

# Energieeffizienz in der Lagerlogistik

**Energieeinsparpotentiale bei Flurförderzeugen, Lager- und Fördertechnik,  
Beleuchtung sowie Nutzung regenerativer Energie**

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

## Agenda

- Kurzvorstellung der Fa. M3 Consulting & Engineering GmbH
- Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern
- Einsparpotentiale bei der Lager und Fördertechnik
- Einsparpotentiale bei der Beleuchtung
- Nutzung von PV- und KWK-Strom zu Batterieladung

## Kurzvorstellung der Firma M3 Consulting & Engineering GmbH

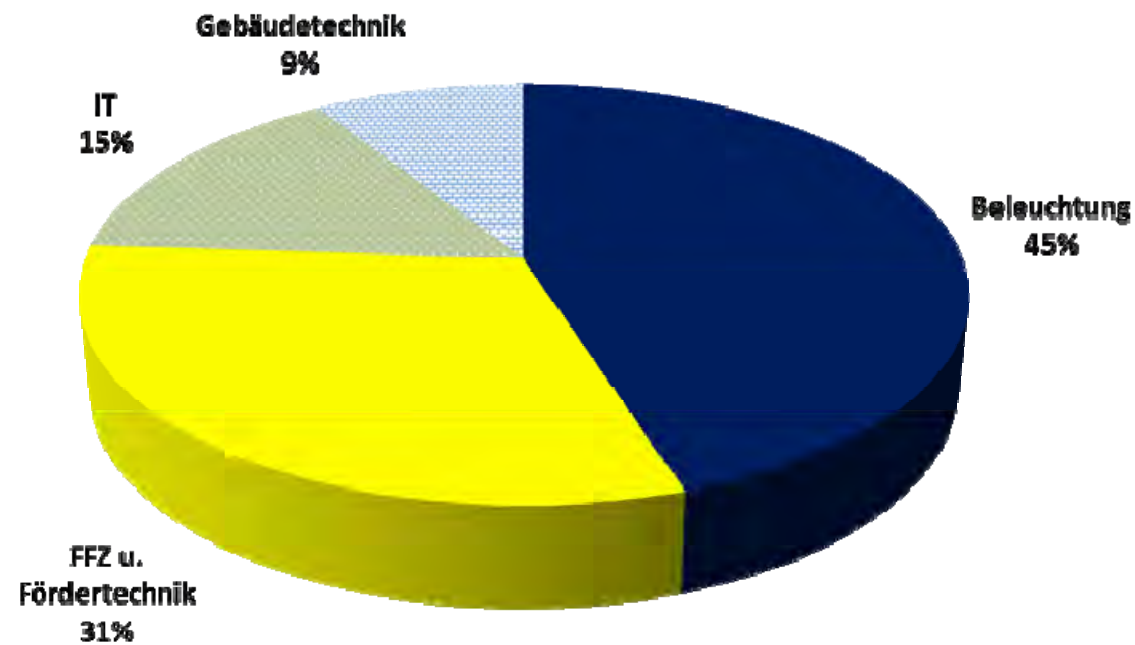
Unsere Tätigkeitsschwerpunkte sind:

- Planung und Optimierung von innerbetrieblichen Materialflüssen, Lagern, intralogistischen Gewerken sowie Optimierung von Flurförderzeugflotten.
- Effizienzberatungen, u. a. in Partnerschaft mit der Effizienzagentur NRW im Bereich der Produktions- und Lagerlogistik.
- Planung innovativer Beleuchtungsanlagen (Hallen-, Büro, Verkaufs- und Außenbeleuchtung).
- Durchführung von thermografischen Untersuchungen (Elektro- und Gebäudethermografie).
- Energieberatung sowie Ausstellung von Energieausweisen für Wohn- und Gewerbeimmobilien
- Fördermittelbeantragung ( KFW, BAFA, NRW-Bank, BUMB/PTJ).

