

Voici des alternatives aux bus diesel

06|06|19|litra. Les transports publics comptent parmi les moyens de transport les plus durables de Suisse: Alors que les émissions de CO₂ provenant du transport motorisé individuel et des camions représentent environ 94% des émissions totales des transports, les transports publics ne contribuent même pas à hauteur de 4% aux émissions¹. La majeure partie des émissions de CO₂ des transports publics est due ici aux lignes de bus (VöV 2018). Les transports publics suisses contribuent donc très largement à une mobilité durable. Un bus articulé diesel consomme encore plus de 50 litres aux 100 kilomètres (DPA 2018). Avec l'évolution rapide de la technologie des batteries, se pose aujourd'hui la question suivante: Quelles sont les chances de rendre les transports publics encore plus durables? Des transports publics à zéro émission de CO₂ sont-ils possibles à l'avenir? Marc Vetterli a examiné la question.

La ville de Hambourg a récemment ajouté à sa flotte le premier bus électrique de série et ne commandera plus, à partir de 2020, que des autobus à motorisation électrique (Pander 2018). L'Europe est, en ce qui concerne ce sujet, à la traîne depuis un certain temps déjà: 99% de tous les bus électriques du monde entier circulent en Chine. À Shenzhen, une ville de plus d'un million d'habitants, les 17 000 bus fonctionnent uniquement à l'énergie électrique (Schultz und Zand 2018). Les start-ups et les entreprises chinoises sont désormais leaders sur le marché des bus électriques. Les constructeurs européens ont pris le train en marche très tard. Mercedes-Benz n'a présenté son «eCitaro», le premier bus électrique compatible avec une fabrication en série, qu'à l'automne dernier (Fockenbrock 2019). Ainsi, alors que la Chine progresse rapidement, il se passe relativement peu de choses en Europe. Mais des changements majeurs y sont susceptibles de se produire dans quelques années également.

Systèmes d'entraînement différents

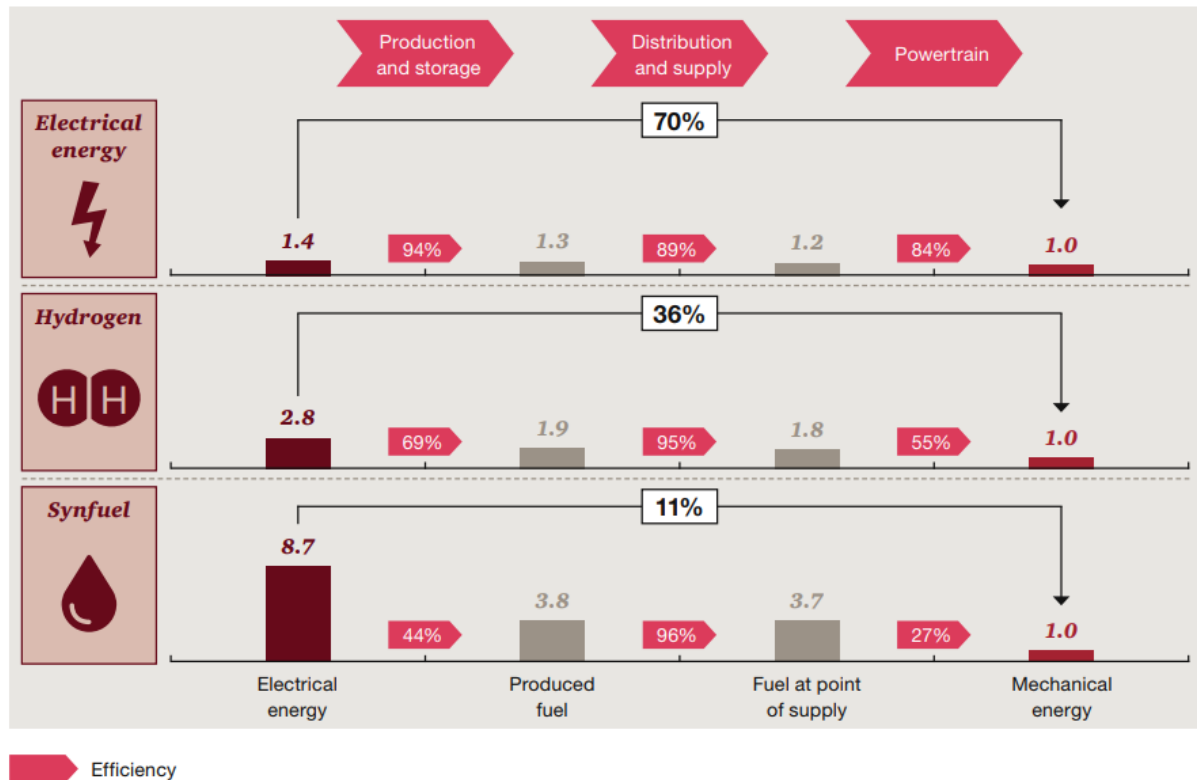
Il existe actuellement plusieurs systèmes d'entraînement pour les autobus:

- Bus diesel
- Trolleybus
- Trolleybus avec batterie
- Bus électrique avec batterie (bus à batterie)
- Bus hybride (diesel et batterie)
- Bus à hydrogène

Les bus diesel fonctionnent de manière fiable, sont relativement bon marché et ont une grande autonomie. L'inconvénient est qu'ils ont des coûts de carburant plus élevés et qu'ils sont mauvais pour l'environnement. Les bus à hydrogène sont plutôt rares en Suisse. Ils ont certes l'avantage d'avoir une très grande autonomie et le plein peut être fait en 10 minutes. Si l'hydrogène est produit par électrolyse avec de l'énergie renouvelable, aucun CO₂ n'est généré. Mais la pile à combustible nécessaire contient d'une part du platine et, d'autre part, la production est très onéreuse en raison de l'absence d'économies d'échelle, de sorte que les bus à hydrogène sont extrêmement chers. Un bus diesel standard coûte environ CHF 500 000, un bus à hydrogène environ CHF 2 millions (Krieger 2017; Bucher 2018). Selon une étude récente de PricewaterhouseCoopers, le rendement des bus à hydrogène n'est que de 36%, ce qui rend

¹ Hors trafic international (vols nationaux uniquement)

le carburant cher (Bollmann et al. 2017). C'est pourquoi les bus hybrides, qui ont un moteur diesel classique combiné à une petite batterie, sont encore utilisés dans de nombreux endroits. La batterie réduit légèrement la consommation de carburant, car de l'énergie est récupérée lors du freinage et peut être réutilisée pour le démarrage. Néanmoins, ils consomment encore des carburants fossiles. Dans un avenir proche, aucune de ces solutions ne gagnera donc la course. Les bus électriques sont-ils la solution?



¹ Assuming CO₂ neutral energy is used throughout the whole process chain.

Figure 1 Rendement des différents types d'entraînement (Bollmann et al. 2017)

L'avenir appartient-il aux bus à batterie?

En 2010, une batterie coûtait environ 1000 \$ par kWh. En 2017, le prix était d'environ 200 \$ et il devrait encore baisser. Pour 2025, un prix de 96 \$ par kWh est attendu (Bloomberg New Energy Finance 2018). Grâce à ce développement, les distances parcourues par les bus se sont également considérablement accrues et sont aujourd'hui d'environ 170 kilomètres pour le nouvel eCitaro au quotidien en hiver et de 280 kilomètres dans des conditions idéales (Weissenborn 2019). Ce sont déjà de bonnes valeurs, cependant, elles ne peuvent pas couvrir tous les domaines d'application des bus diesel car ceux-ci parcourent souvent beaucoup plus de 170 kilomètres par circuit (Knote 2017). Il existe désormais deux possibilités pour régler ce problème: Premièrement, il est possible de charger les bus lorsqu'ils sont en déplacement. Cela peut se faire pendant le trajet, aux arrêts normaux ou au terminus. Le temps de trajet du bus peut être également raccourci, il retourne alors au dépôt plus tôt et est remplacé par un deuxième bus. Mais ces solutions posent un autre problème: Elles sont onéreuses et conduisent à des restrictions opérationnelles. L'infrastructure de chargement rapide pour les arrêts est très chère, une réduction du temps de trajet nécessite plus de chauffeurs et plus de véhicules. Cela mis à part, les bus électriques sont encore beaucoup plus chers à l'achat que les bus diesel classiques: Un bus électrique coûte en général près du double d'un bus diesel (Bucher 2018). Alors tout cela ne serait-il qu'un grand battage médiatique sur les bus électriques?

