

Automatisches Melken im Melkzentrum - Verfahrenskosten im Prozessabschnitt der Milchgewinnung

Abschlussbericht

René Pommer, LfULG; Kerstin Hubrich, TLLLR

Vorwort

In den letzten Jahren haben sich neben den dezentral angeordneten automatischen Melkboxen in größeren Betrieben zunehmend vollautomatische Lösungen für das Melkzentrum etabliert. Als erstes ging die Firma DeLaval auf der EUROTIER 2010 mit dem „Automatic Milking Rotary“ mit 24 Melkplätzen (AMR 24 TM) an den Start. Die erste Pilotanlage in Thüringen wurde 2012 in Betrieb genommen, 2014 folgte eine erste Anlage in Sachsen.

Zwei Jahre später stellte GEA das vollautomatische Melkkarussell „DairyProQ“ (DPQ) auf der EUROTIER vor. Dieses verfügt an jedem Melkplatz über ein selbständig agierendes Modul.

Die jüngste Innovation für vollautomatisches Melken im Melkzentrum liefert die Firma Lemmer Fullwood mit dem „Batch Milking System“ (BMS). Hier leisten die bewährten, im Halbkreis angeordneten Robotertermelkboxen „M²erlin“ die Melkarbeit. In deren Mitte befindet sich der runde Vorwartehof, der mit einem im Kreis drehenden Kuhntrieberr ausgerüstet ist.

Was wurde untersucht

In Zusammenarbeit zwischen dem Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und ländlichen Raum (TLLLR) und dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) wurden die verfahrensabhängigen Prozesskosten der Milchgewinnung in 8 Betrieben mit vollautomatischen Melkanlagen im Melkzentrum erfasst. Aus den Daten sollten allgemeingültige Aussagen als Empfehlung für die Praxis abgeleitet werden, die einen verfahrensökonomischen Vergleich mit AMS-Boxenanlagen und konventioneller Melktechnik ermöglichen.

Wie wurde dabei vorgegangen

Die Verfahrenskosten setzen sich aus den folgenden Positionen zusammen:

- Abschreibungen
- Unterhaltungsaufwand
- Materialverbrauch
- Strom- und Wasserverbrauch
- Arbeitserledigungskosten

Zum Zweck des Vergleichs mussten die **Abschreibungen** mit einheitlichen Sätzen berechnet werden. Da in der Praxis eine gewisse Spanne zulässig ist, konnten die gebuchten Abschreibungen nicht übernommen werden. Es war vielmehr erforderlich, die **Anschaffungs- und Herstellungskosten (AHK)** aller am Prozessabschnitt der Milchgewinnung beteiligten Maschinen, Geräte und Betriebsvorrichtungen (Technik) sowie den zuzurechnenden Gebäudeanteil detailliert zu erfassen.

Autoren: **René Pommer**; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Referat 35 - Förder- und Fachbildungszentrum Nossen; Tel.: +49 (0) 3431 7147-43; E-Mail: rene.pommer@smekul.sachsen.de;

Kerstin Hubrich, Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Referat 32 - Nutztierhaltung; Tel: +49 (0) 361 573921-147; E-Mail: kerstin.hubrich@tlllr.thueringen.de; Redaktionsschluss: 13.09.2023

Neben der Melktechnik gehören auch die Beleuchtung und Hochdruckreiniger sowie gegebenenfalls vorhandene Desinfektionsanlagen, Treiber oder Ventilatoren dazu. Auch Anlagen, die das Arbeiten erleichtern, wie z.B. Heizung oder höhenverstellbare Melkflure, sind dem Prozessabschnitt zuzurechnen.

Zum **Unterhaltungsaufwand** gehören alle Kosten, die für vorbeugende Wartung oder Reparaturen anfallen. Das sind insbesondere Arbeitsleistungen vom Servicebetrieb (Rechnung) oder betriebseigenen Arbeitskräften (Lohnansatz), Ersatzteile (z.B. Platinen, Dichtungen, Zitzengummis) und Verbrauchsstoffe (z.B. Schmierstoffe). Da er vornehmlich vom Verschleiß verursacht wird, ist ein Bezug auf die Anzahl der geleisteten Melkungen (EUR/1.000 Gemelke) für Vergleiche gut geeignet.

Davon abzugrenzen waren die Kosten für den **sonstigen Materialaufwand**. Dazu gehören alle Hygiene- und Hilfsmaterialien, die im Prozess der Milchgewinnung eingesetzt werden, insbesondere:

- Reinigungs- und Desinfektionsmittel für die Melkanlage,
- Dipp- und Euterpflegemittel,
- weitere Desinfektionsmittel z.B. für Melkzeugzwischen- oder Flächendesinfektion,
- Arbeitsschutzbekleidung für die Melkbetreuer.

Diese Daten wurden rechnungsgenau nach Wirtschaftsjahren erhoben.

Für die Messung des **Strom- und Wasserverbrauches** wurden Unterzähler installiert.

Die **Arbeitszeitmessungen** erfolgten über mehrere Schichten. Grundlage für die Vergleichbarkeit der gemessenen Zeiten war zunächst die einheitliche Festlegung von Arbeitsgängen:

- Melkanlage vorbereiten
- melknotwendige PC-Arbeiten (Dokumentation, Alarmlisten und Kennzahlen)
- Treiben der Kühe zum Melkhaus und zurück
- Unterstützung des Melkprozesses (Nachgehen von Warnhinweisen, Ansetzhilfe, Anlernen)
- Service während des Melkens (Sensorpflege, Milchfilter wechseln) und Beseitigung von Störungen (Kleinreparaturen)
- Nachbereitung (R+D) des Melksystems sowie der zugehörigen Einrichtungen

Die gemessenen Teilzeiten der einzelnen Arbeitsverrichtungen wurden diesen standardisierten Arbeitsgängen zugeordnet. Zu jeder gemessenen Schicht wurde zudem der Tierbestand, die Anzahl der Melkungen sowie die Milchmenge festgehalten.

