

Logistik unter Strom

Der Warenverkehr nimmt weltweit rasant zu – und ein Ende des Aufwärtstrends ist nicht abzusehen. Lassen sich die hoch gesteckten Klimaziele dennoch erreichen? Und können wir uns am Ende des Erdölzeitalters überhaupt noch Lkw-Transporte leisten? Ein aktuelles Siemens-Forschungsprojekt zeigt neue Wege auf.

Eine schnurgerade Teststrecke in der Uckermark, irgendwo im brandenburgischen Nadelwald. Zügig nähern sich zwei Lkw auf der dreispurigen Betonpiste, der eine setzt zum Überholen an, zieht am anderen vorbei. Ein ganz normaler Vorgang – wären da nicht auffällige Stromabnehmer über den Führerhäusern und eine Oberleitung über der Fahrbahn. Ist das eine Art Eisenbahn? Doch wo sind die Schienen?

Es gibt keine. „Die Trucks fahren wie jeder andere Lkw auch auf der Straße“, sagt Holger Sommer, Leiter des Siemens-Forschungsprojekts „Elektromobilität bei schweren Nutzfahrzeugen zur Umweltentlastung von Ballungsräumen“, kurz ENUBA. „Der einzige Unterschied ist, dass unsere Fahrzeuge auf einer elektrifizierten Autobahn unterwegs sind und mit speziellen Stromabnehmern Fahrstrom aus einer Oberleitung beziehen können.“ Mit anderen Worten: Die Lastwagen werden von Elektromotoren angetrieben und erhalten ihren Strom wie Trolleybusse oder Bahnen direkt aus einer Oberleitung – bei Überholmanövern oder auf nicht elektrifizierten Straßen aber werden sie von einem Dieselmotor mit angeschlossenem Generator versorgt.

Hintergrund dieses ungewöhnlichen Siemens-Projekts ist ein durchaus reales, drängendes Problem: Zahlreiche Analysen und Prognosen zur Ent-

wicklung des Güterverkehrs sagen für die nächsten Jahrzehnte eine stattliche Zunahme der weltweiten Transportleistung voraus – je nach Szenario um mindestens 50 Prozent bis zum Jahr 2050, in manchen Regionen sogar um das Doppelte. Unabhängig davon, welches Szenario tatsächlich eintreffen wird, bedeutet dies: Werden die Transportkapazitäten in den kommenden Jahren nicht erheblich ausgebaut, sind Engpässe unausweichlich.

Lkw-Verkehr wird umweltfreundlich

Nun gilt der Güterverkehr auf der Schiene zu Recht als besonders leistungsfähig, energieeffizient und umweltfreundlich. Mehr Güter auf die Schiene zu verlagern, ist freilich nicht so einfach machbar – nicht jede Transportaufgabe kann auf der Schiene gelöst werden. Und vielfach ziehen sich Bahnunternehmen aus der Fläche zurück, setzen auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen großen Zentren und bieten Eil- oder Paketdienste überhaupt nicht mehr an. Da muss ein zuverlässiger und schneller Straßengüterverkehr diese Aufgaben übernehmen. Die Nebenwirkungen sind weithin bekannt: deutlich wachsender Verbrauch des Energieträgers Erdöl, weiter steigende Emissionen und die Gewissheit, selbst zaghafte gesteckte Klimaschutzziele um

„Umweltschutz, Unabhängigkeit vom Rohstoff Erdöl – es gibt eine Reihe guter Argumente dafür, den Güterverkehr auf der Straße zu elektrifizieren.“



Lang bewährte Siemens-Komponenten übernehmen die Stromversorgung.



Längen zu verfehlen. Wie aber lässt sich Lkw-Verkehr energieeffizienter und umweltfreundlicher gestalten?

