

Klimaneutrale SBB – Emissionsfreier Baustellenbetrieb

Christian Daniel Vögtli

Fachspezialist Batteriesysteme bei SBB

Projektleiter beim BFH-Zentrum Energiespeicherung (ESReC)

Ueli Kramer

Leiter Kompetenzzentrum Energiespeicher SBB

Internet-Publikation mit Genehmigung des Verlags Minirex AG

Ambition „Klimaneutrale SBB“

Die SBB haben im Januar 2020 entschieden, ihre betrieblichen Emissionen gegenüber dem Basisjahr 2018 bis 2030 um 50 % und bis 2040 um 92 % zu senken.

Der Einsatz von Dieseltriebfahrzeugen, wie den Lokomotiven Am 843 und den Traktoren Tm 234, verursacht beinahe 30 % der gesamten CO₂-Emissionen der SBB. Damit das anspruchsvolle Ziel erreicht werden kann, werden im Grundsatz ab sofort sämtliche Neu- und Ersatzbeschaffungen auf das Ziel der Verwendung erneuerbarer Energie statt fossiler Brenn- und Treibstoffe ausgerichtet. Zudem bieten die neuen Vorgaben eine grosse Chance, bestehende Einsatzstrategien und Antriebskonzepte kritisch zu hinterfragen und zu optimieren.

Zur Erreichung dieser Ambition bis 2040 werden Massnahmen, unter anderem Anpassungen von Strategien und Richtlinien, sowie technische Modifikationen in sechs Handlungsfeldern umgesetzt:

- Gasweicheheizungen: Umrüstung von Gasweicheheizungen und Betrieb bestehender Weicheheizungen mit Biogas oder Bioprogas.
- Gebäudeheizungen: Bei Sanierung oder Neubau von Gebäudeheizungen werden fossile Energieträger konsequent durch erneuerbare Energieträger ersetzt.
- Dieseltraktion: Bei allen Neubeschaffungen von fahrdrahtunabhängigen Triebfahrzeugen muss ein erneuerbarer Antrieb gewählt werden. Bei hohen Anforderungen an die betriebliche Autonomie können ein batterieelektrischer Antrieb in einzelne Flotten eingebaut oder die Verwendung alternativer Kraftstoffe vorgesehen werden.
- Strassen- und Spezialfahrzeuge: Strassen- und Spezialfahrzeuge werden aufgrund datenbasierter Nutzungsprofile sowie unter Installation von Ladeinfrastrukturen beschafft.
- Miete und Dienstleistungen: Neue Anmietungen nur noch in fossilfrei beheizten Liegenschaften sowie sukzessive steigende

Anforderungen für Mietobjekte und den Einkauf externer Dienstleistungen (Musskriterium in Ausschreibungen ab Jahr 2040).

- Beschaffung von 16,7-Hz-Schaltanlagen mit SF₆-freier Technologie und Umrüstung von Kälteanlagen mit R134 auf Rollmaterial und in stationären Anwendungen auf klimafreundliche Alternativen.

Das Kompetenzzentrum Energiespeicher der SBB führt das Handlungsfeld „Dieseltraktion“ und hat die Grundlagen für den Bereich „Strassen- und Spezialfahrzeuge“ gelegt. Der Bereich Baustellenversorgung ist die Schnittmenge zwischen „Dieseltraktion“ und „Miete und externen Dienstleistungen“, die hier vertieft wird. In einer der nächsten Ausgaben der Schweizer Eisenbahn-Revue wird der Stand bei der Dieseltraktion im Detail vorgestellt.

Motivation „emissionsfreie Baustelle“

Die Motivation zur Vermeidung von CO₂-Emissionen zwecks Entschärfung langfristiger Klimaauswirkungen ist bekannt. Es gilt aber auch, die zahlreichen unmittelbar schädlichen Emissionen wie Feinstaub, Stickoxide, Ozon und weitere Luftschadstoffe aus dem Verbrennungsprozess zu reduzieren. Damit werden in erster Linie die Mitarbeitenden entlastet, die im Freien bei jedem Wetter ohnehin bereits vielseitigen Belastungen ausgesetzt sind. Auch die Reduktion der Lärmbelastung ist im Fokus, wobei dies bei Bauarbeiten nur bedingt möglich ist, da die Lärmbelastung nicht nur von der Antriebsart, sondern auch von der vorgenommenen Arbeit ausgeht. Dennoch entlastet jegliche Reduktion von Lärmemissionen letztlich auch Anwohner und Natur im Umfeld der Baustellen, und so leistet auch hier die konsequente Elektrifizierung ihren Beitrag. Die SBB sind deshalb auch bemüht, wenn möglich den Lärm für die Natur und die Anwohner möglichst zu reduzieren.