Aus den Messergebnissen wurden die detaillierten Arbeitsmaße je Kuh und Jahr, dt gemolkene Milch und Gemelk ermittelt.

Welche Ergebnisse wurden für die einzelnen Kostenpositionen ermittelt?

Investitionsvolumen

Die in der Praxis ermittelten Anschaffungs- und Herstellungskosten (Tabelle 1) sind immer das Ergebnis einer individuellen Vertragsgestaltung für eine komplexe Investition mit teils sehr unterschiedlichen Ausgangsbedingungen! Daraus lassen sich Größenordnungen aufzeigen. Rückschlüsse auf Listenpreise für einzelne Maschinen können hingegen nicht abgeleitet werden. Zwischen den Versuchsbetrieben wurden entsprechend große Unterschiede festgestellt.

Die Technik kostete im Durchschnitt der 8 analysierten Betriebe 62.000 EUR/Melkplatz in einer Spanne von 40.500 bis 125.000 EUR. Die Karussellanlagen von GEA und De Laval unterschieden sich nur wenig. Hier wurden Kosten zwischen 40.500 und 50.500 EUR/Melkplatz ermittelt. Beim Batch Milking System entspricht jeder Melkplatz einem voll funktionsfähigen M²erlin Melkroboter, wie er auch in einem Laufstall installiert werden könnte. Durch den Einzeltierwechsel ist die Durchsatzkapazität je Melkplatz höher als im Karussell, weswegen für den gleichen Gesamtdurchsatz weniger Melkplätze benötigt werden. Allerdings fielen deren Investitionskosten mit bis zu 125.000 EUR/Melkplatz mehr als doppelt so hoch aus.

Der Wert konventioneller Melksysteme (Melkställe, Karusselle) hängt stark von deren Ausstattungsgrad ab. Deshalb sind in der Praxis Ausgaben von wenig mehr als 5.000 EUR bis knapp 20.000 EUR anzutreffen.

Tabelle 1: Investitionskosten der untersuchten Anlagen

Melksystem	Anzahl MPI.*	Invest.- Jahr	AHK** „Technik“ [EUR]	AHK** „Bau“ [EUR]	AHK** „Technik“ [EUR/MPI.]	AHK** „Bau“ [EUR/MPI.]
AMR24	24	2014	973.439	715.084	40.560	29.795
DPQ	50	2015	2.455.820	972.450	49.116	19.449
AMR24	24	2015	1.080.890	1.011.875	45.037	42.161
AMR24	24	2015	1.214.140	631.825	50.589	26.326
DPQ	40	2015	1.820.536	1.172.338	45.513	29.308
AMR24	24	2016	1.018.892	1.031.856	42.454	42.994
BMS	13	2019	1.621.380	940.261	124.722	72.328
BMS	13	2020	1.271.054	795.419	97.773	61.186

*MPI. – Melkplatz, **AHK – Anschaffungs- und Herstellungskosten

In 7 der 8 untersuchten Anlagen wurde ein komplett neues Melkhaus errichtet. In der Regel dienen zwischen 80 und 95 % des Gebäudes direkt der Milchgewinnung, die verbleibenden 5 bis 20 % beherbergen Funktionsräume, die anderen Zwecken dienen, z.B. als Milchlager oder zur Tierbehandlung. Auf die Milchgewinnung entfiel letztendlich ein Baukostenanteil zwischen 630.000 und 1,17 Mio. EUR. Bezogen auf den Melkplatz ergaben sich daraus zwischen 19.000 und 72.000 EUR.

Die Höhe der festgestellten Baukosten ist bemerkenswert. Im Vergleich dazu ergaben Praxisuntersuchungen früherer Jahre für konventionelle Melksysteme maximal 16.500 EUR/Melkplatz. Sicher spielt hier die mit der allgemeinen Konjunkturlage verbundene Entwicklung der Lohnkosten und daraus folgend die Baupreisentwicklung eine nicht unwesentliche Rolle, denn die jetzt betrachteten Anlagen waren allesamt jüngeren Alters. Aber auch das Streben nach einem höheren Arbeitskomfort geht einher mit einer großzügigeren Flächenausstattung rund um das Karussell und einer massiven Vergrößerung von Funktionsräumen.

Die höchsten Investitionskosten je Melkplatz verursachten die BMS. Das kommt daher, dass hier jeder Melkplatz aus einer vollständigen Melkbox mit einem entsprechend großen Platzbedarf besteht.

Unterhaltungsaufwand

Der in Tabelle 2 dargestellte Unterhaltungsaufwand lag im Mittel mit 151,57 EUR/1.000 Gemelke. Damit liegen diese Systeme in einem ähnlichen Bereich wie die AMS-Boxenanlagen (138,64 EUR) im Stall. Das entspricht insofern der Erwartung, da hier eine sehr komplexe Technik zum Einsatz kommt. Zu berücksichtigen ist dabei, dass es sich bei den untersuchten Anlagen allesamt um jüngere Anlagen handelte, deren mittleres Alter bei 3 Jahren lag (auswertbare abgeschlossene Wirtschaftsjahre). Es ist anzunehmen, dass mit zunehmendem Alter bei gleichzeitig ablaufenden Garantieansprüchen die Kosten weiter steigen.

