

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 103 (2012)

Heft: 10

Artikel: Berechnung von Netzinvestitionen

Autor: Vukicevic, Ana / Bernard, Olivier / Hangartner, Gilbert

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-857343>

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: 07.02.2026

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

Berechnung von Netzinvestitionen

Der Einfluss des Netzalters auf Erträge und Ersatzinvestitionen

Bei der Erarbeitung einer Investitionsstrategie für den Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne war festzustellen, dass die Höhe der anrechenbaren Kapitalkosten und die notwendigen Investitionen stark von der Altersstruktur des Netzes abhängen. Dieser Einfluss wird im Artikel an theoretischen Beispielen diskutiert, und es werden Folgerungen für die Investitionsstrategie von Elektrizitätsunternehmen und für die Regulierung abgeleitet.

Ana Vukicevic, Olivier Bernard, Gilbert Hangartner

Die Stromnetze sind als Teil der öffentlichen Infrastruktur weitgehend in staatlicher Hand. Einerseits fordern die Öffentlichkeit und die Wirtschaft eine hohe Versorgungsqualität, andererseits ist die öffentliche Hand von Sparprogrammen gefordert, und die Regulierungsvorgaben zwingen die Netzbetreiber, die Netzkosten zu senken.

Jeder Netzbetreiber bewegt sich also im Spannungsfeld zwischen Kostendruck und dem Sicherstellen der Versorgung – eine Situation, die sich im Hinblick auf die Anreizregulierung noch zu verschärfen droht. Erschwerend kommt hinzu, dass sich Unterinvestitionen kurzfristig

nicht bemerkbar machen und so der Betreiber – oder der Infrastrukturbesitzer – in Versuchung geraten könnte, die Investitionstätigkeit zu bremsen. Erst langfristig würde die Versorgungsqualität abnehmen, was sich insbesondere in einer Vielzahl von Versorgungsunterbrüchen und hohen Unterhaltskosten auswirkt.

Aufgrund der Situation der öffentlichen Finanzen in Lausanne ist der bisherige jährliche Investitionsbetrag von 15 bis 20 Mio. CHF stark unter Druck geraten. Eine Strategieerarbeitung untersuchte daher, wie sich stark reduzierte Investitionen mittel- und langfris-

tig auf die Versorgungssicherheit und auf die zu erwartenden Netznutzungsentgelte auswirken werden. Es zeigte sich, dass mit den Simulationsrechnungen einerseits die Entwicklung gut vorausgesagt werden kann sowie die Erlöse optimiert werden konnten. Ebenfalls konnte eine Investitionsuntergrenze festgelegt werden, bei deren Unterschreitung sich die Netzperformance in einigen Jahren rapide verschlechtern würde und das von der Politik vorgegebene Zuverlässigkeitseiveau nicht mehr zu erreichen wäre.

Erstaunt hat die Entwicklung des Erlösse: Nach einer anfänglichen Stabilisierung muss mittelfristig unabhängig von der gewählten Strategie mit sinkenden Netznutzungsentgelten in der Größenordnung von 30% gerechnet werden. Dies ist in der Altersstruktur des Netzes begründet (**Bild 1**).

Deshalb wird im Folgenden der Einfluss der Alterspyramide auf die Bestimmung des «richtigen» Investitionsbetrags» und den erlaubten Netzerlös untersucht. Es werden drei Methoden mit steigender Komplexität vorgestellt. Der vorliegende Artikel betrachtet nur die Investitionskosten (CAPEX), welche üblicherweise 20–40% der totalen Netzkosten betragen. Die Art und Weise der Investitionen bestimmen jedoch auch wesentlich die Kosten für den Unterhalt: Eine überalterte Infrastruktur zeigt markant steigende Unterhaltskosten, werden jedoch unterhaltsfreundliche Technologien eingesetzt, kann dies den Investitionsbetrag erhöhen, den Unterhalt aber deutlich verringern.

