

# Neue Erkenntnisse und Maßnahmen zur Verbesserung des Umwelt- und Klimaschutzes sowie der Wirtschaftlichkeit beim Betrieb neuer und der Nachrüstung alter unterirdischer Haltestellen unter besonderer Berücksichtigung der Beleuchtungstechnik

Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) stellt vor allem in Ballungsräumen einen unverzichtbaren Bestandteil der Mobilität dar und leistet damit einen erheblichen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz. Um diese führende Stellung beibehalten zu können, ist es erforderlich, kontinuierlich Verbesserungen zu erarbeiten und umzusetzen. Dafür müssen die vielfältigen Chancen genutzt werden, die sich technisch und wirtschaftlich bieten. Bei unterirdischen Anlagen des ÖPNV nimmt die notwendige technische Ausstattung weiter zu. Der Einsatz energieeffizienter technischer Anlagen ist daher bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über den gesamten Lebenszyklus ein entscheidender Faktor. Dies gilt sowohl für den Neubau als auch für die Sanierung von Haltestellen und Streckenabschnitten. Bei der Neuplanung lassen sich sogar konstruktive Elemente einplanen, mit denen zusätzlich Energie gewonnen werden kann.

## 1 Umwelloptimierter Betrieb unterirdischer ÖPNV-Anlagen

Da die notwendige technische Ausstattung der Tunnel und Haltestellen zunimmt (Belüftung, Beleuchtung, Fahrtreppen, Aufzüge, Betriebssteuerung), spielen, neben den reinen Baukosten, die Betriebskosten der technischen Anlagen eine zunehmende Rolle. Dies kann einen größeren Wartungs- und Erneuerungsaufwand nach sich ziehen und sich im Laufe der Nutzungsdauer der Gesamtanlage zu erheblichen Kosten summieren. Die Betriebskosten sind deshalb ein wichtiger Faktor bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer einzelnen Haltestelle oder sogar der gesamten Strecke. Für alle Verkehrsunternehmen stellt eine konsequente Energieeinsparung bei technischen Anlagen somit eine wichtige Maßnahme dar, um die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu verbessern. Bei Abwicklung des Fahrgastbetriebs in Tunneln ist es teilweise sogar möglich, Energie durch die unterirdische Anlage selbst zu gewinnen.

Im Folgenden werden Maßnahmen beschrieben, die zur Energiegewinnung oder Verbesserung der Energieeffizienz bei

## New Findings and Measures to Improve Environmental and Climatic Protection as well as Cost-effectiveness in the Operation of New and the Upgrading of Old Underground Stations with Special Attention to the Lighting Technology

Local public transport is an essential part of the mobility, above all in built-up areas, and thus makes a considerable contribution to the protection of the environment and climate. In order to maintain this leading position, it is necessary to produce and implement continuous improvements, making use of the many technical and economic opportunities. The necessary technical equipment for underground public transport facilities is constantly increasing. The use of energy-efficient technical plant is thus a decisive factor for the economic consideration of the entire lifecycle, which applies both to new construction and to the refurbishment of existing stations and line sections. In the design of new infrastructure, constructional elements can be planned from which additional energy can be gained.

unterirdischen Bauwerken (Tunneln, Haltestellen) genutzt werden können.

## 2 Nutzung geothermischer Energie

### 2.1 Nutzung der erdberührten Bauwerke für die Energiegewinnung

Unterirdische Haltestellen sind in der Regel vollständig in das umgebende Erdreich eingebettet. Aufgrund der großen Bauteilabmessungen bzw. in das Erdreich eingebundener Bauteilflächen und der im Untergrund vorherrschenden konstanten Temperatur sind diese Bauwerke für geothermische Anwendungen sehr gut



Bild 1 Bewehrungskorb eines Bohrpfahls mit Absorberleitungen vor dem Betoniervorgang [8]

geeignet. Durch eine größere Tiefenlage, z. B. tiefliegende U-Bahntunnel im Bereich von Kreuzungspunkten, und Einbindung in potenziell wärmere Erdschichten, können die Randbedingungen der geothermischen Nutzung weiter verbessert werden und es lassen sich gegebenenfalls größere Energiemengen erschließen. Die in den unterirdischen Bauwerken vorhandenen Wärmequellen (Fahrzeuge, Beleuchtung, Personen) tragen zusätzlich zu einer Erhöhung des nutzbaren Temperaturniveaus bei.