Erstaunlich ist die hohe Schwankungsbreite zwischen den Betrieben (77,28 bis 244,64 EUR/1.000 Gemelke). Die untersuchte Stichprobe ist aber zu gering, um daraus systembedingte Unterschiede abzuleiten. Zu beachten ist ferner, dass sich der Eigenleistungsanteil bei Wartungsarbeiten und Reparaturen zwischen den Betrieben deutlich unterschied.

Tabelle 2: Unterhaltungsaufwand der technischen Ausstattung vollautomatischer Melkzentren im Vergleich zu konventionell melkenden Anlagen und Boxen-Melksystemen

Melksystem	Invest.- Jahr	Kuhzahl	Gemelke/ (Kuh*d)	% der AHK*	EUR/ (Kuh*a)	EUR/ dt Milch	EUR / 1000 Gemelke
AMR24	2014	532	2,00	5,5	104,72	1,22	164,88
DPQ	2015	1.002	2,20	2,1	52,59	0,60	77,28
AMR24	2015	399	2,00	4,8	131,17	1,21	197,77
AMR24	2015	708	2,02	5,9	101,59	1,10	146,94
DPQ	2015	1.042	2,63	5,7	107,02	1,29	131,94
AMR24	2016	571	2,21	5,0	91,00	0,83	129,60
BMS	2019	875	2,00	4,1	75,10	0,78	119,47
BMS	2020	453	2,01	5,4	152,44	1,78	244,64
Durchschnitt				4,8	102,00	1,10	151,57
Zum Vergleich:							
AMS-Boxen im Stall				7,4	111,30	1,23	138,64
konventionelle Anlagen				7,2	36,50	0,39	47,09

*AHK – Anschaffungs- und Herstellungskosten

Autoren: **René Pommer**; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Referat 35 - Förder- und Fachbildungszentrum Nossen; Tel.: +49 (0) 3431 7147-43; E-Mail: rene.pommer@smekul.sachsen.de;

Kerstin Hubrich, Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Referat 32 - Nutztierhaltung; Tel: +49 (0) 361 573921-147; E-Mail: kerstin.hubrich@tllr.thueringen.de; Redaktionsschluss: 13.09.2023

Materialaufwand

Der Aufwand an Hygienematerial für die Milchgewinnung (Tabelle 3) resultiert aus der Art der durchgeführten Maßnahmen und deren Intensität. Er lag in den untersuchten Betrieben zwischen 14,90 und 54,90, im Mittel bei 36,09 EUR/(Kuh*a).

Der Unterschied zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Einzelwert lag bei Faktor 3,6. Bedingt werden die großen Differenzen durch zahlreiche Faktoren, vor allem durch die Zahl der Melkungen je Kuh und Tag. Hinzu kommen Unterschiede in der Wahl der eingesetzten Mittel, der Festlegungen zur Melkhygiene und nicht zuletzt auch zu den Einkaufspreisen. Ein Betrieb hat selbst eine Händlerlizenz, wodurch seine Einkaufspreise entsprechend günstig waren.

Der Verbrauch einzelner Mittel war nicht Gegenstand der Untersuchungen. Es sind aber aus der Literatur erhebliche Verbrauchsunterschiede bekannt. Beispielsweise ist der Dippmittelverbrauch beim Tauchen der Zitzen über das Melkzeug systembedingt höher als bei gut eingestellten Zitzensprührobotern. Nicht zu unterschätzen ist die Einstellung der Technik für eine richtige Dosierung.

Tabelle 3: Aufwand an Hygienematerial (Praxisanalyse)

Melksystem	Gemelke/(Kuh*d)	sonstiger Materialverbrauch EUR/(Kuh*a)
AMR24	2,00	28,05
DPQ	2,20	33,91
AMR24	2,21	54,90
AMR24	2,00	33,00
DPQ	2,63	48,06
AMR24	2,02	14,90
BMS	2,00	40,59
BMS	2,01	35,29
Durchschnitt		36,09

Tabelle 4 zeigt eine Modellkalkulation zum Aufwand für Hygienematerial für die Milchgewinnung mit einem vollautomatischen Karussell unter guten Praxisbedingungen. Unterstellt wurden dabei zwei Melkzeiten bei einem Bestand von 700 Kühen (darunter 604 laktierend).

Tabelle 4: Kalkulation des Aufwandes für Hygienematerial im Prozessabschnitt der Milchgewinnung für einen Betrieb mit 700 Kühen und einem vollautomatischen Melkkarussell, 2,0 Melkungen je Tag

Material	Einheit	EUR/ Einheit	Menge/ Vorgang	Menge pro Jahr	EUR pro Jahr	EUR/ (Kuh*a)
R+D sauer	l	0,91	4	2.920	2.657,20	3,80
R+D alkalisch	l	0,91	4	2.920	2.657,20	3,80
Dippmittel, 5000 ppm Jod	l	2,52	0,008	3.557	8.962,53	12,80
Melkzeug Zwischendesinfektion Peressigsäure	l	1,85	0,004	1.778	3.289,82	4,70
Milchfilter	Stk.	0,06	4	2.920	175,20	0,25
weiteres Kleinmaterial, wie Bürsten, Kanisterpumpen etc.					250,00	0,36
Summe					17.991,95	25,70

Unterstellt man dieselben Eckparameter für eine konventionelle Anlage, schneidet diese etwas teurer ab, da die zur Zitzenreinigung eingesetzten Lappen oder Einwegtücher zusammen mit dem Equipment des Melkers mit etwa 10 EUR/(Kuh*a) zu Buche schlagen. Die vollautomatische Anlage reinigt die Zitzen nur mit Wasser oder mit Bürsten, die ihrerseits mit Wasser gereinigt werden. Der Wasserverbrauch für einen Reinigungsvorgang liegt bei 0,2 bis 0,5 l Wasser. In der Hochrechnung sind das maximal 2 EUR/(Kuh*a).