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

## Energiekostenanteile und Aufteilung des Stromverbrauchs



Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen

08.05.2018

### Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern

- **Nutzung der Senk- und Bremsenergie**

- Das Einsparpotential beträgt hier 15 – 30 % je nach Gerätetyp, Einsatz und Lagertopologie.
- Hohe Rückspeisewerte erreicht man bei Kombi- und Schubmaststaplern, die hohe Regale bedienen.
- Vergleichsmessungen bei Schubmaststaplern erbrachten ein Resultat von rd. 23%.
- Bei einem Leistungstest (VDI 3561) an einem Kombistapler wurden rd. 29 % ermittelt (s. nachfolgendes Beispiel).

**Beispiel Kombistapler:**

Gerät Baujahr 2007

- Mit Energierückspelsung
- HF-Ladegerät und EUW
- Batterie 80V/930 Ah
- 2-schichtiger Betrieb
- Durchschnittlicher Verbrauch 712 Ah
- Anteil der Energierückspelsung ca. 29 %
- Ladeenergie = 64,2 kWh

Ohne Rückspelsung würde dieses Gerät 1.003 Ah verbrauchen.  
Eine Wechselbatterie wäre notwendig.

Bei Einsatz alter 50 Hz Ladetechnik ohne EUW würden rd. 120 kWh Ladeenergie benötigt

Der jährliche Mehrverbrauch würde rd. 14.040 kWh betragen.

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018



## Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern

Einsatz von E-Staplern statt V-Staplern.

Im Zuge von Energieberatungen wurden die Verbrauchsdaten von verbrennungsmotorisch betriebenen Staplern ausgewertet und mit Elektrostaplern gegenübergestellt.

Hierzu wurden die Verbrauchsangaben aus den Typenblättern gemäß der VDI-Richtlinie 2198 herangezogen.

Diese Angaben beziehen sich auf das in dieser Richtlinie beschriebene Spiel, das bei den E-Staplern und V-Stapler bei maximaler Umschlagleistung etwa gleich ist.



## Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern

Ergebnisse im Vergleich Treibgasstapler mit Elektrostapler			
V-Stapler mit Treibgas betrieben		Elektro-Stapler mit PzS-Batterie	
Betriebsstunden/a aller vorliegenden Geräte	14.791	Betriebsstunden/a aller vergleichbaren Geräte	14.791
Gesamtverbrauch Treibgas kg/a	22.185		0
Gesamtverbrauch Treibgas kWh/a	285.521	Gesamtverbrauch E-Energie kWh/a *	147.285
Durchschnittsverbrauch bei 62,3 % Auslastungsgrad (kWh/h)	20,07	Durchschnittsverbrauch bei 62,3 % Auslastungsgrad	6,454
CO <sub>2</sub> -Ausstoß in kg/a (0,230 kg/kWh)	65.670	CO <sub>2</sub> -Ausstoß in kg/a (0,620kg/kWh)	56.891
Gesamtkosten f. Treibgas b.eigener Tankstelle (95,5 ct/kWh)	21.187	Gesamtkosten für E-Energie (19 ct/kWh)	17.434
Gesamtkosten f. Treibgas in 11 kg-Flaschen (109 ct/kWh)	24.182	Gesamtkosten für E-Energie (19 ct/kWh)	17.434

### Einsparungen

CO <sub>2</sub> -Ausstoß bei E-Staplern geringer	8.779	kg/a
Treibstoffkosten bei E-Staplern geringer (eigene Tankstelle)	3.753	€/a
Treibstoffkosten bei E-Staplern geringer (11 kg Flaschen)	6.747	€/a

\* einschl. Verluste Batterie und Ladegerät,  $\eta = 74 \%$

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

8



## Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern

Ergebnisse im Vergleich Dieselstapler mit Elektrostapler			
V-Stapler mit Dieselkraftstoff betrieben		Elektro-Stapler mit PzS-Batterie	
Betriebsstunden/a aller vorliegenden Geräte	10.365	Betriebsstunden/a aller vergleichbaren Geräte	10.365
Gesamtverbrauch Diesel kg/a	24.855		0
Gesamtverbrauch Diesel kWh/a	243.580	Gesamtverbrauch E-Energie kWh/a *	65.071
Durchschnittsverbrauch bei 62,0 % Auslastungsgrad (kWh/h)	23,52	Durchschnittsverbrauch bei 62,0 % Auslastungsgrad	6,278
CO <sub>2</sub> -Ausstoß in kg/a (0,270 kg/kWh)	65.767	CO <sub>2</sub> -Ausstoß in kg/a (0,620kg/kWh)	40.344
Gesamtkosten f. Diesel b.eigener Tankstelle (86,75 ct/kWh)	21.187	Gesamtkosten für E-Energie (19 ct/kWh)	12.363

