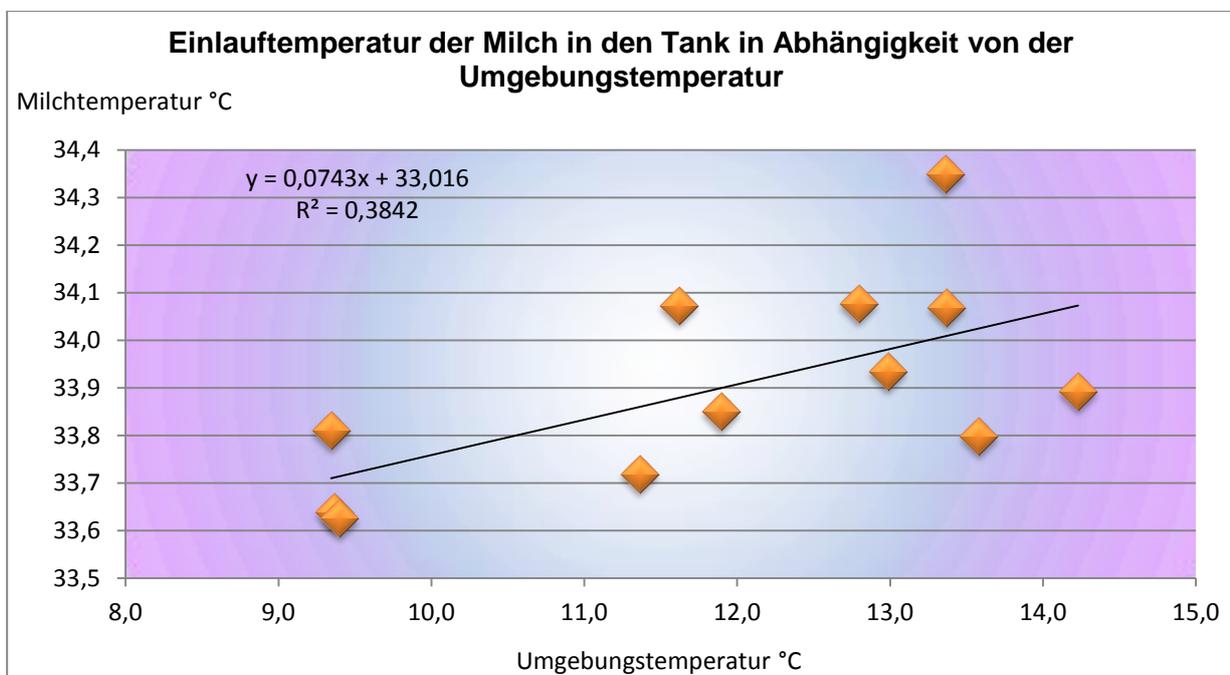
Die mittlere Einlauftemperatur der Milch in den Kühltank lag bei 34,0 °C. Bei Abholung betrug die Temperatur der Milch im Schnitt 5,1 °C. Durch die zur Milchkühlung erforderlichen Energieverbraucher wurden insgesamt folgende Energiemengen verbraucht:

Dokumentation der angeschlossenen Stromverbraucher

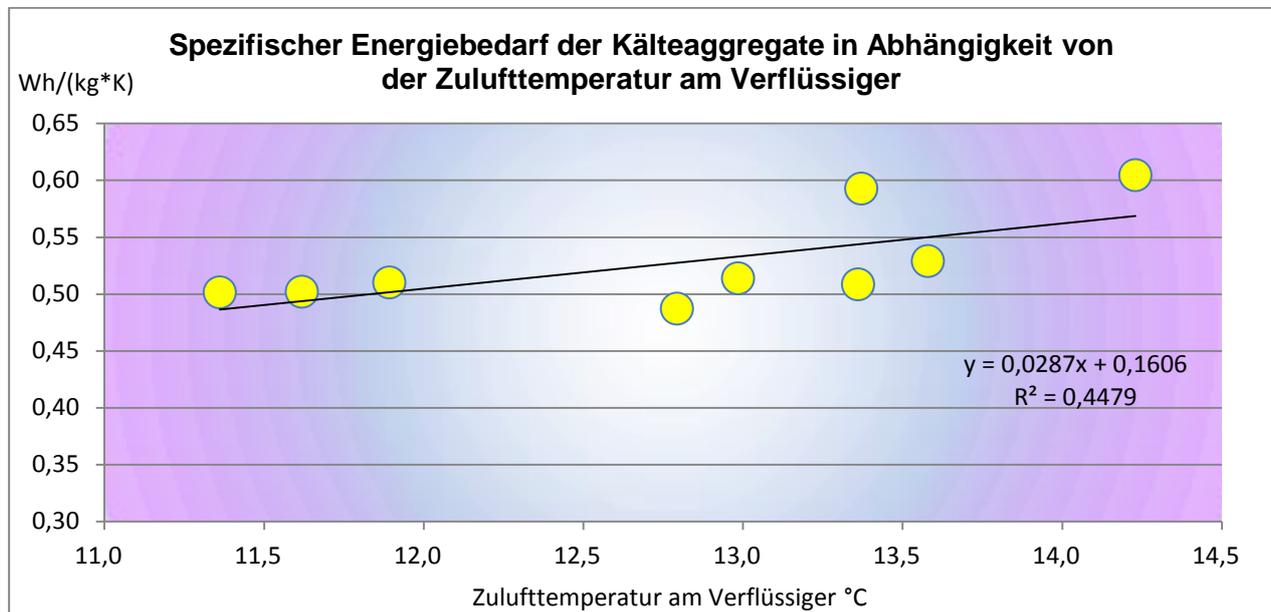
Angeschlossene Verbraucher	n	Nennleistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Kälteanlage						
Kälteaggregate	2	7,5	9,4	100	141,2	
Lüfter Kälteaggregate	4	0,2	9,4	50	3,8	
Zwischensumme Kühlen					144,9	144,9
Rührwerk Tank	1	0,224	10,2	100	2,3	
Tankspülung						
Heizung	1	9,5	0,25	100	2,4	
Spülpumpe	1	0,7	0,5	100	0,4	
Zwischensumme Spülen					2,7	
WRG						
Zirkulationspumpe	1	0,245	9,41	100	2,3	
Zwischensumme WRG					2,3	
eingesetzte Wärmeenergie						
	Wassermenge					
	m³ / d	Vorlauf °C	Rücklauf °C		kWh / d	Messwert
Spülwasser	0,155	10	53		7,8	
Zwischensumme Wärme					7,8	
Gesamtenergiebedarf					160,0	kWh

Je Tankspülung werden laut Herstellerangaben 156 l Warmwasser eingesetzt. Diese entspringen zunächst der Wärmerückgewinnung, werden dann aber über einen Durchlauferhitzer für die Dauer von etwa 15 Minuten für zwei Hauptspülgänge über einen Durchlauferhitzer nachgeheizt.

Die folgende Darstellung zeigt den Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur (am Zuluftfenster) und Milchtemperatur am Einlauf zum Tank.



Weniger deutlich als in anderen Anlagen ist der im folgenden Diagramm dargestellte Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur und dem spezifischen Energiebedarf der Kälteaggregate für die Kühlung von 1 kg Milch um 1 K. Der mittlere gemessene Wert lag bei 0,552 Wh/(kg*K). Hochgerechnet auf 20 °C Umgebungstemperatur beträgt er 0,735 Wh/(kg*K), was über dem Durchschnitt der untersuchten Anlagen liegt. Allerdings lagen die Tagesdurchschnittstemperaturen im gesamten Messzeitraum unter 20 °C.



Über die Wärmerückgewinnung wurden täglich 49,5 kWh Energie zurückgewonnen, welche zur Erwärmung von einem Kubikmeter Wasser von 10 auf 53 °C reichen. Bezogen auf die verfügbare Wärmemenge der Milch entspricht das lediglich einer Ausnutzung von 18,7 %. Dem Betrieb steht ausreichend Wärmeenergie aus einer Biogasanlage zur Verfügung.

Die Wintermessreihe wurde vom 21.02. bis 04.03 2014 durchgeführt. Der spezifische Energiebedarf, korrigiert auf eine Umgebungstemperatur von 5 °C, lag bei 0,680 Wh/(kg*K). Einerseits liegt dieser Wert wieder über dem Durchschnitt der untersuchten Anlagen, andererseits erwartungsgemäß über dem Wert im Sommer.

Zwischen Sommer- und Wintermessreihe wurden der Wärmemengenzähler instandgesetzt und Wartungsarbeiten an der Anlage durchgeführt. Die täglich zurückgewonnene Wärmemenge lag im Schnitt bei 52,9 kWh, was wiederum einer geringen Auslastung der Nutz-Kälteenergie von 19,9 % entspricht.

Fazit

Die Energieeffizienz der Kühlanlage ist unterdurchschnittlich. Bei einer in etwa durchschnittlichen Tankauslastung kann eine Ursache in der mangelhaft ausgelasteten, aber dennoch permanent arbeitenden Wärmerückgewinnung bestehen. Zur Senkung des täglichen Energiebedarfes wäre auf jeden Fall ein Vorkühler sinnvoll.

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 2C

Der Betrieb melkt gegenwärtig etwas mehr als 500 Kühe, einen Teil davon 4-mal täglich mit einem 40er-Außenmelkerkarussell. Die Kühe stehen in einem neu errichteten Boxenlaufstall. Ein weiterer neuer Stall – kombiniert für melkende Kühe, Trockensteher und Abkalbbereich – entsteht gegenwärtig. Eine Bestandserweiterung steht in diesem Zusammenhang noch bevor. Die Milch wird in einem Direktkühltank mit einem Fassungsvermögen von 25.000 l gelagert und gekühlt. Dieses Volumen wurde im Sommer zu etwa 67 % ausgelastet.

Zur Kühlung stehen zwei Hubkolbenverdichter zur Verfügung. Die Aggregate sind als Block in Kombination mit drei Kühlventilatoren angeordnet.



Die Anlage verfügt über einen Plattenkühler, der die Milch mit Brunnenwasser vorkühlt. Weil die Milchviehanlage über eine Biogasanlage verfügt, wurde die ehemals vorhandene Wärmerückgewinnungsanlage abgeschaltet.

Die Sommermessreihe zum Energieverbrauch wurde im Zeitraum vom 27.08. bis 02.09.2013 durchgeführt. Im Verlauf der Messreihe unterschied sich die Tagesdurchschnittstemperatur der Ansaugluft zu den Aggregaten nur geringfügig. Der mittlere Wert lag bei 21,7 °C in einer Schwankungsbreite von 19,5 bis 23,7 °C. Tiefste Nachttemperaturen lagen bei 12,8 °C, höchste Tageswerte bei 29,8 °C.

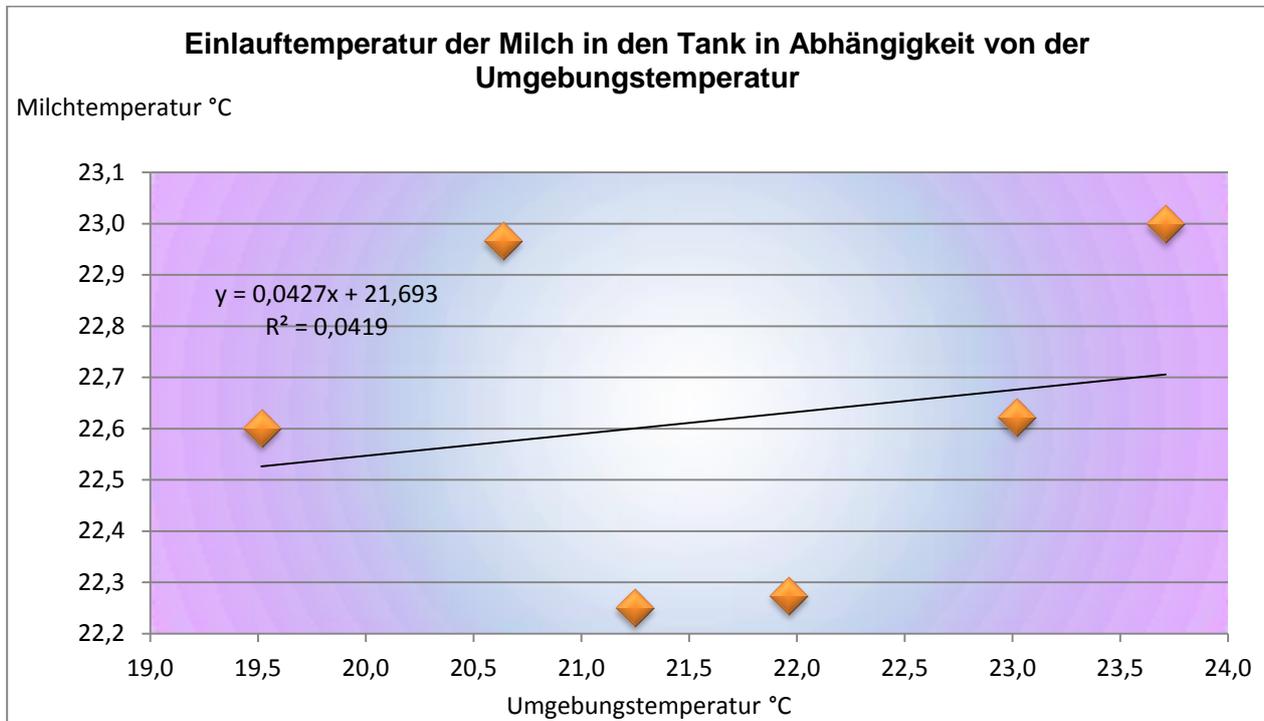
Die Einlauftemperatur in den Milchtank wurde mittels Tinytag Plus 2 TGP 4520 mit externem Oberflächenfühler auf der Milchleitung vor dem Tank gemessen. Der Durchschnitt beträgt 22,6 °C. Die Mittelwerte der Temperatur zwischen Früh- und Spätschicht unterscheiden sich nicht.