Da die Spülung der Melkanlage unabhängig von der Zahl der gemolkene Kühe durchgeführt werden muss, besteht bei identischer Ausstattung ein Degressionseffekt mit steigender Kuhzahl.

Wasserverbrauch

Tabelle 5 zeigt den gemessenen Wasserverbrauch der Untersuchungsbetriebe. Zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wert steht mehr als Faktor 2. Im Durchschnitt benötigten die Anlagen mit vollautomatischen Systemen 15,1 l je Gemelk. Messungen in konventionellen Anlagen in den letzten 10 Jahren ergaben im Schnitt ein Drittel weniger. Auch Boxen-AMS hatten einen geringeren Wasserbedarf.

Tabelle 5: Wasserverbrauch im Prozessabschnitt der Milchgewinnung mit vollautomatischen Melksystemen im Melkzentrum

Melksystem	MPI.	Kuhzahl	Gemelke/ (Kuh*d)	m ³ / (Kuh*a)	l/ Gemelk
AMR24	24	566	2,00	10,3	15,6
DPQ	50	1.002	2,20	6,1	9,0
AMR24	24	571	2,21	12,5	17,8
AMR24	24	399	2,00	11,1	16,7
DPQ	40	1.122	2,00	5,6	8,9
AMR24	24	708	2,02	14,9	21,6
BMS	13	875	2,00	9,2	14,7
BMS	13	453	2,01	10,4	16,7
∅				10,0	15,1

Woraus resultieren die beträchtlichen Unterschiede? Die nachfolgende Tabelle 6 zeigt den aufgeschlüsselten Verbrauch von 3 Betrieben mit unterschiedlichen Melksystemen.

Tabelle 6: Nach Verwendung aufgeschlüsselter Wasserverbrauch aus drei Betrieben (Zeiträume sind nicht identisch mit Tabelle 5)

	AMR		DPQ		BMS	
	m ³ /d	l/ Gemelk	m ³ /d	l/ Gemelk	m ³ /d	l/ Gemelk
Gemelke/Tag		1.098		1.932		1.507
Wasserverbrauch gesamt	19,6	17,8	17,2	8,9	22,1	14,7
Spülung 2 x täglich	2,6	2,4	4,0	2,1	2,4	1,6
Euter-, Bürstenreinigung und Melkzeugzwischendesinfektion	1,8	1,6	4,5	2,4	6,2	4,1
<i>dar. Melkzeugzwischendes.</i>	<i>0,9</i>	<i>0,8</i>	<i>0,5</i>	<i>0,3</i>		
<i>dar. Euterreinigung</i>	<i>0,9</i>	<i>0,8</i>	<i>4,0</i>	<i>2,1</i>		
Plattformreinigung	8,3	7,6	1,8	0,9	-	-
Reinigung VWH mittels Treiber	-	-	-	-	4,0	2,6
manuelle Reinigung	6,8	6,2	7,0	3,6	9,5	6,3

Für die manuelle Reinigung der Melkanlage sowie des Vorwartebereiches und der Zu- und Abtriebe nach jeder Melkzeit wurde pro Tag in beiden Betrieben mit Karussell eine nahezu identische

Autoren: **René Pommer**; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Referat 35 - Förder- und Fachbildungszentrum Nossen; Tel.: +49 (0) 3431 7147-43; E-Mail: rene.pommer@smekul.sachsen.de;

Kerstin Hubrich, Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Referat 32 - Nutztierhaltung; Tel.: +49 (0) 361 573921-147; E-Mail: kerstin.hubrich@tllr.thueringen.de; Redaktionsschluss: 13.09.2023

Wassermenge verbraucht. Das überrascht nicht, denn die zu reinigenden Flächen unterscheiden sich nur unwesentlich. Im DPQ-Betrieb wurden im Vergleich zum AMR-Betrieb jedoch mehr als doppelt so viele Melkungen durchgeführt, woraus ein deutlich niedrigerer Verbrauch je Gemelk resultiert.

Im BMS-Betrieb sind die Flächen größer, woraus der höhere absolute Verbrauch resultiert. Die Zahl der Gemelke lag zwischen den beiden Karussellanlagen. Je Gemelk war der Verbrauch dadurch ähnlich hoch wie im AMR.

Darin ist allerdings der Verbrauch des Rundtreibers nicht enthalten. Dieser verfügt über Sprühdüsen, über welche der Vorwarte Hof automatisch nass gereinigt werden kann. Je nach Programmierung kann das ausschließlich nach oder auch schon während dem Melken erfolgen. Im Tabelle 6 zugrundeliegenden Messintervall war es überwiegend die Reinigung nach dem Melken.

