

Stromversorgung von Kühltrailern

1 Einleitung

Die Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs leistet einen bedeutenden Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Neben der Energieversorgung der batterieelektrischen Lkw steht dabei auch die Energieversorgung der Trailer und Nebenaggregate im Fokus. Nebenaggregate sind alle zusätzlichen technischen Einheiten, die nicht dem Antrieb dienen. Besonders im Bereich der Kühltransportlogistik ist eine verlässliche Energieversorgung der Trailer zwingend erforderlich, damit die Kühlkette während des gesamten Warentransports zwischen den Umschlagplätzen nicht unterbrochen wird.

Bisher wurde die Kältemaschine des Kühlaggregats im Trailer über einen Dieselgenerator elektrisch betrieben. Beim Abladen der Ware oder während der Lenk- und Ruhezeiten der Lkw-Fahrerinnen und -fahrer kann die Kältemaschine bei entsprechend vorhandener CEE-Stromversorgungseinrichtung auch ohne den Dieselgenerator direkt über das Stromnetz betrieben werden.

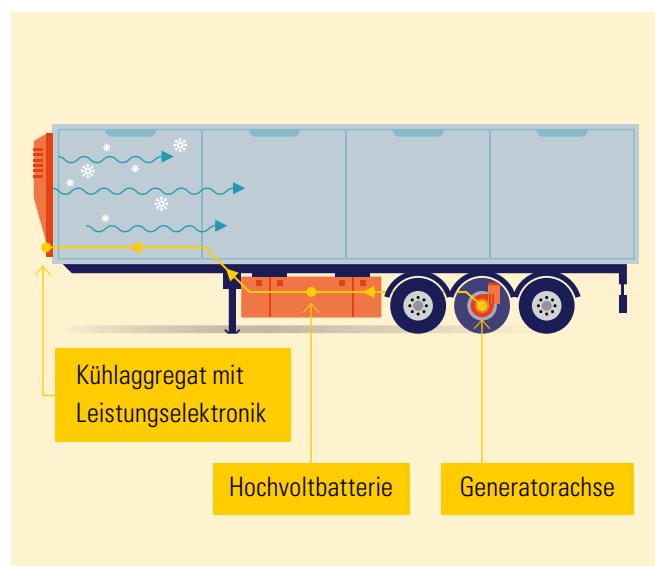
Die neueste Generation der Kühltrailer verzichtet beim Kühlaggregat auf den Dieselgenerator. Dieser wird durch Leistungselektronik in Kombination mit einer Hochvoltbatterie im Trailer ersetzt, welche die Kältemaschine mit der benötigten Energie versorgt. Verfügt der Trailer über eine Generatorachse, kann die Trailer-Batterie während der Fahrt durch Rekuperation zusätzlich aufgeladen werden. Mit einer typischen Kapazität von 30 bis 40 kWh kann die Trailer-Batterie in Abhängigkeit von der erforderlichen Kühlleistung den Energiebedarf des Kühlaggregats für einen Zeitraum von einigen Stunden bis hin zu einem Arbeitstag autark decken. Bei längeren Stillstandzeiten ist i. d. R. eine externe Stromversorgung notwendig.

Daten & Fakten

In Deutschland gibt es einen Gesamtbestand von ca. 8 Mio. Anhängern. Bei ca. 45 Tsd. davon (0,6 %) handelt es sich um Külanhänger bzw. Kühltrailer mit aktiver Kühlung („Isolierter Aufbau mit Kühlung“).¹

In einigen Depots steht die dafür erforderliche Stromversorgung direkt an den Laderampen zur Verfügung. Eine flächendeckende Versorgung außerhalb von Depots, beispielsweise an öffentlich zugänglichen Lkw-Stellplätzen, ist nicht gegeben. Der De-facto-Standard bei der Stromversorgung in der Kühltransportlogistik ist dabei die CEE-Steckverbindung.

Dieses Factsheet dient sowohl Herstellern als auch Nutzerinnen und Nutzern von Kühltrailern als Marktorientierung, indem aufgezeigt wird, welche Möglichkeiten für eine externe Stromversorgung von Kühltrailern geeignet sind, welches CO₂-Einsparpotenzial im Netzbetrieb von Kühltrailern liegt und unter welchen technischen Bedingungen Nebenantriebe realisiert werden können.



