Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 105 (2014)
Heft: 8

Artikel: Réseau électrique basse tension à courant continu
Autor: Haraz, Marc / Boix, José
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856278

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Réseau électrique basse tension à courant continu

Étude du passage d'un environnement AC à un environnement DC à l'échelle domestique

Le passage du courant alternatif au courant continu permettrait une amélioration significative de l'efficience énergétique chez les particuliers, et ce, tout en facilitant le stockage et l'intégration d'énergie photovoltaïque. En effet, la fiabilité et le rendement des convertisseurs statiques ont été considérablement améliorés ces dernières années. De plus, la diminution de la puissance réactive et la suppression des chaînes de conversion amélioreraient significativement l'efficience de nombreux appareils domestiques.

Marc Haraz, José Boix

Mandatée par EOS Holding, l'étude présentée dans cet article s'inscrit dans un projet de recherche interécole de la HES-SO (Haute école spécialisée de Suisse occidentale) portant sur le courant continu. Dans ce cadre, la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (hepia) s'intéresse en particulier à l'application d'un réseau de distribution à basse tension et à courant continu aux environnements domestiques actuels. Cette étude vise à montrer les opportunités que pourrait représenter une telle transition au courant continu sur un réseau domestique. Une partie de l'énergie électrique serait produite sur place par des cellules solaires photovoltaïques et stockée dans des batteries.

Trois points principaux de l'étude sont traités dans cet article. En premier lieu, les éléments de transformation DC/DC qui remplaceraient les éléments de transformation AC/DC et la réduction des pertes d'énergie qui en découlerait, puis la réalisation d'un prototype de hacheur élévateur de tension DC pour l'utilisation de l'énergie accumulée dans les batteries et, finalement, une vision de ce que pourrait être l'habitat du futur alimenté en courant continu bénéficiant de solutions domotiques pour une gestion efficace de l'énergie.

Motivation

Les avantages potentiels d'une transition du courant alternatif (AC) au courant continu (DC) sont nombreux. Tout d'abord, grâce au développement récent de nouvelles technologies, les éléments de transformation d'énergie DC/DC atteignent des degrés de fiabilité élevés et un excellent rendement. Les transformations AC/DC, dont le rendement est moins élevé, pourraient dès lors être évitées dans de nombreux appareils, permettant ainsi d'économiser non seulement de l'énergie, mais également une quantité non négligeable de matières premières (notamment le cuivre) indispensables aux transformateurs.

Deuxièmement, l'utilisation de courant continu rend possible le recours à une tension plus élevée, ce qui permet de diminuer les pertes d'énergie dues au transport du courant dans les câbles. En outre, l'intégration d'énergie renouvelable grâce à des panneaux photovoltaïques (PV) est facilitée et rend le recours à un onduleur inutile tout en permettant un stockage plus efficace de cette énergie solaire en vue de son utilisation en dehors des heures de production.

Éléments de transformation DC/DC et économies d'énergie

Les éléments de transformation d'énergie DC/DC sont le point central de cette étude. En effet, ils permettent de remettre en question l'utilisation du courant alternatif dans les équipements électroniques qui sont utilisés en grand nombre à l'heure actuelle.

Concrètement, comme la plupart des appareils actuels nécessitent une chaîne de transformation pour utiliser le courant alternatif délivré par le réseau, l'adoption du courant continu permettrait une diminution des pertes de transformation au sein de chaque appareil électrique. En effet, l'efficacité de ces chaînes de trans-

Figure 1 Maquette de l'habitation considérée, d'une consommation de 2610 kWh/an avec une puissance maximale de 4200 W_c.

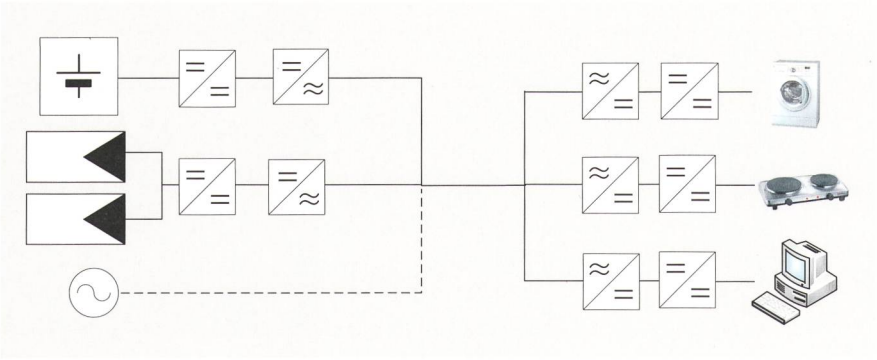

Figure 2 Schéma électrique d'un environnement AC alimenté par le biais du réseau, de modules photovoltaïques et d'un moyen de stockage (à gauche, de bas en haut).

