

Adressen:

Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/61 21 39
Fax: 031/61 20 57

Geschäftsstelle: RAVEL
c/o Amstein+Walthert AG
Leutschenbachstrasse 45
8050 Zürich
Tel.: 01/305 91 11
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter: W. Böhi, dipl. Ing. ETH
Fachstelle für Wasser- und Energiewirtschaft des Kt. GR
Stadtgartenweg 11
7001 Chur
Tel.: 081/21 36 21
Fax: 081/21 21 60

Autoren: Dr. H. Hatz
Hartbertstrasse 1/Postfach 111
7001 Chur
Tel.: 081/22 36 16
Fax: 081/22 02 50

W. Lanker, El. Ing. HTL
Via Marchesa 4
7013 Domat/Ems
Tel.: 081/36 32 30
Fax: 081/36 32 30

U. Steinemann, HLK Ing. HTL
Schwalbenbodenstrasse 15
8832 Wollerau
Tel.: 01/784 53 65
Fax: 01/ 784 53 66

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Handen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung.

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, Februar 1992
Auszugweiser Nachdruck unter Quellenangabe
erlaubt. Zu beziehen beim Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern (Best. Nr. 724.397.41 d)

Form. 724.397.41 d 2.92 200

RAVEL Materialien **zu** RAVEL

Materialien zu RAVEL

Fallstudie

Tunnellüftung

anhand des Tunnels

Isla Bella

der Nationalstrasse N13



H. Hatz
W. Lanker
U. Steinemann

Impulsprogramm RAVEL
RAVEL - Materialien zu RAVEL

Bundesamt für Konjunkturfragen

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung und Ziel der Arbeit	1
2. Kenndaten des schweizerischen Nationalstrassennetzes	1
3. Bedeutung der Tunnellüftung für den Elektrizitätsverbrauch	2
3.1 Allgemeine Angaben	2
3.2 Kenndaten bestehender Tunnel	2
3.3 Diskussion der Kenndaten	7
4. Verbrauchsrelevante Entscheide beim Tunnel Isla Bella	8
4.1 Grundsatzentscheide (A)	8
4.2 Anlagenkonzept (B)	9
4.3 Dimensionierung (C)	11
4.4 Ausschreibung, Vergabe (D)	12
4.5 Ausführung, Abnahme (E)	13
4.6 Betrieb, Unterhalt (F)	13
5. Haftpflichtfragen	14
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	15
LITERATURVERZEICHNIS	18

ANHANG

Erhebungsblatt zur Erfassung des Elektrizitätsverbrauchs von Strassentunneln

1. Einleitung und Ziel der Arbeit

Das Ziel des Impulsprogramms RAVEL besteht in der Förderung der rationellen Elektrizitätsverwendung mittels Forschung, Aus- und Weiterbildung sowie Information.

Als Ergänzung zu den schwergewichtig technisch orientierten Aktivitäten des Impulsprogramms RAVEL hat das Ressort Gesetze, Normen, Verträge (GNV) das allgemeine sowie das gesetzliche Umfeld zum Thema. Mit dem vorliegenden Bericht soll die Bedeutung des Bereiches GNV für den Elektrizitätsverbrauch am Beispiel der Lüftungsanlage des Strassentunnels Isla Bella der Nationalstrasse N13 aufgezeigt werden. Da in diesem Fallbeispiel nur ein kleiner Teil der Fragen durch eigentliche Gesetze und Normen geregelt wird, werden auch die massgebenden internen Richtlinien und Erfahrungswerte von Bauherren, Ingenieurbüros und Unternehmungen berücksichtigt.

Die grundsätzlichen Überlegungen der vorliegenden Fallstudie mit der Überprüfung der verbrauchsrelevanten Entscheidung gemäss Abschnitt 4 in den sechs Phasen von den Grundsatzentscheiden bis zum Betrieb gelten sinngemäss auch für andere Anwendungen. So legt der Entschluss zum Bau eines Gebäudes oder zum Kauf eines Apparates den Grundstein für den späteren Energieverbrauch. Dann sind die Komfortansprüche und die Systemwahl energierelevant und schliesslich beeinflussen auch die Betriebsweise und der Unterhalt den Energieverbrauch. Speziell trifft dies auch für den Betrieb und den Unterhalt von haustechnischen Anlagen zu.

2. Kenndaten des schweizerischen Nationalstrassennetzes

Ende 1989 war das schweizerische Nationalstrassennetz zu 80.6 % der geplanten Gesamtlänge in Betrieb, nämlich []

sechsspürige Autobahnen	73.0 km
vierspürige Autobahnen	1'067.6 km
zweispürige Autobahnen	256.2 km
Gemischtverkehrsstrassen	98.1 km
Total	1'494.9 km

Das bestehende Nationalstrassennetz enthält total 141 Tunnel mit den folgenden Kenndaten

75 einröhrige Tunnel (Gegenverkehr) mit einer Gesamtlänge von	61.176 km
66 zweiröhrige Tunnel (Richtungsverkehr) mit einer Gesamtlänge von	51.348 km
Total 141 Tunnel mit einer Gesamtlänge von	112.524 km

Für das gesamte Nationalstrassennetz sind total 229 Tunnel mit einer Gesamtlänge von 227.554 km geplant. Während beim bestehenden Nationalstrassennetz etwa 7.5 0/o der Strecken in Tunneln verlaufen, muss nach dem heutigen Planungsstand etwa ein Drittel des verbleibenden Netzes unterirdisch geführt werden.

3. Bedeutung der Tunnellüftung für den Elektrizitätsverbrauch

3.1 Allgemeine Angaben

Aufgrund einer ersten groben Schätzung wurde die Verbrauchsmatrix gemäss Tabelle 3.1 erstellt [2]. Sie zeigt die Verbrauchsanteile der elektrischen Energie, aufgeschlüsselt in den Spalten aus fachorientierter Sicht und in den Zeilen aus verbrauchsorientierter Sicht. Für den Bereich Verkehr wird ein totaler Verbrauchsanteil von 7 % prognostiziert, für die Tunnellüftung inkl. Wagenklimatisierung (SBB) sind es etwa 2 %.