„Es gibt eine Reihe guter Argumente dafür, den Lkw-Verkehr zu elektrifizieren“, so Dr. Michael Lehmann, Chief System Engineer bei Siemens Mobility and Logistics. Während beispielsweise Verbrennungsmotoren nur in bestimmten Drehzahlbereichen höchste Leistung bringen, stellen Elektromotoren ihr maximales Drehmoment aus dem Stand zur Verfügung – geradezu ideal beim Anfahren eines Lastzuges mit schwerer Ladung. Elektrische Antriebe kommen ohne komplexe mechanische Konstruktionen wie zum Beispiel Schaltgetriebe aus. Und anders als Verbrennungsmaschinen, deren Wirkungsgrad bei nur rund 40 Prozent liegt, setzen Elektromotoren nahezu die gesamte elektrische Energie in Bewegung um – und arbeiten dabei auch noch praktisch CO₂-frei.

„Besonders spannend an der Elektromobilität ist“, sagt Lehmann, „dass sich elektrischer Strom auf sehr unterschiedliche Weise erzeugen lässt – auf dem Fahrzeug mit Dieselmotor und Generator oder Brennstoffzellen sowie in stationären Kraftwerken aus regenerativen Quellen wie Sonne, Wind oder Biogas.“ Das kann nicht nur die Umwelt schonen, sondern auch Transporte zunehmend unab-

hängig machen von schwindenden Erdöl-Ressourcen und politischen Verwerfungen in Förderländern. „Wir Ingenieure entwickeln ja seit mehr als einem Jahrhundert elektrische Bahnsysteme, kennen ihre Stärken bei hohen Geschwindigkeiten und höchsten Transportleistungen. Da ist es doch nur konsequent, das Prinzip des elektrischen Transports auf der Schiene mit der Flexibilität der Straße zu verknüpfen.“

So entwickelte Siemens im Rahmen des ENUBA-Forschungsprojekts, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), in nur 15 Monaten ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz elektrischer Energie im Straßengüterverkehr. Die Ingenieure bauten Funktionsmuster und Prototypen und erprobten die Systeme – E-Trucks, Energieversorgung, Fahrweg und Betriebsleitstelle – auf einer eigens dafür errichteten Teststrecke in Brandenburg.

Da der Nutzfahrzeugmarkt derzeit keine geeigneten Elektro-Lastwagen bietet, rüsteten die Ingenieure der Siemens-Division Drive Technologies zwei serienmäßige 18-t-Lkw von Mercedes-Benz mit einem seriellen Hybridantrieb (siehe Infobox) aus: Zunächst bauten sie an Stelle des nicht mehr benötigten Schaltgetriebes einen Generator ein, der direkt vom Dieselmotor des Trucks angetrieben



„Der dieselektrische Hybridantrieb bringt gleich mehrere Vorteile in Sachen Effizienz.“

wird und auf nicht elektrifizierten Straßen den mit der Kardanwelle verbundenen Elektromotor versorgen kann. Solche dieselektrischen Antriebe mit den Hauptkomponenten Generator, Gleichrichter, Zwischenspeicher, Umrichter und Fahrmotor sind aus der Bahntechnik seit langem bekannt und wurden in den vergangenen Jahren auch bei sogenannten Hybrid-Stadtbussen erfolgreich eingesetzt.

„Für Generator und Fahrmotor haben wir permanenterrregte Drehstrom-Synchronmaschinen gewählt“, präzisiert Florian Zauner, Projekt Manager Hybrid Drives bei Siemens Drive Technologies. „Während elektrisch erregte Motoren einen Teil der Energie für den Aufbau des Magnetfelds benötigen, ist das bei selbsterregten Motoren mit Permanentmagneten nicht nötig. Die setzen bis zu 97 Prozent des Stroms in kinetische Energie um, haben damit unter dem Strich einen höheren Wirkungsgrad und sind deshalb effizienter.“