Die Melkzeugzwischendesinfektion im DPQ-Betrieb verbrauchte sehr wenig Wasser. Der gemessene Wert lag unter den Herstellervorgaben. Hier müsste die Wirkung betrachtet werden, die nicht Gegenstand der Untersuchungen war. Im BMS erfolgt die Euterreinigung über rotierende Bürsten, die anschließend nass gereinigt werden. Eine getrennte Erfassung der Melkzeugzwischendesinfektion von der Bürstenreinigung war nicht möglich.

Ein systembedingter Unterschied ergab sich aus der Reinigung der Plattform. Im AMR-Betrieb erfolgte sie automatisch in der Weise, dass nach jeder Kuh zwischen Aus- und Eintrieb eine Sprühvorrichtung unabhängig vom Verschmutzungsgrad die Plattform absprühte. Diesen Vorgang könnte man auch restriktiver programmieren. Im DPQ-Betrieb erfolgte die Plattformreinigung durch den Melkbetreuer manuell nach subjektiver Einschätzung. Allerdings läuft diese Vorgehensweise den Nutzeranweisungen des Herstellers zuwider. Dieser empfiehlt, auf eine Plattformreinigung gänzlich zu verzichten, da die Melkbecher systembedingt keinen Kontakt mit der Plattformoberfläche haben können. Das BMS hat keine Plattform.

Es bleibt festzuhalten, dass die Unterschiede im Wasserverbrauch zum Teil systembedingt sind. Zum Teil ergeben sie sich aber aus individuellen Unterschieden zwischen den handelnden Personen (Einschätzungsvermögen, Geschick, Motivation). Hinzu kommen auch Ausstattungsmerkmale, z.B. welche Reinigungstechnik steht zur Verfügung, wie hoch und wie stabil ist der Wasserdruck, welche Hilfsmittel werden genutzt und wie sind die zu reinigenden Flächen beschaffen.

Energiebedarf

Der Energiebedarf im Prozessabschnitt der Milchgewinnung unterliegt einer deutlichen Degression. Ob in einer Schicht 350 oder 700 Kühe gemolken werden, spielt z.B. für die benötigte Warmwassermenge der Ringspülung keine Rolle. Aber im ersten Fall verdoppelt sich der Warmwasserbedarf je Gemelk! Außerdem sind während der Spülung sämtliche Stromverbraucher in Betrieb. Eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt deshalb die Auslastung der Melkanlage.

Wird Wärme z.B. über eine Biogasanlage bereitgestellt, steht sie quasi zum „Nulltarif“ zur Verfügung. Das begünstigt nicht selten einen großzügigen Energieeinsatz. Wird stattdessen Heizöl oder Gas verbrannt, war bis zur jüngsten Energiekrise von Kosten zwischen 7 und 9 Ct je kWh auszugehen. Wasser mit Strom zu erwärmen ist einfach und bequem. Unabhängig von den aktuellen Turbulenzen an den Energiemärkten ist es aber auch die teuerste Variante. Bei Nutzung von Eigenstrom kann sich eine abweichende Einschätzung ergeben. Strom und Wärme müssen in jedem Fall im Zusammenhang betrachtet werden.

Die gemessenen Elektroenergie- und Wärmeenergieverbräuche sind mit Bezug auf die durchgeführten Gemelke in Tabelle 7 dargestellt. Mit nur 0,10 kWh **Strom** je Gemelk kann sich das beste vollautomatische Karussell mit jeder konventionellen Anlage messen. Der Durchschnitt liegt aber mit 0,27 kWh deutlich darüber, der höchste Wert liegt gar bei 0,55 kWh. Der größte Stromverbraucher beim Melken ist meist die Vakuumpumpe, nicht selten aber auch der Druckluftkompressor. Letzteres wird vor allem durch unnötige Laufzeiten in Folge von Leckagen begünstigt.

Die meiste Wärmeenergie im Prozessabschnitt der Milchgewinnung wird in Form von warmem bzw. heißem Wasser für Reinigungszwecke benötigt. Aber auch für die Euterreinigung und Melkzeugzwischendesinfektion wird häufig warmes Wasser verwendet. Bei der Wärme lag der Durchschnitt bei 0,18 kWh/Gemelk in einer Schwankungsbreite von 0,06 bis 0,47 kWh.

Tabelle 7: Strom- und Wärmebedarf der untersuchten Anlagen

Melksystem	Anzahl MPI.	Gemelke/d	Strom kWh/Gemelk	Wärme kWh/Gemelk	Summe Energie kWh/Gemelk
DPQ	40	1.930	0,10	0,12	0,22
AMR24	24	1.098	0,22	0,11	0,33
AMR24	24	1.341	0,30	0,06	0,37
DPQ	50	1.868	0,16	0,23	0,39
BMS	13	1.507	0,23	0,16	0,40
AMR24	24	1.020	0,27	0,13	0,40
AMR24	24	725	0,35	0,13	0,47
BMS	13	773	0,55	0,47	1,02
Mittelwert			0,27	0,18	0,45

Ein Teil der großen Schwankungsbreite der gemessenen Energieverbräuche ist darauf zurück zu führen, dass die jungen Systeme in den ersten Jahren eine Entwicklungsphase durchlaufen haben („Kinderkrankheiten“) Zum Beispiel waren die ersten AMR24™ noch mit dezentralen Hydraulikpumpen in jedem Roboterarm ausgestattet, die bei späteren Ausführungen durch eine effizientere zentrale Einheit ersetzt wurden. Beim BMS wurden die Roboter auch in den Zwischenmelkzeiten im „Bereitschaftsmodus“ gehalten. Das bedeutete unter anderem, dass permanent Unterdruck anliegen musste. Deshalb hatten die Kompressoren in den Untersuchungsbetrieben unnötige Laufzeiten, verbunden mit einem entsprechenden Stromverbrauch.