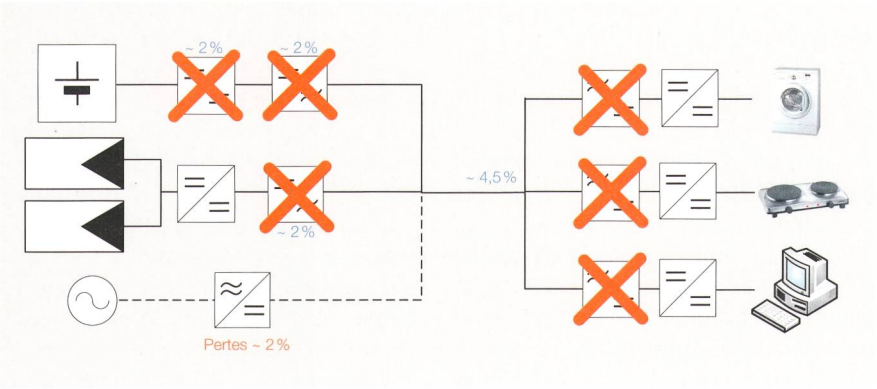

Figure 3 Schéma électrique mettant en évidence les pertes évitées (en bleu) et celles apparaissant (en rouge), telles que calculées en passant d'un environnement AC à un environnement DC.

formation est limitée et les pertes d'énergie se traduisent sous forme de chaleur. Le passage à un réseau DC rendrait inutiles les étages d'entrée et permettrait une alimentation à une tension plus élevée, ce qui diminuerait les pertes de transport.

Comparaison des environnements AC et DC

Lors de l'étude, afin d'évaluer la faisabilité d'un environnement DC complet, il a été considéré une habitation pour deux personnes, incluant différents types d'appareils électriques de base (**figure 1**). La grande majorité de ces appareils sont reliés en courant alternatif au secteur bien que ceux-ci fonctionnent en courant continu. De ce fait, le passage à une alimentation en courant continu permettrait la suppression de l'étage de conversion d'entrée. De plus, cette modification ne nécessite aucun changement en matière de connectique car les câbles existants dans une habitation peuvent supporter une alimentation aussi bien en courant alternatif qu'en courant continu, pour autant que la valeur de la puissance circulant dans les câbles soit, au maximum, la même.

Afin d'effectuer une comparaison judicieuse entre les environnements AC et DC, il convient de considérer un apport similaire d'énergie électrique fournie par le réseau et par les modules photovoltaïques, dans cet exemple l'équivalent de huit panneaux PV (deux rangées en parallèle de quatre panneaux en série). En considérant une puissance maximale de 4200 W_c (watt-crête) pour l'habitation, cela correspond à une puissance résultante maximale de 2400 W_c pour les panneaux PV. Dans le cas du courant alternatif, la valeur de la tension du réseau est de 230 V_{AC}, ce qui est la norme depuis 1987. Pour l'environnement DC, le choix s'est porté sur une tension de 400 V_{DC}, car une telle valeur permet de réduire considérablement le courant consommé par les appareils, tout en restant dans le domaine de la basse tension.

Estimation de la diminution des pertes

La **figure 2** représente le schéma électrique d'un environnement AC alimenté par le réseau électrique, par des panneaux PV, ainsi que par un moyen de stockage de l'énergie photovoltaïque. L'évolution des pertes lors du passage d'un environnement AC alimenté en 230 V_{AC} à un environnement DC à 400 V_{DC}, avec un stockage également sous une tension de 400 V_{DC}, est illustrée dans la **figure 3**. Une telle transition permettrait d'économiser près de 8 % d'énergie électrique, et ce, grâce à la diminution, d'une part, des échauffements des câbles et, d'autre part, des pertes dans les éléments de puissance de l'étage d'entrée considéré.

