

1994 724.397.41.58 D/F

**Materialien zu RAVEL
Publications RAVEL**

**Erhebung des Elektrizitäts-
verbrauchs bestehender
Strassentunnel**

**Consommation
d'électricité
des tunnels routiers**

**Urs Steinemann
Jean-Philippe Borel**



Ressort 41:
Gesetze, Normen, Verträge
Domaine 41: Lois, normes, contrats

Bundesamt für Konjunkturfragen

Materialien zu RAVEL
Publications RAVEL

Erhebung des Elektrizitäts- verbrauchs bestehender Strassentunnel

Consommation d'électricité des tunnels routiers

Urs Steinemann
Jean-Philippe Borel



Adressen:

Herausgeber/ Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK)
Editeur: Office fédéral des questions conjoncturelles
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/322 21 39
Fax: 031/372 41 02

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

Ressortleiter/Chef du domaine:
V. Verner Böhi
Amt für Energie
Stadtgartenweg 1 1
7001 Chur
Tel.: 081/21 36 21
Fax: 081/21 21 60

Autoren/
Auteur: Urs Steinemann
Ingenieurbüro für Energie- und Umweltfragen
Schwalbenbodenstrasse 15
8832 Wollerau
Tel.: 01/7845365
Fax: 01/7845366

Franz. Übersetzung/Traduction française:
Jean-Philippe Borel
Ingénieur-conseil
Route de la Corniche 30
1096 Cully
Tel.: 021/799 32 44

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 1994

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.41.58 d/f)

Form. 724.397.41.58 d/f 2.94 500

Cette étude appartient à l'ensemble des projets d'étude effectués par des diers dans le cadre du programme d'impulsion RAVEL. L'Office fédéral des questions conjoncturelles et la Direction du programme autorisent la publication de ce rapport, sous la responsabilité des auteurs et des chefs des domaines concernés.

Copyright Office fédéral des questions conjoncturelles
3003 Berne, février 1994

Reproduction autorisée, avec mention de la source.

Commande auprès de l'Office fédéral central des imprimés et du matériel, Berne (N° de com. 724.397.41.58 d/f)

RAVEL - Materialien zu RAVEL

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zusammenfassung	
1. Einleitung und Ziel der Arbeit	1
2. Erfasste Strassentunnel	2
2.1 Mit der Erhebung erfasste Tunnel	2
2.2 Total der Tunnel im Nationalstrassennetz	2
2.3 Mit der Erhebung nicht erfasste Tunnel im Nationalstrassennetz	3
2.4 Vollständigkeit der vorliegenden Erhebung	3
3. Bedeutung des Elektrizitätsverbrauchs von Strassentunnels	4
4. Kenngrössen	5
4.1 Pro Tunnelkilometer installierte elektrische Leistungen	5
4.1.1 Tunnellüftung	5
4.1.2 Tunnelbeleuchtung	6
4.1.3 Nebenanlagen	7
4.1.4 Total aller Verbrauchsgruppen	7
4.2 Elektrizitätsverbrauch pro Tunnelkilometer	12
4.2.1 Tunnellüftung	12
4.2.2 Tunnelbeleuchtung	13
4.2.3 Nebenanlagen	15
4.2.4 Total aller Verbrauchsgruppen	15
4.3 Elektrizitätsverbrauch pro Motorfahrzeugkilometer	20
4.3.1 Tunnellüftung	20
4.3.2 Tunnelbeleuchtung	20
4.3.3 Nebenanlagen	21
4.3.4 Total aller Verbrauchsgruppen	21
5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	26
5.1 Allgemeine Erkenntnisse aus der Erhebung	26
5.1.1 Erhebungsblatt	26
5.1.2 Datenerfassung bei den Kantonen	26
5.1.3 Kenngrössen	27
5.1.4 Definition der Verbrauchsgruppen	27
5.2 Empfohlene energetische Überprüfungen	28
5.2.1 Tunnellüftung	28
5.2.2 Tunnelbeleuchtung	29
5.3 Weiterführung der Arbeit	30
Literaturverzeichnis	31

Anhang 1

Erhebungsblatt zur Erfassung des Elektrizitätsverbrauchs pro Strassentunnels	33
--	----

Anhang 2

Resultate der Erhebung über den Elektrizitätsverbrauch von Strassentunnels	35
--	----

Anhang 3

Abgeleitete Kenngrössen aus den Erhebungen über den Elektrizitätsverbrauch von Strassentunnels	38
--	----

Anhang 4

Nicht erfasste Tunnel des schweizerischen Nationalstrassennetzes	41
--	----

Anhang 5

Zusammenstellung der verwendeten Abkürzungen und Einheiten	44
--	----

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Résumé	
1. Introduction et objectif de cette étude	1
2. Tunnels routiers recensés	2
2.1 Tunnels recensés lors de l'enquête	2
2.2 Total des tunnels dans le réseau routier national	2
2.3 Tunnels du réseau routier national non recensés lors de l'enquête	3
2.4 Degré d'intégralité de cette étude	3
3. Importance de la consommation d'électricité des tunnels routiers	4
4. Grandeurs caractéristiques	5
4.1 Puissances électriques installées par kilomètre de tunnel	5
4.1.1 Ventilation des tunnels	5
4.1.2 Eclairage des tunnels	6
4.1.3 Installations annexes	7
4.1.4 Total de tous les groupes de consommation	7
4.2 Consommation d'électricité par kilomètre de tunnel	12
4.2.1 Ventilation des tunnels	12
4.2.2 Eclairage des tunnels	13
4.2.3 Installations annexes	15
4.2.4 Total de tous les groupes de consommation	15
4.3 Consommation d'électricité par véhicule-kilomètre	20
4.3.1 Ventilation des tunnels	20
4.3.2 Eclairage des tunnels	20
4.3.3 Installations annexes	21
4.3.4 Total de tous les groupes de consommation	21
5. Conclusions et recommandations	26
5.1 Résultats généraux de l'enquête	26
5.1.1 Feuille de relevé	26
5.1.2 Saisie des données auprès des cantons	26
5.1.3 Grandeurs caractéristiques	27
5.1.4 Définition des groupes de consommation	27
5.2 Contrôles énergétiques recommandés	28
5.2.1 Ventilation de tunnel	28
5.2.2 Eclairage de tunnel	29
5.3 Poursuite des travaux	30
Bibliographie	31

Annexe 1

Feuille de saisie pour relever la consommation d'électricité des tunnels routiers	33
---	----

Annexe 2

Résultats des relevés concernant la consommation d'électricité des tunnels routiers	35
---	----

Annexe 3

Grandeurs caractéristiques et valeurs établies lors des relevés concernant la consommation d'électricité des tunnels routiers	38
---	----

Annexe 4

Tunnels du réseau routier national suisse non recensés	41
--	----

Annexe 5

Liste des abréviations et unités utilisées	44
--	----

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht enthält die Resultate einer erstmals durchgeführten gesamtschweizerische Erhebung über die installierten elektrischen Leistungen und Elektrizitätsverbräuche von Strassentunneln. Die Datenerfassung erfolgte mit einem einfachen Erhebungsblatt, welches von den kantonalen Tiefbauämtern ausgefüllt wurde. Insgesamt wurden mit der Erhebung rund die Hälfte aller Tunnel und über 80% der totalen Tunnelstrecken im Nationalstrassennetz erfasst. Nicht erfasst wurden vor allem kürzere Tunnel ohne ein mechanisches Lüftungssystem. Der gesamte Elektrizitätsverbrauch aller Strassentunnel in der Schweiz beträgt aufgrund der Erhebung rund 80 GWh/a, wobei etwa 61% für die Tunnelbeleuchtung, 24% für Nebenanlagen und 15% für die Tunnellüftung benötigt werden.

Das markanteste Resultat der Erhebung besteht in der Feststellung, dass sich die installierten Leistungen und die Elektrizitätsverbräuche vergleichbarer Tunnel sehr stark unterscheiden. Durch objektspezifische Einflüsse sind zwar gewisse Unterschiede durchaus erklärbar, insgesamt bestehen bei den Bauherren, Planern und Betreibern aber offenbar doch sehr unterschiedliche Ansichten über die erforderlichen Sicherheits- und Komfortstandards sowie über die Auslegung der Systeme. Diese Situation sollte unbedingt verbessert werden. Eine erste Abschätzung hat ergeben, dass allein mit der energetischen Sanierung besonders ungünstiger Objekte der Elektrizitätsverbrauch um rund 700 MWh/a bei der Tunnellüftung und 3'200 MWh/a bei der Tunnelbeleuchtung gesenkt werden kann. Definitive Aussagen sind jedoch nur aufgrund vertiefter objektspezifischer Abklärungen möglich, einige Sanierungen sind gemäss Aussagen des Bundesamtes für Strassenbau bereits ausgeführt oder eingeleitet worden.

Es wird vorgeschlagen, die Erhebungen über den Elektrizitätsverbrauch von Strassentunneln künftig regelmässig durchzuführen, und die Kenngrössen zu analysieren. Dazu müssen auch die Voraussetzungen geschaffen werden, um die interessierenden Verbrauchswerte messtechnisch zu erfassen. Damit soll das Wissen weiter vertieft werden und es soll nach energetischen Sanierungen eine Erfolgskontrolle institutionalisiert werden. Ansätze dazu bestehen mit den jährlichen Betriebsabrechnungen und den systematischen Tunneldatenaufnahmen des Bundesamtes für Strassenbau.

Résumé

Le présent rapport contient les résultats d'un relevé des puissances installées et consommations d'énergie électrique des tunnels routiers effectué pour la première fois sur l'ensemble de la Suisse. La saisie des données a été réalisée au moyen d'un simple formulaire rempli par les Services cantonaux des routes. Environ la moitié de tous les tunnels routiers et plus de 80% des tunnels autoroutiers ont été pris en considération. Ne l'ont pas été principalement les tunnels plus courts non équipés d'un système de ventilation mécanique. La consommation totale des tunnels routiers de Suisse, établie sur la base de cette enquête, atteint environ 80 mio de kWh/a, qui se répartissent à raison de 61 % pour l'éclairage, 24% pour les installations annexes et 15% pour la ventilation.

Le résultat le plus marquant de cette étude réside dans la constatation que les puissances installées et les consommations diffèrent très largement entre tunnels comparables. Même si certaines différences s'expliquent aisément par des facteurs spécifiques, ils n'en reste pas moins qu'il doit manifestement y avoir, auprès des maîtres d'oeuvre, des projeteurs et des exploitants, des vues très différentes sur les normes de confort et de sécurité nécessaires, ainsi que sur le dimensionnement des systèmes. Cette situation doit absolument être améliorée. Une première évaluation a révélé qu'un assainissement énergétique des'objets particulièrement défavorables permettrait de réduire la consommation de 700'000 kWh pour la ventilation et de 3.2 mio de kWh pour l'éclairage. Toutefois, une étude détaillée cas par cas est nécessaire avant qu'il soit possible d'effectuer un bilan définitif; d'après l'Office Fédéral des Routes, quelques assainissements ont déjà été réalisés ou sont en voie de l'être.

La proposition faite ici est d'effectuer dorénavant des enquêtes périodiques sur la consommation d'électricité des tunnels routiers, avec analyse des résultats. Pour cela, il est nécessaire que les conditions favorables soient réunies, afin de rendre possible la mesure des valeurs de consommation. Il en résultera un approfondissement progressif des connaissances actuelles. De plus, il est souhaitable qu'un contrôle d'efficacité soit institutionnalisé après chaque opération d'assainissement énergétique. Des jalons dans cette direction existent déjà sous la forme du bilan annuel d'exploitation et des collectes systématiques de données concernant les tunnels par l'Office Fédéral des Routes.

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.

Der vorliegende Bericht ist die Fortsetzung einer Fallstudie in welcher anhand des Strassentunnels Isla Bella der Nationalstrasse N13 die verbrauchsrelevanten Entscheide, Faktoren und Abläufe vom Grundsatzentscheid zum Bau eines Tunnels bis zum Betrieb des Tunnels untersucht worden sind [1]. In der erwähnten Fallstudie finden sich auch Kenndaten des gesamten schweizerischen Nationalstrassennetzes und grobe Abschätzungen zur Bedeutung der Tunnellüftungen für den Elektrizitätsverbrauch in der Schweiz.

Für die systematische Erfassung der installierten Leistungen und Elektrizitätsverbräuche bei Strassentunneln wurde im erwähnten Bericht ein einfaches Erhebungsblatt zur Verfügung gestellt. Dieses wurde allen kantonalen Tiefbauämtern als Betreiber der Strassentunnel zugestellt. Im vorliegenden Bericht werden die Kenngrössen der eingegangenen ausgefüllten Erhebungsblätter dargestellt und analysiert. Der Anhang 1 des vorliegenden Berichtes enthält eine leicht revidierte Fassung des Erhebungsblattes für zukünftige Erhebungen.

Es werden die Verbrauchsgruppen Tunnellüftung, Tunnelbeleuchtung und Nebenanlagen unterschieden. Die Zuordnung der Leistungen und Verbräuche zu diesen Verbrauchsgruppen ist nicht immer eindeutig. Der Abschnitt 5.1.4 enthält darum einige Grundsätze, welche bei den künftigen Erhebungen zu beachten sind.

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um ein Projekt des nichttechnischen Ressorts Gesetze, Normen, Verträge. Entsprechend besteht das Ziel der Arbeit nicht in einer ausführlichen technischen Analyse der gefundenen Kenngrössen oder in einer Beurteilung von einzelnen Tunneln aufgrund der objektspezifischen Gegebenheiten. Es soll vielmehr die Problematik aufgezeigt werden mit dem Ziel, dass anhand von Vergleichszahlen bestehende Anlagen einfach beurteilt und gegebenenfalls näher untersucht und saniert werden und dass Vorgaben für die Planung gemacht werden können. Bei objektbezogenen Abklärungen sind weitere Kriterien wie lokale Besonderheiten, Höhenlage, Längenprofil, Schwerverkehrsanteil, zulässige Höchstgeschwindigkeit, Stauhäufigkeit, Stadt- oder Ueberlandtunnel, Umweltlüftung, unterirdische Verzweigungen usw. gebührend zu berücksichtigen.

2. Erfasste Strassentunnel

Von den eingegangenen Erhebungsblättern konnten 46 für Tunnel mit Richtungsverkehr (zwei Tunnelröhren, eine Ausnahme bildet der neue Kerenzertunnel, welcher nur aus einer Tunnelröhre für den Verkehr Richtung Süden besteht) und 40 für Tunnel mit Gegenverkehr (eine Tunnelröhre) verwendet werden. Die Kenndaten dieser 86 Tunnel sind in den Tabellen des Anhang 2 zusammengestellt.

2.1 Mit der Erhebung erfasste Tunnel

Mit der im vorliegenden Bericht beschriebenen Erhebung werden folgende Tunnel erfasst:

46	zweiröhrlige Tunnel (Richtungsverkehr) mit einer Gesamtlänge von	52.582 km
40	einröhrlige Tunnel (Gegenverkehr) mit einer Gesamtlänge von	56.862 km
86	Tunnel mit einer Gesamtlänge von	109.444 km

2.2 Total der Tunnel im Nationalstrasserinetz

Ende 1989 waren insgesamt 1'494.9 km (80.6 % der geplanten Gesamtlänge), Ende 1991 insgesamt 1'502.3 km (80.9 % der geplanten Gesamtlänge) Nationalstrassen in Betrieb. Das bestehende Nationalstrassennetz enthielt zu diesen Zeitpunkten total 141 resp. 144 Tunnel [2, 3]. Die Kenndaten der Ende 1991 in Betrieb stehenden Tunnel des Nationalstrassennetzes lauten:

67	zweiröhrlige Tunnel (Richtungsverkehr) mit einer Gesamtlänge von	52.058 km
77	einröhrlige Tunnel (Gegenverkehr) mit einer Gesamtlänge von	63.893 km
144	Tunnel mit einer Gesamtlänge von	115.951 km

Hinzu kommen total vier Tunnel (davon drei mit Gegenverkehr), welche nicht auf einer Stammlinie des Nationalstrassennetzes liegen, in [2] und [3] aber dennoch aufgeführt sind. Damit ergibt sich das folgende Total der Ende 1991 bestehenden Tunnel:

70	zweiröhrlige Tunnel (Richtungsverkehr) mit einer Gesamtlänge von	54.168 km
78	einröhrlige Tunnel (Gegenverkehr) mit einer Gesamtlänge von	64.239 km
148	Tunnel mit einer Gesamtlänge von	118.407 km

2.3 Mit der Erhebung nicht erfasste Tunnel im Nationalstrassennetz

Der Anhang 4 enthält eine Liste aller Tunnel, welche in den Informationen 1992 über die Schweizerischen Nationalstrassen [3] aufgeführt sind, für welche aber keine gültigen Angaben über den Elektrizitätsverbrauch vorliegen. Für das übrige Strassennetz sieht keine Zusammenstellung aller bestehenden Tunnel zur Verfügung. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Bedeutung der nicht erfassten Tunnel ausserhalb des Nationalstrassennetzes sehr klein bleibt.

Von den oben erwähnten total 148 Tunneln mit einer Gesamtlänge von 11 8.407 km stehen für die folgenden Tunnel keine gültigen Angaben über den Elektrizitätsverbrauch zur Verfügung:

28	zweiröhrlige Tunnel (Richtungsverkehr) mit einer Gesamtlänge von	9.943 km
53	einröhrlige Tunnel (Gegenverkehr) mit einer Gesamtlänge von	14.688 km
81	Tunnel mit einer Gesamtlänge von	24.631 km

2.4 Vollständigkeit der vorliegenden Erhebung

Insgesamt werden mit der vorliegenden Erhebung rund die Hälfte aller Tunnel und über 80 % der totalen Tunnelstrecken des Nationalstrassennetzes erfasst. Nicht erfasst sind vor allem kürzere Tunnel ohne ein mechanisches Lüftungssystem. Von allen Tunneln im Nationalstrassennetz sind lediglich sieben Tunnel mit Längslüftung und ein Tunnel mit Halbquerlüftung nicht erfasst worden.

Es kann damit festgestellt werden, dass mit der vorliegenden Erhebung der Elektrizitätsverbrauch für die Belüftung der Strassentunnel in der Schweiz bereits recht vollständig erfasst werden konnte. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es sich bei den nicht erfassten Tunneln vorwiegend um kürzere Tunnel ohne ein mechanisches Tunnellüftungssystem handelt, werden für die Abschätzung des Gesamtverbrauchs aller Tunnel in der Schweiz die Resultate der Erhebung um 5 % aufgewertet.

Der absolute Elektrizitätsverbrauch von Nebenanlagen bleibt bei kurzen Tunneln klein. Zur Abschätzung des gesamten Elektrizitätsverbrauchs der Nebenanlagen aller Tunnel wird ein Zuschlag von 10 % auf die erhobenen Werte eingeführt. Da in der Schweiz auch kurze Tunnel beleuchtet werden, wird für die Hochrechnung auf den Gesamtverbrauch für die Beleuchtung aller Tunnel in der Schweiz ein Zuschlag von 25 % auf die erhobenen Werte angenommen. Dieser Zuschlag entspricht dem Anteil der nicht erfassten Tunnellänge im Nationalstrassennetz.

3. Bedeutung des Elektrizitätsverbrauchs von Strassentunneln

Die Erhebungen ergeben den folgenden Elektrizitätsverbrauch der erfassten Strassentunnel in der Schweiz (vergleiche Anhang 2):

Totaler Elektrizitätsverbrauch der erfassten Strassentunnel [MWh/a]				
Verbraucher	Tunnel mit Richtungsverkehr		Tunnel mit Gegenverkehr	
	unkorrigiert *	korrigiert	unkorrigiert *	korrigiert
Tunnellüftung	3'184.3	3'200	8'166.7	8'200
Tunnelbeleuchtung	19'994.0	24'300	14'056.1	15'200
Nebenanlagen	7'954.9	9'700	7'697.3	8'300
Total	37'193.3	37'200	31'681.7	31'700
Total aller erfassten Tunnel				68'900

Bei einigen Tunneln konnte nur der totale Elektrizitätsverbrauch angegeben werden.

Mit den Angaben in Abschnitt 2 zu den mit der Erhebung nicht erfassten Tunneln resultieren die folgenden Werte für den Elektrizitätsverbrauch aller Strassentunnel in der Schweiz:

Totaler Elektrizitätsverbrauch aller Strassentunnel in der Schweiz [MWh/a]			
Verbraucher	Tunnel mit Richtungsverkehr	Tunnel mit Gegenverkehr	Alle Tunnel
Tunnellüftung	3'400	8'600	12'000
Tunnelbeleuchtung	30'400	19'000	49'400
Nebenanlagen	10'700	9'100	19'800
Total	44'500	36'700	81'200

In einer Schätzung des Bundesamtes für Strassenbau ASB wurde der mutmassliche Elektrizitätsverbrauch für den Betrieb der Nationalstrassentunnel (Tunnellüftung, -beleuchtung und Nebenanlagen) mit 105 GWh/a und der Anteil der Tunnellüftung mit 30 % angegeben (zitiert in [1]). Aufgrund der vorliegenden Studie kann davon ausgegangen werden, dass der Gesamtverbrauch mit rund 80 GWh/a etwas kleiner und der relative Anteil der Tunnellüftung am Gesamtverbrauch mit rund 15 % deutlich kleiner ist als früher angenommen wurde.

4. Kenngrössen

Der Anhang 3 enthält verschiedene Kenngrössen, welche aus den Tunneln und den Messwerten der Erhebungsblätter abgeleitet sind. Bei allen Kenngrössen fallen die grossen Unterschiede zwischen den Tunneln auf. Nachfolgend werden die verschiedenen Kenngrössen dargestellt, erste Schlussfolgerungen gezogen und besonders auffällige Abweichungen nach oben und unten genannt. Eine abschliessende Analyse der Kenndaten eines Tunnels ist allerdings nicht Aufgabe des vorliegenden Berichtes und ohne eingehende objektspezifische Abklärungen nicht möglich. Einige wichtige objektspezifische Parameter, welche bei detaillierten Abklärungen berücksichtigt werden sollten, sind im Abschnitt 1 genannt.

4.1 Pro Tunnelkilometer installierte elektrische Leistungen

Die in den untersuchten Tunnel pro Tunnelkilometer installierten elektrischen Leistungen für Tunnellüftung, Tunnelbeleuchtung und Nebenanlagen sind in den Figuren 4.1 bis 4.3 dargestellt und die Figur 4.4 zeigt das Total der installierten Leistungen. Der obere Teil dieser Figuren enthält jeweils die gültigen Daten der Tunnel mit Richtungsverkehr in zwei Röhren, wobei die Tunnellänge die mittlere Länge einer Tunnelröhre bezeichnet und die installierten Leistungen für beide Röhren erfasst sind. Der untere Teil der Figuren gilt jeweils für Tunnel mit Gegenverkehr in einer Röhre.

4.1.1 Tunnellüftung (Figur 4.1)

Die installierte Leistung für die Tunnellüftung hat für den Energieverbrauch im Betrieb nicht unbedingt eine direkte Bedeutung. Dies gilt insbesondere für längere Tunnel, in welchen sich durch aufwendige Brandschutzmassnahmen hohe installierte Leistungen ergeben können, welche in keiner Weise für den Normalbetrieb relevant sind. So werden teilweise separate Brandventilatoren verwendet, welche nie zusammen mit allen anderen Ventilatoren in Betrieb sein können.

Tunnel mit Richtungsverkehr werden ab einer Tunnellänge von etwa 500 m, Tunnel mit Gegenverkehr ab einer Tunnellänge von etwa 400 m mit einer mechanischen Lüftungsanlage ausgerüstet.

Bei den Tunneln mit Richtungsverkehr weisen im Vergleich zur Mehrheit der untersuchten Objekte die folgenden Tunnel aussergewöhnlich hohe spezifische installierte Leistungen pro Kilometer für die Tunnellüftung auf (vergleiche obere Grafik in Figur 4.1):

- Reinach, BL-	Installierte Leistung =	1.5 MW
	Spez. Wert bezogen auf 600 m Tunnellänge =	2.5 MW/km
- Schänzli, BL:	Installierte Leistung =	1.0 MW
	Spez. Wert bezogen auf 475 m Tunnellänge =	2.1 MW/km

- Seelisberg, NW:	Installierte Leistung =	16.9 MW
	Spez. Wert bezogen auf 9'280 m Tunnellänge =	1.8 MW/km
- Schwarzwald, BS:	Installierte Leistung =	0.875 MW
	Spez. Wert bezogen auf 583 m Tunnellänge	1.5 MW/km

Bei den Tunneln mit Gegenverkehr fallen die folgenden Tunnel mit hohen installierten spezifischen Leistungen pro Tunnelkilometer auf (vergleiche untere Grafik in Figur 4. 1):

- Gotthard, UR:	Installierte Leistung =	24.3 MW
	Spez. Wert bezogen auf 16.918 km Tunnellänge=	1.44 MW/km
- Isla Bella, GR:	Installierte Leistung =	1.7 MW
	Spez. Wert bezogen auf 2.440 km Tunnellänge =	0.7 MW/km
- Milchbuck, ZH:	Installierte Leistung =	1.22 MW
	Spez. Wert bezogen auf 1.91 0 km Tunnellänge =	0.64 MW/km

Beim Milchbucktunnel dürfte die höhere installierte Leistung durch das sehr hohe Verkehrsaufkommen auf drei Fahrspuren sowie durch die innerstädtische Situation begründet sein.

4.1.2 Tunnelbeleuchtung (Figur 4.2)

Die installierte Leistung für die Tunnelbeleuchtung hat im allgemeinen einen direkten Einfluss auf den Energieverbrauch für die Beleuchtung. Gleichzeitig gilt aber auch, dass die Einflussmöglichkeiten des Betreibers bei hohen installierten Leistungen für die Beleuchtung im allgemeinen grösser sind als bei kleineren installierten Leistungen.

Da für die Adaptionsbeleuchtung am Tunneleingang eine höhere Leistung als für die Durchgangsbeleuchtung erforderlich ist, kann bei längeren Tunneln im allgemeinen eine etwas niedrigere spezifische Leistung pro Kilometer erreicht werden als bei kürzeren Tunneln. In Tunnelröhren mit Richtungsverkehr werden häufig beide Portalzonen mit Adaptionsbeleuchtungen ausgerüstet. Die Notwendigkeit dieser Massnahme sollte in Zukunft kritischer geprüft werden.

Bei den Tunneln mit Richtungsverkehr resp. mit Gegenverkehr ist eine vergleichbare Beleuchtungsaufgabe zu erfüllen. Die grosse Variation der installierten Leistungen erstaunt darum sehr und zeigt die Notwendigkeit einer Einigung über angepasste Technologien und Komfortansprüche.

Bei den Tunneln mit Richtungsverkehr weisen die folgenden Tunnel hohe spezifische installierte Leistungen für die Tunnelbeleuchtung auf (vergleiche obere Grafik in Figur 4.2):

- Mariazell, LU:	Installierte Leistung =	0. 1 MW
	Spez. Wert bezogen auf 220 m Tunnellänge =	0.45 MW/km

- Schänzli, BL:	Installierte Leistung =	0.2 MW
	Spez. Wert bezogen auf 475 m Tunnellänge =	0.42 MW/km
- Quinto, TI:	Installierte Leistung =	0.124 MW
	Spez. Wert bezogen auf 293 m Tunnellänge =	0.42 MW/km
- Casletto, TI:	Installierte Leistung =	0.081 MW
	Spez. Wert bezogen auf 202 m Tunnellänge =	0.40 MW/km

Bei den Tunneln mit Gegenverkehr fallen die folgenden drei Tunnel durch eine hohe installierte Leistung für die Beleuchtung auf (vergleiche untere Grafik in Figur 4.2):

- Leimeren, BE:	Installierte Leistung =	0.16 MW
	Spez. Wert bezogen auf 250 m Tunnellänge =	0.64 MW/km
- Ferney, GE:	Installierte Leistung =	0.14 MW
	Spez. Wert bezogen auf 430 m Tunnellänge =	0.33 MW/km
- Plazzas, GR-	Installierte Leistung =	0.055 MW
	Spez. Wert bezogen auf 205 m Tunnellänge =	0.27 MW/km

4.1.3 Nebenanlagen (Figur 4.3)

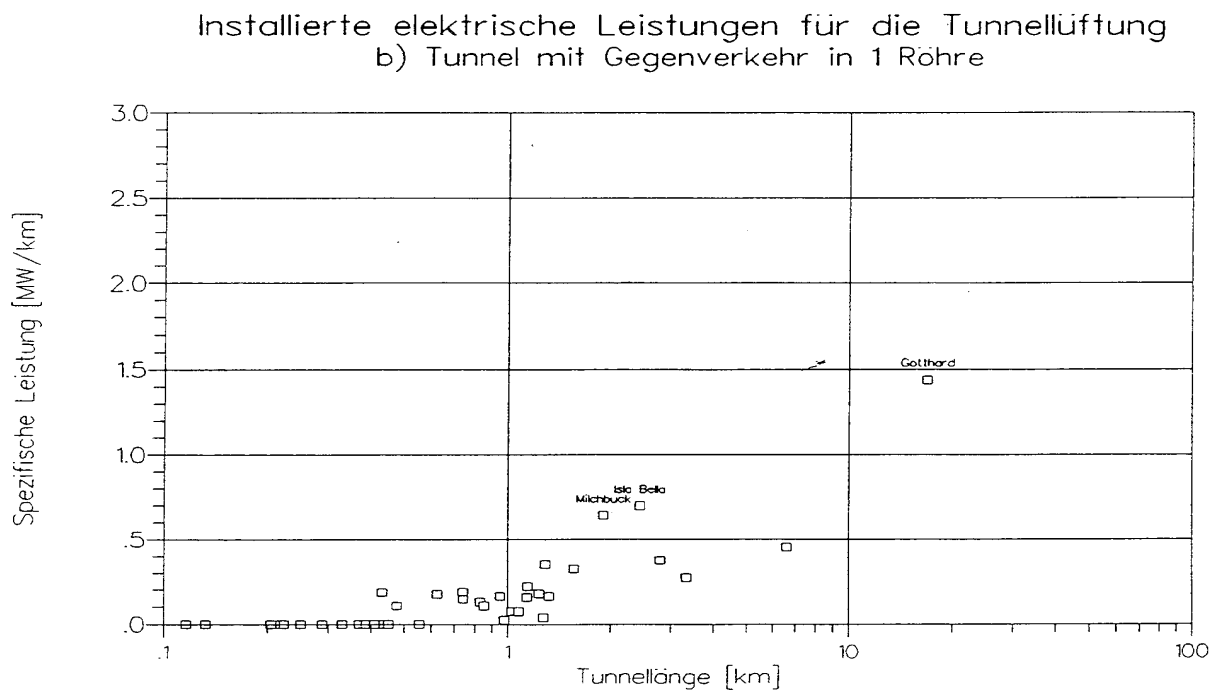
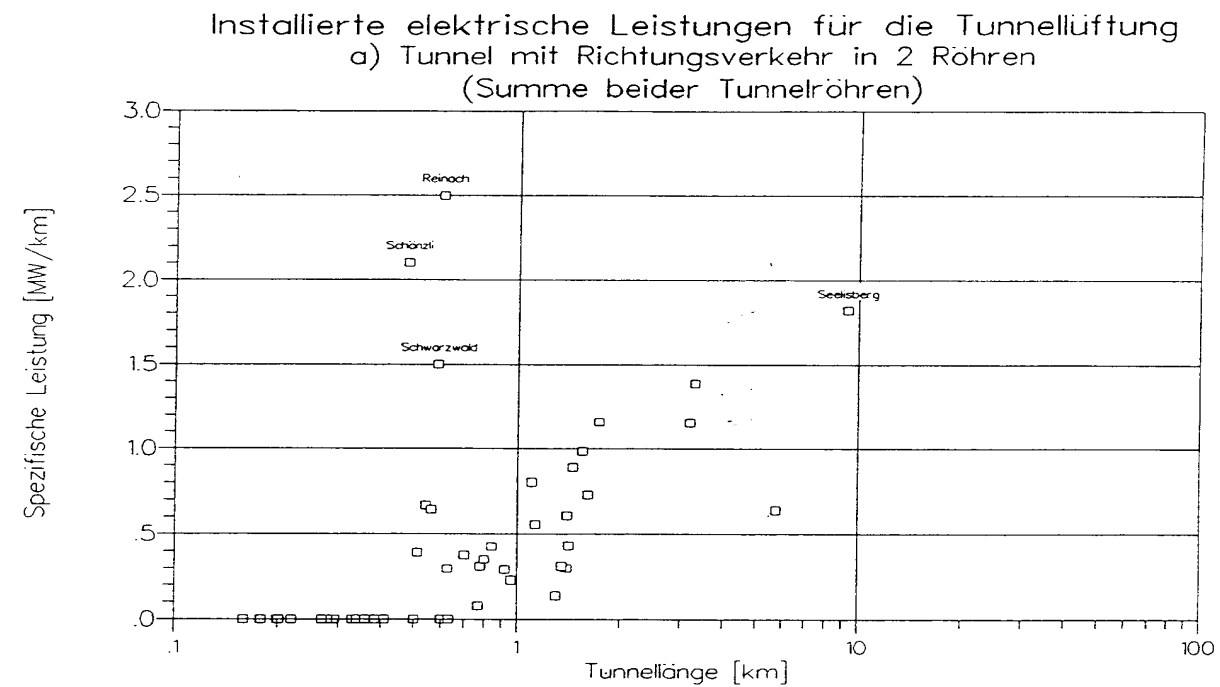
Unter die Nebenanlagen können sehr unterschiedliche Verbraucher fallen. Für eine nächste Erhebung ist darum das Erhebungsblatt diesbezüglich etwas erweitert worden (Anhang 1) und der Abschnitt 5.1.4 enthält Vorgaben für eine genauere Definition der Verbrauchsgruppen.

Aufgrund der erwähnten Problematik ist eine Beurteilung der installierten Leistungen für die Nebenanlagen nur unter Berücksichtigung der objektspezifischen Situation möglich. Hinweise auf vergleichsweise hohe Werte ergeben sich aus den Darstellungen in Figur 4.3.