Warme Tunnelluft und fließendes Wasser, beispielsweise Berg- oder Grundwasser, das in Drainageleitungen abgeführt wird, sind nutzbare Energiequellen. Insbesondere besteht aber ein Potenzial im Untergrund, das durch Einsatz von Kollektoren oder Sonden in den erdberührten Bauteilen genutzt werden kann [1].

In Abhängigkeit von der Art der erdberührten Bauteile existieren zahlreiche Ausführungsvarianten, die auf die gegebenen Bauwerke und deren Herstellverfahren optimal abgestimmt werden können. Prinzipiell kann das Verfahren auf alle erdberührten Bauteile aus Beton angewendet werden. Dadurch erhalten sta-

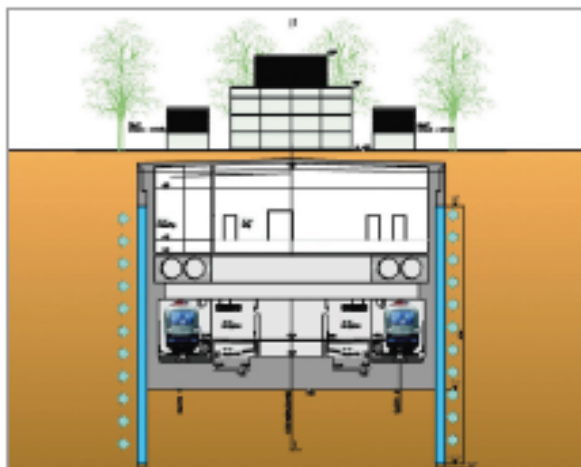


Bild 2 Energieschlitzwand am Beispiel der Haltestelle Praterstern in Wien (Quelle: Enercret GmbH)

tisch ohnehin erforderliche Bauteile eine zusätzliche, mit relativ geringem Mehraufwand erworbene thermische Funktion. Bei unterirdischen Haltestellen kommt eine Energiegewinnung durch Gründungselemente, z. B. Pfahlgründungen, Schlitzwände oder Bodenplatten, zur Anwendung [1].

Bei der Herstellung von Ramm- oder Bohrpfählen lassen sich problemlos Absorberleitungen in die Konstruktion integrieren, um eine thermische Nutzung dieser Bauteile zu ermöglichen (Energiebohr- bzw. -rammpfahl). Dazu werden die Absorberleitungen in beiden Fällen vor dem Betoniervorgang an den Bewehrungskörben fixiert (Bild 1). Bohrpfähle und Schlitzwände zur Nutzung geothermischer Energie wurden beispielsweise in Wien beim Bau von Haltestellen der U-Bahnlinie 2 verwendet. An der Haltestelle Schottenring wurden 14 Großbohrpfähle mit einem Nenndurchmesser von jeweils 120 cm in den Boden eingebracht. Im Bereich der Haltestelle Praterstern wurden 7.350 m<sup>2</sup> Schlitzwand über 306 m Länge bis in 24 m Tiefe mit Absorberleitungen belegt (Bild 2).