Nach einer Schätzung des ASB [3] werden für den Betrieb der Nationalstrassentunnel rund 105 GWh/a aufgewendet (Tunnellüftung, -beleuchtung und Nebenanlagen). Bezogen auf den gesamten Elektrizitätsverbrauch der Schweiz von 149 PJ/a resp. 41'400 GWh/a (1985) bedeutet dies einen Anteil für den Betrieb der Nationalstrassentunnel von 0.3 %. Davon entfallen etwa 30 % auf die Tunnellüftung, so dass der Anteil des Elektrizitätsverbrauchs für den Betrieb der Lüftungsanlagen der Nationalstrassentunnel bei etwa 0.1 % des schweizerischen Gesamtverbrauchs liegen dürfte. Selbst nach der Fertigstellung des Nationalstrassennetzes, welche gemäss Abschnitt 2 etwa eine Verdoppelung der Tunnelkilometer mit sich bringt, wird dieser Anteil deutlich unter 1 % bleiben.

3.2 Kenndaten bestehender Tunnel

Nachfolgend werden die Kenndaten einiger Tunnel mit Richtungsverkehr und mit Gegenverkehr zusammengestellt. Der Vollständigkeit halber werden die Installierten Leistungen und Elektrizitätsverbräuche nicht nur für die Tunnellüftung sondern auch für die Tunnelbeleuchtung und für die Nebenanlagen angegeben.

Verbrauchsmatrix

Geschätzte Verbrauchsanteile der elektrischen Energie in der Schweiz gemäss [2]

fachorien- tiert / ver- brauchs- orientiert	Wärme		Kraft		Licht		Geräte		Diverses	
	1	38%	2	33%	3	11%	4	13%	5	5%
A Haus- technik 25%	Raumlutkon- ditionierung: Heizen, Lüften, Klimatisieren, Wärmepum- pen 7%		Motoren für Pumpen und Ventilatoren, Steuerantriebe, Personenlifte 8%		Beleuchtung 10%				Steuerungen, Automati- sierung, Sicherheit	
B Prozesse Industrie 30%	Prozesswärme (Widerstand, Lichtbogen, HF, Infrarot, Induktion) 8%		Motoren und Antriebe, Förderanlagen 19%						Prozesssteue- rung, Kommu- nikation, diver- se Prozesse (Chemie, Elek- trolyse, etc.) 3%	
C Prozesse Dienst- leistung 14%	Grossküchen, Kühlanlagen, etc. 9%		Motoren für Personenför- derung, Kälte- maschinen 2%				Bürogeräte, Terminals, PC's etc. 1%		EDV-Anlagen, Kommunika- tionssysteme, USV 2%	
D Betriebs- einrich- tungen Haushalte 24%	Warmwasser- aufbereitung, Elektroheizun- gen 12%						Unterhaltungs- elektronik, pri- vate EDV, Haushaltgeräte 12%			
E Verkehr 7%	Tunnelbelüf- tung, Wagen- klimatisierung 2%		Traktion, An- triebe von Förderanlagen 4%		Oeffentl. Be- leuchtung, Tun- nelbeleuchtung 1%				Energieversor- gung und -um- formung, Signalisation	
F WKK, WP, WRG	Wärme- kraftkopplung, Wärme- pumpen, Wärmerückgewinnung									

Tabelle 3.1

Seelisbergtunnel NW/UR				N2
Tunneldaten	Länge	2 Röhren à 9'280 m		
	Fahrspuren	2 + 2		
	Lüftungssystem	Querlüftung		
	Inbetriebnahme	12.12.1980		
Installierte Leistung	Tunnellüftung	16.9 MW	1.82 MW/km	89 %
	Tunnelbeleuchtung	1.1 MW	0.12 MW/km	6 %
	Nebenanlagen	1.0 MW	0.11 MW/km	5 %
	Total	19.0 MW	2.05 MW/km	100 %
Elektrizitätsverbrauch (1.1989 - 12.1989)	Tunnellüftung	250 MWh/a	27 MWh/a.km	4 %
	Tunnelbeleuchtung	4'220 MWh/a	455 MWh/a.km	74 %
	Nebenanlagen	1'230 MWh/a	133 MWh/a.km	22 %
	Total	5'700 MWh/a	614 MWh/a.km	100 %

Tunnel Kerenzerberg GL (Tunnelröhre Richtung Chur)				N3
Tunneldaten	Länge	1 Röhre à 5'760 m		
	Fahrspuren	2		
	Lüftungssystem	Kombinierte Halbquer-/Querlüftung		
	Inbetriebnahme	9.4.1986		
Installierte Leistung *	Tunnellüftung	1.84 MW	0.32 MW/km	89 %
	Tunnelbeleuchtung	0.20 MW	} 0.04 MW/km	11 %
	Nebenanlagen	0.04 MW		
	Total	2.08 MW	0.36 MW/km	100 %
Elektrizitätsverbrauch * (1.1989 - 12.1989)	Tunnellüftung	} 1'870 MWh/a	325 MWh/a.km	
	Tunnelbeleuchtung			
	Nebenanlagen			
	Total	keine separate Erfassung		

* nur eine Tunnelröhre !

