

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 43

Artikel: Elektrizitätsverbrauch für Tunnellüftungen: Beeinflussung des Verbrauchs, aufgezeigt am Beispiel des Tunnels Isla Bella im Zuge der N13 (Graubünden)
Autor: Böhi, Werner
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-86034>

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: 20.01.2026

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

Impulsprogramm RAVEL

Elektrizitätsverbrauch für Tunnellüftungen

Beeinflussung des Verbrauchs, aufgezeigt am Beispiel des Tunnels Isla Bella im Zuge der N13 (Graubünden)

Die Beeinflussung des Elektrizitätsverbrauchs durch geltende Bestimmungen sowie übliches Vorgehen dürfte heute noch unterschätzt werden. Im Rahmen des Impulsprogramms RAVEL (Rationelle Verwendung von Elektrizität) wurde als Beispiel der Strassentunnel Isla Bella vom Grundsatzentscheid bis zum Betrieb hinsichtlich der verbrauchsrelevanten Entscheide, Faktoren und Abläufe untersucht [1] und daraus Empfehlungen für zukünftige Tunnelbauvorhaben gegeben. Bei solchen Bauvorhaben ist die systematische Erfassung des Elektrizitätsverbrauchs von der Planung bis zum Betrieb empfehlenswert. Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich grundsätzlich auch auf andere Verbrauchsbe- reiche übertragen.

Grundlagen

Das Ziel des Impulsprogramms RAVEL ist die Förderung der rationellen Elektrizitätsverwendung durch Forschung, Information sowie Aus- und Weiterbil-

VON WERNER BÖHL,
CHUR

dung. Das Schwergewicht liegt dabei auf den technischen Bereichen. Daneben spielen aber geltende Bestimmungen und praktizierte Usancen keine unwichtige Rolle. Mit der vorliegenden Untersuchung wird die Bedeutung dieses Bereiches für den Elektrizitätsverbrauch am Beispiel eines Strassentunnels aufgezeigt.

Nach einer Schätzung des Bundesamtes für Strassenbau beträgt der Anteil für den Betrieb der Nationalstrassentunnel 0,3% des gesamtschweizerischen Elektrizitätsverbrauchs. Dieser Wert erscheint vernachlässigbar gering. Es besteht jedoch ein genereller Trend zur Verlegung von Strassen in Tunnel, so dass der Elektrizitätsverbrauch solcher Anlagen absolut und anteilmässig wachsen dürfte.

Zunächst wurden diverse in Betrieb stehende Tunnel mit den folgenden Ergebnissen untersucht. Die wesentlichen Verbrauchsfaktoren sind die Lüftung, die Beleuchtung und der Betrieb der Nebenanlagen. Ausserdem ist grundsätzlich zwischen der installierten Leistung und dem Elektrizitätsverbrauch zu unterscheiden.

Bei allen Tunneln hat die Lüftung den grössten Anteil an der installierten Leistung, da deren Auslegung sehr stark

durch die Ausnahmesituationen stokkenden bzw. stehenden Verkehrs und Brandfall bestimmt wird.

Bei Tunneln mit Richtungsverkehr ergibt sich im Normalbetrieb mit flüssigem Verkehr auch bei grossen Tunneln und hoher Verkehrsbelastung durch die Selbstlüftung infolge der Kolbenwirkung der Fahrzeuge meistens eine ausreichende Durchlüftung. Im Extremfall kann der Anteil der Lüftung an der installierten Leistung bis zu 90%, der Anteil am Elektrizitätsverbrauch der gesamten Tunnelanlage jedoch nur 4% betragen.

Ganz andere Verhältnisse herrschen in einem Tunnel mit Gegenverkehr. Dort heben sich die Kolbenwirkungen der Fahrzeuge weitgehend auf. Es ist daher eine stärkere und häufigere Lüftung mit entsprechend höherem Elektrizitätsverbrauch bis über 50% Anteil erforderlich. Vor diesem Hintergrund ist verständlich, dass die spezifischen Verbrauchswerte für Elektrizität (MWh/a·km) sehr stark variieren.

Geltende Bestimmungen

Die gesetzlichen und die Normvorschriften beeinflussen den Elektrizitätsverbrauch im gesamten Ablauf eines Tunnelbauvorhabens von der Planung bis zum Betrieb. Man betrachte nur die bestehenden Gesetze in den Bereichen Umwelt, Gesundheit, Strassen, Verkehr und Haftpflicht. Der zuletzt genannte Bereich wird nachstehend als charakteristisches Beispiel durchleuchtet.