Schemazeichnung eines vollelektrischen Kühltrailers

Der elektrische Betrieb von Kühltrailern bietet ein erhebliches CO₂-Einsparpotenzial im Vergleich zum Dieselbetrieb. So erzeugt der Netzbetrieb von Kühlaggregaten unter Berücksichtigung des aktuellen deutschen Strommixes rund 91,5 % weniger WtW-THG-Emissionen als der Dieselbetrieb.²



¹ Quelle: NOW GmbH, 2023, Klimafreundliche Kühlssysteme für den Straßengüterverkehr – Marktüberblick und Dekarbonisierungspotenziale (mit Verweis auf das Kraftfahrt-Bundesamt, 2022).

² Quelle: NOW GmbH, 2023, Klimafreundliche Kühlssysteme für den Straßengüterverkehr – Marktüberblick und Dekarbonisierungspotenziale.

2 Technische Möglichkeiten für eine öffentliche Stromversorgung von Kühltrailern

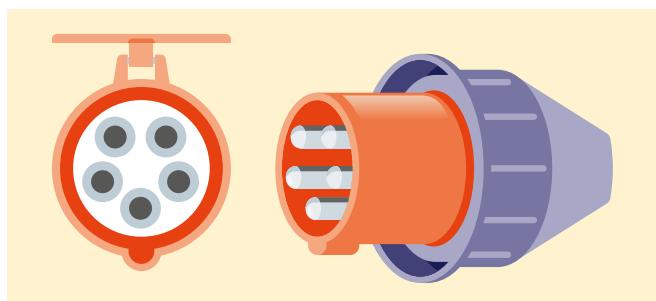
Status quo

Die derzeitigen Stromversorgungseinrichtungen für die Hochvoltbatterien von Kühltrailern verfügen über einen dreiphasigen CEE-Stecker zur Starkstromversorgung mit 400 V / 32 A / 50 Hz Drehstrom. Dieser ermöglicht eine Leistungsübertragung von für Kühltrailer typischen 22 kW.

Der CEE-Stecker kann an Ladesäulen mit CCS-Technologie nicht verwendet werden, da sich die Systeme unterscheiden – sowohl in der Stromart (CEE: Wechselstrom, CCS: Gleichstrom) als auch hinsichtlich der Kommunikation und der Sicherheitsanforderungen. Kühltrailer, die mit einem CEE-Stecker ausgestattet sind, können daher nur über geeignete Starkstromanschlüsse betrieben werden, wie sie typischerweise auf Betriebshöfen, in Depots oder an speziellen Standplätzen vorhanden sind. Solche Anschlüsse kommen bereits heute zum Einsatz, insbesondere dann, wenn ein Dieselbetrieb nicht möglich oder unerwünscht ist – etwa bei Nacht oder in lärmintensiven Bereichen. Es besteht somit bereits eine grundlegende Infrastruktur zur elektrischen Versorgung

konventioneller Kühltrailer, auf die bei der Umstellung auf voll-elektrische Kühltrailer zurückgegriffen werden kann.

Eine breitenwirksame Nutzung von vollelektrischen Kühltrailern mit der Option auf einen internationalen Langstreckeneinsatz erfordert grundsätzliche Überlegungen zu den Steckersystemen, insbesondere auch hinsichtlich öffentlicher Möglichkeiten zur Stromversorgung. Dafür sind die nachfolgenden Lösungen denkbar.



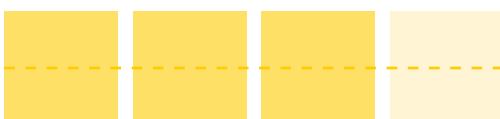
Schemazeichnung von CEE-Buchse und -Stecker

Option A: Stromversorgung mit CEE-Technologie (Netzbetrieb)

Die Stromversorgung des Kühltrailers erfolgt über öffentliche Vorrichtungen mit CEE-Stecker.

- + Die CEE-Technologie ist bereits etabliert, auf vielen Betriebsgeländen installiert und die notwendige Versorgungsinfrastruktur kann relativ niederschwellig errichtet werden.
- + Kühltrailer im Bestand sind mit dieser Infrastruktur kompatibel.
- + Die Kosten pro Einheit liegen um ein Vielfaches unter den Kosten der CCS- und MCS-Ladetechnik.
- Bei Kombination mit BEV wäre eine zusätzliche Versorgungsinfrastruktur erforderlich (CCS/MCS für die Zugmaschine und CEE für den Kühltrailer).