3.2.1 Tunnel mit Richtungsverkehr

Tunnel Rosenberg SG				N1
Tunneldaten	Länge	2 Röhren à 1'435 m		
	Fahrspuren	2 + 2		
	Lüftungssystem	Querlüftung		
	Inbetriebnahme	1.7.1987		
Installierte Leistung	Tunnellüftung	1.29 MW	0.90 MW/km	77 %
	Tunnelbeleuchtung	0.17 MW	0.12 MW/km	10 %
	Nebenanlagen	0.22 MW	0.15 MW/km	13 %
	Total	1.68 MW	1.17 MW/km	100 %
Elektrizitätsverbrauch (1.1988 - 12.1989)	Tunnellüftung	1'098 MWh/a	765 MWh/a.km	53 %
	Tunnelbeleuchtung	543 MWh/a	378 MWh/a.km	26 %
	Nebenanlagen	440 MWh/a	307 MWh/a.km	21 %
	Total	2'081 MWh/a	1'450 MWh/a.km	100 %

3.2.2 Tunnel mit Gegenverkehr

Gothardtunnel UR/TI (inkl. Vortunnel)				N2
Tunneldaten	Länge	1 Röhre à 16'918 m		
	Fahrspuren	2		
	Lüftungssystem	Querlüftung		
	Inbetriebnahme	5.9.1980		
Installierte Leistung	Tunnellüftung	24.3 MW	1.44 MW/km	87 %
	Tunnelbeleuchtung	1.0 MW	0.06 MW/km	4 %
	Nebenanlagen	2.7 MW	0.16 MW/km	9 %
	Total	28.0 MW	1.66 MW/km	100 %
Elektrizitätsverbrauch (1.1989 - 12.1989)	Tunnellüftung	6'700 MWh/a	396 MWh/a.km	41 %
	Tunnelbeleuchtung	5'900 MWh/a	349 MWh/a.km	36 %
	Nebenanlagen	3'800 MWh/a	225 MWh/a.km	23 %
	Total	16'400 MWh/a	969 MWh/a.km	100 %

Tunnel San Bernardino GR			N13	
Tunneldaten	Länge	1 Röhre à 6'600 m		
	Fahrspuren	2		
	Lüftungssystem	Querlüftung		
	Inbetriebnahme	1.12.1967		
Installierte Leistung	Tunnellüftung	3.5 MW	0.53 MW/km	76 %
	Tunnelbeleuchtung	0.7 MW	0.11 MW/km	15 %
	Nebenanlagen	0.4 MW	0.06 MW/km	9 %
	Total	4.6 MW	0.70 MW/km	100 %
Elektrizitätsverbrauch (1.1989 - 12.1989)	Tunnellüftung	377 MWh/a	57 MWh/a.km	11 %
	Tunnelbeleuchtung	2'219 MWh/a	336 MWh/a.km	67 %
	Nebenanlagen	715 MWh/a	108 MWh/a.km	22 %
	Total	3'311 MWh/a	502 MWh/a.km	100 %

Tunnel Isla Bella GR			N13	
Tunneldaten	Länge	1 Röhre à 2'449 m		
	Fahrspuren	2		
	Lüftungssystem	Halbquer-Querlüftung		
	Inbetriebnahme	11.11.1983		
Installierte Leistung	Tunnellüftung	1.70 MW	0.69 MW/km	85 %
	Tunnelbeleuchtung	0.25 MW	0.10 MW/km	12.5 %
	Nebenanlagen	0.05 MW	0.02 MW/km	2.5 %
	Total	2.00 MW	0.82 MW/km	100 %
Elektrizitätsverbrauch (1.1989 - 12.1989)	Tunnellüftung	430 MWh/a	176 MWh/a.km	25 %
	Tunnelbeleuchtung	} 1'320 MWh/a	539 MWh/a.km	75 %
	Nebenanlagen			
	Total	1'750 MWh/a	715 MWh/a.km	100 %

3.3 Diskussion der Kenndaten

Bei allen Tunneln ist der grösste Teil der installierten Leistung durch die Bedürfnisse der Tunnellüftung gegeben. Dabei ist zu beachten, dass die Auslegung der Tunnellüftungsanlage sehr stark bestimmt wird durch die Berücksichtigung von Ausnahmesituationen wie stockender oder stehender Verkehr sowie durch die Anforderungen zur Beherrschung des Brandfalls.

Bei Tunneln mit Richtungsverkehr ergibt sich im Normalbetrieb mit flüssigem Verkehr auch bei grossen Tunnellängen und hohem Verkehrsaufkommen durch die Selbstlüftung infolge der Kolbenwirkung der Fahrzeuge eine ausreichende Durchlüftung der Tunnelröhre. So macht z.B. beim 9.3 km langen Seelisbergtunnel die für die Tunnellüftungsanlage installierte Leistung 89 % der total installierten Leistung aus, der Verbrauchsanteil der Tunnellüftung beträgt aber lediglich 4 %.

Wenn eine Tunnelröhre im Gegenverkehr befahren wird, heben sich die Kolbenwirkungen der gegeneinanderfahrenden Fahrzeuge weitgehend auf und es kommt unter Berücksichtigung der instationären Vorgänge zu einem Pendeln der Tunnelluftsäule, womit nur die Portalzonen des Tunnels ohne mechanische Lüftung mit genügend Aussenluft versorgt werden. Es ist darum vor allem bei längeren Tunneln mit Gegenverkehr ein häufiger Ventilationsbetrieb erforderlich. Beim Gotthardtunnel macht der Leistungsanteil der Tunnellüftung 87 % aus und der Verbrauchsanteil beträgt 41 %. Der Elektrizitätsverbrauch der Tunnellüftung pro Kilometer Tunnellänge ist beim Gotthardtunnel mit Gegenverkehr rund 15 mal so gross wie beim Seelisbergtunnel mit Richtungsverkehr.

Der Vergleich der spezifischen Verbrauchswerte pro Kilometer Tunnellänge zeigt sehr grosse Unterschiede. Es ist nicht Aufgabe des vorliegenden Berichtes, diese zu analysieren. Es ist jedoch festzuhalten, dass eine systematische Analyse der Elektrizitätsverbräuche und die Bekanntgabe von geeigneten Kennwerten zur Beurteilung sehr wünschbar wären. Es wird in Abschnitt 6 darum empfohlen, die Elektrizitätsverbräuche von Strassentunneln systematisch zu erfassen und es wird dazu im Anhang ein einfaches Erfassungsblatt zur Verfügung gestellt.

