



# LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

## Energieeinsparung und Eigenstromnutzung in der Milchviehhaltung

Nutzung von Solarstrom für die Erzeugung von Eiswasser zum  
Abkühlen der Milch auf Lagertemperatur



# LfL-Information

# 1 Einleitung

Im Jahr 2012 waren insgesamt 426.522 Photovoltaikanlagen mit einer installierten Leistung von 9.324 MWp in Bayern installiert. Diese erzeugten insgesamt 8.212 Mio. kWh Solarstrom, der größtenteils in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Mit dem Erreichen der Netzparität im April 2014 ist die Nutzung eigen erzeugter regenerativer Energie und ihre Einbindung in das betriebliche Lastprofil aus ökonomischer Sicht, die Einspeisevergütung für Solarstrom ist niedriger als der Bezugspreis für Strom, sinnvoll. Aber auch gesellschaftliche und ökologische Motive wie z. B. eine Entlastung der Stromnetze und dadurch eine mögliche Einsparung an fossilen Energieträgern sprechen für eine hohe Eigenstromnutzung.

Durch die zunehmende Automatisierung bei Melk-, Fütterungs- und Entmistungssystemen steigt der Elektroenergieverbrauch in viehhaltenden Betrieben tendenziell an. Eine Möglichkeit zur Kostenreduzierung für den landwirtschaftlichen Betrieb ist die Eigennutzung von Solarstrom. Mit dem Einsatz von Speichern kann die Verwendung des selbst erzeugten Stroms optimiert und Leistungsspitzen geglättet werden. Batteriespeicher auf Basis von Blei-Säure oder Lithium-Ionen Technologie sind aufgrund des schnellen Abrufs der Reserveleistung technisch sehr gut geeignet Primärenergieregelleistung bereitzustellen. Die Speicherung und bedarfsbezogene Nutzung des auf dem Stalldach erzeugten Stroms ist jedoch aufgrund bisher noch fehlender Wirtschaftlichkeit von Batteriespeicherlösungen selten.

In Milchviehbetrieben mit Eiswasserkühlanlagen für die Milch kann die Eiswasserproduktion eine praktikable Lösung für die Zwischenspeicherung von Solarstrom sein. Hierbei wird unabhängig von den Melkzeiten in einem separaten Eisspeicher ein Kälteverrat aufgebaut, der dann bei Bedarf nach dem Melken für die Abkühlung der Milch zur Verfügung steht. In Abb. 1 sind die Tageslastgänge eines Milchviehbetriebes mit zwei Melkzeiten und die Solarerträge einer PV-Anlage im Februar und Mai abgebildet. Die Abkühlung der Milch beginnt während dem Melkprozess und benötigt 6-7 Stunden. Der Energieaufwand für die Milchkühlung am Vormittag kann durch PV-Strom annähernd abgedeckt werden, der am Abend muss aus dem Stromnetz bezogen werden. Mit einem Eisspeicher könnte dieser Energieeinsatz in Zeiten verlagert werden, in denen die PV-Anlage Strom liefert.

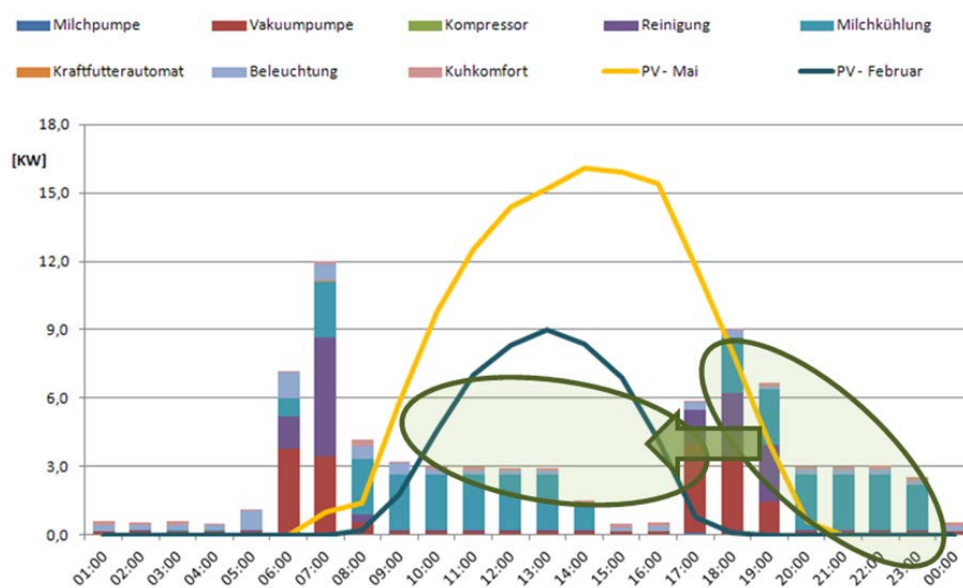


Abb. 1: Verlagerung der Eiswasseraufbereitung für die Milchkühlung eines Milchviehbetriebes mit 55 Milchkühen und 2 Melkzeiten in Zeiten mit Solarstromproduktion

## 2 Photovoltaikanlage, Milchviehstall und Eiswasserkühlung der Versuchsstation Grub

Gegenstand der Untersuchungen sind die Milchkühlanlagen in Verbindung mit der Solarstromnutzung der 44 kWp Photovoltaik-Anlage (Inbetriebnahme: 2014) auf den Milchviehställen der Versuchsstation Grub der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.

Mit der Einbindung der VS Grub in das Forschungsprojekt „Verbesserung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft in Bayern“ wird der Energieverbrauch der einzelnen Funktionsbereiche des Milchviehstalls und die Stromerzeugung der PV-Anlage erfasst und analysiert. Die zeitlich aufgelösten Messwerte (¼ h - Messintervalle) ermöglichen die Bewertung des Energieverbrauchs der unterschiedlichen Kühlsysteme, die erzielbare Nutzung am Betrieb eigen erzeugter Energie und die Beurteilung der Eiswasserbank als Stromspeichersystem.