Nach Artikel 58 des Obligationenrechtes hat der Eigentümer eines Werkes den

Schaden zu ersetzen, den dieses infolge fehlerhafter Anlage, Herstellung oder mangelhaften Unterhaltes verursacht. Strassen, Brücken und Tunnel sind Werke im Sinne dieses Gesetzes. Der Werkeigentümer hat daher Massnahmen zu treffen, damit das Werk seiner Zweckbestimmung entsprechend jederzeit sicher benutzt werden kann. Dazu gehört, dass ein längerer Tunnel je nach Verkehrsbelastung beleuchtet und mechanisch belüftet werden muss. Dabei müssen jedoch nur normale Risiken abgedeckt werden. Dies bedeutet, dass die Massnahmen auch finanziell verhältnismässig und zumutbar sein müssen. Die Realisierung eines technischen Höchststandes ist also nicht erforderlich.

Das öffentliche Recht bestimmt grundsätzlich, in welchem Umfang Tunnel beleuchtet und belüftet werden müssen. Gemäss Nationalstrassengesetz sind die Nationalstrassen nach den neuesten Erkenntnissen der Strassenbautechnik und nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu erstellen. Der Unterhalt und Betrieb hat derart nach wirtschaftlichen Kriterien zu erfolgen, dass ein sicherer und flüssiger Verkehr gewährleistet ist.

Es wird im Einzelfall abzuwägen sein, welche der verschiedenen, zum Teil sich entgegenstehenden Interessen wie gewichtet werden sollen, um die geltenden Bestimmungen einhalten zu können. Dem Elektrizitätsbedarf dürfte dabei ein zunehmendes Gewicht beigemessen werden.

Elektrizitätswirksame Handlungen

Im Sinne einer übersichtlichen Darstellung der Einflüsse von Bestimmungen auf den Elektrizitätsverbrauch wurden die nachfolgenden sechs Phasen unterschieden und – bezogen auf den aktuellen Verbrauch an elektrischer Energie – für jede Phase ein «Elektrizitätssparpotential» abgeschätzt.

Phase 1: Grundsatzentscheide

Zwölf Jahre lang hatte man unzählige Varianten für die Linienführung der N13 im Gebiet der Rheinauen geprüft, aufgelegt, bereinigt und wieder verworfen. Die Regierung des Kantons Graubünden hatte sich bereits 1972 für die offene Linienführung einer vierspurigen, richtungsgetreuten Autobahn zwischen Thusis und Reichenau, entsprechend dem Nationalstrassenkonzept, entschieden. Der Augenschein von zwei Bundesräten, mehreren hohen Bundesbeamten und Vertretern eidgenössischer Kommissionen führte dazu, dass ein Alterna-

tivprojekt mit einem Ausbau auf vorerst zwei Fahrspuren und die Verlegung in einen Tunnel im Bereich der Rheinauen zwischen Rhäzuns und Bonaduz ausgearbeitet und genehmigt wurde. Dieser Ablauf enthält zwei wesentliche Grundsatzentscheide, die den heutigen Elektrizitätsverbrauch des Tunnels Isla Bella bestimmen.

Der Bau des 2,5 km langen Tunnels war aus rein technischer Sicht nicht «notwendig». Die Rheinschlucht, welche 1978 in das Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung aufgenommen wurde, gab dem Schutzgedanken ein entsprechendes Gewicht und führte zur Tunnelnölösung. Bezüglich des Elektrizitätsverbrauchs ist festzustellen, dass dieser eine direkte Folge des politischen Entscheides zum Schutz der Rheinauen ist. Das Elektrizitätssparpotential beträgt in diesem Fall 100%, da im Vergleich eine offene Strassenführung keine Elektrizität verbrauchen würde.

Der weitere Grundsatzentscheid zum Bau nur einer, im Gegenverkehr zu betreibenden Tunnelröhre wirkt sich sehr stark auf den Elektrizitätsverbrauch aus. Sofern direkt eine zweite Tunnelröhre gebaut worden wure, könnte der Elektrizitätsverbrauch für die Lüftung aus den weiter oben angeführten Gründen vernachlässigt werden. Ausserdem könnte die Sicherheit der Benützer im Brandfall lüftungstechnisch weniger aufwendig gewährleistet werden. Das Elektrizitäts-Sparpotential gegenüber dem heutigen Zustand beträgt rund 90%.