## 2.2 Nutzung oberflächennaher Geothermie für Haltestellenzugänge

In den Zugangsbereichen zu unterirdisch gelegenen Haltestellen kann die Nutzung oberflächennaher Geothermie dazu dienen, während der Wintermonate die oberirdisch gelegenen Zugänge und Treppen schnee- und eisfrei zu halten. Der Winterdienst erfolgt zumeist durch die Schneeräumung und das Streuen von Hand mit Granulat, Split und Sand zum Schutz von Bauwerken und Boden. Trotzdem besteht die Gefahr der Glatteisbildung, wenn Flächen tagsüber von oben der Sonneneinstrahlung und nachts von unten dem Frost ausgesetzt sind. Daher wird durch den Einsatz von Heizsystemen versucht, insbesondere an den Zugängen zu Haltestellen, einerseits die Gefahr von Glatteisbildung zu verringern und andererseits den hohen Personalaufwand für den herkömmlichen Winterdienst zu ersetzen oder zumindest zu reduzieren. Die derzeitige Anwendung von elektrisch betriebenen Flächenheizungen auf oberirdischen Bahnsteigen und Treppen ist aufgrund des großen Energiebedarfs mit relativ hohen Betriebskosten verbunden. Mit einem geringen Einsatz zusätzlicher externer Energie für den Betrieb von Wärmepumpen kann eine derartige Anlage mit geothermischer Energie wirtschaftlicher betrieben werden.

Bei der U-Bahn München wurden beispielsweise an U-Bahnhöfen die bisher elektrisch beheizten Rampen und Treppen durch geothermisch beheizte Anlagen ersetzt. Die Systeme sind mit optimierten Baustoffen kombiniert, die die Wärme möglichst verlustfrei ans Ziel leiten, z. B. durch Einbindung der Röhren in Wärmeleitmörtel, und außerdem mit einer witterungsabhängigen Steuerung versehen. Im Winter können die Zugänge somit schnee- und eisfrei gehalten werden (Bild 3), so dass Fahrgäste sicher zu den Bahnsteigen gelangen können. Dadurch ergaben sich Einsparungen bei den Energiekosten zwischen 75 und 90 % [2].

## 3 Energieoptimierte Haltestellen

Die in den Haltestellen integrierten Anlagen wie Beleuchtung, Aufzüge, Fahrtreppen und Informationselemente sind aufgrund der nur kurzen Betriebspausen praktisch im Dauereinsatz. Ein ressourcenschonender Betrieb schlägt daher auch wirtschaftlich zu Buche.



Bild 3 Geothermisch beheizte Treppenanlage an einem Zugang zur Münchener U-Bahn im Betrieb (Quelle: Stadtwerke München)

### 3.1 Fahrgastinformation

Auf eine umfassende Fahrgastinformation (Fahrpläne, Lagepläne, Netzpläne) kann auch in Zeiten der Smartphones nicht verzichtet werden. Stand der Technik bei der Beleuchtung der teils großformatigen Aushänge in den Vitrinen ist eine Hinterleuchtung mit Leuchtdioden (LED, engl.: light emitting diode) (Bild 4). Aufgrund der höheren Energieeffizienz der LED-Leuchtmittel gegenüber der konventionellen Vitrinenbeleuchtung lässt sich eine Energieeinsparung von bis zu 50 % erzielen. Zusätzlich ist die Ausleuchtung der Aushanginformation gleichmäßiger und weist keine Verschattungen mehr auf. Dies verbessert die Lesbarkeit. Die Vitrinen lassen sich zudem mit Sensoren koppeln, so dass in Zugangsbereichen mit Tageslicht-

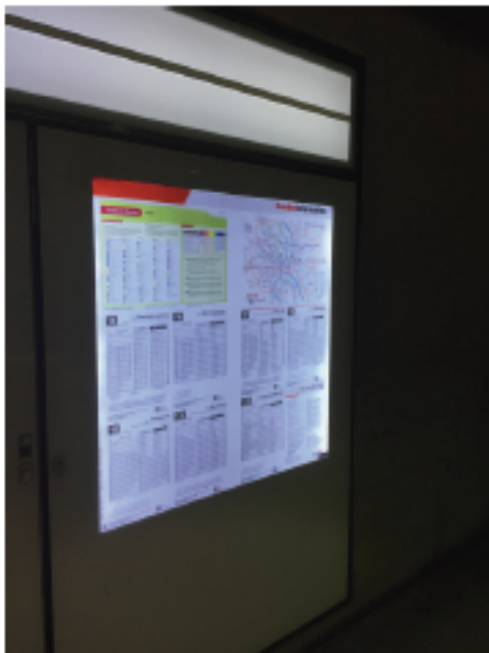


Bild 4 Informations-Vitrine mit LED-Hinterleuchtung

einfall bei ausreichender Umgebungshelligkeit weitere Energie eingespart werden kann.