Ein zusätzlicher Wärmebedarf besteht für die Heizung des Melkhauses. Generell muss eine Melkanlage, die für die vollautomatische Erledigung einzelner Arbeitsschritte auf Wasser angewiesen ist, permanent frostfrei gehalten werden. Darüber hinaus ist es eine Frage der Bedürfnisse der beteiligten Personen, ob das Thermostat in der Frostschutzstellung verbleibt oder das Melkhaus auf

„Zimmertemperatur“ aufgeheizt wird. Der systembedingt notwendige Heizwärmebedarf lässt sich mit den gemessenen Werten nicht abbilden und ist deshalb in der Tabelle 7 nicht enthalten.

Tabelle 8 zeigt die verkürzte Stromverbraucherliste einer sehr energieeffizienten Anlage. Für jede der untersuchten Anlagen wurde eine derartige Liste erstellt, um die gemessenen Werte auf Plausibilität zu prüfen.

Tabelle 8: Stromverbraucherliste am Beispiel eines DPQ-Betriebes

Verbraucher	n	Elektrische Leistung	Betriebsstunden	GF*	LF*	Verbrauch
		[kW _{el}]	[Bh/d]	[0 - 1]	[0 - 1]	[kWh/d]
Vakuumpumpe RPS 2 x 2800 - Melkbetrieb	2	8,0	13,5	0,5	0,5	54,3
Vakuumpumpe RPS 2 x 2800 - Spülbetrieb	2	8,0	1,5	1	0,5	11,8
Kompressor Atlas Copco	1	4,9	13,60	1	0,70	46,7
CCU - Milchpumpen	4	1,6	13,8	0,5	0,1	4,4
Elektroantrieb Autorotor RCU	2	1,3	15,00	1	0,150	5,82
DBS 20 Plätze	2	13,4	24,0	1	0,060	38,6
Kuhtrieber	1	2,4	3,0	1	0,128	0,9
Milchpumpe Milch-Wasch- Reservoirs - Melkbetrieb	1	0,63	13,01	1	0,25	2,0
Milchpumpe Milch-Wasch- Reservoirs - Spülbetrieb	1	0,63	0,58	1	0,8	0,3
Leuchten Melkhaus	36	0,026	10,8	1	1	10,1
Leuchten Karussell	2	0,026	10,8	1	1	0,6
Leuchten Vorwartehof	48	0,026	10,8	1	1	13,5
Summe						186

*GF – Gleichzeitigkeitsfaktor, **LF – Lastfaktor

Der Gleichzeitigkeitsfaktor gibt an, zu welchem Anteil die Verbraucher während der Betriebszeit tatsächlich laufen. Der Lastfaktor widerspiegelt den drehzahlvariablen Betrieb bzw. die Teilauslastung komplexer Maschinen.

Aus dem Produkt der elektrischen Leistung, den täglichen Betriebsstunden, dem Gleichzeitigkeitsfaktor und dem Lastfaktor ergibt sich der tägliche Strombedarf der einzelnen Verbraucher. Die Summe der einzelnen Verbraucher ergibt den Gesamtverbrauch je Tag, im Beispiel 186 kWh. Bei durchschnittlich 1.899 Gemelken pro Tag im Untersuchungszeitraum errechnen sich daraus niedrige 98 Wh/Gemelk.

Wurde Wasser elektrisch erwärmt, wurde der dafür erforderliche Strom wegen der oben beschriebenen unterschiedlichen Ausgangsbedingungen weder dem Wärmeenergiebedarf noch dem Strombedarf der Milchgewinnung zugerechnet. Der Wärmeenergiebedarf wurde vielmehr anhand der gemessenen Warmwassermengen und Temperaturen nach der folgenden Formel berechnet:

$$\begin{array}{l} \text{Wärmeenergie} \\ \text{[kWh]} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Wassermenge} \\ \text{[kg]} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Temperaturdifferenz} \\ \text{[K]} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{spezifische} \\ \text{Wärmekapazität} \\ \text{[kWh/(kg*K)]} \end{array}$$

Als Ausgangstemperatur T_1 wurde im Interesse der Vergleichbarkeit einheitlich eine Brunnenwassertemperatur von 12°C unterstellt. Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt 1,163 Wh/(kg*K).

Tabelle 9: Kalkulierter Wärmebedarf

	m ³ /d	T ₁ °C	T ₂ °C	ΔT K	kWh/d
Spülung	1,49	80	12	68	117,8
Zitzenreinigung	3,96	37	12	25	115,2
Summe					233,0

Aus den so kalkulierten 233 kWh ergeben sich bei 1.899 Melkungen rechnerisch 121 Wh/Gemelk.

Für die Dauer und Temperatur einer erfolgreichen Ringspülung gilt die Faustformel: 20 Minuten mit 40 °C Rücklauftemperatur. Dieses Ziel wird erreicht, indem man mit hinreichend heißem Wasser startet, oder mit niedrigeren Wassertemperaturen beginnt und nachheizt. Das funktioniert im Regelfall nur über elektrische Heizpatronen, die mit hoher Leistung ausgestattet sind und damit einen erheblichen Stromverbrauch verursachen. Durch die hohe Ausgangstemperatur von 80°C war im Beispielbetrieb ein Nachheizen während der Ringspülung nicht erforderlich.

