Sonderdruck zum Thema Energiedichte flüssiger Kraft- und Brennstoffe

FUELS | LUBES | ENERGY

Das Fachmagazin des Energiehandels

09|2026

In den 4,7 Millionen deutschen Heizölverbraucheranlagen steht eine sichere, wirtschaftliche und perspektivisch zunehmend erneuerbare Energiereserve von etwa 140 TWh zu Verfügung.

Dank der hohen Energiedichte flüssiger Kraft- und Brennstoffe und der vorhandenen Infrastruktur beträgt die Leistungsvorhaltung für die energetische Pkw-Betankung aller deutschen Tankstellen über 2.000 GW.

Hohe Energiedichte – hohe Alltagstauglichkeit

Mit ihrer vergleichsweise hohen Energiedichte bieten flüssige Kraft- und Brennstoffe Versorgungssicherheit, Resilienz und Alltagseffizienz. Sie ermöglichen eine Hochleistungs-Infrastruktur zur Deckung des alltäglichen Bedarfs der Menschen an Wärme und Mobilität. Aus erneuerbaren Quellen hergestellt kommt zu ihrer ausgeprägten Funktionalität auch noch Klimaschutz und zunehmende Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern hinzu. Eine Tendenz-Analyse.

Warum ist die Energiedichte eines Energieträgers eine entscheidende Eigenschaft? Weil sie für den alltäglichen Gebrauch ebenso von Bedeutung ist, wie für die Bereitstellung über die etablierten Logistikstrukturen und Versorgungsmöglichkeiten sowie die dabei entstehenden Kosten.

Im Unterschied zu verschiedenen Interessengruppen in Politik und Wirtschaft ist für alle, die technologieoffen und pragmatisch vorgehen die Entscheidung für einen Energieträger aufgrund seiner Energiedichte mehr als angebracht.

Und dabei haben flüssige Brenn- und Kraftstoffe eine ganz wesentliche Stärke.

Nutzen pro Volumen

Betrachten wir dazu einige Daten: Man kann die Energiemenge im Verhältnis zum Gewicht eines Stoffes bestimmen. Dabei gerät man allerdings schnell an Grenzen und vergleicht die sprichwörtlichen Äpfel mit Birnen, wenn man etwa Strom, Gas, feste oder flüssige Energieträger betrachtet.

Fotos: KI-generiertes Bild, Dontree – stock.adobe.com

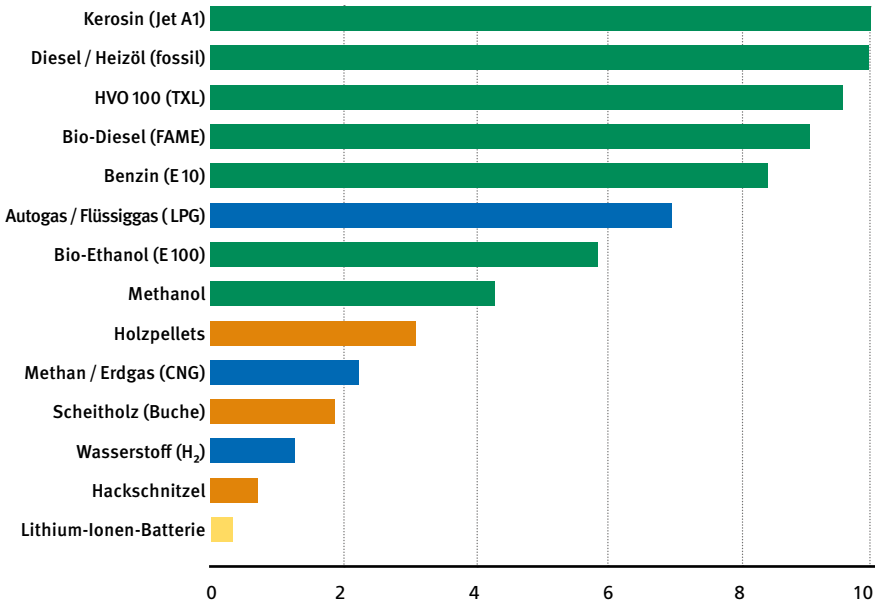
Beispiel gefällig? Ein Kilogramm unkomprimiertes Erdgas hat bei Normaldruck und unter Standardbedingungen ein Volumen von etwa 1,2 bis 1,4 Kubikmetern und einen Energieinhalt von etwa 8 bis 13 kWh. Pro Kilogramm liegt dieser etwa in der Größenordnung von Heizöl EL. Allerdings entspricht ein Kilo Heizöl etwa 1,2 Liter. Für die gleiche Energiemenge benötigt Erdgas im Normalzustand also rund das 1.000-fache Volumen. Nicht umsonst wird Erdgas unter Druck gespeichert und befördert, wozu natürlich zusätzliche Energie benötigt wird. Gleiches gilt auch für Wasserstoff, der als kleinstes, nur aus zwei Atomen bestehendes Molekül unkomprimiert noch einmal um beinahe den Faktor 8 leichter ist als Erdgas. Und Strom wiegt im eigentlichen Sinne überhaupt nichts.