Cette diminution a été estimée sur la base d'une habitation comprenant un appoint solaire d'une puissance maximale de 2400 W, soit huit modules photovoltaïques de 300 W_c chacun, et un stockage local. Globalement, la consommation de l'habitation de la **figure 1** serait ainsi réduite de plus de 200 kWh par année. En termes de gain financier pour un particulier résidant à Genève, l'économie équivaudrait par conséquent à 52 CHF sur une facture annuelle d'environ 650 CHF.

Influence de divers paramètres sur les pertes

Il faut toutefois noter que les pertes inhérentes à l'étage d'entrée sont très spécifiques au type d'appareil considéré. En fonction des charges et du mode de fonctionnement, ces pertes peuvent aller de 20 % à 36 % pour certains appareils tandis que pour d'autres le potentiel d'économie sera négligeable. Dans la plupart des cas, le redresseur d'entrée, le filtrage, le transformateur, ainsi que la compensation du facteur de puissance deviennent totalement inutiles. La suppression de ces éléments permet alors d'obtenir une réduction de consommation pouvant aller jusqu'à 4,5 % dans le cas d'une alimentation à 400 V_{DC}.

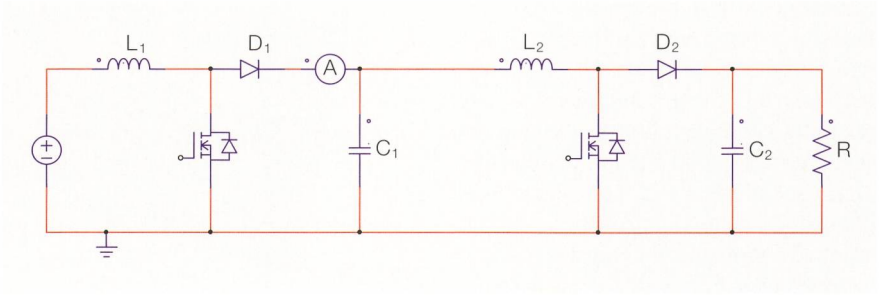

Figure 4 Hacheur élévateur de tension double boost en cascade.

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = 1 - \sqrt{\frac{V_{in}}{V_{out}}}$$

Variante 24V				
		min.	nom.	max.
Tension d'entrée / V	V_{in}	18	24	30
Tension de sortie / V	V_{out}	376	400	324
Angle de commande	α	0,78	0,76	0,73

Figure 5 Évolution de l'angle de commande α.

À noter qu'à ce niveau, le facteur déterminant est la valeur de la tension en courant continu. En allant plus loin, il est même possible d'imaginer une tension de 600 V_{DC}, ce qui diminuerait encore les pertes dans les éléments de conduction.

Alimentation des appareils en DC

La transition d'un réseau 230 V_{AC} au courant continu à basse tension ouvre de nombreuses nouvelles opportunités de recherche pour l'optimisation de l'efficience énergétique à l'échelle domestique. Par exemple, il serait possible d'alimenter les appareils avec leurs tensions de fonctionnement grâce à des hacheurs abaisseurs de tension dont les rendements sont particulièrement élevés. De plus, dans certains cas, il serait possible de se brancher directement derrière l'étage d'entrée actuel, sans modifier l'architecture de l'appareil, donnant ainsi la possibilité d'une transition de l'appareil d'AC à DC en fonction de son mode d'alimentation.

Réalisation d'un convertisseur DC/DC

Le deuxième point de l'étude vise la réalisation du prototype d'un hacheur élévateur de tension destiné à élever la tension de stockage des batteries de 24 V ou 48 V (± 25 %) à une valeur de tension du réseau prévue de 400 V_{DC} (± 6 %) avec une puissance-crête de 2 kVA et une puissance nominale de 1 kVA.

Pour cela, le choix s'est arrêté sur un hacheur élévateur de tension double boost en cascade (figure 4), ce dernier permettant d'obtenir un rendement théorique de 96 % pour une tension choisie de fonctionnement de 400 V_{DC}. Des simulations ont été effectuées pour une puissance d'environ 1 kVA et une tension d'entrée variable (figure 5). Les résultats obtenus pour la tension de sortie et la tension de circuit intermédiaire sont illustrés dans la figure 6. À l'heure actuelle, le prototype est en cours de réalisation dans les laboratoires d'électronique de puissance d'hepia (figure 7).