Zur Messung der elektrischen Arbeit wurde durch den vom Betrieb beauftragten Elektriker ein Diagnosegerät im Schaltschrank installiert, mit welchem die elektrische Arbeit der Kälteaggregate in einer 5-Minuten-Taktung aufgezeichnet wurde. Leider war ein Export dieser Daten in eine EXCEL-lesbare Datei nicht möglich, sodass auf eine grafische Darstellung der Lastgangkurve verzichtet werden muss. Der Stromverbrauch der Kälteaggregate liegt im Mittel bei 160,2 kWh/d. Die Aggregate liefen täglich etwa 11 Stunden und 20 Minuten. Unmittelbar nach Melkende war die Milch auf die Zieltemperatur abgekühlt. Zwischen den Melkzeiten musste nicht gekühlt werden. Während der Melkzeiten liefen die Aggregate mit wenigen Ausnahmen ununterbrochen. Die Laufzeit multipliziert mit den Anschlusswerten zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Messwert. Der tägliche Gesamtenergiebedarf stellt sich wie folgt dar:

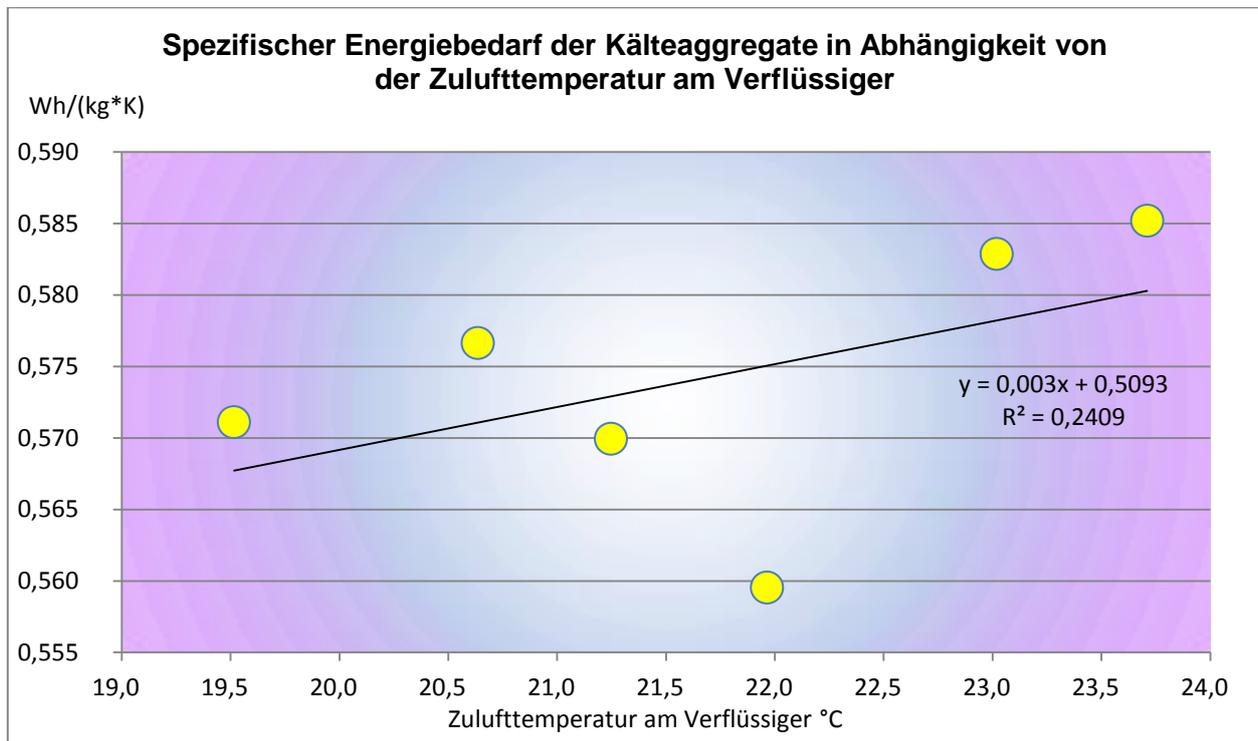
Dokumentation der angeschlossenen Stromverbraucher						
Angeschlossene Verbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Kälteanlage						
Kälteaggregate	2	6,3	11,3	100	142,6	
Lüfter Kälteaggregate	3	0,52	11,3	100	17,7	
Zwischensumme Kühlen					160,2	160,2
Tank 25.000 l						
Rührwerk Tank	2	0,244	12,1	100	5,9	
Tankspülung						
Heizung	1	11,2	0,25	100	2,8	
Spülpumpe	1	0,7	0,5	100	0,4	
Zwischensumme Spülung					3,2	
Vorkühlung						
Umwälzpumpe	1	0,05	11,3	100	0,6	
					0,0	
Zwischensumme Vorkühlung					0,6	
eingesetzte Wärmeenergie		Wasser m³ / d	Vorlauf °C	Rücklauf °C	kWh / d	Messwert
Spülwasser		0,230	15,5	53	10,0	
Zwischensumme Wärme					10,0	
Gesamtenergieverbrauch					179,9	KWh/d

Für die Spülung wird Wasser aus der Wärmerückgewinnung der Biogasanlage eingesetzt. Für die Nachheizung steht ein Durchlauferhitzer zur Verfügung. Während der Spülung wurden maximal 55 °C auf dem Milcheinlauf gemessen.

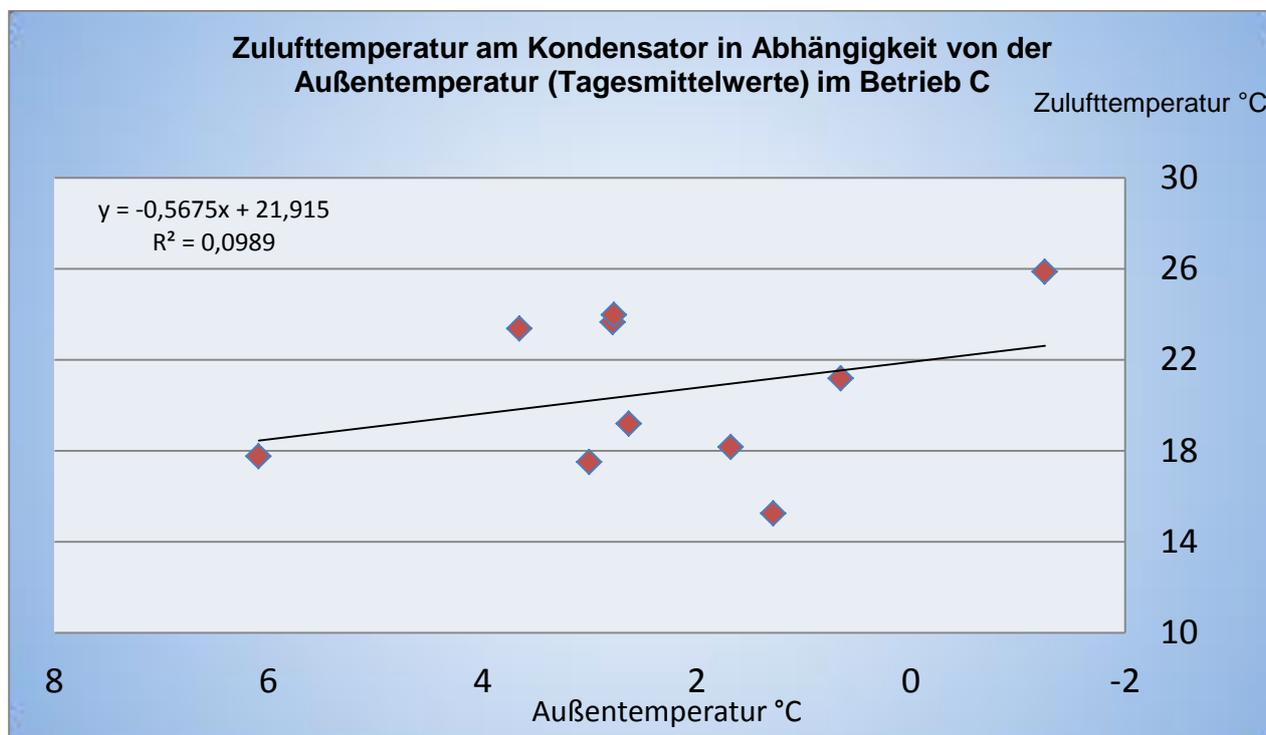
Im folgenden Diagramm ist der Zusammenhang zwischen Milcheinlauftemperatur in den Tank und Umgebungstemperatur (gemessen im Milchhaus = Zulufttemperatur zum Kühlblock) dargestellt. Der Anstieg fällt hier geringer aus als in anderen Anlagen. Das kann daran liegen, dass die Temperaturschwankungen im Messzeitraum nur gering waren. Hinzu kommt, dass der Kühlblock inmitten des Milchhauses steht, wo die Tag-Nacht-Schwankungen geringer sind als in anderen Anlagen.



Ebenso ist der nachfolgend dargestellte Zusammenhang zwischen der Zulufttemperatur am Verflüssiger und dem spezifischen Energieverbrauch im Messfenster zwar erkennbar, aber schwach ausgeprägt. Bei einer Temperatur von 20 °C beträgt er 0,569 Wh/(kg*K).



Die Wintermessreihe wurde vom 08. bis 19.01.2014 durchgeführt. Der mittlere Energiebedarf der Kälteaggregate lag mit 166,8 kWh/d etwas über dem Sommerwert, was vor allem auf eine größere Milchmenge zurückzuführen ist. Weil im Winter die Tore verschlossen gehalten wurden, war die Raumtemperatur höher als im Sommer, wodurch auch die Zulufttemperaturen am Kondensator mit durchschnittlichen 20,3 °C untypisch erhöht waren. Der Temperaturverlauf verhält sich gar umgekehrt proportional zur Außentemperatur.



Der spezifische Energiebedarf der Wintermessreihe betrug 0,465 Wh/(kg*K). Das ist deutlich weniger als im Sommer und kann auf die auf 81,1 % gestiegene Auslastung des Tanks zurückgeführt werden.

Fazit

Der gemessene Energieverbrauch der Kälteaggregate zur Kühlung der Milch liegt unter dem Durchschnitt der untersuchten Anlagen. Die Auswirkungen des Bestandsaufbaus, der daraus resultierenden Milchmengensteigerung und verbesserten Tankauslastung sind deutlich nachvollziehbar. Zu klären bleibt die Frage, ob die Anlage bereits optimal eingestellt ist (insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass ursprünglich eine Wärmerückgewinnung vorhanden war, die stillgelegt wurde). Geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Temperatur am Kondensator – z. B. temperaturgesteuerte Jalousien – können zu einer weiteren Verringerung des Energiebedarfs beitragen. In jedem Fall ist eine Reserve in der Sauberkeit der Lamellen des Kondensators zu sehen.

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 2D

In der MVA wurden im Zeitraum der Messungen etwa 220 Kühe täglich 2-mal mit einem Innenmelkerkarussell mit 18 Plätzen gemolken. Die Melkzeiten beginnen um 04:30 Uhr und um 15:30 Uhr. Die Milchabholung erfolgt täglich nach der Nachmittagschicht. Die Milchlagerung und Kühlung erfolgt in einem Direktkühltank mit einem Fassungsvermögen von 6.750 kg in ovaler Bauweise. Als Aggregate sind zwei Scrollverdichter mit jeweils 4,5 KW im Einsatz.



Die Sommermessungen wurden vom 12.09. bis 01.10.2013 durchgeführt. Die durchschnittliche Tagesmilchmenge im Messfenster betrug 5.373 kg. Die Milchtemperatur bei Abholung betrug 6,3 °C. Im Messzeitraum lagen die Tagesdurchschnittstemperaturen um 8,5 °C (5,4 bis 11,6 °C).