Der dieselektrische Hybridantrieb bringt weitere Vorteile in Sachen Effizienz: So kann der Verbrennungsmotor, der ja nur den Generator antreibt, ohne die ständigen Lastwechsel des normalen Fahrbetriebs gleichmäßig im optimalen Drehzahlbereich betrieben werden – also unter besonders verbrauchsgünstigen Bedingungen. Auch elektrisches Bremsen mit dem Fahrmotor, der dann ebenfalls als Generator arbeitet, und das Rekuperation genannte Zurückspeisen der dabei gewonnenen elektrischen Energie sind problemlos möglich. „Bei Tram und Eisenbahn ist Rekuperation bereits Stand der Technik“, so Zauner, der fest davon überzeugt ist, dass diesem Antriebskonzept die Zukunft gehört: „Der serielle Hybridantrieb ist enorm flexibel, weil man als Antrieb für Stromgeneratoren ganz nach Bedarf Diesel-, Benzin- oder Flüssiggasmotoren einbauen kann. Auch Brennstoffzellen, Gasturbinen und Batterie-Stacks lassen sich einplanen – dem Elektromotor ist es schließlich egal, woher der Strom kommt.“

Die ENUBA-Trucks – für deren Weiterentwicklung Daimler und Siemens vor kurzem eine Intensivierung ihrer Zusammenarbeit vereinbart haben – sollen als echte Zweikraft-Fahrzeuge ihre Energie freilich auch aus einer Oberleitung beziehen. „Bei der

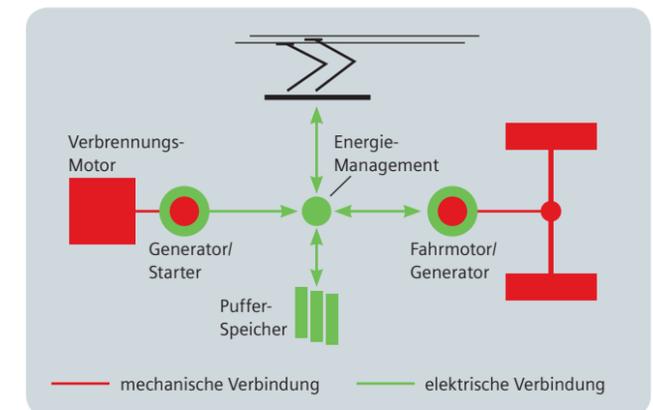
Traktionsstromversorgung bot es sich an, eine angepasste Lösung aus lang bewährten Siemens-Komponenten zu wählen und in ein ansprechendes Gehäuse zu packen“, sagt der Systemintegrator Dr. Michael Lehmann. Mit Transformator und Gleichrichter wandelten die Siemens-Ingenieure den aus dem öffentli-

Der Hybridantrieb des E-Truck

Unter dem Begriff „Hybridantrieb“ versteht man allgemein die Kombination unterschiedlicher Antriebe für eine Antriebsaufgabe. Bei einem seriellen Hybridantrieb, wie er im E-Truck von Siemens eingebaut wurde, arbeiten Verbrennungsmotor und elektrischer Fahrmotor hintereinander, also in Serie.

Die Kombination aus Dieselmotor und Generator erzeugt als bordeigenes Kraftwerk den notwendigen Fahrstrom. Für die Fortbewegung ist allein der Elektromotor zuständig: Er treibt die Räder mit herkömmlicher Antriebswelle über die Achsen an wie im E-Truck, alternativ direkt mit Radnabenmotoren. Eine mechanische Verbindung zwischen beiden Motoren besteht nicht.

Das ENUBA-Konzept mit seiner offenen Infrastruktur ist jedoch offen für alle elektrischen Hybridantriebe: Das kann zum Beispiel ein Parallelhybrid-Antrieb, eine Batteriespeicher- oder eine Brennstoffzellen-Lösung sein.



chen Netz gelieferten Drehstrom in Gleichstrom mit 650 Volt Spannung um. Zusätzlich sorgt ein gesteuerter Wechselrichter dafür, dass die elektrische Bremsenergie der Fahrzeuge wieder netzkonform zurückgespeist werden kann. „Das ist heute bei Straßenbahnen gang und gäbe, für individuelle Straßenfahrzeuge aber ein technisches Novum“, so Lehmann. „Und auch unsere Oberleitung weist einige Besonderheiten auf.“