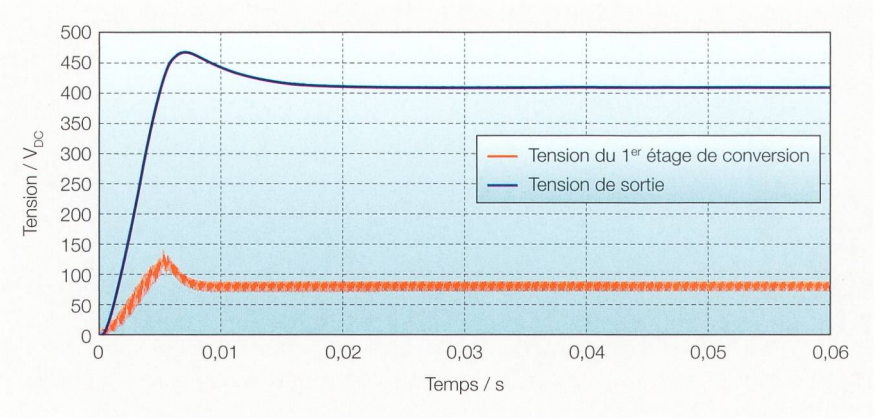

Figure 6 Résultats de la simulation du prototype de hacheur élévateur de tension (400 V_{DC}). En bleu la tension de sortie (aux bornes de C_2) et en rouge la tension du circuit intermédiaire (aux bornes de C_1).

L'habitat du futur alimenté en DC

Le troisième point de l'étude consiste à élargir la problématique en tentant d'imaginer à quoi pourrait ressembler l'habitat du futur dans le cas d'une distribution d'énergie par un réseau DC alliée à l'utilisation d'éléments de domotique, et ce, en prenant en compte la gestion intelligente de l'ensemble, c'est-à-dire en gérant la charge et la décharge des consommateurs de la maison en fonction des pointes du réseau.

Le transport au sein de la maison se ferait en 400 V_{DC} et, dans les pièces qui n'auraient pas de gros appareils, il existerait un transport à basse tension (12 V, 24 V ou 48 V). L'apport d'énergie solaire serait nécessaire et le stockage via des accumulateurs se ferait sous la tension continue de 400 V_{DC} afin de réduire les pertes. La possibilité de recharger un véhicule électrique en DC est également mise en évidence dans la figure 8, par exemple lors de périodes de production d'énergie importante et de faible demande.

Domotique intégrée

La domotique est un secteur très prometteur pour l'optimisation et l'amélioration de la consommation d'énergie dans l'habitat. Ce dernier constitue, après les transports, le deuxième secteur qui consomme le plus d'énergie électrique en Suisse : 30 % selon l'OFEN (Office fédéral de l'énergie).

À l'heure actuelle, l'Allemagne est le plus grand fabricant et consommateur de solutions domotiques avec plus de 70 % de parts de marché. Mais ce secteur est actuellement en pleine expansion malgré une technologie complexe et souvent encore trop coûteuse. Cependant, grâce à l'apparition des smart grids qui optimisent le rendement des centrales électriques ainsi qu'au développement des objets connectés tels que les smartphones et les tablettes tactiles, la domotique, qu'elle se fasse dans un environnement AC ou DC, a de belles perspectives d'avenir (explosion de la domotique grand public avec des abonnements rendue possible grâce à la surveillance et au cloud).

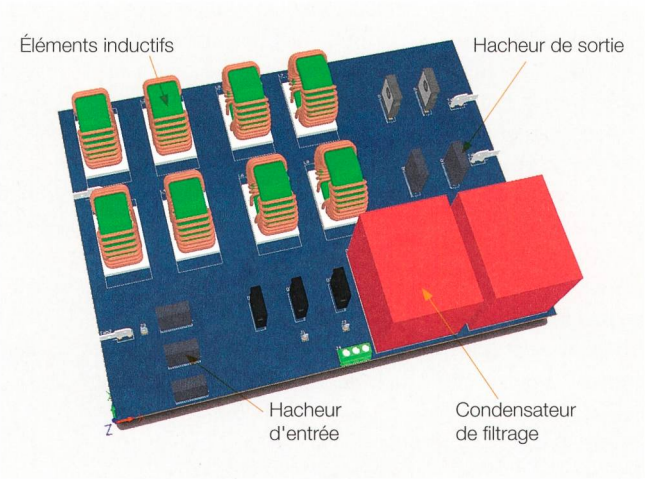

Figure 7 Prototype d'un hacheur élévateur de tension d'une puissance nominale de 1 kVA.