**Einsparungen**

CO <sub>2</sub> -Ausstoß bei E-Staplern geringer	25.423	kg/a
Treibstoffkosten bei E-Staplern geringer (eigene Tankstelle)	8.453	€/a

\* einschl. Verluste Batterie und Ladegerät,  $\eta = 74 \%$

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

## Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern

### Ergebnisse:

- Elektrostapler verbrauchen weniger Energie und emittieren deutlich weniger CO<sub>2</sub>.
- Die Energiekosten für die E-Stapler sind niedriger

### Weitere Vorteile von batterieversorgten Elektrostaplern sind:

1. Die Instandhaltungskosten für E-FFZ sind um den Faktor 1,6 – 1,8 niedriger.
2. Die beschlossenen zukünftigen Abgaswerte erfordern zus. Maßnahmen/Kosten.
3. E-FFZ (Gabelstapler) können sowohl in geschlossenen Gebäuden als auch im Freien betrieben werden.
4. Durch die Rückspeisemöglichkeit von Senk- und Bremsenergie wird Energie gespart.
5. Batterien können mit Strom aus PV-Anlagen am Wochenende und nach Feierabend im Sommer geladen werden.
6. E-FFZ (Gabelstapler) bis 6 t Grundtragfähigkeit sind mit Batterie bereits möglich.
7. Entsprechend große Batteriekapazitäten in Verbindung mit einer Rückspeisung von Senk- und Bremsenergie, ermöglichen einen 2-Schicht-Einsatz von

Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen

Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern

### **Batterietechnik:**

Maßnahmen zur Energieeinsparung beim Laden der Batterie:

1. Austausch der alten 50 Hz-Ladegeräte gegen HF-Ladegeräte (50 Hz-Ladegeräte haben einen Wirkungsgrad von ca. 68 %, neue HF-Geräte von 92 - 95 %).
2. Einsatz einer Elektrolytumwälzung (EUW) oder Ladegeräte mit Pulsladetechnik. Durch diese Techniken wird die Säureschichtung beim Laden beseitigt. Der Ladefaktor verbessert sich von 1,20 auf 1,05 (EUW) oder 1,07 Pulstechnik.

Auf den folgenden Folien ist die Energieeinsparung berechnet, wenn ein 50 Hz-Ladegerät mit einem Wirkungsgrad von 68 % gegen ein aktuelles HF-Ladegerät mit EUW oder Pulstechnik ausgetauscht wird.

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

11

Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern

Batterietechnik: Ungeregeltes 50 Hz-Ladegerät

Berechnung der zugeführten Ladeenergie in kWh/a, mit einem unregelmäßigem 50 Hz Ladegerät, o. Elektrolythumwälzung		
Kapazität der Batterie	(Ah)	550
Batteriespannung	(V)	48
Zellenanzahl		24
mittlere Laderspg./Zelle	(V)	2,37
Nutzbare Kapazität der Batterie		0,80
Ladefaktor		1,20
Wirkungsgrad des Ladegerätes		0,68
Anzahl Vollladungen/a		250
Umrechnung von Wh auf kWh		1000
zugeführte E-Energie kWh/a	$\frac{550 \times 24 \times 2,37 \times 0,80 \times 1,20}{0,68 \times 1000} \times 250 = \mathbf{11.041} \text{ kWh/a}$	