Anders als bei einer Tram wurde die rund 1.500 Meter lange Anlage mit zwei parallelen Fahrdrähten ausgestattet. Während nämlich bei den schienegebundenen Bahnen die Rückstromführung über den Fahrweg erfolgen kann, brauchen Straßenfahrzeuge wie Oberleitungs- oder Trolley-Busse stets zweipolige Systeme für Hin- und Rückführung des Stromes. Dazu kommt: Weil Oberleitungs- oder Trolley-Busse relativ langsam fahren, genügen ihnen relativ einfache Systeme. Mit dem ENUBA-Projekt sollte jedoch eine praxistaugliche Lösung für den allgemeinen Güterverkehr entwickelt werden – und auf Autobahnen sind Trucks nun einmal mit Tempo 90 unterwegs. „Deshalb haben wir elastisch aufgehängte Kettenwerke mit ein- und ausweigenden Fahrdrähten installiert, wie sie bei der Bahn üblich sind“, so Michael Lehmann. „Bei diesen Kettenwerken werden Trageil und Fahrdräht über eine Nachspanneinrichtung im

Innern der Abspannmaste ständig mechanisch sehr fest gespannt. Das ist zwar aufwändiger, sorgt aber auch bei hohen Fahrgeschwindigkeiten für eine technisch sichere und verschleißarme Stromübertragung zum Fahrzeug.“

Stromabnehmer mit Intelligenz

Komplett neu konzipiert wurde der Doppel-Stromabnehmer der E-Trucks. Die bei Trolleybussen üblichen Stangenstromabnehmer mit Schleifschuhen eignen sich schließlich nur für niedrige Geschwindigkeiten und lassen sich nach einem Überholvorgang während der Fahrt nicht wieder eindrahten. Die bei Bahnen eingesetzten Stromabnehmer wiederum sind auf einen einzelnen, im Zick-Zack verlegten Fahrdräht abgestimmt, seitlich fixiert und nur darauf ausgelegt, mit etwa 100 Newton gegen den Fahrdräht zu drücken. „Die Stromabnehmer unserer E-Trucks dagegen müssen bei allen Geschwindigkeiten bis 90 km/h zuverlässig an- und abbügeln und Bewegungen innerhalb der Fahrspur aktiv nachregeln können“, schildert Frank Gerstenberg, im Berliner Forschungszentrum von Siemens Infrastructure Logistics für die Entwicklung des Stromabnehmers zuständig, die Vorgaben.

Normalerweise nutzen die Berliner Ingenieure ihre ausgefeilten mechatronischen Systeme mit

„Die Steuerung der Doppel-Stromabnehmer gleicht Bewegungen in der Fahrspur automatisch aus.“

Aktorik, Sensorik und Bildverarbeitung für automatische Sortier- und Fördersysteme – nun entwickelten sie binnen eines Jahres einen neuartigen Stromabnehmer mit den besten Eigenschaften aus beiden Welten: „Der Stromabnehmer sitzt auf dem Gestänge eines Trolley-Stromabnehmers; er verfügt über zwei Wippen und ein pneumatisches System, mit dem sich die Position und die Andruckkraft an die Fahrleitung steuern lassen“, so Gerstenberg. „Und wir haben ihn mit einer hochintelligenten Steuerung ausgestattet: Sie agiert weitgehend autonom, erkennt beispielsweise vorhandene Fahrdrähte und bügelt automatisch an. Weil die Fahrleitungen mittig über der Fahrbahn verlegt sind, entscheidet die Steuerung außerdem selbst, ob der Stromabnehmer Fahrbewegungen ausgleichen oder sich zur Verschleißminderung seitlich verschieben soll. Und sie bügelt sofort ab, wenn der Fahrer den Blinker zum Überholen setzt oder plötzlich einem Hindernis ausweicht.“ Damit entlastet diese komplexe, intelligente Steuerung den Lkw-Fahrer zugleich von allen Aufgaben, die mit dem elektrischen Betrieb zusammenhängen.