4. Verbrauchsrelevante Entscheide beim Tunnel Isla Bella

Es können die folgenden Phasen unterschieden werden, in denen Entscheidungen getroffen werden, welche den Elektrizitätsverbrauch des Objektes beeinflussen:

- A) Grundsatzentscheide
- B) Anlagenkonzept
- C) Dimensionierung
- D) Ausschreibung, Vergabe
- E) Ausführung, Abnahme
- F) Betrieb, Unterhalt

In den nachfolgenden Abschnitten wird anhand des Beispiels Isla Bella die Vorgehensweise in den verschiedenen Phasen beschrieben und es werden Vorschläge zur Änderung bestehender und Einführung neuer Normen, Empfehlungen, Richtlinien usw. zusammengestellt, welche der rationellen und sparsamen Verwendung der elektrischen Energie dienen. Bei den angegebenen Sparpotentialen handelt es sich um Schätzungen, welche sich auf den heutigen Verbrauch beziehen. Sie gelten für die einzelnen Massnahmen und können nicht addiert werden.

4.1 Grundsatzentscheide (A)

Zwölf Jahre lang hatte man unzählige Varianten von Linienführungen geprüft, aufgelegt, bereinigt, verworfen und neue gesucht. 1972 hatte die Regierung des Kantons Graubünden sich für eine Variante einer offen geführten vierspurigen, richtungsgetreunnten Autobahn von Thusis bis Reichenau, wie es dem Nationalstrassenkonzept entsprach, entschieden. Der Augenschein an Ort und Stelle von zwei Bundesräten, mehreren Leitern von Bundesämtern und eidgenössischen Kommissionen führte dazu, dass ein Alternativprojekt mit einem Ausbau von vorerst zwei Fahrspuren ausgearbeitet wurde, das die Rheinauen von Rhäzüns und Bonaduz schont, dafür einen 2.5 km langen Tunnel aufweist. 1975 wurde dieses Projekt mit dem Tunnel Isla Bella allseitig genehmigt.

Der oben beschriebene Werdegang enthält zwei wesentliche Grundsatzentscheide, welche den heutigen Elektrizitätsverbrauch der Tunnellüftungsanlage entscheidend bestimmen:

A 1) Bau eines 2.5 km langen Tunnels zum Schutz der Rheinauen

Die vom Bundesrat festgelegte Tunnellösung trägt der Bedeutung der Auenlandschaft des Hinterrheins mit seinen besonderen Lebensräumen Rechnung. Der Bau des 2.5 km langen Tunnels Isla Bella stellt jedoch keine technische Notwendigkeit dar.

Allein die Tatsache, dass die Rheinschlucht des Hinterrheins 1978 mit der ersten Serie in das Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung aufgenommen worden ist, zeigt die Richtigkeit der gewählten Variante. Aus der Sicht des Elektrizitätsverbrauchs ist jedoch festzustellen, dass die heutigen Betriebsaufwendungen für den Tunnel Isla Bella eine direkte Folge sind des politischen Entscheides zum Schutze der Rheinauen.

== Sparpotential 100 %

A 2) Vorläufig 2-spurige Ausführung des Tunnels (eine Röhre mit Gegenverkehr)

Die Angaben in Abschnitt 3 zeigen, dass die Lüftung eines Tunnels mit Gegenverkehr wesentlich aufwendiger ist als mit Richtungsverkehr. Bei der Länge des Tunnels Isla Bella von 2'449 m kann davon ausgegangen werden, dass die Tunnellüftungsanlage bei Richtungsverkehr nur in Ausnahmesituationen betrieben werden müsste, d.h. dass der Elektrizitätsverbrauch der Tunnellüftung praktisch vernachlässigt werden könnte. Hinzu kommt, dass bei zwei nebeneinanderliegenden Tunnelröhren mit Querschlägen eine einfache und wirksame Massnahme zur Sicherheit im Brandfall zur Verfügung gestellt werden könnte. Allerdings ist bei einer ganzheitlichen Betrachtung auch zu berücksichtigen, dass der Bau von zwei statt nur einer Tunnelröhre mit erheblichen Mehrinvestitionen verbunden wäre.

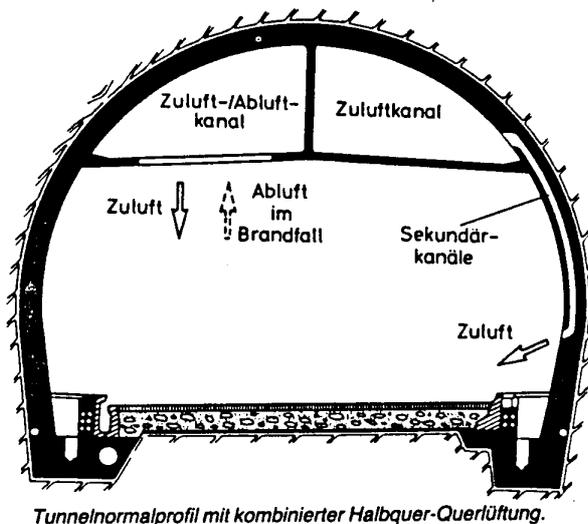
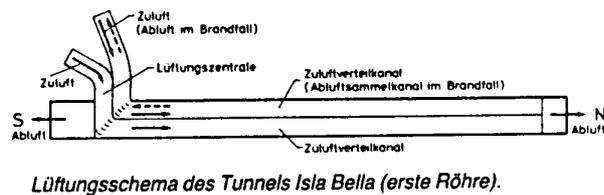
= = Sparpotential ca. 90 %

4.2 Anlagenkonzept (B)

Der Grundsatzentscheid A 2, d.h. Bau nur einer Tunnelröhre und Option des späteren Baus einer zweiten Röhre, beeinflusste die Wahl des Anlagenkonzepts stark. Zudem bestand die Vorgabe, dass die Lüftungsanlage der ersten Röhre auch für die spätere Situation mit Richtungsverkehr genügen sollte.

Der Wahl des Lüftungssystems gingen eingehende Variantenstudien voraus, in die sowohl die Längslüftung als auch die Halbquerlüftung in verschiedenen Formen einbezogen worden waren. Offen waren auch die Anzahl und die Lage der Lüftungszentralen, wobei für die Lage die beiden Portale und die Tunnelmitte in Frage kamen. Es wurde schliesslich eine kombinierte Halbquer-Quedüftung mit einer einzigen Lüftungszentrale am Südportal des Tunnels gewählt. Die Länge des Lüftungsabschnitts entspricht damit der Tunnellänge. In Figur 4.1 sind das Lüftungsschema und das Normalprofil des Tunnels dargestellt.