UMSETZBARKEIT:



Option B: Stromversorgung mit CCS-/MCS-Ladetechnik (Netzbetrieb)

Die Stromversorgung der Kühltrailer erfolgt über CCS-/MCS-Ladetechnik (und der Trailer wird dafür angepasst).

- + Der Aufbau einer zusätzlichen Versorgungsinfrastruktur für die CEE-Technologie wäre damit nicht erforderlich.
- Die Überführung erfordert eine übergreifende Marktstrategie und Kühltrailer im Bestand könnten die CCS-/MCS-Ladeinfrastruktur nicht nutzen
- Eine geteilte Versorgungsinfrastruktur kann zu einer Nutzungskonkurrenz zwischen BEV und Trailer führen.
- Die hohe elektrische Leistung von CCS/MCS ist für die Stromversorgung des Kühltrailers nicht notwendig.

UMSETZBARKEIT:

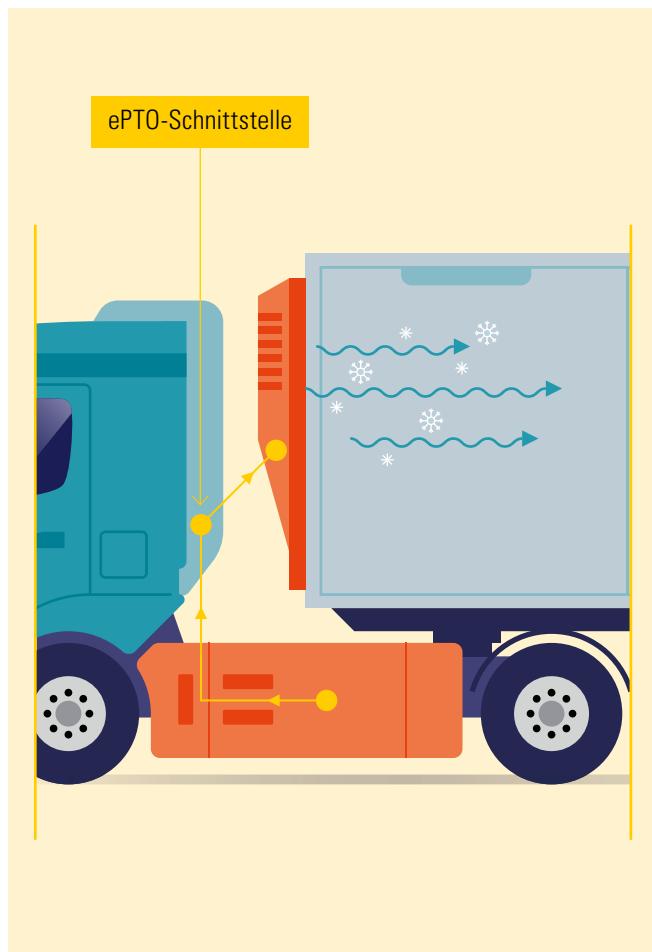


Option C: BEV versorgt Kühltrailer mittels ePTO (fahrzeugbasierter Betrieb)

Das Kühlaggregat wird über eine ePTO-Schnittstelle mit der Energie der Fahrzeughinterbatterie versorgt.

- + Der Errichtungsbedarf der Versorgungsinfrastruktur kann über eine solche Anpassung der Fahrzeugtechnologie reduziert werden.
- Kühltrailer sind nicht immer mit einer Zugmaschine gekoppelt und müssen autark versorgt werden können, weshalb immer ein Stromanschluss (Trailer-seitig) vorgehalten werden muss.
- Der SoC der Fahrzeughinterbatterie wird zusätzlich beeinflusst, was Auswirkungen auf Ladezeit und Reichweite hat.
- Da eine Standardisierung voraussichtlich erst gegen Ende des Jahrzehnts erfolgt, wird auch die Entwicklung kompatibler Produkte entsprechend verzögert stattfinden.