Rein buchhalterische Herangehensweise

Aus der internen Anlagenbuchhaltung eines Infrastrukturbetreibers kann man den «richtigen» Investitionsbetrag» berechnen als «aktuellen Wiederbeschaffungswert dividiert durch die technische Lebensdauer». Für Infrastrukturen mit unterschiedlichen Komponenten muss diese Ansicht für verschiedene Betriebsmittelgruppen betrachtet werden. Für ein elektrisches Verteilnetz kann von einer mittleren Lebensdauer von 40 bis 50 Jahren ausgegangen werden, was einem durchschnittlichen jährlichen Investiti-

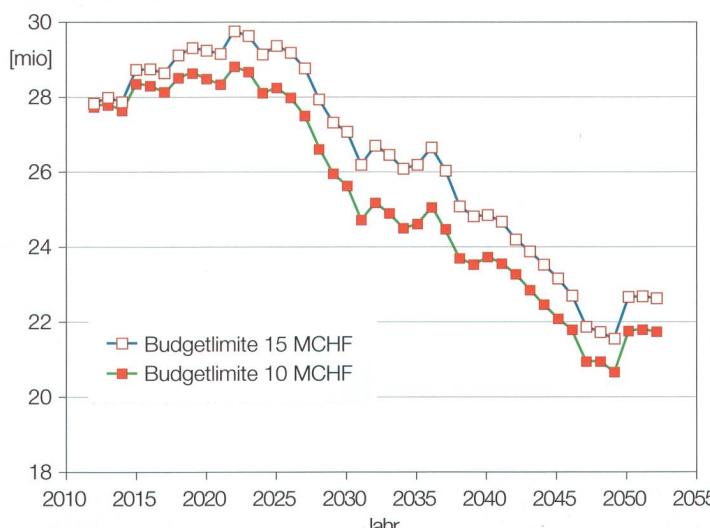


Bild 1 Entwicklung des Netznutzungsentgelts bezüglich CAPEX beim Stadtwerk Lausanne für eine technische Lebensdauer von $T = 40$ Jahren und eine jährliche Investitionslimite von 10 bzw. 15 Mio. CHF (2 bzw. 3 % des Wiederbeschaffungswerts). Die Abschreibungsdauer ist gleich der technischen Lebensdauer, $WACC = 4,25\%$.

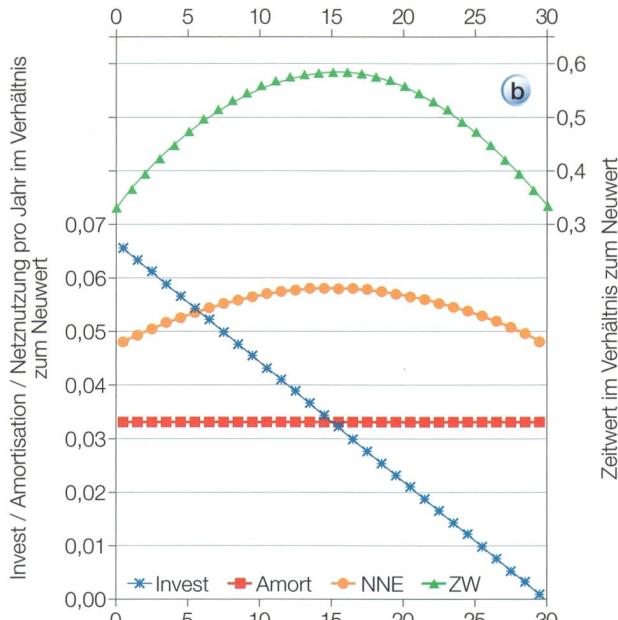
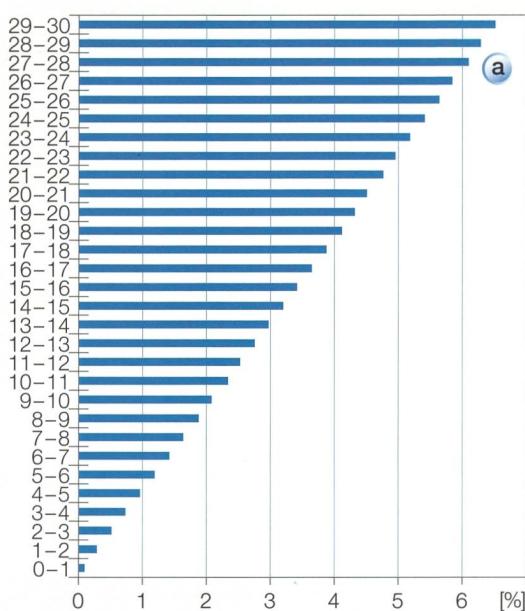