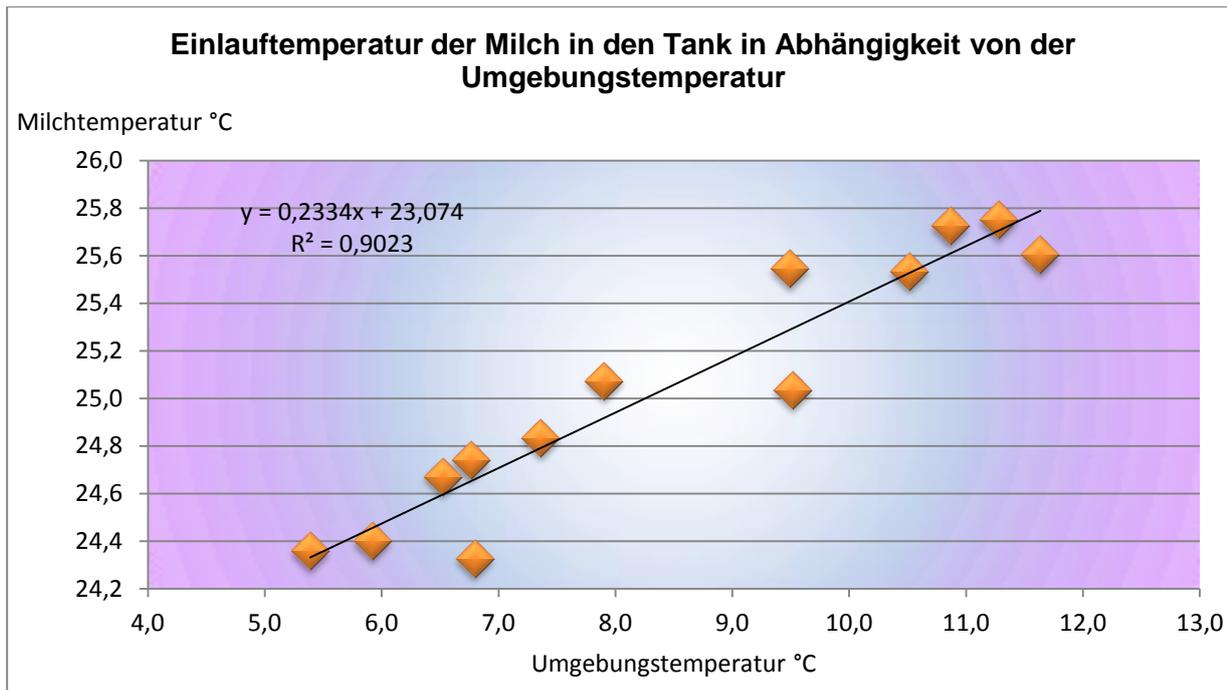
Die Melkzeiten dauern jeweils etwas über drei Stunden. Die Kühlung arbeitet wie in anderen Anlagen auch nur wenig länger, um die Zieltemperatur von im Schnitt 6,3 °C zu erreichen. Die gemessene elektrische Arbeit der Kältemaschine beträgt durchschnittlich 74,1 kWh je Tag.

Hinzu kommt ein Energiebedarf für Antriebsmotoren für das Rührwerk 50 W, Kreislaufpumpe Vorkühlung 50 W, zwei Zirkulationspumpen Wärmerückgewinnung 50 W und die Tankspülung 700 W. Der Durchlauferhitzer ist mit 13 KW angegeben. Die Hauptspülung mit Heißwasser dauert etwa 20 Minuten, hinzukommen zwei Vorspülungen und ein Nachspülgang. Für eine Spülung werden 80 l warmes und 93 l kaltes Wasser verbraucht. Das warme Wasser wird aus der Wärmerückgewinnung entnommen. Der Durchlauferhitzer heizt während der Heißwasserspülung permanent. Das Rührwerk läuft während der Kühlzeit permanent, danach je 30 Minuten für 5 Minuten.

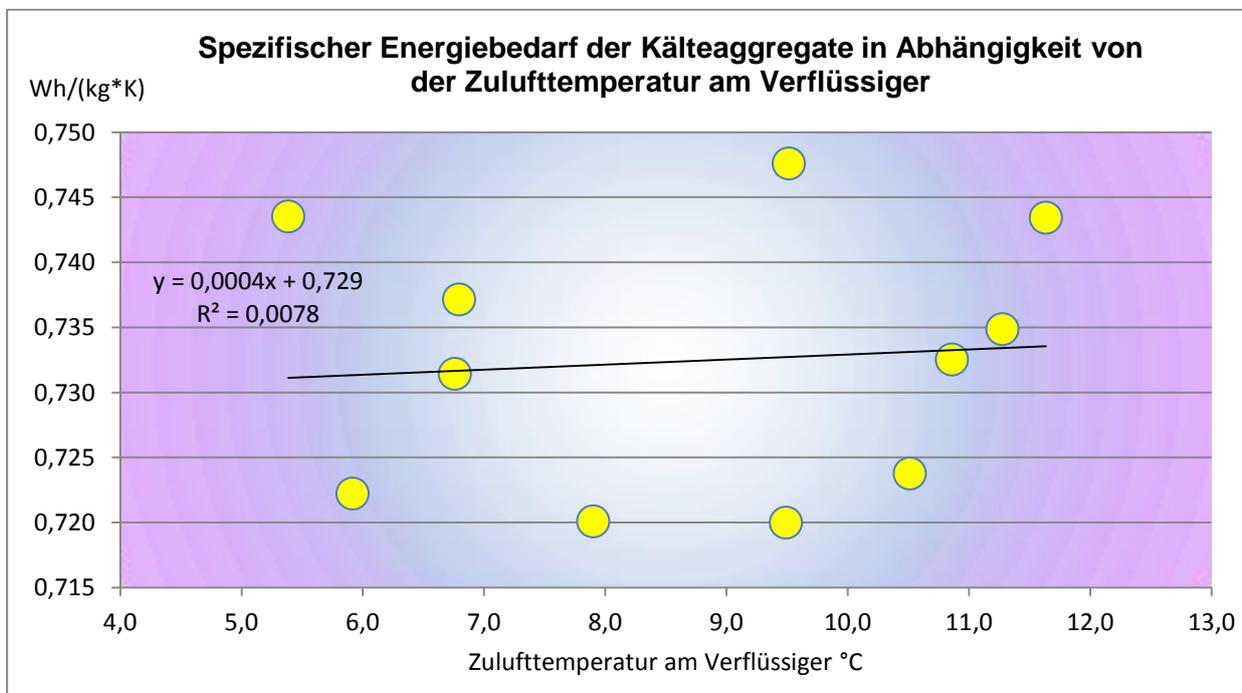
Der Gesamtenergiebedarf der Milchkühlung beträgt 83,3 kWh je Tag und setzt sich wie folgt zusammen:

Dokumentation der angeschlossenen Stromverbraucher						
Angeschlossene Verbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Kälteanlage						
Kälteaggregate	2	4,5	8,05	100	72,5	
Lüfter Kälteaggregate	4	0,2	4,03	50	1,6	
Zwischensumme Kühlen					74,1	74,1
Rührwerk Tank						
	1	0,05	8,96	100	0,4	
Tankspülung						
Heizung	1	9,5	0,25	100	2,4	
Spülpumpe	1	0,7	0,5	100	0,4	
Zwischensumme Spülen					2,7	
WRG						
Zirkulationspumpe	2	0,1	8,05	100	1,6	
Zwischensumme WRG					1,6	
Vorkühlung						
Zirkulationspumpe	1	0,05	8,05	100	0,4	
Zwischensumme Vorkühlung					0,4	
eingesetzte Wärmeenergie					kWh / d	Messwert
		Wasser- menge m³ / d	Vorlauf °C	Rücklauf °C		
Spülwasser	0,080	10	53		4,0	
Zwischensumme Wärme					4,0	
Gesamtenergiebedarf					83,3	KWh/d

Wie die nachfolgende Grafik zeigt, ist die Einlauftemperatur der Milch in einem hohen Maß abhängig von der Tagesdurchschnittstemperatur.



Der spezifische Energiebedarf der Kälteaggregate ändert sich ebenfalls temperaturabhängig, jedoch ist bei den geringen Temperaturunterschieden im Messfenster nur ein geringes Bestimmtheitsmaß nachzuweisen. Hochgerechnet auf 20 °C – was außerhalb des Messbereiches liegt – werden durch die Kälteaggregate 0,737 Wh benötigt, um 1 kg Milch um 1 K abzukühlen.



Die Anlage hat eine Wärmerückgewinnung, bestehend aus zwei Plattenwärmetauschern. Damit werden im Schnitt 73,8 kWh/d zurückgewonnen. Ausgehend von Milchmenge und Temperaturdifferenz stünden etwa 105 kWh/d zur Verfügung. Der Ausnutzungsgrad der Milchwärme liegt damit bei etwa 70 %. Mit dieser Energiemenge werden knapp 1,5 m³ Wasser täglich von 10 auf 53 °C erhitzt. Dieses Wasser wird zur Melkanlagen- und Tankspülung sowie im Sanitärbereich eingesetzt.

Die Anlage verfügt über einen Plattenvorkühler, der mit Brunnenwasser über einen Zwischenspeicher betrieben wird. Aus dem Zwischenspeicher wird der Plattenkühler über eine Ringleitung bedient. Abgenommen wird Tränkwasser, welches durch Brunnenwasser ersetzt wird. Dass dieses System nicht optimal ist, erkennt man an der gemessenen Milcheinlauftemperatur zum Tank, die im Schnitt noch bei 25 °C liegt. Beste Anlagen liegen bei <18 °C.

Die Wintermessungen wurden vom 20.12.2013 bis 07.01.2014 durchgeführt. Nach Beendigung der Sommermessreihe wurde festgestellt, dass ein Aggregat nicht optimal arbeitet. Eine Wartung wurde durchgeführt. Der Energiebedarf der Kälteaggregate lag geringfügig unter dem Bedarf im Sommer. Die mittlere Zulufttemperatur am Kondensator unterschied sich kaum von der Sommermessreihe, weil im Winterhalbjahr Fenster und Tore sicherheitshalber verschlossen gehalten wurden. Umgerechnet auf 5 °C werden 0,593 Wh/(kg*K) benötigt.

Die Sauberkeit der Lamellen ist eine Voraussetzung für einen effektiven Wärmeaustausch mit der Umgebung. Nach drei Messtagen wurden im Betrieb D die Lamellen des Kondensators gereinigt. Der Durchschnitt der drei Messwerte vor der Reinigung (0,613 Wh/[kg*K]) lag 4 % über dem Durchschnitt danach (0,589). Dieser Trend weist in die erwartete Richtung.

Fazit

Trotz guter Auslastung des Tanks und der Wärmerückgewinnung ist die Energieeffizienz der Anlage unterdurchschnittlich. Geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Temperatur am Kondensator – z. B. temperaturgesteuerte Jalousien – können zu einer Verringerung des Energiebedarfs führen.

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 2E

Bei der Milchviehanlage handelt es sich um ein Typenprojekt MVA 1930. Heute werden hier etwa 1.400 Kühe gehalten, davon sind etwa 1.200 laktierende Kühe, die 2-mal täglich gemolken werden. Schichtbeginn ist 05:00 bzw. 17:00 Uhr. Zuerst wird von einer Arbeitskraft allein die Gruppe der lahmen Kühe gemolken. Danach werden die Leistungsgruppen durch zwei AK gemolken, zum Schluss kommen Problemkühe. Dadurch unterscheidet sich der Milchzufluss beträchtlich, was zu einer schwankenden Einlauftemperatur zum Kühlsystem führt. Gemolken wird in einem 2 x 24 SbS-Melkstand mit Unterkellerung.

Das Milchlager besteht aus zwei Tanks mit je 18.000 l Volumen. Jeder Tank ist mit zwei Rührwerken ausgestattet. Für die Spülung ist je ein 18 KW-Durchlauferhitzer installiert. Zweimal täglich werden Teilmengen der Milch abgeholt, die erste Abholung erfolgt gegen 13:00 Uhr, die zweite nachts gegen 02:30 Uhr. Nach der zweiten Abholung sind beide Tanks leer. Dieser Abholrhythmus führt dazu, dass die beiden Tanks im täglichen Wechsel gespült werden müssen, weil die Zeit der Tankspülung unter Umständen anders nicht ausreichen würde.



Gekühlt wird die Milch mit einer Eiswasserkühlung. Zur Eiswassererzeugung steht ein Kühlblock zur Verfügung. Er verfügt über drei Kälteaggregate mit einer elektrischen Anschlussleistung von je 11,06 KW. Der Eiswasserbehälter fasst 240 l Wasser.



Die Kühlung der Milch erfolgt in einem Plattenwärmetauscher, der hälftig eine Vorkühlung mit Brunnenwasser und die Sturzkühlung mit Eiswasser gewährleistet.