4.1.4 Total aller Verbrauchsgruppen (Figur 4.4)

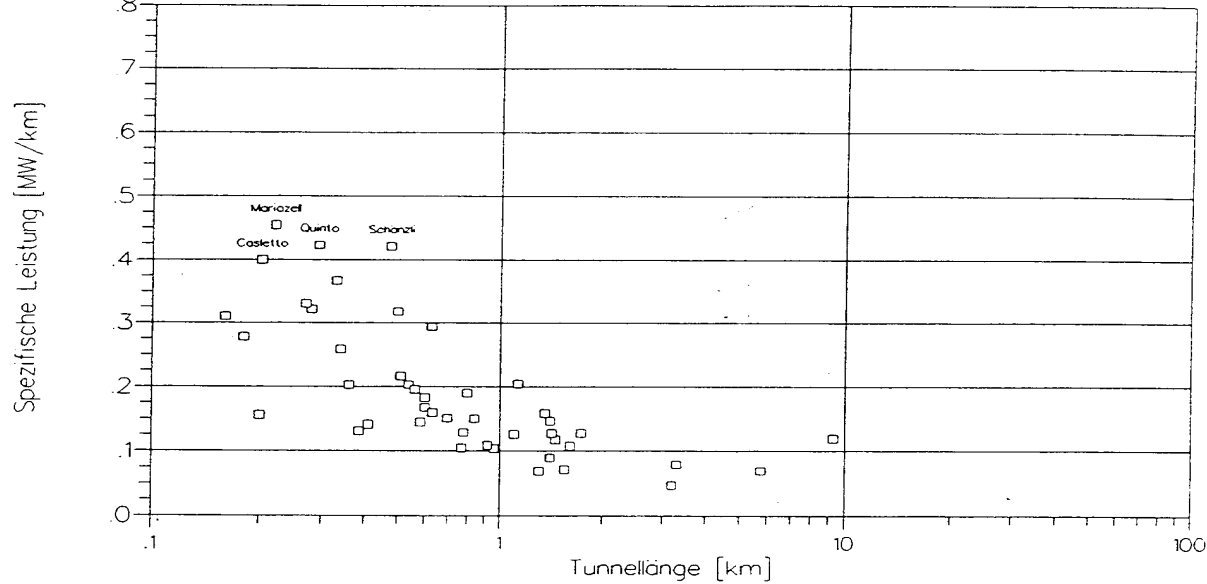
Die pro Kilometer total installierten elektrischen Leistungen liegen in Tunneln mit Richtungsverkehr zwischen etwa 0.2 und 3.0 MW/km (Faktor 15), in Tunneln mit Gegenverkehr zwischen etwa 0.1 und 1.7 MW/km (Faktor 17).

Generell nimmt diese Kenngrösse mit zunehmender Tunnellänge eher zu, es gibt jedoch auch verschiedene gegenläufige Beispiele. Einige auffallende Objekte sind in Figur 4-4 bezeichnet, weitere Hinweise ergeben sich aus der Auswertung in Anhang 3.

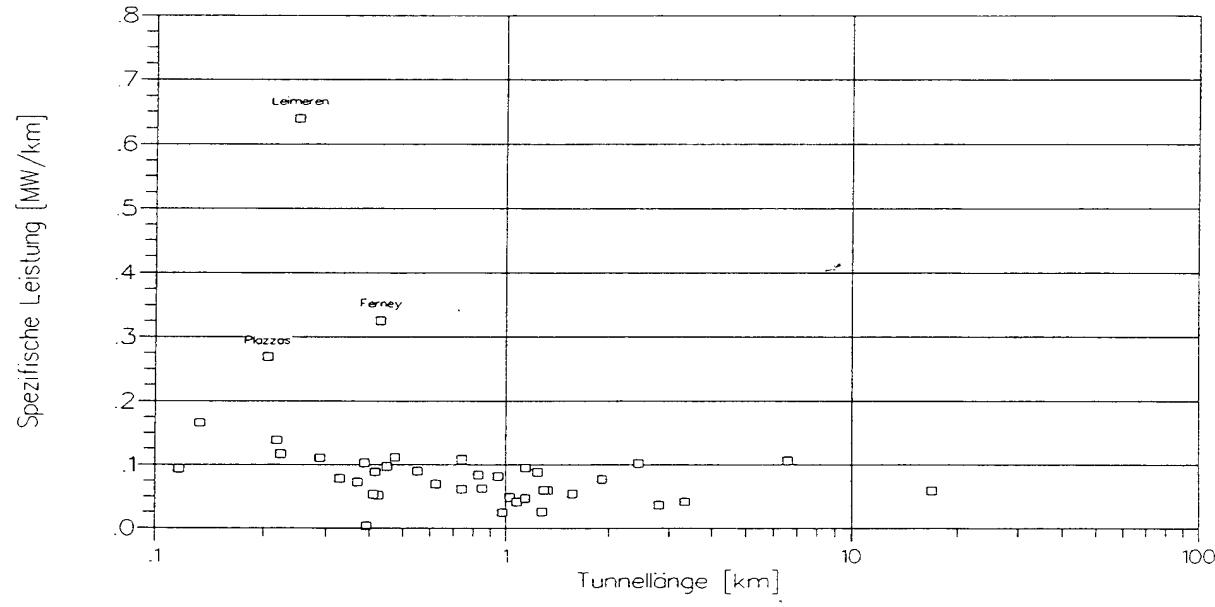


igur 4.1

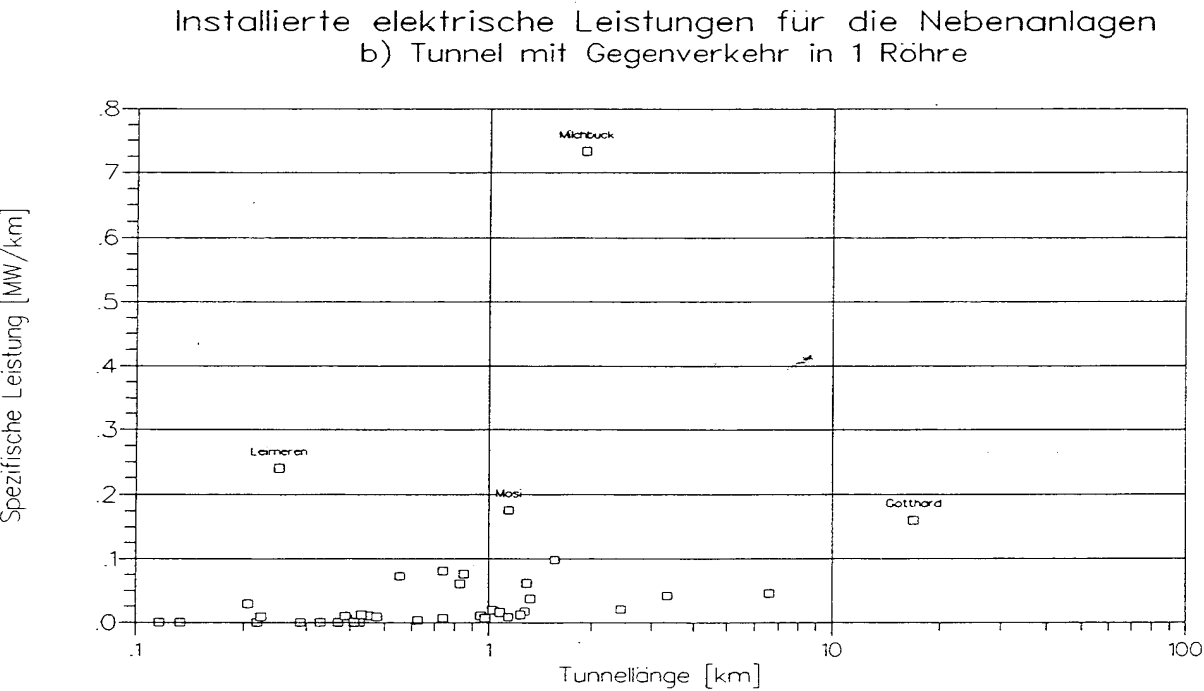
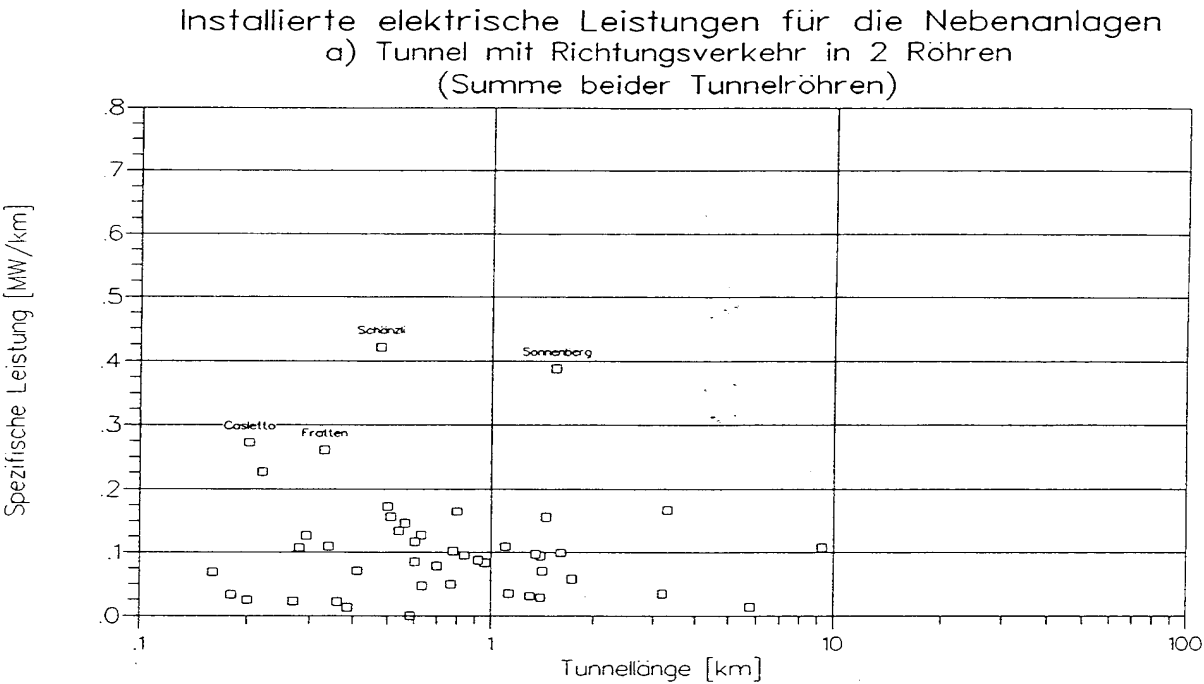
Installierte elektrische Leistungen für die Tunnelbeleuchtung
a) Tunnel mit Richtungsverkehr in 2 Röhren
(Summe beider Tunnelröhren)



Installierte elektrische Leistungen für die Tunnelbeleuchtung
b) Tunnel mit Gegenverkehr in 1 Röhre

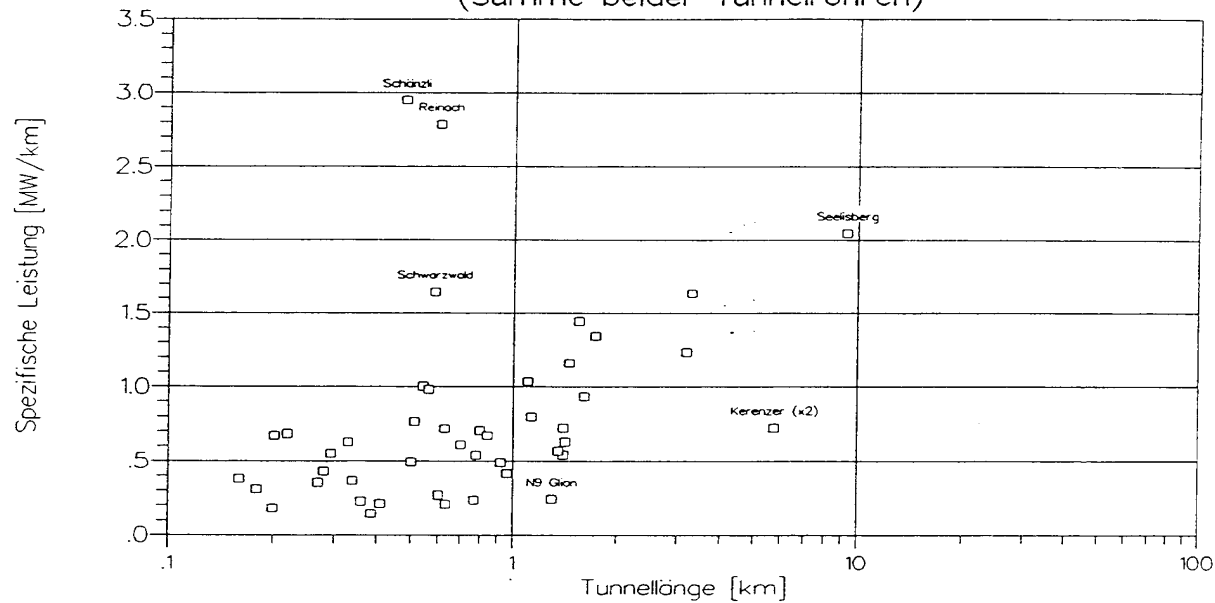


igur 4.2

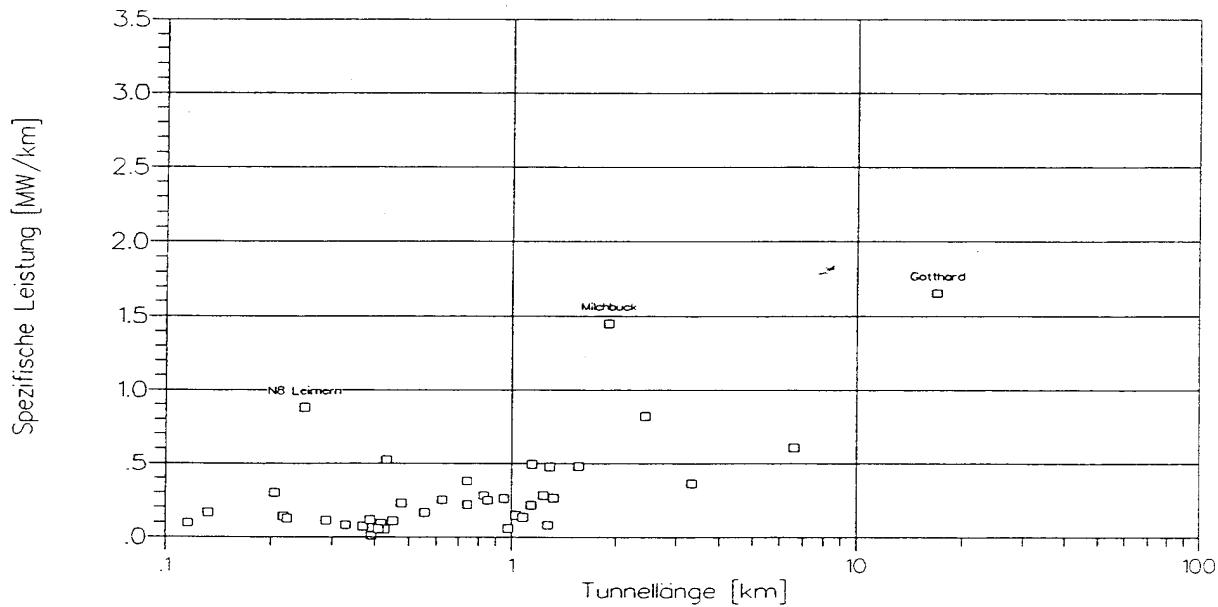


igur 4.3

Total der installierten elektrischen Leistungen
a) Tunnel mit Richtungsverkehr in 2 Röhren
(Summe beider Tunnelröhren)



Total der installierten elektrischen Leistungen
b) Tunnel mit Gegenverkehr in 1 Röhre



4.2 Elektrizitätsverbrauch pro Tunnelkilometer

Die jährlichen Elektrizitätsverbräuche pro Tunnelkilometer für Tunnellüftung, Tunnelbeleuchtung und Nebenanlagen sind in den Figuren 4.5 bis 4.7 dargestellt und die Figur 4.8 zeigt den Gesamtverbrauch pro Tunnelkilometer. Der obere Teil dieser Figuren enthält wiederum die gültigen Daten der Tunnel mit Richtungsverkehr in zwei Röhren, der untere Teil der Figuren gilt für die Tunnel mit Gegenverkehr in einer Röhre.

4.2.1 Tunnellüftung (Figur 4.5)

Bei den Tunneln mit Richtungsverkehr fallen die folgenden Tunnel durch einen hohen Elektrizitätsverbrauch pro Tunnelkilometer auf (vergleiche obere Grafik in Figur 4.5):

- Schoren, SG:	Elektrizitätsverbrauch =	337.1 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 1.100 km Tunnellänge =	306 MWh/a.km
- Rosenberg, SG:	Elektrizitätsverbrauch =	380.2 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 1.450 km Tunnellänge =	262 MWh/a.km
- Piumogna, TI:	Elektrizitätsverbrauch =	319.6 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 1.606 km Tunnellänge =	199 MWh/a.km
- Belchen, BL:	Elektrizitätsverbrauch =	623.0 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 3.200 km Tunnellänge =	195 MWh/a.km

Zusätzlich ist darauf hinzuweisen, dass bei den folgenden kurzen Tunneln aufgrund des Vergleichs mit anderen Tunneln, der Elektrizitätsverbrauch für die Tunnellüftung vermutlich weitgehend entfallen könnte.

- Schänzli, BL:	Tunnellänge	475 m
	Elektrizitätsverbrauch Lüftung =	22.6 MWh/a resp. 48 MWh/a.km
- Biascina, TI:	Tunnellänge	539 m
	Elektrizitätsverbrauch Lüftung =	40.0 MWh/a resp. 48 MWh/a.km
- Pardorea, TI:	Tunnellänge =	561 m
	Elektrizitätsverbrauch Lüftung =	24.0 MWh/a resp. 43 MWh/a.km
- Schwarzwald, BS:	Tunnellänge =	583 m
	Elektrizitätsverbrauch Lüftung =	43.6 MWh/a resp. 75 MWh/a.km
- Reinach, BL:	Tunnellänge =	600 m
	Elektrizitätsverbrauch Lüftung =	26.0 MWh/a resp. 43 MWh/a.km

Bei den Tunneln mit Gegenverkehr weisen die folgenden Tunnel einen auffallend hohen Elektrizitätsverbrauch für die Lüftung auf (vergleiche untere Grafik in Figur 4.5):

- Gotthard, UR:	Elektrizitätsverbrauch =	6'075 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 16.918 km Tunnellänge	359 MWh/a.km
- Milchbuck, ZH:	Elektrizitätsverbrauch =	635 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 1.910 km Tunnellänge =	332 MWh/a. km
- Lopper, NW:	Elektrizitätsverbrauch =	219.4 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 1.562 km Tunnellänge =	140 MWh/a.km
- Isla Bella, GR:	Elektrizitätsverbrauch	301.0 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 2.440 km Tunnellänge =	123 MWh/a.km

Beim Gotthardtunnel haben die Betreiber offenbar die Notwendigkeit einer Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs für die Tunnellüftung erkannt und konnten durch verschiedene Massnahmen den Verbrauch in den letzten Jahren bereits deutlich reduzieren:

Verbrauch 1989:	6'700 MWh/a
Verbrauch 1990:	6'295 MWh/a
Verbrauch 1991:	6'075 MWh/a (in der vorliegenden Studie verwendet)

4.2.2 Tunnelbeleuchtung (Figur 4.6)

Bei der Tunnelbeleuchtung kann der Elektrizitätsverbrauch pro Tunnelkilometer bei vergleichbarer Tunnellänge als geeignetes Kriterium für die energetische Beurteilung der Beleuchtung bezeichnet werden, wobei infolge der Adaptionsbeleuchtung der Kennwert mit zunehmender Tunnellänge eher abnehmen sollte. Die sehr grossen Unterschiede im längenspezifischen Elektrizitätsverbrauch gemäss Figur 4.6 zeigen, dass offenbar bei Planern und Betreibern von Tunnelbeleuchtungen sehr unterschiedliche Ansichten über die geeignete Art und Betriebsweise einer Tunnelbeleuchtung bestehen.

Bei den Tunneln mit Richtungsverkehr wurde bei den folgenden Tunneln ein besonders hoher spezifischer Elektrizitätsverbrauch festgestellt (vergleiche obere Grafik in Figur 4.6):

- Taverne, TI:	Elektrizitätsverbrauch =	345.4 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 280 m Tunnellänge =	1'233 MWh/a.km
- Reussport, LU:	Elektrizitätsverbrauch =	679.0 MWh/a
	Spez. Wert bezogen auf 627 m Tunnellänge =	1'084 MWh/a. km

Beim Reussporttunnel kann geltend gemacht werden, dass infolge der dreispurigen Tunnelröhren und des grossen Verkehrsaufkommens mit Ein- und Ausfahrten ein erhöhter Elektrizitätsverbrauch für die Beleuchtung gerechtfertigt ist. Trotzdem erscheint der spezifische Verbrauch von rund 1'000 MWh/a.km im

Vergleich zu den verschiedenen in der Erhebung erfassten Tunneln mit unter 500 MWh/a.km unnötig hoch. Verbräuche über 500 MWh/a.km für die Tunnelbeleuchtung weisen neben den bereits genannten die folgenden Tunnel auf:

Tunnel	Tunnellänge	Spezifischer Verbrauch
Quinto, TI (120 km/h zugelassen!)	293 m	955 MWh/a.km
Casletto, TI (120 km/h zugelassen!)	202 m	865 MWh/a. km
Maroggia - Bissone, TI	588 m	862 MWh/a.km
Stalvedro, TI	340 m	852 MWh/a.km
Viglio, TI	632 m	826 MWh/a.km
Melide - Grancia, TI	1'728 m	825 MWh/a.km
Mariazell, LU	220 m	714 MWh/a.km
Ebenrain, BL	385 m	673 MWh/a.km
Schwarzwald, BS	583 m	648 MWh/a.km
Monte Ceneri, TI	1'416 m	632 MWh/a.km
L'Arzilier, VD	410 m	628 MWh/a.km
Pardorea, TI	561 m	611 MWh/a.km
Biaschina, TI	539 m	582 MWh/a.km
Rathausen, LU	700 m	540 MWh/a.km
Oberburg, BL	200 m	530 MWh/a.km

Bei den Tunneln mit Gegenverkehr fallen die hohen Verbräuche der folgenden zwei Tunnel auf (vergleiche untere Grafik in Figur 4.6):

- Plazzas, GR: Elektrizitätsverbrauch	151.3 MWh/a
Spez. Wert bezogen auf 0.205 km Tunnellänge =	738 MWh/a.km
- Isla Bella, GR: Elektrizitätsverbrauch =	1'293 MWh/a
Spez. Wert bezogen auf 2.440 km Tunnellänge =	530 MWh/a.km

Aufgrund der vorliegenden Erhebung sollte der Elektrizitätsverbrauch für die Beleuchtung in Tunneln mit Gegenverkehr generell unter 300 MWh/a.km gehalten werden können. Dieser Wert wird zusätzlich zu den oben erwähnten von den folgenden Tunneln überschritten:

Tunnel	Tunnellänge	Spezifischer Verbrauch
Lopper, NW	1'562 m	434 MWh/a.km
Alvaschein, GR	950 m	393 MWh/a.km
N4 Mosi, SZ	1'142 m	350 MWh/a.km
Rotsch, GR	218 m	341 MWh/a.km
San Bernardino, GR	6'600 m	341 MWh/a.km
Taferna, GR	288 m	305 MWh/a.km

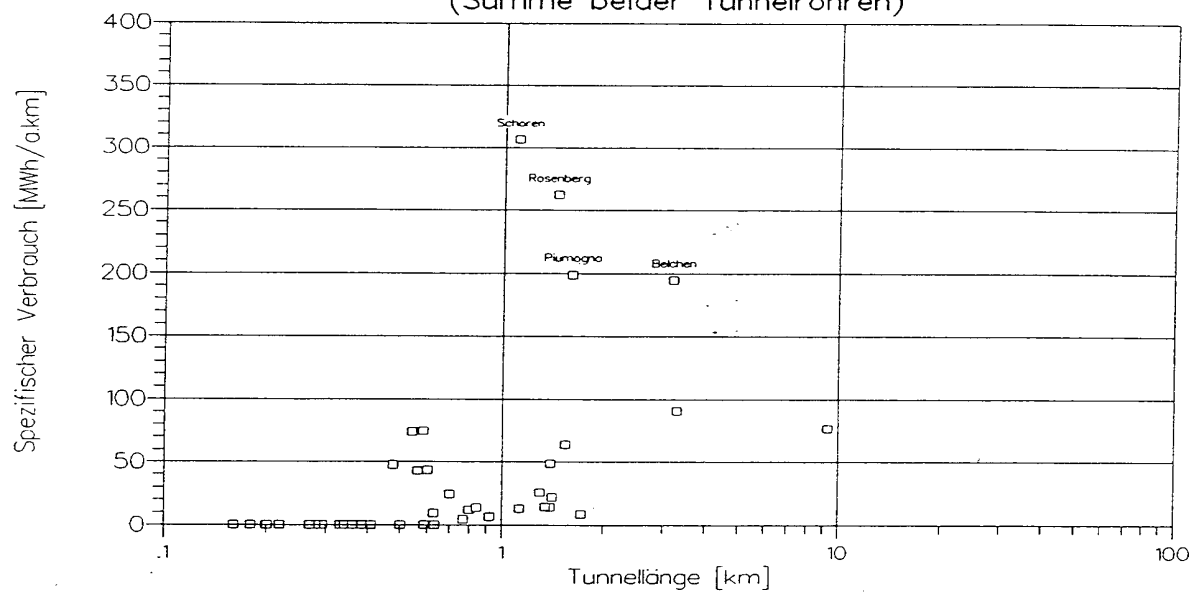
4.2.3 Nebenanlagen (Figur 4.7)

Bei den Nebenanlagen fällt auf, dass viele Tunnel ganz ohne Nebenanlagen auskommen. Ob dies auf eine ungenaue Erhebung zurückzuführen ist (vergleiche Abschnitt 5.1.4) oder ob diese Unterschiede, z.B. infolge einer unterschiedlichen Philosophie bezüglich der Notwendigkeit von USV-Anlagen, tatsächlich bestehen, ist noch näher abzuklären.

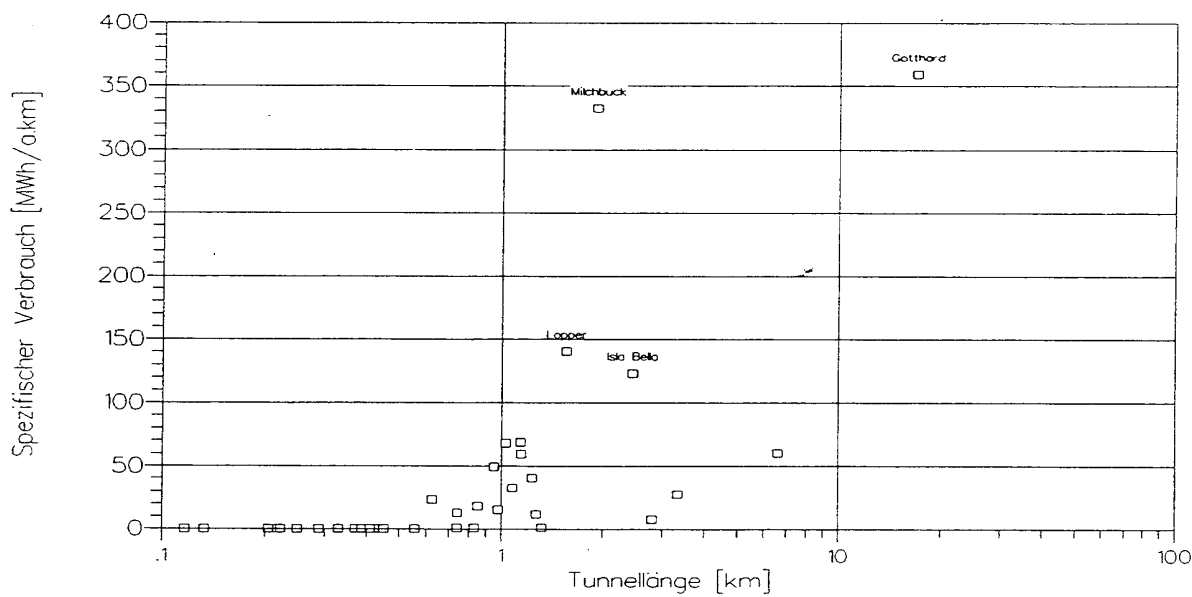
4.2.4 Total aller Verbrauchsgruppen (Figur 4.8)-

Der totale Elektrizitätsverbrauch aller Verbrauchsgruppen. pro Tunnelkilometer liegt bei Tunneln mit Richtungsverkehr bei etwa 400 bis 1'200 MWh/a.km (Faktor 3),- bei Tunneln mit Gegenverkehr bei etwa 50 bis 1'800 MWh/a.km (Faktor 36). Die Unterschiede zwischen den Tunneln können sicher teilweise auf objektspezifische Gegebenheiten zurückgeführt werden, einige wichtige Einflussparameter sind in Abschnitt 1 genannt. Besonders auffallende Objekte sollten aber unbedingt überprüft werden, wobei eine Überprüfung eher aufgrund der Kenngrössen pro Verbrauchsgruppe als aufgrund der Kenngrössen über den totalen Verbrauch zu empfehlen ist.

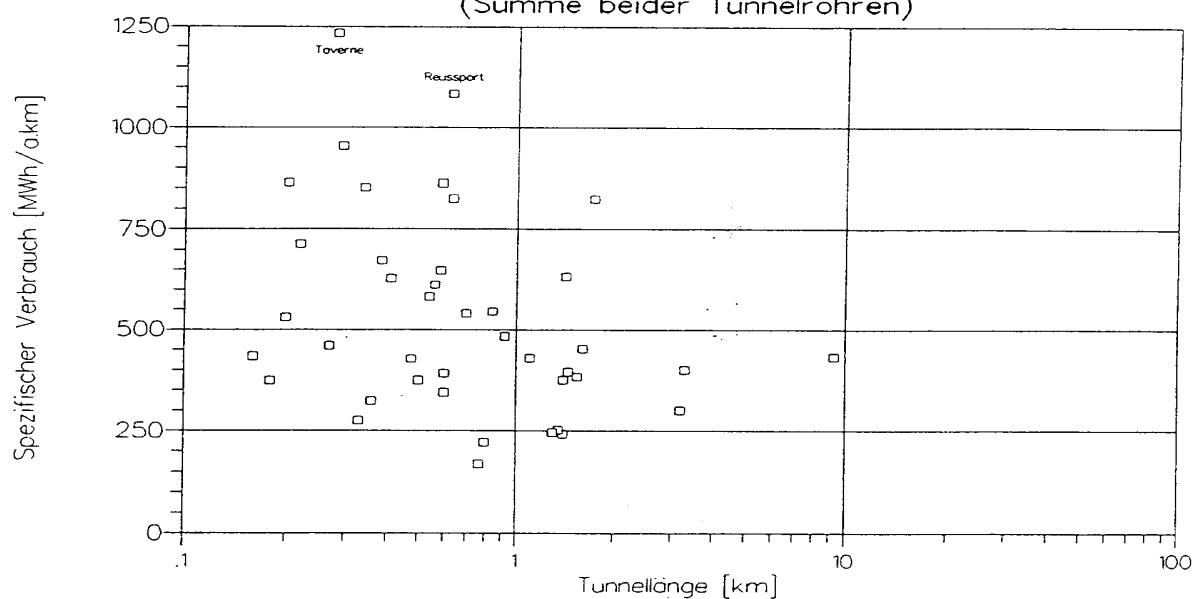
Elektrizitätsverbrauch pro km für die Tunnellüftung
a) Tunnel mit Richtungsverkehr in 2 Röhren
(Summe beider Tunnelröhren)



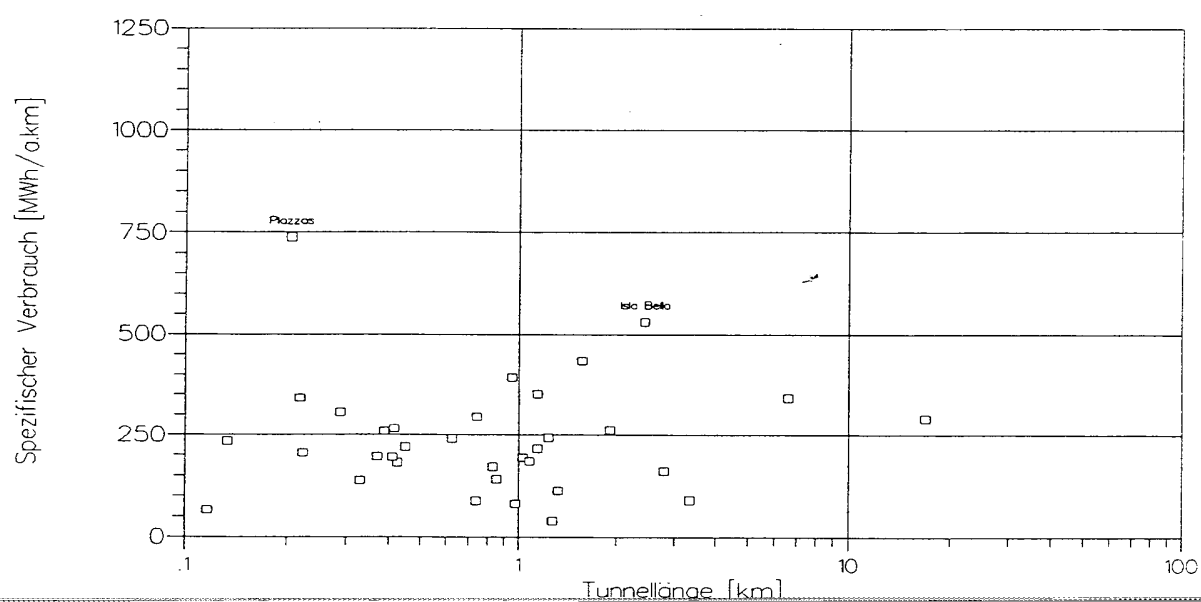
Elektrizitätsverbrauch pro km für die Tunnellüftung
b) Tunnel mit Gegenverkehr in 1 Röhre