Schematische Darstellung des Lüftungsschemas (erste Röhre) und Tunnelnormalprofil mit kombinierter Halbquer-Querlüftung



Figur 4.1

B 1) Kombinierte Halbquer-Querlüftung

Für den Betrieb der Tunnelröhre mit Gegenverkehr stellt die kombinierte Halbquer-Querlüftung das geeignete und bezüglich Energieverbrauch optimale Lüftungsprinzip dar.

== Sparpotential vernachlässigbar

B 2) Wahl nur einer Lüftungszentrale

Als Grundlage für die Wahl des Lüftungskonzepts sind vom Projektverfasser die Anlage- und Betriebskosten verschiedener Varianten untersucht worden [4].

Für die Lösung mit der Halbquerlüftung sind die Kosten In Millionen Franken für die folgenden drei Varianten ermittelt worden.

Variante	Anlagekosten	Kapitalisierte Betriebskosten	Vergleichskosten
HQ mit Mittelzentrale	1.68	0.14	1.82
HQ mit 2 Portalzentralen	1.68	0.14	1.82
HQ mit 1 Portalzentrale	1.32	0.26	1.58

Für die Kapitalisierung der jährlichen Betriebskosten wurde von einem Strompreis von 0.12 Fr./kWh, einem Zinssatz von 7 %/a und einer Abschreibungsdauer von 25 Jahren ausgegangen.

Mit dem Bau einer Mittelzentrale oder mit zwei Portalzentralen hätten die Betriebskosten für die Tunnelventilation auf etwa 50 % des heutigen Wertes mit einer Portalzentrale reduziert werden können. Der Entscheid für nur eine Zentrale beim Südportal erfolgte in erster Linie aus geologischen Gründen und unter Berücksichtigung der deutlich höheren Anlagekosten in den Varianten mit zwei Portalzentralen oder einer Mittelzentrale.

== Sparpotential 50 %

4.3 Dimensionierung (C)

Für die Wahl der notwendigen Luftströme sind Ausnahmesituationen wie stehender oder stockender Verkehr sowie der Brandfall massgebend. Die massgebenden Kriterien sind in [5] zusammengestellt.

Im Normalbetrieb wird meist nur ein Bruchteil der maximalen Luftmengen benötigt. Dadurch bleiben die Druckverluste trotz sehr hoher Auslegungs-Luftgeschwindigkeiten vertretbar, eine Vergrösserung der Kanalquerschnitte bleibt zur Reduktion der Betriebskosten jedoch wünschbar. Die beiden Lüftungskanäle über der Zwischendecke haben eine Querschnittsfläche von je 6.84 m². Im Zuluftbetrieb hat der maximale Betriebspunkt pro Ventilator die folgenden Kenndaten (P = 1.096 kg/m³).

Volumenstrom	225 m ³ /s
Gesamtdruckdifferenz	3'050 Pa
Leistungsaufnahme an der Welle	806.8 kW
Wirkungsgrad	0.85

Einer der Ventilatoren dient im Brandfall als Absaugventilator. Die Umstellung erfolgt durch die entsprechende Winkelverstellung der im Lauf verstellbaren Laufradschaufeln. Der Abluftstrom beträgt maximal 202 m³ /s bei einer Leistungsaufnahme an der Welle von 814 kW.

Bei Tunneln ist der verfügbare Kanalquerschnitt durch die Baumethode resp. das Normalprofil gegeben. Eine Vergrößerung der Kanalquerschnitte ist mit erheblichen baulichen Mehrkosten verbunden. Trotzdem ist zu bedenken, dass der Leistungsbedarf mit der dritten Potenz der Luftgeschwindigkeit zunimmt, d.h. dass der Leistungsbedarf für die Förderung eines bestimmten Luftstroms bei einem doppelt so grossen Kanalquerschnitt nur noch einen Achtel betragen würde. Betrachtet man die Voraussetzungen bezüglich verfügbarem Kanalquerschnitt und Luftbedarf sowie die Voraussetzungen gemäss den Abschnitten 4.1 und 4.2 als gegeben, könnte der Energiebedarf kaum noch reduziert werden. Hingegen hätte mit einer Vergrößerung der Kanalquerschnitte eine deutliche Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs und der installierten Leistung für die Tunnelventilation erzielt werden können.

== Sparpotential bis ca. 50 %

4.4 Ausschreibung, Vergabe (D)

Die Ausschreibung und der Werkvertrag enthalten genaue Spezifikationen der Ventilatoren und Motoren inkl. Wirkungsgrade auch im Teillastbetrieb, welche von den Unternehmern als Mindestwerte zu garantieren waren.

Die Vergebung erfolgte aufgrund von Vergleichspreisen, welche neben den Angebotspreisen auch die kapitalisierten Energiekosten berücksichtigten. Das gewählte Fabrikat wies den geringsten Angebotspreis und je nach angenommener Tarifstruktur wenige Prozent höhere oder tiefere Energiekosten auf als die Vergleichsangebote.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei der Ausschreibung und Vergabe der Ventilatoren sehr stark auch auf einen guten Wirkungsgrad im ganzen Betriebsbereich geachtet wurde.

== Sparpotential unbedeutend

4.5 Ausführung, Abnahme (E)

Zur Kontrolle der Leistungsdaten sind bei den Ventilatoren und Motoren im Werk und auf der Anlage ausführliche Abnahmeversuche durchgeführt worden. Auch die vorgesehenen Luftmengenverteilungen bei den Lüftungskanälen wurden am Bau überprüft.

Sparpotential vernachlässigbar

4.6 Betrieb, Unterhalt (F)

Der Betrieb der Tunnelventilation erfolgt automatisch aufgrund der kontinuierlichen CO- und Sichttrübungsmessungen im Tunnel.