Phase 2: Anlagenkonzept

Der Grundsatzentscheid zum Bau nur einer Tunnelröhre mit der Option für einen späteren Bau einer zweiten Röhre beeinflusste sehr stark die Wahl des Anlagekonzeptes. Nach eingehenden Variantenstudien entschied man sich für eine kombinierte Halbquer-Querlüftung mit einer einzigen Lüftungszentrale am Südportal. Die Länge des Luftungsabschnittes entspricht damit der gesamten Tunnelnolge.

Für den Betrieb des Tunnels im Gegenverkehr stellt das Konzept der Halbquer-Querlüftung die geeignetste und bezüglich Elektrizitätsverbrauch optimale Lösung dar. In diesem Fall ist praktisch kein Elektrizitatssparpotential vorhanden.

Die Wahl nur einer Lüftungszentrale beim Südportal erfolgte primär aus geologischen Gründen und sekundär wegen der deutlich niedrigeren Anlagekosten gegenüber den Varianten mit zwei Portalzentralen oder einer Mittelzentrale. Dagegen sind die Betriebskosten für die Tunnelnolge bei der gewählten Lösung

doppelt so hoch wie bei den Alternativen. Das Elektrizitatssparpotential liegt daher bei 50%.

Phase 3: Dimensionierung

Massgebend für die Luftungsleistung sind die Ausnahmesituationen wie stehender Verkehr oder Brandfall [2]. Im Normalbetrieb wird meist nur ein Bruchteil der Maximalleistung benötigt. Es gilt, in diesem Fall einen vertretbaren Kompromiss unter Beachtung der physikalischen Bedingungen zu finden, dass der Leistungsbedarf der Ventilatoren mit der dritten Potenz der Luftgeschwindigkeit zunimmt. Hier kommt den Querschnitten der Lüftungskanäle entscheidende Bedeutung zu. Bei einer Verdoppelung des Querschnittes wird bei gleicher Luftformerenge nur noch ein Achtel an Elektrizität verbraucht. Die Vergrösserung der Kanalquerschnitte zur Reduktion der Betriebskosten ist daher in jedem Fall anzustreben, wobei allerdings ein genügender Überdruck in allen Kanälen zum Fahrraum zu gewährleisten ist. Dem stehen meist die gewählte Tunnelbaumethode, das Normalprofil sowie die erheblich höheren Baukosten entgegen. Ein vernünftiges Elektrizitatssparpotential ist bei rund 50% anzusetzen.

Phase 4: Ausschreibung und Vergabe

Ausschreibungsunterlagen und Werkverträge enthalten die genauen Spezifikationen der Ventilatoren und Motoren einschliesslich Wirkungsgrade über den gesamten Betriebsbereich. Die Vergabe erfolgte aufgrund von Preisvergleichen, in denen sowohl die Angebotspreise als auch die kapitalisierten Energiekosten berücksichtigt wurden. Entscheidende Bedeutung für den Energieverbrauch haben hier gute Wirkungsgrade über den gesamten Betriebsbereich. Bei sorgfältiger Ausarbeitung der Ausschreibungsunterlagen und Werkverträge ist nur ein sehr geringes Elektrizitatssparpotential vorhanden.

Phase 5: Ausführung und Abnahme

Die Leistungsdaten der Ventilatoren und Motoren wurden sowohl im Werk als auch nach dem Einbau eingehend überprüft, da Angebot und effektive Lieferung erfahrungsgemäss nicht automatisch übereinstimmen müssen. Abweichungen wurden keine festgestellt. Bei sorgfältiger Ausführung und Abnahmekontrolle darf von einem vernachlässigbar kleinen Elektrizitatssparpotential ausgegangen werden.

Phase 6: Betrieb und Unterhalt

Der Betrieb der Tunnelnolge erfolgt automatisch aufgrund der ständigen Messung der Sichttrubungen und des

CO-Gehaltes im Tunnel. Im vorliegenden Fall sind praktisch nur die Sichttrubungswerte für den Elektrizitätsverbrauch ausschlaggebend. Ein besonderes Problem beim Tunnel Isla Bella stellen die Panzerdurchfahrten dar. Ein automatischer Betriebsablauf führt in diesem Fall zu grossen Spitzen bei der Leistungsaufnahme mit deutlicher Erhöhung der Betriebskosten. Es wurde daher folgende Regelung eingeführt. Die Tunnelnolge wird manuell betrieben und die Panzer müssen untereinander einen genügend grossen Abstand einhalten. Weiterhin wird der Tunnel inzwischen aufgrund von (unberechtigten?) Reklamationen der Autofahrer intensiver belüftet, was zu einem erhöhten Elektrizitätsverbrauch führt. Sofern man auf die Reklamationen keine Rücksicht nehmen oder die Autofahrer über den Zusammenhang zwischen Luftqualität und Elektrizitätsverbrauch besser informieren würde, könnten rund 25% Elektrizität eingespart werden.