Figures : hepia

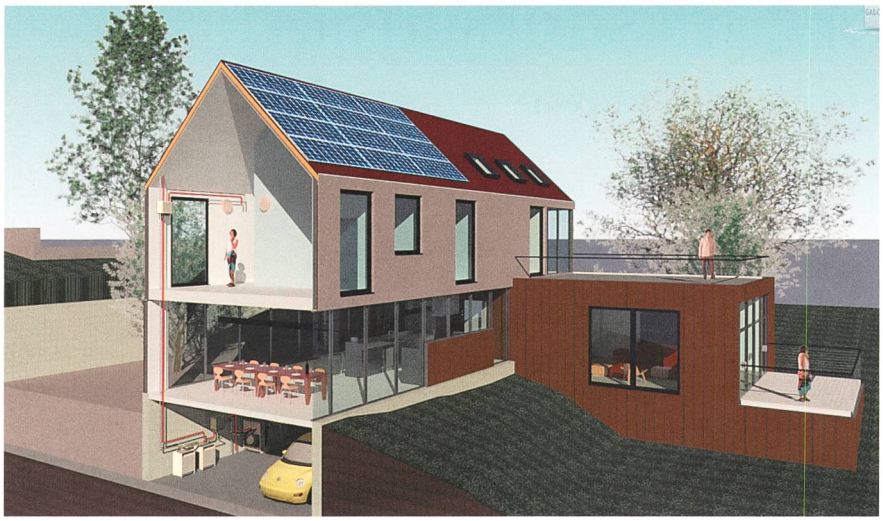

Figure 8 L'habitat du futur tel qu'imaginé dans cette étude.

La sécurité des utilisateurs

Une des problématiques à approfondir concernant la distribution de courant continu est la sécurité des personnes : les normes existent actuellement uniquement dans le domaine de la traction, soit pour une tension de 750 V_{DC} et plus. Cependant, dans le cadre de l'habitat, les normes pour la tension continue faible ne sont pas encore définies et des questions restent en suspens au sujet de l'isolation des câbles et en cas de défaut à la terre.

À plus long terme, il faudra aussi que les acteurs des marchés des appareillages électriques et électroniques se penchent sur de nouvelles possibilités d'alimentation car, sans leurs actions, une telle vision de l'habitat du futur sera irréalisable.

Conclusion

Cette étude montre la faisabilité théorique d'une transition du courant alternatif au courant continu au sein d'une habitation et permet de mettre en évidence un potentiel significatif d'amélioration de l'efficience énergétique à l'échelle domestique.

En effet, étant donné que la grande majorité des composants des appareils utilisés aujourd'hui fonctionnent en courant continu, il serait possible d'éviter des transformations inutiles et, ainsi, de diminuer la consommation d'énergie finale. De plus, le recours à une tension plus élevée serait admissible, ce qui permettrait, d'une part, de diminuer les pertes dans les câbles et, d'autre part, de faciliter l'intégration de sources d'énergie renouvelable photovoltaïque, ainsi que le stockage du surplus de production.

Dans le cas concret considéré dans cette étude, soit un ménage standard équipé de panneaux photovoltaïques et d'un dispositif de stockage, l'économie d'énergie a été estimée à 8 % par rapport à la situation actuelle. Par ailleurs, des matières premières comme le cuivre pourraient également être économisées du fait que les transformateurs AC/DC de nombreux appareils deviendraient inutiles. Finalement, la combinaison avec une installation domotique pour gérer le stockage et la consommation de manière intelligente permettrait un potentiel d'économie encore plus important.