### Milchviehstall und Photovoltaikanlage der VS Grub

Die Milchviehherde der Versuchsstation Grub ist in zwei Gruppen aufgeteilt (siehe Abb. 2).

In der einen Gruppe werden 65 Milchkühe mit einem Automatischen Melksystem (AMS) gemolken. Die Abkühlung der Milch auf Lagertemperatur erfolgt im Direktkühlverfahren (Milchtank AMS: Tankinhalt 5.000 l; Baujahr. 2009).

In der Vergleichsgruppe werden 55 Kühe in einem Fischgrätenmelkstand (FG) gemolken. Bis Ende 2013 wurde die Milch mit einer im Milchkühltank (Milchtank FG alt: Tankinhalt 4.000 l) integrierten Eiswasserkühlung abgekühlt. Es wurde grundsätzlich Eiswasser produziert, über dieses die Milch im Tank heruntergekühlt wurde.

Anfang 2014 wurde die Milchkühltechnik des Melkstandbereichs komplett erneuert und zu einer kombinierten Kühlanlage umgerüstet. Es wurden ein Vorkühler, ein neuer Milchtank (Milchtank FG neu: Tankinhalt 5.000 l; Baujahr. 2013) sowie eine separate Eiswasserbank (Icebuilder 70 KW; 1478 l; 750 kg Eis) mit einem Speichervolumen für die Milch von vier Herdengemelken (Ø Milchleistung: 9.600 kg/Kuh/Jahr) eingebaut. Zusätzlich wurde das Kühlaggregat an die Außenwand des Gebäudes angebracht, um dessen Effizienz zu steigern.

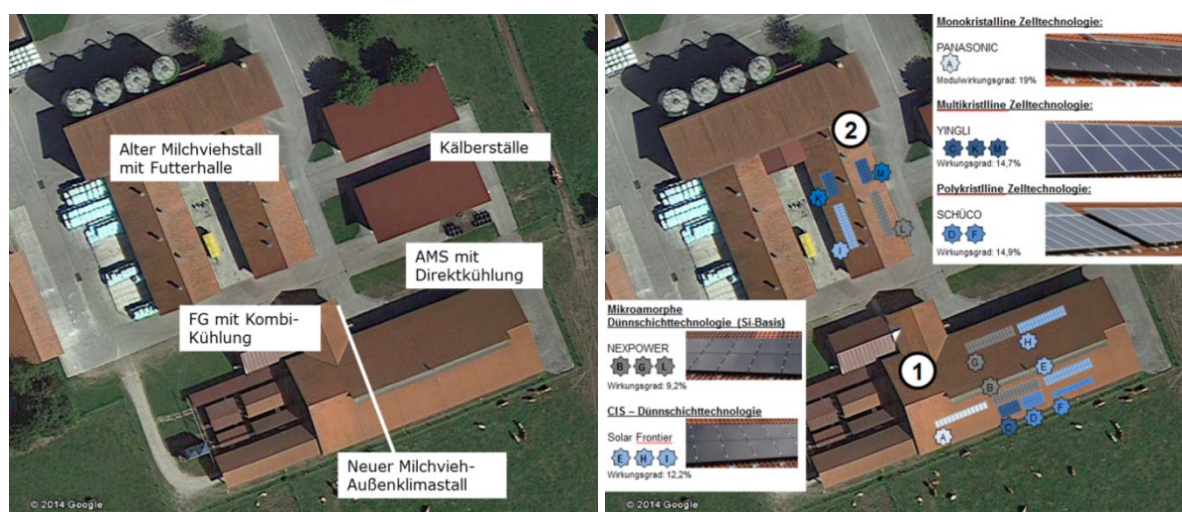


Abb. 2: Luftaufnahmen der Milchvieh- und Kälberställe, erweitert um Modulflächen der Versuchs-Photovoltaikanlage an der VS Grub in Poing



In die Auswertungen fließen zusätzlich der erzeugte Solarstrom aus der auf den Milchviehställen errichteten Forschungs- und Demonstrationsphotovoltaikanlage\*) mit einer maximalen Gesamtleistung von 44 kWp ein.

\*) Forschungsziel ist eine vergleichende Analyse des Stromertrags von Modulen mit unterschiedlicher Zelltechnologie (mono-, polykristallin, amorph) und Ausrichtung. Die PV-Anlage wurde 2015 auf 55 kWp erweitert. In den Berechnungen wurden aufgrund des Auswertungszeitraums von einem Jahr und des Untersuchungsansatzes der energetischen Eisspeicherung, nur die Gesamterzeugung der Modulflächen der 44 kWp-Anlage einbezogen.

### **Funktionserläuterung und -übersicht der Eiswasserkühlung mit Eisspeicherung**

Die Milch wird im dreistufigen System zuerst mit Brunnenwasser (Stufe 1) und anschließend über einen Plattenkühler mit Eiswasser (Stufe 2) auf Lagertemperatur, wie in Abb. 3 dargestellt, heruntergekühlt. Das angewärmte Brunnenwasser steht den Milchkühen als Tränkewasser zur Verfügung. Sofern die auf dem Dach des Milchviehstalles installierte Photovoltaikanlage ausreichend Strom erzeugt, wird Eiswasser produziert. Wenn kein Eiswasser zur Verfügung steht, wird die Milch im Tank mittels Direktkühlverfahren (Stufe 3) auf Lagertemperatur heruntergekühlt.

Zur Bereitung von Eiswasser mit Solarstrom und zur Direktkühlung ist ein Kühlaggregat vorhanden. Dieses kühlt Kühlflüssigkeit zur Eiswasserbereitung oder/und zur Direktkühlung herunter. Die dabei entstehende „Wärme“ wird über einen Wärmetauscher dem vorhandenen Pufferspeicher zugeführt und steht für die Spülung des Milchtanks und der Melkanlage sowie der Euterbrausen zur Verfügung. Wenn der Vorrat an Warmwasser im Puffer nicht ausreichte, erfolgte die Bereitstellung von Warmwasser im Untersuchungszeitraum über ein elektrisches Heizschwert. Inzwischen wird das Spül- und Brauchwasser über die Abwärme der Versuchsbiogasanlage am Standort der VS Grub bereitgestellt.