Es ist also durchaus sinnvoll, die Energiedichte der für Mobilität und Wärmeerzeugung im Endverbrauchermarkt üblicherweise genutzten Energieträger nicht anhand ihres Gewichtes, sondern ihres Volumens zu vergleichen. Die Frage lautet dementsprechend: Wie viele Kilowattstunden (kWh) lassen sich in einem Würfel mit einer Kantenlänge von zehn Zentimeter – was einem Liter (l) gleichkommt – speichern? Man spricht bei dieser Betrachtungsweise von der volumetrischen Energiedichte – auch, wo es passt, vom Heiz- oder vom Brennwert.

In eine übliche Lithium-Ionen-Batterie „passen“ volumetrisch etwa 0,35 – 0,5 kWh/l. Erdgas kommt bei Normaldruck auf 0,01 kWh/l, in einem Speicher, komprimiert bei beispielsweise 200 bar auf 2,1 bis 2,3 kWh/l. Methanol erreicht ca. 4,3 kWh/l und (Bio-)Ethanol ca. 5,9 kWh/l. Bei Flüssiggas (Autogas, bzw. Heizgas, das im Wesentlichen aus Propan besteht) liegt die Energiedichte bereits zwischen 6,6 und 7,2 kWh/l, auch hier technisch komprimiert. Deutlich besser schneidet schon Benzin (Ottokraftstoff mit 8,4 bis 8,9 kWh/l) ab. Spitzenreiter aber sind mineralischer Dieselkraftstoff, Heizöl und HVO (hydriertes Pflanzenöl) mit ca. 9,5 bis 9,9 kWh/l.

Der Vollständigkeit halber seien noch die Festbrennstoffe erwähnt. Da der auf das Volumen bezogene Wert hierbei von der Schüttdichte abhängt, ist es bei Festbrennstoffen tatsächlich sinnvoll, die Energiedichte pro Kilogramm (kg) anzugeben. Stückholz/Scheitholz wird in der Literatur mit 4 kWh/kg (etwa 1,8 bis 2,2 kWh/l) und Pellets werden mit 4,8 bis 5 kWh/kg (etwa 3,3 kWh/l) angegeben. Bei Holz als Brennstoff gibt es dazu noch deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Holzarten (Fichte, Buche etc.).

Volumenbezogene Heizwerte der Energieträger
Angaben in (kWh/l)



Vergleich der volumetrischen Energiedichten (heizwertbezogen) in kWh pro Liter unterschiedlicher Energieträger, wobei:
- Flüssigkraft- und -brennstoffe unter atmosphärischen Bedingungen
- Wasserstoff, Flüssiggas und Methan/Erdgas druckbeaufschlagt mit jeweils 700 bar, 8 bar und 200 bar
- Holzpellets, Hackschnitzel lose geschüttet, Scheitholz gestapelt
- Batterie reale System-/Packebene im Fahrzeug

Quelle: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) / https://www.chemie.de/lexikon/Kraftstoff.html, Grafik: UNITI Services GmbH

Energiedichte macht Tankstellen zu „Leistungszentren“

Auch wenn sich kaum jemand beim Tanken über die Energiedichte seines Kraftstoffes Gedanken macht, ist sie doch ausschlaggebend, z. B. für kurze Tankzeiten, hohe Reichweiten und damit für sichere und unabhängige Mobilität. Wenn in ca. zwei Minuten der 60-Liter-Tank eines durchschnittlichen Mittelklasse-Pkw von „Leer“ zu „Voll“ betankt werden kann, ist das zunächst eine scheinbar „unspektakuläre“ Alltagsgewohnheit.