UMSETZBARKEIT:



Schemazeichnung der Kühltrailerversorgung durch den ePTO der Zugmaschine

3 Rechnung zum CO₂-Einsparpotenzial durch Netzbetrieb während der Ruhezeiten von Kühltrailern

Faktoren³

- Gesamtbestand an Kühltrailern in Deutschland: 45 Tsd.
- Energieverbrauch eines dieselbetriebenen Kühlaggregats für einen Sattelzug: 2 Liter pro Stunde
- Emissionen pro Liter Diesel: 2,65 kg CO₂
- CO₂-Einsparpotenzial durch Netzbetrieb im Vergleich zum Dieselbetrieb: 91,5 %

Rechnung

Annahmen

- Ein Kühltrailer ist an ca. 220 Tagen im Jahr im Einsatz, davon an 150 Tagen mit aktiver Kühlung.
- Zur Einhaltung der Kühlkette müssen während der Pausen und Ruhezeiten die Transportkälteaggregate in Betrieb sein.
- Die Tagesruhezeit bei einer 1-Fahrer-Besatzung beträgt 11 Stunden.
- 5 % aller Kühltrailer befinden sich parkend oder wartend auf Raststätten. Das entspricht 2.250 Kühltrailern pro Tag.

$$2 \frac{1}{h} \times 11 \text{ h} \times 2.250 \frac{\text{Kühltrailer}}{\text{Tag}} \times 150 \text{ Tage} \approx 7 \text{ Mio. Liter Diesel pro Tag}$$

$$7 \text{ Mio. l} \times 2,65 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}} \approx 19 \text{ Tsd. Tonnen CO}_2 \text{ pro Jahr}$$

$$19 \text{ Tsd. t CO}_2 \times 0,915 \approx 17 \text{ Tsd. Tonnen CO}_2 \text{ Einsparpotenzial pro Jahr}$$



³ Quellen: NOW GmbH, 2023, Klimafreundliche Kühlsysteme für den Straßengüterverkehr – Marktüberblick und Dekarbonisierungspotenziale, und Umweltbundesamt.

Ergebnis

Der Betrieb von Kühltrailern mit Netzstrom während der Ruhezeiten senkt die CO₂-Emissionen erheblich. Pro Jahr können ca. 17 Tsd. Tonnen CO₂ eingespart werden, wenn Kühltrailer während der Tagesruhezeit über Netzstrom statt über den Dieselbetrieb versorgt werden.

Hinweis

Bei dem Ausgangswert von 45 Tsd. Kühltrailern handelt es sich um den in Deutschland gemeldeten Bestand. In der Rechnung werden Durchfahrtsverkehre ausländischer Transporteure nicht berücksichtigt. Würde man den Ausgangswert um diese ergänzen, läge das CO₂-Einsparpotenzial wesentlich höher.

4 Übersicht über die Nebenantriebe

Alternativ zum Netzbetrieb können Nebenaggregate auch durch das Fahrzeug mit Energie versorgt werden. Dabei werden drei Antriebsarten unterschieden: mechanisch, elektromechanisch und vollelektrisch. Der Nebenantrieb, auch Power Take-Off (PTO) genannt, dient dabei als Schnittstelle zur Energieübertragung. Die abrufbare Leistung variiert je nach Hersteller und Antriebskonzept.

Mechanischer Nebenantrieb

- mPTO = mechanisch zu mechanisch
- Die Versorgung des Nebenaggregats erfolgt über eine mechanische PTO-Schnittstelle, die durch den Antriebsmotor des Fahrzeugs betrieben wird.
- Eine Leistungsabgabe bis zu 260 kW ist möglich.

Vollelektrischer Nebenantrieb

- ePTO = elektrisch zu elektrisch
- Der Antrieb des Nebenaggregats erfolgt über eine rein elektrische PTO-Schnittstelle, die durch das Batteriesystem des Fahrzeugs versorgt wird. Über die Schnittstelle kann AC- oder DC-Strom in unterschiedlichen Spannungsbereichen (Bordspannung oder reduzierte Spannung) geliefert werden.
- Eine Leistungsabgabe von bis zu 100 kW ist aktuell realisierbar.

Elektromechanischer Nebenantrieb

- Mechanischer ePTO = elektrisch zu mechanisch
- Angetrieben durch das Batteriesystem des Fahrzeugs versorgt ein separater Elektromotor das Nebenaggregat über eine mechanische PTO-Schnittstelle.
- Eine Leistungsabgabe bis zu 70 kW ist möglich.