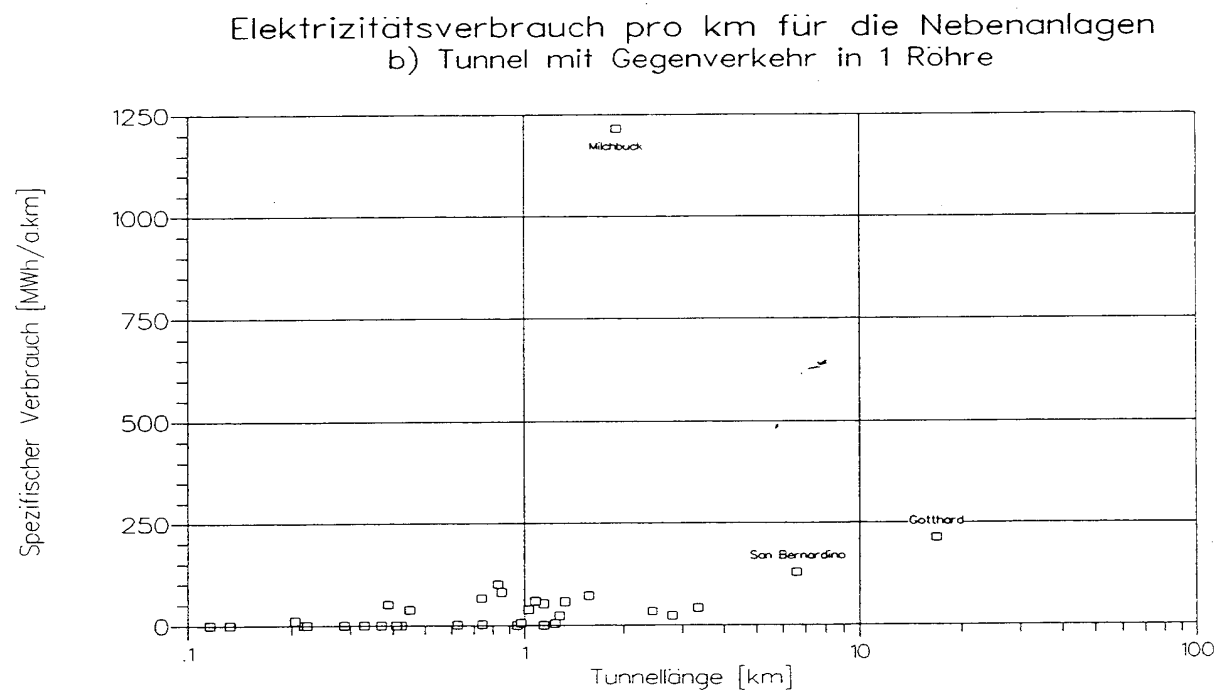
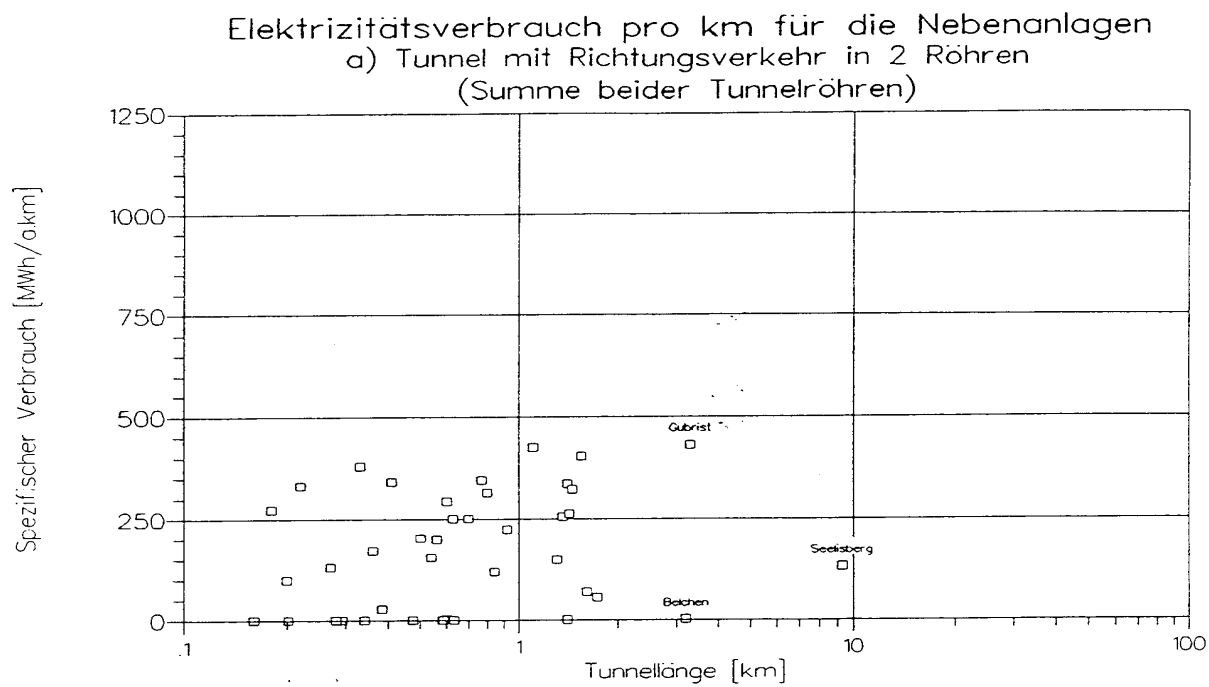
Elektrizitätsverbrauch pro km für die Tunnelbeleuchtung
a) Tunnel mit Richtungsverkehr in 2 Röhren
(Summe beider Tunnelröhren)



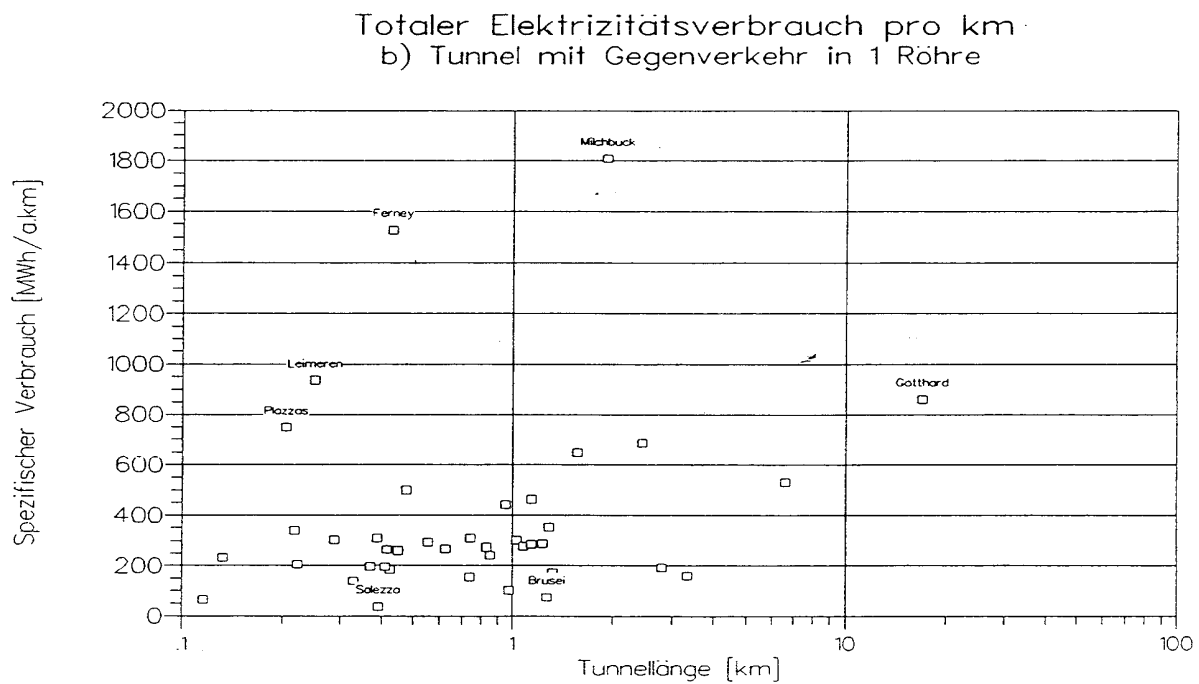
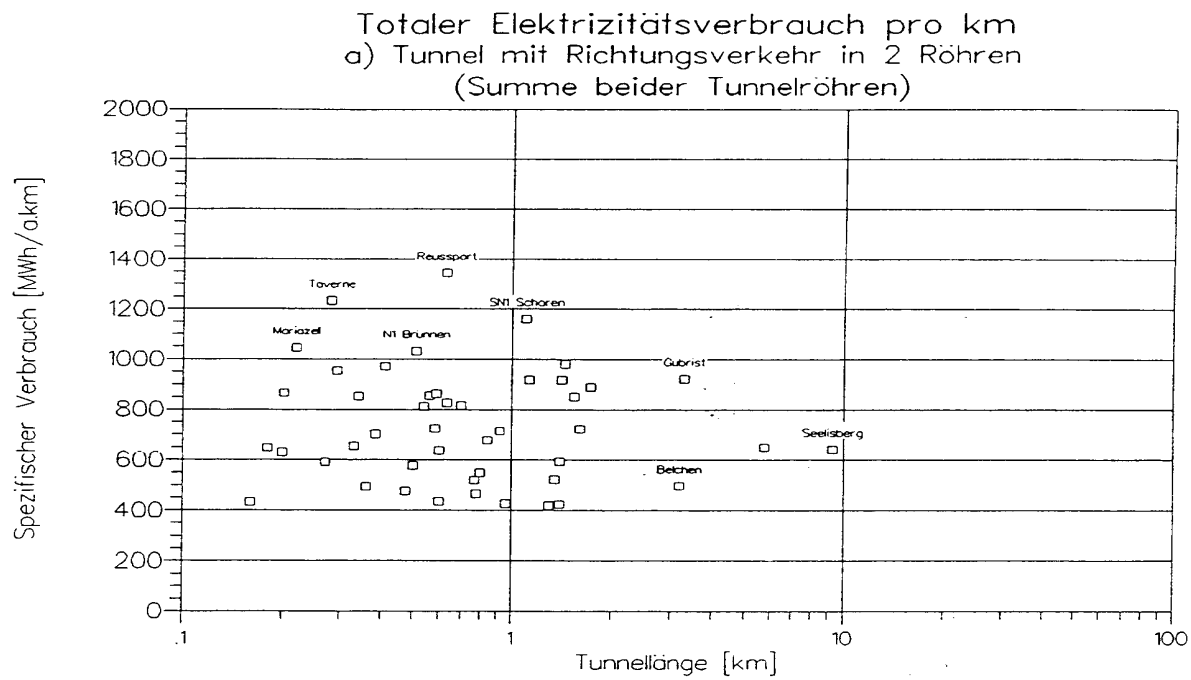
Elektrizitätsverbrauch pro km für die Tunnelbeleuchtung
b) Tunnel mit Gegenverkehr in 1 Röhre



Figur 4.6



igur 4.7



igur 4.8

4.3 Elektrizitätsverbrauch pro Motorfahrzeugkilometer

Die Elektrizitätsverbräuche pro Motorfahrzeugkilometer für Tunnellüftung, Tunnelbeleuchtung und Nebenanlagen sind in den Figuren 4.9 bis 4.11 dargestellt und die Figur 4.12 zeigt den totalen Elektrizitätsverbrauch aller drei Verbrauchergruppen. Der obere Teil der Figuren enthält wiederum die Daten der Tunnel mit Richtungsverkehr, der untere Teil gilt für Tunnel mit Gegenverkehr.

4.3.1 Tunnellüftung (Figur 4.9)

Bei den Tunneln mit Richtungsverkehr weisen die folgenden Tunnel den höchsten Elektrizitätsverbrauch für die Tunnellüftung pro Motorfahrzeugkilometer auf (vergleiche obere Grafik in Figur 4.9):

- Piumogna, TI:	Elektrizitätsverbrauch=	319.6 MWh/a
	Motorfahrzeugstrom =	6'205'000 Mfz/a
^	Spez. Wert bezogen auf 1.606 km Tunnellänge =	32.1 Wh/Fz.km
- SN 1 Schoren, SG:	Elektrizitätsverbrauch	337.1 MWh/a
	Motorfahrzeugstrom =	10'004'000 Mfz/a
	Spez. Wert bezogen auf 1. 1 00 km Tunnellänge =	30.6 Wh/Fz. km

Zusätzlich ist darauf zu hinzuweisen, dass bei den in Abschnitt 4.2.1 erwähnten kurzen Tunneln mit Richtungsverkehr ein Elektrizitätsverbrauch für die Tunnellüftung vermutlich weitgehend entfallen könnte.

Von den Tunneln mit Gegenverkehr weist der Gotthardtunnel den mit Abstand höchsten Elektrizitätsverbrauch pro Motorfahrzeugkilometer auf (vergleiche untere Grafik in Figur 4.9):

- Gotthard, UR:	Elektrizitätsverbrauch =	6'075 MWh/a
	Motorfahrzeugstrom =	5'768'371 Mfz/a
	Spez. Wert bezogen auf 16.918 km Tunnellänge =	62.3 Wh/Fz. km

4.3.2 Tunnelbeleuchtung (Figur 4.1 0)

In einem wenig befahrenen Tunnel kann aus Sicherheitsgründen das Beleuchtungsniveau nicht ohne weiteres reduziert werden. Eine Beurteilung der Beleuchtung aufgrund des fahrzeugspezifischen Elektrizitätsverbrauchs kann darum zu Fehlschlüssen führen. Trotzdem erscheint eine Ueberprüfung der in Figur 4. 1 0 bezeichneten Objekte angezeigt.

4.3.3 Nebenanlagen (Figur 4.1 1)

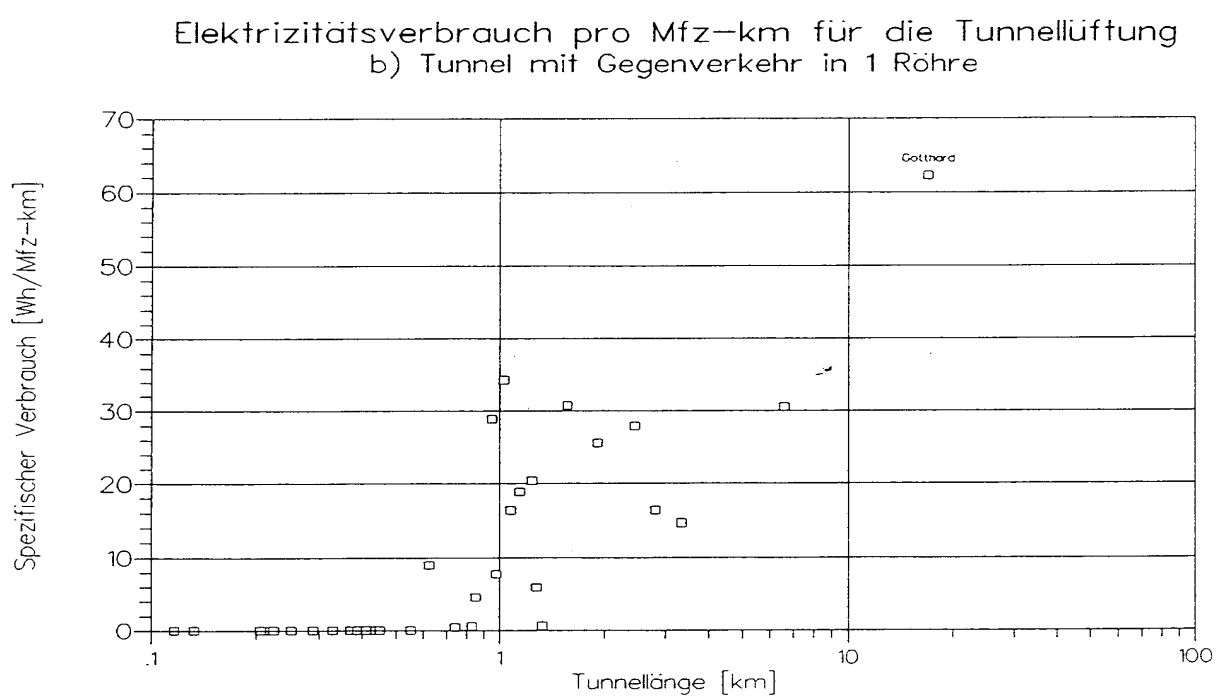
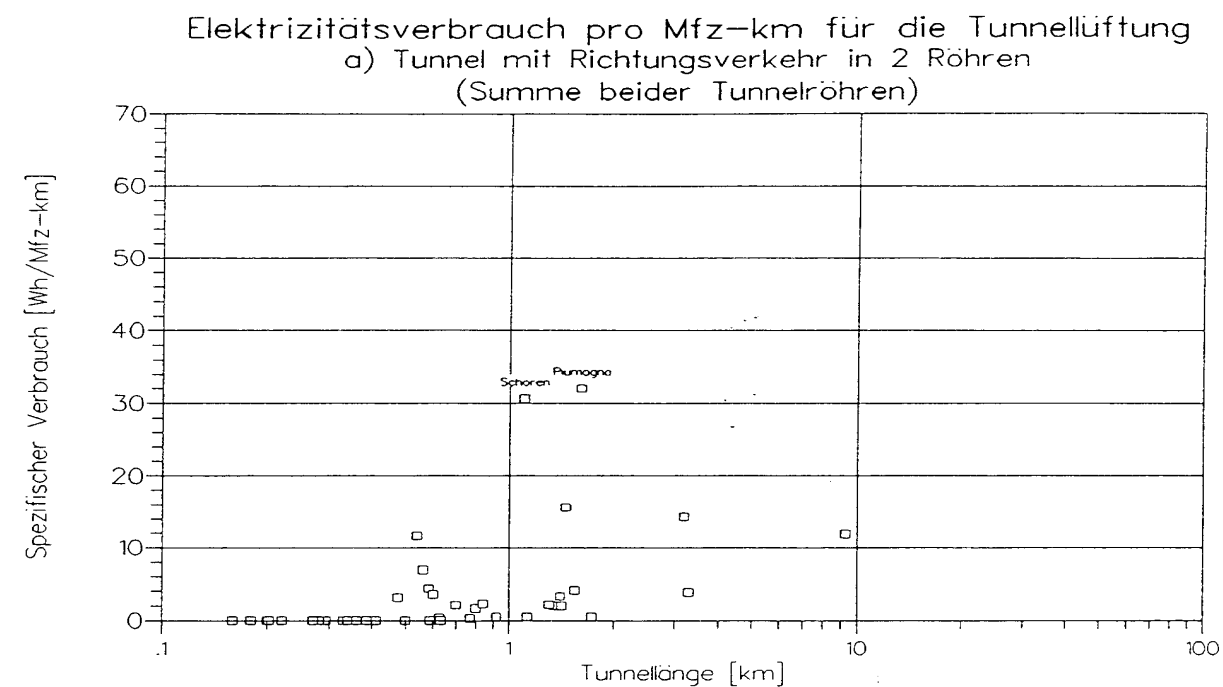
Der Betrieb der Nebenanlagen ist weitgehend unabhängig vom Verkehrsaufkommen und die fahrzeugspezifischen Elektrizitätsverbräuche für die Nebenanlagen haben entsprechend nur eine untergeordnete Bedeutung. Trotzdem können die Auswertungen in Figur 4.11 und Anhang 3 Hinweise auf bestehende Sparpotentiale geben.

4.3.4 Total aller Verbrauchsgruppen (Figur 4.12)

Betrachtet man den totalen Elektrizitätsverbrauch aller Verbrauchsgruppen pro Motorfahrzeugkilometer, zeigen sich bei den Tunneln mit Richtungsverkehr keine extremen Ausreisser. Allerdings ist die Variation der Kenngrösse mit Werten zwischen 30 und 160 Wh/Fz.km (Faktor 5) recht gross.

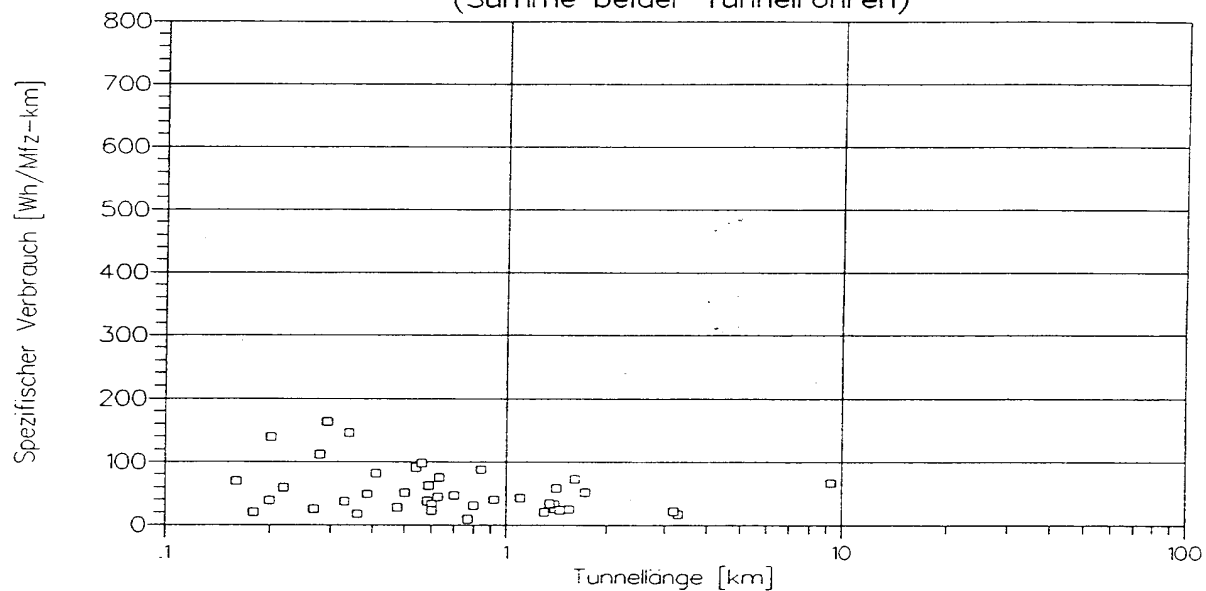
Bei den Tunneln mit Gegenverkehr fallen die Tunnel Clasaurer, Frauentobel, Calfreisen und Landwasser durch überdurchschnittlich hohe Kennwerte auf. Der Grund liegt im relativ hohen Beleuchtungsaufwand bei vergleichsweise geringem Verkehrsaufkommen. Bei den Tunneln mit Gegenverkehr ist die Variation der Kenngrösse mit einem Faktor von rund 10 noch grösser als bei den Tunneln mit Richtungsverkehr.

Bei weitergehenden Abklärungen sind die objektspezifischen Gegebenheiten zu berücksichtigen. Einige wichtige Einflussparameter sind in Abschnitt 1 genannt.

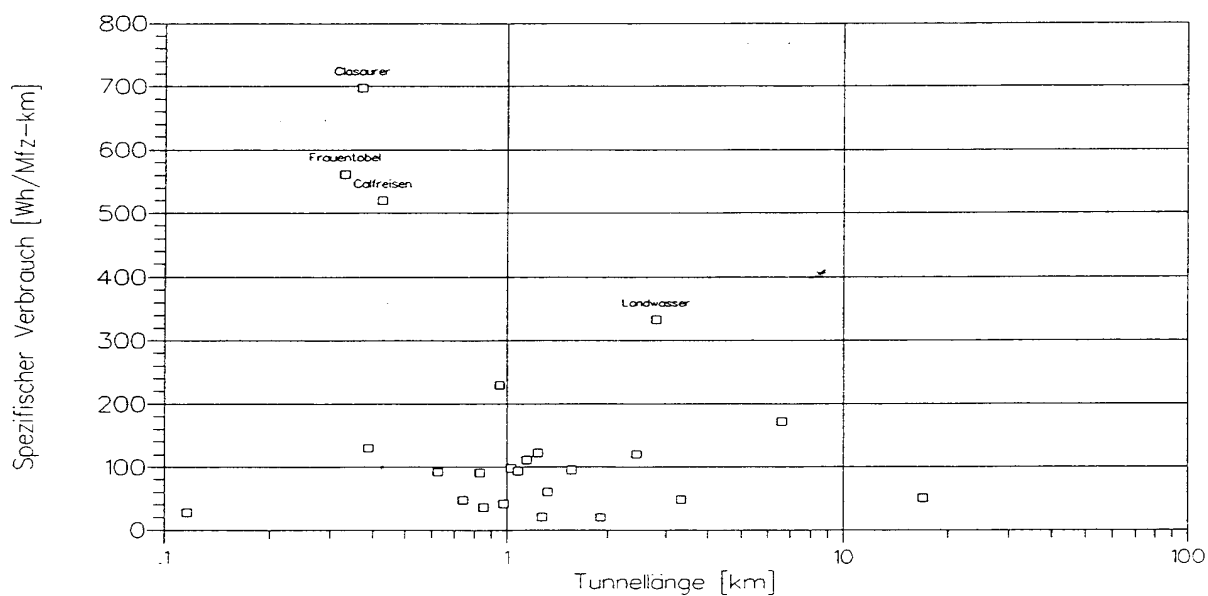


Figur 4.9

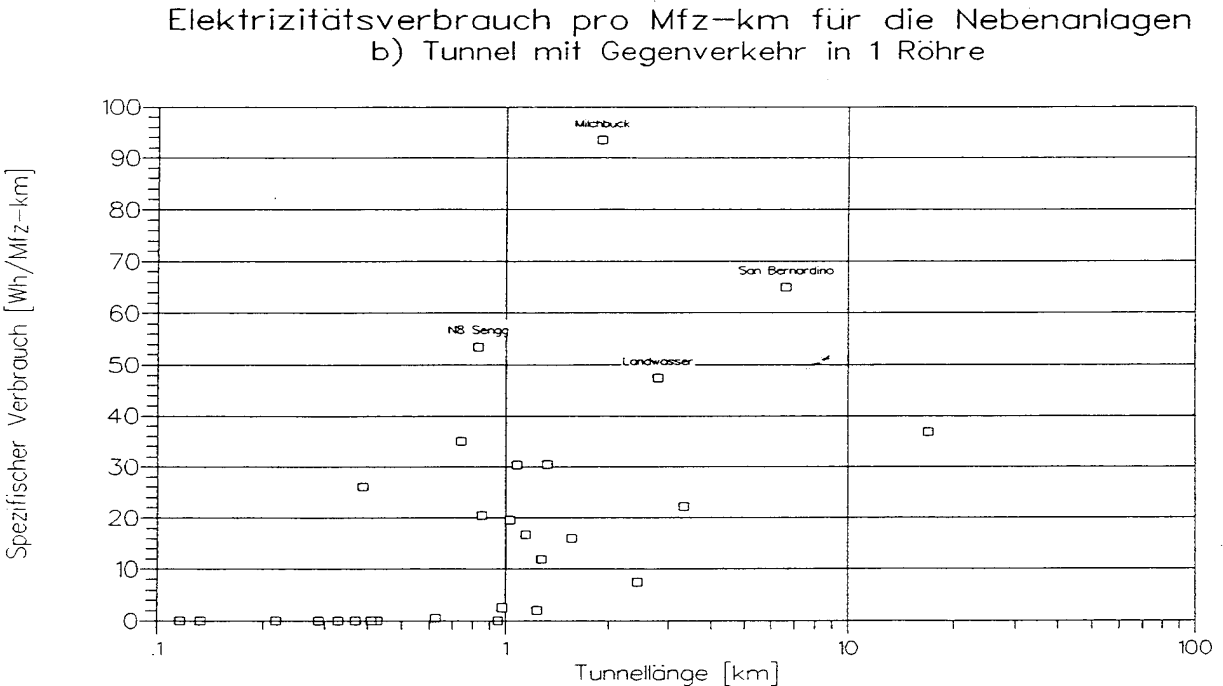
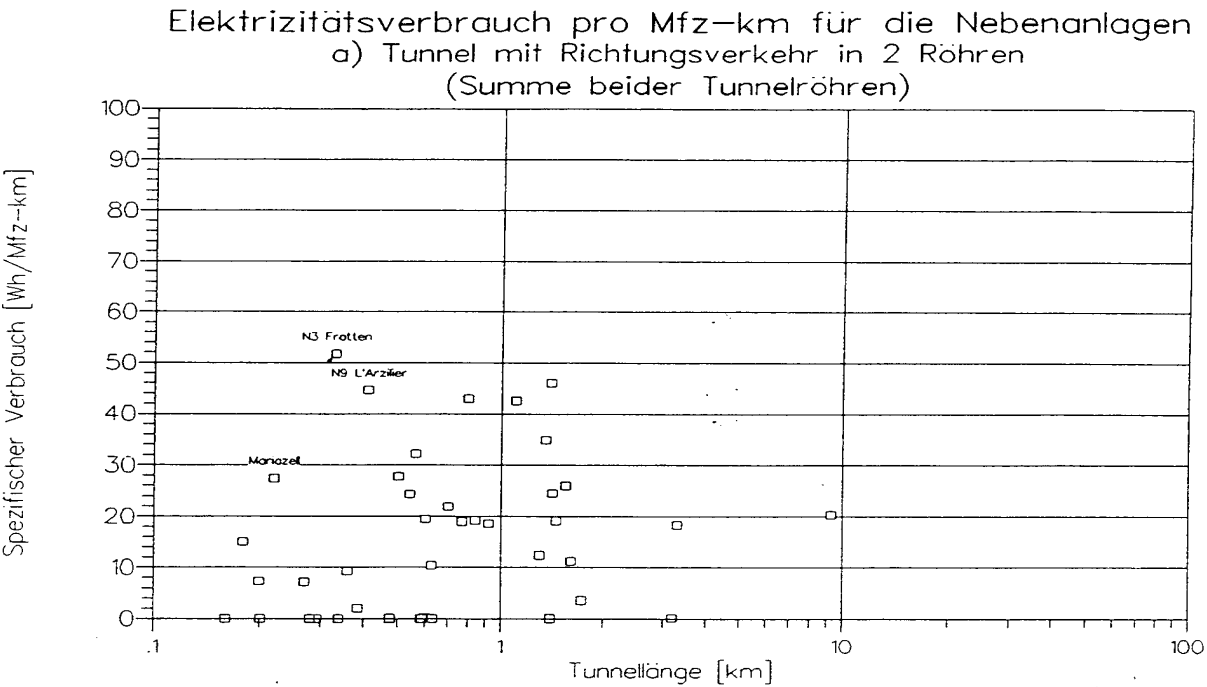
Elektrizitätsverbrauch pro Mfz-km für die Tunnelbeleuchtung
a) Tunnel mit Richtungsverkehr in 2 Röhren
(Summe beider Tunnelröhren)



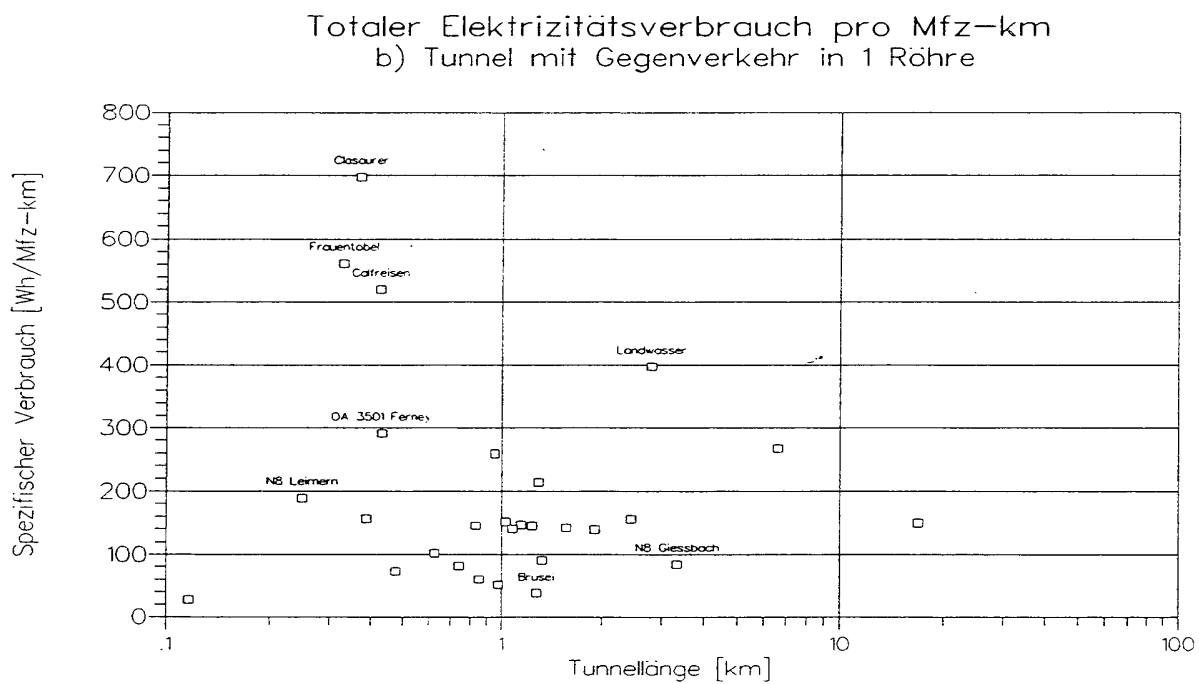
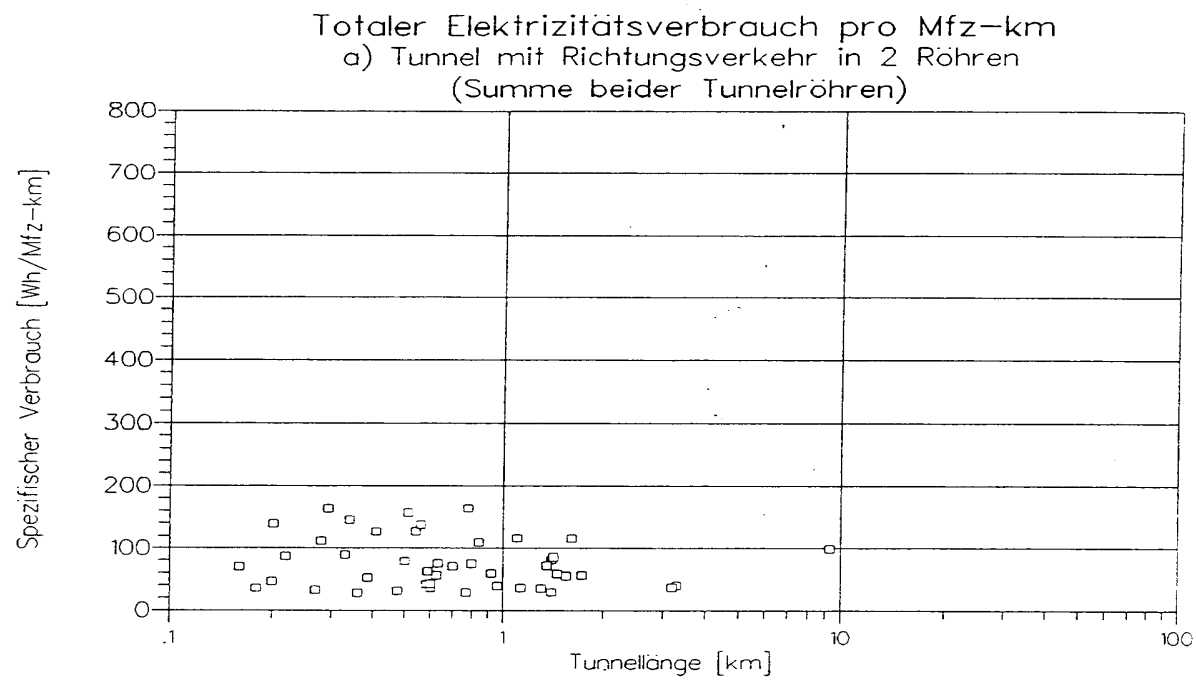
Elektrizitätsverbrauch pro Mfz-km für die Tunnelbeleuchtung
b) Tunnel mit Gegenverkehr in 1 Röhre



Figur 4. 10



Figur 4.11



Figur 4.12

5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

5.1 Allgemeine Erkenntnisse aus der Erhebung

5.1.1 Erhebungsblatt

Die Erhebung der wichtigsten Tunneldaten und der Elektrizitätsverbräuche der von Tunnellüftung, Tunnelbeleuchtung und Nebenanlagen mit dem einfachen Datenblatt hat sich gut bewährt. Zur weiteren Verbesserung werden die folgenden Ergänzungen empfohlen:

- Angabe der Anzahl Fahrspuren pro Tunnelröhre
- Vorgabe einer Auswahl typischer Lüftungs- und Beleuchtungssysteme
- Angabe des Beleuchtungssystems für Adaptionen- und Durchgangsbeleuchtung
- Angabe von durchgeführten Massnahmen zur Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs

Das Erhebungsblatt im Anhang 1 enthält diese Ergänzungen und kann bei einer Wiederholung der Umfrage verwendet werden (vergleiche Abschnitt 5.3).