**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

12

Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern

Batterietechnik: Modernes HF-Ladegerät mit Elektrolythumwälzung oder Pulstechnik

Berechnung der zugeführten Ladeenergie in kWh/a, mit einem HF-Ladegerät, m. Elektrolythumwälzung o. Pulstechnik		
Kapazität der Batterie	(Ah)	550
Batteriespannung	(V)	48
Zellenanzahl		24
mittlere Laderspg./Zelle	(V)	2,37
Nutzbare Kapazität der Batterie		0,80
Ladefaktor		1,07
Wirkungsgrad des Ladegerätes		0,92
Anzahl Vollladungen/a		250
Umrechnung von Wh auf kWh		1000
zugeführte E-Energie kWh/a	$\frac{550 \times 24 \times 2,37 \times 0,80 \times 1,07}{0,92 \times 1000} \times 250 = 7.277 \text{ kWh/a}$	
Energieeinsparung bei Einsatz eines HF-Ladegerätes mit EUW/Pulstechnik zur 50 Hz-Technik		<b>3764</b> kWh/a
Prozentuale Einsparung		<b>34,1</b> %



**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

### Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Flurförderzeugen/Staplern

#### **Weitere Einsparpotentiale beim Einsatz von Flurförderzeugen werden durch folgende Maßnahmen erreicht:**

- Einsatz von energieeffizienten Antriebs- und Hydraulikmotoren
- Einsatz von Sensorik und Steuerungen mit niedrigem Verbrauch
- Ausrüstung der FFZ mit Rädern, die einen geringeren Rollwiderstand haben
- Zeitliche Abschaltung von Komponenten, die nicht zwingend für den jeweiligen Betriebszustand benötigt werden
- Automatische Zielfahrt in Bereich des Schmalganglagers
- Einsatz von Staplerbatterien auf Basis der Li-Ion-Technik

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

## Einsparpotentiale bei der Lager und Fördertechnik

### Stand-by-Verluste vermeiden.

Bei der Lager- und Fördertechnik kann im 1-Schicht-Betrieb der Energieverbrauch durch die Stand-by-Verluste mehr als 40 % ausmachen.

Stand-by-Verluste an der Fördertechnik entstehen durch dauerhaft in Betrieb befindliche Netzteile, SPS-Steuerungen, Sensorik und der Schaltschrankbelüftung.

Daher sollte die Stromversorgung der Schaltschränke außerhalb der Betriebszeit komplett ausgeschaltet werden.

Die Einsparung kann je nach Größe und Anzahl der Fördertechnik-elemente erheblich sein.

Im WVZ haben wir eine jährliche Einsparung von 265.000 kWh/a bei 61 SPS-Steuerungen mit rd. 20.000 Sensoren erreicht.



**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

15

### Einsparpotentiale bei der Lager und Fördertechnik

Energierückspeisungen in Regalbediengeräte und Heber einbauen.



**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018



## Einsparpotentiale bei der Beleuchtung

### Zustand der Beleuchtung in älteren unsanierten Lägern:

- Keine elektronischen Vorschaltgeräte (EVG) im Einsatz
- Kein bedarfs- bzw. tageslichtabhängiger Betrieb vorhanden
- Fehlende oder stark verschmutzte Reflektoren
- Rundreflektorleuchten mit HQI-Lampen bestückt
- Leuchtmittel am Ende ihrer Lebensdauer

Dadurch zu geringe Beleuchtungsstärken mit höheren Fehlerraten bei den Mitarbeitern

## Einsparpotentiale bei der Beleuchtung

**Bei einer Erneuerung dieser Beleuchtungsanlagen lassen sich in einer Größenordnung von 60 – 90% Einsparungen realisieren durch:**

- Einbau von LED-Leuchten mit dimmbaren Treibern
- Bedarfsabhängige Steuerung der Beleuchtung über IR-Melder oder Lichtschranken
- Tageslichtsteuerung über Helligkeitssensoren mit dimmbaren Treibern
- Einsatz einer individuellen Arbeitsplatz oder Arbeitsbereichsbeleuchtung
- Einsatz einer funkbasierten Steuerung über die einzelne Leuchtengruppen gesteuert werden.