Aber was steckt physikalisch hinter einem solchen Betankungsvorgang?

Hier landen in einer dreißigstel Stunde etwa 600 Kilowattstunden Energie im Fahrzeugtank. In diesem Fallbeispiel erfolgt also die „energetische Aufladung“ des Fahrzeugs mit einer Leistung in Höhe von 18.000 Kilowatt.

Diese Aufladung mit einem Flüssigkraftstoff ermöglicht dem Fahrzeug dann wiederum Reichweiten von etwa 800 bis 1.000 Kilometern. Dabei wiegt der Kraftstoff im Tank weniger als 60 Kilogramm und ist volumetrisch nicht größer als ein Würfel mit 40 cm Kantenlänge.

Wirft man an dieser Stelle einen Seitenblick auf technische Kenngrößen der Ladeleistung von Elektroladesäulen, bekommt man tendenziell ein Gefühl für die Höhe der „energetischen Ladeleistung“, wenn Fahrzeuge an der Zapfstelle einer Tankstelle mit flüssigen oder gasförmigen Energieträgern (Molekülen) betankt werden, deren Energiedichten die Werte der heute üblichen Flüssigkraftstoffe aufweisen.

Anhand dieses Fallbeispiels kann nun im Anschluss die Leistungsvorhaltung einer Tankstelle ermittelt werden:

Fallbeispiel

Schritt 1: Tankvorgang eines Pkw aus physikalischer Sicht

Energetische „Ladeleistung“ = $\frac{60\,\text{l}}{2\,\text{min}} \triangleq \frac{600\,\text{kWh}}{\frac{1}{30}\,\text{h}} = 18.000\,\text{kW}$

l	vertankte Kraftstoffmenge in Liter
kWh	vertankte Energie in Kilowattstunden (1 Liter entspricht dabei ca. 10 kWh Energiegehalt)
min, h	Dauer des Betankungsvorgangs in Minuten oder Stunden
kW	Leistung des Tankvorgangs bzw. der „energetischen Aufladung“ des Pkw mit Flüssigkraftstoff

Schritt 2: Leistungsvorhaltung an einer typischen Tankstelle

Vorhaltung der energetischen „Ladeleistung“ an einer Tankstelle = 18.000 kW × 8 = 144.000 kW

Annahme: Anzahl der Zapfstellen an der Tankstelle mit gleichzeitiger Pkw-Betankungsmöglichkeit = 8

Schritt 3: Leistungsvorhaltung des gesamten Tankstellennetzes in Deutschland

Vorhaltung der energetischen „Ladeleistung“ Tankstellennetz = 14.000 × 144.000 kW = 2.016 GW.

Annahme: Anzahl der öffentlichen Tankstellen in Deutschland = 14.000.

Quelle: Eigene Berechnungen

Unter der Annahme, dass eine typische Tankstelle acht Zapfstellen besitzt – also vier Säulen, die sich von beiden Seiten gleichzeitig nutzen lassen – könnten acht Pkw gleichzeitig betankt werden.

In diesem Fall beträgt die maximal abrufbare Gesamtleistung für die energetische Aufladung an dieser Tankstelle sage und schreibe 144.000 kW! Das Vorhalten einer „Ladeleistung“ von dieser Größenordnung ist nur möglich mit Energieträgern, die:

- Unter Umgebungsbedingungen transportier- und speicherbar sind,
- eine hohe Energiedichte besitzen
- und während der Lagerung keine energetischen Verluste aufweisen.

Diese Voraussetzungen erfüllen, wie bereits gezeigt wurde, die konventionellen, aber auch die zukünftigen erneuerbaren Flüssigkraftstoffe, wie HVO oder E-Fuels. Besonders in Stoßzeiten oder wenn die Autoinsassen zügig ans Ziel kommen wollen, wird diese vorgehaltene Ladeleistung an der Tankstelle von allen – bewusst oder unbewusst – in hohem Maße wertgeschätzt und gebraucht.