5.1.2 Datenerfassung bei den Kantonen

Mit den eingegangenen Erhebungsblättern wurde der Elektrizitätsverbrauch für die Lüftung und vermutlich auch für die Nebenanlagen der Strassentunnel in der Schweiz praktisch vollständig, jene für die Beleuchtung zu etwa 80 % erfasst.

Nicht gemeldet wurden vor allem kürzere Tunnel ohne mechanische Lüftungsanlage. Dies ist wohl eine Folge davon, dass in der Anfrage die Erfassung des Elektrizitätsverbrauchs für die Tunnellüftung als Hauptziel genannt wurde. Aufgrund der nun vorliegenden Resultate wurde erkannt, dass die Tunnelbeleuchtung einen unerwartet hohen Anteil am Elektrizitätsverbrauch der Strassentunnel ausmacht, so dass in einer nächsten Umfrage auch die kürzeren Tunnel ohne mechanische Lüftung möglichst vollständig erfasst werden sollten.

Die Erhebung hat gezeigt, dass nicht alle Betreiber in der Lage sind, die Verbräuche von Tunnellüftung, Beleuchtung und Nebenanlagen direkt zu messen. Um eine wirksame Kontrolle zu ermöglichen, ist dies jedoch eine massgebende Voraussetzung. Die Betreiber der Tunnel sollten darum unbedingt darauf achten, dass bei allen neuen Anlagen diese einfachen Verbrauchsmessungen vorgesehen werden und dass bei den bestehenden Anlagen diese rasch eingebaut werden. Wünschbar ist eine entsprechende verbindliche Weisung des Bundesamtes für Strassenbau, wobei diese auch die klare Definition der separat zu erfassenden Verbraucher und die messtechnischen Grundsätze beinhalten sollte (siehe auch Abschnitt 5.1.4). Zudem sollten bei allen Tunneln die Angaben zu den Verkehrsdaten vorliegen.

5.1.3 Kenngrossen

Verschiedene Kenngrossen der untersuchten Tunnel sind in Abschnitt 4 dargestellt. Der Vergleich der Kenngrossen verschiedener Tunnel erlaubt eine rasche erste Beurteilung eines Objektes. Auf besonders auffallende Tunnel mit hoher installierter Leistung oder mit hohem Energieverbrauch wird in Abschnitt 4 hingewiesen. Die abschliessende Beurteilung eines Objektes ist nur unter Berücksichtigung der objektspezifischen Besonderheiten möglich. Einige wichtige Einflussparameter sind in Abschnitt 1 genannt.

5.1.4 Definition der Verbrauchsgruppen

Im vorliegenden Bericht werden die Verbrauchsgruppen Tunnellüftung, Tunnelbeleuchtung und Nebenanlagen unterschieden. Diese Zuordnung hat sich insgesamt gut bewährt. Einzelne Rückfragen haben allerdings gezeigt, dass die Zuordnung der Verbraucher und die Messtechnik noch genauer definiert werden sollten. In diesem Sinne sind die nachfolgenden Grundsätze bei künftigen Erhebungen zu berücksichtigen. Es ist anzustreben, dass künftig die Elektrizitätsverbräuche dieser drei Gruppen separat gemessen, und periodisch analysiert werden.

Verbrauchsgruppe Tunnellüftung

Massgebend ist die Nennleistung resp. die gemessene Leistungsaufnahme aller Ventilatormotoren inkl. Hilfsbetriebe. Zu empfehlen ist eine separate Messung aller Ventilatormotoren.

Verbrauchsgruppe Tunnelbeleuchtung

Massgebend ist die Nennleistung resp. die gemessene Leistungsaufnahme aller im Tunnel installierten Beleuchtungskörper. Zu empfehlen ist eine separate Messung der Adaption- und Durchgangsbeleuchtung.

Verbrauchsgruppe Nebenanlagen

In der Verbrauchsgruppe der Nebenanlagen sind alle Elektrizitätsverbraucher zu erfassen, welche zusätzlich zur Tunnellüftung und -beleuchtung für den Betrieb des Tunnels erforderlich sind. Typische Nebenanlagen sind:-

- Belüftung von Zentralen und Nebenräumen
- Beleuchtung von Zentralen und Nebenräumen
- USV-Anlagen

5.2 Empfohlene energetische Ueberprüfungen

5.2.1 Tunnellüftung

Für die energetische Beurteilung der Tunnellüftung kann der Elektrizitätsverbrauch pro Motorfahrzeugki-

lometer als Kenngrösse dienen (Abschnitt 4.3). Bei den folgenden zwei Tunneln, welche übrigens auch einen hohen Elektrizitätsverbrauch pro Tunnelkilometer aufweisen, wird aufgrund des Vergleichs mit anderen Tunneln dringend eine energetische Ueberprüfung empfohlen:

- Piumogna, TI:	Richtungsverkehr Verbrauch = Erreichbarer Wert Sparpotential	L = 1-6 km 320 MWh/a resp. 32.1 Wh/Fz.km < 5 Wh/Fz.km > 270 MWh/a
- SN1 Schoren, SG:	Richtungsverkehr Verbrauch = Erreichbarer Wert Sparpotential	L = 1.1 km 337 MWh/a resp. 30.6 Wh/Fz. km 5 Wh/Fz.km 280 MWh/a

Zusätzlich könnte aufgrund des Vergleichs mit anderen Tunneln bei den folgenden Objekten auf den Betrieb der Tunnellüftungsanlage vermutlich ganz verzichtet werden:

Schänzli, BL	Sparpotential	20 MWh/a
Biascina, TI		40 MWh/a
Pardorea, TI		20 MWh/a
Schwarzwald, BS		40 MWh/a
Reinach, BL		25 MWh/a

Das gesamte Sparpotential bei der Tunnellüftung der oben erwähnten Tunnel beträgt rund 700 MWh/a. Selbstverständlich ist eine abschliessende Beurteilung dieser Objekte nur nach sorgfältigen objektspezifischen Abklärungen möglich. Es kann aber mit grosser Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass eine Realisierung dieser Sparmassnahmen ohne grossen Aufwand und damit sehr wirtschaftlich erfolgen kann.

Beim Gotthardtunnel haben die Betreiber offenbar die Notwendigkeit von Massnahmen zur Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs für die Tunnellüftung erkannt (Abschnitt 4.2.1). Ob weitere Reduktionen mit wirtschaftlichen Massnahmen möglich sind, kann nur durch objektspezifische Abklärungen beurteilt werden,

5.2.2 Tunnelbeleuchtung

Als massgebende Kenngrösse für den Elektrizitätsverbrauch der Tunnelbeleuchtung kann der jährliche Verbrauch pro Tunnelkilometer dienen (Abschnitt 4.2). Aufgrund der vorliegenden Erhebung sollten die folgenden Grenzwerte im allgemeinen nicht überschritten werden, wobei bei längeren Tunneln aufgrund der abnehmenden relativen Bedeutung der Adaptionsbeleuchtung tiefere Werte leichter zu erreichen sind als bei kurzen Tunneln:

- 500 MWh/a.km für zweiröhrige Tunnel mit je zwei Spuren mit Richtungsverkehr (125 MWh/a.km pro Spur)
- 300 MWh/a.km für einröhrige Tunnel mit zwei Spuren mit Gegenverkehr (150 MWh/a.km pro Spur)

Bei den nachfolgend genannten Tunneln werden diese Grenzwerte überschritten und es wird eine entsprechende energetische Ueberprüfung vorgeschlagen- Eine abschliessende Beurteilung ist allerdings nur aufgrund von objektspezifischen Abklärungen möglich.

Objekt	Anzahl Spuren	Tunnel- länge [lm]	Tunnel- verbrauch [MWh/a]	Heutiger Elektrizitäts- potential		Sparpo-
				[MWh/a.km]	[MWh/a]	
Taverne, TI	2 + 2	280	345.4	1233	205	
Reussport, LU	3 + 3	627	679.0	1084	209	
Quinto, TI	2 + 2	293	279.7	955	133	
Casletto	2 + 3	202	174.7	865	48	
Maroggia - Bissone, TI	2 + 2	588	506.9	862	213	
Stalvedro, TI	2 + 2	340	289.8	852	120	
Viglio, TI	2 + 2	632	521.7	826	206	
Melide - Grancia, TI	2 + 2	1728	1424.8	825	562	
Mariazell, LU	2 + 2	220	157.0	714	47	
Ebenrain, BL	2 + 2	385	259.0	673	67	
Schwarzwald, BS	3 + 3	583	378.0	648	-	
Monte Ceneri, TI	2 + 3	1416	894.5	632	10	
L'Arzilier, VD	2 + 2	410	257.6	628	52	
Pardorea, TI	2 + 3	561	343.0	611	-	
Biaschina, TI	2 + 3	539	313.7	582	-	
Rathausen, LU	2 + 2	700	378.0	540	28	
Oberburg, BL	2 + 2	200	106.0	530	6	
Plazzas, GR	2	205	151.0	738	90	
Isla Bella, GR	2	2440	1293.0	530	561	
Lopper, NW	2	1562	678.2	434	209	
Alvaschein, GR	2	950	373.3	393	88	
N4 Mosi, SZ	2	1142	400.0	350	57	
Rotsch, GR	2	218	74.4	341	9	

San Bernardino, GR	2	6600	2250.0	341	271
Taferna, GR	2	288	87.8	305	1
Total					ca. 3200

5.3 Weiterführung der Arbeit

Die vorliegende Erhebung hat mit wenig Aufwand hilfreiche Kennzahlen zu den installierten elektrischen Leistungen und Elektrizitätsverbräuchen von Strassentunneln ergeben. Aus der Sicht der Autoren sollte die Arbeit wie folgt fortgesetzt werden:

- Ausrüstung aller Tunnel mit den notwendigen Messeinrichtungen, um die Elektrizitätsverbräuche der Verbrauchsgruppen Tunnellüftung, Tunnelbeleuchtung und Nebenanlagen zuverlässig erfassen zu können. Dazu wären allgemeingültige Vorgaben des Bundesamtes für Strassenbau hilfreich.
- Regelmässige Wiederholung der Erhebungen und Publikation der Ergebnisse, z.B: durch das Bundesamt für Strassenbau im Rahmen der systematischen Tunneldatenaufnahmen und jährlichen Betriebsabrechnungen.
- Vertiefte Analyse der Gründe für hohe Verbrauchswerte einzelner Objekte. Gegebenenfalls Durchführung von Sanierungen mit Erfolgskontrolle.
- Erarbeitung von allgemeinen Vorgaben für angemessene installierte Leistungen und Verbrauchswerte. Dazu gehören auch allgemeine Empfehlungen über das angemessene Technisierungs-, Komfort- und Sicherheitsniveau in Strassentunneln.
- Ueberprüfung der gängigen Projektierungsmethoden und Betriebsarten. Wertvoll wäre eine Checkliste mit energetisch relevanten Aspekten für Planung, Betrieb und Unterhalt von Strassentunneln.

Es kann festgestellt werden, dass in den letzten Jahren bereits einige energetische Sanierungen bei Strassentunneln geplant und realisiert worden sind. Dazu gehören nach Auskunft des ASB vom 26. August 1993 bezüglich Tunnellüftung die Tunnel Belchen, Schänzli, Seelisberg, Gotthard und Isla Bella und bezüglich Tunnelbeleuchtung die Tunnel Taverne, Reussport, Stalvedro, Melide - drancia, Ebenrain, Schwarzwald, Oberburg, Mosi, Blatt, San Bernardino.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] H. Hatz, W. Lanker, U. Steinemann
Fallstudie Tunnellüftung anhand des Tunnels Isla Bella der Nationalstrasse N 1 3
Materialien zu RAVEL
Bestellnummer 724.397.41 D, 1992
- [2] Bundesamt für Strassenbau
Schweizerische Nationalstrassen-Informationen 1990
- [3] Bundesamt für Strassenbau
Schweizerische Nationalstrassen-Informationen 1992
- [4] Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft SLG
Bericht Tunnelbeleuchtungsanlagen
Untersuchungen der SLG-Fachgruppe "Tunnelbeleuchtung", 1973 - 1976

A N H A N G 1

Erhebungsblatt zur Erfassung des Elektrizitätsverbrauchs von Strassentunneln

Erhebungsblatt zur Erfassung des Elektrizitätsverbrauchs von Strassentunneln

Name des Objektes:

Tunneldaten			
Inbetriebnahme:		Meereshöhe:	 m ü.M.
Tunnellänge:	 m	Fahrbahnlängsneigung:	 %
Anzahl Fahrspuren 1./2. Röhre:	 /	☐ Gegenverkehr	☐ Richtungsverkehr
Lüftungssystem ¹⁾ :			
Beleuchtungssystem ²⁾ :	Adaptionsbeleuchtung L =	m	System =
	Durchgangsbeleuchtung L =	m	System =
Nebenanlagen ³⁾ :			
Besonderheiten:			

1) Lüftungssysteme
 - Natürliche Lüftung, keine Ventilatoren
 L Längslüftung mit Strahlventilatoren
 HQ Halbquerlüftung
 Q Quertlüftung
 P Punktuelle Absaugung

2) Beleuchtungssysteme
 - Keine künstliche Beleuchtung
 FL Fluoreszenzleuchten
 NaH Natriumdampf-Hochdrucklampen
 HgL Quecksilber-Hochdruck-Leuchtstofflampen

3) Nebenanlagen
 Angabe der vorhandenen Nebenanlagen, z.B.
 L-NR Belüftung von Nebenräumen
 B-NR Beleuchtung von Nebenräumen
 USV Unterbrechungslose Stromversorgung

Installierte Leistung [MW] (ganzer Tunnel)				
Versorgter Bereich	Lüftung	Beleuchtung	Nebenanlagen	Total
ganzer Tunnel				

Elektrizitätsverbrauch [MWh] (ganzer Tunnel, Auswerteperiode üblicherweise 1 Jahr)				
Auswerteperiode	Lüftung	Beleuchtung	Nebenanlagen	Total
vom bis				

Verkehrsdaten (Summe beider Fahrrichtungen, Auswerteperiode üblicherweise 1 Jahr)			
Auswerteperiode	Anzahl Mfz	Anteil LW [%]	Besonderheiten
vom bis			

Ausgeführte Massnahmen zur Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs	
Datum:	Massnahmen:

Kontaktperson: Name
 Adresse
 Telefon

A N H A N G 2

Resultate der Erhebungen Über den Elektrizitätsverbrauch von Strassentunneln

Die nachfolgenden Tabellen beruhen auf den Angaben der kantonalen Tiefbauämter für die in den Tabellen angegebenen Auswerteperioden. Bei einzelnen Tunneln sind in der Zwischenzeit bereits Sanierungsmassnahmen eingeleitet oder realisiert worden.

a) Tunnel mit Richtungsverkehr in 2 Röhren

Maroggia-Bissone
Melide-Grancia
Monte Genéri
Monte Piottino
N9 Belmont
N9 Chauderon
N9 Cr'lette
N9 Flonzaley
N9 Glion
N9 L'Arzillier

RAVEL GW: Resultate der Erhebungen über den Elektrizitätsverbrauch von Strassentunneln

b) Tunnel mit Gegenverkehr in 1 Röhre

Kanton	Name	Inbetriebnahme	Inbetriebnahme	Auswerteperiode	Tunnel-länge [m]	Meereshöhe [müM]	Fahrbahnneigung [%]	Installierte Leistung			Elektrizitätsverbrauch			Verkehrsdaten	
								Lüftung [MW]	Licht [MW]	Neben-anlagen [MW]	Lüftung [MWh/a]	Licht [MWh/a]	Neben-anlagen [MWh/a]	Total [MWh/a]	[Mfz/a] [% LH]
ZH	Milchbuck	Ja	1985	1.91-12.91	1910	450	2.7	1.220	.147	1.400	635.0	500.0	2320.0	3455.0	13000000
BE	N8 Chüebalm	Ja	1988	1.90-12.90	1323	650	1.2	.220	.080	.350	1.5	150.3	76.2	228.0	18900000
	N8 Giessbach	Ja	1988	1.90-12.90	3340	630	1.6	.920	.140	1.200	92.3	302.2	140.0	534.5	18900000
	N8 Leimern	Ja	1973	1.90-12.90	250	675	.7	.000	.160	.060	.0	?	?	234.0	4947575
	N8 Lüttschinen	Ja	1988	1.90-12.90	740	570	.7	.140	.080	.060	.6	65.0	49.0	114.6	18900000
	N8 Sengg	Ja	1988	1.90-12.90	830	640	.7	.110	.070	.050	.9	143.0	83.8	227.7	18900000
	Spiezwilser	-	1990	7.90-6.91	553	660	.0	.000	.050	.040	.0	?	?	163.0	?
UR	Gottthard	Ja	1980	1.91-12.91	16918	1100	.4	24.300	1.000	2.700	6075.0	4899.0	3602.0	14576.0	5768371
SZ	N4 Mosi	Ja	1965	4.89-3.90	1142	440	1.7	.254	.109	.200	68.0	400.0	60.0	528.0	31570000
NW	Lopper	Ja	1984	1.91-12.91	1562	450	4.5	.508	.085	.154	219.4	678.2	114.0	1011.6	4563341
SH	Hemishofen	-	1980	1.91-12.91	116	413.5	3.0	.000	.011	.000	.0	7.7	.0	7.7	2406400
GR	Alvaschein	-	1975	1.91-12.91	950	880	?	.156	.078	.010	47.0	373.3	.0	420.3	1710812
	Bärenburg	Ja	1970	1.91-12.91	1028	1150	5.0	.080	.050	.020	70.0	200.0	40.0	310.0	1984377
	Bargias	Ja	1967	1.91-12.91	416	930	.6	.000	.037	.000	.0	110.2	.0	110.2	?
	Brusei	Ja	1972	1.91-12.91	1273	1320	6.0	.048	.033	.022	15.0	50.0	30.0	95.0	1984377
	Calfreisen	-	1982	1.91-12.91	425	ca.1200	?	.000	.022	.000	.0	77.8	.0	77.8	352084
	Cassanawald	Ja	1986	1.91-12.91	1235	1570	.0	.222	.109	.015	50.0	300.0	5.0	355.0	1984377
	Clausaure	-	1988	1.91-12.91	370	?	?	.000	.027	.000	.0	72.7	.0	72.7	281667
	Chilus	-	1989	1.91-12.91	852	573	.0	.092	.054	.065	15.6	120.9	69.3	205.8	3989975
	Frauentobel	-	1967	1.91-12.91	329	?	?	.000	.026	.000	.0	45.5	.0	45.5	246459
	Isola Bella	Ja	1983	1.91-12.91	2440	600	.0	1.700	.250	.050	301.0	1293.0	81.3	1675.3	4414134
	Landröfe	Ja	1972	1.91-12.91	976	1380	6.0	.024	.024	.007	15.0	80.0	5.0	100.0	1984377
	Landwasser	-	1974	1.90-12.90	2800	1300	2.0	1.048	.103	?	22.2	451.3	64.1	537.5	483787
	Rotsch	-	1990	1.91-12.91	218	1370	.5	.000	.030	.000	.0	74.4	.0	74.4	?
	Salezza	-	1987	1.91-12.91	391	1560	?	.000	.002	.003	.0	?	?	?	?
	Taferna	-	1991	1.91-12.91	288	1380	.5	.000	.032	.000	.0	87.8	.0	87.8	?
	Passmal	-	1966	1.91-12.91	450	880	?	.000	.044	.005	.0	99.5	17.5	117.0	?
	Piazas	Ja	1983	1.91-12.91	205	600	?	.000	.055	.006	.0	151.3	2.2	153.5	?
	Rofla	Ja	1970	1.91-12.91	1077	1250	6.0	.080	.044	.017	35.0	200.0	65.0	300.0	1984377
	Rongellen 1	Ja	1956	1.91-12.91	223	750	8.3	.000	.026	.002	.0	45.9	.2	46.1	?
	Rongellen 2	Ja	1958	1.91-12.91	625	850	5.9	.110	.044	.002	14.7	150.8	.7	166.3	2619709
	Rongellen 3	Ja	1958	1.91-12.91	133	880	3.0	.000	.022	.000	.0	31.1	.0	31.1	?
	San Bernardino	Ja	1967	1.91-12.91	6600	1630	.0	3.000	.700	.300	400.0	2250.0	850.0	3500.0	1984377
	Solis	-	1971	1.91-12.91	1140	880	?	.182	.053	.010	78.7	246.9	.0	325.6	?
	Traversa	Ja	1970	1.91-12.91	387	1310	1.0	.000	.040	.004	.0	100.0	20.0	120.0	1984377
	Viamala	Ja	1967	1.91-12.91	742	900	5.3	.110	.046	.005	9.8	218.0	1.8	229.7	?
	Wegerhaus	Ja	1967	1.91-12.91	410	940	.6	.000	.022	.000	.0	80.3	.0	80.3	?
AG	NK 131 Zurzach	-	1989	1.90-12.90	1290	330	.6	.457	.078	.080	?	?	?	456.0	1652700
GE	OA 5308 Carouge	-	1981	1.90-12.90	475	386	.7	.051	.053	.004	?	?	?	237.0	6796000
	OA 3501 Ferney	-	1959	1.90-12.90	430	410	.1	.080	.140	.005	?	?	?	656.7	5243000

Total der Tunnel mit Richtungsverkehr (a)	52582	44.997	6.796	5.091	56.884	3184.3	19994.0	7954.9	37193.3
Total der Tunnel mit Gegenverkehr (b)	56862	35.112	4.174	5.485	43.620	8166.7	14056.1	7697.3	31681.7

A N H A N G 3

Abgeleitete Kenngrössen aus den Erhebungen über den Elektrizitätsverbrauch von Strassentunneln

b) Tunnel mit Gegenverkehr in 1 Röhre

a) Tunnel mit Richtungsverkehr in 2 Röhren

a) Tunnel mit Richtungsverkehr in 2 Röhren

A N H A N G 4

Nicht erfasste Tunnel des schweizerischen Nationalstrassennetzes

Die nachfolgende Liste enthält auf der Basis von [2] alle Tunnel des schweizerischen Nationalstrassennetzes, für welche keine gültigen Angaben über den Elektrizitätsverbrauch vorliegen. Für das übrige Strassennetz steht keine Zusammenstellung aller bestehenden Tunnel zur Verfügung. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Bedeutung der nicht erfassten Tunnel ausserhalb des Nationalstrassennetzes sehr klein bleibt.

RAVEL GNV: Liste der nicht erfassten Tunnels des Nationalstrassennetzes

Basis= Schweizerische Nationalstrassen-Informationen 1992

1/2

Kanton	Objekt	Tunnellänge [m]		Spuren- zahl	Lüftungs- system)	Inbetrieb- nahme
		1 Röhre	2 Röhren			
ZH	N1					
	Tagelswangen	-	128	3 + 3	-	11.12.74
	Wintherturstrasse	-	350	2 + 2	L	20.08.80
	Rasterzwischenstück	-	140	2 + 2	-	20.08.80
	Schwamendingerstrasse	-	220	2 + 2	L	20.08.80
	Unterführung unter N1c	90	-	2	-	01.09.81
ZH	N1c					
	Stelzen	-	375	2 + 2	-	21.06.85
	Niederurdorf	-	450	2 + 2	-	18.08.87
BS	N2					
	Prattelerstrasse (SN)	148	-	2	-	25.10.78
	Singer I (SN)	150	-	2	-	05.12.85
	Singer II (SN)	320	-	2	-	05.12.85
BL	Schänzli (Zubringer)	-	510	2 + 2	L	25.10.78
NW	Acheregg Nord	281	-	2	-	11.12.65
	Acheregg Süd	753	-	2	HQ	11.12.65
	Acheregg Ost (Abfahrt Brünig)	78	-	2	-	11.12.65
UR	Fischlauri	-	105	2 + 2	-	12.12.80
	Taubach Erstfeld	-	260	2 + 2	-	05.07.79
	Platti	-	440	2 + 2	-	23.06.72
	Intschi I	-	130	2 + 2	-	23.06.72
	Intschi II	-	100	2 + 2	-	23.06.72
	Langlauri	-	350	2 + 2	-	23.06.72
	Ried	-	260	2 + 2	-	23.06.72
	Teiftal	-	520	2 + 2	-	23.06.72
	Naxberg	-	290	2 + 3	-	05.09.80
	Schöllenen	50	-	2	-	1956
	Urnerloch	65	-	2	-	1956
	Hospental	25	-	2	-	1956
	Banchi	70	-	2	-	14.07.67
	Castoni di Fieud	810	-	2	L	14.07.67
	Pambio/Gentilino	-	580	2 + 2	-	05.12.68
SZ	N3					
	Blatt Wollerau	-	510	2 + 2	-	11.12.68
	Buchberg (Zubringer)	-	500	2 + 2	-	04.10.77
GL	Ofenegg	370	-	2	-	11.07.64
	Weisswand	460	-	2	-	11.07.64
	Standenhorn	230	-	2	-	11.07.64
	Glattwand	100	-	2	-	11.07.64
	Mühlehorn	260	-	2	-	11.07.64
	Stutz	144	-	2	-	11.07.64
SZ	N4					
	Engiberg	-	263	2 + 2	-	03.05.78
	Schönegg	-	197	2 + 2	-	03.05.78
	Hinter Wasi Nord	40	-	2	-	
	Hinter Wasi Süd	40	-	2	-	
	Schiferenegg	135	-	2	-	
UR	Dorni	20	-	2	-	
	Kleine Galerie	162	-	2	-	20.12.82
	Buggital	113	-	2	-	11.04.82
	Stutzegg	320	-	2	-	10.12.86
	Tellsplatte	234	-	2	-	13.07.90
	Axen (neu)	390	-	2	-	
	Zingel	354	-	2	-	1977
	Gumpisch	100	-	2	-	07.87
Zwischentotal		6312	6678			

*) L = Längslüftung mit Strahlventilatoren
HQ = Halbquerlüftung

Kanton	Objekt	Tunnellänge [m]		Spuren- zahl	Lüftungs- system *)	Inbetrieb- nahme
		1 Röhre	2 Röhren			
NE	N5					
	Ligerz	2483	-	2	HQ/Q	7.05.91
	Tranchée d'Auvernier	-	180	2 + 2	-	29.11.75
	Prébarreau	119	-	3	-	21.12.84
OW	N8					
NW	Z'matt	102	-	2	-	19.12.79
	Verbindung N8/N2 (Lopper)	346	-	1	L	07.12.84
VS	N9					
	Condémines St-Maurice	-	1300	2 + 2	L	06.06.88
	Champsec Sion	-	710	2 + 2	-	16.12.91
	Gesternä	110	-	2	-	06.11.75
	Bächwald	120	-	2	-	06.11.75
	Schallberg	465	-	2	-	06.11.75
	Kap I Simplon	30	-	2	-	1970
	Kap II Simplon	140	-	2	-	1970
	Kulm Simplon	400	-	2	-	1970
	Gabi	70	-	2	-	1970
	Casermetta	300	-	2	-	1970
	Gstipf	215	-	3	-	07.05.86
BE	N12					
FR	Thörishaus	-	110	2 + 2	-	10.12.76
	D'Avry	-	170	2 + 2	-	23.11.81
	Gumefens	-	340	2 + 2	-	23.11.81
GR	N13					
	Gei	418	-	2	-	01.12.67
	Cresta	100	-	2	-	31.10.72
	Benabbia Mesocco	150	-	2	-	20.11.75
	Gorda Mesocco	130	-	2	-	20.11.75
BE	N16					
	Nr.8 Taubenloch	1010	-	2	L	1980
	Nr.6 Taubenloch	480	-	2	-	1978
	Nr.5 Taubenloch	570	-	2	-	1978
	Rondchâtel Taubenloch	180	-	2	-	1965
	Nr.4 Taubenloch	115	-	2	-	1970
	Nr.3 Taubenloch	123	-	2	-	1970
	Nr.2 Taubenloch	200	-	2	-	1970
	Nr.1a+1b (Bözingen)	-	455	2 + 2	-	1970
Total aller nicht erfassten Tunnels		14688	9943			

*) L = Längslüftung mit Strahlventilatoren
 HQ = Halbquerlüftung
 Q = Querlüftung

A N H A N G 5

Zusammenstellung der verwendeten Abkürzungen und Einheiten

RAVEL	Impulsprogramm 'Rationelle Verwendung von Elektrizität' des Bundesamtes für Konjunkturfagen
GNV	Ressort von RAVEL für 'Gesetze, Normen, Verträge' (Ressort 4 1)
ASB	Bundesamt für Strassenbau
L	Längslüftung mit Strahlventilatoren
HQ	Halbquerlüftung (Tunnelventilation mit Zuluft über Verteilkanäle)
Q	Querlüftung (Tunnelventilation mit Zuluft über Verteilkanäle und Abluft über Sammelkanäle)
P	Punktuelle Absaugung von Tunnelluft
LW	Lastwagen
Mfz	Motorfahrzeuge

Leistungseinheiten			
W	kW	MW	GW
1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}
10^3	1	10^{-3}	10^{-6}
10^6	10^3	1	10^{-3}
10^9	10^6	10^3	1

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Nm/s}$$

Energieeinheiten					
J	kJ	MJ	Wh	kWh	MWh
1	10^{-3}	10^{-6}	$0.278 \cdot 10^{-3}$	$0.278 \cdot 10^{-6}$	$0.278 \cdot 10^{-9}$
10^3	1	10^{-3}	0.278	$0.278 \cdot 10^{-3}$	$0.278 \cdot 10^{-6}$
10^6	10^3	1	278	0.278	$0.278 \cdot 10^{-3}$
$3.6 \cdot 10^3$	3.6	$3.6 \cdot 10^{-3}$	1	10^{-3}	10^{-6}
$3.6 \cdot 10^6$	$3.6 \cdot 10^3$	3.6	10^3	1	10^{-3}
$3.6 \cdot 10^9$	$3.6 \cdot 10^6$	$3.6 \cdot 10^3$	10^6	10^3	1

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}$$

1 . Introduction et objectif de cette étude

L'objectif du programme d'impulsion RAVEL est de promouvoir l'utilisation rationnelle de l'électricité par la recherche, la formation ainsi que par l'information. En complément des activités orientées en priorité vers la technique, le domaine Lois, Normes et Contrats (Gesetze, Normen, Verträge) prend pour thème l'environnement juridique.

Le présent rapport est la continuation d'une étude de cas, dans laquelle on a - en prenant comme objet le tunnel routier Isla Bella situé sur la RN 13 - analysé les décisions, facteurs et processus relatifs à la consommation depuis la décision de principe de construction d'un tunnel jusqu'à à l'exploitation de ce dernier [1]. Cette étude de cas contient également des données caractéristiques valables pour l'ensemble du réseau routier national suisse ainsi que des estimations grossières de l'impact des installations de ventilation de tunnels sur la consommation d'électricité en Suisse.

Le recensement des puissances installées et des consommations d'électricité des tunnels routiers effectué dans ce rapport est basé sur une simple feuille de saisie. Cette dernière a été envoyée à tous les services cantonaux des travaux publics en leur qualité d'exploitant des tunnels routiers. Cette étude présente et analyse les données provenant des feuilles de relevé reçues. Vous trouverez en annexe 1 une version légèrement révisée de cette feuille de relevé, à utiliser pour des recensements ultérieurs.

Les installations consommatrices d'électricité des tunnels ont été réparties en 3 groupes distincts: ventilation de tunnel, éclairage de tunnel et installations annexes. L'attribution des puissances et consommations à ces groupes de consommation n'est pas toujours évidente. Vous trouverez donc au paragraphe 5.1.4 quelques principes à appliquer lors de recensements futurs.

Cette enquête est un projet effectué dans le cadre du domaine non-technique "Lois, Normes et Contrats" du programme RAVEL. C'est pourquoi l'objectif de ce travail ne consiste pas à faire une analyse technique détaillée des paramètres recueillis ou à juger certains tunnels sur la base de leurs spécificités. Il s'agit plutôt de mettre en évidence les problèmes existants dans le but de pouvoir - sur la base de chiffres comparatifs - juger facilement des installations existantes pour éventuellement les examiner de plus près et les assainir, mais aussi pour permettre de mettre à disposition des valeurs de référence pour la planification. En ce qui concerne les études spécifiques aux ouvrages, il est important d'intégrer des critères supplémentaires tels que l'altitude, le profil longitudinal, la part du trafic poids lourds, la vitesse maximale autorisée, la fréquence des encombrements, la situation urbaine ou interurbaine, la ventilation, les ramifications souterraines etc.

2. Tunnels routiers recensés

Des feuilles de relevé reçues et dépouillées, 46 concernaient les tunnels unidirectionnels (tunnels à deux tubes, à l'exception du tunnel du Kerenzerberg qui ne comporte qu'un seul tube destiné au trafic en direction du sud) et 40 autres tunnels bidirectionnels (donc ne disposant que d'un seul tube). Les caractéristiques de ces 86 tunnels ont été regroupées dans les tableaux de l'annexe 2.

2.1 Tunnels recensés lors de l'enquête

Les tunnels suivants, décrits dans ce rapport, ont été recensés:

46	tunnels à deux tubes (unidirectionnels) d'une longueur totale de	52.582 km
40	tunnels à un seul tube (bidirectionnels) d'une longueur totale de	56.862 km
86	Tunnels d'une longueur totale de	109.444 km

2.2 Total des tunnels dans le réseau routier national

A fin 1989 il y avait un total de 1'494.9 km (80.6 % de la longueur totale prévue), à fin 1991 en tout 1'502.3 km (80.9 % de la longueur totale prévue) des routes nationales en service. Le réseau routier national existant comptait à ces dates un total de 141 respectivement 144 tunnels [2, 3]. Les caractéristiques des tunnels en exploitation à fin 1991 sont les suivants:

67	tunnels à deux tubes (unidirectionnels) d'une longueur totale de	52.058 km
77	tunnels à un seul tube (bidirectionnel) d'une longueur totale de	63.893 km
144	Tunnels d'une longueur totale de	11 5.951 km

A cela s'ajoutent 4 tunnels (dont 3 sont bidirectionnels) qui ne se situent pas sur un des axes principaux du réseau routier national, mais sont néanmoins mentionnés dans [2] et [3]. Ainsi, le total des tunnels existants à fin 1991 se présente comme suit:

70	tunnels à deux tubes (unidirectionnels) d'une longueur totale de	54.168 km
78	tunnels à un seul tube (bidirectionnel) d'une longueur totale de	64.239 km
148	Tunnels d'une longueur totale de	11 8.407 km

2.3 Tunnels du réseau routier national non recensés lors de l'enquête

L'annexe 4 contient une liste de tous les tunnels mentionnés dans les informations 1992 sur les Routes Nationales Suisses, [3], pour lesquels il n'existe pas de données valables concernant la consommation d'électricité. En ce qui concerne le reste du réseau routier, il n'existe pas de liste complète de tous les tunnels existants. On peut cependant admettre que les tunnels non recensés en dehors du réseau routier national sont d'une importance minimale. Parmi les 148 tunnels d'une longueur totale de 118.407 km mentionnés ci-dessus, aucune indication utile concernant la consommation d'électricité n'a pu être obtenue pour les tunnels suivants:

28	tunnels à deux tubes (unidirectionnels) d'une longueur totale de	9.943 km
53	tunnels à un seul tube (bidirectionnel) d'une longueur totale de	14.688 km
81	Tunnels d'une longueur totale de	24.631 km

2.4 Degré d'intégralité de cette enquête

La présente enquête recense environ la moitié de tous les tunnels et plus de 80 % des tronçons de tunnel du réseau routier national. N'ont pas été recensés les tunnels courts sans système de ventilation mécanique. Parmi les tunnels du réseau routier national, seuls 7 tunnels avec ventilation longitudinale et un tunnel avec ventilation semi-transversale n'ont pas été recensés.