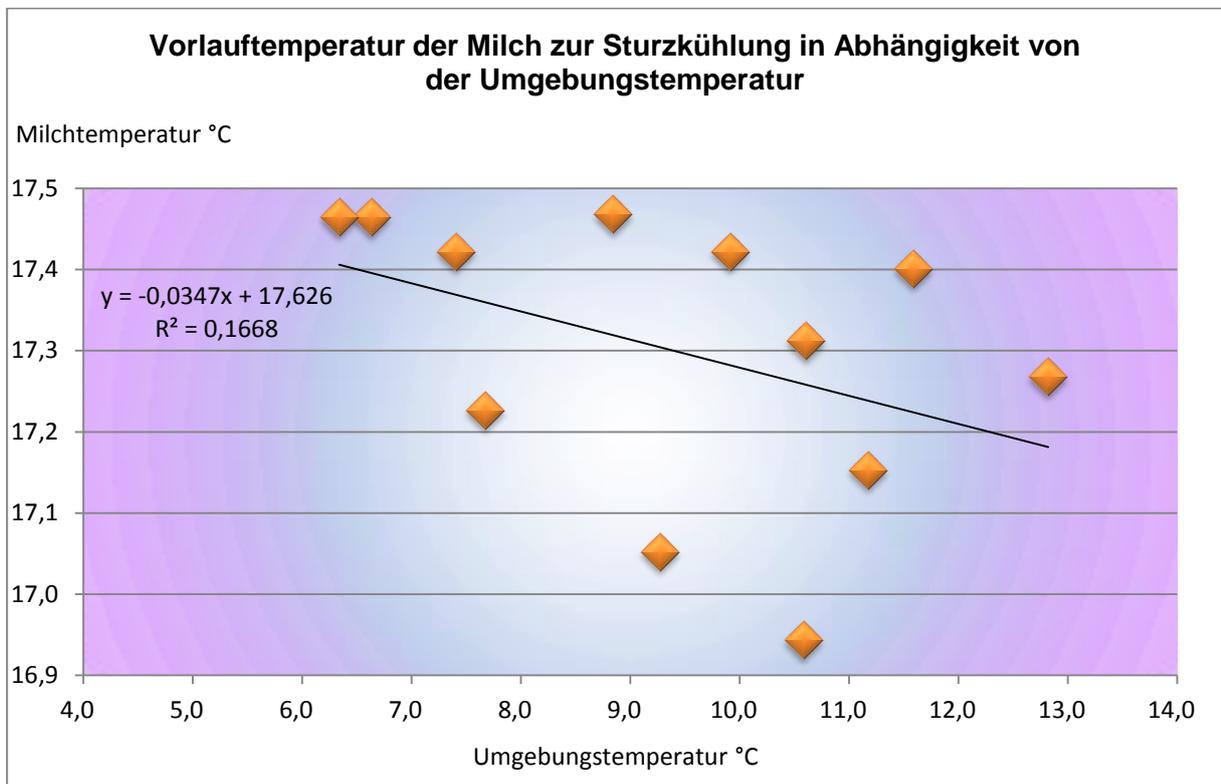


Der Kühlblock verfügt über eine Wärmerückgewinnungsanlage. Das gewonnene warme Wasser wird ebenso wie das Wasser aus dem Vorkühler für die Erwärmung des Tränkwassers genutzt. Die MVA verfügt über eine Biogasanlage. Deren Abwärme reicht aus, um sämtliches Nutzwasser ausreichend zu erwärmen.

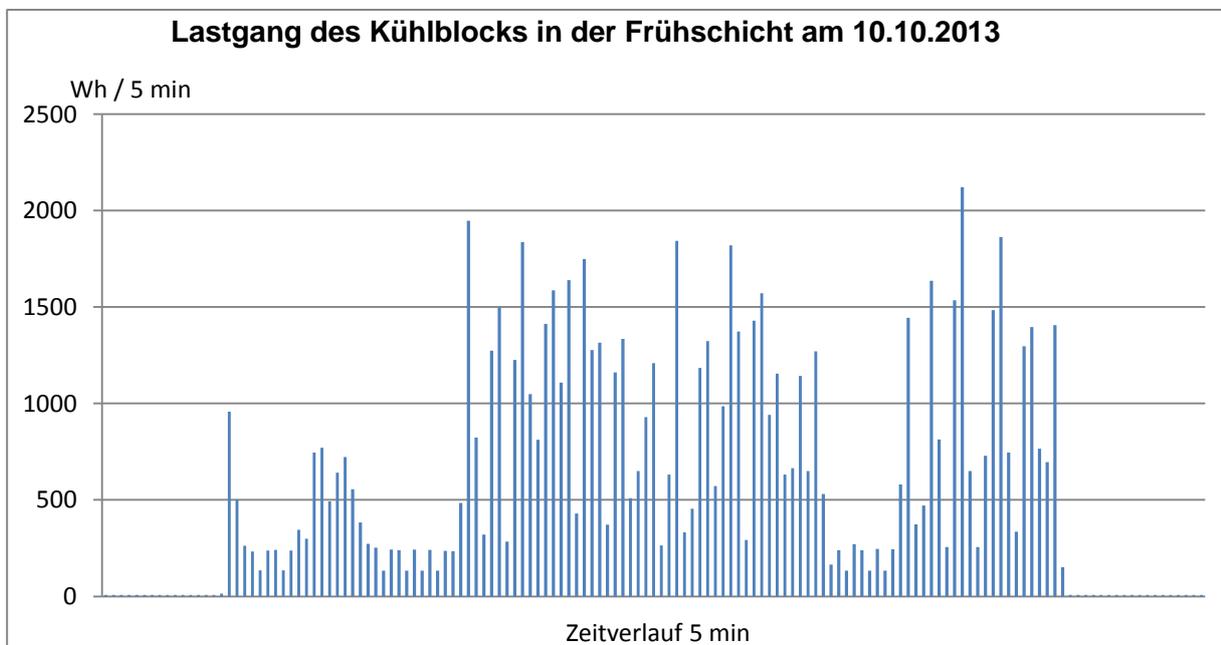
Die erste Messreihe wurde vom 04. bis 15.10.2013 durchgeführt. Die Zuluft zum Kühlblock wird durch ein Lamellenfenster von außen angesaugt, die Abluft wird über einen Kanal nach außen geblasen. Die Temperatur betrug im Mittel des Messzeitraumes 9,4 °C und schwankte zwischen 6,3 und 12,8 °C.

Die mittlere Vorlauftemperatur der Milch zur Eiswasserkühlung lag bei 17,3 °C, die mittlere Temperatur bei Abholung bei 5,1 °C.

Die Vorlauftemperatur zur Sturzkühlung wird maßgeblich durch die Vorkühlung beeinflusst. Die Trendlinie zeigt hier einen unerwarteten Verlauf bei geringer Korrelation. Bei höheren Umgebungstemperaturen ist die Milch kälter. Das kann eventuell darauf zurückzuführen sein, dass bei höheren Umgebungstemperaturen mehr Tränkwasser verbraucht wird und dadurch die Vorlauftemperatur des Wassers geringer ist.



Der tägliche Energiebedarf des Kühlblocks schwankte im Messzeitraum zwischen 158,8 und 171,8 kWh und lag im Mittel bei 164,1 kWh. Darin enthalten sind die Verdichter, Ventilatoren, Eiswasserpumpe und Wasserpumpe der Wärmerückgewinnung. Eine Ermittlung der Betriebsstunden der einzelnen Aggregate ist aus der Lastgangkurve nicht möglich, weil sie je nach Kältebedarf einzeln zugeschaltet werden. Die Eiswasserpumpe läuft während der Melkzeiten permanent.



Hinzu kommen der Energiebedarf für die Tankrührwerke, Pumpe der Vorkühlung und der Energiebedarf für die Tankspülung. Insgesamt verbrauchte die Milchkühlung 212 kWh je Tag.

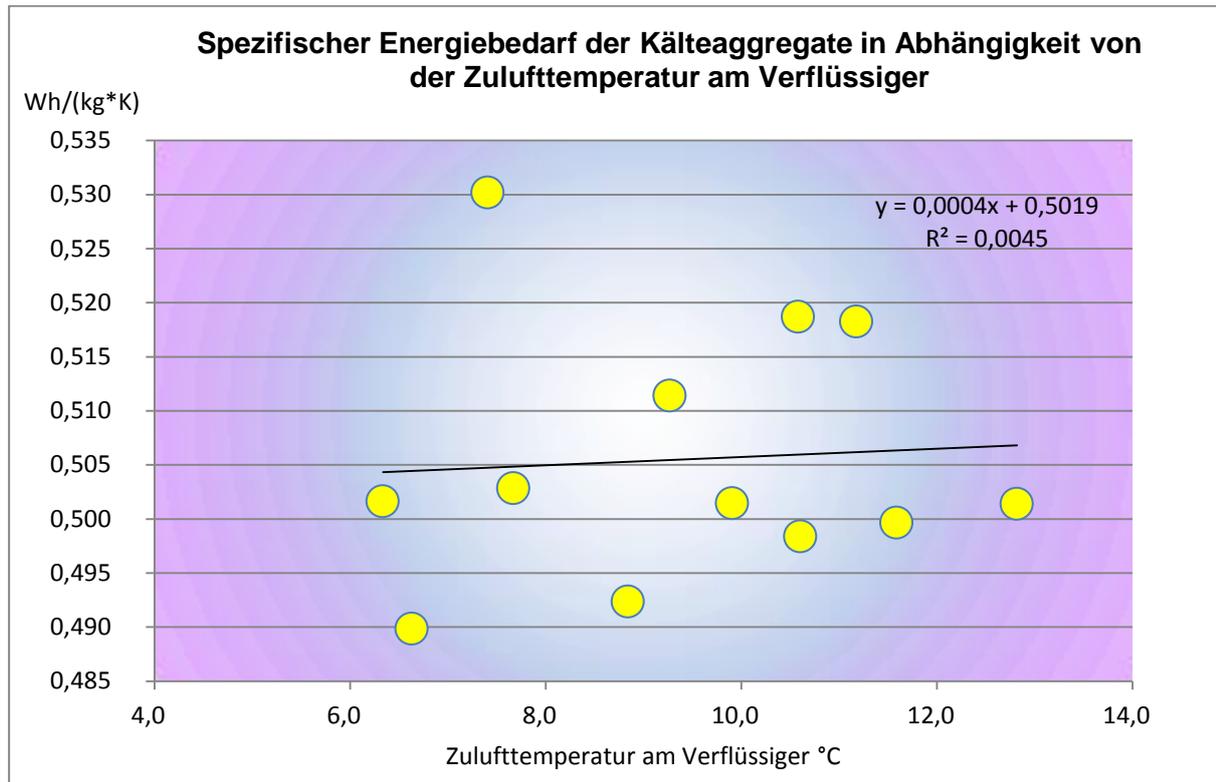
Für eine Tankspülung werden 156 l Warmwasser und 127 l Kaltwasser verbraucht. Je Spülung wurde 1,1 Bh des Durchlauferhitzers gemessen. Daraus resultieren 20 kWh. Hinzu kommt der Energiebedarf der Rührwerke, Spülpumpe und Steuerung. Hier wurde ein Durchschnittswert von 0,87 kWh/d ermittelt, wovon 0,32 kWh auf Steuerung und Rührwerke entfallen. Im Gegensatz zu Direktkühlsystemen ist bei der Sturzkühlung der Milch während der Kühlung kein Dauerlauf der Rührwerke notwendig, weil keine Gefahr des Anfrierens besteht. Deshalb betrug die tägliche Laufzeit der Rührwerke weniger als eine Stunde. Die Spülpumpen benötigen 1,19 kWh je Spülung.

Der tägliche Gesamtenergiebedarf setzt sich wie folgt zusammen:

Dokumentation der angeschlossenen Stromverbraucher						
Angeschlossene Verbraucher	n	el. Leistung KW	Bh/d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Tank						
Kälteaggregate	3	11,06	17,78	21,14	124,7	
Lüfter Kälteaggregate	4	0,52	17,78	21,14	7,8	
Eiswasserpumpe	1	1,71	17,78	100	30,4	
					162,9	
WRG						
Umwälzpumpe	1	0,065	17,78	100	1,2	
Zwischensumme WRG					1,2	
Zwischensumme Zähler					164,1	164,1
Rührwerk Tank	4	0,133	0,58	100	0,31	
Tanksteuerung					0,0	
Tankspülung ein Tank jeden Tag					0,0	
Spülpumpe	2	1,25	0,45	50	0,56	
Zwischensumme					0,87	0,87
Durchlauferhitzer Spülung	2	18	1,1	50	19,80	
Zwischensumme Spülung					19,80	
Vorkühlung						
Umwälzpumpe	1	1,1	17,78	100	19,6	
					0,0	
Zwischensumme Vorkühlung					19,6	
eingesetzte Wärmeenergie		Wassermenge			kWh / d	Messwert
	m³ / d	Vorlauf °C	Rücklauf °C			
Spülwasser erwärmt durch Biogasanlage	0,156	10	53	100%	7,8	
Zwischensumme Wärme					7,8	
Energiebedarf je Tag insgesamt					212,1	kWh

Bereinigt um die elektrische Arbeit der anderen Verbraucher haben die Kompressoren und Lüfter durchschnittlich 132,5 kWh je Tag verbraucht.

Korrigiert auf 20 °C Zulufttemperatur lag der spezifische Energieverbrauch der Kälteaggregate bei 0,510 Wh/(kg*K). Es zeigt sich nur eine geringe Abhängigkeit des Energiebedarfes von der Umgebungstemperatur im Messzeitraum.



Über die Wärmerückgewinnung der Kälteaggregate werden im Schnitt 170 kWh/d gewonnen. Das ist viel im Vergleich zur insgesamt für den Betrieb der Aggregate eingesetzten Elektroenergie. Die Milchmenge von knapp 26.000 l wird um 12,2 K technisch gekühlt. Rechnerisch stehen somit etwa 330 kWh täglich zur Verfügung. Im Vergleich zur verfügbaren Energie aus der Milch sind das etwa 51,5 %. Weil das angewärmte Wasser nicht in einem Boiler gestapelt und auf 53 °C erhitzt wird, sondern kontinuierlich abfließt (Vorwärmung des Tränkwassers), wird das Kältemittel bereits im Wärmetauscher kontinuierlich auf unter 40 °C abgekühlt.