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

Einsparpotentiale bei der Beleuchtung

Beispiel einer Erneuerung der Beleuchtung in einem Logistikgebäude

### Ausgangsbasis und Daten des Gebäudes

Baujahr 2007, Nutzfläche ca. 3.650 m<sup>2</sup>

Manuell bedientes Hochregallager mit 9 Gassen, Lagerhöhe 13,90 m

Automatisches Kleinteilelager mit 2 Gassen

Wareneingang und Warenausgang im EG

Kommissionierung und Konfektionierung im 1. OG

2-geschossiges Kühllager mit einer Lagertemperatur von + 4 °C

3-schichtiger Betrieb mit rd. 6.800 h/a

### Alte Beleuchtung

58 Rundreflektorleuchten mit 400 W HMI-Lampen bestückt

63 Langfeldleuchten T8 mit 58 W in EX-Schutzausführung für Zone 2

Diverse Arbeitsplatzleuchten im Bereich der Konfektionierung

Beleuchtung während der Betriebszeit komplett eingeschaltet

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

## Einsparpotentiale bei der Beleuchtung



**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

Einsparpotentiale bei der Beleuchtung

Durchgeführte Sanierungsmaßnahmen

- Austausch der Rundreflektorleuchten im Schmalganglager gegen LED-Langfeldleuchten
- Installation einer bedarfsabhängigen Steuerung mit Bewegungsmelder in den Gassen
- Ausrüstung der Kombistapler mit einer Arbeitsbereichsbeleuchtung am Staplerdach
- Austausch der Leuchten im Wareneingang und in der Kommissionierung gegen
- LED-Langfeldleuchten.
- Austausch der Leuchten mit L-Lampen im Kühllager gegen LED-Leuchten

Die vorhandenen EX-Leuchten wurden nicht erneuert.

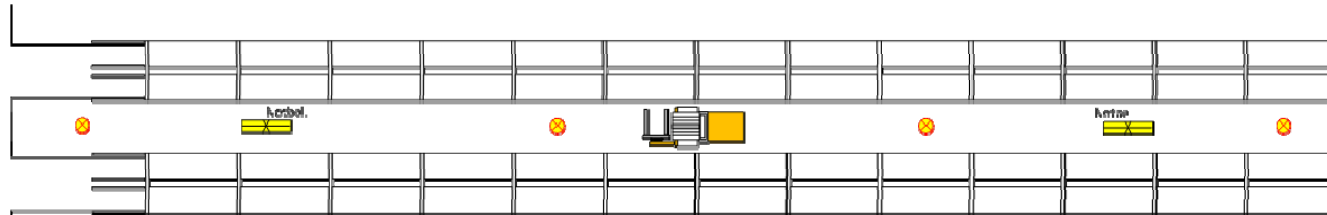
**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

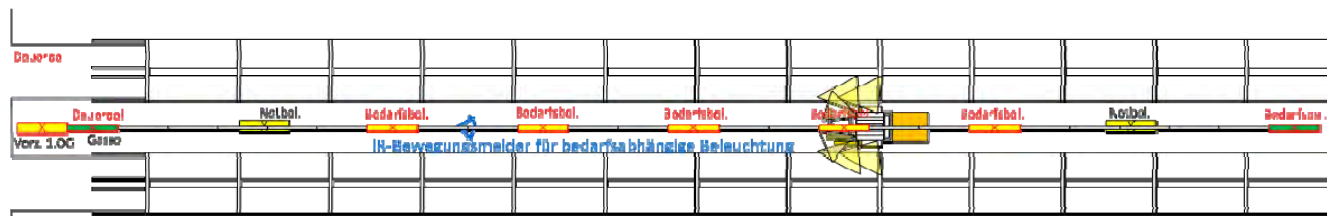
21

## Einsparpotentiale bei der Beleuchtung

### Beleuchtungsplanung HRL mit Arbeitsbereichsbeleuchtung



Vorhandene Beleuchtungsinstallation, Ausgangsbasis



Mit Arbeitsbereichsbeleuchtung am Kombistapler

- Legende:**
-  Notbeleuchtung  
Ex Wanneneuchte  
für Zone 2, 58 W T8
  -  Rundreflektorleuchte  
mit 400 W HQI-Lampe
  -  LED Leuchte 34,5 W  
4.000 lm  
tiefstrahlend
  -  LED-Leuchte 47,0 W  
5.500 lm  
tiefstrahlend
  -  LED-Leuchte 34,5 W  
4.000 lm  
breitstrahlend
  -  LED-Leuchte 47,0 W  
5.500 lm  
breitstrahlend
  -  IR Bewegungsmelder  
Extronic, PD 2400 mit  
Linse 52, vertikale  
Erfassung des Ganges,  
13,45 m vom Lichtband  
anfang montiert.