Bild 2 (a) Beispiel für Netz mit wenig neuen und zahlreichen alten Anlagen (horizontal: % der Anlagen, vertikal: Alter der Anlagen), (b) Investitionsbedarf, Amortisation, Netznutzungsentgelt bezüglich CAPEX und Zeitwert im Verhältnis zum Neuwert beim entsprechenden Netz.

onsbetrag von 2 bis 2,5 % des Wiederbeschaffungswerts entspricht.

Nach der aktuellen Interpretation muss für die Netzkostenrechnung die Abschreibedauer entsprechend der technischen Lebensdauer gewählt werden, der Zeitwert der Infrastruktur bleibt konstant bei 50% des Wiederbeschaffungswerts, was einem mittleren relativen Alter von 0,5 entspricht und so eine nachhaltige Infrastrukturerhaltung garantiert.

In dieser vereinfachten Sichtweise berechnet sich das erlaubte Netznutzungsentgelt im Bezug auf das eingesetzte Kapital wie folgt: Das «Kapitalnetznutzungsentgelt» ist die Summe der Amortisation ($1/T$) * Anschaffungswert plus dem Zinsertrag auf dem Zeitwert, also $WACC * 0,5 * \text{Anschaffungswert}$.

Im Beispiel von Lausanne mit einem Anschaffungswert von rund 500 Mio. CHF bei einem WACC von 4,25% und $T = 30$ Jahren ergibt sich unter Annahme der homogenen Altersverteilung ein Beitrag aus Abschreibung von 16,6 Mio. CHF und 10,6 Mio. CHF Zinsertrag pro Jahr. Diese Kapitalrendite kann nun für Erweiterungen oder Investitionen in neue Technologien genutzt werden, um so die langfristige Ertragssituation zu verbessern, oder aber für andere öffentliche Zwecke verwendet werden.

Diese Sichtweise bedingt eine homogene Altersverteilung, die annähernd für grosse, seit Langem betriebene Infra-

strukturen richtig ist. In den meisten realen Fällen ist diese Voraussetzung jedoch nicht gegeben.

Berücksichtigung der Alterspyramide

Eine genauere Bestimmung des «richtigen Investitionsbetrags» ergibt sich bei Berücksichtigung der Alterspyramide. Nun verändert sich der Investitionsbedarf, die jährliche Abschreibung, der Zeitwert der gesamten Infrastruktur und damit auch das Netznutzungsentgelt als Funktion der Zeit.

Im Bild 2 ist die Situation für eine verkehrte dreieckige Alterspyramide (wenig neue Komponenten und viele alte) dargestellt. Der Investitionsbedarf hat die gleiche Form wie die Alterspyramide, es zeigt sich anfänglich ein grosser Investitionsbedarf ($2/T * \text{Wiederbeschaffungswert}$), der im Laufe eines Lebenszyklus kontinuierlich gegen null abnimmt. Die Abschreibung hingegen ist konstant bei $1/T$. Demzufolge übersteigt der Investitionsbedarf während der ersten 15 Jahre die Amortisation, und der Zeitwert der gesamten Netzinfrastruktur nimmt von Jahr zu Jahr zu. Im zweiten Teil des Lebenszyklus ist der Investitionsbedarf tiefer und der Zeitwert sinkt. Entsprechend entwickelt sich das Netznutzungsentgelt: Es steigt bis zur Mitte des Lebenszyklus an und sinkt dann wieder.