On peut donc constater qu'avec cette enquête la consommation d'électricité pour la ventilation des tunnels routiers en Suisse a pu être inventoriée de manière relativement exhaustive. En tenant compte du fait que les tunnels non recensés sont en grande partie des tunnels courts sans système de ventilation mécanique, les résultats de l'enquête seront majorés de 5 % pour évaluer la consommation totale de tous les tunnels en Suisse.

La consommation totale d'électricité des installations annexes reste modique pour les tunnels courts. Pour tenir compte de la consommation d'électricité globale des installations annexes de tous les tunnels, les valeurs recensées seront majorées de 10 %.

Etant donné qu'en Suisse même les tunnels courts sont éclairés, on extrapolera la consommation d'électricité globale pour l'éclairage de tous les tunnels de Suisse en ajoutant 25 % aux valeurs recensées. Cette majoration correspond à la part des tronçons de tunnel non recensés au réseau routier national.

3. Importance de la consommation d'électricité des tunnels routiers

L'enquête fournit les valeurs suivantes pour la consommation d'électricité des tunnels routiers recensés en Suisse (voir aussi l'annexe 2):

Consommation d'électricité totale des tunnels routiers recensés [MWh/a]				
Consommateur	Tunnels unidirectionnels		Tunnels bidirectionnels	
	non corrigée *	corrigée	non corrigée *	corrigée
Ventilation de tunnel	3'184.3	3'200.0	8'166.7	8'200
Eclairage de tunnel	19'994.0	24'300.0	14'056.1	15'200
Installations annexes	7'954.9	7'697.3	7'697.3	8'300
Total	37'133.2	37'200.0	29'920.1	31'700
Total de tous les tunnels recensés				68'900

Pour certains tunnels, seule la consommation d'électricité totale a pu être indiquée.

En utilisant les indications de l'annexe 2 relatives aux tunnels non recensés, on obtient les valeurs ci-dessous pour la consommation d'électricité des tous les tunnels routiers de la Suisse:

Consommation d'électricité totale de tous les tunnels routiers [MWh/a]			
Consommateur	Tunnels unidirectionnels	Tunnels bidirectionnels	Tous les tunnels
Ventilation de tunnel	3'400	8'600	12'000
Eclairage de tunnel	30'400	19'000	49'400
Installations annexes	10'700	9'100	19'800
Total	44'500	36'700	81'200

Dans une estimation faite par l'Office Fédéral des routes (OFR), la consommation d'électricité présumée pour l'exploitation des tunnels du réseau routier national (ventilation de tunnel, éclairage et installations annexes) a été évaluée à 105 GWh/a et la part de la ventilation de tunnel à 30 % (cité dans [1]). Sur la base de la présente enquête, on peut donc conclure que la consommation globale d'environ 80 GWh/a est légèrement inférieure à ce que l'on avait admis auparavant, tandis que les 15 % de la ventilation de tunnel à la consommation totale sont nettement moins élevés que ce que l'on avait estimé alors.

4. Grandeurs caractéristiques

L'annexe 3 contient diverses grandeurs caractéristiques qui ont été déduites des données des tunnels ainsi que des valeurs mesurées en provenance des feuilles de recensement. Ce qui saute aux yeux pour toutes les valeurs caractéristiques sont les énormes différences d'un tunnel à l'autre. Nous allons dans ce qui suit représenter les différentes valeurs caractéristiques, tirer les premières conclusions et mettre en évidence les déviations vers le haut ou vers le bas les plus frappantes. Une analyse définitive des valeurs caractéristiques d'un tunnel n'est cependant pas l'objectif du présent rapport et n'est pas réalisable sans des recherches détaillées spécifiques à l'ouvrage. Quelques-uns des paramètres spécifiques à chaque ouvrage, dont il devrait être tenu compte lors de recherches détaillées, sont énumérés dans l'annexe 1.

4.1 Puissances électriques installées par kilomètre de tunnel

Les puissances électriques par kilomètre de tunnel installées dans les tunnels recensés pour la ventilation, l'éclairage de tunnel et les installations annexes sont représentées dans les figures 4.1 à 4.3. La figure 4.4 indique le total des puissances installées. La partie supérieure de ces figures contient les données relatives aux tunnels à 2 tubes unidirectionnels, la longueur de tunnel indiquée étant la longueur moyenne des tubes et les puissances installées ayant été chiffrées pour les deux tubes. La partie inférieure des figures représente de manière analogue les valeurs pour les tunnels à un tube bidirectionnel.

4.1.1 Ventilation des tunnels (figure 4.1)

La puissance installée pour la ventilation de tunnel n'est pas directement représentative de la consommation d'énergie en exploitation. Ceci vaut surtout pour les tunnels d'une certaine longueur, dans lesquels des mesures très poussées de lutte contre le feu peuvent nécessiter de grandes puissances installées qui ne sont cependant pas du tout représentatives d'une exploitation normale. Ainsi on compte dans certains cas des ventilateurs d'incendie qui ne sont jamais enclenchés en même temps que les autres ventilateurs.

On trouve des tunnels unidirectionnels équipés d'une installation de ventilation mécanique à partir d'une longueur d'environ 500 m, et des tunnels bidirectionnels à partir d'une longueur de 400 m environ.

Parmi les tunnels unidirectionnels, les tunnels ci-dessous ont - par rapport à la majorité des ouvrages étudiés - des puissances spécifiques installées particulièrement élevées par kilomètre pour la ventilation de tunnel (voir aussi le graphique supérieur de la figure 4.1):

- Reinach, BL:	Puissance installée =	1.5 MW
	Valeur spécifique pour 600 m de tunnel =	2.5 MW/km

- Seelisberg, NW:	Puissance installée =	16.9 MW
	Valeur spécifique pour 9'280 m de tunnel	1.8 MW/km
- Schwarzwald, BS:	Puissance installée =	0.875 MW
	Valeur spécifique pour 583 m de tunnel	1.5 MW/km

Parmi les tunnels à circulation bidirectionnelle, les suivants ont des puissances spécifiques installées par kilomètre de tunnel particulièrement élevées (voir aussi le graphique inférieur de la figure 4.1):

- Gothard, UR:	Puissance installée =	24.3 MW
	Valeur spécifique pour 16.918 km de tunnel =	1.44 MW/km
- Isla Bella, GR:	Puissance installée =	1.7 MW
	Valeur spécifique pour 2.440 km de tunnel =	0.7 MW/km
- Milchbuck, ZH:	Puissance installée =	1.22 MW
	Valeur spécifique pour 1.910 km de tunnel =	0.64 MW/km

En ce qui concerne le tunnel du Milchbuck la puissance installée très élevée s'explique par le trafic très intense sur 3 pistes ainsi que par la situation urbaine.

4.1.2 Eclairage des tunnels (figure 4.2)

La puissance installée pour l'éclairage de tunnel a en principe un effet direct sur la consommation d'énergie nécessaire pour l'éclairage. Parallèlement il faut cependant tenir compte du fait que l'exploitant a en général plus de possibilités d'influencer la consommation si les puissances installées pour l'éclairage sont élevées que si elles sont basses.

Etant donné que l'éclairage d'adaptation à l'entrée d'un tunnel nécessite une puissance plus élevée que l'éclairage courant à l'intérieur du tunnel, on peut, dans les tunnels longs, atteindre une puissance spécifique au kilomètre légèrement inférieure à celle des tunnels courts. Dans les tubes de tunnels unidirectionnels, on trouve souvent un éclairage d'adaptation aux deux extrémités. Il serait bon à l'avenir de vérifier la nécessité de cette mesure d'un oeil plus critique.

Dans les tunnels unidirectionnels, respectivement bidirectionnels, les niveaux d'éclairage à assurer sont comparables entre eux. L'énorme dispersion des puissances installées est donc très étonnante et montre clairement la nécessité qu'il y a de se mettre d'accord sur le choix des technologies adéquates et sur les exigences en matière de confort.

Parmi les tunnels unidirectionnels, les tunnels ci-dessous présentent des puissances spécifiques installées élevées pour l'éclairage de tunnel (voir aussi le graphique supérieur de la figure 4.2):

- Mariazell, LU:	Puissance installée =	0.1 MW
	Valeur spécifique pour 220 m de tunnel =	0.45 MW/km

- Schänzli, BL:	Puissance installée =	0.2 MW
	Valeur spécifique pour 475 m de tunnel =	0.42 MW/km
- Quinto, TI:	Puissance installée =	0.124 MW
	Valeur spécifique pour 293 m de tunnel =	0.42 MW/km
- Casletto, TI:	Puissance installée =	0.081 MW
	Valeur spécifique pour 202 m de tunnel =	0.40 MW/km

Parmi les tunnels avec circulation bidirectionnelle ce sont les 3 tunnels suivants qui se démarquent par une puissance installée élevée pour l'éclairage (voir aussi le graphique inférieur de la figure 4.2):

- Leimeren, BE:	Puissance installée =	0.16 MW
	Valeur spécifique pour 250 m de tunnel =	0.64 MW/km
- Ferney, GE:	Puissance installée =	0.14 MW
	Valeur spécifique pour 430 m de tunnel =	0.33 MW/km
- Plazzas, GR:	Puissance installée =	0.055 MW
	Valeur spécifique pour 205 m de tunnel =	0.27 MW/km

4.1.3 Installations annexes (figure 4.3)

Les installations annexes peuvent englober des consommateurs très variés. C'est pourquoi la feuille de recensement a été élargie pour les enquêtes futures (annexe 1) et l'alinéa 5.1.4 contient des valeurs de référence permettant une définition plus précise des groupes de consommation.

C'est pourquoi une évaluation des puissances installées pour les installations annexes n'est possible qu'en tenant compte de la situation spécifique de l'ouvrage. La figure 4.3 présente des références à des valeurs relatives très élevées.

4.1.4 Total des tous les groupes de consommation (figure 4.4)

Les puissances globales installées par kilomètre sont pour un tunnel unidirectionnel de l'ordre de 0.2 à 3.0 MW/km (soit un facteur de 15), pour un tunnel avec circulation bidirectionnelle de l'ordre de 0.1 à 1.7 MW/km (facteur de 17).

En principe ce chiffre caractéristique a plutôt tendance à augmenter lorsque la longueur du tunnel augmente, mais on connaît cependant des exemples inverses. Quelques ouvrages marquants sont mis en évidence dans la figure 4.4, d'autres indications sont données dans l'évaluation de l'annexe 3.

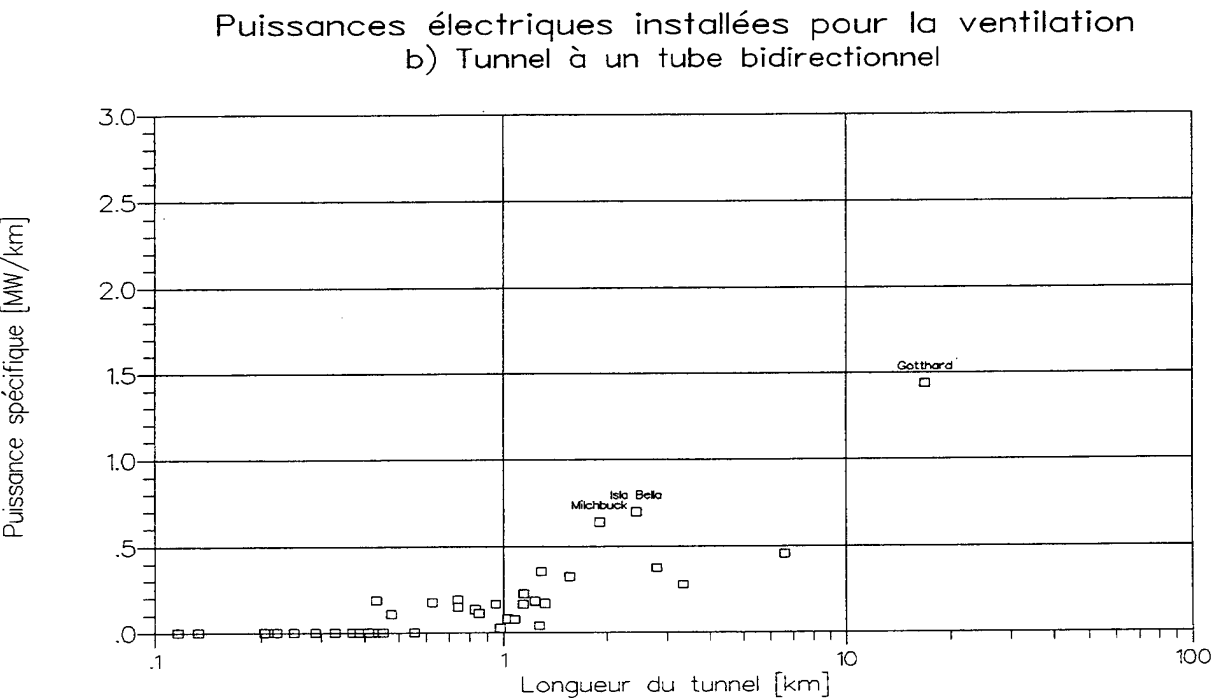
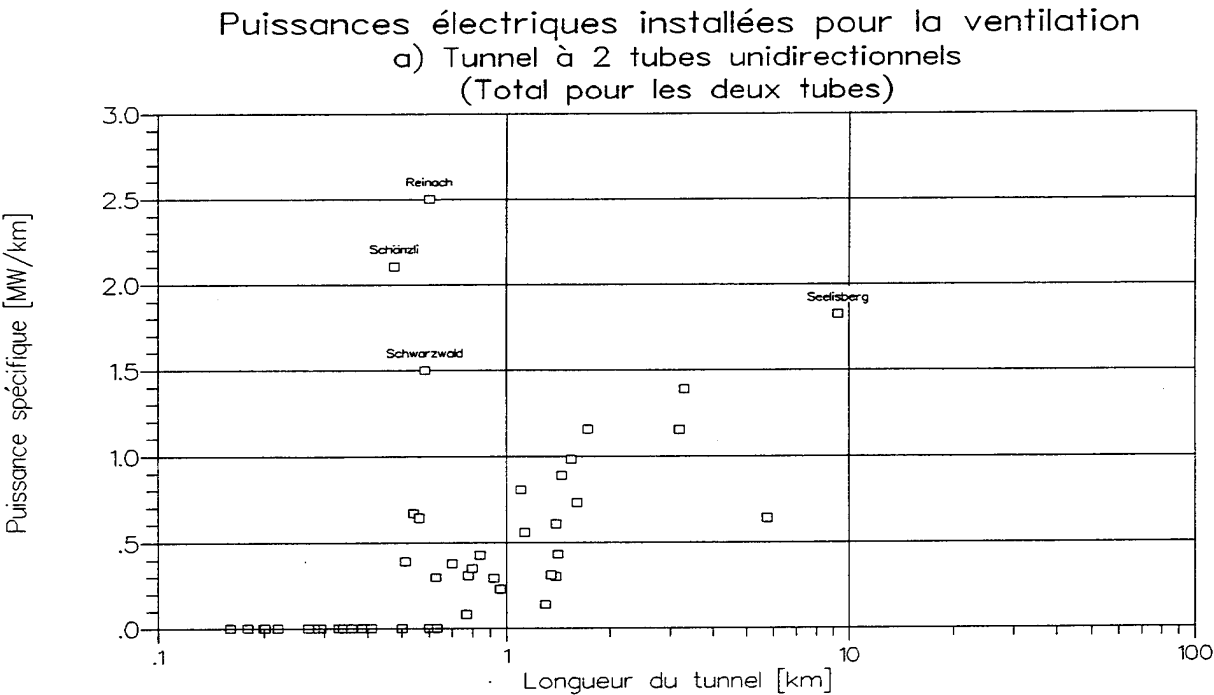


figure 4.1

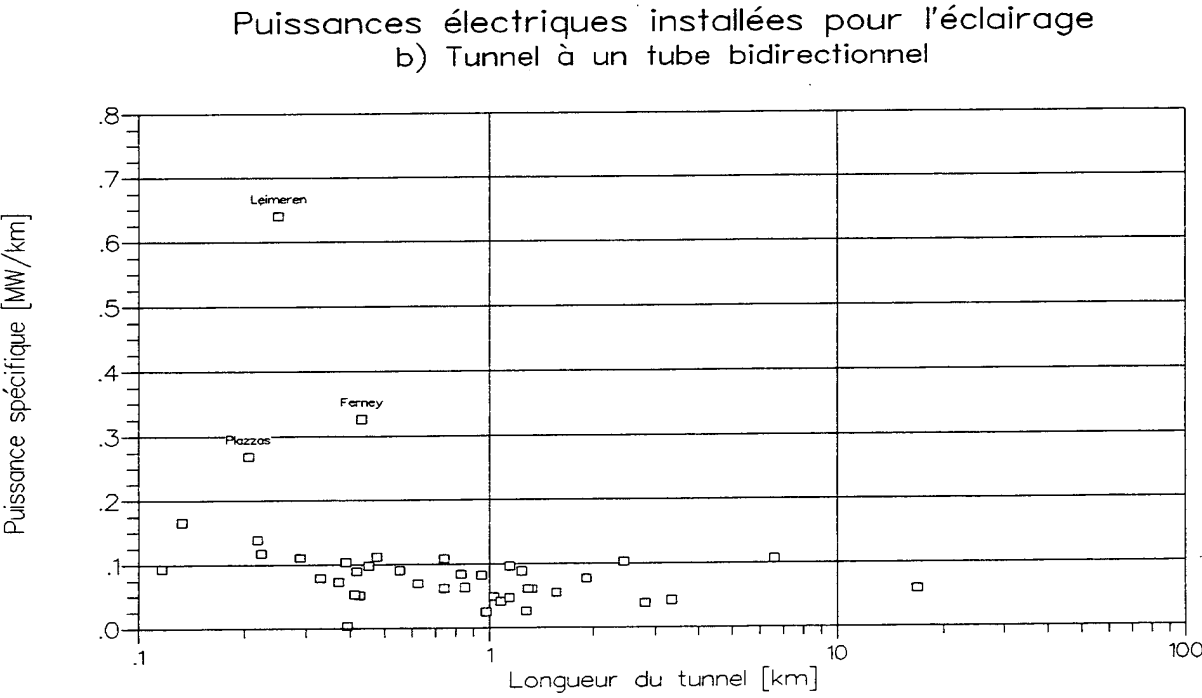
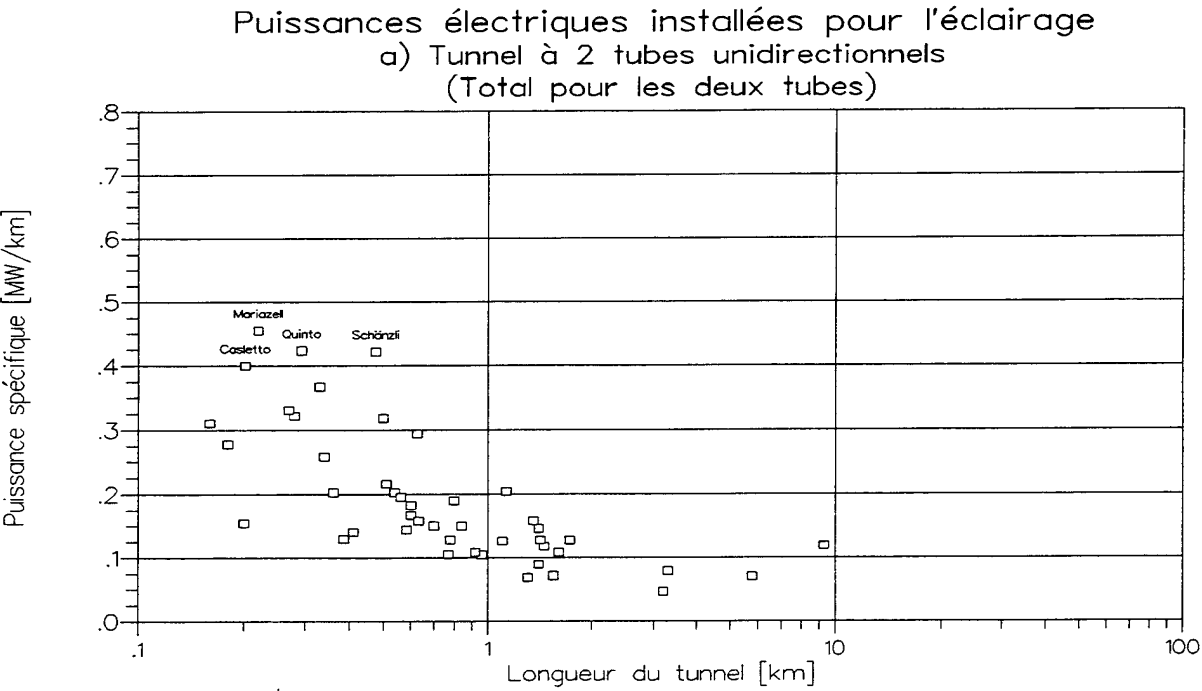
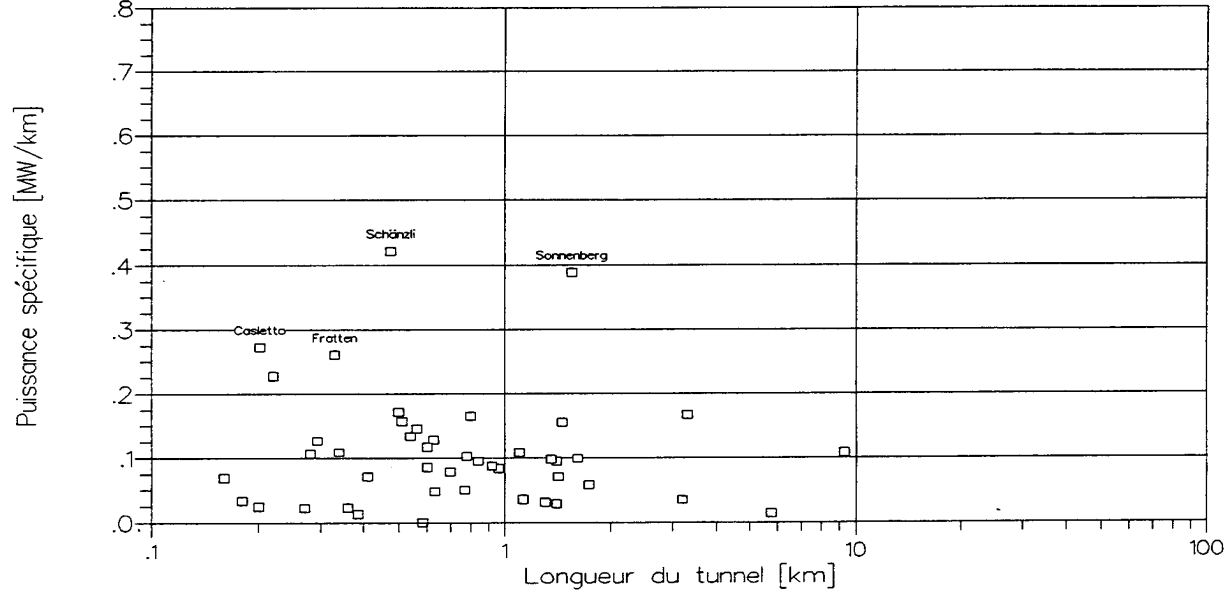


figure 4.2

Puissances électriques installées pour les installations annexes
a) Tunnel à 2 tubes unidirectionnels
(Total pour les deux tubes)



Puissances électriques installées pour les installations annexes
b) Tunnel à un tube bidirectionnel

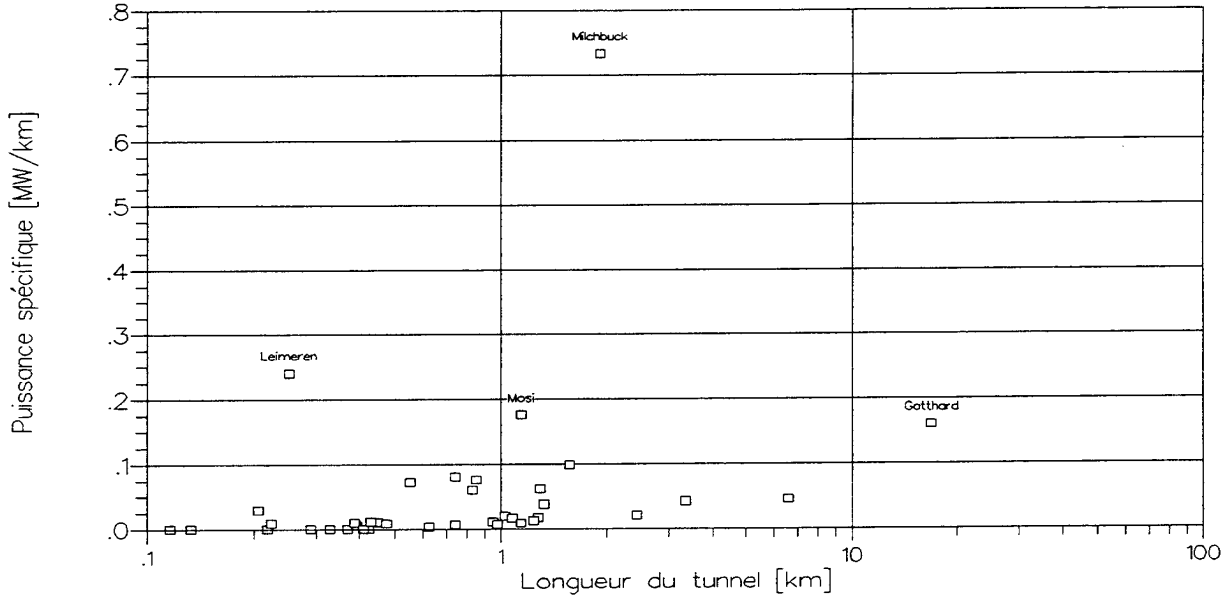


figure 4.3

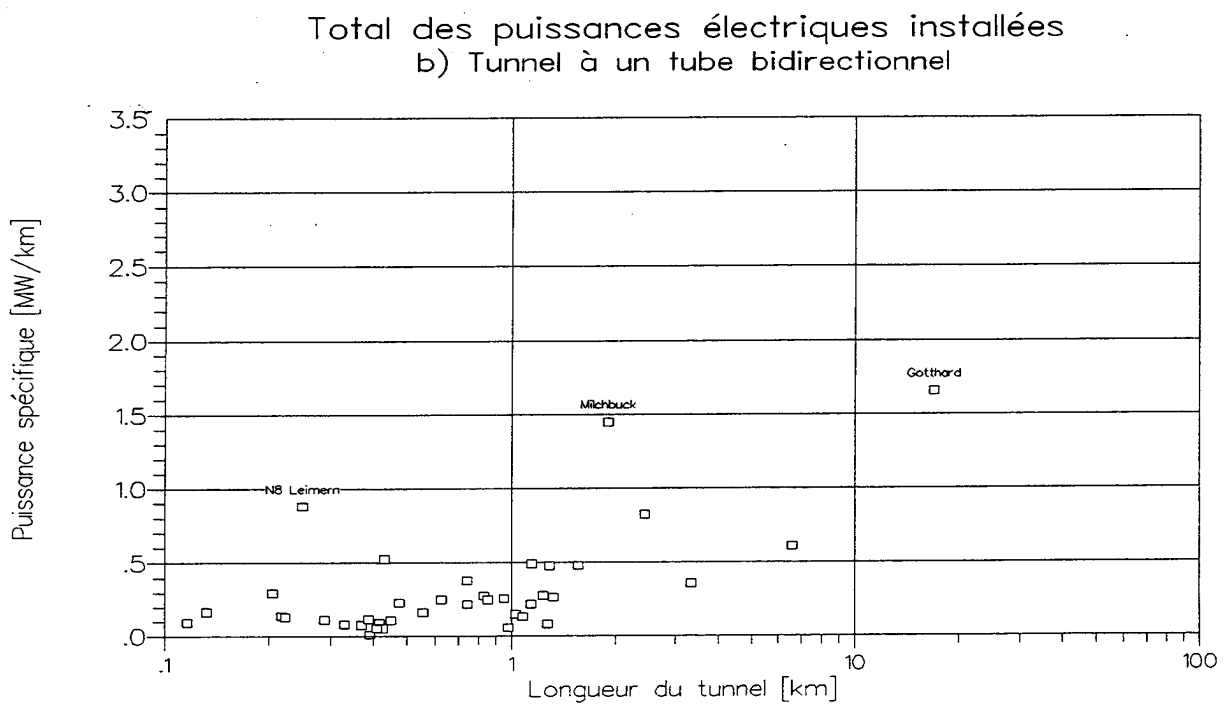
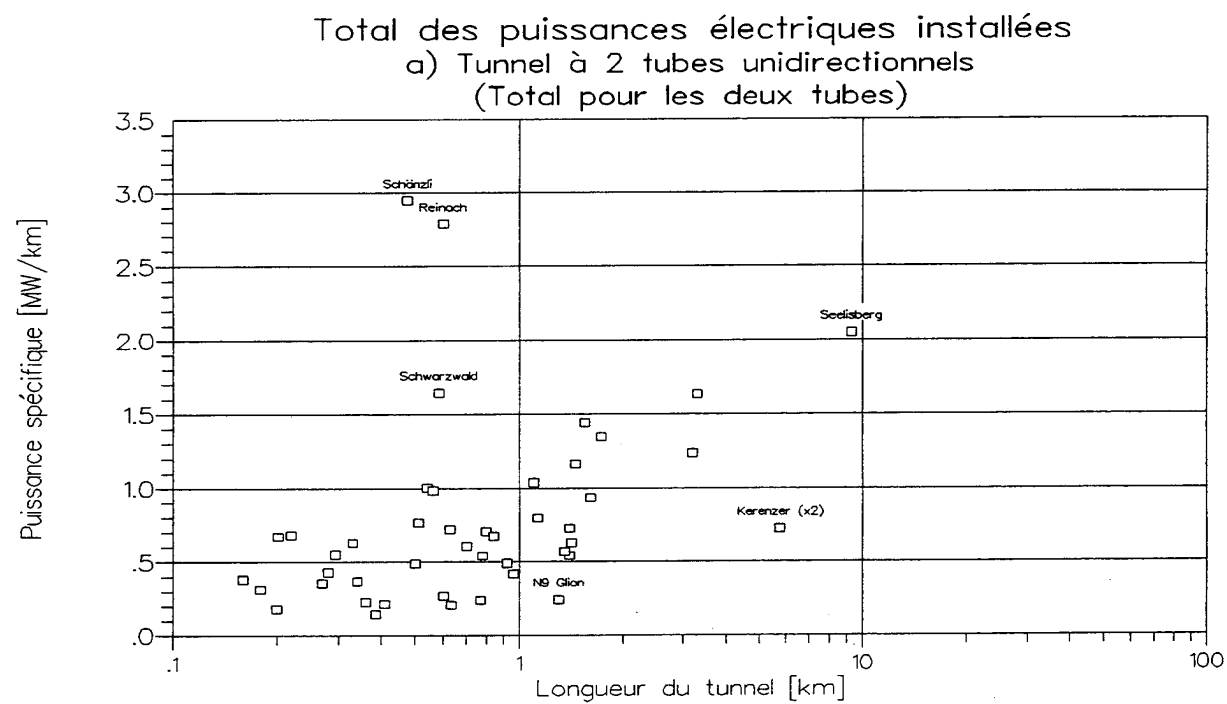


figure 4.4

4.2 Consommation d'électricité par kilomètre de tunnel

Les consommations d'électricité annuelles par kilomètre de tunnel pour la ventilation, l'éclairage et les installations accessoires sont représentées sur les figures 4.5 à 4.7. La figure 4.8 présente la consommation totale par kilomètre de tunnel. La partie supérieure de ces figures contient à nouveau les données valables pour les tunnels à deux tubes unidirectionnels, la partie inférieure des figures se référant aux tunnels à un tube bidirectionnels.

4.2.1 Ventilation des tunnels (figure 4.5)

Parmi les tunnels unidirectionnels, les suivants se signalent par leur forte consommation d'électricité par kilomètre de tunnel (voir aussi le graphique supérieur de la figure 4.5):

- Schoren, SG:	Consommation d'électricité =	337.1 MWh/a
	Valeur spécifique pour 1.100 km de tunnel =	306 MWh/a.km
- Rosenberg, SG:	Consommation d'électricité =	380.2 MWh/a
	Valeur spécifique pour 1.450 km de tunnel =	262 MWh/a.km
- Piumogna, TI:	Consommation d'électricité =	319.6 MWh/a
	Valeur spécifique pour 1.606 km de tunnel =	199 MWh/a.km
- Belchen, BL:	Consommation d'électricité =	623.0 MWh/a
	Valeur spécifique pour 3.200 km de tunnel =	195 MWh/a.km

D'autre part il faut relever que pour les tunnels courts énumérés ci-dessous, la consommation d'électricité pour la ventilation pourrait, sur la base des comparaisons effectuées avec d'autres tunnels, probablement être supprimée pour la plupart d'entre eux:

- Schänzli, BL:	Longueur du tunnel =	475 m
	Consommation d'électricité ventilation =	22.6 MWh/a resp. 48 MWh/a.km
- Biascina, TI:	Longueur du tunnel =	539 m
	Consommation d'électricité ventilation =	40.0 MWh/a resp. 48 MWh/a.km
- Pardorea, TI:	Longueur du tunnel =	561 m
	Consommation d'électricité ventilation =	24.0 MWh/a resp. 43 MWh/a.km
- Schwarzwald, BS:	Longueur du tunnel =	583 m
	Consommation d'électricité ventilation =	43.6 MWh/a resp. 75 MWh/a.km
- Reinach, BL:	Longueur du tunnel =	600 m
	Consommation d'électricité ventilation =	26.0 MWh/a resp. 43 MWh/a.km

Parmi les tunnels à circulation bidirectionnelle, les suivants ont une consommation d'électricité particulièrement élevée pour la ventilation (voir graphique inférieur de la figure 4.5):

- Gothard, UR:	Consommation d'électricité =	6'075 MWh/a
	Valeur spécifique pour 16.918 km de tunnel =	359 MWh/a.km
- Milchbuck, ZH:	Consommation d'électricité =	635 MWh/a
	Valeur spécifique pour 1.91 0 km de tunnel =	332 MWh/a.km
- Lopper, NW:	Consommation d'électricité =	219.4 MWh/a
	Valeur spécifique pour 1.562 km de tunnel =	140 MWh/a.km
- Isla Bella, GR:	Consommation d'électricité =	301.0 MWh/a
	Valeur spécifique pour 2.440 km de tunnel =	123 MWh/a.km

Pour le tunnel du Gothard, il semble que les exploitants aient perçu la nécessité de réduire la consommation d'électricité pour la ventilation du tunnel et qu'ils aient réussi, ces dernières années, à faire baisser de manière sensible la consommation grâce à diverses mesures.