Empfehlungen

- ☐ Bei der Forderung nach Verlegung einer Strasse in einen Tunnel, insbesondere wenn der Tunnel nicht technisch bedingt ist, muss der Energieverbrauch bei der Variantenwahl stärker beachtet werden.
- ☐ Beim Entscheid für eine oder zwei Tunnelröhren muss beachtet werden, dass der Elektrizitätsverbrauch für die Tunnelnolge bei Gegenverkehr wesentlich grösser ist als bei Richtungsverkehr.
- ☐ Bei der konzeptionellen Beurteilung verschiedener Varianten ist auf die Forderung zu verzichten, dass eine Anlage für sehr unterschiedliche Betriebsarten genügen muss.
- ☐ Beim Variantenvergleich sind die Betriebskosten stärker zu gewichten und Entscheide nicht nur in Abhängigkeit von den Investitionskosten zu fällen.
- ☐ Wirkungsgrade von Ventilatoren und Motoren sind vorzuschreiben, die Unterschiede bei der Vergabe zu berücksichtigen und effektive Werte bei der Abnahme zu kontrollieren.
- ☐ Beim Betrieb der Tunnelnolge ist nicht auf jede Reklamation mit erhöhter Luftungsleistung zu reagieren, sondern ein Kompromiss zwischen Luftqualität und Energieverbrauch unter Einhaltung angemessener Komfort- und Sicherheitsanforderungen zu suchen. Die Öffentlichkeit ist über diese Zusammenhänge zu informieren.
- ☐ Die heute etablierten Massstäbe bezüglich Luftqualität in Tunneln sind un-

ter Beachtung der erhöhten Anforderungen bei Unterhaltsarbeiten einer sorgfältigen Prüfung zu unterziehen.

□ Die systematische Beachtung des Elektrizitätsverbrauchs von der Planung bis zum Betrieb wird immer wichtiger. Hierzu braucht es bessere Kontroll- und Registriermöglichkeiten, um den von verschiedenen Benutzergruppen verursachten Energieverbrauch beurteilen zu können.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse sollen die elektrizitätsrelevanten Daten aller in Betrieb stehender Tunnel erfasst und ausgewertet werden.

Adresse des Verfassers: *Werner Böhi*, dipl. Ing. ETH., Leiter des RAVEL-Ressorts Gesetze, Normen, Verträge, c/o Fachstelle für Wasser- und Energiewirtschaft Graubünden, Grabenstrasse 30, 7000 Chur.

Literatur

- [1] Dr. H. Hatz, W. Lanker, U. Steinemann: Fallstudie Tunnellüftung anhand des Tunnels Isla Bella der Nationalstrasse N13; 15. Juni 1991 (Wird als RAVEL-Materialien verfügbar gemacht und von der RAVEL-Geschäftsleitung, c/o Amstein und Walther AG, Leutschenbachstr. 45, 8050 Zürich, vertrieben werden).
- [2] Schindler Haerter AG: Grundlagen der Belüftung von Strassentunneln, erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Strassenbau, Mai 1963.

Umkehrdächer und ähnliche Systeme

Bemessung des Wärmeschutzes

Mit Blick auf die Harmonisierung des europäischen Binnenmarktes ist derzeit ein überaus aktives Normenschaftern hinsichtlich Baustoffprüfung und Standardisierung von Materialqualitäten zu beobachten. Diese Normungsarbeiten, welche im Rahmen des CEN (Europäisches Komitee für Normung) durchgeführt werden, haben auch Einfluss auf heutige und künftige Abdichtungsverfahren und Konstruktionsmethoden im Flachdachbau.

Der vorliegende Aufsatz ist die Kurzfassung einer diesbezüglichen, in der Fachzeitschrift «Bauphysik 1/91» näher dokumentierten Anregung.