	Maßnahme	Bel.-Stärke (lx)	Energieverbrauch (kWh/a)	Energiekosten/a (bei 0,16 €/kWh)	Einsparung (%)	Invest.-Kosten	Amortisationszeit
1.	Vorhandene Beleuchtung 4 Leuchten mit 400 W Hochdruckentladungslampen (465 W Leistungsaufn. KVG)	rd. 132	120.564	19.290	keine	keine	keine
2.a	Einsatz Arbeitsbereichsbeleuchtung, Erneuerung der Beleuchtung mit 49 W T5 Leuchten, 7 Stck. je Gasse, Installation einer bedarfsabhängigen Steuerung. (Die erste Leuchte 49 W ständig ein)	rd. 81	13.366	2.139	<b>88,9</b>	27.430	rd. 19 Monate
2.b	Einsatz Arbeitsbereichsbeleuchtung, Erneuerung der Beleuchtung mit 34,5 W LED-Leuchten, 7 Stck. je Gasse, Installation einer bedarfsabhängigen Steuerung. (Die erste Leuchte 47 W ständig ein)	rd. 79	11.027	1.764	<b>90,9</b>	34.770	rd. 24 Monate

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

## Einsparpotentiale bei der Beleuchtung



**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

Einsparpotentiale bei der Beleuchtung

### Ergebnisse

- Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf 300 bzw. 500 lx
- Gleichmäßige Beleuchtung der Arbeitsbereiche gem. Lichtkataster
- Auf die Arbeitsplatzleuchten konnte verzichtet werden
- Reduzierung des Energieverbrauchs von 308.000 kWh/a auf 85.400 kWh/a
- Das entspricht einer Gesamteinsparung von rd. 72 %
- Einsparung Energie- und Wartungskosten in Höhe von 37.200 €/a
- Zufriedene Mitarbeiter

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018

24



## Nutzung von PV- und KWK-Strom zu Batterieladung

PV-Anlagen rechnen sich heute aufgrund der niedrigen Einspeisevergütungen durch den selbstgenutzten Strom (Eigenverbrauch).

Je höher dieser Anteil an der erzeugten Elektroenergie ist, um so höher ist die Rendite. PV-Anlagen werden dadurch in zunehmenden Maße mit Batteriespeichern ausgerüstet.

In vielen Betrieben sind bereits batterieversorgte Geräte oder auch schon ein E-Auto vorhanden.

Die Batterien dieser Geräte können außerhalb der Betriebszeit insbesondere am Wochenende mit PV-Strom geladen werden.

Hierzu müssen die Ladegeräte/Steckvorrichtung über eine entsprechende Steuerung so geschaltet werden, dass am letzten Arbeitstag nach Feierabend die Batterien nicht geladen werden, sondern erst am Wochenende.

Hierdurch kann der Eigenverbrauch deutlich gesteigert werden.