Es fällt auf, dass in den ersten fünf Jahren der Investitionsbedarf sogar höher ausfällt als das Netznutzungsentgelt. Der Infrastruktureigentümer muss also sogar zusätzliche Mittel bereitstellen, um nötige Investitionen zu finanzieren, entsprechend höher fallen jedoch die frei verfügbaren Mittel am Ende des Lebenszyklus aus. Dieser erhöhte Investitionsbedarf ist jedoch nicht auf eine frühere Unterinvestition zurückzuführen, sondern alleine auf die unregelmässige Alterspyramide, die auf einer schubweisen Erstellung der Infrastruktur oder auf technologisch bedingten Verschiebungen in den Lebensdauern basiert.

Für eine normale dreieckige Alterspyramide (viele neue Komponenten und wenige alte) kehren sich die Befunde um, das Netznutzungsentgelt durchläuft in der Mitte des Lebenszyklus ein Minimum. Das Netznutzungsentgelt übersteigt am Anfang des Lebenszyklus den Investitionsbedarf bei Weitem und birgt also die Gefahr, dass in dieser Phase zu viele Mittel abgeführt werden, welche dann am Schluss des Investitionszyklus fehlen.

In beiden Fällen beträgt die Differenz zwischen dem minimalen und maximalen Netznutzungsentgelt 20%. Dieses erstaunliche Resultat zeigt, dass ein fairer Vergleich zwischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen schwierig ist, da zwei

