

# INHALT

	Seite
1. Einleitung	1
2. Wirkungen	3
2.1 Freileitungen	3
a) Visuelle Belastung	3
b) Beeinträchtigung der Natur	4
c) Beeinträchtigung der Siedlungsfunktion	5
2.2 Erdkabel	5
3. Quantifizierung der Wirkungen und Monetarisierung	7
3.1 Quantifizierung	7
3.2 Monetarisierung der externen Kosten	9
3.3 Monetarisierung der Vermeidungskosten von Freileitungen	10
Literatur	13

## 1. EINLEITUNG

(1) Stromnetze transportieren die Elektrizität vom Ort der Erzeugung zum Ort des Verbrauches. Kraftwerkanlagen sind häufig relativ standortgebunden (Wasserkraftwerke, Bedarf an Kühlwasser für thermische Kraftwerke). Je kürzer die Entfernungen zwischen dem Ort der Erzeugung und dem Ort des Verbrauches sind, desto kürzer können die Netze sein.

(2) Stromnetze stellen ferner einen Verbund zwischen den stromerzeugenden Kraftwerken einerseits und den Stromverbrauchern andererseits her, mit dem Ziel

- der Sicherung der Versorgung bei Wartungsarbeiten, Störungen und Ausfällen. Solche geplanten oder ungeplanten Unterbrechungen können sowohl die Kraftwerke als auch das Netz selbst betreffen. Ihr Ausgleich erfordert die Vorhaltung entsprechender Uebertragungskapazitäten. Für je mehr mögliche Unterbrechungsfälle und Wahlfreiheiten bei Wartungsarbeiten man Vorsorge treffen will, desto dichter muss das Uebertragungsnetz geknüpft werden.
- des wirtschaftlichen Einsatzes der Betriebsmittel auf den verschiedenen Lastebenen und eines Belastungsausgleichs aufgrund unterschiedlicher Nachfrageprofile. So sind z.B. im Winter wegen der geringeren Produktion der Wasserkraftwerke und der höheren Nachfrage Einfuhren von Strom in die Schweiz aus dem benachbarten Ausland erforderlich, während im Sommer die Nachfrage geringer ist und in den Wasserkraftwerken mehr Strom erzeugt wird, der ausgeführt werden kann. Aehnliche Verbundvorteile können auch für kürzere Zeitintervalle bis hin zur Sekundenebene bestehen. Verbundleistungen sind im allgemeinen um so nützlicher, je unterschiedlicher die Profile (Lastganglinien) der beteiligten Erzeuger und Verbraucher sind. Insellösungen für den Eigenbedarf benötigen keine Versorgungsnetze.

(3) Das Schweizer Stromerzeugungs- und Verteilungsnetz weist folgende Länge auf /Eggenberger/:

	Spannungsebene kV	Freileitungen km	Kabel km
Niederspannung	0,4	3.000	87.000
Mittelspannung	1 - 24	19.200	24.600
Hochspannung	50 - 170	4.800	600
Höchstspannung	220	4.670	31
	380	1.100	0
		32.770	112.231

Angaben über die Entwicklung dieser Grössen in den vergangenen Jahren liegen nicht vor, ebenso Angaben zu der mittleren Uebertragungsentfernung. Die mittlere Uebertragungsentfernung ist die Strecke, über die jede erzeugte Kilowattstunde im Mittel in einer Spannungsebene transportiert wird. In Deutschland ist sie in den vergangenen 30 Jahren wegen des Baues der relativ verbrauchernah gelegenen Kernkraftwerke zurückgegangen /Edwin/.

(4) In der vorliegenden Studie wird wie bei den parallel durchgeführten Arbeiten zu den externen Kosten der Kernenergie und der Stromerzeugung aus Wasserkraft zunächst versucht, qualitativ die Wirkungen festzustellen, die vom Untersuchungsgegenstand ausgehen (Abschnitt 2). In dem darauf folgenden Abschnitt werden diese Wirkungen zunächst in Mengeneinheiten quantifiziert und anschliessend in eine monetäre Bewertung übergeführt.