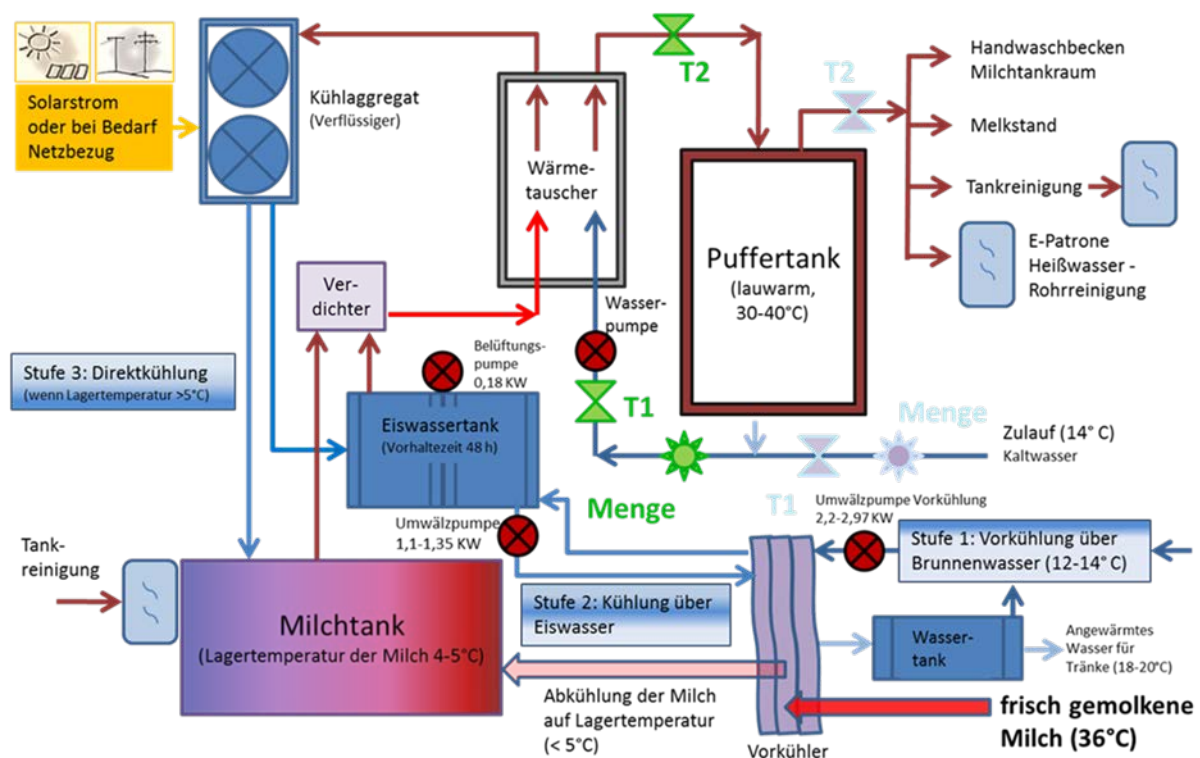


Abb. 3: Kombination aus Vor-, Eiswasser-, Direktkühlung und Wärmerückgewinnung

Eine Regeleinheit optimiert die Nutzung des Solarstroms für die Eiswasserkühlung. Es wird gewährleistet, dass erst ab einer bestimmten PV-Leistung Eiswasser produziert wird. Damit wird verhindert, dass bei zu geringer solarer Einstrahlung die Anlage ständig ein- und ausschaltet. Steuer- und Lastrelais schalten entsprechend die Umwälz- und Förderpumpen.

Die Steuerung der Heizungspumpe für den Warmwasserboiler stellt sicher, dass nach dem Melken genügend Warmwasser zur Melkanlagen- und Tankreinigung zur Verfügung steht (Einschalt- Ausschalttemperatur 40-50 °C) und dass nach dem Melkvorgang Warmwasser in erster Linie aus der entzogenen Wärme aus der Kühlung der Milch bzw. aus der Eiswasserproduktion gewonnen wird (siehe Abb. 4).



Abb. 4: Steuerung der Eiswasser- und Warmwasserproduktion

### 3 Energieeinsparpotential und Eigenstromnutzung

Mit dem vorliegenden Datenmaterial zum Energieverbrauch im Milchviehstall und der Stromerzeugung der PV-Anlage an der VS Grub können im Ergebnis Aussagen über

- die Änderung des absoluten Stromverbrauchs durch die Umrüstung der Milchkühlanlage im Melkstandbereich und
- die Nutzung des eigen produzierten Solarstroms der PV-Anlage der VS Grub für die Milchkühlungen getroffen werden.

Weiterhin werden in einer Modellkalkulation Eigenstromnutzungspotentiale unterschiedlicher Kühlsysteme und das Leistungsvermögen der Eiswasserbank als Speichermedium ausgewertet.

Für die Bewertung werden die Eigenstromnutzung und die Eigenstromdeckung ausgewiesen.

Die **Eigenstromnutzung** (Eigenverbrauchsquote) beschreibt den Anteil des erzeugten Solarstroms, der entweder zeitgleich durch die Stromverbraucher oder zur Ladung eines Batteriespeichers genutzt wird. Je höher der Eigenverbrauchsanteil ist, desto weniger Solarstrom wird in das Netz eingespeist.

Die **Eigenstromdeckung** (Autarkiegrad) gibt den Anteil des Stromverbrauchs an, der durch die PV-Anlage inkl. Speichersystem versorgt wird. Hierzu tragen entweder der zeitgleiche Direktverbrauch des erzeugten Solarstroms oder die Entladung des Speichers bei. Je höher die Eigenstromdeckung ist, desto weniger Energie wird aus dem Stromnetz bezogen.