In [5] bestehen Empfehlungen für die Dimensionierung zugrundezulegenden CO- und Sichttrübungswerte. Für den Betrieb der Anlage werden diese Werte jedoch aufgrund der projektspezifischen Gegebenheiten angepasst. Beim Tunnel Isla Bella erfolgt der Betrieb der Tunnelventilation praktisch ausschliesslich aufgrund der Sichttrübungswerte.

Ein besonderes Problem beim Tunnel Isla Bella besteht bei Panzerverschiebungen. Ein automatischer Betrieb führt hier zu grossen Leistungsspitzen, welche die Betriebskostenrechnung stark belasten können. Nach den ersten Erfahrungen mit Panzerdurchfahrten wurden diese so geregelt, dass sie unter manueller Kontrolle mit Vorlüftung und mit der Einhaltung von genügenden Abständen zwischen den Panzern erfolgen. Dank dieser Massnahmen konnte die erforderliche Spitzenleistung stark reduziert werden.

Für den Elektrizitätsverbrauch der Tunnellüftung ist die Vorgabe für den maximalen Sichttrübungswert von grosser Bedeutung. Beim Tunnel Isla Bella wurden diese Werte nach Reklamationen reduziert. Zur Vermeidung von weiteren Reklamationen wurde also die Luftförderung und damit der Elektrizitätsverbrauch der Tunnellüftungsanlage erhöht. Aus der Sicht der rationellen Verwendung von elektrischem Strom wäre es wünschbar, die Tunnelbenützer auf den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Luftqualität im Tunnel aufzuklären, um einen unnötigen Elektrizitätsverbrauch vermeiden zu können. Gleichzeitig wäre es zweckmässig, alle Tunnel mit geeigneten Kontroll- und Aufzeichnungsmöglichkeiten auszurüsten, um die Energieverbräuche pro Verursachergruppe und die tatsächliche Betriebsweise beurteilen zu können. Als Ergänzung sollten Kenngrössen zur Verfügung gestellt werden, welche eine einfache Kontrolle der Anlage ermöglichen.

== Sparpotential ca. 25 %

5. Haftpflichtfragen

Nach OR 58 hat der Eigentümer eines Gebäudes oder eines anderen Werkes den Schaden zu ersetzen, den dieses infolge von fehlerhafter Anlage oder Herstellung oder von mangelhaftem Unterhalt verursacht. Diese sogenannte Werkeigentümerhaftung ist als Kausalhaftung ausgestaltet, im Gegensatz zur allgemeinen Verschuldenshaftung.

Strassen, Brücken und Tunnel sind zweifellos Werke im Sinne des Gesetzes. Für die Begründung der Haftpflicht des Werkeigentümers muss die Anlage oder die Herstellung des Werkes 'fehlerhaft' sein oder der Schaden auf einen 'mangelhaften Unterhalt' zurückzuführen sein. Daraus kann abgeleitet werden, dass der Werkeigentümer alles vorzukehren hat, damit das Werk seiner Zweckbestimmung entsprechend jederzeit sicher benutzt, respektive befahren werden kann. Dazu gehört, dass ein längerer Tunnel je nach Intensität der Benutzung mechanisch belüftet und beleuchtet sein muss. Der Werkeigentümer hat die Pflicht, die erforderlichen Massnahmen gegen offenkundige Gefährdungen der Benutzer zu treffen. Dabei muss er aber nur mit normalen Risiken rechnen. Dies ergibt sich aus dem auch in der Praxis immer wieder bestätigten Grundsatz, dass die Vorkehrungen namentlich auch in finanzieller Hinsicht verhältnismässig und zumutbar sein müssen.

Die aufzuwendenden Kosten müssen in einem vernünftigen Verhältnis stehen zum Schutzinteresse der Benutzer des Werkes wie auch zu dessen Zweck. Das Bundesgericht hat hierzu ausdrücklich festgestellt, es dürften in Bezug auf Anlagen und Unterhalt von Strassen, und damit auch von Tunneln, nicht Anforderungen gestellt werden, die auf einen technischen Höchststand abzielen.

In welchem Umfang öffentliche Strassen unterhalten werden müssen und welche Vorkehrungen für den Betrieb eines Tunnels bezüglich Belüftung oder Beleuchtung zu treffen sind, bestimmt grundsätzlich das öffentliche Recht. Soweit solche Bestimmungen fehlen, und davon muss vorliegend ausgegangen werden, finden die allgemein gültigen Grundsätze Anwendung. Immerhin kann darauf hingewiesen werden, dass gemäss Art. 5 des Nationalstrassengesetzes, die Nationalstrassen hohen verkehrstechnischen Anforderungen zu genügen haben und sie im weiteren insbesondere eine sichere und wirtschaftliche Abwicklung des Verkehrs gewährleisten sollen. Daraus ergibt sich, dass die an solche Hochleistungsstrassen zu stellenden Anforderungen sicher höher sind als z.B. bei einer kantonalen Verbindungsstrasse.