## 2. WIRKUNGEN

Die Uebertragung und Verteilung von Elektrizität erfolgt einerseits mit Erdkabeln, die vorwiegend im Niederspannungsnetz und immer stärker auch im Mittelspannungsnetz verwendet werden, sowie andererseits mit Freileitungen auf Masten. Diese dominieren in den höheren Spannungsebenen, wobei Hochspannungsleitungen im Bereich der Städte nahezu vollständig als Kabel ausgeführt sind. Die beiden Techniken weisen im Hinblick auf ihre externen Effekte erhebliche Unterschiede auf und werden im folgenden getrennt behandelt.

### 2.1 Freileitungen

#### a) Visuelle Belastung

Freileitungen können das Landschaftsbild in erheblichem Masse beeinträchtigen. Das gilt insbesondere für die Hoch- und Höchstspannungsleitungen, bei denen die Masthöhe 60 und mehr Meter beträgt und wo bis zu sechs Stromkreise aufgelegt sein können. Je nach den topographischen Gegebenheiten und der Trassenführung können Freileitungen über viele Kilometer hin sichtbar sein, z.B. bei einer Trasse, die auf einem Bergrücken verläuft oder ihn überquert. Die visuelle Belastung ist um so stärker, je

- mehr sich die Leitung gegen den Horizont abhebt. Das gilt z.B. bei Waldüberspannungen, die vor dem Sichthintergrund des offenen Himmels eine starke optische Beeinträchtigung erzeugen /Fleckenstein, Rhiem, Palic/. Eine auf halber Höhe oder in einer Waldschneise geführte Trasse ist dagegen vor dem dunklen Hintergrund nur auf kurze Entfernung sichtbar.
- massiver die Freileitung sich darstellt, d.h. je höher die Masten sind, und je mehr Stromkreise aufliegen.
- wertvoller das beeinträchtigte Landschaftsbild ist. Hier können unterschiedliche Landschaftstypen oder Raumnutzungstypen unterschieden werden, wie etwa naturnahe Landschaft, reiner Wirtschaftswald, Gewerbegebiet. Eine spezielle Rolle spielen in diesem Zusammenhang besonders schützenswerte Ansichten, etwa von Ortschaften, die auf jeden Fall von optischen Beeinträchtigungen frei gehalten werden sollten.

b) Beeinträchtigung der Natur

Freileitungen können unter ungünstigen Umständen die Natur erheblich beeinträchtigen. Nennenswert sind vor allem die Wirkungen auf die Vogelwelt und die Folgen einer Walddurchquerung. Andere Folgen, wie etwa die Eintragung von Schwermetallen, sind ohne nennenswerte Bedeutung. In der Nähe von Hochspannungsmasten muss allerdings mit einer Ueberschreitung der Richtwerte für Schwermetalle gerechnet werden. Es wird empfohlen, bei neuen Anstrichen keine schwermetallhaltigen Pigmente mehr zu verwenden.