Unabhängig von der Energiezuführung – ob über das Stromnetz, mittels Batterien oder Wasserstoff-Brennstoffzellensystemen – führt

kein Weg an der Elektrifizierung der Antriebe vorbei, um die Ambition „Klimaneutrale SBB 2040“ zu erreichen. Mit der Elektrifizierung und Dekarbonisierung der Baustellen entsteht zwar einerseits ein beträchtlicher Investitionsbedarf. Andererseits resultiert eine grosse Chance in der Reduktion der Gesamtkosten. Die Elektrifizierung spielt dabei eine zentrale Rolle, um mit thermischen Geräten auf die immer strengeren und kostspieligeren Vorgaben an den Baustellenbetrieb zu reagieren.

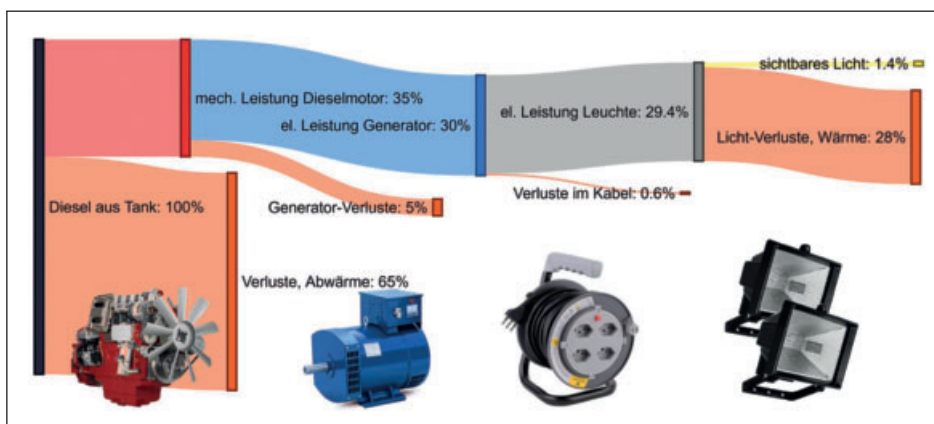
Status Quo: Maschinenpark und Leistungsbereich

Die Liste motorisierter, handgeführter Baugeräte im Bahnbereich ist gross. Zu ihnen zählen Trennschleifer, Stopfhammer, Schlag-schrauber oder Schraubmaschinen. Der Antrieb erfolgt oft via einen millionenfach produzierten Zweitakt-Benzinmotor im Leistungsbereich von 1,5 bis 6 kW. Das Gewicht spielt hinsichtlich der Ergonomie eine wichtige Rolle und liegt bei vielen Kleingeräten um 20 kg inklusive Treibstoff. Problematisch bei diesen Geräten sind vor allem der Schadstoffausstoss und der Lärm, da sie weder mit Abgasnachbehandlung noch mit Schallisolation ausgestattet sind, was jedoch durchaus dem Stand Technik in der Baubranche entspricht.

Weiter unterhalten die SBB für ihre Baustellen insgesamt 526 Dieselgeneratoren im Bereich 1 bis 30 kVA. 75 % davon sind Kleinstgeneratoren bis 4 kVA, die in unterschiedlichsten Ausrüstungen stets mitgeführt werden. Bei grösseren Geräten dominiert die Leistungsklasse 12 bis 15 kVA mit gut 70 Geräten (anteilmässig 13 %). Diese sind oft stationär für längere Zeit, zum Beispiel zur Speisung von Beleuchtungen und Elektrowerkzeugen, im Einsatz und verursachen damit den grössten Anteil der Emissionen. Der geschätzte Gesamtausstoss aller Dieselgeneratoren beträgt jährlich 1100 t CO₂-Äquivalente bei einem Energieabsatz von zirka 530 MWh_{el}. Dadurch errechnet sich der mittlere Emissionsfaktor auf 2,11 kg CO₂-eq/kWh. Hinter diesen Emissionen stehen Treibstoffkosten von jährlich zirka 650 000 Franken, was zu einem Netto-Energiepreis von 1,25 Franken/kWh exklusive Beschaffung und Unterhalt führt¹.