### Auswertung des Stromverbrauchs der Milchkühlung VS Grub

Für die Auswertung des Stromverbrauchs der Milchkühlungen des Milchviehstalls an der VS Grub konnten drei Erhebungszeiträume von jeweils einem Jahr (vom 01.07.12 bis 30.06.13, vom 01.07.13 bis 30.06.14 und vom 01.07.14 bis 30.06.15) herangezogen werden.

In Tab. 1 sind sowohl die Stromverbrauchswerte (Gesamtverbrauch in kWh, Verbrauch in kWh je Kuh und Verbrauch in kWh je 100 kg Milch) der Direktkühlung für die Milchviehherde, die im AMS gemolken wird, aufgeteilt in „Kühlung Milchtank“ und „Heizung WW Tankreinigung“ (Stromverbrauch für die Erhitzung des Wassers für die Tankreinigung) als auch die Stromverbrauchswerte für die Milchviehherde, die im FG gemolken wird der „alten“ Eiswasserkühlung (Auswertungsjahr 12/13) und der „neuen“ Kombi-Kühlung, bestehend aus Vor-, Eis-, und Direktkühlung (Auswertungsjahr 14/15), aufgeteilt in „Kühlung Milchtank“, „Umwälzpumpe Eiswasseranlage“ und „Heizung WW Tankreinigung“ aufgelistet. Im Auswertungsjahr 13/14 fand die Umrüstung der Kühlanlage im FG statt.

Tab. 1: Stromverbrauch der Direkt-, der Eiswasser und der Kombikühlung jeweils von 01.07. bis 30.06. in den Erhebungszeiträumen 2012/13, 2013/14 und 2014/15

Jahr	Außentemperatur °C	AMS		FG		
		Kühlung Milchtank	Heizung WW Tankreinigung	Kühlung Milchtank	Umwälzpumpe Eiswasseranlage	Heizung WW Tankreinigung
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
12/13	9,2	7.298	417	12.427	0	3.181
13/14	10,7	7.886	405	8.314	149	1.646
14/15	10,2	7.436	446	4.534	372	588
	°C	kWh/Kuh		kWh/Kuh		
12/13	9,2	118,7		283,8		
13/14	10,7	127,5		183,8		
14/15	10,2	121,3		99,9		
	°C	kWh/100 kg Milch		kWh/100 kg Milch		
12/13	9,2	1,24		2,35		
13/14	10,7	1,33		1,60		
14/15	10,2	1,26		0,93		

Der Stromverbrauch im AMS-Bereich sowohl für die Milchkühlung als auch für die Tankreinigung ist in den drei Erhebungszeiträumen annähernd gleich geblieben. Für die geringen Schwankungen können zum einen leichte Abweichungen in der Milchmenge als auch die unterschiedlichen Jahresdurchschnittstemperaturen ursächlich sein. Der durchschnittliche Stromverbrauch über alle drei Erhebungszeiträume lag bei ca. 122,5 kWh/Kuh/Jahr bzw. bei ca. 1,28 kWh/100 kg Milch/Jahr.

Weitaus größere Verbrauchsunterschiede sind für die Kühlanlagen im FG-Milchviehbereich auszumachen. So lag der Gesamtverbrauch in 12/13 („alte“ Eiswasserkühlung mit „Kühlung Milchtank“ und „Heizung WW Tankreinigung“) bei insgesamt 15.609 kWh (283,8 kWh/Kuh, bzw. 2,35 kWh/100 kg Milch). In 14/15 nach der Erneuerung des Kühlsystems (kombinierte Kühlung aus Vor-, Eiswasser- und Direktkühlung) wurden insgesamt nur 5.495 kWh (99,9 kWh/Kuh, bzw. 0,93 kWh/100 kg Milch) für die Bereiche „Kühlung Milchtank“, „Umwälzpumpe Eiswasser“ und „Heizung WW Tankreinigung“ benötigt.

- Insgesamt konnten somit im Vergleich der Auswertungsjahre 12/13 und 14/15 durch die Erneuerung der Kühlanlage **10.114 kWh** bzw. **65 %** Strom eingespart werden.
- Bei einem aktuellen Strompreis von **0,26 €** errechnet sich somit eine Energiekosteneinsparung von **2.630 € pro Jahr**.

## Monetäre Bewertung:

In Tab. 2 sind die Investitionskosten der kombinierten Eiswasserkühlung inkl. Montagekosten aufgelistet. Der Zeitaufwand der eigenen Mitarbeiter für Vor- und Nacharbeiten lag bei 30 Stunden. Diese wurden in der Kalkulation nicht berücksichtigt. Insgesamt beliefen sich die Kosten auf 33.500 €. Bei einer Energiekosteneinsparung von 2.630 €/pro Jahr errechnet sich somit eine statische Amortisationszeit (ohne kalkulatorische Ansätze) von 12,7 Jahren.

Tab. 2: Investitionskosten und Amortisationszeit der kombinierten Eiswasserkühlung

Kühltank inkl. Kühlaggregat	17.000 €
Vorkühler	3.000 €
Eisspeicher inkl. Montage	10.000 €
Elektromontage inkl. Steuerung	3.500 €
<b>Gesamtkosten</b>	<b>33.500 €</b>
Amortisationszeit	12,7 Jahre

## Speicherung und bedarfsgerechte Nutzung

Die mögliche Nutzung des eigen produzierten Solarstroms der PV-Anlage der VS Grub für die Milchkühlungen wird im Folgenden zunächst anhand von Last- und Leistungsprofilen einer Woche veranschaulicht. In Abb. 5 sind die Lastprofile der Milchkühlungen (AMS + FG-Melkstand) vor und nach der Umrüstung der Kühlanlage des Melkstandbereichs jeweils in der Sommerwoche (hohe solare Einstrahlung) vom 07.07. bis 13.07.13 bzw. vom 07.07. bis 13.07.14 den Leistungsprofilen der Solarstromerzeugung gegenübergestellt. Für die Bewertung der Nutzung des eigen erzeugten Solarstroms wurden wegen Vergleichbarkeit und Datenverfügbarkeit für beide Zeiträume (in 2013 und 2014) die Solarerträge aus dem Jahr 2014 herangezogen. Diese lagen im Tagesdurchschnitt dieser Woche bei 129,1 kWh/Tag.