- **Beeinträchtigung der Vogelwelt**  
Aus den Niederlanden, aus Deutschland und aus Spanien liegen Untersuchungen vor, die berichten, dass unter bestimmten Bedingungen von Freileitungen erhebliche Beeinträchtigungen der Vogelwelt ausgehen können. Wesentliche Einflussgrösse für die Beeinträchtigungen sind die Vogeldichte, die Grösse der Vögel und die Unterscheidung heimische Vögel/Zugvögel. Z.B. wurden in dem andalusischen Donana-Nationalpark, der auf der europäisch-afrikanischen Vogelhauptfluglinie liegt, Anfang der 80er Jahre 2.000 tote Vögel je 100 km Freileitung und Jahr gezählt, darunter mehrere vom Aussterben bedrohte Arten. Bei Zugvögeln ist die Unfallursache meist ein Zusammenstoss mit der Leitung. Diese Wirkung kann letztendlich nur durch Verkabelung beseitigt werden. Grossvögel (Störche, Adler, Uhus) sterben an Kurzschlüssen, wenn sie auf den Masten sitzen (oder ihr Nest bauen) und die Isolierung überbrücken. Diese Wirkung kann durch konstruktive Massnahmen vermieden werden. Für die Schweiz führt die Schweizerische Vogelwarte Sempach im Auftrag des BUWAL z.Zt. eine entsprechende Untersuchung durch, deren Ergebnisse Ende des Jahres 1994 vorliegen werden.
- **Beeinträchtigung durch Walddurchquerung**  
Das Anlegen einer Schneise stellt vor allem in (noch) naturnahen, ökologisch sehr wertvollen Wäldern einen massiven Eingriff dar der schwer wiegt. Bei anderen Wäldern, insbesondere bei reinen Wirtschaftswäldern, die Monokulturen sind und wegen ihres verarmten Artenspektrums in Flora und Fauna keine hohe ökologische Wertigkeit aufweisen, kann die Anlage einer Schneise dagegen zu einer Bereicherung führen, mit einem deutlich höheren Pflanzenartenspektrum als im angrenzenden Hochwald. Diese Aufwertung kann durch Massnahmen zur ökologischen Ausgestaltung noch unterstützt werden /Fleckenstein, Rhiem, Palic/.

c) Beeinträchtigung der Siedlungsfunktion

Hochspannungsfreileitungen in unmittelbarer Nähe von Siedlungen üben eine ungünstige psychologische Wirkung auf die dort wohnenden Menschen aus. Es besteht ein latentes Gefühl der Bedrohung. Dies wird hervorgerufen und verstärkt durch die akustischen Beeinträchtigungen, die bei feuchter Witterung von den Freileitungen ausgehen können. Ferner sind die elektrischen Felder zumindest für besonders "fühlige" Personen spürbar und bringen sich auf diese Weise immer wieder in Erinnerung. Man kann jedoch mit Sicherheit behaupten, dass die elektrischen Felder keine negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Anders steht es um die Wirkung der Magnetfelder. Sie stehen unter dem Verdacht, sich ungünstig auf die menschliche Gesundheit auszuwirken. Dieser Verdacht wird durch mehrere epidemiologische Studien genährt, die für Kinder, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen aufgewachsen sind, ein erhöhtes Risiko feststellen, an Leukämie zu erkranken. Es ist nicht zu widerlegen, dass ein (sehr kleines) Krebs-Risiko besteht. Die Unschädlichkeit der als Ursache in Betracht gezogenen (sehr schwachen) Magnetfelder unter Hochspannungsleitungen kann nicht mehr für jeden Fall als gesichert angesehen werden. Andererseits ist die Evidenz dieser epidemiologisch erbrachten Nachweise nicht besonders stark. Es gibt keine (anerkannte) Vorstellung eines möglichen Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs. Ohne ein solches Modell hängt ein epidemiologischer Nachweis sozusagen in der Luft und kann sich jederzeit durch eine andere Interpretation der Daten und die Einbeziehung anderer Größen auflösen. Daneben macht insbesondere die Messung einer über die Zeit summierten "Dosis" Schwierigkeiten. Ferner ist die Zahl der Fälle mit Leukämieerkrankungen sehr klein, so dass die statistischen Gesetze der grossen Zahl nur mit Einschränkungen angewandt werden können. Das Magnetfeld unter einer Hochspannungsleitung mit 380 kV kann bis zu 25 Mikrottesla betragen. Die sehr konservative Grenzwertempfehlung der Internationalen Strahlenschutzbehörde IRPA beträgt 100 Mikrottesla, also das Vierfache. In Deutschland beträgt der z.Zt. noch gültige Grenzwert 5.000 Mikrottesla. Das natürliche Magnetfeld der Erde ist 50 bis 80 Mikrottesla stark.