### 3.2 Aufzüge und Fahrtreppen

Um die Zugänglichkeit der unterirdischen Haltestellen für alle Fahrgäste zu ermöglichen, gehört der Einbau von Aufzügen und Fahrtreppen zum technischen Standard. Da die Nutzungszeit der Förderanlagen geringer ist als die Nutzungszeit des Bauwerks, können bereits bei einem turnusmäßigen Austausch jeweils energieeffizientere Anlagen eingesetzt werden. Bei Aufzügen gilt: Je höher Nennlast, Hubhöhe und Fahrterzahl am Tag sind, desto höher ist das Einsparpotenzial beim Energieverbrauch. Dies gilt beispielsweise beim Einsatz einer intelligenten Steuerungstechnik, wenn mehrere Ebenen angefahren werden. Bereits bei der Planung eines Aufzugs sollte auf eine optimale Auslegung der Ausgleichsgewichte geachtet werden, um die zu bewegend Massen gering zu halten.

Ein großes Einsparpotenzial besteht in der Abschaltung der Fahrkorbbeleuchtung. Aus Sicherheitsgründen wird die Fahrkorbbeleuchtung der Aufzüge in unterirdischen Haltestellen allerdings während der Betriebszeiten nicht abgeschaltet. Konventionelle Beleuchtung kann bis zu 25 % des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen [3]. Die Ausstattung des Fahrkorbs mit LED-Leuchtmitteln, die sich inzwischen etabliert hat, kann somit gerade aufgrund des Dauerbetriebs zu einer erheblichen Energieeinsparung beitragen. Hier kann sich auch eine Umrüstung bestehender Anlagen lohnen.

Fahrtreppen werden in unterirdischen Haltestellen bereits viel länger eingesetzt als Aufzüge. Damit ist auch der Anteil älterer Anlagen, die nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und modernisiert oder ausgetauscht werden müssen, höher. Bei Fahrtreppen bieten sich unterschiedliche Einsparpotenziale:

- Gegenwärtig kommen Kegelstirnrad- oder Planetengetriebe oder kombinierte Antriebstechniken, z. B. ETA-Drive, Kegelstirnrad-Getriebe mit geberlosem Permanentmagnet-Synchronmotor, zum Einsatz (Energieeffizienz bis zu 96 %).
- Die Motorleistung sollte fein abgestuft werden, damit die Motoren möglichst nahe am Nennbetriebspunkt arbeiten können. So besteht während des Betriebs bei jeder Belastung stets ein günstiger Wirkungsgradbereich.
- Abwärtslaufende Fahrtreppen können überschüssige Energie in das gebäudeeigene Stromnetz zurückspeisen (generatorischer Betrieb), wenn sie nicht mit einem Frequenzumformer ausgestattet sind. In Verbindung mit Stand-by-Betrieb sind 50 bis 60 % Energieeinsparung möglich.
- Frequenzgesteuerter Antrieb: Bei Nichtbenutzung der Fahrtreppe wird die Geschwindigkeit z. B. von 0,5 auf 0,2 m/s herabgesetzt oder die Fahrtreppe ganz abschaltet. Nähert sich ein Benutzer, läuft die Fahrtreppe an. Dadurch wird der Bedarf für die Bewegungsenergie deutlich reduziert. Im Stand-by-Zustand wird keine Bewegungsenergie benötigt. Damit kann je nach Verkehrsaufkommen der Energieverbrauch um bis zu 30 % gesenkt werden.
- Durch den Einsatz leichter Aluminiumstufen und den Verzicht auf durchgehende Stufenachsen werden das zu beschleunigende Gewicht des Stufenbands und die Reibwiderstände verringert.
- Der Bremsmagnet wird während des Öffnungsvorgangs mittels Übererregung angesteuert. Zum Halten der geöffneten Bremse wird die Leistungsaufnahme halbiert.

