

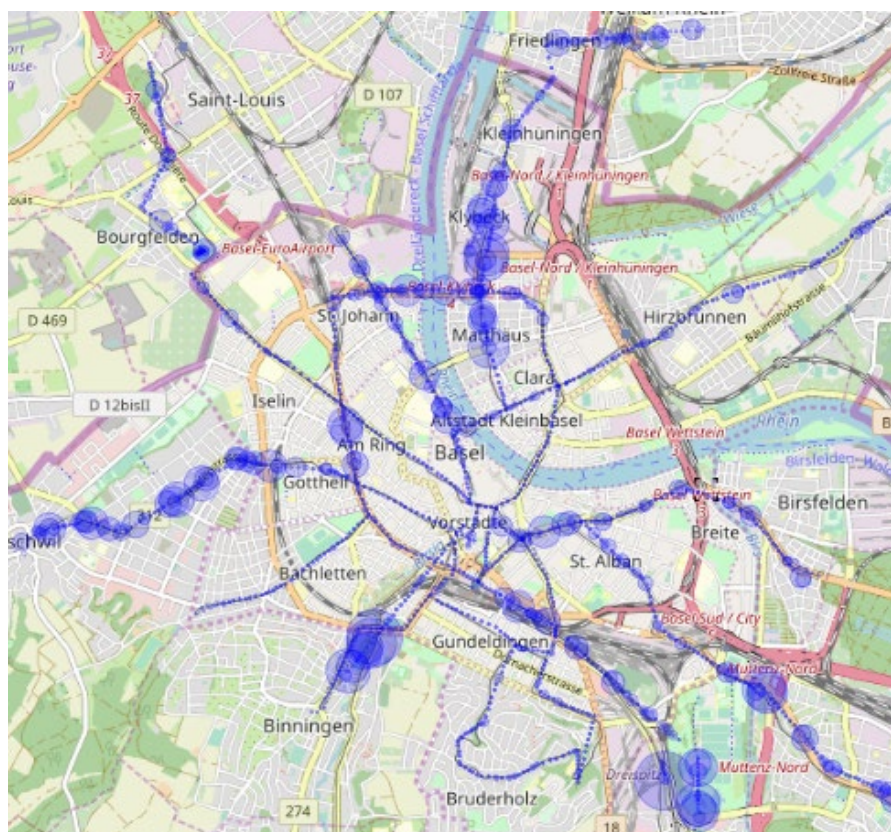


P-167 Nutzung von Rekuperationsenergie im BVB-Netz

Schlussbericht

Yves Flückiger, Basler Verkehrs-Betriebe

Münchensteinerstrasse 87, 4052 Basel, yves.flueckiger@bvb.ch, www.bvb.ch



Impressum

Herausgeberin:
Bundesamt für Verkehr BAV
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)
CH-3003 Bern

Programmleiter
Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 167
Bezugsquelle
Kostenlos zu beziehen über das Internet
www.bav.admin.ch/energie2050

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor –in oder sind ausschliesslich die Autoren –
innen dieses Berichts verantwortlich.

Basel, den [30.06.2020]

Inhalt

Executive Summary in Deutsch	1
Résumé en français	1
Executive Summary in English.....	2
Zusammenfassung in Deutsch.....	2
Résumé en français	2
Bericht Enotrac.....	5

Executive Summary in Deutsch

Das Ziel vorliegender Studie war, das Potential diverser Massnahmen zur Reduktion der ungenutzten Bremsenergie im Traktionsstromversorgungsnetz der Basler Verkehrs-Betriebe (BVB) zu quantifizieren. Obschon der Fokus klar auf der technischen Seite lag, wurde auch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt, welche der BVB zusätzlich als Grundlage für die zukünftige Strategie zum Thema Energieeffizienz dienen soll.

In einem ersten Durchgang wurde der Nutzen von potenziellen Energiesparmassnahmen simulatorisch untersucht und die Ergebnisse einander gegenübergestellt. Basierend auf den Ergebnissen aus der ersten Simulationsreihe wurden gemeinsam mit der BVB weitere Massnahmen definiert. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass wohl an einigen Stellen im BVB-Netz durch die einseitigen Speisungen die Vermaschung zu gering ist, um die Bremsenergie durch andere Fahrzeuge zu nutzen. Daher wurde zusätzlich untersucht, momentan eher „isolierte“ Abschnitte mittels Schalthandlungen über neue 2-seitige Sektorspeisungen zusammenzuschalten.