Arbeitsaufwand

Um mit vollautomatischen Systemen erfolgreich zu sein, ist eine deutliche Reduzierung des Arbeitsaufwandes im Vergleich zu konventionellen Systemen zwingend erforderlich. Hier zeigten sich klare Reserven!

Die beste der untersuchten Anlagen benötigte je Gemelk 0,76 AKmin, was einem Jahresarbeitsmaß von 8,0 AKh/(Kuh*a) entspricht (Tabelle 10). In diesem Betrieb wurden die Arbeitsabläufe weitestgehend optimiert. Ein Melkbetreuer holte die Kühe aus der Bucht, erledigte dabei die Boxenpflege, trieb die Kühe in den Vorwarte Hof und hatte dann zwischen 10 und 20 Minuten Zeit, sich Tätigkeiten im Karussell zu widmen. Kühe, die nicht automatisch angesetzt werden konnten, wurden nach einer Runde auf dem Karussell automatisch selektiert und über einen Gang zum Karussell zurückgelenkt. Diese wurden nun vom Melkbetreuer manuell angesetzt und überwacht gemolken. Nach dem Gruppenwechsel trieb der Melkbetreuer die fertig gemolkenen Kühe zurück in den Stall und

holte analog die nächste Gruppe. Dazwischen blieb sogar genügend Zeit, andere Arbeiten zu erledigen, zum Beispiel das Reinigen der Tränken oder die Generalreinigung einzelner Buchten.

Erwartungsgemäß zeigen die Ergebnisse darüber hinaus einen deutlichen Degressionseffekt, denn insbesondere eine ordnungsgemäße Nachbereitung ist unabhängig von der Anzahl der zuvor gemolkene Kühe erforderlich.

Tabelle 10: Arbeitsaufwand in den untersuchten Betrieben mit vollautomatischem Melkkarussell

Melksystem	MPI.	Gemelke/ d	AKh/ (Kuh*a)	AKmin/ Gemelk	Gemelke/ AKh
DPQ	50	2.316	9,4	0,75	80
DPQ	40	1.868	8,7	0,93	65
BMS	13	1.507	8,6	0,85	71
AMR24	24	1.341	10,5	0,91	66
AMR24	24	1.098	8,0	0,76	79
AMR24	24	925	9,4	0,79	76
BMS	13	773	15,9	1,56	38
AMR24	24	725	16,4	1,61	37
Mittelwert			10,9	1,02	64
Vergleichswerte aus früheren Untersuchungen					
AMS-Boxen im Stall			6,0	0,46	136

Leider wurde der geschilderte Arbeitsablauf nicht in allen Betrieben so praktiziert, teilweise mit erheblichen Abstrichen. Während in Betrieben ab 1.000 laktierenden Kühen darüber diskutiert werden kann, ob ein Melkbetreuer permanent am Karussell anwesend sein sollte, ist dies in den kleineren Betrieben eindeutig abzulehnen. Wenn gar in einem vollautomatischen Karussell mit weniger als 400 zu melkenden Kühen permanent ein Mitarbeiter im Melkbereich anwesend ist, überwacht dieser das Melken nicht nur, er greift auch viel zu häufig manuell ein. Damit entsteht nicht nur kein Nutzen, sondern Schaden! Am Ende entstanden Arbeitszeiten bis zu 16,4 AKh/(Kuh*a). Selbst für ein konventionelles Karussell wäre das ein schlechter Wert! Hier muss unbedingt gegengesteuert werden.

Modellkalkulation

Die ermittelten Daten wurden in einer Modellrechnung genutzt, um die Kosten der Milchgewinnung mit einem vollautomatischen System im Melkzentrum ohne den verzerrenden Einfluss betriebsindividueller Faktoren darzustellen (Abbildung 1). Unterstellt wurde ein Bestand von 700 Kühen mit 10.000 kg Milchleistung. Die laktierenden Kühe (604) werden zweimal täglich gemolken.

Melksystem		AMR 24			
JDB Milchkühe		700			
kg verk. Milch je Kuh		10.000			
AHK Milchgewinnung		1.104.000 €			
AHK Bauanteil		853.678 €			
Kostenart	Einheit	materielle Angaben	EUR / Jahr	EUR / Kuh des JDB	EUR / dt verk. Milch
1. Investitionsbedingte Kosten					
Afa Technik	EUR	10%	110.400	157,71	1,58
Afa Bau	EUR	4,0%	34.147	48,78	0,49
2. Unterhaltungsaufwand					
Uha Technik	EUR	120 EUR/1000 Gemelke	52.945	75,64	0,76
3. Materialverbrauch					
Wärmebedarf	kWh	195 kWh/d	71.002	101	1,01
Wärmekosten	EUR	0,13 EUR/kWh	9.230	13,19	0,13
Strombedarf	kWh	208 kWh/d	75.842	108	1,08
Stromkosten	EUR	0,30 EUR/kWh	22.752	32,50	0,33
Wasserverbrauch	m³	14,73 m³/d	5.375	7,68	0,08
Wasserkosten	EUR	6,00 EUR/m³	32.251	46,07	0,46
sonstiger Materialverbrauch	EUR	Modellrechnung	19.769	28,24	0,28
4. Arbeitserledigung					
Melkarbeitszeit	AKh	7,6 AKh/Kuh*a	5.328	7,6	0,08
Personalkosten	EUR	32,50 EUR/AKh	173.162	247,37	2,47
Gesamtkosten der Milchgewinnung	EUR		454.656	649,51	6,50