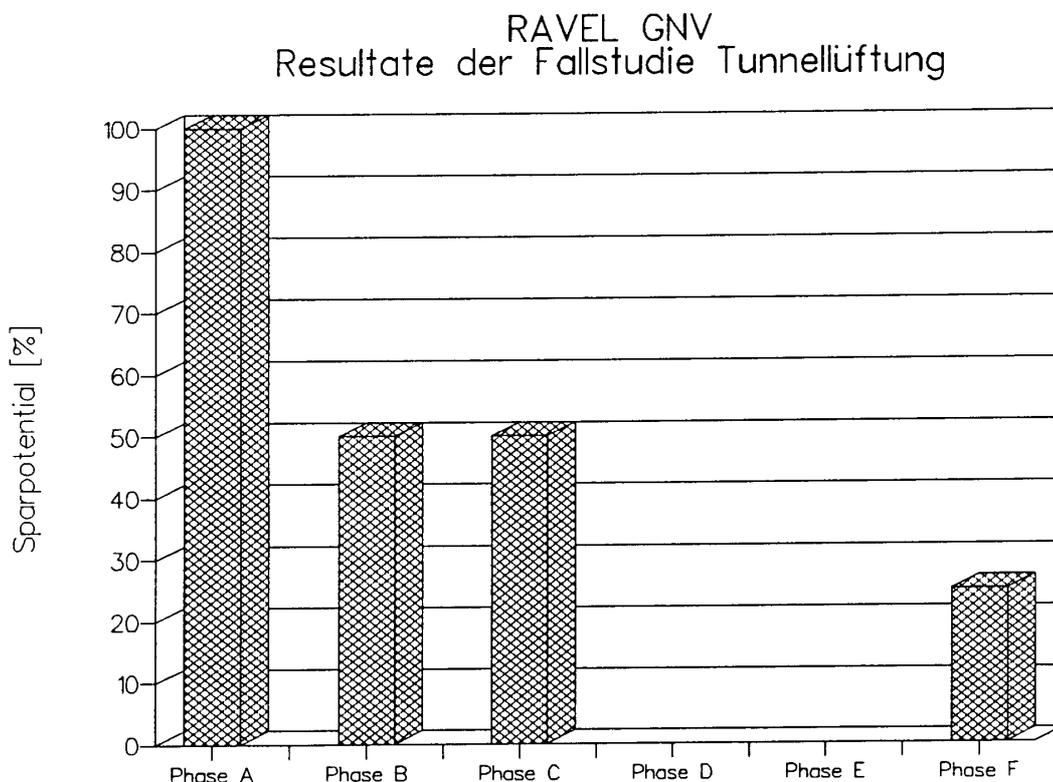
Auch in Art. 41 desselben Gesetzes wird verlangt, die Nationalstrassen seien nach den neuesten Erkenntnissen der Strassenbautechnik und nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu erstellen. Bezüglich Unterhalt und Betrieb legt Art. 49 fest, dieser habe derart nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu erfolgen, "dass ein sicherer und flüssiger Verkehr gewährleistet ist".

6. Schlussfolgerung und Empfehlungen

In Abschnitt 4 sind die verbrauchsrelevanten Entscheide mit einer groben Abschätzung der Sparpotentiale für die folgenden Bearbeitungsphasen angegeben:

- A) Grundsatzentscheide (siehe Abschnitt 4.1)
- B) Anlagenkonzept (siehe Abschnitt 4.2)
- C) Dimensionierung (siehe Abschnitt 4.3)
- D) Ausschreibung, Vergabe (siehe Abschnitt 4.4)
- E) Ausführung, Abnahme (siehe Abschnitt 4.5)
- F) Betrieb, Unterhalt (siehe Abschnitt 4.6)

Die Sparpotentiale in den verschiedenen Arbeitsphasen sind in Figur 6.1 zusammengefasst.



Figur 6.1

Der heutige Verbrauch der Tunnellüftungsanlage wird sehr massgebend bestimmt durch die folgenden Entscheide:

- Grundsatzentscheid, dass anstelle einer offenen Linienführung ein 2.5 km langer Tunnel zum Schutz der Rheinauen gebaut wird (A 1).

- Grundsatzentscheid, dass zumindest vorläufig nur eine Tunnelröhre gebaut wird, welche im Gegenverkehr befahren wird (A 2).
- Wahl eines Anlagenkonzepts mit nur einer Lüftungszentrale (B 2).
- Verwendung knapper Kanalquerschnitte (C).
- Betrieb mit erhöhten Luftmengen zur Vermeidung von Reklamationen der Tunnelbenutzer (F).

Die Grundsatzentscheide erfolgten beim Tunnel Isla Bella und wohl auch bei praktisch allen anderen Tunneln aufgrund politischer und Machbarkeitsüberlegungen. Die Konsequenzen bezüglich Energieverbrauch waren zwar wohl durchaus bekannt, wurden aber bei der Entscheidungsfindung kaum berücksichtigt. Insgesamt ergibt sich die Feststellung, dass die besonders verbrauchsrelevanten Entscheide aufgrund von übergeordneten Kriterien getroffen wurden und dass sich die Verbrauchsoptimierung eher auf Detailfragen beschränkte.

ALLGEMEINE EMPFEHLUNGEN

- Bei den Forderungen nach einem Tunnel und insbesondere bei einem technisch nicht notwendigen Tunnel auch den Aspekt des Energieverbrauchs beachten.
- Bei der Frage ob ein Tunnel ein- oder zweiröhrig gebaut werden soll berücksichtigen, dass der Elektrizitätsverbrauch für die Tunnellüftung bei Gegenverkehr wesentlich grösser ist als bei Richtungsverkehr.
- Bei der Konzeptwahl wenn möglich auf die Forderung verzichten, dass eine Anlage für verschiedene Szenarien unverändert genügen sollte (hier z.B. späterer Bau einer zweiten Tunnelröhre).
- Bei Vergleichen verschiedener Varianten die Betriebskosten stärker gewichten und Entscheide nicht nur aufgrund von Gesamtkosten fällen.
- Wirkungsgrade von Ventilatoren und Motoren wie im vorliegenden Fall in der Ausschreibung definieren, Unterschiede bei der Vergabe berücksichtigen und effektive Werte bei der Abnahme kontrollieren.
- Beim Betrieb der Tunnellüftungsanlagen nicht unbedingt auf die Vermeidung jeglicher Reklamationen bezüglich Luftqualität im Tunnel achten, sondern einen Kompromiss zwischen Luftqualität und Energieverbrauch bei Einhaltung angemessener Komfort- und Sicherheitsanforderungen finden. Dazu die Benutzer über den Zusammenhang zwischen Luftqualität und Energieverbrauch informieren.
- Im Sinne der obengenannten Empfehlung die heute üblichen Anforderungen an die Tunnelluftqualität für die Dimensionierung und den Betrieb der Tunnellüftungsanlagen einer sorgfältigen Prüfung unterziehen. Selbstverständlich sind dabei die erhöhten Anforderungen bei Unterhaltsarbeiten zu beachten.