Consommation 1989: 6'700 MWh/a
 Consommation 1990: 6'295 MWh/a
 Consommation 1991: 6'075 MWh/a (utilisé pour cette étude)

4.2.2 Eclairage des tunnels (figure 4.6)

En ce qui concerne l'éclairage des tunnels, la consommation d'électricité par kilomètre de tunnel pour des longueurs données peut être utilisée comme un critère adéquat pour l'évaluation énergétique de l'éclairage, en tenant compte du fait que la consommation spécifique diminuera plutôt lorsque les longueurs de tunnel augmentent, à cause de la part fixe de l'éclairage d'adaptation. Les énormes différences dans les consommations d'électricité spécifiques rapportées aux longueurs représentées dans la figure 4.6 montrent que les planificateurs et les exploitants d'éclairages de tunnels ont des opinions très divergentes sur le dimensionnement et l'exploitation adéquats d'un éclairage de tunnel.

Parmi les tunnels unidirectionnels, les suivants ont une consommation d'électricité spécifique très élevée (voir graphique supérieur de la figure 4.6):

- Taverne, TI:	Consommation d'électricité=	345.4 MWh/a
	Valeur spécifique pour 280 m de tunnel =	1'233 MWh/a.km
- Reussport, LU:	Consommation d'électricité =	679.0 MWh/a
	Valeur spécifique pour 627 m de tunnel =	1'084 MWh/a.km

En ce qui concerne le tunnel du Reussport on peut faire valoir qu'une consommation élevée d'électricité pour l'éclairage est justifiée par la présence de 3 voies dans chaque tube, par le trafic intense et par les

inutilement élevée si l'on compare avec les différents tunnels consommant moins de 500 MWh/a.km recensés lors de cette enquête. En plus des tunnels déjà cités, les tunnels suivants présentent des consommations supérieures à 500 MWh/a.km:

Tunnel	Longueur du tunnel	Consommation spécifique
Quinto, TI (120 km/h autorisés!)	293 m	955 MWh/a. km
Casletto, TI (120 km/h zugelassen!)	202 m	865 MWh/a.km
Maroggia - Bissone, TI	588 m	862 MWh/a.km
Stalvedro, TI	340 m	852 MWh/a. km
Viglio, TI	632 m	826 MWh/a.km
Melide - Grancia, TI	1'728 m	825 MWh/a.km
Mariazell, LU	220 m	714 MWh/a.km
Ebenrain, BL	385 m	673 MWh/a.km
Schwarzwald, BS	583 m	648 MWh/a.km
Monte Ceneri, TI	1'416 m	632 MWh/a.km
L'Arzilier, VD	410 m	628 MWh/a.km
Pardorea, TI	561 m	611 MWh/a.km
Biaschina, TI	539 m	582 MWh/a.km
Rathausen, LU	700 m	540 MWh/a.km
Oberburg, BL	200 m	530 MWh/a.km

Parmi les tunnels bidirectionnels, les 2 tunnels suivants se distinguent par leur consommation élevée (voir graphique inférieur de la figure 4.6):

- Plazzas, GR: Consommation d'électricité =	151.3 MWh/a
Valeur spécifique pour 0.205 km de tunnel =	738 MWh/a. km
- Isla Bella, GR: Consommation d'électricité =	1'293 MWh/a
Valeur spécifique pour 2.440 km de tunnel =	530 MWh/a.km

Sur la base de cette enquête, la consommation d'électricité pour l'éclairage des tunnels bidirectionnels ne devrait en principe pas dépasser les 300 MWh/a.km. En plus des tunnels cités précédemment, cette valeur est dépassée dans les tunnels suivants:

Tunnel	Longueur du tunnel	Consommation spécifique
Lopper, NW	1'562 m	434 MWh/a.km
Alvaschein, GR	950 m	393 MWh/a.km
N4 Mosi, SZ	1'142 m	350 MWh/a.km
Rotsch, GR	218 m	341 MWh/a.km
San Bernardino, GR	6'600 m	341 MWh/a.km
Taferna, GR	288 m	305 MWh/a.km

4.2.3 Installations annexes (figure 4.7)

Ici on remarquera tout d'abord qu'un grand nombre de tunnels se passent d'installations annexes. Il serait nécessaire d'étudier de plus près si cette constatation est la conséquence d'un recensement imprécis (voir paragraphe 5.1.4) ou si ces différences existent réellement, par exemple suite à des points de vue différents en ce qui concerne la nécessité d'installations d'alimentation sans coupure.

4.2.4 Total de tous les groupes de consommation (figure 4.8)

La consommation d'électricité totale par kilomètre de tunnel de tous les groupes de consommateurs se situe pour les tunnels unidirectionnels autour des 400 à 1'200 MWh/a.km (facteur 3), pour les tunnels bidirectionnels autour des 50 à 1'800 MWh/a.km (facteur 36). Les différences entre les différents tunnels peuvent certainement être expliquées partiellement par des paramètres spécifiques à l'ouvrage, dont certains sont mentionnés au chapitre 1. Les ouvrages se démarquant spécialement devraient dans tous les cas être contrôlés, la décision de contrôler étant cependant plutôt basée sur les valeurs caractéristiques par groupe de consommation que sur les valeurs caractéristiques de la consommation totale.

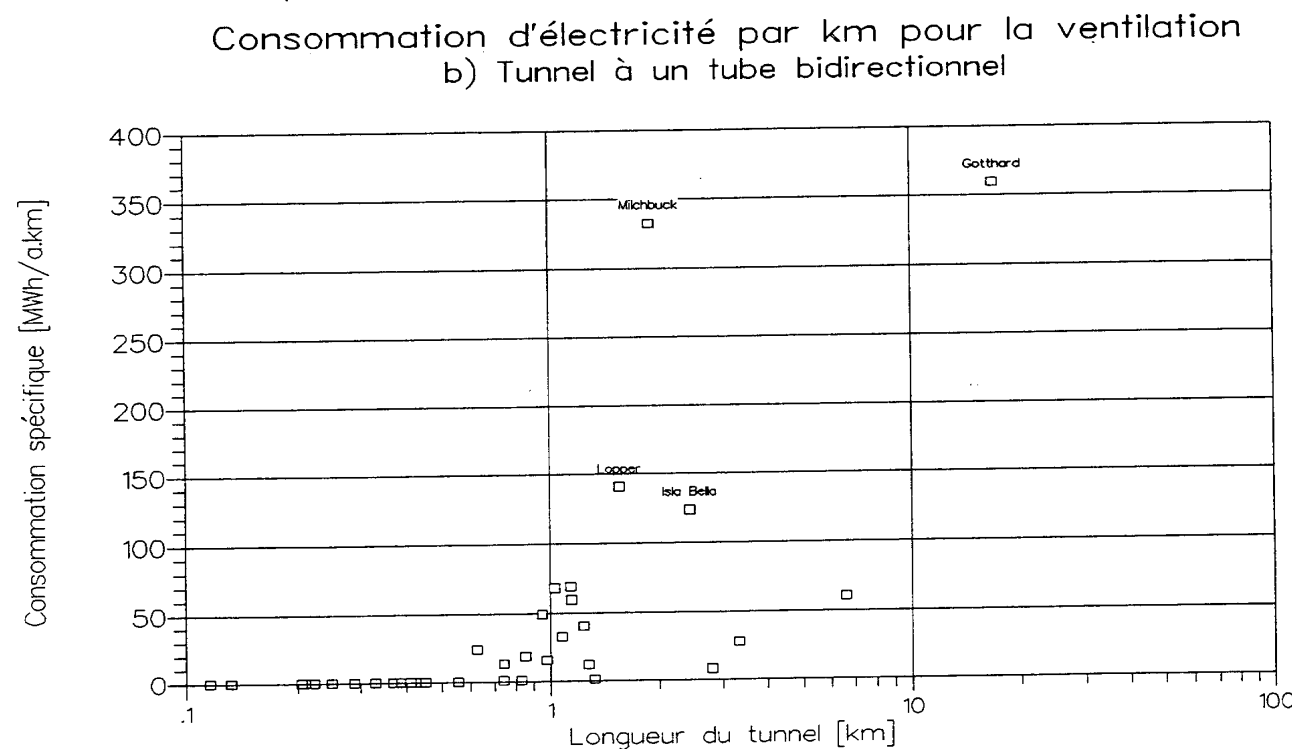
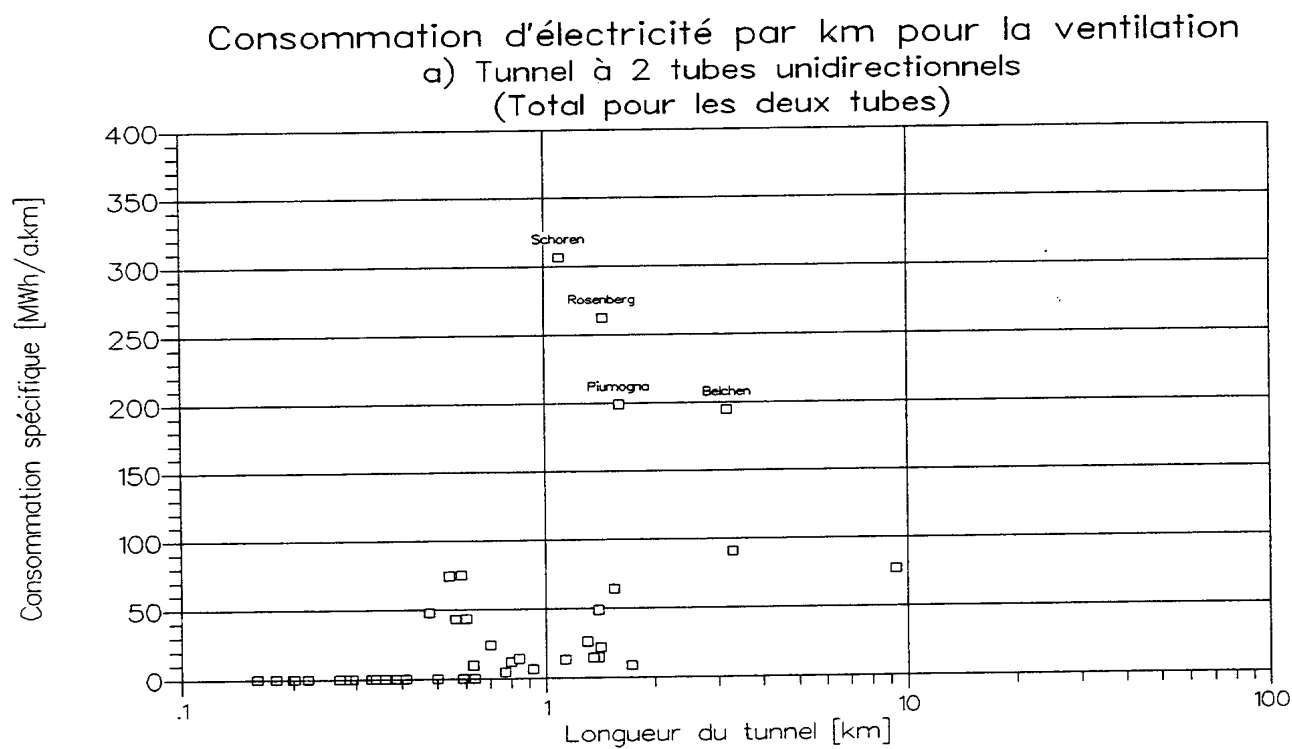


figure 4.5

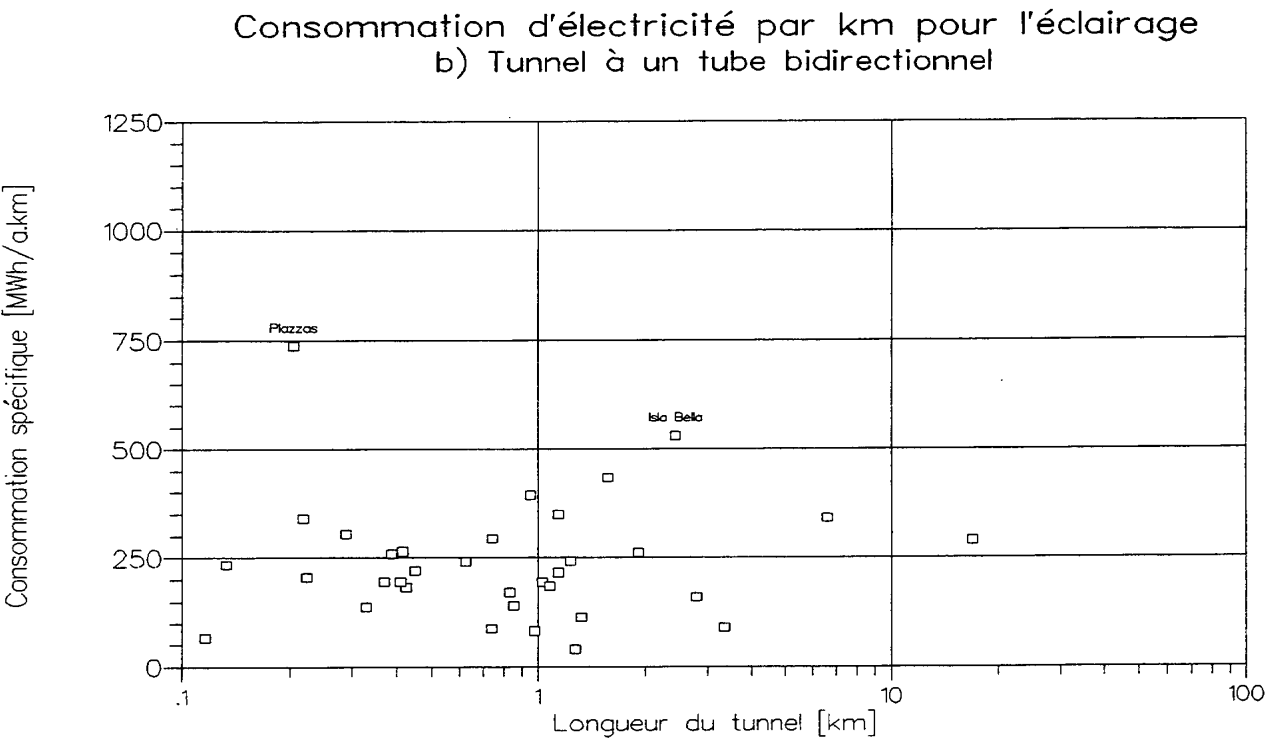
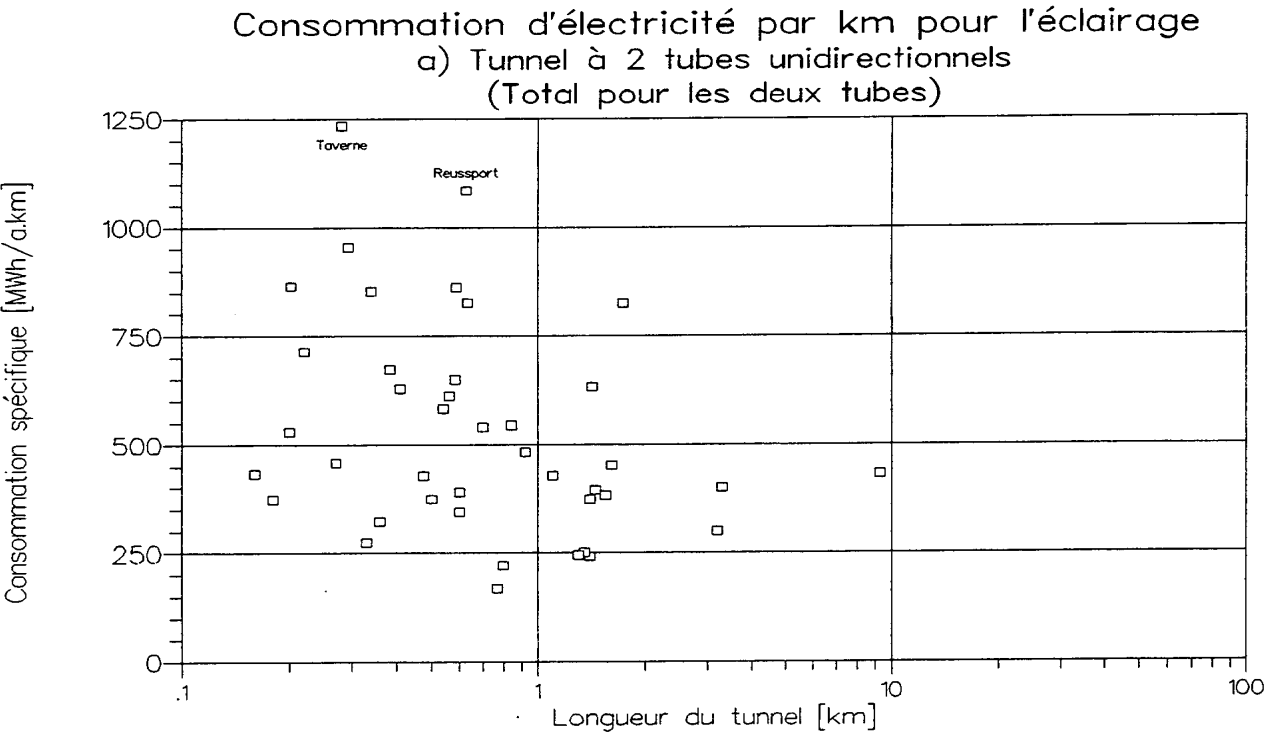


figure 4.6

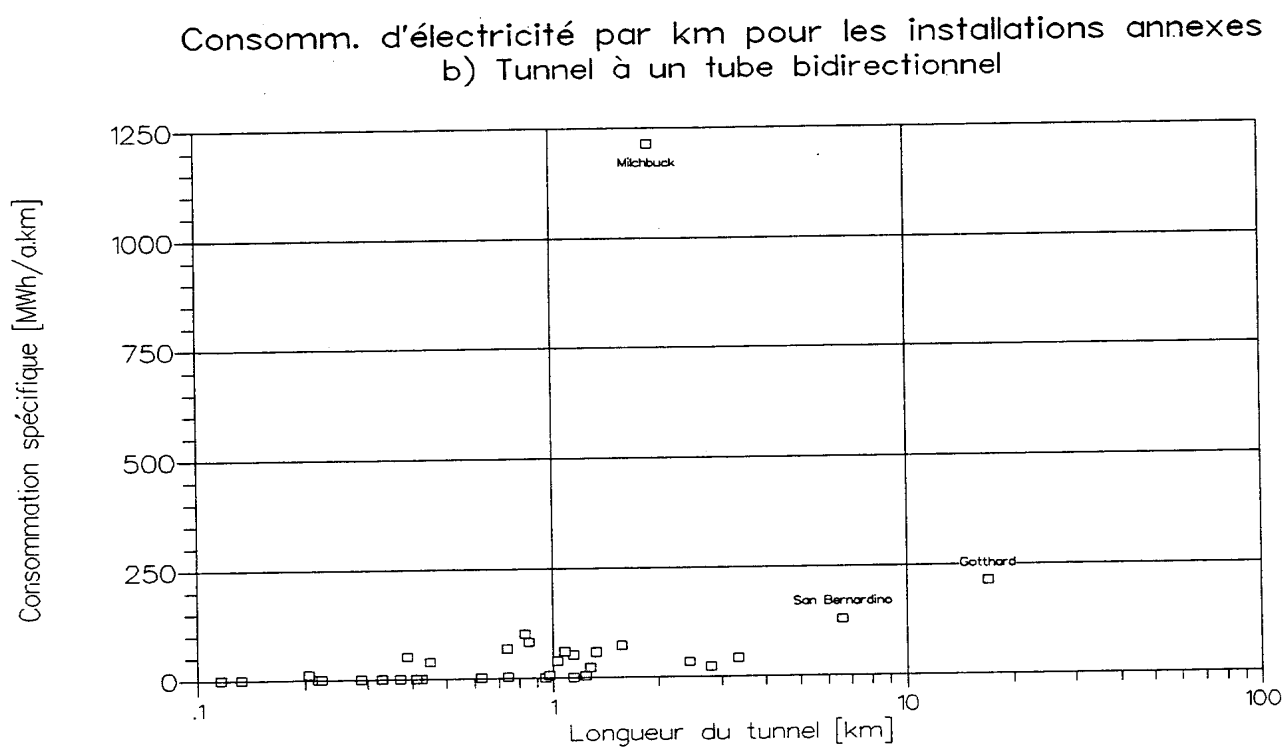
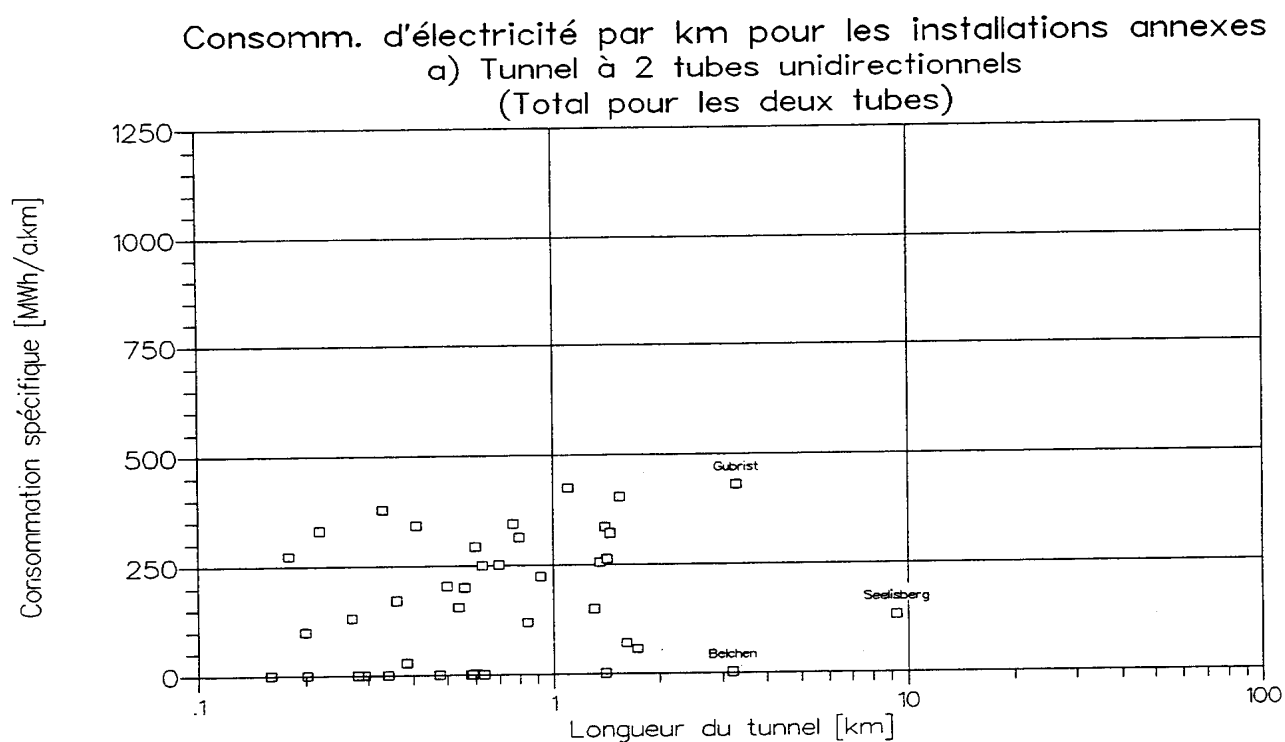


figure 4.7

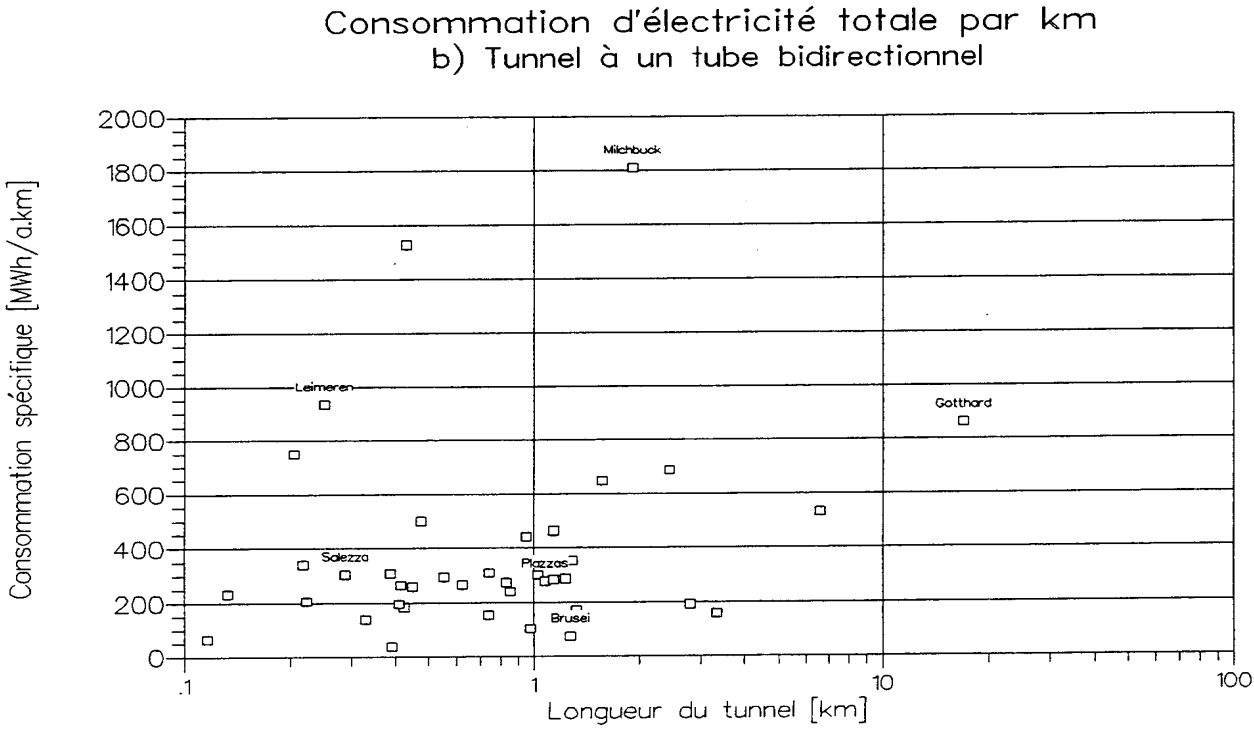
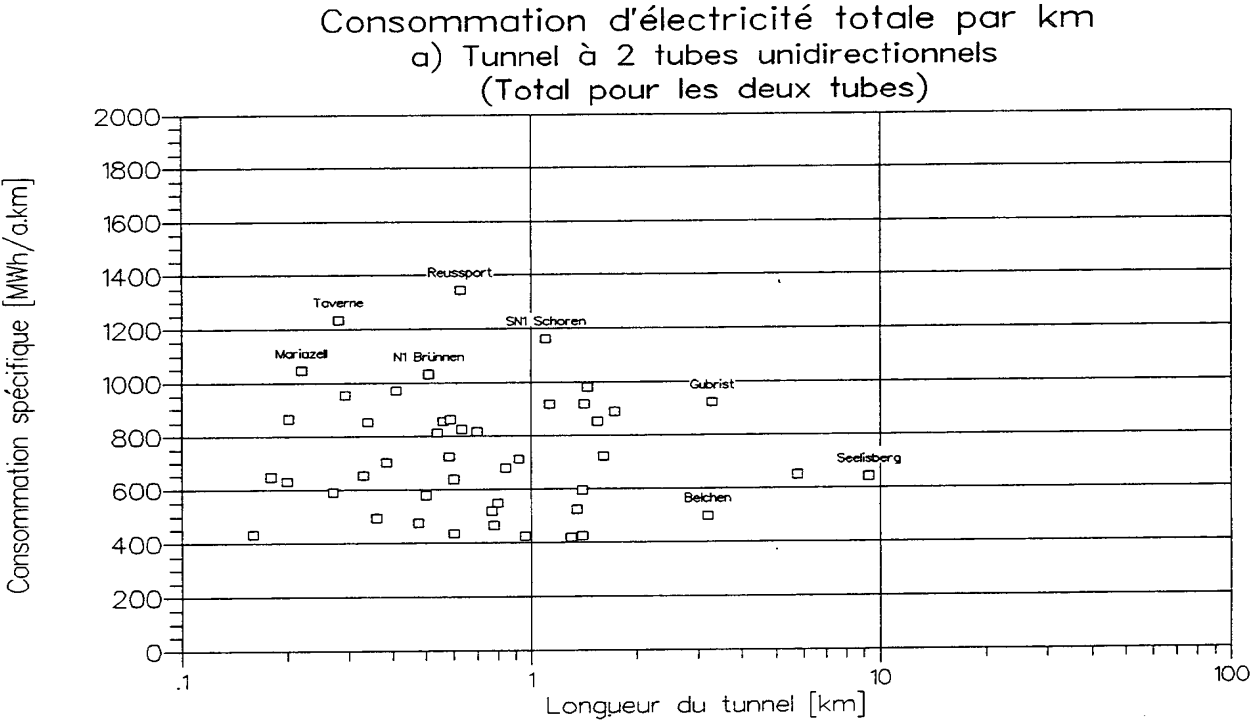


figure 4.8

4.3 Consommation d'électricité par véhicule-kilomètre

Les consommations d'électricité par véhicule-kilomètre pour la ventilation, l'éclairage de tunnel et les installations annexes sont représentées sur les figures 4.9 à 4.11. La figure 4.12 indique la consommation d'électricité totale des 3 groupes de consommateurs. La partie supérieure des figures présente à nouveau les données concernant les tunnels à deux tubes unidirectionnels, la partie inférieure des figures se référant aux tunnels bidirectionnels.

4.3.1 Ventilation des tunnels (figure 4.9)

Parmi les tunnels unidirectionnels, les tunnels ci-dessous présentent la consommation d'électricité la plus élevée pour la ventilation de tunnel par véhicule-kilomètre (voir graphique supérieur de la figure 4.9):

- Piumogna, TI:	Consommation d'électricité =	319.6 MWh/a
	Trafic annuel =	6'205'000 vhc/a
	Valeur spécifique pour 1.606 km de tunnel =	32.1 Wh/vhc.km
- SN 1 Schoren, SG:	Consommation d'électricité =	337.1 MWh/a
	Trafic annuel =	10'004'000 vhc/a
	Valeur spécifique pour 1.100 km de tunnel =	30.6 Wh/vhc.km

D'autre part, il faut relever que pour les tunnels courts unidirectionnels cités à l'alinéa 4.2.1, la consommation d'électricité pour la ventilation du tunnel pourrait vraisemblablement être supprimée dans la plupart des cas.

Parmi les tunnels bidirectionnels, c'est le tunnel du Gothard qui présente la consommation d'électricité par véhicule-kilomètre de loin la plus élevée (voir graphique inférieur de la figure 4.9):

- Gothard, UR:	Consommation d'électricité =	6'075 MWh/a
	Trafic annuel =	5'768'371 vhc/a
	Valeur spécifique pour 16.918 km de tunnel	62.3 Wh/vhc.km

4.3.2 Eclairage des tunnels (figure 4.10)

Dans un tunnel peu fréquenté on ne peut pas, pour des raisons de sécurité, baisser sans autre le niveau de l'éclairage. Une évaluation de l'éclairage basée sur la consommation d'électricité par véhicule peut donc mener à des conclusions incorrectes. Il semble néanmoins indiqué de procéder à un contrôle des ouvrages mentionnés dans la figure 4.10.

4.3.3 Installations annexes (figure 4.1 1)

L'exploitation des installations annexes est très largement indépendante du trafic, de sorte que les consommations spécifiques par véhicule des installations annexes ne jouent qu'un rôle secondaire. Malgré cela, les évaluations présentées à la figure 4.11 et à l'annexe 3 nous indiquent des potentiels probables d'économies.

4.3.4 Total de tous les groupes de consommation (figure 4.12)

Si l'on considère la consommation d'électricité totale de tous les groupes de consommation par véhiculekilomètre, il apparaît que les tunnels unidirectionnels ne présentent pas de valeurs extrêmes. Mais la variation de la consommation spécifique, qui va de 30 à 160 Wh/vhc.km (facteur 5) est relativement grande.

Parmi les tunnels à un tube bidirectionnel ce sont les tunnels de Clasauner, Frauentobel, Calfreisen et Landwasser qui se signalent par des valeurs bien au-dessus de la moyenne. Ceci vient du fait que ces tunnels disposent d'un éclairage relativement puissant pour un trafic peu important. Pour les tunnels à un tube bidirectionnels, la dispersion de la consommation spécifique, d'un facteur 10 environ, est encore bien plus grande que pour les tunnels à 2 tubes unidirectionnels.

Pour des études plus approfondies, il est indiqué de tenir compte des particularités de l'ouvrage. Quelquesuns des paramètres influants ont été cités au chapitre 1.