Für die Abkühlung der gemolkenen Milch am AMS im Direktkühlverfahren wurde jeweils in der Woche vom 07.07. bis 13.07. im Jahr 2013 durchschnittlich **21,1 kWh/Tag** und im Jahr 2014 durchschnittlich **21,8 kWh/Tag** verbraucht. Am Melkstand wurden zur Abkühlung der Milch im gleichen Zeitabschnitt, in 2013 noch mit der alten Kühl- und Tanktechnik **42,5 kWh/Tag** und in 2014 nach der Umstellung auf die Kombination Eiswasser-, Vor-, Direktkühlung im Durchschnitt lediglich **16,7 kWh/Tag** benötigt.

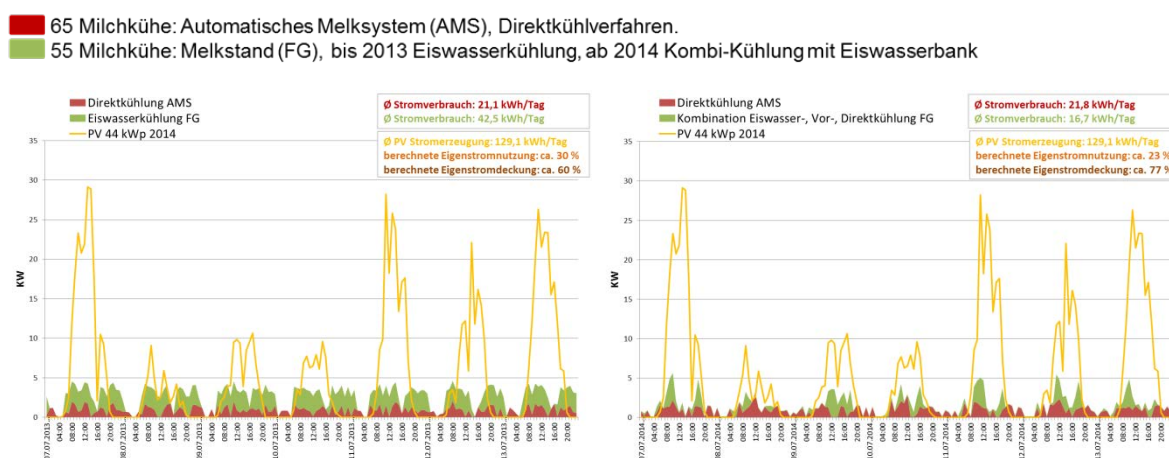


Abb. 5: Lastprofile der Milchkühlungen (AMS + FG) vor (07.07. - 13.07.13) und nach (07.07. - 13.07.14) der Umrüstung sowie Leistungsprofil der Solarstromerzeugung

Gründe für die Energieeinsparung liegen sowohl im technischen Bereich durch eine energieeffiziente Kühl- und Tankanlage mit Vorkühlung der Milch als auch im baulichen Bereich durch eine bessere Dämmung des Milchtanks und dem günstigeren Aufstellort des Kühlaggregats an der Nord-Ostseite außerhalb des Gebäudes.

Die berechnete Eigenstromnutzung, der Anteil des erzeugten Solarstroms, der entweder zeitgleich durch die Stromverbraucher oder zur Ladung eines Speichers genutzt wird lag im Jahr 2013 bei 30 % und im Jahr 2014 lediglich bei 23 %. Begründet ist diese geringere Eigenverbrauchsquote durch den geringeren Stromverbrauch der Kühlanlage des Melkstands. Der Eigenstromdeckungsgrad, der Anteil des Stromverbrauchs, der durch die Photovoltaikanlage und vom Speichersystem versorgt wird, lag für die Milchkühlanlagen der VS Grub im Jahr 2013 bei 60 % und in 2014 bei 78 %. Im Vergleich der beiden Grafiken ist gut ersichtlich, dass die Verbrauchsprofile der Milchkühlungen nach der Umrüstung, in wesentlich größerem Umfang innerhalb der Leistungsprofile der Solarstromerzeugung liegen.

Noch deutlicher erkennbar wird diese Verlagerung des Stromverbrauchs bei der Betrachtung von Tageslast- und Leistungsprofilen der Eiswasserkühlung vor und nach der Erneuerung mit Vor-, Eis- und Direktkühlung inkl. der Eiswasserbank als Speichermedium für Solarstrom (Abb. 6). In beiden Grafiken wurde für eine klarere Darstellung, die Leistung der PV-Anlage auf 10 kWp berechnet.

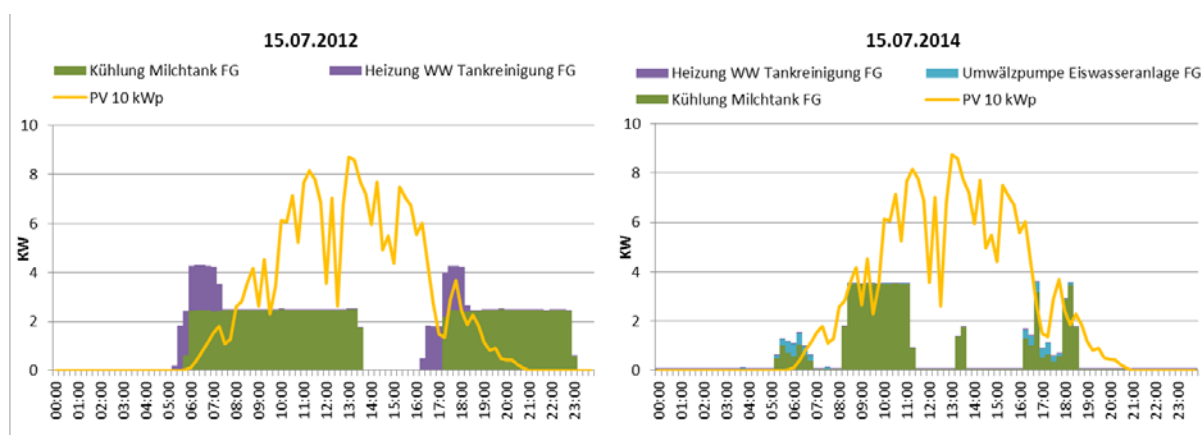


Abb. 6: Tageslastprofil der Eiswasserkühlung **vor** Umrüstung (15.07.12), **nach** Umrüstung (15.07.14) in die kombinierte Kühlanlage aus Vor-, Eis-, Direktkühlung inkl. Eispeicher und Leistungsprofil der Solarstromerzeugung auf 10 kWp berechnet