Mit dieser „Tankstellen-Physik“ gehen wir nun gedanklich noch einen Schritt weiter: In Deutschland gibt es etwa 14.000 öffentliche Tankstellen. In Fortsetzung des Fallbeispiels bewegt sich die Leistungsvorhaltung für die energetische Aufladung mit Flüssigkraftstoff damit insgesamt in einer Größenordnung von rund 2.000 Gigawatt.

Seitenblick zur Einordnung: Ende 2025 waren an Land 29.226 Windenergieanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von etwa 68 Gigawatt in Betrieb[1]. Das entspricht etwa einem Dreißigstel der Leistungsvorhaltung für die „energetische Aufladung“ von Pkw mit Flüssigkraftstoffen an deutschen Tankstellen.

Spätestens hier wird deutlich, dass das heutige Tankstellennetz eine unschätzbar werthaltige Versorgungs- und Infrastruktur ist. In diesen Betrachtungen sind Lkw-Betankungen oder die Versorgung über Eigenverbrauchstankstellen noch nicht einmal berücksichtigt. Die Analysen legen den Schluss nahe, dass auch zukünftig Flüssigkraftstoffe mit ihren hohen Energiedichten und die Versorgung über die Tankstelle erforderlich sein werden, wenn auf die gewohnten und effizienten Abläufe im Alltag nicht verzichtet werden soll.

Sicherheit und Flexibilität auch im Heizungskeller

Ähnliche physikalische Zusammenhänge zur Energiedichte gelten natürlich auch im Heizungskeller: In einer klassischen Heizölverbraucheranlage lassen sich bei überschlägiger Betrachtung etwa 3.000 Liter Heizöl speichern, die in vielen Fällen für etwa ein bis zwei Jahre eine verlässliche und kostentransparente Wärmeversorgung sicherstellen können. Das Volumen dieses Energievorrats in den eigenen vier Wänden in Höhe von 30.000 kWh umfasst einen Würfel mit einer Kantenlänge von weniger als 150 Zentimetern. Rechnet man hier mit 4,7 Millionen Ölheizungsanlagen in Deutschland mit durchschnittlich je 3.000 Liter Fassungsvermögen, ergäbe das ein Energiebevorratungspotenzial in Höhe von rund 141.000 Gigawattstunden.

Seitenblick zur Einordnung: Die nationalen Pumpspeicherkraftwerke haben eine Speicherkapazität von insgesamt 39 Gigawattstunden, die Kapazität der stationären Batteriespeicher liegt bei ca. 31 Gigawattstunden[2]. Dabei müssen diese Stromspeicher zur Abdeckung des Strombedarfs in allen Verbrauchssektoren beitragen, nicht nur im Wärmemarkt.

Die Möglichkeit der Versorgung ländlicher Regionen bis hin zu Stadtrandlagen, wo Fernwärme und Gasleitungsnetze schnell aufgrund geringerer Anschlussdichten an einem wirtschaftlich sinnvollen Angebot scheitern, hängt ebenfalls mit der Energiedichte des Flüssigbrennstoffes zusammen. Die Tankfahrzeuge im Verteilerverkehr mit z. B. 12.000 Liter Tankinhalt haben –

Vergleich der Energiespeicherpotenziale in Deutschland in Gigawattstunden

Zur Veranschaulichung

In der Cheops-Pyramide mit ihrem Volumen von fast 2,6 Millionen Kubikmeter könnte man auf Grund ihrer unterschiedlichen Energiedichten optional nebenstehende Energiemengen speichern (in Terawattstunden):

Diesel/Heizöl	26 TWh
HVO 100	25 TWh
Benzin	22 TWh
(Bio-)Ethanol	15 TWh
Flüssiggas (LPG bei 5 – 12 bar)	18 TWh
Methanol	11 TWh
Erdgas (bei 200 bar)	6 TWh
Wasserstoff (bei 700 bar)	3 TWh

Flüssigbrennstoff

Und wäre das ägyptische Mausoleum eine gigantische Lithium-Ionen-Batterie, würde sie gerade rund 1 TWh elektrische Energie aufnehmen können.

