

# ANTRIEBSFORMEN

*energie*



Die Busflotte der Basler Verkehrs-Betriebe (BVB) besteht aktuell aus Diesel- und Gasbussen sowie aus einem batterieelektrischen Bus (E-Bus). Die BVB plant, die gesamte Flotte bis 2027 zu modernisieren und komplett auf E-Busse umzustellen. Dadurch wird auch die gesetzliche Vorgabe erfüllt, dass der ÖV im Kanton Basel-Stadt bis 2027 mit 100 Prozent erneuerbarer Energie betrieben werden muss.

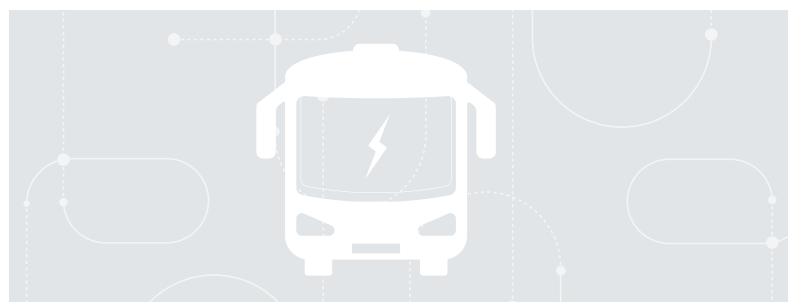
Die BVB hat in einer umfangreichen Machbarkeitsstudie verschiedene Antriebsformen geprüft, welche die gesetzliche Anforderung auf 100 Prozent erneuerbare Energie erfüllen. Neben dem E-Bus, für den sich die BVB entschieden hat, waren dies der H<sub>2</sub>-Brennstoffzellenbus («Wasserstoffbus»), der Biogasbus, der Trolleybus sowie Plug-In-Hybridbusse, sofern sie ausschliesslich mit erneuerbarem Strom und mit Biodiesel oder Biogas betrieben werden.

Nachfolgend werden die einzelnen Antriebsarten vorgestellt, wobei vor allem auf den E-Bus, den Wasserstoffbus und den Biogasbus fokussiert wird.

## BATTERIEELEKTRISCHER BUS (E-BUS)

Der batterieelektrische Bus wird von einem Elektromotor angetrieben, der seine Energie aus einer Batterie bezieht. Diese wird entweder über einen Pantographen oder über ein Kabel mit einer Ladestation geladen. Die BVB hat sich entschieden, auf die Pantographenlösung zu setzen. Der Ladevorgang dauert rund vier bis fünf Stunden, es sind aber auch Schnellladungen innerhalb von 40 Minuten und weniger möglich. Es gibt zwei mögliche Arten der Ladung: das Laden in der Abstellhalle («Depotladung») und das Nachladen an Endhaltestellen auf der Strecke («Gelegenheitsladung»). Die BVB setzt primär auf die Depotladung. Um Flexibilität im Betrieb zu gewinnen und aufgrund der für gewisse lange Umläufe noch nicht ausreichenden Batteriekapazität sind aber an fünf Endhaltestellen Gelegenheitsladestationen vorgesehen, an denen die E-Busse Energie nachladen können.

E-Busse sind über den gesamten Lebenszyklus gesehen sehr umweltfreundlich und stossen im Betrieb keinerlei Treibhaus-



gase aus (siehe Factsheet «Schadstoffe»). Sie verursachen beim Fahren praktisch nur Rollgeräusche und sind daher leiser als die heutigen BVB-Busse (siehe Factsheet «Lärmemissionen»). Hingegen sind sie in der Anschaffung etwa 40 Prozent teurer, aber deutlich günstiger als Wasserstoffbusse.

E-Busse sind sehr energieeffizient: Sie haben einen «Well-to-Wheel-Wirkungsgrad»<sup>1</sup> von über 50 Prozent, wenn nur der Fahrbetrieb betrachtet wird sogar von über 70 Prozent. Sie haben je nach Batteriegrösse, Topografie, Temperatur und Fahrgastaufkommen eine Reichweite von bis zu 220km. Dank der Batterie können sie beim Bremsen sehr viel Energie wiedergewinnen («rekuperieren»). Gerade im Stadtverkehr mit vielen Beschleunigungs- und Bremsmanövern ist dies ein grosser Vorteil des E-Busses, weil es den Energieverbrauch reduziert. Der E-Bus der BVB beispielsweise rekuperiert rund 40 Prozent der zugeführten Energie.