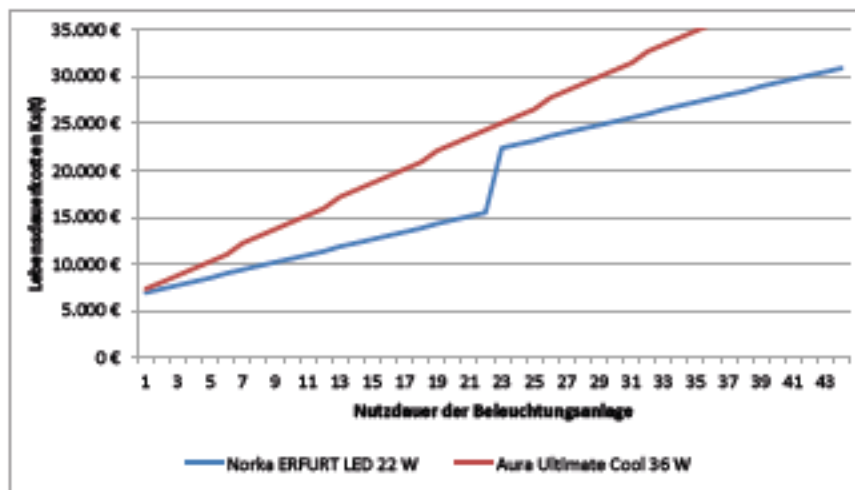


Bild 5 Lebensdauerkosten einer Beleuchtungsanlage an einer unterirdischen Haltestelle bei Ausstattung mit LED oder Leuchtstoffröhren im Vergleich

- Durch den Einsatz von LED-Beleuchtung bei Stufen, Stufenkämmen und an den Antritten lässt sich der Energieverbrauch für die Beleuchtung um bis zu 30 % senken.

### 3.3 Beleuchtungstechnik

Die unterirdischen Betriebsanlagen, die für den Fahrgastbetrieb genutzt werden, müssen aus Sicherheitsgründen während der Betriebszeiten beleuchtet werden. Dabei ist die gesetzlich festgeschriebene Beleuchtungsstärke nach [4] und [5] einzuhalten. Weitere Aspekte einer wirtschaftlichen Beleuchtungsplanung stellen die Wartungs- und Instandhaltungskosten dar.

Bild 5 zeigt einen Vergleich der Lebensdauerkosten für die Beleuchtungsanlage einer Bahnsteighalle. Ursprünglich war diese Bestandsanlage mit 52 Leuchtstofflampen ausgerüstet. Sofern man diese durch technisch aktuelle Leuchtstofflampen ersetzen würde, wären 40 Leuchtstofflampen ausreichend, um die erforderlichen Beleuchtungswerte einzuhalten. Durch Ausrüstung mit LED-Leuchtmitteln konnte die Anzahl sogar auf 37 Lampen reduziert werden. Die Energieeinsparung durch die LED-Lampen gegenüber der Altanlage beträgt 10.000 kWh pro Jahr bzw. gegenüber der optimierten Leuchtstofflampenlösung 6.500 kWh. Die installierte Leistung ließ sich von 3.016 (Altanlage) auf 912 W (37 LEDs) reduzieren.

Neben den wirtschaftlichen Vorteilen eines Betriebs mit LED wurde die mittlere Beleuchtungsstärke gegenüber der Altanlage (52 Leuchtstofflampen) von 151 auf 161 lx (37 LED-Lampen) angehoben. Auch die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung konnte um ein Drittel verbessert werden.