Die Wintermessungen wurden im Zeitraum vom 08. bis 20.01.2014 durchgeführt. Der spezifische Energiebedarf der Kälteaggregate lag bei 5 °C bei 0,404 Wh/(kg*K). Dazu muss angemerkt werden, dass die mittlere Zulufttemperatur am Kondensator mit 16 °C auf Grund nur wenig geöffneter Jalousien deutlich über der Außentemperatur (3,7 °C) lag.

Fazit

Der spezifische Energieverbrauch der Kälteaggregate ist vergleichsweise sehr niedrig. Zur Einschätzung der Energieeffizienz der Anlage müssen aber alle Verbraucher in Betracht gezogen werden. Die Eiswasserkühlung ist im Gegensatz zu Direktverdampferanlagen zwangsläufig mit einer Eiswasserpumpe ausgestattet. Alle weiteren Stromverbraucher unterscheiden sich nicht systembedingt. Zieht man die Eiswasserpumpe in die Betrachtung ein, so steigt der spezifische Energiebedarf auf 0,520 Wh/(kg*K). Auch dieser Wert ist noch sehr gut.

Bezieht man die Rührwerke, Spülung, Pumpen von Vorkühler und Wärmerückgewinnung ein, hat die Anlage im Messfenster 212,1 kWh/d benötigt. Der niedrige Energiebedarf der Anlage wird von folgenden Faktoren begünstigt:

- intelligente Ansteuerung der Kälteaggregate, kein unnötiger Leerlauf
- guter Wartungszustand der Anlage (wurde im vergangenen Jahr überholt, Kältemitteldruck und Sauberkeit der Kühlrippen des Verflüssigers beeinflussen die Kälteleistung und damit den Energiebedarf)
- sehr guter Wirkungsgrad der Vorkühlung, kühlt die Milch bereits auf deutlich unter 20 °C ab
- Wärmerückgewinnung beeinflusst die Gesamteffizienz positiv
- große Milchmenge, „feste Aufwendungen“ (z. B. Rührwerk) unterliegen einem Degressionseffekt

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 2F

In der Anlage werden etwa 650 Kühe täglich 2-mal mit einem Innenmelkerkarussell mit 36 Melkplätzen gemolken. Die Melkzeiten beginnen um 04:00 Uhr und um 16:00 Uhr und dauern jeweils etwa 5,5 Stunden. Die Milchabholung erfolgt in zwei Raten. Eine erste Teilmenge (10.000 l) wird gegen 18:30 Uhr abgeholt, die zweite Teilmenge (7.000 l) nach Abschluss der täglichen Melkzeiten gegen 21:00 Uhr. Danach richtet sich der Spülrhythmus der insgesamt drei Kühltanks (2 x 6.000 l und 1 x 8.200 l). Es handelt sich dabei um Eisbanktanks. Bei diesem System wird Eiswasser erzeugt und in die Tankwand gepumpt. Der Vorteil des Systems besteht darin, dass ein Anfrieren der Milch an der Tankwand unmöglich ist und ggf. eigene Energiequellen zur Stromerzeugung günstig eingesetzt werden können. Im ersten Messzeitraum lag die durchschnittliche Tagesmilchmenge bei 17.288 kg, im zweiten bei 18.686 kg.



Für die Leistung der notwendigen Kältearbeit sind die Tanks jeweils mit einem Verdichtersatz mit zwei Verdichtern und zwei Kühlventilatoren ausgestattet. Die Zuluft zu den Verflüssigern wird durch Lamellenfenster in der Wand angesaugt.

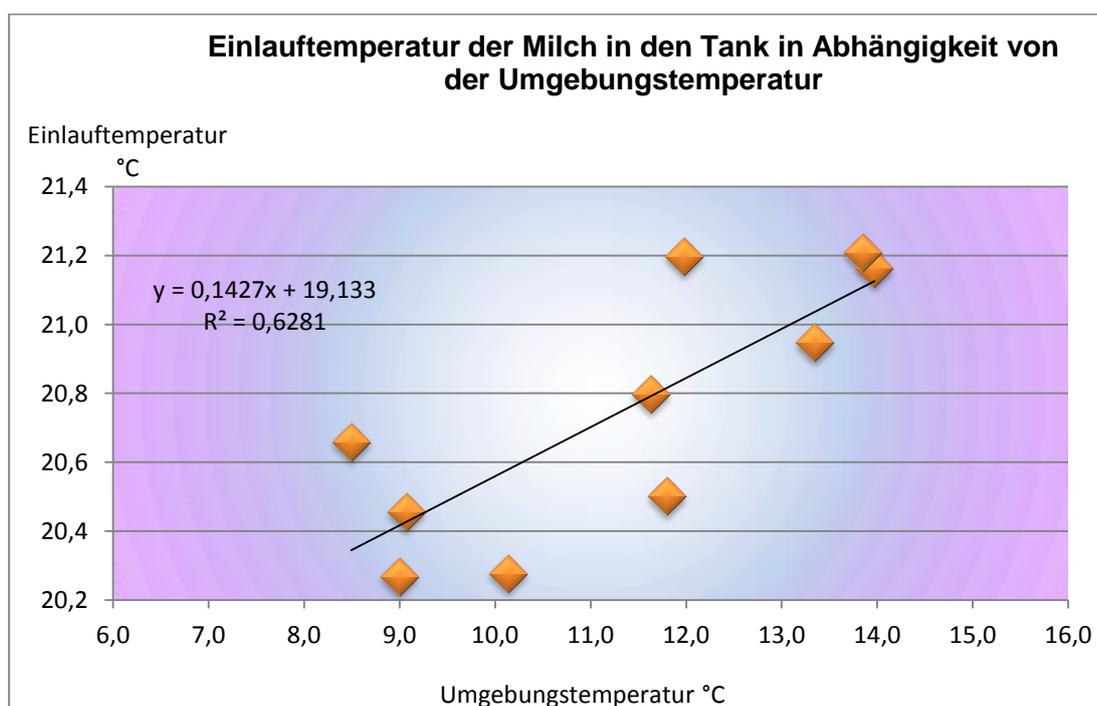


Die Anlage verfügt über eine Wärmerückgewinnung, mit der Wasser auf 53 °C erwärmt wird. An jede Aggregatekombination ist ein Wärmetauscher angeschlossen. Für die Vorkühlung der Milch vor Einlauf in den Tank sorgt ein Plattenkühler. Dieser verfügt über einen separaten Spülkreislauf.



Die Sommermessungen wurden im Zeitraum vom 03.09. bis 01.10.2013 durchgeführt, wobei auf Grund von Verzögerungen bei den Installationen die Energiemessungen erst am 11.09. beginnen konnten. Jeder Kühl-tank erhielt einen Stromzähler und die Kälteaggregate einen Betriebsstundenzähler. Die Milcheinlauf-temperaturen wurden mittels Tinytag Plus 2 TGP 4520 und externem Sensor auf der Milchleitung gemessen. Die Temperatur der Ansaugluft wurde mit Tinytag Ultra gemessen.

Im ersten Messfenster lag die mittlere Tagesdurchschnittstemperatur (Abholung bis Abholung) bei 11,3 °C in einer Schwankungsbreite von 8,5 bis 14,0 °C. Die niedrigste Temperatur an einem Tag lag bei 3,1 °C, der höchste gemessene Wert bei 23,1 °C. Die durchschnittliche Milcheinlauf-temperatur in die Milchtanks lag bei 20,7 °C in einer Spanne von 20,3 bis 21,3 °C. Das folgende Diagramm zeigt deutlich die Abhängigkeit der Milcheinlauf-temperatur von der Außentemperatur neben den Zuluftjalousien.



Bei Abholung hatte die Milch im Durchschnitt eine Temperatur von 6,1 °C. Um die Milch um die Differenz von 14,6 °C abzukühlen, wurden insgesamt nachfolgend dargestellte Energiemengen benötigt:

Dokumentation der angeschlossenen Stromverbraucher						
Angeschlossene Verbraucher	n	el. Leistung KW	Bh / Tag	Faktor	kWh / d	Meßwert
Tank 1						
Kälteaggregate	2	4,5	10,4	85,8	80,2	
Lüfter Kälteaggregate	2	0,2	10,4	42,9	1,8	
Rührwerke	1	0,133	10,9	100	1,5	
Rührwerke	1	0,133	10,9	100	1,5	
Eiswasserpumpe	1	0,875	5,1	100	4,5	
Spülpumpe	1	1,1	0,5	100	0,6	
Zwischensumme Tank 1					89,9	89,9
Tank 2						
Kälteaggregate	2	4,5	6,9	91,1	56,4	
Lüfter Kälteaggregate	2	0,2	6,9	45,55	1,3	
Rührwerke	1	0,065	7,7	100	0,5	
Rührwerke	1	0,133	7,7	100	1,0	
Eiswasserpumpe	1	0,875	3,6	100	3,2	
Spülpumpe	1	1,1	0,5	100	0,6	
Zwischensumme Tank 2					62,9	62,9
Tank 3						
Kälteaggregate	2	4,5	7,6	80,9	55,1	
Lüfter Kälteaggregate	2	0,2	7,6	40,45	1,2	
Rührwerk	1	0,133	8,4	100	1,1	
Rührwerk	1	0,133	8,4	100	1,1	
Eiswasserpumpe großer Tank	1	1,36	3,6	100	4,9	
Spülpumpe	1	1,1	0,5	100	0,6	
Zwischensumme Tank 3					64,0	64,0
Tankspülung						
Heizung - keine					0,0	
Spülpumpe					0,0	
Zwischensumme Spülen					0,0	
WRG						
Zirkulationspumpe	1	0,046	12	100	0,6	
Zwischensumme WRG					0,6	
Vorkühlung						
Zirkulationspumpe	1	0,4	9,33	100	3,7	
Zwischensumme Vorkühlung					3,7	
eingesetzte Wärmeenergie						
		Wassermenge m³ / d	Vorlauf °C	Rücklauf °C	kWh / d	Messwert
Spülwasser 1000 l Boiler		0,22	10	53	11,0	
Zwischensumme Wärme					11,0	
Gesamtenergiebedarf					232,0	KWh/d

Für die Spülung der Tanks wird ausschließlich warmes Wasser aus der Wärmerückgewinnung genutzt. Die Wasserverbräuche je Tankspülung wurden gemessen. Folgende Verbräuche wurden dabei ermittelt:

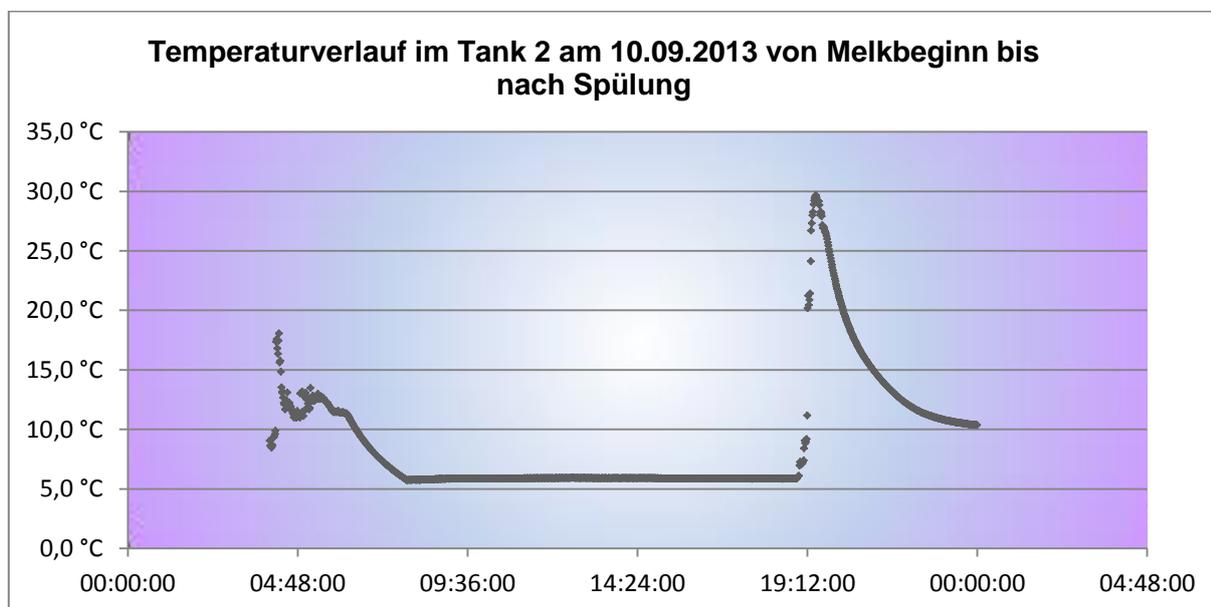
■ Tank 1: 85 l WW + 114 l KW

■ Tank 2: 58 l WW + 74 l KW

■ Tank 3: 77 l WW + 124 l KW

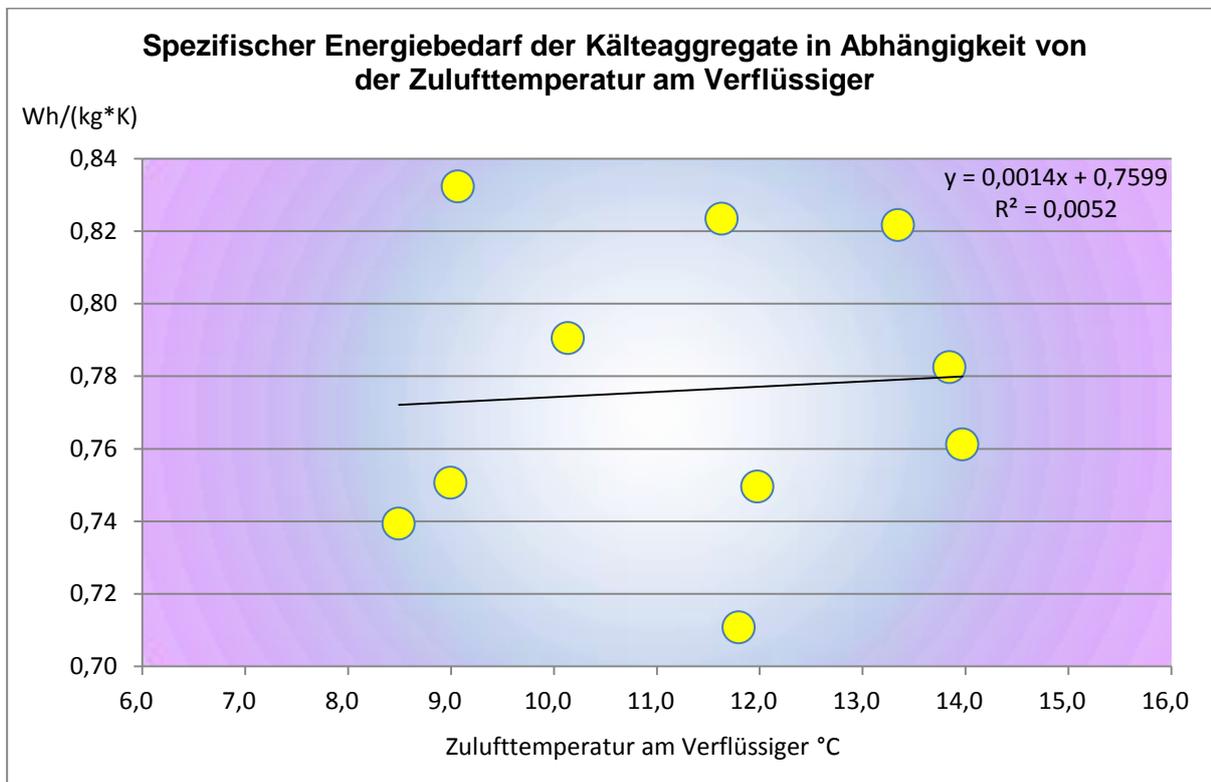
Diese Angaben stimmen gut mit den abgefragten Herstellerangaben überein. Anzumerken ist, dass die Spülung der Milchleitung bis zum Plattenkühler mit dem Melkkarussell erfolgt. Für die Spülung des Plattenkühlers bis zu den Tanks steht ein separater Spülautomat zur Verfügung. Die Wärmemenge für die Spülung des Vorkühlers ist – wie in anderen Anlagen auch – hier nicht enthalten.

Zusätzlich gemessen wurde mittels Tinytag Splash der Temperaturverlauf in den Tanks. Das folgende Diagramm zeigt beispielhaft den Temperaturverlauf im Tank 2 am 10.09.2013. Die Milchtemperatur sinkt vom Melkbeginn innerhalb von etwa drei Stunden auf die Zieltemperatur von $< 6\text{ °C}$ und bleibt dann konstant. Offenbar tauchte der Datenlogger während der Spülung nicht gänzlich in das Spülwasser ein. Die Temperaturen während der Spülung repräsentieren damit nicht die Spülwassertemperatur.



Die Betrachtung der gemessenen Betriebsstunden der Kälteaggregate und der Eiswasserpumpen zeigt, dass die Aggregate längere Laufzeiten zur Eiswasserbereitung benötigen als die Eiswasserpumpen, um das Eiswasser dem Kühlprozess der Milch (in die Tankwand zu pumpen) zuzuführen.

Korrigiert auf eine Zulufttemperatur von 20 °C liegt der spezifische Energiebedarf der Aggregate bei überdurchschnittlichen $0,788\text{ Wh}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Die folgende Darstellung zeigt die Abhängigkeit der Energieeffizienz von der Zulufttemperatur am Verflüssiger. In Anbetracht der relativ geringen Schwankungsbreite im Messfenster und einer nur geringen Messdauer ist hier nur eine geringe Abhängigkeit nachzuweisen.



Über die Wärmerückgewinnung wurden im Mittel 134,8 kWh je Tag gewonnen, womit bei unterstellten 10 °C Brunnenwassertemperatur etwa 2,7 m³ Wasser täglich auf 53 °C erwärmt werden. Im Vergleich zur aus der Milch zur Verfügung stehenden Wärmemenge entspricht das einem Ausnutzungsgrad von 53 %.

Die Wintermessungen wurden vom 21.02. bis 04.03.2014 durchgeführt. Die durchschnittliche Tagesmitteltemperatur lag bei 5,2 °C. Die Gesamtanlage verbrauchte mit 181 kWh/d rund 50 kWh weniger als unter Sommerbedingungen. Der spezifische Energiebedarf – korrigiert auf eine Zulufttemperatur von 5 °C – lag bei 0,693 Wh/(kg*K).

Fazit

Die Energieeffizienz der Eisbanktanks im Untersuchungsbetrieb bleibt hinter den Direktkühlverfahren erwartungsgemäß zurück. Zum einen muss beachtet werden, dass es sich um ein indirektes Kühlverfahren handelt, dem generell ein schlechterer Wirkungsgrad anhaftet. Zum anderen sind zusätzlich zu den Kühlaggregaten Eiswasserpumpen für den Kühlprozess unabdingbar, welche mit etwa 5 % einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am gesamten Stromverbrauch haben. Zwar ist die Auslastung des gesamten Tankvolumens überdurchschnittlich, aber das Volumen verteilt sich auf drei Tanks. Auswirkungen auf die Energieeffizienz lassen sich anhand der Versuchsanstellung nicht quantifizieren. Die Summe der elektrischen Anschlusswerte der Kälteaggregate ist mit 1,3 kW je 1.000 l aber auch überdurchschnittlich.

Bei der Betrachtung der Gesamteffizienz ist zu beachten, dass das Potenzial der Wärmerückgewinnung nicht voll ausgenutzt wird. Auch dadurch kommt es zu Energieeffizienzverlusten, weil die Kompression des Kältemittels immer entsprechend den Bedürfnissen der Wärmerückgewinnung erfolgt.

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 2G

Der Untersuchungsbetrieb melkt im Ziel etwa 240 Kühe in einem neu errichteten Stall mit vier Melkrobotern. Der Stall wurde erst im Frühjahr 2013 fertiggestellt. Der Bestand befindet sich deshalb noch im Aufbau. Die Milchlagerung und Kühlung erfolgt in einem Tank mit einem Fassungsvermögen von 8.000 l. Gekühlt wird mit zwei Kälteaggregaten, deren Verflüssiger mit je zwei Ventilatoren ausgestattet sind. Bei den Verdichtern handelt es sich um Hubkolbenverdichter.

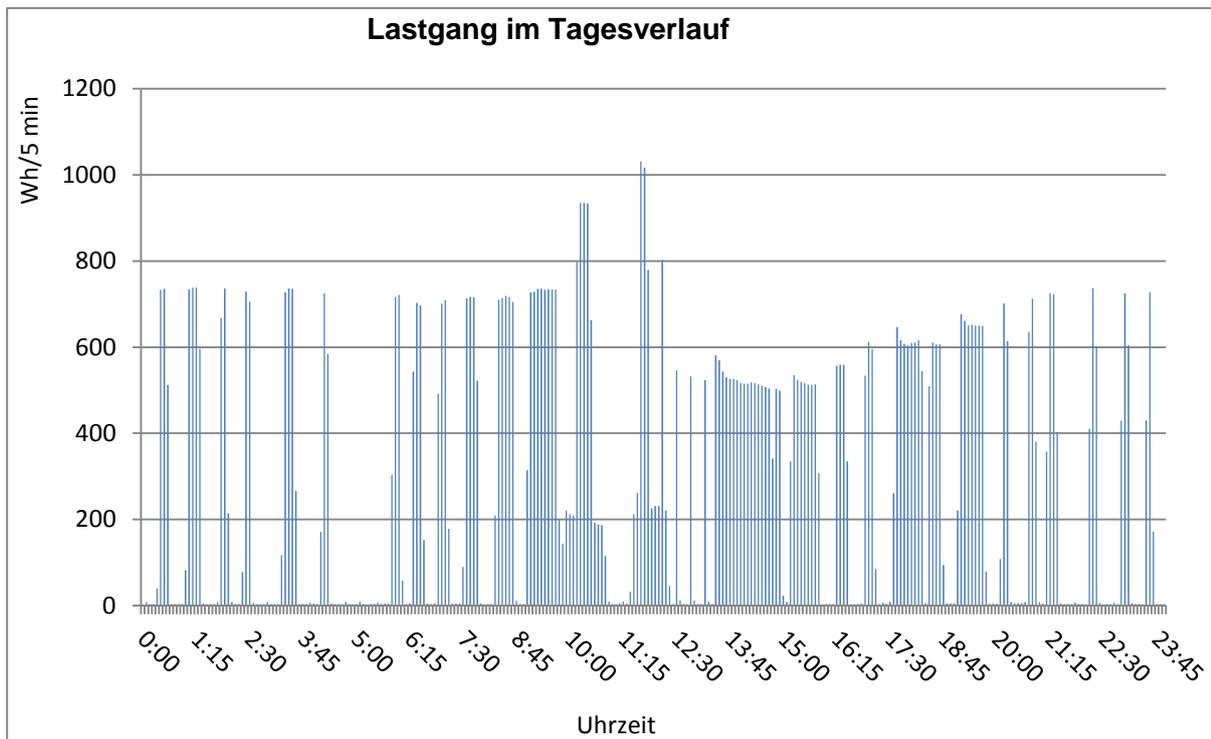


Die Auslastung der Anlage ist auf Grund des Bestandsaufbaus noch nicht im gewünschten Maß gegeben. Im ersten Messzeitraum lag die mittlere Tagesmilchmenge bei 3.929 kg, im zweiten bei 5.354 kg. Zusätzlich steht ein 1.000 l-Tank zur Überbrückung der Tankspülzeiten zur Verfügung, welcher mit einem separaten Kühlaggregat ausgestattet ist.

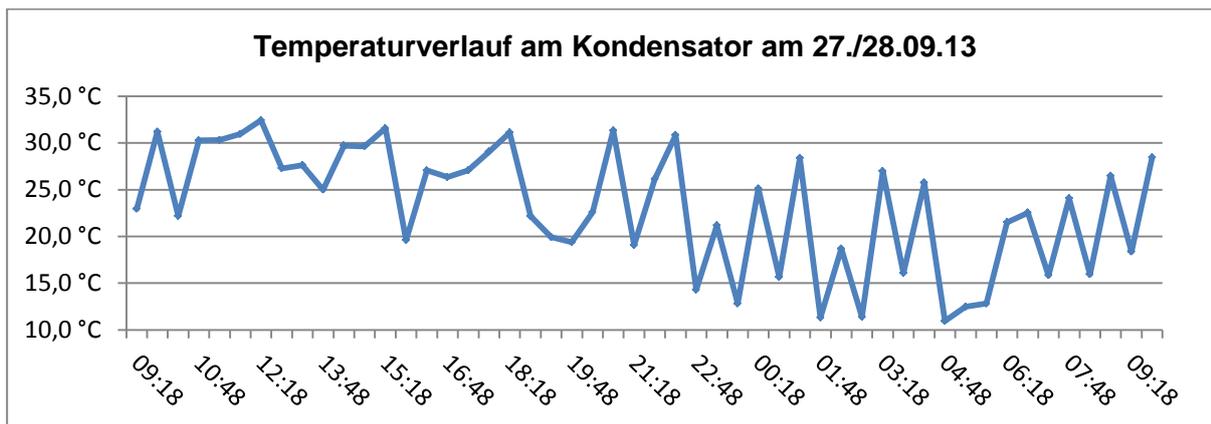


Die Anlage verfügt über eine Vorkühlung mittels Rohrkühler und eine Wärmerückgewinnung. Das auf 53 °C erwärmte Wasser kommt zur Spülung von Tank und Melkanlagen sowie im Sozialbereich zum Einsatz. In die Warmwasserbereitung ist nur eines der beiden Haupt-Kühlaggregate eingebunden. Die Spülung verfügt über einen Durchlauferhitzer zur Nachheizung.

Die Sommermessreihe zum Energieverbrauch wurde im Zeitraum 20.09. bis 03.10.2013 durchgeführt. Dazu wurde ein Diagnosegerät im Schaltschrank installiert, das den Gesamtenergieverbrauch im 5-Minuten-Takt aufzeichnete. Die Hauptlast von mehr als 1 kWh in fünf Minuten entsteht während der Spülung. Im „Ruhezustand“ liegt sie bei etwa 5 Wh, verursacht durch die Tankkontrolle.