Coût du cycle de vie en comparaison avec un bus diesel

Selon une étude de Bloomberg, les bus à batterie sont déjà moins chers que les bus diesel, selon le domaine d'application, si l'on considère les coûts sur l'ensemble du cycle de vie d'un bus. À long terme, cette tendance se poursuivra avec l'augmentation de l'autonomie et la baisse du prix des bus électriques. L'autonomie des bus électriques continuera d'augmenter dans les années à venir (Bloomberg New Energy Finance 2018). Mais les villes suisses possèdent aussi un autre avantage: Des réseaux de trolleybus existent déjà dans de nombreuses villes. Ceux-ci peuvent être parfaitement combinés avec des bus à batterie. Comme il est mentionné plus haut, les infrastructures de chargement rapide ou le raccourcissement des horaires sont très onéreux (Bucher 2018). Cependant, si le bus à batterie est chargé pendant qu'il circule sur la caténaire existante, alors les coûts des infrastructures diminuent fortement. La dite «in-motion-charging» (charge pendant le déplacement) ne nécessite pas d'infrastructures de charge coûteuses mais des caténaires, sur lesquelles les bus sont ensuite chargés pendant le trajet, peuvent être installées à des points appropriés du réseau. Dans les grandes villes, elles sont déjà disponibles, de sorte que les lignes de bus diesel peuvent être modifiées de manière relativement simple. De plus, la batterie nécessaire sera beaucoup plus petite, donc les coûts et le poids diminueront (Lenz 2014). Selon ce principe, le service des transports de Zurich souhaite électrifier les lignes 69 et 80 (Vogel 2018).

Mais à Schaffhouse, le passage complet aux bus électriques deviendra une réalité plus tôt: En 2017, le parlement de la ville a décidé de convertir l'ensemble de la flotte de bus urbains en bus électriques d'ici 10 ans. Dans un premier temps, les trolleybus existants seront transformés en trolleybus «in-motion-charging» afin d'installer ensuite les stations de chargement rapide à la gare de Schaffhouse. L'essai pilote avec des bus électriques débutera dès l'automne 2019. Les autobus circuleront alors sans impacter le climat et, à long terme, ils seront moins chers que l'achat de nouveaux bus diesel (Verkehrsbetriebe Schaffhausen 2019).

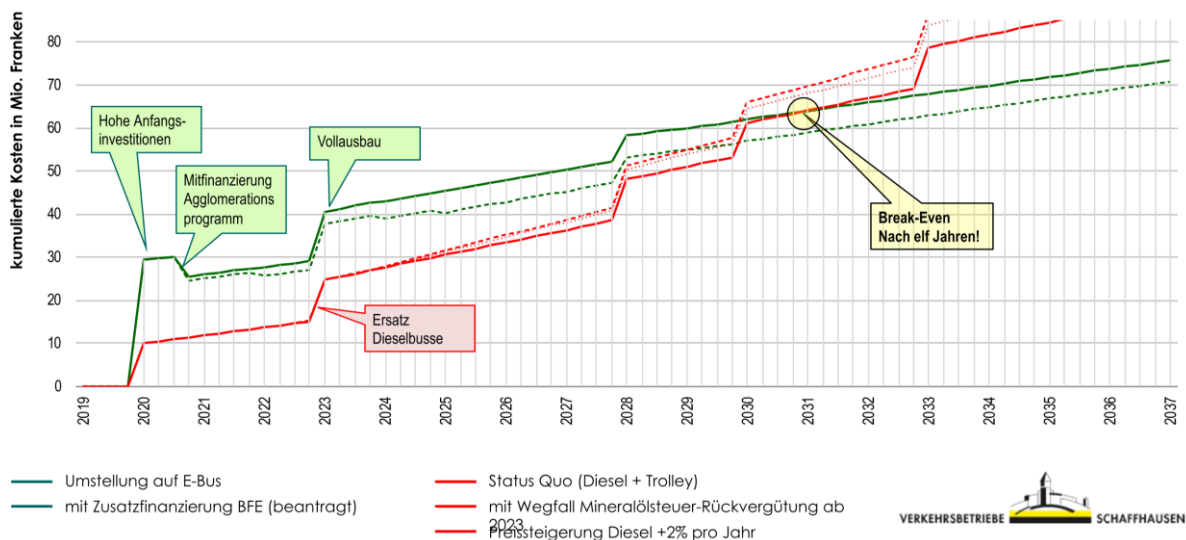


Figure 2 Comparaison des coûts totaux entre les bus diesel et électriques (Verkehrsbetriebe Schaffhausen 2019).

Les bus à batterie s'imposeront donc de plus en plus suite à l'augmentation de leur autonomie et à la diminution des coûts. Et plus il y a de bus électriques en service, plus ils sont bon marché. S'ils sont alimentés avec de l'électricité neutre en CO₂ et si les batteries sont recyclées, les transports publics suisses ne seront, à long terme, probablement plus très loin d'être exempts de CO₂ (à l'exception de l'énergie grise). Si le rendement des véhicules à hydrogène est encore

accru et si la production de piles à combustible est encore étendue, les bus à hydrogène pourraient, à très long terme, également être utilisés (Becker 2018). Mais d'ici là, les bus à batterie et les trolleybus contribueront à réduire encore les émissions des transports publics qui sont déjà très faibles.