Es wurden dabei fünf spezifische Speisegebiete definiert, welche in einem zweiten Durchgang wiederum mittels FABEL-Simulationen überprüft wurden. Als Speisegebiet wird dabei ein Netzbereich bezeichnet, in welchem Speiseabschnitte explizit zusammengeschaltet sind. Dies bewirkt einerseits, dass in diesem Gebiet mehr Fahrzeuge die anfallende Bremsenergie nutzen können und andererseits, dass auch der Einflussbereich einer möglichen stationären Massnahme (Wechselrichter oder Energiespeicher) vergrössert werden kann. Zusätzlich wurde also für jedes Speisegebiet jeweils auch eine Simulation mit Einsatz eines Wechselrichters durchgeführt. Weiter wurde mit Simulationen der Nutzen einer möglichen Gesamtlösung berechnet, in welcher die Kombination der untersuchten Speisegebiete, zwei Wechselrichter sowie die Massnahme „Erhöhung der Bremsspannung“ berücksichtigt ist.

Jede der überprüften Massnahmen zeigte sich positiv auf die Thematik der Energieeinsparung. Jedoch war nicht jede Massnahme gleich effizient bzw. wirtschaftlich. Die grösste Energieeinsparung mit nahezu 3'000MWh würde der «mobile Energiespeicher» bewirken, eine Nachrüstung der aktuellen Fahrzeugflotte ist aber nicht wirtschaftlich (Payback > 50Jahre). Kosten-Nutzen-Sieger ist die Massnahme «Zusammenschalten von Speisesektoren» mit bis zu 1'100MWh und einem geschätzten Aufwand von <10'000CHF.

Résumé en français

L'objectif de cette étude était de quantifier le potentiel de diverses mesures visant à réduire l'énergie de freinage non utilisée dans le réseau d'alimentation en énergie de traction de la Basler Verkehrs-Betriebe (BVB). Bien que l'accent ait été clairement mis sur l'aspect technique, une étude de faisabilité économique a également été réalisée, que le BVB utilisera également comme base pour sa future stratégie en matière d'efficacité énergétique.

Dans un premier temps, les avantages des mesures d'économie d'énergie potentielles ont été examinés de manière simulateur et les résultats ont été comparés. Sur la base des résultats de la première série de simulations, d'autres mesures ont été définies en collaboration avec la BVB. Les résultats ont montré qu'à certains points du réseau BVB, le maillage est probablement trop petit en raison des alimentations unilatérales pour que l'énergie de freinage puisse être utilisée par d'autres véhicules. Pour cette raison, une enquête supplémentaire a été menée sur la possibilité d'interconnecter des sections actuellement plutôt "isolées" au moyen d'opérations de commutation via de nouvelles alimentations sectorielles bilatérales.

Cinq zones d'alimentation spécifiques ont été définies, qui ont été vérifiées à nouveau lors d'un second passage au moyen de simulations FABEL. Une zone d'alimentation est une zone de réseau dans laquelle les sections d'alimentation sont explicitement interconnectées. Cela signifie, d'une part, que davantage de véhicules peuvent utiliser l'énergie de freinage générée dans cette zone et, d'autre part, que la zone d'influence d'une éventuelle mesure stationnaire (onduleur ou stockage d'énergie) peut être augmentée. De plus, une simulation avec l'utilisation d'un onduleur a été réalisée pour chaque zone d'alimentation. En outre, des simulations ont été utilisées pour calculer l'avantage d'une éventuelle solution globale, dans laquelle la combinaison des zones d'alimentation examinées, deux onduleurs ainsi que la mesure "augmentation de la tension de freinage" est prise en compte.

Chacune des mesures examinées a montré un effet positif sur le thème des économies d'énergie. Cependant, toutes les mesures n'ont pas été aussi efficaces ou économiques. La plus grande économie d'énergie, près de 3'000 MWh, serait réalisée grâce à l'"unité mobile de stockage d'énergie", mais la modernisation du parc automobile actuel n'est pas économique (délai de récupération > 50 ans). La mesure la plus rentable est la mesure "Interconnexion des secteurs alimentaires", avec un maximum de 1'100 MWh et un coût estimé à <10'000 CHF.

Executive Summary in English

The aim of this study was to quantify the potential of various measures to reduce unused braking energy in the traction power supply network of Basler Verkehrs-Betriebe (BVB). Although the focus was clearly on the technical side, an economic feasibility study was also carried out, which BVB will also use as a basis for its future strategy on energy efficiency.

In a first round, the benefits of potential energy-saving measures were examined in a simulatory manner and the results were compared. Based on the results of the first series of simulations, further measures were defined together with BVB. The results have shown that at some points in the BVB network the meshing is probably too small due to the one-sided feeds in order to use the braking energy by other vehicles. For this reason, an additional investigation was made into the possibility of interconnecting currently rather "isolated" sections by means of switching operations via new two-sided sector feeds.