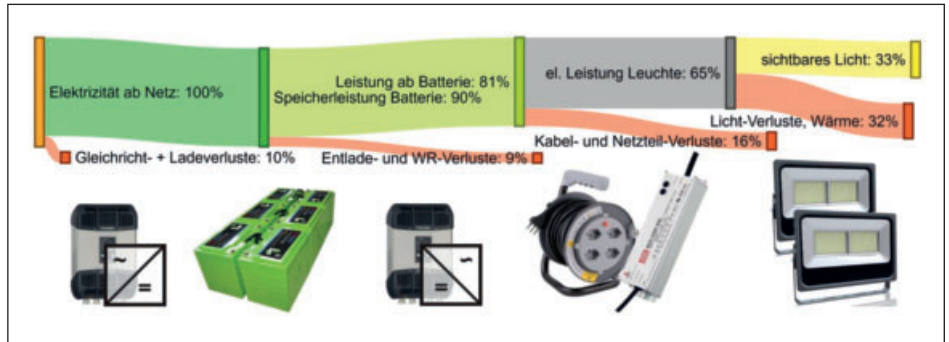
Energieeffizienz: Chancen der Elektrifizierung

Dass der Wirkungsgrad für die Wirtschaftlichkeit ein entscheidender Faktor ist, zeigt sich eindrucksvoll bei der Baustellenbeleuchtung, einem wesentlichen Energieverbraucher. Die Leuchten an modularen Leuchtmasten brennen mit grosser Leistung während sechs bis zehn Stunden je Schicht und werden über



Shankey-Diagramm einer mit Dieselgenerator gespeisten Halogenbeleuchtung (Grafik: SBB).

Shankey-Diagramm einer Batterie-LED-Beleuchtung im ungünstigen Fall DC (Batterie) – AC (Inselnetz) – DC (LED) (Grafik: SBB).



Dieselgeneratoren versorgt. Ein weit verbreitetes Setting mit 4 kW_{el} Halogen-Leuchten hat einen Kraftstoffverbrauch von zirka 1,5 l/h (14 kW_{th} Dieselöl) und erzeugt 0,2 kW Licht (66 500 Lumen bei 17 lm/W), was zu einem Gesamtwirkungsgrad von weniger als 2 % führt.

Ein vergleichbares System mit LED-Scheinwerfern und Batteriespeichern weist eine vielfach bessere Bilanz auf, wobei auch die Betriebskosten stark reduziert werden können. Unter Annahme, dass 370 W_{el} mit einem Wirkungsgrad von 51 % (180 lm/W) in Licht umgesetzt werden können, erzielt ein handelsübliches 230-V-Wechselstrom-System einen rund 20 Mal besseren Gesamtwirkungsgrad von 33 % inklusive Lade- und Übertragungsverlusten. Nochmals 10 bis 15 Prozentpunkte besser wäre der Wirkungsgrad bei einem Gleichstrom-System, bei dem die Leuchten die Energie direkt ab Batterie beziehen. Solche Systeme sind am Markt erhältlich, jedoch mit der Einschränkung, dass die Leuchte üblicherweise ausschliesslich dem Batteriesystem des gleichen Fabrikanten zuzuordnen ist.

Die hohe Energieeffizienz ermöglicht eine zusätzliche Kostensenkung durch die Wahl einer kleineren Batterie mit Umrichter zur Wandlung von Gleichstrom auf Wechselstrom oder einer grösseren Zahl Leuchten pro Kabelstrang. Dies zeigt einmal mehr, dass zuerst konsequent die Energieeffizienz entsprechend berücksichtigt werden muss und erst nach dieser Optimierung der Speicher ausgelegt werden sollte.