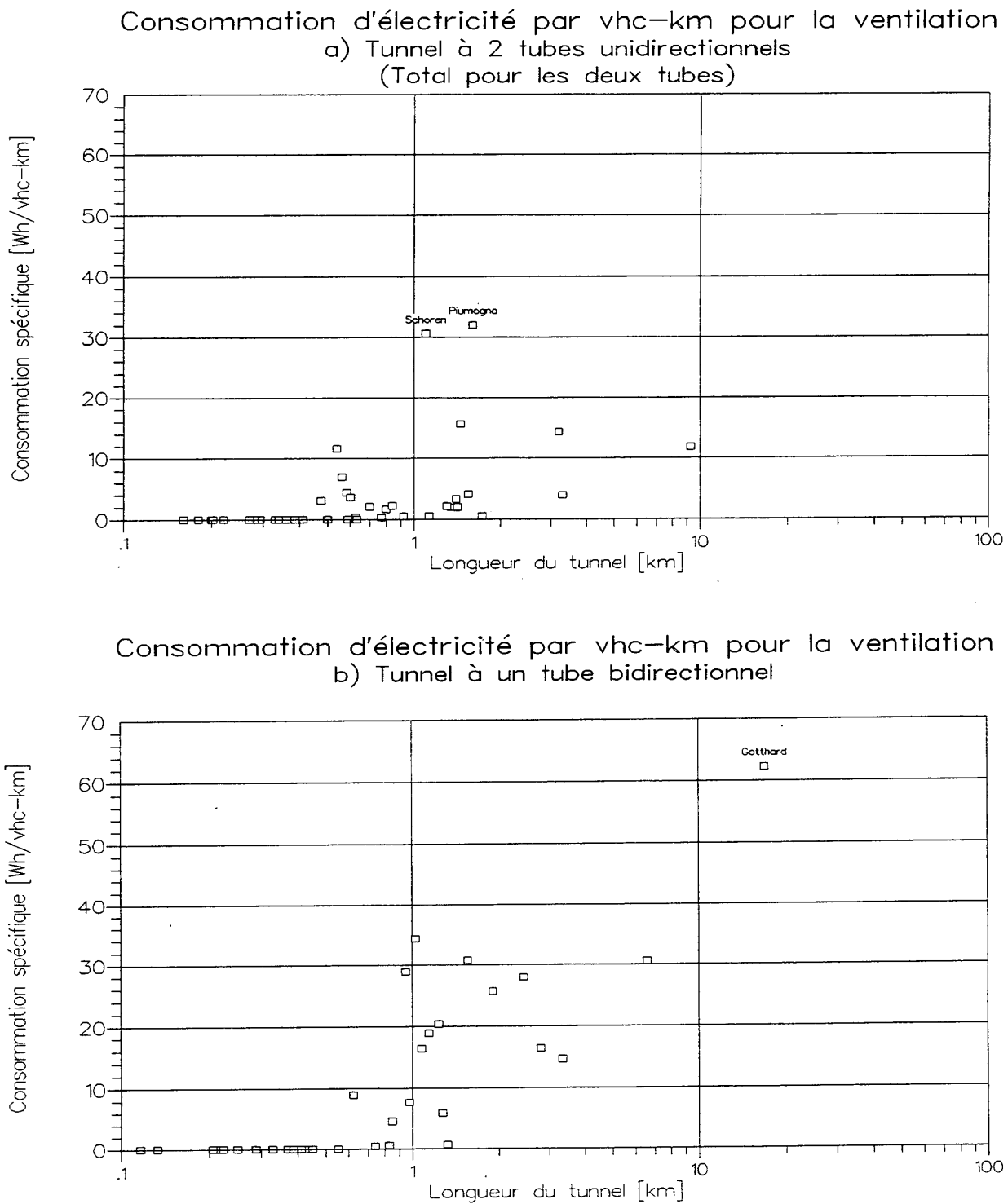


figure 4.9

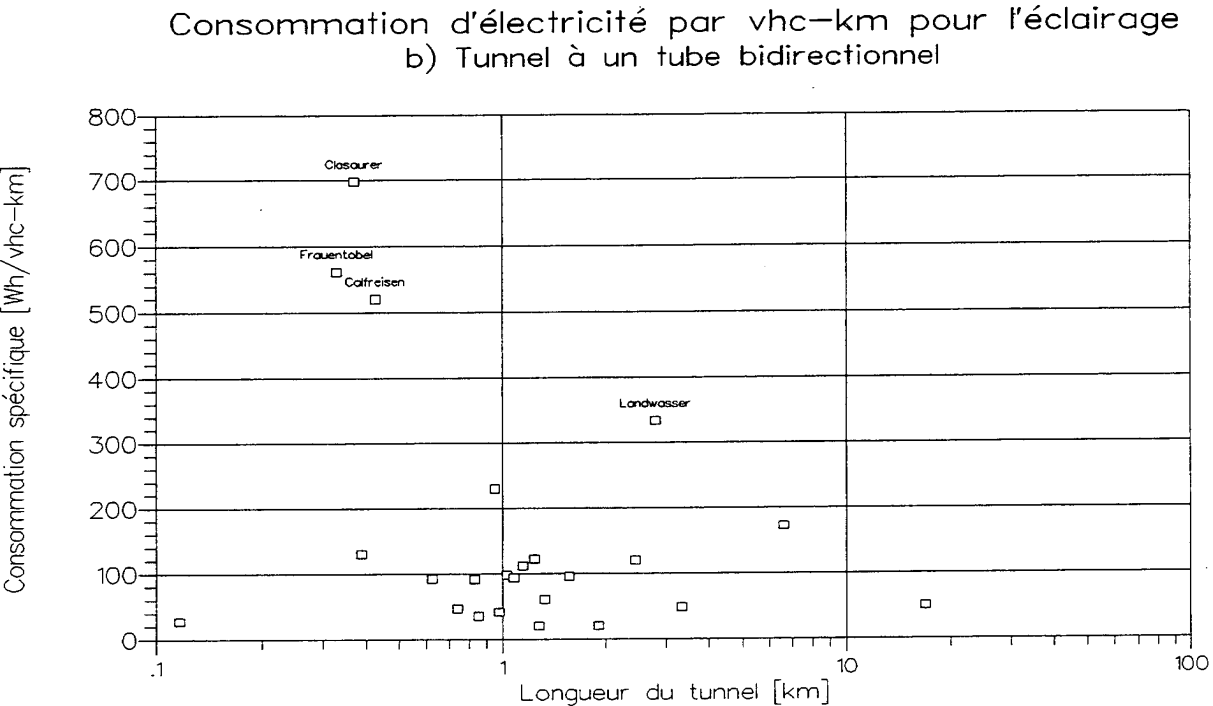
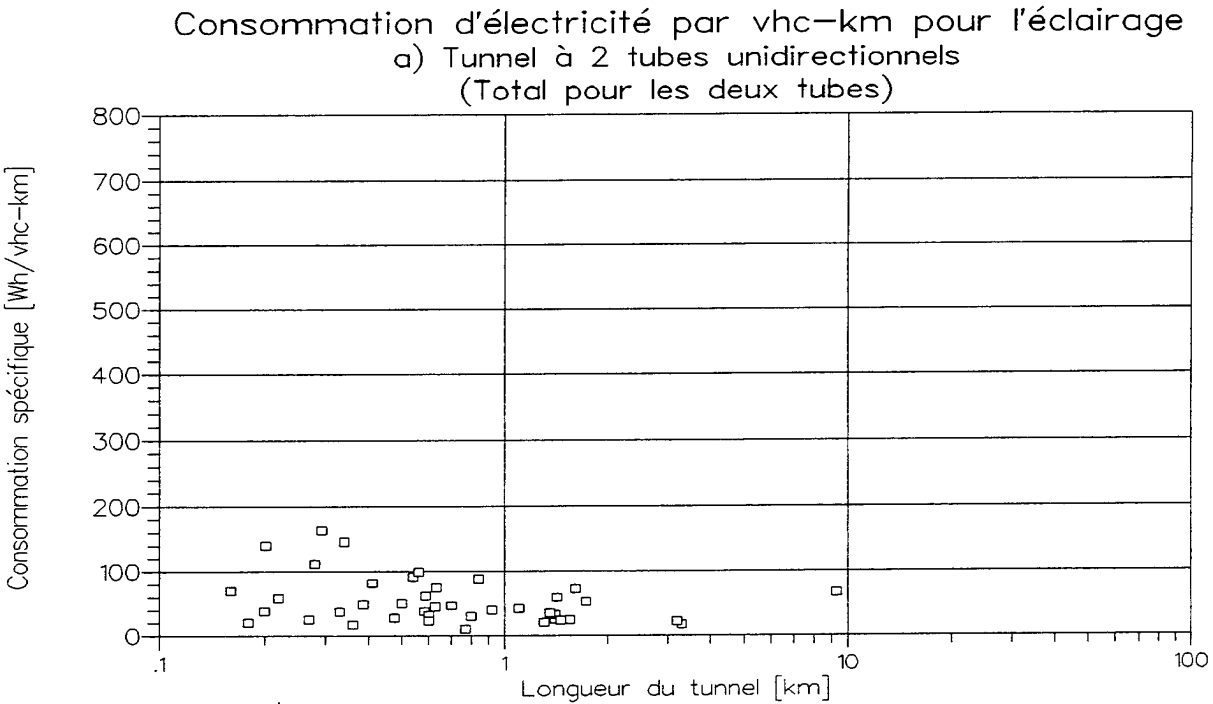


figure 4.10

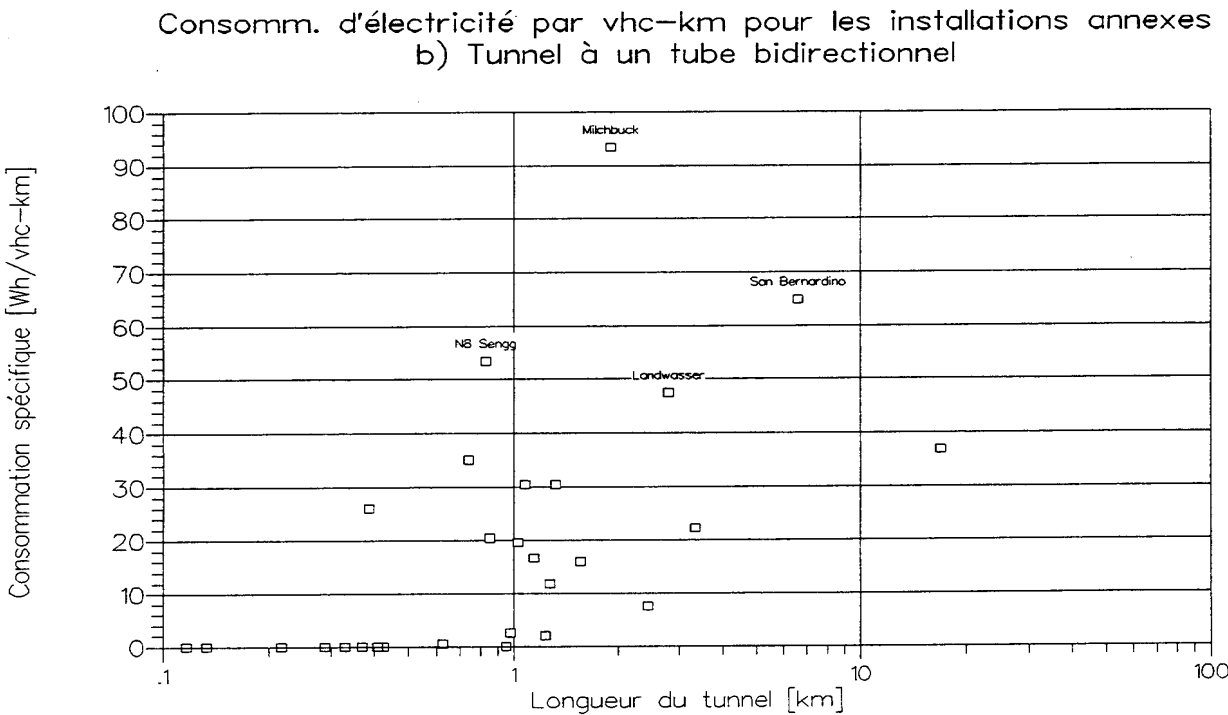
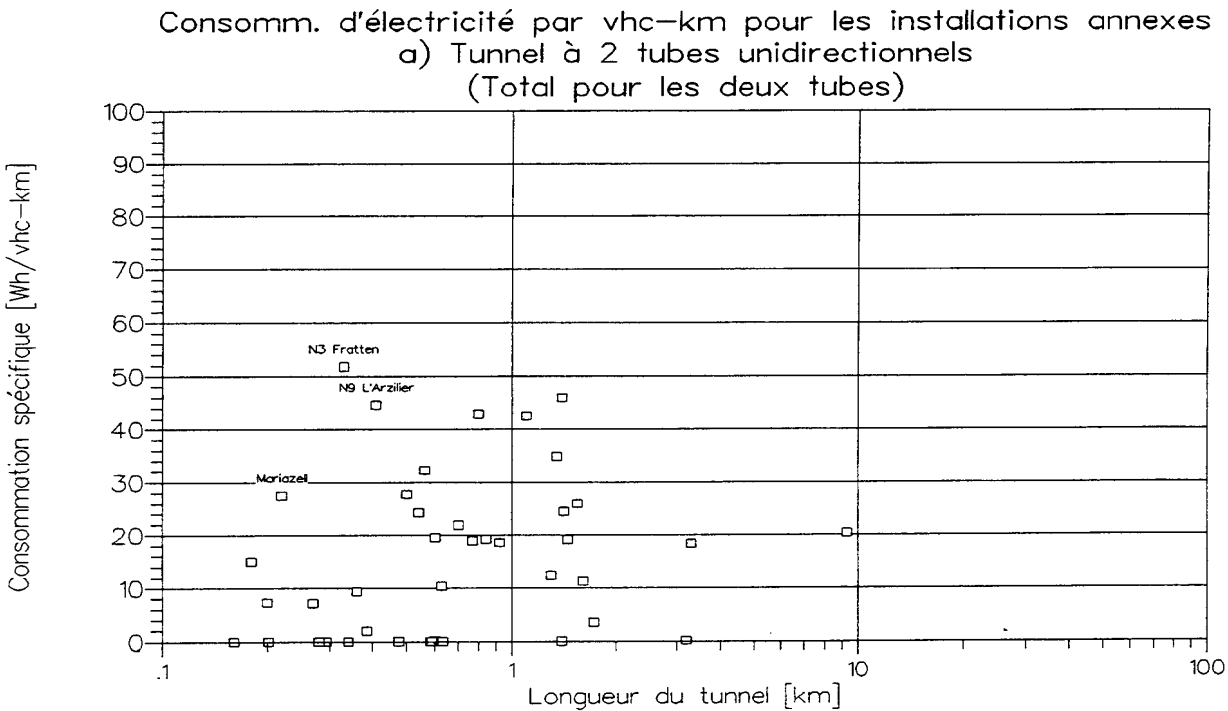


figure 4.11

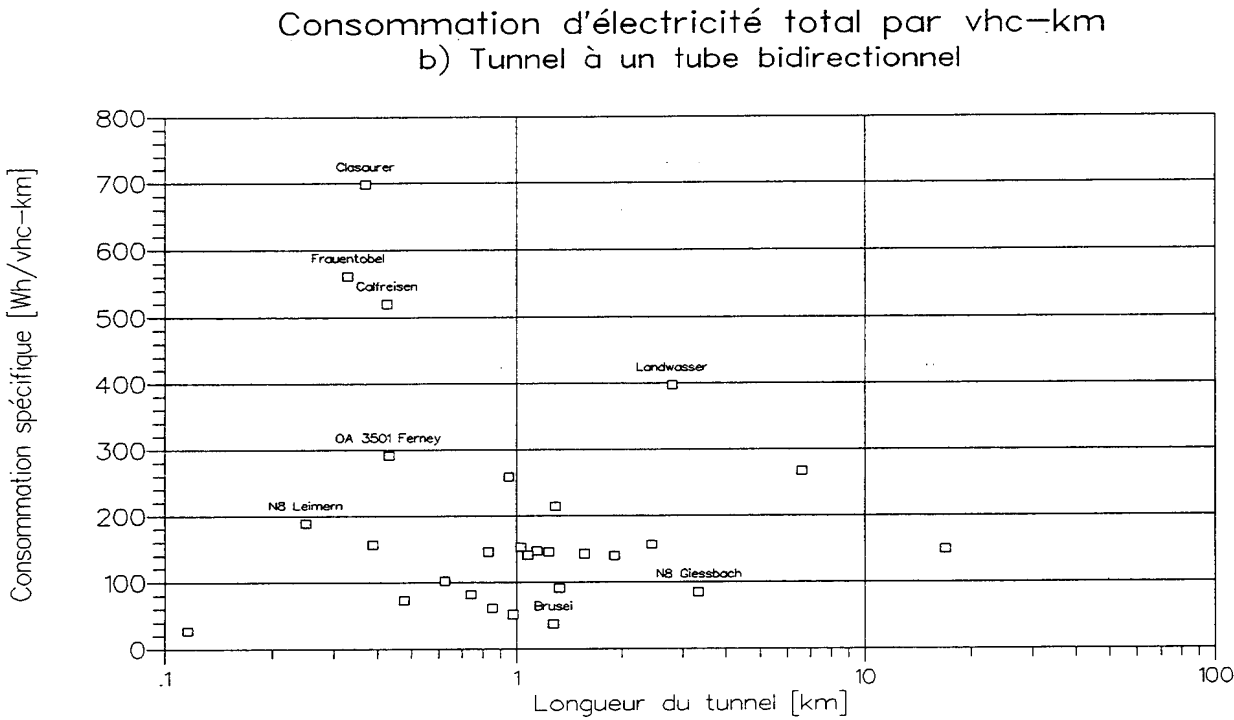
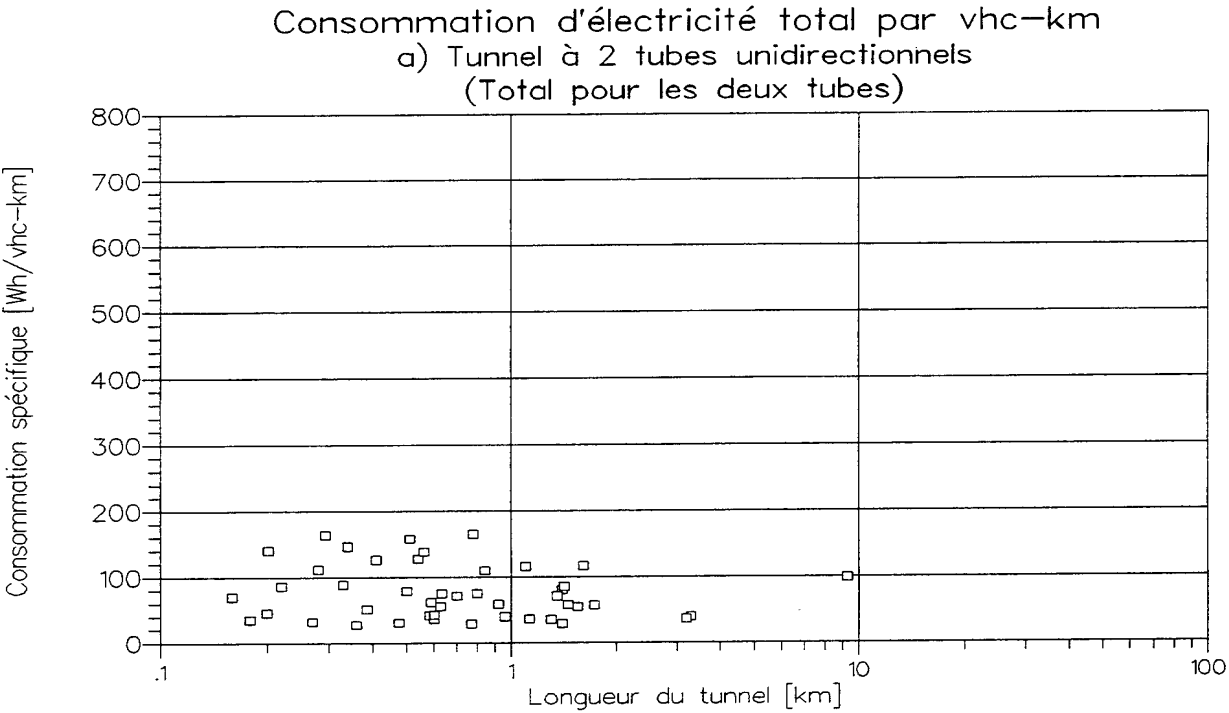


figure 4.12

figure 4.12

5. Conclusions et recommandations

5.1 Résultats généraux de l'enquête

5.1.1 Feuille de relevé

La récolte des données les plus importantes relatives aux tunnels ainsi que des consommations d'électricité pour la ventilation, l'éclairage de tunnel et les installations annexes au moyen de la feuille de saisie a fait ses preuves. En guise d'amélioration, nous recommandons d'y apporter les adjonctions suivantes:

- indication du nombre de voies de circulation par tube de tunnel
- définition préalable d'un choix de systèmes typiques de ventilation et d'éclairage
- indication du système adopté pour l'éclairage d'adaptation et l'éclairage de base
- indication des mesures prises pour réduire la consommation d'électricité

La feuille de saisie de l'annexe 1 contient déjà ces adjonctions et peut donc être utilisée pour une nouvelle enquête (voir aussi alinéa 5.3).

5.1.2 Saisie des données auprès des cantons

Les feuilles de saisie ont permis de recenser la consommation d'électricité des tunnels routiers suisses pour la ventilation et probablement aussi pour les installations annexes de manière pratiquement complète, pour l'éclairage à près de 80 %.

N'ont pas été annoncés les tunnels plutôt courts ne disposant pas d'installation de ventilation mécanique. Ceci est probablement dû au fait que la requête mentionnait comme objectif principal le recensement de la consommation d'électricité pour la ventilation des tunnels. Sur la base des résultats dont nous disposons aujourd'hui, nous nous sommes rendu compte que l'éclairage des tunnels constitue une part bien plus importante que prévue de la consommation d'électricité des tunnels routiers.. C'est pourquoi lors d'une future enquête, il faudrait s'efforcer de pouvoir recenser également les tunnels routiers courts sans ventilation mécanique de manière aussi complète que possible.

L'enquête a montré que les exploitants ne sont pas tous capables de mesurer de manière directe les consommations de la ventilation, de l'éclairage et des installations annexes. Ceci est néanmoins une nécessité primordiale lorsqu'il s'agit d'assurer un contrôle efficace. Les exploitants des tunnels devraient donc absolument vérifier que toutes les nouvelles installations soient pourvues des moyens permettant de mesurer la consommation et que les installations existantes en soient équipées dans les plus brefs délais. Il serait souhaitable que l'Office Fédéral des Routes émette une directive contraignante qui devrait également contenir une définition claire des consommateurs à mesurer séparément et des techniques de base de mesure (voir aussi l'alinéa 5.1.4). D'autre part, tous les tunnels devraient disposer de données sur l'intensité du trafic.

5.1.3 Grandeurs caractéristiques

Le chapitre 4 contient diverses grandeurs caractéristiques des tunnels recensés. La comparaison entre les valeurs des différents tunnels permet de procéder rapidement à une appréciation préalable d'un ouvrage. Le chapitre 4 permet de mettre en évidence les tunnels ayant des puissances installées ou une consommation d'énergie particulièrement élevées. L'appréciation finale d'un ouvrage ne peut avoir lieu qu'en tenant compte de ses caractéristiques propres. Quelques-uns des paramètres importants sont mentionnés au chapitre 1.

5.1.4 Définition des groupes de consommation

Le présent rapport fait la distinction entre les 3 groupes de consommation: ventilation de tunnel, éclairage de tunnel et installations annexes. Cette répartition des consommateurs a dans l'ensemble fait ses preuves. Toutefois, des précisions à apporter ont cependant montré que cette répartition ainsi que la technique de mesure pouvaient être définies avec plus de précision. C'est dans ce sens que les principes ci-dessous doivent être pris en considération pour les enquêtes futures. Il est souhaitable qu'à l'avenir les consommations d'électricité de ces 3 groupes soient mesurées séparément et analysées de manière périodique.

Groupe de consommation «ventilation de tunnel»

Est déterminante la puissance nominale, respectivement la mesure de la puissance absorbée par tous les moteurs de ventilateurs y compris les auxiliaires. Nous recommandons une mesure séparée pour chaque moteur de ventilateur.

Groupe de consommation «éclairage de tunnel»

Est déterminante la puissance nominale respectivement la mesure de la puissance absorbée par tous les éléments d'éclairage installés dans le tunnel. Nous recommandons une mesure séparée pour l'éclairage d'adaptation et l'éclairage de base.

Groupe de consommation «installations annexes»

Dans ce groupe de consommation sont rassemblés tous les consommateurs d'électricité qui, en plus de la ventilation et de l'éclairage, sont nécessaires à l'exploitation du tunnel. Voici quelques exemples typiques d'installations annexes:

- ventilation des salles de commande et locaux annexes
- éclairage des salles de commande et locaux annexes
- installations d'alimentation sans coupure (ASC)

5.2 Contrôles énergétiques recommandés

5.2.1 Ventilation des tunnels

Pour établir une appréciation d'ordre énergétique de la ventilation d'un tunnel, on peut utiliser la consommation d'électricité par véhicule-kilomètre comme grandeur représentative (paragraphe 4.3). Pour les 2 tunnels ci-dessous, qui présentent également une consommation d'électricité élevée par kilomètre de tunnel, nous recommandons de procéder d'urgence à un contrôle énergétique basé sur la comparaison avec d'autres tunnels:

- Piumogna, TI:	Circulation unidirectionnelle	L = 1.6 km
	Consommation =	320 MWh/a resp. 32.1 Wh/km.vhc
	Valeur atteignable	< 5 Wh/km.vhc
	Potentiel d'économie	> 270 MWh/a
- SN1 Schoren, SG:	Circulation unidirectionnelle	L = 1.1 km
	Consommation =	337 MWh/a resp. 30.6 Wh/km.vhc
	Valeur atteignable	< 5 Wh/km.vhc
	Potentiel d'économie	> 280 MWh/a

D'autre part, la comparaison avec d'autres tunnels nous incite à penser que l'installation de ventilation devrait pouvoir être complètement mise hors service dans les tunnels suivants:

- Schânzli, BL	Potentiel d'économies	20 MWh/a
- Biascina, TI		40 MWh/a
- Pardorea, TI		20 MWh/a
- Schwarzwald, BS		40 MWh/a
- Reinach, BL		25 MWh/a

Le potentiel total des économies dans le domaine de la ventilation des tunnels précités se monte à près de 700 MWh/a. Il est évident qu'une appréciation définitive de ces ouvrages ne sera possible qu'après une clarification détaillée objet par objet. Il est cependant fort probable qu'une réalisation de ces mesures d'économie est possible sans grand effort et de façon très rentable.

En ce qui concerne le tunnel du Gothard, il semble que les exploitants aient perçu la nécessité de réduire la consommation d'électricité pour la ventilation du tunnel (paragraphe 4.2.1). Pour déterminer si des réductions supplémentaires sont possibles et rentables, il est nécessaire de procéder à des clarifications appropriées à l'ouvrage.

5.2.2 Eclairage des tunnels

Pour caractériser la consommation d'électricité de l'éclairage d'un tunnel on peut utiliser la consommation annuelle par kilomètre de tunnel (paragraphe 4.2). Sur la base des résultats de cette enquête, on peut indiquer que les valeurs limites suivantes ne devraient en principe pas être dépassées, sans oublier qu'il est plus facile d'atteindre des valeurs plus basses dans un tunnel long que dans un tunnel court à cause de la part relative décroissante de l'éclairage d'adaptation:

- 500 MWh/a. km pour un tunnel à deux tubes unidirectionnels à 2 voies (125MWh/a.km par voie)
- 300 MWh/a. km pour un tunnel à un seul tube bidirectionnel (150MWh/a.km par voie)

Les tunnels indiqués ci-dessous dépassent les valeurs limites; nous proposons donc de procéder à une évaluation énergétique. Une appréciation définitive n'est bien sûr possible qu'après avoir procédé à des clarifications spécifiques à chaque ouvrage.

Ouvrage	Nombre de voies	Longueur du tunnel [m]	Consommation d'électricité actuelle		Potentiel d'économie [MWh/a]
			[MWh/a]	[MWh/a.km]	
Taverne, TI	2 + 2	280	345.4	1233	205
Reussport, LU	3 + 3	627	679.0	1084	209
Quinto, TI	2 + 2	293	279.7	955	133
Casletto	2 + 3	202	174.7	865	48
Maroggia - Bissone, TI	2 + 2	588	506.9	862	213
Stalvedro, TI	2 + 2	340	289.8	852	120
Viglio, TI	2 + 2	632	521.7	826	206
Melide - Grancia, TI	2 + 2	1728	1424.8	825	562
Mariazell, LU	2 + 2	220	157.0	714	47
Ebenrain, BL	2 + 2	385	259.0	673	67
Schwarzwald, BS	3 + 3	583	378.0	648	-
Monte Ceneri, TI	2 + 3	1416	894.5	632	10
L'Arzilier, VD	2 + 2	410	257.6	628	52
Pardorea, TI	2 + 3	561	343.0	611	-
Biaschina, TI	2 + 3	539	313.7	582	-
Rathausen, LU	2 + 2	700	378.0	540	28
Oberburg, BL	2 + 2	200	106.0	530	6
Plazzas, GR	2	205	151.0	738	90
Isla Bella, GR	2	2440	1293.0	530	561
Lopper, NW	2	1562	678.2	434	209
Alvaschein, GR	2	950	373.3	393	88
N4 Mosi, SZ	2	1142	400.0	350	57
Rotsch, GR	2	218	74.4	341	9
San Bernardino, GR	2	6600	2250.0	341	271
Taferna, GR	2	288	87.8	305	1
Total				env. 3200	

5.3 Poursuite des travaux

La présente enquête a fourni, sans effort exagéré, des valeurs caractéristiques très utiles concernant les puissances électriques installées et les consommations d'électricité des tunnels routiers. Dans l'opinion des auteurs, les travaux devraient se poursuivre comme suit:

- équipement de tous les tunnels avec les installations de mesure nécessaires pour saisir de manière fiable les consommations d'électricité des groupes de consommation ventilation de tunnel, éclairage de tunnel et installations annexes. A cette fin, des consignes de portée générale émises par l'Office Fédéral des Routes seraient utiles.
- répétition périodique des recensements et publication des résultats, par ex. par l'Office Fédéral des Routes dans le cadre des recensements systématiques des données des tunnels et des bilans d'exploitation annuels.
- analyse approfondie des raisons pour lesquelles certains ouvrages présentent des valeurs de consommation élevées. Si nécessaire exécution d'opérations d'assainissements avec contrôle d'efficacité.
- définition de valeurs de référence générales pour des puissances installées et des valeurs de consommation adéquates. Ceci englobe également des recommandations générales relatives aux niveaux de technicité, de confort et de sécurité dans les tunnels routiers.
- vérification des méthodes de planification et des modes d'exploitation traditionnels. Une aide-mémoire des questions ayant un rapport avec l'énergie serait d'une grande utilité lors de la planification, l'exploitation et la maintenance des tunnels routiers.

Nous nous plaisons à relever que ces dernières années plusieurs opérations d'assainissement énergétique dans des tunnels routiers ont été planifiées puis réalisées. D'après les informations fournies le 26 août 1993 par l'OFR, ceci concerne les tunnels de Belchen, Schänzli, Seelisberg, Gothard et Isla Bella pour la ventilation et les tunnels de Taverne, Reussport, Stalvedro, Melide - Grancia, Ebenrain, Schwarzwald, Oberburg, Mosi, Blatt, San Bernardino pour l'éclairage.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] H. Hatz, W. Lanker, U. Steinemann
Etude de cas de ventilation de tunnel à l'exemple du tunnel Isla Bella sur la RN 13
Documentation RAVEL
No de commande 724.397.41 D, 1992
- [2] Office Fédéral des Routes
Informations sur les routes nationales 1990
- [31] Office Fédéral des Routes
Informations sur les routes nationales 1992
- [4] Union Suisse de l'Eclairage (SLG)
Rapport sur les installations d'éclairage de tunnel
Recherches effectuées par la Commission "Eclairage des tunnels" de la SLG, 1973 - 1976

Wollerau, le 7 septembre 1993

A N N E X E 1

Feuille de saisie pour relever la consommation d'électricité des tunnels routiers

Feuille de saisie de la consommation d'électricité des tunnels routiers

Nom de l'ouvrage:

Données concernant le tunnel

Mise en service: Altitude: m..
 Longueur du tunnel: m Pente longitudinale de la chaussée: %
 Nb de voies / Nb de tubes : / o circulation bidirectionnelle o circulation unidirectionnelle
 Système de ventilation ¹⁾:
 Système d'éclairage ²⁾: Eclairage d'adaptation L = m Système =
 Eclairage central L = m Système =
 Installations annexes ³⁾:
 Particularités:

1) Systèmes de ventilation

- Aération naturelle, pas de ventilateurs
 L Ventilation long. avec ventilateurs à jet
 HQ Ventilation semi-transversale
 Q Ventilation transversale
 P Aspiration ponctuelle

2) Systèmes d'éclairage

- Pas d'éclairage artificiel
 FL Luminaires fluorescents
 NaH Lampes à vapeur de sodium à haute pression
 HgL Lampes lumineuses à vapeur de mercure

3) Installations annexes

Indication des installations annexes existantes, par ex.:
 L-NR Ventilation des locaux annexes
 B-NR Eclairage des locaux annexes
 ASC Alimentation sans coupure

Puissance installée [MW] (Tunnel complet)

Zone desservie	Ventilation	Eclairage	Installations annexes	Total
Tunnel entier				

Consommation d'électricité [MWh] (Tunnel entier, période considérée normalement 1 an)

Période considérée	Ventilation	Eclairage	Installations annexes	Total
du au				

Données relatives au trafic (Somme des deux directions de circulation, période considérée normalement 1 an)

Période considérée	Nbre de vhc	Part des PL [%]	Particularités
du au			

Mesures prises pour réduire la consommation d'électricité

Date:	Mesures:
-------------	----------------

Personne de contact Nom
 Adresse
 Téléphone

A N N E X E 2

Résultats des relevés concernant la consommation d'électricité des tunnels routiers

Les tableaux qui suivent ont été établis sur la base des renseignements fournis par les services cantonaux des travaux publics pour les périodes indiquées. Pour certains des tunnels mentionnés, des mesures d'amélioration ont entre-temps déjà été entreprises ou réalisées.