#### 3.3.1 Planung der Beleuchtung

Grundlagen der Beleuchtungsplanung in Verkehrsunternehmen, die unter den Anwendungsbereich der Bau- und Betriebsordnung von Straßenbahnen (BOStrab) fallen, sind die BOStrab selbst [4], die zugehörigen technischen Regeln [5], ENVDE-Vorschriften, Schriften des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) [6], [7] sowie DIN-Normen und Unfallverhütungsvorschriften.

Grundsätzlich sind bei einer Planung von Beleuchtungsanlagen im Bereich von unterirdischen Haltestellen und Tunneln folgende wesentlichen Anforderungen zu berücksichtigen:

- Einhaltung der vorgegebenen Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit,
- Deutliche Erkennbarkeit der Bahnsteigkanten,
- Keine Vortäuschung von Signalen oder Beeinträchtigung der Erkennbarkeit,
- Vorhandensein einer Sicherheitsbeleuchtung,
- Selbsttätige Einschaltung der Tunnelbeleuchtung bei Ausfall der Fahrleitungsspannung.

Ergänzend zu den vorgenannten Grundanforderungen sollte eine Beleuchtungsanlage auch die nachfolgenden Kriterien erfüllen:

- Einhaltung der gestalterischen Aufgabe,
- Gewährleistung eines Sicherheitsempfindens der Fahrgäste,
- Möglichst geringer Energieverbrauch,
- Wartungs- und Inspektionsfreundlichkeit,
- Geringe Investitionskosten.

Die Beleuchtungsanlagen sollten so geplant werden, dass sie über eine Sensorsteuerung nur dann eingeschaltet werden, wenn dies betriebsbedingt erforderlich ist. Hierfür bieten sich

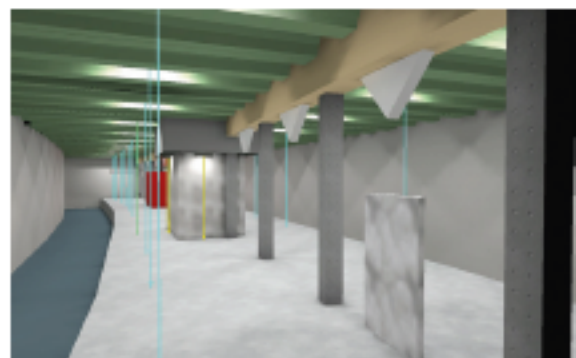


Bild 6 Beispiel für eine Beleuchtungsplanung an einer unterirdischen Haltestelle

z. B. der Einsatz von Dämmerungsschaltern in Übergangs- und Außenbereichen sowie eine Verknüpfung der Beleuchtungssteuerung mit betriebszeitgesteuerten Fernwirkssystemen an. Vorrang hat jedoch immer die Einhaltung der gesetzlich geforderten Beleuchtungsstärke, um die Sicherheit der Fahrgäste und des Betriebspersonals zu gewährleisten.

Bei der Beleuchtungsplanung (Bild 6) ist neben den Leuchten und Leuchtmitteln auch das Umfeld zu berücksichtigen. So ist es beispielsweise wichtig, den Reflexionsgrad und die Farben von Decken, Wänden und Böden zu berücksichtigen. Aber auch die Farbtemperatur und -wiedergabe sowie die Gleichmäßigkeit sind wichtige Parameter, um die vielfältigen Anforderungen an die Beleuchtung zu erfüllen. Insofern hat sich die Beleuchtungsplanung in die Gesamtplanung der Haltestelle einzufügen, um optimale Ergebnisse zu erzielen.

Die Erfahrungen zeigen, dass durch die heute verwendeten Planungstools, Beleuchtungsanlagen so geplant und realisiert werden können, dass die vorgenannten Anforderungen erfolgreich umgesetzt werden. Trotz dieser Tools kann es im Einzelfall sein, dass geringe Nachbesserungen an bestehenden oder neu installierten Beleuchtungsanlagen nötig werden.