- Bessere Kontroll- und Aufzeichnungsmöglichkeiten vorsehen, um die Energieverbräuche pro Verursachergruppe und die tatsächliche Betriebsweise beurteilen zu können. Dazu auch geeignete Kenngrößen zur Verfügung stellen. Für die systematische Erfassung der Energieverbräuche bei Strassentunneln wird im Anhang ein einfaches Erhebungsblatt zur Verfügung gestellt.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Bundesamt für Strassenbau
Schweizerische Nationalstrassen-Informationen 1990
- [2] Bundesamt für Konjunkturfragen
Impulsprogramm RAVEL
Konzept89
- [3] Bundesamt für Strassenbau
Persönliche Mitteilung vom 21. November 1990
- [4] Schindler Haerter AG
N13b - Tunnel Isla Bella, Variantenvergleich für die Lüftung Bericht Nr. 74-18-01, Juli 1974
- [5] Schindler Haerter AG
Grundlagen der Belüftung von Strassentunneln
Erstellt Im Auftrag des Bundesamtes für Strassenbau, Mai 1983

Wollerau, 15. Juni 1991

Urs Steinemann / sch

Neu ab Mai 1992

Das RAVEL-Handbuch Strom rationell nutzen

**Umfassendes Grundlagenwissen und praktischer Leitfaden
zur rationellen Verwendung von Elektrizität**

Das RAVEL-Handbuch ist die zur Zeit aktuellste und umfassendste Zusammenfassung des verfügbaren Wissens über den intelligenten Einsatz von Strom in praktisch allen Anwendungsbereichen. Über 40 Autoren zeigen in diesem Nachschlagewerk auf, wo und wie Strom intelligent genutzt werden kann. Die Erkenntnisse, Anregungen und Empfehlungen sind übersichtlich nach den einzelnen Anwendungsbereichen geordnet. Wer Strom rationell einsetzen will, findet klare Antworten auf Fragen wie: Was ist zu berücksichtigen bei der Planung oder Nutzung eines Gebäudes, einer Maschine, einer Installation usw.? Wo liegen die Stromsparpotentiale? Welche Lösungen gibt es bereits? Das RAVEL-Handbuch enthält eine Fülle von Checklisten, mit denen neue stromsparende Lösungen einfacher und sicherer geplant oder bestehende Lösungen auf ihre Stromverbrauchs-Intelligenz beurteilt werden können. Seine Vielseitigkeit erleichtert eine vernetzte Zusammenarbeit der einzelnen Berufsdisziplinen in den Bereichen Gestaltung, Planung, Entwicklung, Konstruktion, Fertigung, Nutzung, Investitionsbeurteilung und Energieberatung.

Umfang ca. 300 Seiten, zahlreiche Tabellen und grafische Darstellungen, Format 16 x 24 cm, gebunden, ca. Fr. 75.—

ISBN 3-7281-1880-3

Ab Mitte Mai im Buchhandel
Vorbestellungen sind möglich beim
vdf, Verlag der Fachvereine, ETH,
8092 Zürich, Fax 01 252 34 03

Die Impulsprogramme des Bundesamtes für Konjunkturfragen

Impulsprogramme sind auf 6 Jahre befristete Massnahmen zur Vermittlung von neuem Wissen in die berufliche Praxis. Ansatzpunkte sind zielgruppengerechte Information, Aus- und Weiterbildung. Die Vorbereitung und Durchführung erfolgt in enger Kooperation von Wirtschaft, Bildungsinstitutionen und Bund.

Die drei Impulsprogramme 1990–1995



IP BAU

IP BAU – Erhaltung und Erneuerung

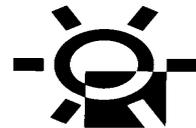
Im Baubereich zeichnet sich ein grosser Erneuerungsdruck ab, der sich in den kommenden Jahren noch verstärken wird. Sollen die Funktionsfähigkeit des Baubestandes im Hoch- und Tiefbau und die Zukunftstauglichkeit der Siedlungsstrukturen weiterhin gewährleistet bleiben, sind erhöhte Anstrengungen zur Erneuerung erforderlich. Es geht um die Erhaltung bedeutender volkswirtschaftlicher Werte. Voraussetzung bilden entsprechende technische und planerische Kenntnisse sowie Rahmenbedingungen. Beides fehlt heute weitgehend. Das IP Bau vermittelt hier wesentliche Anstösse.



RAVEL

RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität

Forschungs- und Untersuchungsprojekte des Impulsprogrammes RAVEL über den Stromverbrauch in Industrie, Dienstleistung und Haushalt zeigen: Elektrische Energie wird heute oft nicht oder zu wenig intelligent genutzt. D. h. dieselbe Leistung könnte mit einem Bruchteil des bisherigen Stromverbrauches erzielt werden und das wirtschaftlich, ohne Komforteinbusse. Zudem werden mit Strom zum Teil Leistungen erzeugt, für die sich kein Bedürfnis nachweisen lässt. Wird der heute nicht intelligent genutzte Strom frei, erhält unsere Volkswirtschaft neue Spielräume. Damit diese Chance genutzt werden kann, müssen die RAVEL-Erkenntnisse in der Praxis wirksam werden. Dazu werden sie von Fachleuten in sofort anwendbares, praxisgerechtes Wissen aufgearbeitet und in Weiterbildungskursen, Informationsveranstaltungen und Publikationen an die Praxis vermittelt.



PACER

PACER – Erneuerbare Energien

Der mögliche Beitrag der erneuerbaren Energien zur Deckung des Energiebedarfs wird von Experten als nicht vernachlässigbar beurteilt. Zurzeit ist er allerdings noch bescheiden. Gegenstand bilden ausgereifte Techniken nahe der betriebswirtschaftlichen Wirtschaftlichkeitsschwelle, wie passive und aktive Sonnenenergienutzung für Wärmeerzeugung, Biomasse, solare Stromerzeugung. Es werden insbesondere Planungshilfen für Architekten, Ingenieure und Installateure sowie Entscheidungsgrundlagen für Bauherren vermittelt. Zu letzteren gehört auch ein Beurteilungssystem für Energiekonzepte und -anlagen unter Berücksichtigung der Umweltkosten, das in Zusammenarbeit mit Vertretern der verschiedenen Energieträger erarbeitet werden soll.