**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

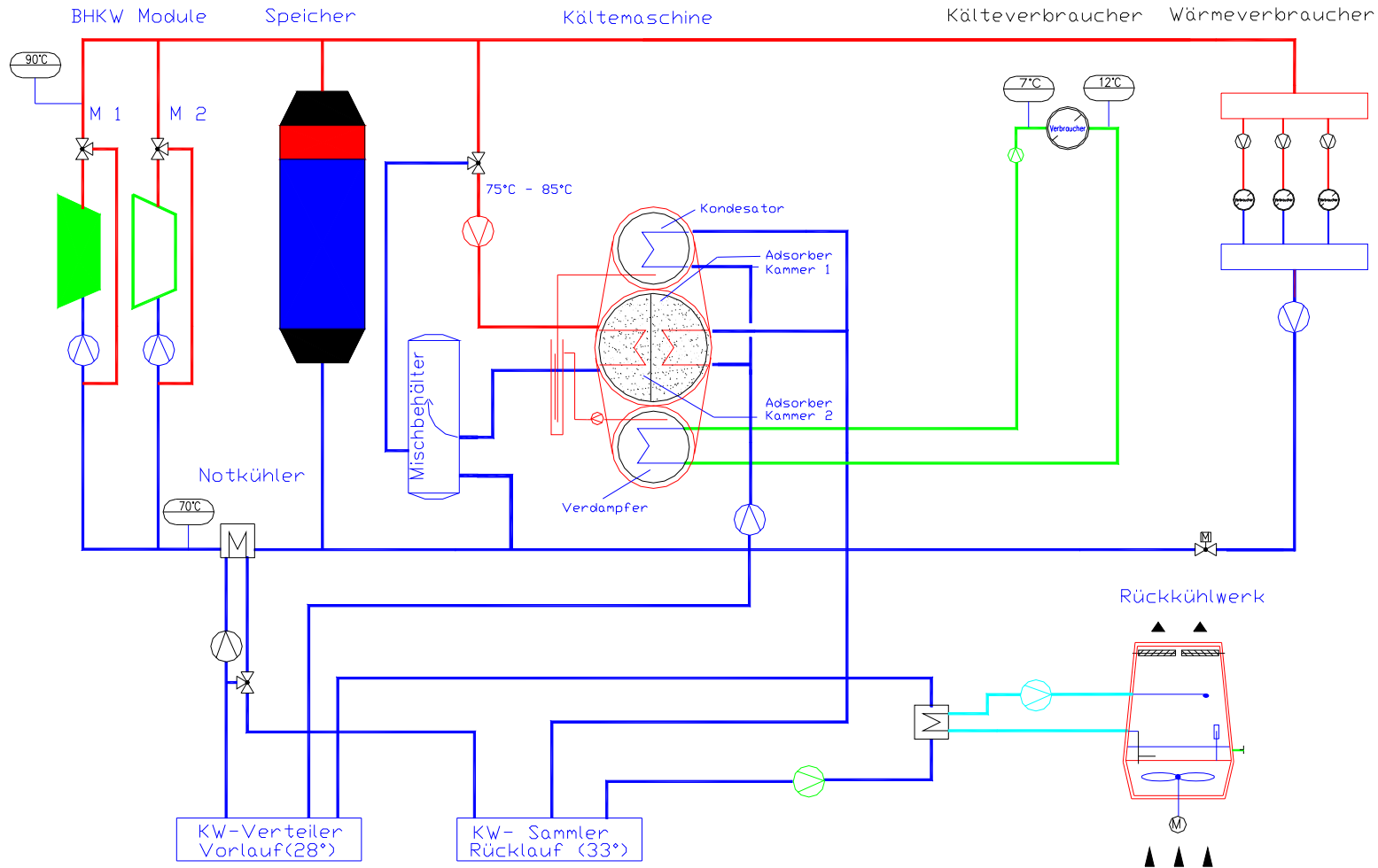
## Nutzung von PV- und KWK-Strom zu Batterieladung

E-Energie aus BHKW, die am Sonntagabend betrieben werden, um z. B. Hallen zum Arbeitsbeginn am Montag aufzuheizen, wird gegen eine geringe Vergütung ins öffentliche Netz eingespeist.

Auch hier ist zu empfehlen, dass vorhandene Batterien aufgeladen werden.

Im WVZ haben wir dieses so umgesetzt.

Hierdurch wurde die eingespeiste Menge von rd. 690.000 kWh/a auf rd. 180.000 kWh/a reduziert.



**Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen**

08.05.2018



Vielen Dank  
für  
Ihre Aufmerksamkeit

Autor: Jürgen Kramer, M3 Consulting & Engineering GmbH, 59199 Bönen

08.05.2018

28