## 2.2 Erdkabel

(1) Nieder- und Mittelspannungs-Erdkabel werden in schmalen Gräben (30 cm) in oder entlang bestehender Strassen verlegt /Stöger/. Je nach Kabelart ist ggf. ein mechanischer Schutz durch eine Abdeckung und eine Einbettung in ein Sandbett erforderlich. Das Verlegen des Kabel bewirkt eine Vermischung der gewachsenen Erdschichten und ggf. eine Einbringung von

Fremdmaterial. An der Oberfläche des Kabelgrabens bleibt keine optische Beeinträchtigung zurück. Dies gilt insbesondere bei bergbaulichen Verlegetechniken. Allerdings darf der Kabelgraben nicht überbaut oder mit tiefwurzelnden Pflanzen bepflanzt werden. Weil die Kabeltrasse im allgemeinen bestehenden Strassen folgt, ist sie länger als bei einer gradlinigen Querfeldeinverbindung.

(2) Hochspannungs-Erdkabel werden in etwa 1 m breiten und 1,5 bis 2 m tiefen Gräben verlegt. Sie kommen vor allem in städtischen Gebieten in Anwendung, wo die allfälligen Entschädigungen an die Grundstückseigner für eine Freileitungs-Trasse wegen der hohen Grundstückspreise und der vorhandenen Ueberbauung sehr hoch wären /Angenend, Hippauf, Zinburg/. In den Gräben wird zur mechanischen Stabilisierung eine 20 cm starke Betonbodenplatte eingebracht, und das Kabel wird in Sand verlegt. Das Verlegen des Kabels bewirkt eine Vermischung der gewachsenen Erdschichten und eine Einbringung von Fremdmaterial. Die Verlegung erfolgt im allgemeinen in oder neben öffentlichen Strassen. Eine optische Beeinträchtigung an der Oberfläche ist nicht vorhanden. Von dem Kabel gehen bei einer Betriebstemperatur von 90° C thermische Belastungen aus. Diese können bei entsprechenden Vorkehrungen auf den Bereich des Kabelgrabens beschränkt werden, so dass nicht mit nennenswerter Bodenaustrocknung zu rechnen ist. Werden mehrere Systeme parallel verlegt, ist die benötigte Trassenbreite in Abhängigkeit von der gegenseitigen thermischen Belastung entsprechend grösser und kann 20 bis 30 m betragen /Angenend, Brakelmann, Zinburg/. Unter ungünstigen Umständen kann von dem Kabelgraben eine Drainagewirkung auf die Umgebung ausgehen.

(3) Höchstspannungs-Erdkabel sind erst an verhältnismässig wenigen Stellen eingesetzt und befinden sich zum Teil noch in der technischen Erprobung. Anwendung finden sie heute innerhalb von Kraftwerken und Umspannwerken und nicht in der Fernverteilung. Ueber Verlegebedingungen und davon ausgehende Wirkungen kann nichts gesagt werden.

Aus öldruckisolierten Kabeln kann im Schadensfall Öl austreten und unter ungünstigen Umständen das Grundwasser gefährden. Falls Hochspannungskabel in der weiträumigen Grobverteilung eingesetzt werden, entstehen intensivere Wirkungen auf die Natur. Werden sie abseits bereits vorhandener Strassen geführt, um die Uebertragungslänge zu verkürzen, sind mit ihrem Bau umfangreiche Erschliessungsmassnahmen erforderlich. Sie entfalten eine durchtrennende und zerschneidende Wirkung, wenn sie durch naturnahe Räume geführt werden.

### **3. QUANTIFIZIERUNG DER WIRKUNGEN UND MONETARISIERUNG**

#### **3.1 Quantifizierung**

Die Beschreibung der einzelnen Wirkungen von Uebertragungs- und Verteilungseinrichtungen von Elektrizität hat an vielen Stellen herausgehoben, dass die Intensität der Wirkungen sehr stark von den jeweils örtlich vorhandenen Gegebenheiten abhängt. Eine differenzierte Bestandsaufnahme z.B. der visuellen Beeinträchtigung der Landschaft würde eine systematische Begehung der Freileitungstrassen erforderlich machen. Aehnliches gilt für die Wirkungen der Freileitungen auf die Natur. An welchen Stellen Freileitungen Gebiete überspannen, die besonders schön, wertvoll oder als natürliche Lebensgrundlage bedeutsam sind, lässt sich nur mit kleinräumiger Kartierung (1:10.000) ermitteln. Dabei sind insbesondere die verschiedenen Inventare des Natur- und Heimatschutzes zu beachten. Die Beeinträchtigung der Avifauna ist ebenfalls von den lokalen Gegebenheiten abhängig.