Fokus auf Gesamtbetriebskosten

Neben der Steigerung der Energieeffizienz bietet die Elektrifizierung beträchtliches Einsparpotential durch reduzierte Wartung und Instandhaltung. Verschleissmaterial wie Filter, Starterbatterien, Schmier- und Treibstoffe entfallen ebenso wie Kontrollen an Abgas- und Partikelfilteranlagen. Bei 12-kVA-Generatoren liegen diese Kosten bei jährlich zirka 400 Franken. Gesetzliche Prüfungen elektrischer Betriebsmittel mit einem Aufwand von zirka 100 Franken pro Gerät werden allerdings weiterhin fällig. Weiter ändern sich regelmässig auch die immer anspruchsvolleren behördlichen Vorgaben, sie ziehen öfter grosse Investitionen nach sich. In den Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership; TCO) eines klassischen Dieselgenerators bilden die Treibstoffkosten über die Lebenszeit den grössten Kostenblock. Dem gegenübergestellt wird ein vergleichbares Batteriesystem, das die meisten Einsätze 1:1 übernehmen könnte. Dabei ist erwartungsgemäss die Anschaffung der grösste Kostenblock, hingegen der Betriebsstoff „Netzstrom“ sehr günstig. Die Lebensdauer der Geräte wurde mit 15 Jahren (Dieselgenerator) und zehn Jahren (Batteriesystem) angenommen, wobei in der Grafik die Kosten auf zehn Jahre normalisiert wurden. Dabei kommt die Batterie lediglich auf zirka

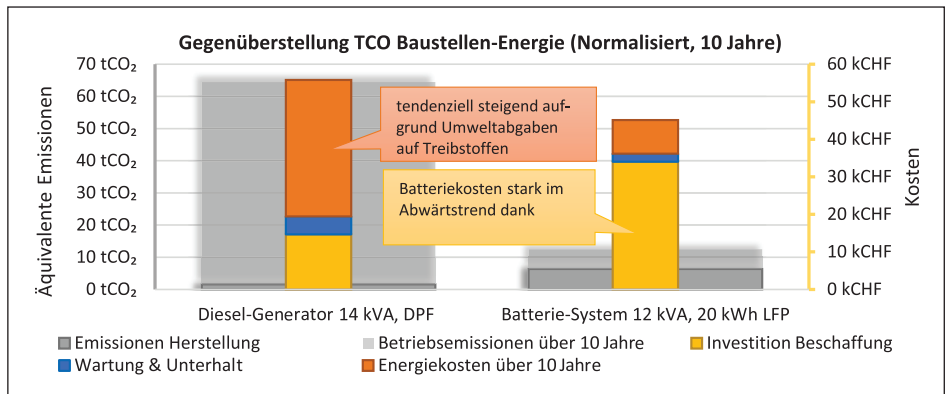
1700 äquivalente Vollzyklen, also gut ein Drittel der möglichen Ladezyklen. Jedoch führen die harschen Umweltbedingungen auf der Baustelle sowie die kalendarische Alterung zu dieser konservativen Annahme. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Entwicklungen im Bereich der Batterietechnologien neben der Steigerung der Energiedichte noch zu erheblichen Robustheitsverbesserungen führen und so die TCO positiv beeinflussen werden.

Wie in der Grafik ersichtlich, werden politische und wirtschaftliche Faktoren wesentliche Kostenblöcke weiter zugunsten der emissionsarmen Technologie verändern. Als Beispiele sind die immer strengeren Abgasvorschriften zu erwähnen. Ebenso verringern sich vorgelagerte Emissionen bei der Herstellung von Batterien gleichzeitig mit der fortschreitenden Dekarbonisierung des Strom-

mixes zum Nachladen der Batterien. Die Systemkosten werden durch ihre stark wachsende Verbreitung sinken, wie der aktuelle Trend der Durchdringung elektrischer Systeme in fast allen Bereichen zeigt.

Änderungen im Baustellenbetrieb

Die Herausforderungen liegen nicht nur in der technischen Realisation, sondern auch in der Sensibilisierung der Mitarbeitenden hinsichtlich dieser Umstellung. Heute wird die Baustellenversorgung inklusive Fahrzeuge einzig leistungsbezogen ausgelegt und dabei meistens stark überdimensioniert. In Zukunft müssen vom Baustellenplaner bis zum Betriebsmittel-Fachverantwortlichen inklusive Baustellenmitarbeiter neben der Leistungsbeurteilung auch energiebezogene Überlegungen gemacht werden. Allfällige Ladezeiten



Mitte: Grafisch dargestellter Vergleich der Gesamtbetriebskosten (TCO) und Emissionen beim Baustellen-Energiesystem (Grafik: SBB).