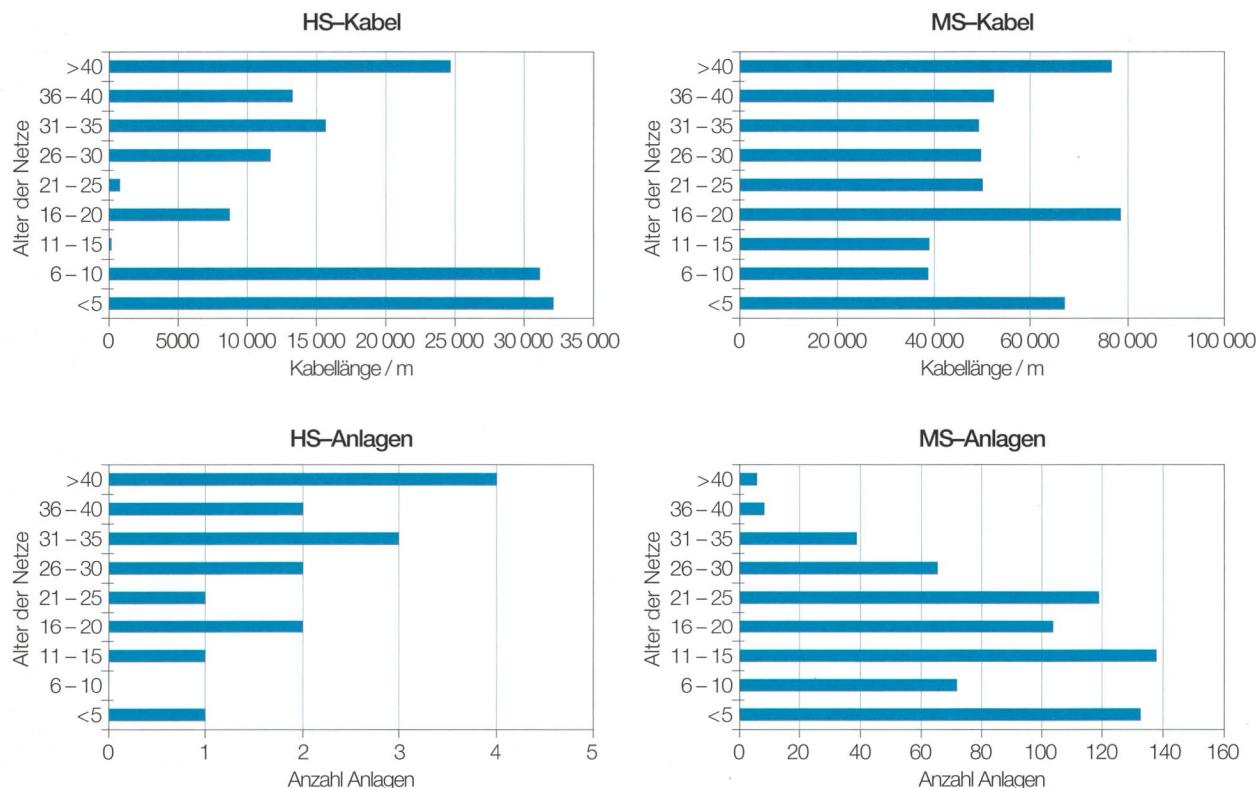


Bild 3 Altersstruktur des Hochspannungsnetzes (HS) und Mittelspannungsnetzes (MS) beim Stadtwerk Lausanne.

Netzbetreiber mit identischer Investitionsstrategie (sofortiger Ersatz von Komponenten am Ende der Lebensdauer) ein stark unterschiedliches Netznutzungsentgelt erhalten.

Fortgeschrittene Methoden in der Praxis

Die vorhergehende Methode nimmt eine theoretische Alterspyramide an und berücksichtigt keine finanziellen und betrieblichen Gegebenheiten, sondern ersetzt alle Komponenten am Ende der Lebensdauer sofort. Bei der in Lausanne durchgeföhrten Simulation wurde zusätzlich der Einfluss von Unterhalt und Alterung sowie die finanziellen Rahmenbedingungen berücksichtigt, wie etwa Budgetlimitierungen, die den Netzbetreiber zwingen, über grosse Investitionsspitzen zu glätten. **Bild 3** zeigt die effektiven Alterspyramiden für das Hoch- und Mittelspannungsnetz von Lausanne. Der Wiederbeschaffungswert der betrachteten Komponentengruppen beträgt ca. 500 Mio. CHF.

Die Berechnungen wurden mithilfe des Assetmanagement-Strategietools «SIMEO-StrateGO» durchgeföhr, das von der Firma Oxand in Zusammenarbeit mit Service de l'Electricité de la Ville

de Lausanne entwickelt wurde. In der Simulation wird der gesamte Lebenszyklus jeder Komponente betrachtet.

Bild 4 zeigt die vorhergesagte Entwicklung von 2012 bis 2052 des Investitionsbedarfs für drei unterschiedliche Hypothesen: technische und buchhalterische Lebensdauer jeweils gleich 35, 40 oder 45 Jahre. Der hohe Wert für 2012 zeigt je nach Szenario Nachholbedarf aller überalterter Komponenten. Dieser ist bei $T = 35$ Jahre doppelt so gross (10% des Wiederbeschaffungswert) wie bei $T = 45$ Jahre (5% des Wiederbeschaffungswerts). Die vereinfachte finanzielle Betrachtungsweise hätte einen durchschnittlichen Investitionsbedarf zwischen 2,2% (45 Jahre) und 2,9% (35 Jahre) ergeben. Die hier vorliegende detaillierte Betrachtung zeigt ein nach Jahren aufgelöstes Bild und ermöglicht so die Optimierung der Investitionsstrategie bis auf Komponentenebene.

Ebenfalls lässt sich damit das zu erwartende Netznutzungsentgelt berechnen. Es zeigt sich, dass mit der vorliegenden Strategie das Netznutzungsentgelt die nächsten 10 Jahre stabil bleiben wird, dann aber die nächsten 20 Jahre kontinuierlich abnehmen wird (**Bild 1**). Die im ersten Abschnitt aufgrund der rein buch-

halterischen Betrachtungsweise vorhergesagten 27,2 Mio. CHF sind zwar in der Größenordnung als Durchschnitt richtig, können aber die massiven jährlichen Unterschiede nicht voraussagen.