Besonders intensiv sind die Wirkungen sowohl der Freileitungen als auch der Erdkabel, wenn sie absolute Vorranggebiete für den Natur- und Landschaftsschutz tangieren. Ueber den längsten Teil der Trassen sind die Nutzungsansprüche von Freileitungen und Erdkabeln an den Boden jedoch so geartet, dass sie mit anderen Nutzungen verträglich sind und sich mit diesen überlagern und vernetzen. Unter Freileitungen ist z.B. in vollem Umfang (mit Ausnahme der Mastenfüsse) landwirtschaftliche Nutzung möglich, und je nach den Gegebenheiten auch die Nutzung als Wald (bei Ueberspannung) oder Waldrand/Lichtung bei Trassenführung in Schneisen. Freileitungen bis zur Mittelspannungsebene und Erdkabel bis zur Hochspannungsebene (bei Autobahnen eventuell bis zur Höchstspannungsebene) sind mit Strassen gut verträglich. Nur in wenigen Fällen werden Freileitungen und Erdkabel die Trassenfläche exklusiv für sich beanspruchen. Ob diese zuletzt getroffene Aussage auch für den bisher nur theoretischen Fall einer Verkabelung von Höchstspannungsleitungen zutrifft, ist nicht klar. Möglicherweise wird man bei entsprechenden topographischen Gegebenheiten solche Kabel nicht in Trassen sondern in Tunnels verlegen. Einerseits ist die Verlegelänge kürzer und andererseits entfallen die Wirkungen an der Bodenoberfläche.

Eine solche differenzierende Vorgehensweise ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Vielmehr ist ein vereinfachendes und pauschalisierendes Vorgehen erforderlich. Nach dem Vorbild anderer Studien soll hier versucht werden, die von Freileitungen und Erdkabeln ausgehenden Wirkungen in einer Flächengrösse ausdrücken. Die Quantifizierung besteht also darin, für die beeinträchtigenden Wirkungen ein Flächenäquivalent anzugeben.

Tabelle 1: Berechnung der von Freileitungen und Kabeln beeinträchtigten Fläche

	Länge km	Trassenbreite km	reine Trassen- fläche qkm	Gewichtungsfaktor für Wirkungsfläche	beeinträchtigte Fläche qkm
Niederspannung 0,4 kV					
Freileitungen	3.000	0,010	30,0	1	30,0
Kabel	87.000	0,001	87,0	1	87,0
Mittelspannung 1 - 24 kV					
Freileitungen	19.200	0,020	384,0	2	768,0
Kabel	24.600	0,004	98,4	1	98,4
Hochspannung 50-170 kV					
Freileitungen	4.800	0,044	211,2	3	633,6
Kabel	600	0,007	4,2	1,5	6,3
Hochspannung 220 kV					
Freileitungen	4.670	0,055	256,9	5	1.284,5
Kabel	31	0,009	0,3	2	0,6
Höchstspannung 380 kV					
Freileitungen	1.100	0,070	77	8	616,0
Insgesamt	145.001		1.149		3.524,4

Der gegebene Anknüpfungspunkt für eine solche Flächenzuordnung ist die Trassenbreite. Diese ist sehr unterschiedlich und reicht von weniger als 1 m bei Niederspannungs-Erdkabeln bis zu 70 m bei Höchstspannungs-Freileitungen. Die Wirkungen, die von einer Freileitung oder einem Erdkabel ausgehen, reichen jedoch zum Teil weit über die Trasse hinaus. Das wird hier durch entsprechend festgelegte Vervielfältigungsfaktoren zu berücksichtigen versucht. Diese betragen

- 1 bei Niederspannungsleitungen (Kabel und Freileitung)
- 2 bei Mittelspannungsleitungen (Kabel 1)
- 3 bei Hochspannungsleitungen 50 - 170 kV (Kabel 1,5)
- 5 bei Hochspannungsleitungen 220 kV (Kabel 2)
- 8 bei Höchstspannungsleitungen 380 kV (kein Kabel)

Auf diese Weise erhält man für die Gesamtheit aller Wirkungen von Kabeln und Freileitungen ein Flächenäquivalent von 3.524,4 qkm. Das sind 8,5 % der Gesamtfläche der Schweiz. Der weitaus grösste Teil davon entfällt mit 3.332,1 qkm entsprechend 94,2 % auf die Wirkungen der Freileitungen.