### Eigenstromnutzung und Eigenstromdeckung

Die Stromverbrauchs- und Eigenstromnutzungs- bzw. Eigenstromdeckungsdaten im Vergleichszeitraum von jeweils einem Jahr **vor** (vom 01.07.12 bis 30.06.13) und **nach** der Erneuerung (vom 01.07.14 bis 30.06.15) der Kühlanlage im FG-Bereich sind in Tab. 3 aufgeführt. Der Stromverbrauch für die Direktkühlung im AMS erhöhte sich geringfügig. Deutlicher sind die Verbrauchsunterschiede beim Melkstand. Hier reduzierte sich der Stromverbrauch durch die Erneuerung der Kühlanlage (Vor-, Eis-, Direktkühlung und Kühlaggregat an der Außenwand) wie bereits beschrieben um 65 %. Der Verbrauch beider Kühlanlagen lag in 2012/13 bei 23.324 kWh und im Auswertungsjahr 2014/15 bei 13.377 kWh. Insgesamt konnten im 1. Vergleichszeitraum bei einer Solarstromerzeugung von 38.640 kWh der 44 kWp Versuchsp Photovoltaikanlage der VS Grub 9.837 kWh, das entspricht einer Eigenstromnutzung von ca. 25,5 % und im 2. Vergleichszeitraum 7.640 kWh bzw. 19,8 % Solarstrom für die Milchkühlung rechnerisch (Berechnung über die summierten Ertrags- und



Verbrauchswerte der ¼-h Messintervalle) selbst verbraucht werden. Auch hier ist die geringere Eigenstromnutzung durch den geringeren Stromverbrauch in 2014/15 begründet.

Aufgrund des geringeren Stromverbrauchs in 2014/15 aber auch durch die Verlagerung der Eiswasserproduktion in Zeiten mit Solarstromerzeugung reduzierte sich der Netzbezug und somit errechnet sich eine Steigerung der Eigenstromdeckung von 42,2 % auf 57,1 %.

Tab. 3: *Stromverbrauch der Milchkühlung und Solarstromerzeugung, sowie die mögliche Eigenstromnutzung und -deckung vor und nach der Erneuerung der Kühlanlage*

Stromverbrauch und Solarstromerzeugung	01.07.2012 – 30.06.2013	01.07.2014 – 30.06.2015
	[kWh] / [kWh/100 kg Milch]	
Direktkühlung + Tankreinigung AMS	7.716 / 1,24	7.882 / 1,26
Eis- bzw. Kombi aus Vor-, Eis-, Direktkühlung FG	15.609 / 2,35	5.495 / 0,93
<b>Gesamtverbrauch Kühlung AMS + FG</b>	<b>23.324</b>	<b>13.377</b>
<b>PV 44 kWp 2014/15 <sup>1)</sup></b>	<b>38.640</b>	<b>38.640</b>
Eigenstromnutzung (berechnet)	9.837	7.640
Netzbezug (berechnet)	13.487	5.737
Autarkiegrad bzw. Eigenstromdeckung	42,2	57,1

1) wegen Vergleichbarkeit wurden für beide Auswertungszeiträume die Solarerträge aus 2014/15 herangezogen

### **Modellkalkulation: Vergleich der Eigenstromnutzung von Milchviehbetrieben**

In der folgenden Modellbetrachtung werden die Eigenstromnutzungspotentiale von drei Milchviehbetrieben mit unterschiedlichen Melk- und Kühlsystemen aber sonst gleichen Energieverbrauchswerten im Bereich Stall berechnet (siehe Tab. 4). Für alle drei Betriebe wurde ein Bestand von 70 Milchkühen bei einer Milchleistung von 9.000 kg Milch pro Kuh und Jahr bzw. einer Herdenleistung von insgesamt 630.000 kg Milch im Jahr angenommen. Die Kalkulation erfolgte anhand tatsächlich gemessener Lastprofile und Verbrauchswerten aus den Pilotbetrieben des Forschungsprojekts „Verbesserung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft“. Die zugrunde gelegten Solarerträge sind von der 44 kWp Versuchsfotovoltaikanlage der VS Grub. In der Auswertung werden die Verbrauchsbereiche Milchkühlung, Milchgewinnung und der Bereich Stall getrennt ausgewiesen.

Bei **Betrieb 1** mit einem **Automatischen Melksystem und Direktkühlung** (hier sind die Verbrauchswerte des AMS-Bereichs der VS-Grub zugrunde gelegt) lag der berechnete Stromverbrauch für die Direktkühlung (inkl. Tankreinigung) bei 8.488 kWh. Der Stromverbrauch für den Melkroboter, Vakuumpumpe und Kompressor lag bei 15.738 kWh. Somit wurden für die Milchgewinnung insgesamt 24.226 kWh benötigt.

Bei **Betrieb 2** mit einem **Fischgrätenmelkstand und Direktkühlung** (Verbrauchswerte eines Pilotbetriebs) lag der berechnete Stromverbrauch für die Direktkühlung (inkl. Tankreinigung) bei 9.133 kWh. Für das Melken (Vakuumpumpe, Melkanlagenreinigung) wurden bei diesem Betrieb 11.058 kWh benötigt. Daraus errechnet sich ein Gesamtstromverbrauch für die Milchgewinnung von 20.191 kWh.