Five specific feeding areas were defined, which were checked again in a second pass by means of FABEL simulations. A feed area is a network area in which feed sections are explicitly interconnected. On the one hand, this means that more vehicles can use the braking energy generated in this area and, on the other hand, that the area of influence of a possible stationary measure (inverter or energy storage) can be increased. In addition, a simulation with the use of an inverter was carried out for each feeding area. Furthermore, simulations were used to calculate the benefit of a possible overall solution, in which the combination of the examined feeding areas, two inverters as well as the measure "increase of the braking voltage" is considered.

Each of the examined measures showed a positive effect on the topic of energy saving. However, not every measure was equally efficient or economical. The greatest energy saving, almost 3'000 MWh, would be achieved by the "mobile energy storage unit", but retrofitting the current vehicle fleet is not economical (payback > 50 years). The cost-benefit winner is the measure "Interconnection of feeding areas" with up to 1'100 MWh and an estimated cost of <10'000 CHF.

Zusammenfassung in Deutsch

Siehe Seiten 13-16 Bericht Enotrac

Résumé en français

L'objectif de cette étude était de quantifier le potentiel de diverses mesures visant à réduire l'énergie de freinage inutilisée dans le réseau d'alimentation électrique de traction du BVB. Bien que l'accent ait été clairement mis sur l'aspect technique, une étude de faisabilité économique a également été réalisée, que BVB utilisera également comme base pour sa future stratégie en matière d'efficacité énergétique.

Dans un premier temps, les avantages des mesures potentielles d'économie d'énergie ont été simulés et les résultats comparés. Les résultats de la première série de simulations ainsi que l'analyse économique simple (période de remboursement) sont résumés dans le tableau qui suit.

	Mesures					
	Augmentation la tension du frein	Augmentation de la tension nominale	Stockage mobile de l'énergie	120mm ² Feeder	Stockage de l'énergie Voltastrasse	Onduleur Voltastrasse
Estimation des coûts d'acquisition, d'installation et d'intégration [1000 CHF]	100	1200	14600	7300	280	430
Coûts de maintenance [1000 CHF/an]	0	0	89	0	3	1
Économies d'énergie annuelles (résultats de la simulation) [MWh]	205	649	2875	130	257	358
Prix de l'énergie [CHF/kWh]	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.05
Économies annuelles (sans rabais) [1000 CHF/an]	37	117	432	23	43	17
Augmentation des prix de l'énergie [%/an]	0	0	0	0	0	0
Escompte [%]	1	1	1	1	1	1
Durée d'amortissement / Utilisation [ans]	20	12.5	20	25	20	25
Période d'amortissement [ans]	6	11	41	> 50	7	29

Tableau 2-1 : Résumé des résultats de la première série de simulations avec les mesures d'économie d'énergie potentielles (économies d'énergie annuelles) et le calcul simple de rentabilité.

Sur la base des résultats de la première série de simulations, d'autres mesures utiles ont été définies en collaboration avec la BVB. Les résultats ont montré qu'à certains points du réseau BVB, le maillage est probablement trop petit en raison des alimentations unilatérales afin de réduire l'énergie de freinage de d'utiliser d'autres véhicules. Par conséquent, à titre de mesure supplémentaire, des sections plutôt "isolées" sont actuellement interconnectées au moyen d'opérations de commutation par le biais de nouveaux feeders sectoriels bilatéraux.

Cinq zones de restauration spécifiques ont été définies, qui ont été vérifiées dans un deuxième temps à l'aide de simulations FABEL. Une zone d'alimentation est une zone de réseau dans laquelle les sections d'alimentation sont explicitement interconnectées. Cela a pour effet, d'une part, que davantage de véhicules peuvent utiliser l'énergie de freinage produite dans cette zone et, d'autre part, que la zone d'influence d'une éventuelle mesure stationnaire (onduleur ou stockage d'énergie) peut être élargies. De plus, une simulation avec l'utilisation d'un onduleur a été réalisée pour chaque zone d'alimentation. En outre, des simulations ont été utilisées pour calculer l'avantage d'une éventuelle solution globale, dans laquelle la combinaison des zones d'alimentation examinées, deux onduleurs ainsi que la mesure "augmentation de la tension de freinage" est prise en compte.

Ces variantes de simulation ont montré que les circuits électriques adaptés permettent à la l'énergie de freinage rhéostatique dans les zones d'alimentation étendues est déjà considérablement réduite et en conséquence de quoi le bénéfice réel d'une mesure stationnaire est fortement réduit.

Le tableau 2-2 montre les résultats de ces scénarios avec un onduleur par zone d'alimentation et la variante totale avec deux onduleurs. Le tableau 2-3 montre les résultats des variantes avec les dispositifs de stockage d'énergie.