### 3.3.2 Auswahl der Leuchtmittel

Im Rahmen der Beleuchtungsplanung sind die für den jeweiligen Anwendungsfall geeigneten Leuchtmittel auszuwählen. Bei der Auswahl von Leuchtmitteln ist neben der Klimafreundlichkeit, den Investitions- und Betriebskosten, und den sonstigen aufgeführten Kriterien für die Planung der Beleuchtung, auch Folgendes zu beachten:

- Lichtausbeute,
- Lebensdauer,
- Temperaturverhalten.

Insbesondere die Lichtausbeute ist ein wesentliches Kriterium für die Energieeffizienz. Hier ist es von entscheidender Bedeutung, ob ein Leuchtmittel wie eine Halogenlampe mit 25 lm/W oder eine deutlich effizientere LED-Lampe mit 150 lm/W eingesetzt wird. Die Wahl der Leuchtmittel hat entsprechende Auswirkungen auf den Energiebedarf und somit auf die Umweltbelastung und die Betriebskosten.

Auch die Lebensdauer eines Leuchtmittels ist ein wichtiges Kriterium im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtung. Ein in der Anschaffung vermeintlich günstiges Leuchtmittel kann in der Praxis schnell teuer werden. Gerade in unterirdischen Verkehrsanlagen kann die unplanmäßig notwendige Erneuerung von Leuchtmitteln aufgrund der erforderlichen Sicherungsmaßnahmen und Hilfsmittel (z. B. Gerüste) zu erheblichen Kosten führen.

Ein weiteres Kriterium bei der Auswahl von Leuchtmitteln ist auch die Temperaturstabilität des Lichtstroms. Diese bedeutet, dass Leuchtmittel, deren Lichtstrom sich bei niedrigen Temperaturen verringert, so ausgewählt werden müssen, dass der Lichtstrom auch bei den niedrigsten im Betrieb auftretenden Temperaturen ausreichend ist, um die vorgeschriebene Beleuchtungsstärke sicherzustellen.

Die bisherigen Erfahrungen mit LED-Leuchtmitteln in unterirdischen Haltestellen bestätigen, dass bei Einsatz von LED im Vergleich mit Leuchtstofflampen neben dem geringeren Energiebedarf auch die Lebensdauer und Temperaturstabilität des Lichtstroms, insbesondere bei niedrigen Temperaturen, vorteilhaft sind.



Bild 7 LED-Lichtcontainer im Betrieb mit geschlossener Tür



Bild 8 LED-Lichtcontainer: Tür (geöffnet) für Zugang im Rahmen von Wartungsarbeiten

### 3.3.3 Instandhaltung und praktische Erfahrung

Ein wesentlicher Baustein für den wirtschaftlichen Betrieb von Beleuchtungsanlagen ist neben der Instandhaltung auch die sinnvolle Einbettung in ein Gesamtkonzept mit umliegender Infrastruktur und Architektur (Bilder 7 und 8). Hierdurch lassen sich bei der Instandhaltung Synergien erzielen, beispielsweise bei zeitgleicher Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen verschiedener Gewerke. Damit können Beeinträchtigungen des Fahrgastbetriebs verringert oder sogar vollständig vermieden werden.

Für die effiziente Instandhaltung ist es notwendig, dass präventiv agiert wird. Das bedeutet, dass Leuchtmittel auf Basis von Lebensdauererwartungen vorbeugend und somit planmäßig ausgetauscht werden. Hiermit werden unnötige Bereitschaftseinsätze zur Instandsetzung an einzelnen Leuchten oder zum Tausch von Leuchtmitteln minimiert. Dies führt zu einem geringeren Personal- und Hilfsmittelleinsatz und damit reduzierten Kosten. Aber auch die gemeinsame Nutzung von Hilfsmitteln, wie Leitern und Gerüsten, bei zeitgleicher Ausführung mit anderen Gewerken kann die Effizienz steigern. Aufgrund der bei der LED-Technik langen Austauschzyklen spielt die Energieeffizienz,

die bei LED-Leuchten im Vergleich mit konventionellen Beleuchtungstechniken sehr gut ist, bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten eine besonders wichtige Rolle und rückt gegenüber den Investitionskosten in den Fokus.