Unten: Tunnelbaustelle mit kabelgebundener Geräteversorgung (Foto: SBB).



oder Batteriewechsel müssen berücksichtigt werden, da nicht innerhalb weniger Sekunden eine äquivalente Dieselmengen nachgefüllt werden kann. Weiter spielt eine wesentliche Rolle, welche Betriebsmittel am entsprechenden Energiesystem angeschlossen werden, da ineffiziente Komponenten den Speicher unnötig schnell entladen. Redundanzen und Überkapazitäten sind im Fall von Batterien ebenfalls kostspielig, weshalb sie zu vermeiden sind. Weitere Änderungen betreffen unter anderem:

- Akku-Handling: Können Akkupacks oder Energiesysteme nicht innerhalb von Stunden lokal auf der Baustelle nachgeladen werden, müssen diese schichtweise getauscht und geladen werden. Dies erfordert zusätzliche Logistikleistungen und Vorbereitungsarbeiten.
- Baustellenverkabelung: Besonders leistungs- und/oder energieintensive Geräte werden mittelfristig via Kabel mit Energie versorgt, was zusätzlich Vorbereitungsaufwand und zum Beispiel bei falscher Verlegung eine Stolpergefahr darstellt.
- Weniger Lärm: Dies ist auf den ersten Blick ein wesentlicher Vorteil, jedoch in der Um-

stellung auch ein Risiko, da zum Beispiel rotierende Gegenstände oder genereller Betrieb akustisch nicht mehr feststellbar sind.

Diese Themen müssen bei der Umstellung entsprechend ernstgenommen und berücksichtigt werden. Einmal eingeführt, werden die Vorteile überwiegen, und der Weg in die elektrische Zukunft ist gegeben.

Chancen und Ausblick handgeführter Baggeräte

Die Leistungsanforderung an motorisierte Werkzeuge im Gleisbau ist wesentlich höher als an die in der Baubranche seit Jahren etablierten Akku-Werkzeuge. Antriebsleistungen um 2 kW in Kombination mit angeflanschten Wechselakkus mit 500 Wh Kapazität für kürzere, punktuelle Einsätze sind im Grossen und Ganzen mittlerweile akzeptiert und auch bei den SBB bereits im Einsatz. Eine grössere Herausforderung stellt der Einsatz schwerer Akkurucksäcke dar, um die Autarkie oder die Leistungsfähigkeit von Maschinen über ganze oder halbe Arbeitsschichten zu erweitern. Interessanterweise verfolgen gleich mehrere Hersteller ein solches Konzept, unter ande-



Nachladen der auf einem Flachwagen aufgebauten Energieversorgungssysteme (Foto: SBB).

rem für einen elektrischen Schienen-Trennschleifer, wobei dies im Bereich Elektrifizierung wegen der starken Leistungsanforderungen möglicherweise die „Königsdisziplin“ ist. Eine stättliche Leistung von 6 kW bei einem Verbrauch von zirka 300 Wh/Schnitt erfordert bei aktuellem Stand der Technik eine Energiequelle von ausserhalb, damit das Werkzeug immer noch von einem Arbeiter bedient werden kann. Einen Akku für diese Leistung direkt am Gerät anzubringen, ist kaum möglich und aus Gründen der Handhabbarkeit kaum sinnvoll.

Bei der Dekarbonisierung solcher Maschinen mit hohen Leistungen oder grossem Energieverbrauch werden also vorerst noch kabelgebundene Geräte im Einsatz sein, die bereits heute bei den SBB zwar vereinzelt vorhanden, aber selten im Einsatz sind.

Emissionsfreie Baustellenversuche zur Erfahrungssammlung

Die vorgängig erwähnten Elektrowerkzeuge, aber auch der Betrieb von Beleuchtungssystemen oder Mannschaftswagen (Werkstatt, Beleuchtung, Küche) erfordert emissionsfreie Energiesysteme anstelle der zahlreichen thermischen Stromgeneratoren. Auf verschiedenen Baustellen im Gleisfeld, nachts auf Bahnstrecken oder im Flughafen-Tunnel unter Vollsperrung setzten die SBB dazu verschiedene elektrische Energiesysteme ein, damit unterschiedliche Erfahrungen für eine erfolgreiche Umstellung gesammelt und ausgewertet werden konnten. Grosse Emittenten sind auch Schienentraktoren wie zum Beispiel der eingesetzte Tm 232, der ohne Russpartikelfilter im Einsatz steht.