<sup>1</sup> Der Wirkungsgrad, der neben dem Fahrbetrieb auch die Treibstoffbereitstellung umfasst.

## H<sub>2</sub>-BRENNSTOFFZELLENBUS (WASSERSTOFFBUS)

Auch der Wasserstoffbus verfügt über eine Batterie, die einen Elektromotor antreibt. Diese Batterie wird aber nicht wie beim E-Bus mit einer Ladestation geladen, sondern über eine Brennstoffzelle im Bus. Die Batterie ist kleiner als beim E-Bus, kann aber beim Bremsen ebenfalls Energie rekuperieren. Die Brennstoffzelle benötigt reinen Wasserstoff und Sauerstoff aus der Umgebung. Als Abfallprodukt entsteht reines Wasser. Im Unterschied zu E-Bussen gibt es von Wasserstoffbussen bisher nur Kleinserien. Darum sind auch die Preise nach wie vor hoch, Wasserstoffbusse sind rund 10 bis 20 Prozent teurer als E-Busse.

Wie E-Busse stossen auch Wasserstoffbusse im Fahrbetrieb keine Treibhausgase aus. Allerdings ist die Wasserstoffherstellung sehr energieintensiv und teuer. Über den gesamten Lebenszyklus gesehen sind die Treibhausgasemissionen von Wasserstoffbussen etwa doppelt so hoch wie diejenigen von E-Bussen.

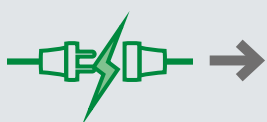
Heute wird über 90 Prozent des Wasserstoffs aus Erdgas hergestellt. Deshalb erfüllt Wasserstoff die gesetzliche Vorgabe auf 100 Prozent erneuerbare Energie aktuell nicht. Wasserstoff kann auch über Elektrolyse mit erneuerbarem Strom hergestellt werden. Im Vergleich zum E-Bus muss hier die Energie zusätzlich zweimal umgewandelt werden: einmal zur Produktion des Wasserstoffs und einmal in der Brennstoffzelle, welche die Batterie lädt. Beim E-Bus braucht es diese Umwandschritte nicht. Deshalb ist auch der Well-to-Wheel-Wirkungsgrad des Wasserstoffbusses deutlich schlechter. Er beträgt unter Berücksichtigung der Wasserstoffherstellung und des Betriebs des Busses nur rund 20 Prozent. Hingegen haben Wasserstoffbusse mit bis zu 500km eine grössere Reichweite als E-Busse. Sie bieten sich eher für den Überlandbetrieb an, für den sich E-Busse wegen der heute noch geringeren Reichweite weniger gut eignen. Wie E-Busse verursachen Wasserstoffbusse praktisch nur Rollgeräusche.

### WIRKUNGSRADE («WELL-TO-WHEEL»)

E-BUS



Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen.



Strom wird über das Stromnetz in die Ladestation übertragen.



Strom wird aus der Ladestation in die Batterie des E-Busses geladen, die den Elektromotor antreibt. **(über 50 %)**

WASSERSTOFFBUS



Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen.



Produktion von Wasserstoff über Elektrolyse.



Wasserstoff wird in die Brennstoffzelle getankt.



Der Wasserstoff wird in der Brennstoffzelle mit Sauerstoff zu Strom umgewandelt, der in einer Batterie gespeichert wird. Diese Energie treibt den Elektromotor des Busses an. **(ca. 20 %)**

BIOGASBUS



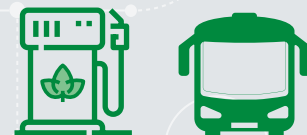
Sammeln von Lebensmittel- und Grünabfällen.



Transport zur Biogasanlage, Produktion von Biogas aus der Vergärung von Lebensmittel- und Grünabfällen.



Biogas wird komprimiert und einem Tank gelagert.