Fazit

Eine komponentenbasierte Analyse des gesamten Lebenszyklus erlaubt eine detaillierte Budgetplanung. Diese berücksichtigt den Unterhalt und die entsprechenden Kosten, die Alterung und die daraus entstehenden Risiken, die regulatorischen Rahmenbedingungen, die real investierbaren Beträge und die Möglichkeit, entsprechend Investitionsprojekte zu verschieben oder vorzuziehen.

Für die erfolgreiche Durchführung solcher Assetsimulationen ist die Unterstützung durch spezialisierte Software notwendig, ebenso wichtig ist jedoch, dass betriebsinterne Daten und Fachwissen in geeigneten Datenbanken gesammelt und für die spätere Auswertung strukturiert werden. Minimal nötige Daten pro Komponente sind das Inbetriebnahmedatum, die buchhalterische und technische Lebensdauer sowie die voraussichtlichen Ersatzkosten. Informationen zu nötigem Unterhalt, geplanten Erneuerungsmassnahmen, Komponen-

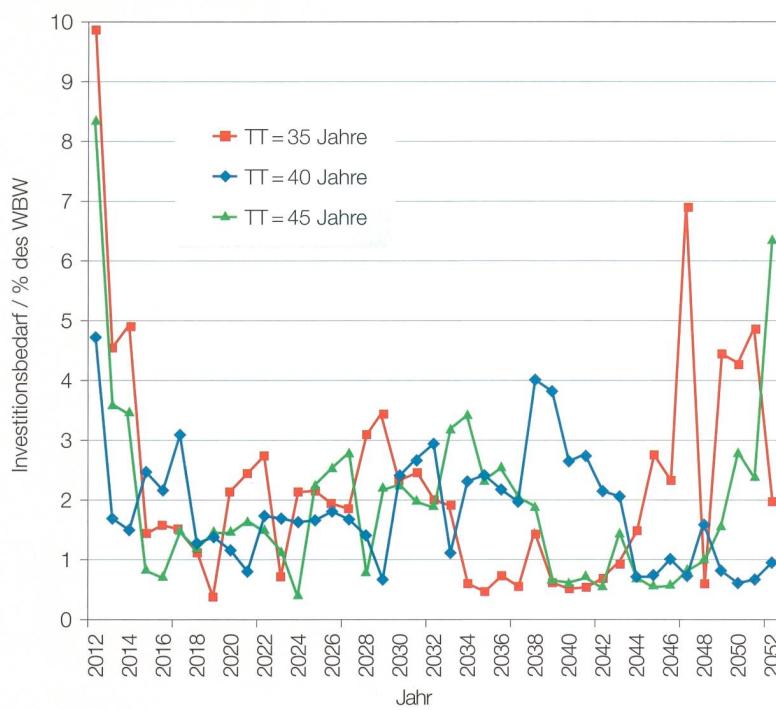


Bild 4 Entwicklung des Investitionsbedarfs beim Stadtwerk Lausanne für verschiedene technische Lebensdauern TT = 35, 40 oder 45 Jahre. Die Abschreibedauer entspricht jeweils der technischen Lebensdauer, WACC = 4,25 %.

tenalterung und Komponentenwichtigkeit können die Analyse verbessern und die Berechnung weiterer Daten – wie den Betriebskosten oder die Indikatoren der Versorgungssicherheit SAIDI/SAIFI – ermöglichen.