Die Versuche wurden bewusst so ausgeführt, dass die Arbeiten zuerst mit den konventionellen Geräten durchgeführt wurden und danach rein elektrisch. Insbesondere bei den Einsätzen im Tunnel wurden die Unterschiede deutlich: Zu Beginn herrschte viel Lärm, die emissionsbedingten Auswirkungen waren via Ohren, Nase und Augen entsprechend gut spürbar. Beeindruckend war beim elektri-



Strassengängiger Batterie-Anhänger für die Baustellenversorgung (Foto: SBB).

schen Betrieb je nach Tätigkeit, dass die Arbeiten zeitweise ganz ohne Lärm möglich waren, was sich gerade im Tunnel positiv auf die Stimmung der Mitarbeiter auswirkte und diese ohnehin schon anstrengende Nachtarbeit positiv beeinflusste.

Die jeweils eingesetzten Batteriesysteme – zweimal Lithium-Ionen und einmal Salztechnologie – waren technisch schon sehr ausgereift, jedoch muss insbesondere noch an der Bedienerfreundlichkeit und Robustheit gearbeitet werden. Das Arbeiten mit kabelgebundenen Geräten erfordert zudem besondere Vorsicht und gegebenenfalls während der Umstellung auf den elektrischen Betrieb eine zusätzliche Person, die sich um die Kabel kümmert. Mit automatischen Kabelrollen, Mehrfachsteckern und wachsender Erfahrung wird sich dies mit den vorhandenen Instrumenten etablieren und zur Normalität werden.

Auch das Aufladen der Energiesysteme musste am Ende der Schicht in den Arbeitsablauf integriert werden. Die üblichen Abstellorte von Mannschaftswagen sind meistens mit einem Stromanschluss ausgerüstet, um Batterieladegeräte oder einen Kühlschrank

während der Abstellung zu betreiben. Anderorts musste eine Zuleitung für das Laden erstellt oder ein alternativer Abstellort gesucht werden, was aber jeweils unkompliziert möglich war.

Ausblick

Klimaneutralität ist ein globales Thema und die SBB haben hier – wie erwähnt – ein ambitioniertes Ziel bis 2040 definiert: Als Unternehmen zu 100 % emissionsfrei unterwegs zu sein, hat breite Auswirkungen auf diverse Arbeiten. Am Ende kann der Kunde von einem nachhaltigen Angebot profitieren. Der Weg bis dahin führt jedoch über einige Änderungen, Entwicklungen und Sensibilisierungsoffensiven. Gerade in den Bereichen Dieseltraktion und Baustellen arbeitet das Kompetenzzentrum Energiespeicher der SBB intensiv an technischen Lösungen und stellt sicher, dass von Beginn an Nutzer und Besitzer involviert sind und auf dem Weg zur Klimaneutralität mitgenommen werden.

Im Fokus stehen aktuell folgende Arbeiten:

– Bedarfsanalyse,

– Technologie- und Lösungsentwicklung inklusive Einbindung von Industrie und Zulieferern,

– weitere Sensibilisierungen und Tests sowie proaktive Einbindung der Nutzer (Baustellenmitarbeiter).

Zentral wird auch eine aktive Kommunikation sein, damit im Idealfall andere EVU nachziehen und die Industrie sich bald auf Grund des sich ändernden Nachfrageverhaltens vom fossilen Zeitalter verabschiedet, also die Umstellung marktgetrieben angestossen wird.

Der mittelfristige Fokus wird konsequent dort gelegt, wo Akzeptanz und Bedarf vorhanden sind, aber auch explizit an Orten, wo der Nutzen am grössten ist wie zum Beispiel beim Untertagebau, bei Nachtbaustellen in Siedlungsgebieten (wegen des Lärms) oder in Werkstattwagen, um so auf ein ergonomischeres Arbeitsumfeld hinzuwirken.

¹ vergleiche Braunkohlekraftwerke: 1,36 kg CO₂-eq/kWh_{el}, Schweizer-Verbraucher-Strommix 2014: 0,18 kg CO₂-eq/kWh_{el}, Endverbraucherpreis in Privathaushalten zirka 0.20 Franken/kWh