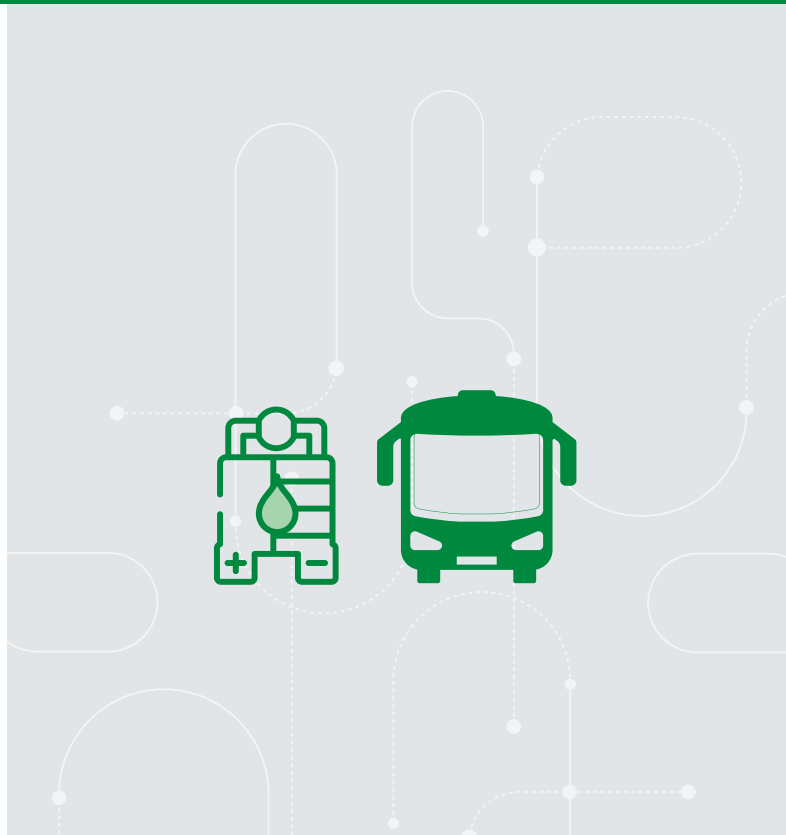
Biogas wird in Bus getankt und treibt den Motor an. **(ca. 20 %)**

### BIOGASBUS

Biogasbusse beziehen ihre Energie aus Biogas. Gemäss der gesetzlichen Vorgabe dürfen keine Agrotreibstoffe<sup>2</sup> verwendet werden, womit für die BVB nur Biogas aus der Vergärung von Gülle, Klärschlamm sowie Pflanzen- und Lebensmittelabfällen in Frage käme. Dieses ist allerdings beschränkt verfügbar. Vom Antrieb her unterscheidet sich ein Biogasbus nicht von einem normalen Gasbus.

Biogasbusse stossen im Betrieb etwas Methan aus. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet fallen vor allem in der Treibstoffbereitstellung grosse Methanmengen an und die Ökobilanz ist wesentlich schlechter als bei E-Bussen. Sie verursachen zudem auch Antriebsgeräusche.

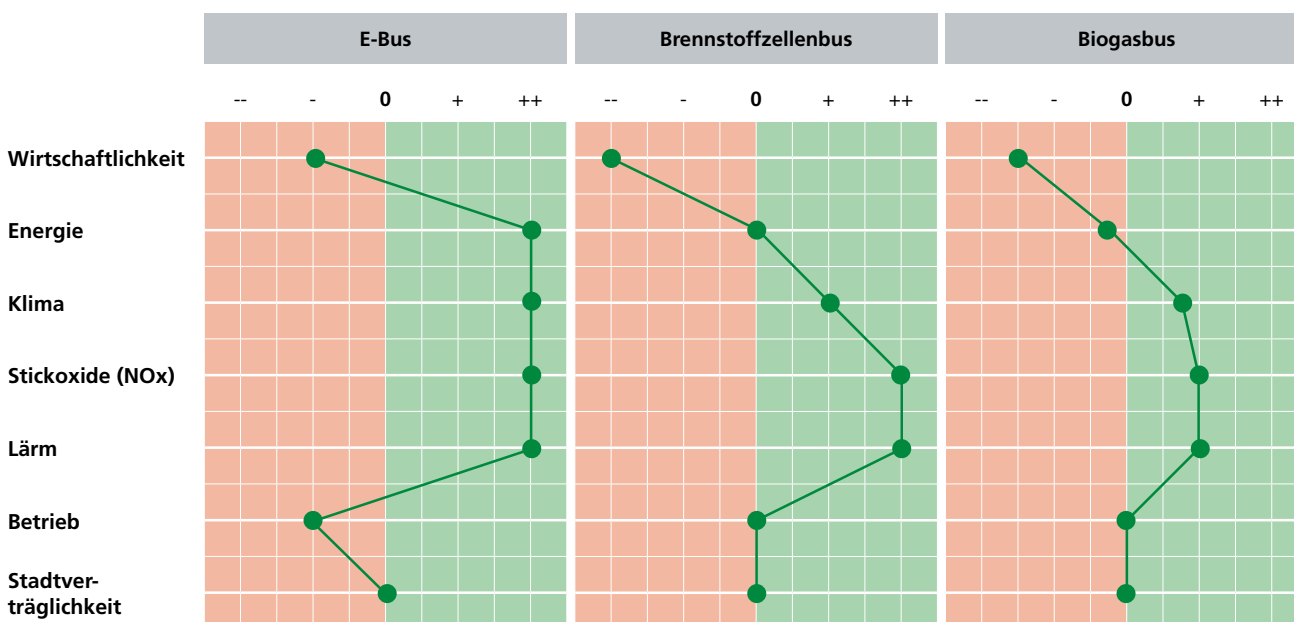
Kostenmässig sind Biogasbusse günstiger als E-Busse. Der Well-to-Wheel-Wirkungsgrad liegt jedoch bei rund 20 Prozent und ist damit wesentlich tiefer als bei E-Bussen.