RAVEL LNC: Résultats des relevés concernant la consommation d'électricité des tunnels routiers

a) Tunnel à 2 tubes unidirectionnels

Canton	Nom	Sur une route nationale	Mise en service	Période considérée	Longueur du tunnel [m]	Altitude [m]	Pente [%]	Puissance ventilation [kW]	Eclairage annexes [kW]	Total [kW]	Consommation d'électricité (2 tubes) Ventilation [MWh/a]	Eclairage annexes [MWh/a]	Total [MWh/a]	Données de trafic [vhc/a]	[% PL]
ZH	Gubrist	Oui	1985	1.91-12.91	3300	420	1.3	4.580	.260	.550	300.0	1320.0	1420.0	23500000	6.0
	N6 Allmend	Oui	1971	1.90-12.90	960	560	.0	.220	.100	.080	?	?	?	409.0	5.0
	N1 Brünnen	Oui	1982	1.90-12.90	510	520	.0	.200	.110	.080	?	?	?	526.0	10.0
	N8 Rugen	Oui	1979	1.90-12.90	780	570	.0	.240	.100	.080	?	?	?	364.0	6.0
	Fisch	Oui	1981	1.90-12.90	920	528	3.3	.270	.100	.080	6.0	444.0	206.0	656.0	?
	Marzelli	Oui	1981	1.90-12.90	220	508	1.0	.000	.100	.050	.0	157.0	73.0	230.0	?
	Rathausen	Oui	1986	1.90-12.90	700	430	1.7	.265	.105	.055	17.0	378.0	176.0	571.0	?
	Reussport	Oui	1974	1.90-12.90	627	440	1.2	.186	.184	.080	6.0	679.0	157.0	842.0	?
	Sonnenberg	Oui	1976	1.90-12.90	1546	450	2.8	1.520	.110	.600	99.0	592.0	625.0	1316.0	?
	Seelisberg	Oui	1980	1.91-12.91	9280	500	.0	16.900	1.100	1.000	713.2	4010.3	1226.6	5950.0	?
NW	Kerenzer (x2)	Oui	1986	env. 1989	5760	430	.0	3.680	.400	.080	?	?	?	3740.0	?
	Schwarzwald	Oui	1975	12.90-11.91	583	240	2.0	.874	.084	.000	43.6	378.0	.0	421.6	?
	Arisdorf	Oui	1970	1.90-12.90	1400	400	2.7	.850	.125	.040	68.0	524.0	1.0	593.0	?
	Beichen	Oui	1970	1.90-12.90	3200	600	.7	3.690	.150	.110	623.0	960.0	6.0	1589.0	?
	Ebenrain	Oui	1970	1.90-12.90	385	400	2.7	.000	.050	.005	.0	299.0	11.0	270.0	?
	Oberburg	Oui	1970	1.90-12.90	200	540	3.0	.000	.031	.005	.0	106.0	20.0	126.0	?
	Reinach	Oui	1981	1.90-12.90	600	280	1.1	1.500	.100	.070	26.0	234.5	1.5	262.0	?
	Schänzli	-	1978	1.90-12.90	475	260	2.7	1.000	.200	1.400	22.6	203.0	.4	226.0	?
	N3 Fratten	Oui	1987	1.91-12.91	330	500	.0	.000	.121	.086	.0	90.5	125.2	215.7	?
	N3 Hof	Oui	1987	1.91-12.91	500	500	.0	.000	.159	.086	.0	186.9	101.7	288.6	?
SG	N3 Murgwald	Oui	1987	1.91-12.91	1400	500	.0	.420	.204	.132	20.2	339.4	471.1	830.7	?
	N3 Quarten	Oui	1987	1.91-12.91	1350	500	.0	.420	.213	.132	19.6	340.8	345.1	705.5	?
	N3 Raischibe	Oui	1987	1.91-12.91	800	500	.0	.280	.152	.132	9.7	177.6	251.4	438.7	?
	N1 Rosenberg	Oui	1987	1.91-12.91	1450	670	.0	1.287	.170	.226	380.2	573.3	466.6	1420.2	?
	SN1 Schoren	Oui	1987	1.91-12.91	1100	670	.0	.883	.138	.120	337.1	471.8	468.4	1277.3	?
	N1 Stephanshorn	Oui	1987	1.91-12.91	600	670	.0	.000	.109	.051	.0	206.1	176.2	382.3	?
	N1 Baregg	Oui	1970	1.90-12.90	1130	430	1.0	.630	.230	.040	15.0	?	?	1036.0	?
	Biaschina	Oui	1984	1.90-12.90	539	580	3.4	.360	.109	.072	40.0	313.7	83.7	437.4	?
	Gribiasco	Oui	1984	1.90-12.90	160	640	2.0	.000	.050	.011	.0	69.3	.0	69.3	?
	Pardorea	Oui	1983	1.90-12.90	561	870	5.0	.360	.110	.082	24.0	343.0	112.2	479.2	?
AG	Plumogna	Oui	1983	1.90-12.90	1606	770	4.5	1.170	.173	.159	319.6	726.6	112.2	1193.4	?
	Casletto	Oui	1983	1.90-12.90	202	830	5.0	.000	.081	.055	.0	174.7	.0	174.7	?
	Stalvedro	Oui	1979	1.90-12.90	340	1090	3.0	.000	.088	.037	.0	289.8	.0	289.8	?
	Quinto	Oui	1980	1.90-12.90	293	980	.4	.000	.124	.037	.0	279.7	.0	279.7	?
	Taverne	Oui	1973	1.90-12.90	280	360	2.5	.000	.090	.030	.0	345.4	.0	345.4	?
	Viglio	-	1968	1.90-12.90	632	345	2.7	.000	.100	.030	.0	521.7	.0	521.7	?
	Maroggia-Bissone	Oui	1967	1.90-12.90	588	300	1.6	?	?	?	.0	506.9	.0	506.9	?
	Melide-Grancia	Oui	1967	1.90-12.90	1728	300	1.0	2.000	.220	.100	14.8	1424.8	97.9	1537.4	?
	Monte Genéri	Oui	1984	1.90-12.90	1416	470	1.5	.610	.180	.100	30.9	894.5	372.6	1298.0	?
	Monte Piottino	Oui	1983	1.90-12.90	842	920	3.0	.360	.126	.080	11.8	458.3	100.4	570.6	?
VD	N9 Belmont	Oui	1974	1.91-12.91	360	655	3.6	.000	.073	.008	.0	116.1	61.7	177.8	?
	N9 Chauderon	Oui	1974	1.91-12.91	180	630	1.4	.000	.050	.006	.0	67.2	49.3	116.5	?
	N9 Criblette	Oui	1974	1.91-12.91	270	623	2.5	.000	.089	.006	.0	124.0	35.5	159.6	?
	N9 Flonzaley	Oui	1974	1.91-12.91	770	610	1.8	.062	.081	.038	3.5	130.7	265.9	400.1	?
	N9 Glion	Oui	1970	1.91-12.91	1300	510	2.5	.180	.090	.041	33.6	318.8	194.1	546.4	?
	N9 L'Arzlier	Oui	1988	1.91-12.91	410	411	.9	.000	.058	.029	.0	251.6	140.2	397.8	?

RAVEL LNC: Résultats des relevés concernant la consommation d'électricité des tunnels routiers

b) Tunnel à 1 tube bidirectionnel

Canton	Nom	Sur une route nationale	Mise en service	Période considérée	Longueur du tunnel [m]	Altitude [m]	Pente [%]	Puissance installée (les 2 tubes)			Consommation d'électricité (2 tubes)			Données de trafic	
								Ventilation [MW]	Eclairage [MW]	Inst. annexes [MW]	Ventilation [MWh/a]	Eclairage [MWh/a]	Inst. annexes [MWh/a]	Total [MWh/a]	[veh/a] [% PL]
ZH	Milchbuck	Oui	1985	1.91-12.91	1910	450	2.7	1.220	.147	1.400	2.767	500.0	2320.0	3455.0	13000000
BE	NB Chiebalim	Oui	1988	1.90-12.90	1323	650	1.2	.220	.080	.050	.350	1.5	150.3	76.2	228.0
	NB Giessbach	Oui	1988	1.90-12.90	3340	630	1.6	.920	.140	.140	1.200	92.3	302.2	140.0	534.5
	NB Leimern	Oui	1973	1.90-12.90	250	675	.0	.000	.160	.060	.220	.0	?	?	234.0
	NB Lüttschinen	Oui	1988	1.90-12.90	740	570	.7	.140	.080	.060	.280	.6	65.0	49.0	114.6
	NB Sengg	Oui	1988	1.90-12.90	830	640	.7	.110	.070	.050	.230	.9	143.0	83.8	227.7
UR	Spiezwilfer	-	1990	7.90-6.91	553	660	.0	.000	.050	.040	.090	.0	?	?	?
	Gotthard	Oui	1980	1.91-12.91	16918	1100	.4	24.300	1.000	2.700	28.000	6075.0	4899.0	3602.0	14576.0
SZ	N4 Nosi	Oui	1965	4.89-3.90	1142	440	1.7	.254	.109	.200	.563	68.0	400.0	60.0	528.0
NW	Lopper	Oui	1984	1.91-12.91	1562	450	4.5	.508	.085	.154	.747	219.4	678.2	114.0	1011.6
SH	Hemishofen	-	1980	1.91-12.91	116	413.5	3.0	.000	.011	.000	.011	.0	7.7	.0	7.7
GR	Alvaschein	Oui	1975	1.91-12.91	950	880	?	.156	.078	.010	.244	47.0	373.3	.0	420.3
	Bärenburg	Oui	1970	1.91-12.91	1028	1150	5.0	.080	.050	.020	.150	70.0	200.0	40.0	310.0
	Bargias	Oui	1967	1.91-12.91	416	930	.6	.000	.037	.000	.037	.0	110.2	.0	110.2
	Brusei	Oui	1972	1.91-12.91	1273	1320	6.0	.048	.033	.022	.103	15.0	50.0	30.0	95.0
	Calfreisen	-	1982	1.91-12.91	425	1200	?	.000	.022	.000	.022	.0	77.8	.0	77.8
	Cassanawald	Oui	1986	1.91-12.91	1235	1570	.0	.222	.109	.015	.346	50.0	300.0	5.0	355.0
	Clausaure	-	1988	1.91-12.91	370	?	?	.000	.027	.000	.027	.0	72.7	.0	72.7
	Chlus	-	1989	1.91-12.91	852	573	.0	.092	.054	.065	.211	15.6	120.9	69.3	205.8
	Frauentobel	-	1967	1.91-12.91	329	?	?	.000	.026	.000	.026	.0	45.5	.0	45.5
	Isola Bella	Oui	1983	1.91-12.91	2440	600	.0	1.700	.250	.050	2.000	301.0	1293.0	81.3	1675.3
	Landrife	Oui	1972	1.91-12.91	976	1380	6.0	.024	.024	.007	.055	15.0	80.0	5.0	100.0
	Landwasser	-	1974	1.90-12.90	2800	1300	2.0	1.048	.103	?	?	22.2	451.3	64.1	537.6
	Rotsch	-	1990	1.91-12.91	218	1370	.5	.000	.030	.000	.030	.0	74.4	.0	74.4
	Salezza	-	1987	1.91-12.91	391	1560	?	.000	.002	.003	.004	.0	?	?	?
	Taferna	-	1991	1.91-12.91	288	1380	.5	.000	.032	.000	.032	.0	87.8	.0	87.8
	Passmal	-	1966	1.91-12.91	450	880	?	.000	.044	.005	.049	.0	99.5	17.5	117.0
	Piazzas	Oui	1983	1.91-12.91	205	600	?	.000	.055	.006	.061	.0	151.3	2.2	153.5
	Rofla	Oui	1970	1.91-12.91	1077	1250	6.0	.080	.044	.017	.141	35.0	200.0	65.0	300.0
	Rongellen 1	Oui	1956	1.91-12.91	223	750	8.3	.000	.026	.002	.028	.0	45.9	.2	46.1
	Rongellen 2	Oui	1958	1.91-12.91	625	850	5.9	.110	.044	.002	.156	14.7	150.8	.7	166.3
	Rongellen 3	Oui	1958	1.91-12.91	133	880	3.0	.000	.022	.000	.022	.0	31.1	.0	31.1
	San Bernardino	Oui	1967	1.91-12.91	6600	1630	.0	3.000	.700	.300	4.000	400.0	2250.0	850.0	3500.0
	Soils	-	1971	1.91-12.91	1140	880	?	.182	.053	.010	.245	78.7	246.9	.0	325.6
	Traversa	Oui	1970	1.91-12.91	387	1310	1.0	.000	.040	.004	.044	.0	100.0	20.0	120.0
	Viamala	Oui	1967	1.91-12.91	742	900	5.3	.110	.046	.005	.161	9.8	218.0	1.8	229.7
	Weggenhaus	Oui	1967	1.91-12.91	410	940	.6	.000	.022	.000	.022	.0	80.3	.0	80.3
AG	NK 131 Zurzach	-	1989	1.90-12.90	1290	330	.6	.457	.078	.080	.615	?	?	?	?
GE	OA 5308 Carouge	-	1981	1.90-12.90	475	386	.7	.051	.053	.004	.108	?	?	?	?
	OA 3501 Ferney	-	1959	1.90-12.90	430	410	.1	.080	.140	.005	.225	?	?	?	?

Total des tunnels à tubes unidirectionnels (a)	52582				44.997	6.796	5.091	56.884	3184.3	19994.0	7954.9	37193.3
Total des tunnels à tubes bidirectionnels (b)	56862				35.112	4.174	5.485	43.620	8166.7	14056.1	7697.3	31681.7

A N N E X E 3

Grandeurs caractéristiques et valeurs établies lors des relevés concernant la consommation d'électricité des tunnels routiers

RAVEL LNC: Grands caractéristiques et valeurs établies lors des relevés concernant la consommation d'électricité des tunnels routiers

a) Tunnel à 2 tubes unidirectionnels

Canton	Non	Puissance spécifique installée			Cosomation par unité de longueur			Consommation rapportée au trafic			Durée d'utilisation		
		Venti- lation	Eclai- rage	Inst.- annexes	Total	Venti- lation	Eclai- rage	Inst.- annexes	Total	Venti- lation	Eclai- rage	Inst.- annexes	Total
		[MW/km]	[MW/km]	[MW/km]	[MW/a.km]	[MWh/a.km]	[MWh/a.km]	[MWh/a.km]	[MWh/a.km]	[MWh/vhc.km]	[h/a]	[h/a]	[h/a]
ZH	Gubrist	1.39	.08	.17	1.63	91	400	430	921	3.9	17.0	18.3	39.2
	N6 Allmend	.23	.10	.08	.42	?	?	?	426	?	?	?	39.4
	N1 Brünnen	.39	.22	.16	.76	?	?	?	1031	?	?	?	157.6
	N8 Rugen	.31	.13	.10	.54	?	?	?	467	?	?	?	163.7
LU	Eich	.29	.11	.09	.49	7	483	224	713	.5	40.0	18.6	59.1
	Mariazell	.00	.45	.23	.68	0	714	332	1045	.0	59.1	27.5	86.6
	Rathausen	.38	.15	.08	.61	24	540	251	816	2.1	47.0	21.9	71.0
	Reussport	.30	.29	.13	.72	10	1084	251	1344	.4	45.1	10.4	55.9
NW	Sonnenberg	.98	.07	.39	1.44	64	383	404	852	4.1	24.6	26.0	54.6
	Seelisberg	1.82	.12	.11	2.05	77	432	132	641	11.9	66.7	20.4	99.0
	Kerzenzer (x2)	.64	.07	.01	.72	?	?	?	649	?	?	?	?
	Schwarzwald	1.50	.14	.00	1.64	75	648	0	723	4.3	37.6	.0	42.0
BS	Arisdorf	.61	.09	.03	.73	49	374	1	424	3.3	25.3	.0	28.7
	Belchen	1.15	.05	.03	1.23	195	300	2	497	14.3	22.0	.1	36.4
	Ebenrain	.00	.13	.01	.14	0	673	29	701	.0	49.3	2.1	51.4
	Oberburg	.00	.16	.03	.18	0	530	100	630	.0	38.8	7.3	46.2
BL	Reinach	2.50	.17	.12	2.78	43	391	3	437	3.6	32.3	.2	36.1
	Schänzli	2.11	.42	.42	2.95	48	427	1	476	3.1	27.6	.1	30.7
	N3 Fratten	.00	.37	.26	.63	0	274	379	654	.0	37.4	51.8	89.2
	N3 Hof	.00	.32	.17	.49	0	374	203	577	.0	51.0	27.8	78.8
SG	N3 Murgwald	.30	.15	.09	.54	14	242	336	593	2.0	33.1	45.9	81.0
	N3 Quarten	.31	.16	.10	.57	15	252	256	523	2.0	34.5	34.9	71.3
	N3 Ratschibe	.35	.19	.17	.71	12	222	314	548	1.6	30.3	42.9	74.9
	N1 Rosenberg	.89	.12	.16	1.16	262	395	322	979	15.6	23.5	19.1	58.3
AG	SNI Schoren	.80	.13	.11	1.04	306	429	426	1161	30.6	42.9	42.6	116.1
	N1 Stephanshorn	.00	.18	.09	.27	0	344	294	637	.0	22.8	19.5	42.2
	N1 Baregg	.56	.20	.04	.80	13	?	?	917	.5	?	?	35.7
	Biaschina	.67	.20	.13	1.00	74	582	155	812	11.6	91.1	24.3	127.1
TI	Gribiasco	.00	.31	.07	.38	0	433	0	433	.0	69.8	.0	69.8
	Pardorea	.64	.20	.15	.98	43	611	200	854	6.9	98.5	32.2	137.7
	Piumogna	.73	.11	.10	.94	199	452	70	721	32.1	72.9	11.3	116.2
	Casletto	.00	.40	.27	.67	0	865	0	865	.0	139.4	.0	139.4
VD	Statvedro	.00	.26	.11	.37	0	852	0	852	.0	145.9	.0	145.9
	Quinto	.00	.42	.13	.55	0	955	0	955	.0	163.5	.0	163.5
	Taverne	.00	.32	.11	.43	0	1233	0	1233	.0	111.9	.0	111.9
	Viglio	.00	.16	.05	.21	0	826	0	826	.0	75.4	.0	75.4
VD	Maroggia-Bissone	?	?	?	?	0	862	0	862	.0	62.3	.0	62.3
	Melide-Grancia	1.16	.13	.06	1.34	9	825	57	890	.5	52.3	3.6	56.4
	Monte Ceneri	.43	.13	.07	.63	22	632	263	917	2.0	58.9	24.5	85.4
	Monte Piottino	.43	.15	.10	.67	14	544	119	678	2.3	87.7	19.2	109.2
VD	N9 Belmont	.00	.20	.02	.22	0	323	271	494	.0	17.7	17.1	27.1
	N9 Chauderon	.00	.28	.03	.31	0	373	274	647	.0	20.5	15.0	35.5
	N9 Crêtlette	.00	.33	.02	.35	0	459	132	591	.0	25.2	7.2	32.4
	N9 Flonzaley	.08	.10	.05	.24	5	170	345	520	.2	9.3	18.9	28.5
VD	N9 Gilton	.14	.07	.03	.24	26	245	149	420	2.1	20.4	12.4	34.9
	N9 L'Arzillier	.00	.14	.07	.21	0	628	342	970	.0	82.0	44.6	126.6

b) Tunnel à 1 tube bidirectionnel

AG	NK 131 Zurzach
GE	OA 5308 Carouge
	OA 3501 Ferney

A N N E X E 4

Tunnels du réseau routier national suisse non recensés

La liste qui suit mentionne sur la base de [2] tous les tunnels du réseau routier national suisse pour lesquels nous ne possédons pas d'informations valables concernant leur consommation d'électricité. En ce qui concerne le reste du réseau routier, il n'existe pas de liste complète de tous les tunnels existants. On peut cependant admettre que l'importance des tunnels non recensés en-dehors du réseau routier national est négligeable.

RAVEL LNC: Tunnelés du réseau routier national suisse non recensés

Base: Information sur les routes nationales 1992

1/2

Canton	Objet	Longueur du tunnel [m]		Nombre de pistes	Système de venti- lation *)	Mise en service
		1 tube	2 tubes			
ZH	N1					
	Tagelswangen	-	128	3 + 3	-	11.12.74
	Wintherturstrasse	-	350	2 + 2	L	20.08.80
	Rasterzwischenstück	-	140	2 + 2	-	20.08.80
	Schwamendingerstrasse	-	220	2 + 2	L	20.08.80
	Unterführung unter N1c	90	-	2	-	01.09.81
ZH	N1c					
	Stelzen	-	375	2 + 2	-	21.06.85
	Niederurdorf	-	450	2 + 2	-	18.08.87
BS	N2					
	Prattelerstrasse (SN)	148	-	2	-	25.10.78
	Singer I (SN)	150	-	2	-	05.12.85
	Singer II (SN)	320	-	2	-	05.12.85
BL	Schänzli (Zubringer)	-	510	2 + 2	L	25.10.78
NW	Acheregg Nord	281	-	2	-	11.12.65
	Acheregg Süd	753	-	2	HQ	11.12.65
	Acheregg Ost (Abfahrt Brünig)	78	-	2	-	11.12.65
UR	Fischlauri	-	105	2 + 2	-	12.12.80
	Taubach Erstfeld	-	260	2 + 2	-	05.07.79
	Platti	-	440	2 + 2	-	23.06.72
	Intschi I	-	130	2 + 2	-	23.06.72
	Intschi II	-	100	2 + 2	-	23.06.72
	Langlauri	-	350	2 + 2	-	23.06.72
	Ried	-	260	2 + 2	-	23.06.72
	Teiftal	-	520	2 + 2	-	23.06.72
	Naxberg	-	290	2 + 3	-	05.09.80
	Schöllenen	50	-	2	-	1956
	Urnerloch	65	-	2	-	1956
	Hospental	25	-	2	-	1956
TI	Banchi	70	-	2	-	14.07.67
	Castoni di Fieud	810	-	2	L	14.07.67
	Pambio/Gentilino	-	580	2 + 2	-	05.12.68
SZ	N3					
	Blatt Wollerau	-	510	2 + 2	-	11.12.68
GL	Buchberg (Zubringer)	-	500	2 + 2	-	04.10.77
	Ofenegg	370	-	2	-	11.07.64
	Weisswand	460	-	2	-	11.07.64
	Standenhorn	230	-	2	-	11.07.64
	Glatzwand	100	-	2	-	11.07.64
	Mühlehorn	260	-	2	-	11.07.64
	Stutz	144	-	2	-	11.07.64
SZ	N4					
	Engiberg	-	263	2 + 2	-	03.05.78
	Schöneegg	-	197	2 + 2	-	03.05.78
	Hinter Wasi Nord	40	-	2	-	
	Hinter Wasi Süd	40	-	2	-	
	Schiferenegg	135	-	2	-	
	Dorni	20	-	2	-	
UR	Kleine Galerie	162	-	2	-	20.12.82
	Buggital	113	-	2	-	11.04.82
	Stutzegg	320	-	2	-	10.12.86
	Tellplatte	234	-	2	-	13.07.90
	Axen (neu)	390	-	2	-	
	Zingel	354	-	2	-	1977
	Gumpisch	100	-	2	-	07.87
Report		6312	6678			

*) L = Ventilation longitudinale par des ventilateurs à carénage
HQ = Ventilation semi-transversale

RAVEL LNC: Tunnels du réseau routier national suisse non recensés

Base: Information sur les routes nationales 1992

2/2

Canton	Objet	Longueur du tunnel [m]		Nombre de pistes	Système de venti- lation *)	Mise en service
		1 tube	2 tubes			
NE	N5					
	Ligerz	2483	-	2	HQ/Q	7.05.91
	Tranchée d'Auvernier	-	180	2 + 2	-	29.11.75
	Prébarreau	119	-	3	-	21.12.84
OW	N8					
	Z'matt	102	-	2	-	19.12.79
NW	Verbindung N8/N2 (Lopper)	346	-	1	L	07.12.84
VS	N9					
	Condémines St-Maurice	-	1300	2 + 2	L	06.06.88
	Champsec Sion	-	710	2 + 2	-	16.12.91
	Gesterna	110	-	2	-	06.11.75
	Bächwald	120	-	2	-	06.11.75
	Schallberg	465	-	2	-	06.11.75
	Kap I Simplon	30	-	2	-	1970
	Kap II Simplon	140	-	2	-	1970
	Kulm Simplon	400	-	2	-	1970
	Gabi	70	-	2	-	1970
	Casermetta	300	-	2	-	1970
	Gstipf	215	-	3	-	07.05.86
BE	N12					
	Thörishaus	-	110	2 + 2	-	10.12.76
	D'Avry	-	170	2 + 2	-	23.11.81
FR	Gumefens	-	340	2 + 2	-	23.11.81
GR	N13					
	Gei	418	-	2	-	01.12.67
	Cresta	100	-	2	-	31.10.72
	Benabbia Mesocco	150	-	2	-	20.11.75
	Gorda Mesocco	130	-	2	-	20.11.75
BE	N16					
	Nr.8 Taubenloch	1010	-	2	L	1980
	Nr.6 Taubenloch	480	-	2	-	1978
	Nr.5 Taubenloch	570	-	2	-	1978
	Rondchâtel Taubenloch	180	-	2	-	1965
	Nr.4 Taubenloch	115	-	2	-	1970
	Nr.3 Taubenloch	123	-	2	-	1970
	Nr.2 Taubenloch	200	-	2	-	1970
	Nr.1a+1b (Bözingen)	-	455	2 + 2	-	1970
Total de tous les tunnels non recensés		14688	9943			

*) L = Ventilation longitudinale par des ventilateurs à carénage
HQ = Ventilation semi-transversale
Q = Ventilation transversale

ANNEXE 5

Liste des abréviations et unités utilisées

RAVEL	Programme d'impulsion "Utilisation rationnelle de l'électricité" de l'Office Fédéral des Questions Conjoncturelles
LNC	Domaine de RAVEL pour "Lois, normes et contrats" (en allemand GNV pour Gesetze, Normen, Verträge) (Domaine 41)
OFR	Office Fédéral des Routes
L	Ventilation longitudinale par ventilateurs à carénage
HQ	Ventilation semi-transversale (Arrivée d'air par canaux de distribution)
Q	Ventilation transversale (Arrivée d'air par canaux de distribution et aspiration par canaux de reprise)
P	Aspiration ponctuelle de l'air
PL	Poids lourd
Vhc	Véhicule à moteur

Unités de puissance			
W	kW	MW	GW
1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}
10^3	1	10^{-3}	10^{-6}
10^6	10^3	1	10^{-3}
10^9	10^6	10^3	1

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Nm/s}$$

Unités énergétiques					
J	kJ	MJ	Wh	kWh	MWh
1	10^{-3}	10^{-6}	$0.278 \cdot 10^{-3}$	$0.278 \cdot 10^{-6}$	$0.278 \cdot 10^{-9}$
10^3	1	10^{-3}	0.278	$0.278 \cdot 10^{-3}$	$0.278 \cdot 10^{-6}$
10^6	10^3	1	278	0.278	$0.278 \cdot 10^{-3}$
$3.6 \cdot 10^3$	3.6	$3.6 \cdot 10^{-3}$	1	10^{-3}	10^{-6}
$3.6 \cdot 10^6$	$3.6 \cdot 10^3$	3.6	10^3	1	10^{-3}
$3.6 \cdot 10^9$	$3.6 \cdot 10^6$	$3.6 \cdot 10^3$	10^6	10^3	1

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}$$

Bestellung von RAVEL-Dokumentationen:

Name, Vorname: _____

Firma: _____

Strasse: _____

PLZ, Ort: _____

Datum, Unterschrift: _____

Bundesamt für Konjunkturfüragen

Impulsprogramm RAVEL

Belpstrasse 53

3003 Bern

FAX: 031/372 41 02

Titel	Autor	Bestellnummer	Preis	Bestellung
Allgemeine Dokumentationen zu RAVEL				
Broschüre "Neue Handlungsspielräume mit weniger Strom"		724.301 d	gratis	
Broschüre "L'économie d'électricité crée de nouveaux champs d'action"		724.301 f	gratis	
Broschüre "Nuove libertà d'azione con meno energia elettrica"		724.301 i	gratis	
Untersuchungsergebnisse: "47 heisse Spuren zu lohnenden Stromsparpotentialen"		724.301.3 d	gratis	
Untersuchungsprojekte		724.301.1 d	gratis	
Weiterbildung		724.301.2 d	gratis	
IMPULS - Zeitschrift für IP Bau, RAVEL und PACER			gratis	
Construction et Energie - Bulletin des 3 programmes d'impulsions			gratis	
IMPULSO - Bollettino per PI Edil, RAVEL e PACER			gratis	
RAVEL-Lehrmittel				
Strom rationell nutzen - RAVEL Handbuch		ISBN 3 7218 1830 3	76.-	Buchhandel
Manuel RAVEL - l'électricité à bon escient		ISBN 3 7218 1830 3	76.-	Buchhandel
RAVEL-Tagung 1991: Start zu einer neuen fachlichen Kompetenz		724.300.1 d/f	25.-	
RAVEL-Tagung 1992: Mehr Büro mit weniger Strom		724.300.2 d/f	30.-	
RAVEL-Tagung 1993: Energie-Fitness in der Industrie		724.300.3 d/f	25.-	
RAVEL-Tagung 91-93: 3er Set		724.300.0 d/f	50.-	
RAVEL-Industrie-Handbuch	A. Huser	724.370 d		
Erfassung des Energieverbrauchs (2 Bücher und Bon für Diskette)	A. Huser	724.371.0 d	27.-	
Erfassung des Energieverbrauchs (Diskette und Band 1: Leitfaden für Ind. + DL)	A. Huser	724.371.1 d	12.-	
Erfassung des Energieverbrauchs (Band 2: Anleitung für den Beauftragten)	A. Huser	724.371.2 d	15.-	
Energie - ihre Bedeutung in der Industrie	D. Spreng	724.316 d	14.-	
Analyse des Energieverbrauchs	F. Wolfart	724.318 d	31.-	
Messen von Leistungen und Energien	C. Jaun	724.377 d		
Organisation und Energiemanagement	R. Hasenböhler	724.374 d		
Küche und Strom		724.322 d		
Elektrische Antriebe: Auslegung und Betriebsoptimierung	K. Reichert	724.331 d	38.-	
Umwälzpumpen: Auslegung und Betriebsoptimierung	E. Füglistner	724.330 d	33.-	
Energie-effiziente Lüftungstechnische Anlagen in der Haustechnik	U. Steinemann	724.307 d	38.-	
Elektroantriebe	A. Neyer	724.332 d	9.-	
Eclairage - Elements d'éclairagisme	J.-L. Scartezzini	724.329.1 f	22.-	
Haushaltsgeräte - Leitfaden zur Gerätewahl	F. Wolfart	724.347 d	22.-	
Geräte zur Wassererwärmung	H. Hediger	724.349 d	36.-	
Elektroheizungen - Sanierung und Ersatz in Wohnbauten	H.P. Meyer	724.346 d	28.-	
Elektrizität und Wärme (Grundlagen)	H.R. Gabathuler	724.357 d		
Wärmepumpen	Th. Baumgartner	724.356 d	38.-	
Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung	R. Brunner	724.355 d	15.-	
Elektrizität im Wärmesektor (WKK, WP, WRG)	H.R. Gabathuler	724.354 d	8.-	
Electricité et chaleur	P. Renaud	724.354 f	8.-	
Gebäudeautomation - Inbetriebsetzung und Abnahme	J. Willers	724.363 d	24.-	

Bestellung von RAVEL-Dokumentationen:

Name, Vorname: _____

Firma: _____

Strasse: _____

PLZ, Ort: _____

Bundesamt für Konjunkturfragen

Impulsprogramm RAVEL

Belpstrasse 53

3003 Bern

Datum, Unterschrift: _____

FAX: 031/372 41 02

Titel	Autor	Bestellnummer	Preis	Bestellung
RAVEL-Materialien				
Renouvellement d'air: Extraction d'air des bains, WC, cuisines	G. Spoehrle	724.397.11.51 f	12.-	
Conditionnement des locaux: études de cas	C. Brunner	724.397.11.53 d/f	12.-	
Conditionnement des locaux: humidification, déshumidification	M. Borel	724.397.11.54 f	12.-	
Pompes de circulation - Diminuer la puissance installée et l'énergie cons.	L. Keller	724.397.11.55 f	12.-	
Fallstudie Betrieb und Unterhalt einer Lüftungsanlage	R. Naef	724.397.11.56 d	12.-	
Grundbegriffe der Energiewirtschaft (Glossar)	R. Leemann	724.397.12.51.1 d	12.-	
Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen	R. Leemann	724.397.12.51.2 d	12.-	
Kennwerte betrieblicher Prozessketten	F. Wolfart	724.397.12.54 d	12.-	
Valeurs caractéristiques de processus industriels	F. Wolfart	724.397.12.54 f	12.-	
Elektrische Produktionsverfahren	Hp. Meyer	724.397.12.55 d	12.-	
Energetischer Vergleich pneumatischer, hydraulischer und e.m. Antriebe	J.E. Albrecht	724.397.12.56 d	12.-	
Energieverbrauch in gewerblichen Küchen	J. Tercier	724.397.13 d	12.-	
Fallstudie Testküche	L. Perincioli	724.397.13.52 d	12.-	
Energieverbrauch von Rechner- und Kommunikationsanlagen im Detailhandel	R. Moser	724.397.13.53 d	12.-	
Zuverlässigkeit und Energieverbrauch von elektronischen Geräten	A. Birolini	724.397.13.56 d	12.-	
Elektrizitätsbedarf von Textildruckmaschinen	W. Hässig	724.397.21.51 d	12.-	
Kühlmöbel im Lebensmittelhandel	U. Kaufmann	724.397.21.52 d	12.-	
Wirkungsgradoptimierung der Druckluftherzeugung und Verteilung	F. Müntst	724.397.21.54 d	12.-	
Analyse du rendement énergétique de processus industr. de prod.	M. Bongard	724.397.21.55 f	12.-	
Analyse processus industriels sélectionnés: utilisation de force dans la chimie	G. Mamane	724.397.21.56 f	12.-	
Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie	U. Fischli	724.397.21.61 d	12.-	
Elektrizitätsbedarf von Industrielüftungen	U. Fischli	724.397.21.62 d	12.-	
Lumière, Licht: Etudes de cas, Fallstudien	R. Miloni	724.397.22.51 d/f	12.-	
Stromverbrauchserhebung in Haushalten	A. Huser	724.397.23.51 d	12.-	
Wäschetrocknen im Mehrfamilienhaus	J. Nipkow	724.397.23.52 d	12.-	
Kühlschränke für Hotelzimmer und Studios	M. Beer	724.397.23.53 d	12.-	
Energieverbrauch von elektronischen Bürogeräten	A. Huser	724.397.23.54 d	12.-	
Energierellevante Aspekte von elektronischen Bürogeräten	R. Strauss	724.397.23.55 d	12.-	
Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten	U. Graune	724.397.23.56/57 d	12.-	
Warmwasserbedarfszahlen und Verbrauchscharakteristik	M. Blatter	724.397.23.58 d	12.-	
Sanierung und Ersatz von Elektroheizungen: Zusatzheizungen	Hp. Meyer	724.397.23.59 d	12.-	
WRG / AWN-Checkliste	R. Brunner	724.397.31.52 d	12.-	
Abgeschlossene und laufende Projekte in den Bereichen WKK und WP	Th. Baumgartner	724.397.31.55 d	12.-	
Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung	V. Kyburz	724.397.31.56 d	12.-	
Betriebsoptimierung/Erfolgskontrolle von WP- und WKK-Anlagen	R. Bühler	724.397.31.57 d	12.-	
Interne Wärmelasten von Betriebseinrichtungen	B. Nussbaumer	724.397.32.51 d	12.-	
Nachweis der Wirksamkeit der IGA und des Energiemanagements	M. Züst	724.397.32.53 d	12.-	
Einsatz der IGA für die Betriebsführung	S. Graf	724.397.32.54 d	12.-	
Fallstudie Tunnellüftung	H. Hatz	724.397.41 d	12.-	
Kühltemperaturen im Lebensmittelhandel	A. Kümin	724.397.41.52 d	12.-	
Bedeutung organisat. Fragen für Planung energ. Gebäude/Haustechniknl.	U. Steinemann	724.397.41.57 d/f	12.-	
Erhebung des Elektrizitätsverbrauchs bestehender Strassentunnel	Steinemann/Borel	724.397.41.58 d/f	12.-	
RAVEL zahlt sich aus - Prakt. Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechn.	A. Müller	724.397.42.01 d	12.-	
RAVEL, une économie d'argent - Guide prat. pour les calculs de rentabilité	A. Müller	724.397.42.01 f	12.-	
Energiesparstrategie für Versorgungsunternehmen	F. Spring	724.397.42.51 d	12.-	
Benutzerverhalten im Bürobereich	E. Nussbaumer	724.397.42.55 d	12.-	
Rationelle Stromnutzung - Einfl. neuer Technolog. auf künft. Weiterbildung	W. Baumgartner	724.397.46.51 d	12.-	
Rationelle Stromnutzung - Einfluss neuer Technologien: Kurzfassung	W. Baumgartner	724.397.46.52 d	12.-	