Weil die Kälteaggregate inkl. Verflüssiger direkt am Tank angebracht sind und gegen eine Wand blasen, kommt es zu Luftverwirbelungen. Die Zulufttemperatur am Verflüssiger wird so relativ stark durch die Abwärme der Kälteaggregate beeinflusst. Die Messreihe zeigt mit im Durchschnitt bei 24,6 °C weit über der Außentemperatur liegende Werte. Hinzu kommen starke Schwankungsbreiten in Abhängigkeit vom Betriebszustand.



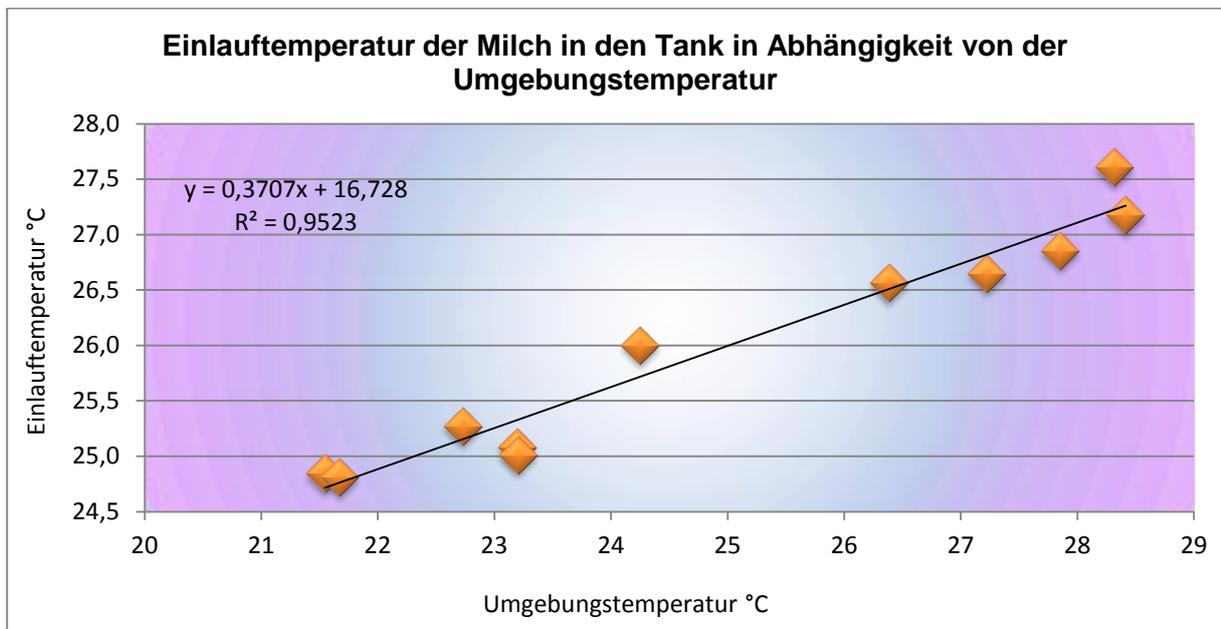
Die mittlere Einlaufftemperatur im Messfenster betrug 25,9 °C. Die mittlere Temperatur bei Abholung lag bei 3,9 °C. Um die Milch um die Differenz von 22 K abzukühlen, wurden insgesamt folgende Energiemengen benötigt:

Dokumentation der angeschlossenen Stromverbraucher

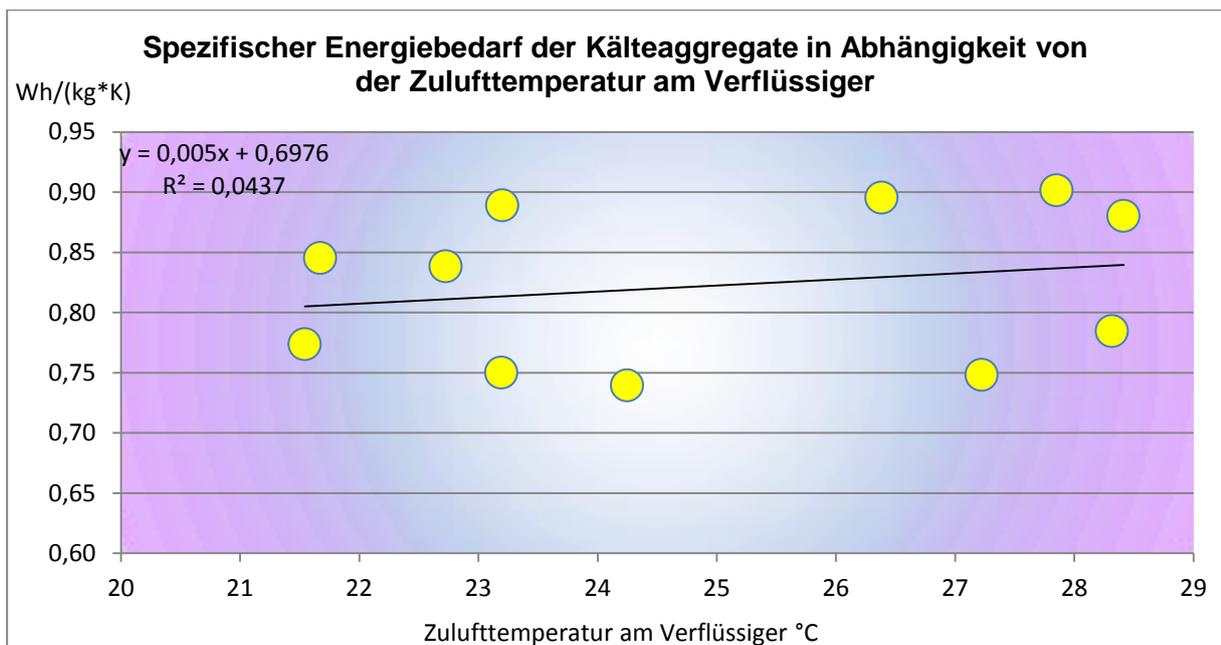
Angeschlossene Verbraucher	n	Nennleistung KW	Bh / d	Faktor	kWh / d	Meßwert
Haupttank						
Kälteaggregat 1	1	3,5	11,62	91,9	37,4	
Kälteaggregat 2	1	2	11,62	91,9	21,4	
Kühlventilatoren oben	2	0,28	11,62	46,0	3,0	
Kühlventilatoren unten	2	0,49	11,62	46,0	5,2	
Rührwerk Tank	1	0,07	12,65	100	0,9	
Zwischentank						
Kälteaggregat Zwischentank	1	4,15	1	50	2,1	
Rührwerk Zwischentank	1	0,07	1	50	0,0	
Zwischensumme Kühlen					70,0	
Tankspülung						
Heizung Tank	1	9	0,2	100	1,8	
Spülpumpe Tank	1	0,5	0,5	100	0,3	
Heizung Zwischentank					0,0	
Spülpumpe Zwischentank	1	0,5	0,5	50	0,1	
					2,2	
WRG						
Umwälzpumpe	1	0,065	11,6	100	0,8	
					0,0	
Zwischensumme WRG					0,8	
Vorkühlung						
Umwälzpumpe	1	0,065	11,6	100	0,8	
					0,0	
Zwischensumme Vorkühlung					0,8	
Zwischensumme					73,6	73,6
eingesetzte Wärmeenergie						
	Wassermenge					
	m³ / d	Vorlauf °C	Rücklauf °C		kWh / d	Messwert
Spülwasser Tank	0,110	10	53	100%	5,5	
Spülwasser Vorsammeltank	0,037	10	53	50%	1,9	
Zwischensumme Wärme					7,4	
Gesamtenergiebedarf					81,0	

Für die Spülung wird Wasser aus der Wärmerückgewinnung genutzt. Es werden etwa 110 l Warmwasser für den Haupttank und etwa 37 l für den Zusatztank benötigt, welcher aber nur jeden 2. Tag geleert und gespült wird.

Wenn auch im Tagesverlauf starke Schwankungen der Temperatur am Verflüssiger auftreten, so ist doch im folgenden Diagramm eine deutliche Abhängigkeit der mittleren Milcheinlauftemperaturen von den Tagesmittelwerten festzustellen.



Kaum nachweisbar ist die Abhängigkeit des spezifischen Energiebedarfes je kg und K von der Zulufttemperatur am Verflüssiger. Berechnet auf 20 °C liegt er bei 0,798 Wh/(kg*K).



Über die Wärmerückgewinnung wurden im Sommer täglich 11,2 kWh gewonnen, womit 224 l Wasser von 10 auf 53 °C erwärmt werden können. Bezogen auf die zur Verfügung stehende Wärmemenge aus der Milchkühlung entspricht das einer Ausnutzung von nur 12,8 %. Weil nicht viel warmes Wasser benötigt wird, ist nur ein Aggregat in den Heizkreislauf eingebunden. Deshalb ist dieser Wert nicht mit anderen Anlagen vergleichbar.

Die Wintermessreihe wurde im Zeitraum von 18.01. bis 13.02.2014 erhoben. Aus der größeren Gesamtmilchmenge resultiert auch ein um fast 30 kWh höherer täglicher Gesamtenergiebedarf. Der spezifische Energiebedarf der Kälteaggregate – korrigiert auf eine Zulufttemperatur von 5 °C – lag bei 0,691 Wh/(kg*K). Diese deutliche Verbesserung ist in erster Linie der besseren Tankauslastung zu danken. Die Zulufttemperaturen am Verflüssiger waren auf Grund verschlossener Türen, Fenster und Jalousien höher als in der Sommermessreihe. Durch die Wärmerückgewinnung wurden 15,4 kWh/d zurückgewonnen. Der Ausnutzungsgrad der verfügbaren Wärme hat sich in Anbetracht der gestiegenen Milchmenge nicht verbessert.

Fazit

Unter den gegenwärtigen Bedingungen ist die Energieeffizienz der Milchkühlung schlecht. Dies wird maßgeblich durch die fehlende Auslastung bedingt, d. h. es muss ein großes Volumen gekühlt werden, welches nicht genutzt wird. Hinzu kommt die ungünstige Anordnung der Kälteaggregate, die zum Teil die eigene Abluft ansaugen. Die Wärmerückgewinnung liegt ebenfalls unter ihrem Potenzial. Gute Anlagen transferieren über 80 % der Wärmeenergie aus der Milch in Wasser. Je weniger warmes Wasser abgerufen wird, desto mehr unnötiger Strom wird für die hohe Verdichtung (und damit Temperaturerhöhung) des Kältemittels aufgewendet.

Eine weitere Reserve ist in der suboptimalen Vorkühlung zu sehen. In gut eingestellten Anlagen wird die Milch bereits hier unter 20 °C abgekühlt. Die niedrige Milchttemperatur von unter 4 °C ist nicht unbedingt erforderlich.

Kurzcharakteristik und Messergebnisse Betrieb 2H

Der Familienbetrieb melkt ca. 55 Kühe mit einem AMS. Die Milch wird in einem Lagertank mit einem Volumen von 3.100 l mit einem Aggregat direkt gekühlt. Die Milchabholung erfolgt zweitägig. Die Abholmengelage im Sommer im Schnitt bei 3.164 kg, im Winter bei 3.355 kg, d. h. der Tank ist zu 100 % ausgelastet. Bei Bedarf wird ein Teil der Milch umgepumpt in einen isolierten Lagerbehälter.

Die Anlage verfügt über eine Vorkühlung mit Rohrkühler und eine Wärmerückgewinnung. Das auf 53 °C erwärmte Wasser wird zur Tankspülung und Melkanlagenspülung genutzt. Die Tankspülung verfügt bemerkenswerter Weise nicht über einen Durchlauferhitzer. Für die Melkanlagenspülung wird das Wasser in einem 2. Boiler auf nahe 100 °C nacherwärmt.