voll aufgetankt – eine Energiemenge an Bord, die dem Jahreswärmebedarf von gut 4 bis 6 Ein- und Zwei-Familienhäusern entspricht. Energiedichte spielt auch beim Betanken der Heizöltanks selbst eine Rolle: Wenn beispielhaft eine 3.000 Liter-Anlage aus dem Tankfahrzeug in ca. 10 bis 15 Minuten reiner Füllzeit befüllt werden kann, liegt die Leistung der „energetischen Aufladung“ dieser Tankanlage rechnerisch zwischen 120.000 bis 180.000 kW. Auch dadurch werden zeiteffiziente Liefer- und Verladeprozesse über Energiedichte abgesichert.

Fazit und Ausblick

Für die Alltagstauglichkeit eines Energieträgers ist die Energiedichte eine wesentliche Kenngröße. Aus dieser ergeben sich Speicherpotenziale und Leistungsparameter, die für effiziente Prozesse und für die Resilienz der Energieversorgung eine wichtige Grundlage bilden. Somit hat sich über Jahrzehnte ein Markt herausgebildet, der bis heute zu einer Gesamt-Energiemenge an flüssigen Kraft- und Brennstoffen (einschl. Flüssiggas) von insgesamt etwa 740 TWh geführt hat (etwa 30 Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs). Zum Vergleich: Der Bruttostromverbrauch lag 2025 bei knapp 530 TWh.

Die Energiemenge an flüssigen Brenn- und Kraftstoffen stellt damit eine sichere und – bei Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck – leicht speicher- und transportierbare Energiereserve dar, die während der Dauer der Lagerung energetisch verlustfrei bleibt. Die Energiedichte sichert zeiteffizientes Handling bei logistischer Abwicklung und energetischer Aufladung.

Gleichzeitig erscheint bereits zum heutigen Zeitpunkt die Umstellung dieser erheblichen Menge an sicherer und bezahlbarer Energie auf erneuerbare Flüssigkraft- und Brennstoffe möglich, die gleichermaßen über die hohe Energiedichte und hervorragende Lagerstabilität verfügen. Im Handling kommen sie ebenso ohne technische Hilfsmaßnahmen aus. Damit haben sie auch das Potenzial zur Erfüllung der ehrgeizigen deutschen Klimaziele.

Ob eine Verdopplung der Energiemenge aus erneuerbarem Strom in nur 19 Jahren möglich ist, was dies kostet und ob eine Leistungsabdeckung in den erforderlichen Größenordnungen ansatzweise erreichbar sein wird, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Ebenso wenig einschätzbar ist die Versorgungssicherheit aller voraussichtlich hinzukommenden Stromverbrauchseinrichtungen, wie Wärmepumpen, batterieelektrische Antriebe, Industrieprozesse, Klimaanlagen, Rechenzentren usw. Gelingt dagegen die Transformation von den heutigen konventionellen zu den erneuerbaren Flüssigkraft- und Brennstoffen, die chemisch-physikalisch eine entsprechende Energiedichte mitbringen, kann diese Frage eindeutig mit „JA“ beantwortet werden. Dadurch werden die vorhandenen Infra-, Speicher- und Versorgungsstrukturen für flüssige Energieträger volkswirtschaftlich noch einmal wertvoller, als sie es ohnehin schon heute sind. HHManz

Bei Flüssigkraftstoffen liegt – unerreicht von anderen Energien – die Energiedichte bei ca. 10 Kilowattstunden pro Liter

Quelle: Frontier Economics

[1] „Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland im Jahr 2025“, Fachagentur Wind und Solar e.V.

[2] Figgener et al., The development of battery storage systems in Germany: A market review (status 2023), 2023 / battery-charts.de/battery-charts, August 2026

Für Fragen zum Thema Energiedichte und den Berechnungen stehen die Fachautoren dieses Beitrages Dirk Arne Kuhrt (Geschäftsführer, UNITI) und Dr. Dirk-Michael Scholl (Leiter Technische Regulierungen, UNITI) gern als Ansprechpartner zur Verfügung.

Foto: Schütz, Grafik: BeNeed Vactory, kypicsstudio – stock.adobe.com