Figure 2 Le Swiss Trolley-Plus du fabricant suisse Hess qui est rechargé avec «in-motion-charging» et peut circuler près de 10 kilomètres sans caténaire (Vogel 2018).



Figure 4 Visualisation du nouveau bus électrique articulé d'Irizar à Schaffhouse (Verkehrsbetriebe Schaffhausen 2019).

Bibliographie (en allemand)

Becker, Joachim (2018): Wasserstoff gegen Batteriepanzer. In: Süddeutsche Zeitung, 14.10.2018. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/auto/alternative-antriebe-wasserstoff-gegen-batteriepanzer-1.4162565>, zuletzt geprüft am 02.05.2019.

Bloomberg New Energy Finance (2018): Electric Buses in Cities. Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2. Hg. v. Bloomberg New Energy Finance.

Bollmann, Oliver; Neuhausen, Hörn; Stürmer, Christoph; Andre, Felix; Kluschke, Philipp (2017): From CO2 neutral fuels to emissionfree driving. PWC. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/automobilindustrie/alternative-fuels-powertrains-v2.pdf>, zuletzt geprüft am 02.05.2019.

Bucher, Michael (2018): Der neue Elektrobus – umweltschonend, aber teuer. In: Berner Zeitung, 20.12.2018. Online verfügbar unter <https://www.bernerzeitung.ch/region/bern/der-neue-elektrobus--umweltschonend--aber-teuer/story/29649020>, zuletzt geprüft am 30.04.2019.

DPA (2018): Busse liegen bei Ökobilanz deutlich vor Autoverkehr. In: Berliner Morgenpost, 2018. Online verfügbar unter <https://www.morgenpost.de/berlin/article214667817/Busse-liegen-bei-Oekobilanz-deutlich-vor-Autoverkehr.html>, zuletzt geprüft am 03.04.2019.

Fockenbrock, Dieter (2019): Nutzfahrzeughersteller: Daimler und MAN werden vom Elektro-Boom in der Busindustrie überrollt. In: Handelsblatt, 11.02.2019. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/nutzfahrzeugehersteller-daimler-und-man-werden-vom-elektro-boom-in-der-busindustrie-ueberrollt/23972820.html?ticket=ST-3649141-MfskWBIMuMmJbHoATHO3-ap6>, zuletzt geprüft am 02.05.2019.

Knote, Thoralf (2017): Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse. Fraunhofer-Institut.

Krieger, René (2017): Brennstoffzellenpostauto. Ein emissionsfreier Antrieb für unsere Umwelt, 21.11.2017.

Lenz, Erik (2014): Zukunft trifft auf Expertise: Batteriebusse mit dynamischer Nachladung. In: Nahverkehrs-Praxis. Online verfügbar unter https://www.nahverkehrspraxis.de/fileadmin/user_upload/nahverkehrspraxis/_Ausgaben/2014/04_2014/Zukunft_trifft_auf_Expertise_NP_04-14.pdf, zuletzt geprüft am 30.04.2019.

Pander, Jürgen (2018): Das war's, Diesel. Wie Elektro-Busse den Stadtverkehr verändern. In: Spiegel Online, 14.11.2018. Online verfügbar unter <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/hamburg-wie-elektro-busse-den-stadtverkehr-veraendern-a-1237060.html>, zuletzt geprüft am 02.05.2019.

Schultz, Stefan; Zand, Bernhard (2018): Elektrobusse in China. Ohne Volldampf in die Verkehrsrevolution. In: Spiegel Online, 25.06.2018. Online verfügbar unter <https://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/elektrobusse-china-startet-ins-zeitalter-der-leisen-riesen-a-1211689.html>, zuletzt geprüft am 02.05.2019.

Verkehrsbetriebe Schaffhausen (2019): Die ÖV-Zukunft für Schaffhausen beginnt jetzt! Schaffhausen stellt um auf Elektrobusse. Schaffhausen, 03.05.2019.

Vogel, Benedikt (2018): Ein Trolleybus, der auch ohne Oberleitung fährt. LITRA. Online verfügbar unter <https://litra.ch/de/aktuelles/ein-trolleybus-zurich-der-auch-ohne-oberleitung-fahrt/>, zuletzt geprüft am 02.05.2019.

VÖV (2018): Fakten & Argumente. Zum öffentlichen Verkehr in der Schweiz. Verband öffentlicher Verkehr.

Weissenborn, Stefan (2019): Hamburg: VHH bestellen 16 eCitaro mit mehr Reichweite - electrive.net. In: electrive.net, 04.04.2019. Online verfügbar unter <https://www.electrive.net/2019/04/04/hamburg-vhh-bestellen-16-ecitaro-mit-mehr-reichweite/>, zuletzt geprüft am 30.04.2019.