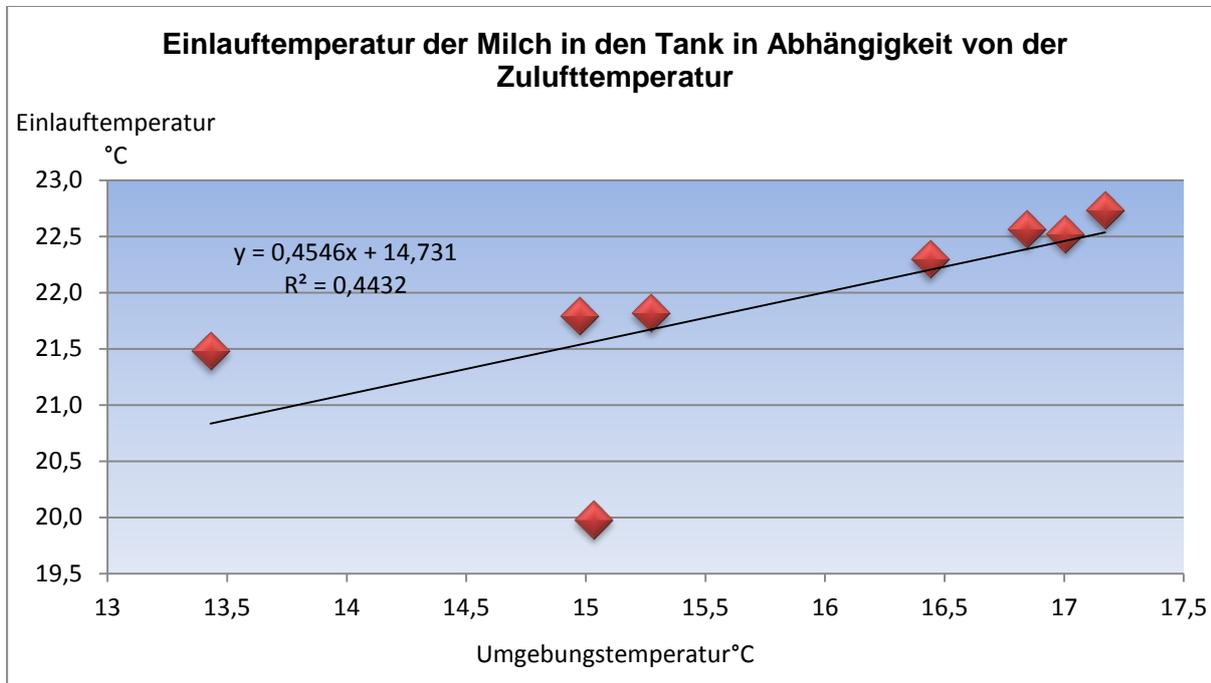
Die erste Messreihe zum Energieverbrauch wurde im Zeitraum vom 03. bis 17.10.2013 durchgeführt. Die mittlere Tagestemperatur (jeweils über zwei Tage von Abholung bis Abholung) lag am Verflüssiger bei 15,7 °C in einer Schwankungsbreite der von 13,4 bis 17,2 °C. Im Tagesverlauf wurden eine Tiefsttemperatur von 8,9 °C und eine Höchsttemperatur von 21,2 °C gemessen.

Die mittlere Einlaufftemperatur der Milch in den Kühltank betrug 21,8 °C. Die durchschnittliche Temperatur bei Abholung beträgt 3,6 °C. Um die Milch um diese 18,2 K abzukühlen, wurden insgesamt folgende Energiemengen verbraucht:

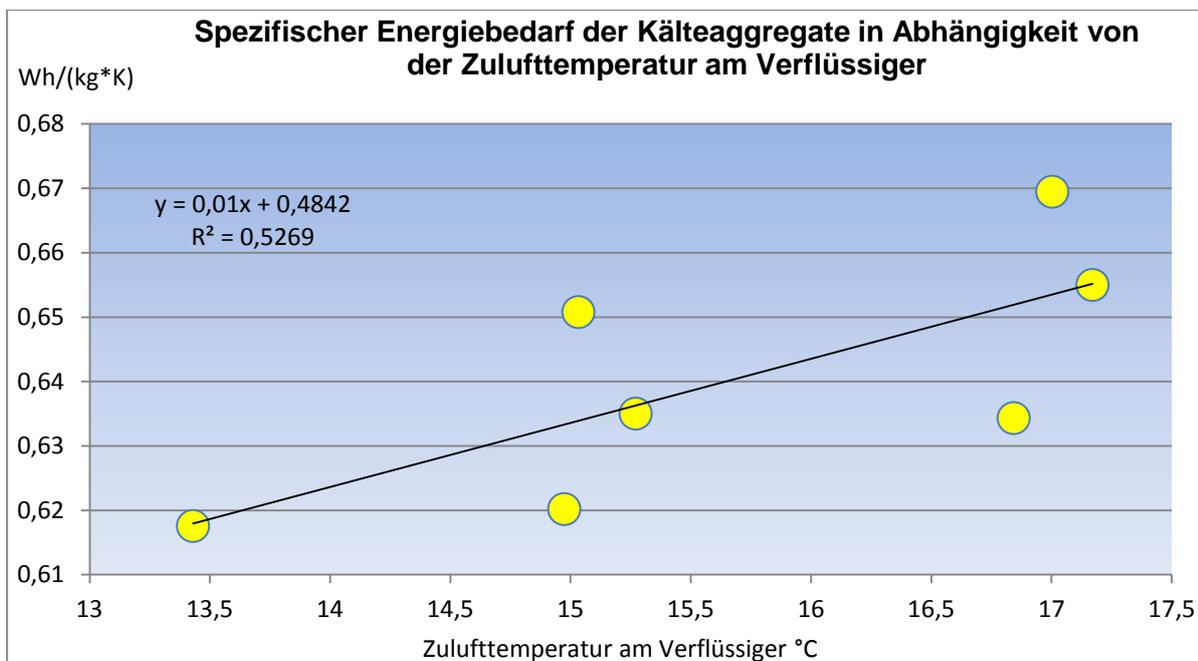
Dokumentation der angeschlossenen Stromverbraucher						
Angeschlossene Verbraucher	n	Nennleistung KW	Bh / d	Faktor %	kWh / d	Meßwert
Tank						
Kälteaggregat	1	2,2	7,8	100	17,2	
Lüfter Kälteaggregate	1	0,2	7,8	50	0,8	
Rührwerk Tank	1	0,065	9,1	100	0,6	
					0,0	
Zwischensumme Kühlen					18,5	
Tankspülung						
Heizung keine					0,0	
Spülpumpe	1	1,1	0,25	100	0,3	
					0,3	
WRG						
Zirkulationspumpe	1	0,075	7,8	100	0,6	
					0,0	
Zwischensumme WRG					0,6	
Vorkühlung						
Wasserdruck aus der Hauswasseranlage, Ventile	2				0,0	
					0,0	
Zwischensumme Vorkühlung					0,0	
Zwischensumme Strom					19,4	19,4
eingesetzte Wärmeenergie						
		Wasser m³ / d	Vorlauf °C	Rücklauf °C	Faktor %	kWh / d
Spülwasser		0,046	10	53	50	1,2
Zwischensumme Wärme					1,2	
Gesamtenergiebedarf					20,5 kWh/d	

Für die Spülung wird ausschließlich das Wasser aus der Wärmerückgewinnung ohne Nachheizung eingesetzt. Laut Hersteller werden $5 \times 0,8 \% \times \text{Tankvolumen} = 124 \text{ l}$ Wasser für die Tankspülung benötigt, wovon $\frac{2}{5} = 50 \text{ l}$ warm in der Zirkulation zum Einsatz kommen.

Im folgenden Diagramm ist ein deutlicher Zusammenhang zu erkennen zwischen mittlerer Umgebungstemperatur und Milcheinlauftemperatur.

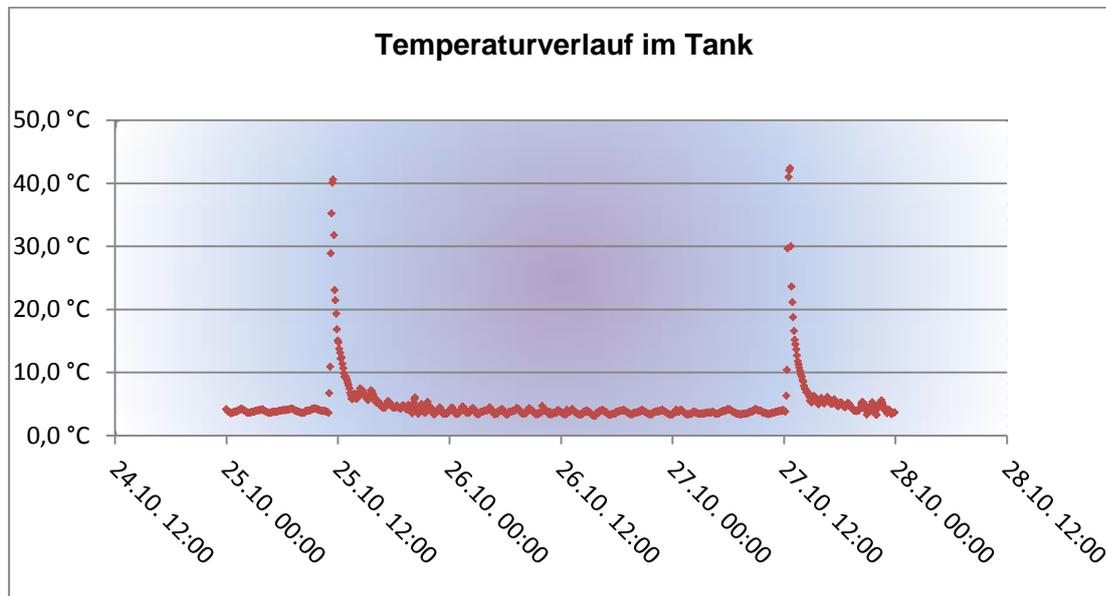


Ebenso ist der Zusammenhang zwischen dem spezifischen Energiebedarf je kg und K und der Zulufttemperatur deutlich erkennbar. Hochgerechnet auf 20 °C beträgt der spezifische Energieverbrauch 0,664 Wh/(kg*K).



Über die Wärmerückgewinnung werden 24,9 kWh pro Tag gewonnen, womit 0,5 m³ Wasser von 10 °C auf 53 °C erwärmt werden können. Bezogen auf die zur Verfügung stehende Wärmemenge der Milch entspricht das 85,5 %.

Zusätzlich wurde mittels Tinytag Splash der Temperaturverlauf im Tank gemessen. Einschränkend muss angemerkt werden, dass der Datenlogger am Rührwerksflügel angebracht wurde und somit nicht die gesamte Zeit in der Milch bzw. dem Spülwasser eingetaucht sein konnte. Bei niedrigem Füllstand wird deshalb nicht die Temperatur des Mediums, sondern der Luft im Tank gemessen.



Die Messung zeigt, dass Temperaturen über 40 °C bei der Spülung erreicht werden, was in Verbindung mit einer hinreichenden Einwirkzeit zur Desinfektion des Tanks ausreicht. Die Kühlung schaltet bei etwa 4,5 °C ein, bei 3,5 °C ab.

Die Wintermessungen wurden im Zeitraum vom 21.02. bis 07.03.2014 durchgeführt. Die Zulufttemperatur lag im Schnitt bei 11 °C. Täglich wurden etwa 3 kWh weniger Energie benötigt als im ersten Messfenster. Korrigiert auf 5 °C betrug der spezifische Energiebedarf 0,530 Wh/(kg*K).

Fazit

Die Milchkühlanlage arbeitet relativ energieeffizient. Obwohl es sich um die kleinste der untersuchten Anlagen handelt, liegt der spezifische Energiebedarf der Kälteaggregate leicht unter dem Durchschnitt aller untersuchten Anlagen. Ursache dafür ist hauptsächlich die hohe Auslastung des Tanks, wodurch wenig Luft gekühlt werden muss. Dass zum Energiebedarf des Kälteaggregates nur wenig hinzugerechnet werden muss, ist der Tatsache geschuldet, dass die Spülung ausschließlich mit Wasser aus der Wärmerückgewinnung gespeist wird und keine Nachheizung erfolgt. Auch die Wärmerückgewinnung arbeitet überdurchschnittlich effektiv, wobei diese hohe Rückgewinnungsquote vordergründig auf die regelmäßige und hinreichende Warmwasserabnahme zurückzuführen ist. Reserven sind im Sauberhalten der Lamellen des Verflüssigers zu sehen, um hier eine effektivere Kühlleistung zu gewährleisten. Die Zieltemperatur der Milch könnte ca. 2 K höher sein.

Literaturverzeichnis

- AEL-Merkblatt Nr. 25/97 (1997): Kochendwasser- oder Zirkulationsreinigung von Melkanlagen?; Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft
- BECKER, M. (2009): Energetische Bewertung und optimierte Betriebsführung von Kälteanlagen; KI Kälte Luft Klimatechnik
- DIN ISO 5707 (2007): Melkanlagen; Berlin
- DWD (2014): Pressemitteilung „Deutschlandwetter im Winter 2013/14“; 27.02.2014, online unter:
http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressemitteilungen/2014/20140227__DeutschlandwetterimWinter,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/20140227_DeutschlandwetterimWinter.pdf
- DWD (2013): Pressemitteilung „Zahlen und Fakten zum Klimawandel in Deutschland“; 07.05.2013, online unter:
http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2013/PK__07__05__13/ZundF__zur__PK,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/ZundF_zur_PK.pdf
- FÜBBEKER, A. (o. J.): Stromeinsparung bei der Milchkühlung; Internet der LWK Niedersachsen
- POMMER, R. et al. (2013): Nutzung Automatischer Melksysteme (AMS) in der sächsischen Milchproduktion; Dresden
- VLK (2009): Energieeffizienzverbesserung in der Landwirtschaft, Verband der Landwirtschaftskammern e. V., Landwirtschaftskammern Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autor:

Renè Pommer
Abteilung Landwirtschaft/Referat Tierhaltung, Tierfütterung
Am Park 3, 04886 Köllitsch
Telefon: +49 34222 46-2210
Telefax: +49 34222 46-2099
E-Mail: rene.pommer@smul.sachsen.de

Redaktion:

siehe Autor

Fotos:

Renè Pommer

Redaktionsschluss:

17.12.14

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.