Abbildung 1: Prozesskosten der Milchgewinnung in einem vollautomatischen Melkkarussell AMR24™

Bei einem guten Durchsatz von 85 Kühen je Stunde errechnet sich eine reine Melkdauer von 7,3 Stunden, was arbeitsorganisatorisch eine Herausforderung darstellt. Inclusive Vor- und Nachbereitung steigt die Dauer einer Schicht damit auf über 8 Stunden. Unter dem Strich stehen Kosten in Höhe von 6,50 EUR je dt Milch. Unterstellt man dieselben Eckdaten zur Herde in einem konventionellen 2 x 16 Side-by-Side-System, kostet die konventionelle Variante knapp einen halben Euro weniger bei einer pausenfreien Schichtdauer von weniger als 7 Stunden.

Das Ergebnis der Modellrechnung hängt natürlich stark ab von den Preisansätzen für Energie, Wasser und Arbeit. Insbesondere letztere Position hat einen großen Einfluss auf die Konkurrenzfähigkeit der Systeme, denn hier bestehen die größten Unterschiede. Aktuell kostet die produktive Arbeitskraftstunde in der Landwirtschaft bereits deutlich über 20 EUR. Die Investition in ein neues Melkhaus benötigt wenigstens 25 Jahre Amortisationszeit. Die Lohnkosten haben sich in den letzten

25 Jahren in etwa verdoppelt. Diese Entwicklung wurde auch für die Zukunft unterstellt. Deshalb wurde mit einem Lohnansatz von 32,50 EUR/AKh gerechnet.

System		automatisches Karussell	automatisches Karussell	Batch Milker	konventionelles Karussell	Side-by-Side-Melkstand	AMS im Stall
Typ		AMR 24	DPQ 24	13 M ² erlin	KAR IM 24	SbS 2x16	10 AMS
Anzahl Gemelke je Tag		1.209	1.209	1.209	1.209	1.209	1.632
Investition	€/MPI Technik	46.000 €	49.000 €	110.000 €	16.000 €	12.000 €	120.000 €
	€/MPI Bau	35.570 €	35.570 €	98.876 €	35.570 €	21.646 €	38.400 €
Unterhaltungsaufwand	€/ 1000 Gemelke	120,00 €	120,00 €	120,00 €	40,00 €	30,00 €	100,00 €
Hygienematerial	€/(Kuh*a)	28,24 €	27,19 €	24,62 €	35,75 €	34,22 €	34,87 €
Strom	kWh/Gemelk	0,17	0,12	0,17	0,11	0,11	0,13
Wärme	kWh/Gemelk	0,16	0,15	0,19	0,16	0,14	0,11
Wasser	l/Gemelk	12,2	7,0	8,7	9,7	7,0	5,6
Arbeitsleistung	Gemelke/Akh	82,8	82,8	79,6	45,9	51,0	121,6
Arbeit	Akh/(Kuh*a)	7,6	7,6	7,9	13,7	12,4	7,0
Ergebnis	€/dt Milch	6,50 €	6,28 €	7,16 €	6,82 €	6,07 €	6,16 €

Abbildung 2: Übersicht über die kalkulierten Aufwendungen für die Milchgewinnung mit verschiedenen Systemen für einen Tierbestand von 700 Kühen (604 laktierend) mit 10.000 kg gemolkener Milch bei 2,0 kg/min Milchfluss

Im Ergebnis des Vergleiches verschiedener Systeme (Abbildung 2) ist festzuhalten, dass vollautomatische Melkanlagen im Melkzentrum in Anbetracht gestiegener Lohnkosten in großen Beständen konkurrenzfähig geworden sind. Die systembedingten Unterschiede zwischen den 3 vollautomatischen Varianten für das Melkzentrum sind gering. Betrachtet man die hohen Investitionskosten je Melkplatz wird deutlich, dass gerade bei dieser Technik eine sehr gute Auslastung angestrebt werden muss. Das AMR von DeLaval leidet dabei unter den engen Einsatzgrenzen hinsichtlich der Bestandsgröße (ca. 500 – 700 Kühe). Eine schlechte Auslastung durch einen zu kleinen Bestand treibt die Kosten je dt Milch enorm in die Höhe. Beim BatchMilker ist die Investition pro Melkplatz mehr als doppelt so teuer wie bei den zwei anderen Varianten. Es wird aber nicht der doppelte Durchsatz erreicht, weshalb dieses System etwas teurer abschneidet.

Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass betriebsindividuelle Faktoren - wie Arbeitsorganisation, Tierzahl und Auslastung - wesentlich stärkere Auswirkungen auf die Verfahrenskosten haben als systembedingte Unterschiede! Abbildung 3 zeigt die Kosten der Milchgewinnung mit verschiedener Melktechnik in der Praxis sowie die Ergebnisse der Kalkulationen. In den Modellen wurde mit aus den Untersuchungen abgeleiteten Werten gerechnet, welche sich immer an einem ungestörten Ablauf orientieren. Deshalb sind die Kalkulationsergebnisse besser als die Praxiswerte. Außerdem streuen sie weniger stark.

vollautomatischen Systemen im Melkzentrum ist unter den geänderten Rahmenbedingungen wettbewerbsfähig! Betriebsindividuelle Faktoren haben einen deutlich größeren Einfluss auf die Kosten der Milchgewinnung als die systembedingten Unterschiede der Melktechnik.