Der Besitz und der Betrieb einer Versorgungsinfrastruktur verursachen grosse Kosten, jeder Netzbetreiber muss auch in der Lage sein, die dementsprechenden Einnahmen berechnen zu können. Je nach Erstellungsgeschichte des Versorgungsnetzes ergeben sich beim Kapitalertrag Unterschiede von 20 bis 100% in Bezug auf das mittlere Netznutzungsentgelt. Solche Unterschiede machen einen Vergleich zwischen verschiedenen Elektrizitätsunternehmen, wie er im Hinblick auf die Anreizregulierung diskutiert wird, extrem schwierig. Eine reine Betrachtung der jährigen Kapitalkosten liefert kein Indiz für die Nachhaltigkeit der Infra-

strukturpflege, das heisst, aufgrund dessen kann nicht entschieden werden, ob der Netzbetreiber gemessen am «richtigen Investitionsbetrag» über- oder unterinvestiert.

Angaben zu den Autoren

Ana Vukicevic, Dr. ing. élec., ist Risiko- und Assetmanagerin beim Stadtwerk Lausanne (SEL) und hat zusammen mit Oxand das Assetmanagement beim SEL aufgebaut. Sie studierte Elektrotechnik in Belgrad und promovierte in Lausanne zu elektromagnetischer Kompabilität.

Service de l'Électricité de la Ville de Lausanne,
1004 Lausanne, ana.vukicevic@lausanne.ch

Olivier Bernard, Dr. ing. civil, berät Infrastrukturhaber im Alters-, Risiko- und Assetmanagement. Er ist Mitinhaber der Oxand-Gruppe und Leiter von Oxand Schweiz. Er studierte Bauingenieurwesen, Risikomanagement und promovierte zu Unterhalt und Sicherheit von Bauten.

Oxand SA, 1005 Lausanne
olivier.bernard@oxand.com

Gilbert Hangartner ist Berater im Risiko- und Assetmanagement für Stadtwerke bei Oxand. Zuvor war

Bilder: SEL/Oxand

Résumé

Détermination des investissements dans le réseau

L'influence de l'ancienneté du réseau sur les recettes et les investissements de substitution

A partir de la comptabilité des immobilisations d'un gestionnaire d'infrastructure, il est possible de définir le montant annuel « correct » pour les investissements dans les installations du réseau en divisant la valeur actuelle de remplacement par la durée de vie technique. Cette manière de procéder requiert toutefois une répartition homogène de l'ancienneté. Dans la plupart des cas réels, cette condition n'est pas remplie. Pour un réseau composé de quelques éléments neufs et de nombreux anciens, il faut, au début, d'importants investissements qui vont peu à peu tendre vers le zéro au cours du cycle de vie. Le montant de la rémunération pour l'utilisation du réseau dépend lui de la valeur restante des installations : elle augmente jusque vers le milieu du cycle de vie puis diminue. Pour un réseau composé de nombreux éléments neufs et de peu d'anciens, c'est l'inverse : la rémunération pour l'utilisation du réseau atteint son minimum au milieu du cycle de vie.

Dans les deux cas, la différence entre la rémunération minimale et celle maximale est de 20 %. Ce qui montre qu'il est difficile de faire une comparaison adéquate entre les gestionnaires de réseau, étant donné que deux gestionnaires de réseau ayant une stratégie d'investissement identique (remplacement immédiat des composants une fois qu'ils sont arrivés à la fin de leur cycle de vie) reçoivent une rémunération pour l'utilisation du réseau très différente. De telles différences sont à prendre en considération en vue de la régulation incitative.

Mn

er Mitarbeiter bei einem grösseren Schweizer Stadtwerk. Er studierte Physik, Chemie und Biologie.
gilbert.hangartner@oxand.com

Die Autoren möchten sich bei der Direktion und den Mitarbeitenden des Service de l'Électricité de la Ville de Lausanne für ihre Unterstützung bedanken.

Anzeige

Beleuchtungslösungen mit LED

Innenbeleuchtung, Strassenbeleuchtung und Ausstellung

Fachtagung: 30. Januar 2013, Lausanne

Info: www.electrosuisse.ch/itg



Werden Sie Aussteller!