Die praktischen Vorteile dieses innovativen Elektromobilitäts-Konzepts zeigten sich bereits in den ersten Monaten auf der Teststrecke, berichtet der Leiter des Forschungsprojekts, Holger Sommer: „Bei gut 1.700 Mess- und Testfahrten, darunter etliche mit Anhänger und 40 Tonnen Gesamtgewicht, haben sich Konzept und Technik bestens bewährt.“ Insgesamt 8.500 Kilometer legten die beiden E-Trucks dabei zurück, unter Fahrdräht und auf nicht elektrifizierten Strecken. Sie forderten die Steuerungselektronik der Stromabnehmer bei Vollbremsungen, Fahrten über Hindernisse, Ausweich- und Überholmanövern – zur vollen Zufriedenheit der Ingenieure.

„Parallel zur praktischen Erprobung führten die Siemens-Experten umfangreiche konzeptionelle Arbeiten zu den straßenverkehrs- und leittechnischen Aspekten dieses neuen Verkehrssystems durch“, so Projektleiter Sommer. „Dazu gehörten unter anderem Studien zum Entwurf eines Ener-

giemessungs- und Abrechnungssystems, zur Integration der elektrischen Fahrzeuge in die bestehenden Verkehrsabläufe und zur Nutzerregistrierung.“ Spezialisten von Siemens Mobility Consulting beantworteten außerdem folgende Fragen: Unter welchen Umständen lassen sich CO₂-Senkungsziele tatsächlich erreichen? Welche wirtschaftlichen Chancen und Risiken birgt das Konzept? Was kostet der elektrische Betrieb unter dem Strich für Staat und Spediteur? Und wie könnten erfolgreiche Betreibermodelle aussehen?

Auch geeignete Einsatzgebiete und die mögliche Wertschöpfung des Systems haben die Experten geprüft. Und sie kamen zu dem Schluss, dass sich bereits ab wenigen zehntausend Kilometern Fahrleistung jährlich die Rentabilitätsschwelle des Konzepts erreichen ließe. Für die Umwelt allerdings, so viel steht fest, ist der eHighway schon ab dem ersten Kilometer ein Gewinn. □

eHighway und E-Truck in der Praxis

- Infrastrukturen wie Zufahrten, Lager- und Umschlaganlagen, Wege und Workflow bleiben für Auftraggeber, Spediteure und Fahrer erhalten wie gewohnt. Ausschließlich die Art des Fahrzeugantriebs ändert sich.
- Die Infrastruktur „Straße“ ist in der Regel bereits vorhanden. Sie kann relativ kostengünstig erweitert, zum eHighway ausgebaut und mit gängigen Verkehrssteuerungsmaßnahmen ertüchtigt werden.
- E-Trucks sind als Zweikraft-Fahrzeuge besonders flexibel. Sie lassen sich sowohl im Fahrleitungsnetz als auch – dieselektisch angetrieben – auf nicht elektrifizierten Straßen einsetzen.
- Deutliche Reduzierung der Emissionen: Bei entsprechendem Energiemix kann der elektrische Betrieb CO₂-neutral erfolgen; die Fahrzeuge können Bremsenergie zurückgewinnen, via Oberleitung untereinander Energie austauschen oder sie zurück ins Netz speisen. Bei dieselektischer Fahrt läuft der Verbrennungsmotor verbrauchsgünstig mit optimaler Drehzahl.
- In künftigen Konzepten können die Fahrzeugkonstrukteure unter anderem auf schwere Schaltgetriebe sowie – beim Einbau von Radnabenmotoren – auf Kardanwelle und Ausgleichgetriebe verzichten. Das bringt Einsparungen bei Gewicht und Volumen und erlaubt völlig neue Konstruktionen.

Wie beim Trolley-Bus braucht die Oberleitung des E-Trucks zwei Fahrdrähte.