Si de nombreuses recherches sur l'utilisation du courant continu dans les habitations restent néanmoins à faire, ce domaine semble très prometteur pour l'amélioration de l'efficience énergétique domestique. Il se révélera probablement incontournable face aux défis actuels que représentent la sortie du nucléaire et la raréfaction des énergies fossiles.

Littérature complémentaire

- T. Kaipia, P. Salonen, J. Lassila, J. Partanen : Application of low voltage DC-distribution system – A techno-economical study. 19th International Conference on Electricity Distribution, Vienna, 21-24 May 2007, pp. 1-4, 2007. www.cired.net/publications/cired2007/pdfs/CIRED2007_0464_paper.pdf.
- Baochao Wang, Manuela Sechilariu, Fabrice Locment : Intelligent DC Microgrid With Smart Grid Communications : Control Strategy Consideration and Design. IEEE Transaction on smart grid, Vol. 3, No. 4, pp. 2148-2155, 2012.
- Dan Wang, Fang Zheng Peng : Smart Gateway Grid : A DG-Based Residential Electric Power Supply System. IEEE Transaction on smart grid, Vol. 3, No. 4, pp. 2232-2239, 2012.
- Xu She, Alex Q.Huang, Srdjan Lukic, Mesut E. Beran : On Integration of Solid-State Transformer With Zonal DC Microgrid. IEEE Transaction on smart grid, Vol. 3, No. 2, pp. 975-985, 2012.
- Jan-Frederik Hansen, John Olav Lindtjorn, Tor Arne Mykleburst, Klaus Vanska : Le courant continu à la barre. ABB Revue, 2/12, Marine Systems & Cranes, pp. 29-33, 2012. www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/c62c9818858c034fc1257a2c0051fae7/$file/28-33%202m212_FR_72dpi.pdf.

Auteurs

Marc Haraz est ingénieur HES en mécanique des fluides et énergétique. Il a obtenu son diplôme HES-SO à hepia en 2013. Il est actuellement étudiant en Master HES-SO profil énergie, assistant de recherche HES au sein du département des technologies industrielles (TIN) à hepia et collabore dans le cadre de projets de recherche avec EOS Holding.
hepia, 1202 Genève, marc.haraz@etu.hesge.ch

José Boix est professeur HES à hepia depuis 14 ans, spécialisé dans la conversion d'énergie électrique et responsable de la filière en « Technique des bâtiments ». Il a auparavant travaillé durant 15 ans dans le département de recherche des convertisseurs pour ABB et obtenu son titre d'ingénieur ETS en 1985.
hepia, 1202 Genève, jose.boix@hesge.ch

Zusammenfassung **Gleichstrom-Niederspannungsnetz**

Untersuchung der Umstellung von Wechselstrom auf Gleichstrom bei Privathaushalten

Die Umstellung von Wechselstrom auf Gleichstrom könnte die Energieeffizienz in den Privathaushalten verbessern und gleichzeitig die Speicherung und Einbindung fotovoltaisch erzeugter Energie erleichtern.

Diese Studie zeigt die theoretische Machbarkeit einer solchen Umstellung in einem Wohnhaus und offenbart ein erhebliches Potenzial für die Verbesserung der Energieeffizienz in Privathaushalten. Da in der Tat die überwiegende Mehrzahl der heute verwendeten Gerätekomponenten mit Gleichstrom arbeitet, könnten auf diese Weise unnötige Umwandlungen vermieden und damit der Endverbrauch an Energie verringert werden. Darüber hinaus könnten durch eine höhere Gleichspannung (400 V bzw. sogar 600 V) einerseits die Leitungsverluste reduziert und andererseits die Einbindung erneuerbarer Energiequellen wie Fotovoltaik sowie die Speicherung des Produktionsüberschusses erleichtert werden.

In dem im Rahmen dieser Studie untersuchten Fall, also bei einem Zweipersonen-Standardhaushalt, ausgestattet mit Fotovoltaik-Modulen und einer Speichervorrichtung, wurde die Energieeinsparung auf 8 % geschätzt.

Zudem könnten auch Rohstoffe wie Kupfer eingespart werden, da man auf die Transformatoren vieler Geräte verzichten könnte. Schliesslich würde die Kombination mit einer Hausanlage für ein intelligentes Management der Speicherung und des Verbrauchs ein noch grösseres Einsparungspotenzial bieten. CHe