	Mesures					
	Zone d'alimentation en énergie 1 avec onduleur Voltas-trasse	Zone d'alimentation énergétique 2 avec onduleur Morgarten	Zone d'alimentation énergétique 3 avec onduleur Dreispitz	Zone d'alimentation énergétique 4 avec onduleur St Alban-Anlage	Zone d'alimentation énergétique 5 avec onduleur Riehen	Onduleur à solution totale+ Augmenter la tension de récupération
Estimation des coûts d'acquisition, d'installation et d'intégration Onduleur [1000 CHF]	430	430	430	430	430	960
Coûts de maintenance [1000 CHF/an]	1	1	1	1	1	2
Économies d'énergie annuelles (résultats de la simulation) [MWh]	105	123	130	396	320	2126
Prix de l'énergie [CHF/kWh]	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05/ 0.18
Économies annuelles (sans rabais) [1000 CHF/an]	4	5	6	19	15	283
Augmentation des prix de l'énergie [%/an]	0	0	0	0	0	0
Escompte [%]	1	1	1	1	1	1
Durée d'amortissement / Utilisation [ans]	25	25	25	25	25	25
Période d'amortissement [ans]	>50	>50	>50	26	33	3

Tableau 2-2 Résumé des résultats de la deuxième série de simulations avec les zones d'alimentation étendues plus l'onduleur (économies d'énergie annuelles) et le calcul économique simple.

	Mesures					
	Zone d'alimentation 1 avec stockage d'énergie Voltas-trasse	Zone d'alimentation 2 avec stockage d'énergie Morgarten	Zone d'alimentation 3 avec stockage d'énergie Dreispitz	Zone d'alimentation 4 avec stockage d'énergie St Alban-Anlage	Zone d'alimentation 5 avec stockage d'énergie Riehen	Solution totale stockage d'énergie + augmentation de la tension de récupération
Estimation des coûts d'acquisition, d'installation et d'intégration Stockage de l'énergie [1000 CHF]	280	280	280	280	280	660
Coûts de maintenance [1000 CHF/an]	3	3	3	3	3	6
Économies d'énergie annuelles (résultats de la simulation) [MWh]	73	86	91	277	224	1901
Prix de l'énergie [CHF/kWh]	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Économies annuelles (sans rabais) [1000 CHF/an]	10	12	13	47	37	336
Augmentation des prix de l'énergie [%/an]	0	0	0	0	0	0
Escompte [%]	1	1	1	1	1	1
Durée d'amortissement / Utilisation [ans]	20	20	20	20	20	20
Période d'amortissement [ans]	32	25	23	6	8	2

Tableau 2-3 Résumé des résultats de la deuxième série de simulations avec les zones d'alimentation étendues plus le stockage d'énergie (économies d'énergie annuelles) et le calcul économique simple.

Sur la base des résultats, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

Mesures	Évaluation des avantages de la réduction de l'énergie de freinage non utilisée	Évaluation de l'efficacité économique	Conclusion
Augmentation de la tension de récupération	Faible (< 10 %)	profitable	La faisabilité technique (voitures classiques) n'est pas certaine. Contrôle de faisabilité recommandé
Augmentation de la tension du système à 750 V	Faible (< 10 %)	sans gain	Sauf si d'autres raisons justifient une augmentation, cette option ne devrait pas être retenue
Stockage mobile de l'énergie	Élevé (> 80 %)	sans gain	Les coûts pour en bénéficier semblent disproportionnés. Recommandent de ne pas poursuivre cette option. Toutefois, il convient d'en tenir compte lors de l'achat de nouveaux véhicules.
Renforcement de la ligne de contact avec 120mm ² Feeder	Faible (< 10 %)	sans gain	Il est recommandé de ne pas poursuivre ces variantes.
Stockage d'énergie stationnaire	Faible à un endroit (< 10 %) Élevé à plusieurs endroits (> 80 %)	profitable	Cela semble être l'option la plus prometteuse. Il est recommandé de poursuivre la mise en œuvre à plusieurs endroits.
redresseur régénératif	Faible à un endroit (< 10 %) Élevé à plusieurs endroits (> 80 %)	légèrement non rentable	Vérifiez la rentabilité en détail, car il existe une grande sensibilité au prix de l'énergie. D'un point de vue écologique, c'est probablement mieux qu'un système de stockage d'énergie.
Interconnexion des secteurs d'alimentation (extension des zones d'alimentation)	Élevé (> 80 %)	profitable	Contrôle de faisabilité recommandé.

Tableau 2-4 Résumé des avantages et de la rentabilité et conclusion tirée pour chaque mesure examinée