### **3.2 Monetarisierung der externen Kosten**

Die Monetarisierung dieses Flächenäquivalents ist problematisch und nur mit sehr groben und pauschalisierenden Annahmen zu bewerkstelligen. Wie in anderen Studien dieser Untersuchungsserie wird hier hilfsweise mit Bewertungsgrössen gearbeitet, die sich in einer deutschen Untersuchung über die Zahlungsbereitschaft von Personen für den gesamten Arten- und Biotopschutz ergeben haben. Sie betragen rd. 400 Fr pro Person und nach Umlegung auf die Gesamtfläche der Schweiz 66.000 Fr je qkm.

Der Betrag von 66.000 Fr/qkm entspricht 0,06 Fr/qm. Im Verhältnis zu dem üblichen Verkehrswert von Flächen ist dies nur ein winziger Bruchteil, und auch im Verhältnis zu den Kosten für Ausgleichsmassnahmen wie z.B. Aufforstung in Höhe von 1-3 Fr/qm ist dieser Betrag äusserst gering.

Andererseits sind die von einer Freileitung oder einem Erdkabel auf die Umgebung ausgehenden Wirkungen im Verhältnis zu einem vollständigen Flächenverbrauch durch Ueberdeckung/Versiegelung und vollständige Abwesenheit von Artenvielfalt doch sehr mässig. Des-

wegen wird hier der Ansatz zur monetären Bewertung auf einen Anteil von 5 bis 10 % des Wertes eines vollständigen Flächenverbrauchs in Höhe von 66.000 Fr/qkm reduziert.

Bei einer insgesamt beeinträchtigten Fläche von 3.534 qkm und einem Wert der externen Kosten von 3.300 bis 6.600 Fr/qkm ergeben sich soziale Kosten der Uebertragung und Verteilung von Elektrizität in Höhe von 12 bis 23 Mio Fr. Im Verhältnis zur produzierten Menge von durchschnittlich 56.000 Mio kWh sind dies 0,02 bis 0,04 Rp/kWh.

### **3.3 Monetarisierung der Vermeidungskosten von Freileitungen**

Kabel und Freileitung sind auf allen Spannungsebenen (evtl. mit Ausnahme der 380 kV-Ebene) technische Substitute, können also die gleiche Funktion erfüllen. Kabel weisen eine Reihe von beeinträchtigenden Wirkungen, die von Freileitungen ausgehen, nicht auf. Dazu gehören insbesondere

- die optische Beeinträchtigung des Landschaftsbildes
- die Beeinträchtigung der Avifauna
- die Beeinträchtigung der Siedlungsstrukturen