Bei **Betrieb 3** mit einem **Fischgrätenmelkstand und kombinierter Kühlung aus Vor-, Eis-, Direktkühlung inkl. Eisspeicherung** (Verbrauchswerte des FG-Bereichs der VS-Grub) lag der berechnete Stromverbrauch für die Kombi-Kühlung (inkl. Tankreinigung) im Vergleich zu Betrieb 1 und 2 mit 6.933 kWh am niedrigsten. Für den Melkvorgang (Vakuumpumpe, Melkanlagenreinigung) wurden annähernd gleich hohe Verbrauchswerte wie in Betrieb 2 mit gleichem Melksystem in Höhe von 11.034 kWh gemessen und hochgerechnet. Insgesamt beträgt hier der Stromverbrauch für die Milchgewinnung 18.028 kWh.

Tab. 4: Vergleich des Elektroenergieeinsatzes und die mögliche Eigenstromnutzung von Milchviehbetrieben mit Unterschiedlichen Melk- und Kühlsystemen

01.07.2014 – 30.06.2015 Milchviehbetrieb mit 70 Milchkühen, 9.000 kg Milch/Kuh			
Melksystem	Melkroboter (AMS)	Melkstand (FG)	Melkstand (FG)
Kühlanlage	Direktkühlung	Direktkühlung	Vor-, Eis-, Direktkühlung
	kWh		
<b>Stromverbrauch Kühlung</b>	<b>8.488</b>	<b>9.133</b>	<b>6.993</b>
<b>PV 44 kWp 2014/15 <sup>1)</sup></b>	<b>38.640</b>		
Eigenstromnutzung (berechnet)	<b>4.001</b>	<b>2.671</b>	<b>5.053</b>
Netzbezug (berechnet)	<b>4.487</b>	<b>6.461</b>	<b>1.941</b>
<b>Stromverbrauch Melken</b>	<b>15.738</b>	<b>11.058</b>	<b>11.034</b>
Melkroboter	3.002		
Vakuumpumpe	5.491	7.806	6.756
Kompressor	7.245		
Melkanlagenreinigung		3.252	4.278
<b>Milchgewinnung gesamt</b>	<b>24.226</b>	<b>20.191</b>	<b>18.028</b>
<b>Stromverbrauch Stall gesamt</b>	<b>14.552</b>		
Beleuchtung		4.110	
Frostsicherung		1.880	
Krautfutterautomat		697	
Kuhbürste		734	
Gülepumpe		721	
Mistschieber		922	
Ventilatoren		2.633	
HDR		1.485	
Wasserpumpe		1.369	
<b>Milchviehhaltung gesamt</b>	<b>38.778</b>	<b>34.743</b>	<b>32.580</b>
Eigenstromnutzung (berechnet)	<b>14.492</b>	<b>8.468</b>	<b>12.872</b>
Netzbezug (berechnet)	<b>24.287</b>	<b>26.274</b>	<b>19.708</b>
	%		
<b>Eigenverbrauchsanteil</b>	<b>37,5</b>	<b>21,9</b>	<b>33,3</b>
<b>Autarkiegrad bzw. Eigenstromdeckung</b>	<b>37,4</b>	<b>24,4</b>	<b>39,5</b>

1) wegen Vergleichbarkeit wurden für beide Auswertungszeiträume die Solarerträge aus 2014/15 herangezogen

- Somit ist festzuhalten, dass in dieser Modellbetrachtung mit Verbrauchswerten auf Basis von gemessenen Werten aus den Praxisbetrieben der Melkvorgang mit dem **Melkroboter im Vergleich zum Stromverbrauch der Melkstände um ca. 30 %** höher liegt.
- Bei der Auswertung des Stromverbrauchs der Kühlanlagen benötigte die **kombinierte Eiswasserkühlung mit Vor-, Eis- und Direktkühlung inkl. der Eiswasserbank ca. 18 %** weniger Strom als Betrieb 1 und **ca. 23 %** weniger als Betrieb 2.
- Mit der **kombinierten Kühlanlage** in Betrieb 3 konnte zudem auch **der meiste eigen erzeugte Strom von der PV-Anlage mit 5.053 kWh** genutzt werden. Außerdem musste rechnerisch mit Abstand am wenigsten Strom, lediglich **1.941 kWh** im Gegensatz zu Betrieb 1 mit **4.487 kWh** bzw. Betrieb 2 mit **6.461 kWh** aus dem öffentlichen Netz bezogen werden.

In der weiteren Kalkulation wurden für alle drei Modellbetriebe Verbrauchswerte für den Stall in Höhe von 14.552 kWh (Durchschnittswerte der Pilotbetriebe mit typischen Lastprofilen der einzelnen Verbrauchsbereiche, siehe Tab. 4) ergänzt und zu den Lastprofilen der Milchgewinnung mit ¼ h - Messintervallen hinzugefügt. Der Gesamtstromverbrauch des Produktionsverfahrens Milchviehhaltung in Betrieb 1 liegt demnach bei 38.778 kWh, in Betrieb 2 bei 34.743 kWh und in Betrieb 3 bei nur 32.580 kWh.

Den höchsten Anteil an Solarstrom konnte **Betrieb 1** mit 14.492 kWh, das entspricht einem Eigenstromdeckungsgrad von 37,5 %, nutzen. Es muss aber aufgrund des hohen Stromverbrauchs, rechnerisch 24.287 kWh aus dem Netz bezogen werden (Eigenstromdeckungs- bzw. Autarkiegrad von 37,4 %).

Bei **Betrieb 2** lag die mögliche Eigenstromnutzung bei lediglich 8.468 kWh, daraus ergibt sich ein Eigenverbrauchsanteil von 21,9 %. Um den Verbrauch des Gesamtverfahrens zu decken, musste im Vergleich zu den anderen Modellbetrieben am meisten Netzstrom in Höhe von 26.274 kWh bezogen werden. Das entspricht einem Eigenstromdeckungsgrad von 24,4 %.