<sup>2</sup> Agrotreibstoffe sind Treibstoffe, die aus Nahrungs- und Ölpflanzen hergestellt werden.

#### Zum Vergleich:

0 ist der Wert vom Dieselbus



Quelle: Infrac.

## WEITERE ANTRIEBSFORMEN

### Trolleybus

Der Trolleybus ist ein Elektrobus, der seine Energie aus einer Oberleitung bezieht. Im Unterschied zum E-Bus besteht ein Nachteil darin, dass in Basel hohe Investitionskosten für die Oberleitungsinfrastruktur nötig wären. Zudem sind Trolleybusse weniger flexibel bezüglich Linienführung und Linienweiterungen, beispielsweise bei einem Baustellenersatzverkehr. Allerdings werden diese Nachteile heute vermehrt kompensiert, indem Trolleybusse mit Traktionsbatterien ausgestattet werden, um über gewisse Strecken ohne Oberleitung fahren zu können. Der Trend geht dahin, dass die Batterien immer grösser werden. Damit können die Strecken mit Oberleitung reduziert werden und der Einsatz der Busse wird flexibler. Insofern entwickelt sich der Trolleybus auf den E-Bus zu. Trotzdem ist ein Trolleybus nur dann wirtschaftlich, wenn bereits ein Teil des Oberleitungsnetzes besteht und dieses nicht komplett neu gebaut werden muss.

### Hybrid- und Plug-In-Hybrid

Hybrid- und Plug-In-Hybridbusse kombinieren den Elektroantrieb mit einem Dieselantrieb. Dies ermöglicht es, die Nachteile des jeweils anderen Antriebs zu reduzieren: Dank dem Dieselmotor kann die geringere Reichweite des Elektroantriebs aufgehoben werden. Umgekehrt werden mit dem Elektromotor, unter anderem dank der Möglichkeit, Bremsenergie zu rekuperieren, die Einsparung von Treibstoff und eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von 20 bis 30 Prozent möglich. Hybridbusse werden ausschliesslich über den flüssigen (oder gasförmigen) Treibstoff mit Energie versorgt. Plug-In-Hybridbusse verfügen über eine grössere Traktionsbatterie als normale Hybridbusse und können auch an der Steckdose aufgeladen werden. Die gesetzliche Vorgabe auf 100 Prozent erneuerbare Energie ist nur erfüllt, wenn die Busse mit 100 Prozent Biodiesel (oder Biogas) betrieben werden.



### FAZIT

- E-Busse sind aus ökologischer Sicht die beste Antriebstechnologie für das Netz der BVB: Sie stossen lokal keine Schadstoffe aus und sind über den gesamten Lebenszyklus gesehen die umweltfreundlichste Technologie.
- E-Busse zeichnen sich insbesondere durch ihre Energieeffizienz und die Fähigkeit zur Rekuperation aus. Damit sind sie für den Stadtverkehr mit vielen Bremsvorgängen geradezu prädestiniert.
- E-Busse sind für das Netz der BVB die wirtschaftlichste Lösung.

*energie*