Da Kabel deutlich höhere (internalisierte) Kosten aufweisen als Freileitungen, kann man die zusätzlichen Kosten der Verkabelung als Kosten der Vermeidung der oben genannten externen Effekte von Freileitungen ansehen. In der Veröffentlichung der Arbeitsgruppe Energieübertragung und Landschaftsschutz sind Verlegekosten je km einerseits für Freileitungen und andererseits für Kabel differenziert nach Spannungsebenen angegeben. Diese Angaben werden hier ohne weitere Nachprüfung übernommen. Sie beziehen sich zwar auf die Zeit um 1980, können aber ohne Veränderung auf die Gegenwart angewendet werden, wenn man unterstellt, dass die Preissteigerungen und der technische Fortschritt bei der Verlegetechnik sich im Gleichschritt entwickelt haben. Bei der Berechnung der Verlegekosten für Kabel ist noch zu berücksichtigen, dass Kabelleitung wegen der Führung der Trasse entlang von Strassen länger werden als Freileitungen, die querfeldein verlegt werden können. Ob dies auch für 220 kV- und 380 kV-Kabel gilt, sei dahingestellt. In der oben genannten Publikation wird dazu ein durchschnittlicher Verlängerungsfaktor von 1,3 genannt. Er wird hier für alle Spannungsebenen angewandt. Den rechnerischen Verlegekosten von Freileitungen in Höhe von 6,4 Mrd Fr stehen fiktive Verlegekosten von Kabeln für die 1,3-fache Länge und die entsprechende Spannungsebene in Höhe von 65,7 Mrd Fr gegenüber. Die Mehrkosten der Verkabelung betragen mithin rd. 60 Mrd Fr. Das sind zugleich die Vermeidungskosten der externen Effekte der Freileitungen. Es muss

noch einmal darauf hingewiesen werden, dass Erdkabel ihrerseits auch externe Kosten aufweisen. Die hier abgeschätzten Vermeidungskosten beziehen sich nur auf diejenigen Wirkungen von Freileitungen, die mit Sicherheit durch eine Verkabelung vermieden werden.

Bezogen auf die in den nächsten 30 bis 40 Jahren (der Lebensdauer von Kabelleitungen) erzeugte Elektrizität in Höhe von ca. 2.000 Mrd kWh ergeben sich Vermeidungskosten von rd. 3,0 Rp/kWh.

Tabelle 2: Berechnung der Vermeidungskosten der externen Effekt von Freileitungen

	Länge km	Verlegekosten Fr/km als		Verlegekosten Mio Fr als	
		Freileitung	Kabel	Freileitung	Kabel
Niederspannung 0,4 kV					
Freileitungen	3.000	30.000	50.000	90	195
Kabel	87.000		---		---
Mittelspannung 1 - 24 kV					
Freileitungen	19.200	50.000	200.000	960	4.992
Kabel	24.600		---		---
Hochspannung 50-170 kV					
Freileitungen	4.800	300.000	1.000.000	1.440	6.240
Kabel	600		---		---
Hochspannung 220 kV					
Freileitungen	4.670	600.000	5.600.000	2.802	33.998
Kabel	31		---		---
Höchstspannung 380 kV					
Freileitungen	1.100	1.000.000	14.200.000	1.100	20.306
Insgesamt	145.001			6.392	65.731

## LITERATUR

- Adam, Klaus: Leitungstrassenbau - Eingriff in die Landschaft. Informationen zur Raumentwicklung 1985 7/8, 665-674
- Angenend, Michael; Brakelmann Heinrich; Zinburg, Eberhard: Rechnergestützte Optimierung von Energiekabeltrassen. Elektrizitätswirtschaft 90 (1991) 13, 767-773
- Angenend, Michael; Hippauf Horst; Zinburg, Eberhard: Beschreibung einer grossstädtischen 110 kV-Hochleistungskabelverbindung. Elektrizitätswirtschaft 92 (1993) 7, 340-349
- Apfelstedt, Gert: Rechtswirkungen von Zielen und Belangen der Raumordnung und Landesentwicklung für Verfahren zur Prüfung von Hochspannungsleitungen. Raumforschung und Raumordnung 1987/4, 139-151
- Arbeitsgruppe Energieübertragung und Landschaftsschutz: Elektrizitätsübertragung und Landschaftsschutz. Eidgenössisches Departement des Inneren, Bundesamt für Forstwesen. Bern 1980
- Bischoff Gerhard; Gocht, Werner: Das Energiehandbuch. Braunschweig (Vieweg) 1982
- Bräunlein, Gerhard: Ersatzmassnahmen und Ausgleichsabgaben beim Stromleitungsbau. Informationen zur Raumentwicklung 1986 6/7, 487-492
- Böhme, Gernot: Natürlich Natur. Ueber Natur im Zeitalter ihrer technischen Reproduzierbarkeit. Frankfurt am Main (Surkamp) 1992
- Bundesamt für Energiewirtschaft: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1992. Bern 1992
- Bundesamt für Statistik: Die Bodennutzung der Schweiz. Arealstatistik 1979/85. Resultate nach Gemeinden. Kriterienkatalog. Bern 1992
- Bundesamt für Umweltschutz: Der Einfluss von nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung auf die Umwelt. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 98. Bern 1988
- Casas, Javier; Munoz, Joaquim: Safety and the Environment; Safety for Bird Life on Electric Lines. Beitrag zur 12. Internationalen Konferenz über Verteilungsnetze (CIRED) im Mai 1993