Relevant für Kühltrailer:

- Einige Fahrzeughersteller ermöglichen bereits, dass Nebenaggregate von Fahrzeugen und Trailern während des Ladevorgangs der Fahrzeughinterseite über den Nebenantrieb mit Energie versorgt werden. So lassen sich beispielsweise Kühlaggregate von Kühltrailern während des Ladevorgangs elektrisch betreiben.
- Bei bestimmten Herstellern kann die vom Nebenaggregat verbrauchte Energie über ein zusätzlich installiertes, eichrechtskonformes Messgerät separat erfasst und abgerechnet werden.

5 Zusammenfassung

Die Stromversorgung des Trailers **über eine CEE-Stromversorgungseinrichtung** stellt für den Bereich der Kühltransportlogistik den De-facto-Standard dar. Ein flächendeckendes Versorgungsangebot gibt es aktuell nicht. Während die Stromversorgung in vielen Depots grundsätzlich möglich ist, findet man kaum CEE-Versorgungsinfrastruktur im öffentlich zugänglichen Raum. Bei der Abrechnung der verladenen Strommenge gibt es kein einheitliches Vorgehen. Die Abrechnung erfolgt in der Regel kWh-basiert, kann aber auch als unentgeltlicher Service erfolgen. Vorgaben zur CEE-Versorgungsinfrastruktur ergeben sich aus der Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU sowie der jeweils gültigen nationalen Umsetzung dieser Richtlinie.

Aktuelle Systeme zur Stromversorgung des Trailers **über den ePTO** der Zugmaschine sind Individuallösungen der Fahrzeughersteller. Standardisierte Systeme gibt es zurzeit nicht. Verschiedene Arbeitskreise sind bereits mit einer genormten Hochvoltschnittstelle zwischen Zugmaschine und Trailer bzw. Nebenaggregat befasst. So arbeitet die ACEA an der Entwicklung von Spezifikationen für eine genormte ePTO-Schnittstelle zur

Versorgung der Trailer und Nebenaggregate durch die Hochvoltbatterie der Zugmaschine. Die Entwürfe dieser Spezifikationen können auf der ACEA-Webseite⁴ eingesehen werden. Ab Mitte 2025 ist der Projektstart zu einem ISO-Standard einer Hochvoltschnittstelle zwischen Trailer und Zugmaschine geplant. Die Fertigstellung des Standards ist für Mitte 2028 vorgesehen.

Zur Reduktion von CO₂-Emissionen durch Kühltrailer braucht es eine verlässliche Stromversorgung sowohl im Stand als auch während der Fahrt. Mithilfe der beiden skizzierten Lösungen (CEE-Stromversorgungseinrichtung und Stromversorgung über den ePTO) können sowohl dieselbetriebene Kühltrailer im Bestand als auch die kommende Generation vollelektrisch betriebener Kühltrailer versorgt werden. Damit dieser Effekt seine volle Wirkung erzielen kann, braucht es aktuell beides: eine flächendeckende und bedarfsgerechte CEE-Versorgungsinfrastruktur (sowohl im Depot als auch öffentlich) und eine standardisierte Möglichkeit zur Stromversorgung durch die vollelektrische Zugmaschine.

Der Kühltrailer sollte mit beidem kompatibel sein.

⁴<https://www.acea.auto/news/epto/>

ACEA Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (der Europäische Automobilherstellerverband)

BEV Battery Electric Vehicle (Elektrofahrzeug)

CEE Commission on the Rules for the Approval of the Electrical Equipment (Internationale Kommission für die Regelung der Zulassung elektrischer Ausrüstungen)

CCS Combined Charging System (kombiniertes Ladesystem)

MCS Megawatt Charging System (Megawatt-Ladesystem)

PTO Power Take-Off (Nebenantrieb)

SoC State of Charge (Ladezustand)

WtW-THG-Emissionen Well-to-Wheel(vom Bohrloch bis zum Rad)-Treibhausgas-Emissionen (alle Treibhausgasemissionen, die während des gesamten Lebenszyklus eines Kraftstoffs – von der Gewinnung des Rohmaterials bis zur Verbrennung im Fahrzeug – entstehen)