**Betrieb 3** mit Kombi-Kühlung inkl. Eisspeicher und dem geringsten berechneten Gesamtstromverbrauch konnte 12.872 kWh an eigen erzeugtem Solarstrom nutzen. Das sind bei einer PV-Stromerzeugung von 38.640 kWh immerhin 33,3 %. Aus dem öffentlichen Netz benötigte der Modellbetrieb dabei mit 19.708 kWh im Vergleich am wenigsten Strom und erreicht aufgrund des geringen Stromverbrauchs für die Milchkühlung und der guten Nutzung des von der PV-Anlage produzierten Stroms durch den Eisspeicher einen Eigenstromdeckungsgrad von fast 40 %.

In Abb. 7 sind **typische Tageslastprofile** der 3 Modellbetriebe und das Leistungsprofil der PV-Anlage der VS Grub dargestellt. Der Stromverbrauch für den Melkvorgang und den Stallbereich wurden zusammengefasst, das Kühlverfahren wurde aufgrund der Aufgabenstellung separat ausgewiesen (dunkelgrüne Säulen). Es ist aus den Grafiken ersichtlich, dass der Verbrauch für die Milchkühlungen jeweils zu den Spitzenlastwerten beiträgt.

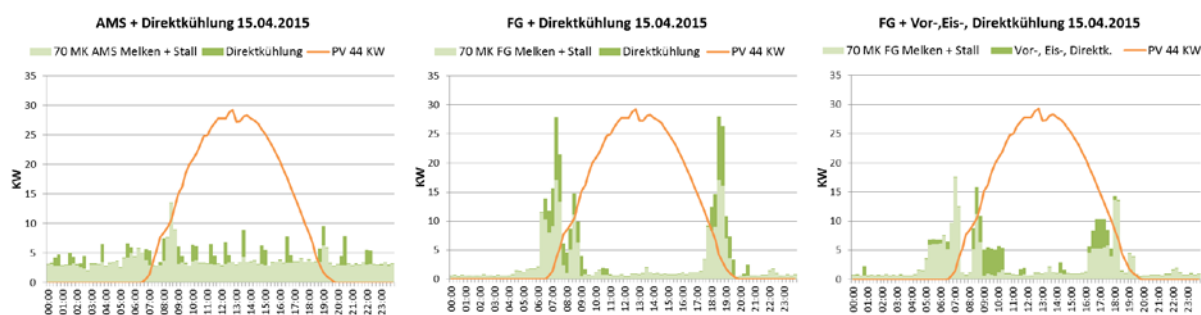


Abb. 7: Tageslastprofile der Modellbetriebe mit unterschiedlichen Melk- und Kühlsystemen

**Betrieb 1** hat aufgrund des Melkens mittels AMS über den ganzen Tag verteilt, einen gleichmäßigen Stromverbrauch. Der Kühlprozess setzt ein, wenn die Lagertemperaturgrenzen überschritten werden. Aufgrund des sehr gleichmäßigen Stromverbrauchs können auch hohe Eigenverbrauchswerte erzielt werden. Eine Vorkühlung der Milch könnte jedoch den hohen Stromverbrauch der Kühlung reduzieren und mit einer Eisspeicherung könnte ein noch höherer Eigenstromnutzungsgrad erreicht werden.

Bei **Betrieb 2** ist deutlich erkennbar, dass die Verbrauchsspitzen außerhalb der Solarstromerzeugung liegen. Dadurch bedingt kann im Vergleich zu den anderen Modellbetrieben am wenigsten eigen produzierter Solarstrom genutzt werden.

**Betrieb 3** konnte aufgrund des Eisspeichers einerseits die Lastspitzen glätten und andererseits den Energieeinsatz für die Eiswasserproduktion zum großen Teil in Zeiten mit Solarstromproduktion verlagern.

## 4 Fazit

Eine zeitlich aufgelöste Erfassung sowohl der Solarstromerzeugung als auch der Verbrauchswerte auf Praxisbetrieben ermöglichen einen Vergleich unterschiedlicher Kühlsysteme und eine Bewertung der Eiswasserbereitung als Stromspeichersystem.

Mit der Erneuerung und Umrüstung der Milchkühlung im Melkstandbereich der VS Grub, konnte durch die Installation einer energieeffizienten Kühl- und Tankanlage mit Vorkühlung und einer separaten Eiswasserbank zur Solarstromnutzung der Energieverbrauch um über 65 % reduziert werden.

Die in einer Modellkalkulation errechneten Eigenstromnutzungspotentiale von drei Milchviehbetrieben mit unterschiedlichen Melk- und Kühlsystemen (AMS + Direktkühlung, FG + Direktkühlung, FG + Kombination aus Vor-, Eis-, Direktkühlung + Eisspeicher) aber sonst gleichen Energieverbrauchswerten für den Stall, ergab, dass der Betrieb mit dem kombinierten Kühlsystem aufgrund der guten Nutzung des Solarstroms durch den Eisspeicher im Vergleich, den höchsten Eigenstromdeckungsgrad erreicht. Gerade bei Milchviehbetrieben mit konventionellen Melksystemen (2 Melkzeiten) kann durch den Einsatz von Eiswasserkühlungen und Eisspeichern ein deutlich höherer Eigenstromverbrauch erzielt werden. Aber auch bei dem Modellbetrieb mit Automatischem Melksystem könnte durch die Nutzung eines Eisspeichersystems ein noch höherer Eigenstromnutzungsgrad erreicht werden.

### Literatur

Grozdek, M. (2009): Load Shifting and Storage of Cooling Energy through Ice Bank or Ice Slurry Systems, Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration, Department of Energy Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm

Neiber, J, Nesper, S. (2015): Solarstromspeicher in Form von Eiswasser zur Milchkühlung, KTBL-Tagungsband, 12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2015, Freising, S. 364-369

### **Impressum**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weißenstephan  
Internet: [www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de)

Redaktion: Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT)  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising  
E-Mail: [TierundTechnik@LfL.bayern.de](mailto:TierundTechnik@LfL.bayern.de)  
Telefon: 08161/71-3450

Text J. Neiber, Dr. S. Nesper

1. Auflage: April 2016

Druck: Onlineprinters GmbH, 91413 Neustadt a. d. Aisch

Schutzgebühr: 1,00 Euro

© LfL