### 4 Zusammenfassung und Fazit

Damit der ÖPNV seine führende Stellung beim Umwelt- und Klimaschutz behaupten und ausbauen kann, ist es erforderlich, kontinuierlich Verbesserungen zu erarbeiten und umzusetzen. Im Bereich des unterirdisch betriebenen ÖPNV können die erdberührenden Bauwerke gegebenenfalls zur Energiegewinnung eingesetzt werden. Eine große Rolle spielt dabei die Energieeinsparung bzw. Erhöhung der Energieeffizienz von betrieblichen Anlagen. Die Betriebskosten von Beleuchtung, Aufzügen, Fahrtreppen, Belüftung und weiteren technischen Anlagen einer unterirdischen Haltestelle oder eines Tunnelabschnitts können über die Nutzungsdauer der gesamten Anlagen einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Bauwerks haben. Eine vorausschauende Planung unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten führt nicht nur zur Einsparung von Energiekosten, sondern auch zu sinkenden Kosten für Personal und Hilfsmittel im Rahmen der Instandhaltung und Wartung.

### Literatur

- [1] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV): Nachhaltiger Nahverkehr. Beiträge des ÖPNV zum Umwelt- und Klimaschutz. Düsseldorf: Alba Fachverlag 2010.
- [2] Energiequelle fließt aus dem Münchner Untergrund. In: Münchner Verkehrsgesellschaft mbH. München (MVG Info. 1), 2012, S. 18-19.
- [3] ThyssenKrupp Elevator GmbH: Untersuchungsergebnisse zum Energieverbrauch von Aufzügen. Mitteilung an die STUWA (übermittelt am 31.03.2010).
- [4] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung – BOStrab). BGBl. I S. 2648 vom 11.12.1987, zul. geänd. 16.12.2016.
- [5] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Technische Regeln für Straßenbahnen – Elektrische Anlagen (TRStrab EA), Ausgabe Mai 2011.
- [6] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV): Planung und Bau von Beleuchtungsanlagen im Gleisbereich von Bahnen gemäß BOStrab. VDV-Schrift 535, 2010.
- [7] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV): Instandhaltung von Energieversorgungs-, Fahrleitungs- und Beleuchtungsanlagen. VDV-Schrift 530, 1990.
- [8] Adam, D.: Effizienzsteigerung durch Nutzung der Bodenspeicherung. Ringvorlesung Ökologie. Technische Universität Wien, 17.04.2008.

### Anzeige

## Mit innovativen Lösungen für die Zukunft bauen



Stuttgart 21 Los 1b



Düsseldorf Wehrhahnlinie



- Bauwerks- und Baugrubenabdichtung
- Injektionen im Tunnelbau
- Kraftwerks- und Talsperrinjektionen
- Spritzbetonarbeiten
- Bohrungen für Injektionen, Anker und Verankerungen
- Hebungsinjektionen
- Bodenverfestigungen

Berlin U5



Doha Green Line



DMI Injektionstechnik GmbH, Warmensteinacher Str. 60, 12349 Berlin, Tel: +49 30 4174423-40 Fax: +49 30 4174423-44 E-Mail: [info@dm-i.net](mailto:info@dm-i.net) [www.d-m-i.net](http://www.d-m-i.net)  
DMI Spezialinjektionen Süd GmbH, Kalteher Str. 33, 97450 Amsteln, Tel: +49 9728 907026-0 Fax: +49 9728 907026-9 E-Mail: [info.sued@dm-i.net](mailto:info.sued@dm-i.net) [www.d-m-i.net](http://www.d-m-i.net)