Im Zuge dieser Harmonisierung werden u.a. umfangreiche Untersuchungen über sogenannte k-Wert- und λ -Wert-

VON HEINZ BANGERTER,
KLOTEN

Zuschläge bei Umkehrdächern angestellt. Aufgrund von Studien und Modellversuchen des Fraunhofer-Institutes für Bauphysik zeichnet sich hinsichtlich der k-Wert-Zuschläge eine Festlegung ab, welche bei näherer Betrachtung kaum zu befriedigen vermag. Genauere Überprüfungen zeigen aber auch, dass die schweizerische Empfehlung SIA 271 «Flachdächer» nur sehr rudimentäre und generell zu tiefe Zuschlagswerte zur wärmetechnischen Bemessung von Umkehrdächern liefert. Dabei ist u.a. auch zu bemängeln, dass der je nach Feuchtigkeitsaufnahme erhöhten Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes nach geltender SIA-Empfehlung nur in «restriktivem Sinne» Rechnung getragen wird, d.h., es werden nur Schutz- oder Nutzbeläge über Umkehrdachsystemen zugelassen, welche eine Feuchtigkeitsanreicherung im Dämmstoff aus Diffusionsgründen generell ausschliessen. Aus schweizerischer

Sicht scheint es jedenfalls nötig, sich mit der Frage von Δk -Zuschlägen infolge Unterfließens der Dämmplatten und mit der Frage des wirksamen, ideellen λ -Wertes der Dämmplatten je nach Abdeckung und Feuchtigkeitsaufnahme eingehender auseinanderzusetzen.

Für die aus Sicht des Bauherrn wichtigen Aspekte der tatsächlichen thermischen Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit eines Umkehrdaches und seiner Modifikationen (DUO-Dach, Renovationssysteme) ist die normengemässe Festlegung der wärmetechnischen Zusatzgrössen Δk und $\Delta \lambda$ von entscheidender Bedeutung – zumal der nach heutigen Erkenntnissen einzig geeignete Umkehrdach-Dämmstoff «extrudierter Polystyrol XPS» bei den konventionellen Warmdachsystemen kaum mehr Verwendung findet. Diese produktbedingte Polarisierung zwischen dem Umkehrdach- und den Warmdachsystemen wird im übrigen noch verstärkt durch die umweltschädigenden Treibgase zur Extruderschäumherstellung [1], [2], [3]. Sowohl aus ökologischer als auch energetischer Sicht erfordert das Umkehrdach deshalb besondere Beachtung.

Spezifische Betrachtungen zum Dämmstoff

Bisher fand bei XPS-Schäumen vor allem das Treibmittel FCKW 12 Anwendung. Das hohe Ozonzerstörungspotential (mit Index 100) dieses Treibgases hat dazu geführt, dass ein Ausstieg aus solchen Produkten im Interesse der Umwelt – sowohl zur Erhaltung der Ozonschicht als auch zur Vermeidung eines globalen Treibhauseffektes – unvermeidbar ist. Internationale Abkommen wie z.B. das bekannte Montreal-Protokoll, welches den generellen Ausstieg aus den FCKW-Anwendungen regeln will, werden angesichts des sich zuspitzenden Dringlichkeitsgrades laufend verschärft und hinsichtlich der umstrittenen Produkte dauernd erweitert. Die Industrie sieht sich daher kurzfristig gezwungen, Alternativprodukte zu finden und einzuführen, welche allerdings aus wirtschaftlichen Interessen die Weiterverwendung der bestehenden Anlagen mit minimalstmöglichen Änderungen und Investitionen gewährleisten sollten. In Aussicht genommen sind nun die teilhalogenierten Substitutionsprodukte HFCKW 22 und HFCKW 142 b, fälschlicherweise oft auch Hydro-Fluoraleane genannt.

Deren reale Umweltverträglichkeit bezüglich troposphärischen Ozonabbaus und Treibhauseffektes wird allerdings von ernsthaften Wissenschaftlern und Umweltschutzbehörden ebenfalls zunehmend in Zweifel gezogen. Geht man aber vorerst davon aus, dass die betroffenen Hersteller bis zum Inkrafttreten gesetzlicher Massnahmen, bzw. bis zur Einführung echt umweltfreundlicher Alternativprodukte ihre Dämmplatten mit HFCKW 22, HFCKW 142 b oder Ähnlichem schäumen werden [4] [5], stellt sich aus technischer Sicht die Frage nach dem Einfluss dieser Treib-