- David, Eduard: Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder. Elektrizitätswirtschaft 92 (1993) 16, 976-979
- Dernbach, Christoph: Können elektromagnetische Felder Krebs auslösen? VDI-Nachrichten Nr. 8, 26. Februar 1993
- Edwin, Kurt, W.: Allgemeine Hinweise zur Planung des künftigen Trassenbedarfes. Informationen zur Raumentwicklung 1985, 7/8, 621-631
- Eggenberger, H.P.: Wo braucht es Freileitungen, wo sind Kabel? Strom - die Zeitschrift für den Energiekonsumenten. 1990/2, 16-18
- Erdmann, Gerhard: Energieökonomik. Zürich (Verlag der Fachvereine) 1992
- Farago, Peter; Peters, Matthias: Einstellungen zum Bodensparen. Bericht 48 des Nationalen Forschungsprogrammes Nutzung des Bodens in der Schweiz. Bern 1990
- Fleckenstein, Kurt; Rhiem, Walter; Palic, Markus: Prüfungsrahmen zur Findung von Freileitungstrassen in Waldbereichen. Elektrizitätswirtschaft 90 (1991) 21/62, 1135-1141
- Fricke, Klaus-Gerhard: Kabel und Freileitungen im Versorgungsnetz - Möglichkeiten und Grenzen. Elektrizitätswirtschaft 92 (1993) 11, 664-671
- Gfeller, Matthias; Schmid, Willy A.: Raumplanerische Umsetzung von Bewertungsmethoden für naturnahe Flächen. Bericht 45 des Nationalen Forschungsprogramms Nutzung des Bodens in der Schweiz. Bern 1990
- Häberli, Rudolf; Lüscher, Claude; Praplan-Chastonay, Brigitte; Wyss, Christian: Kulturboden-Bodenkultur. Vorschläge für eine haushälterische Nutzung des Bodens in der Schweiz. Zürich (Verlag der Fachvereine) 1991
- Hübler, Karl-Hermann; Krüger, Martina: Kosten der Bodenbelastung, Waldschäden und Gefährdung der Artenvielfalt. Prognos-Schriftenreihe Identifizierung und Internalisierung externer Kosten der Energieversorgung. Band 1, Basel 1992.
- Jarass, Lorenz: Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Stromverteilungssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Versorgungssicherheit. Informationen zur Raumentwicklung 1985, 7/8, 657-663
- Jarass, Lorenz; Obermair, Gustav M.: Raumordnungsgerechte Ausführung von Hochspannungsleitungen. Informationen zur Raumentwicklung 1984, 7/8, 733-747

- Jarass, Lorenz; Niesslein, Erwin; Obermair, Gustav M.: Von der Sozialkostentheorie zum umweltpolitischen Steuerungsinstrument. Boden- und Raumbelastungen durch Hochspannungsleitungen. Baden-Baden (Nomos) 1989
- Joachim, Horst: Planungsrecht und Planungsregeln beim Bau von Versorgungsleitungen. Das Problem der Leitungsbündelung. Raumforschung und Raumordnung 1987/4, 151-156
- Johannsen, Arnold; Müller, Klaus-Christian: Die Bedeutung der Energiekabel für die Elektrizitätsversorgung. Elektrizitätswirtschaft 92 (1993) 6, 272-278
- Knauer, Peter: Aspekte und Massnahmen für einen landschaftsschonenden Leitungstrassenbau. Informationen zur Raumentwicklung 1985, 7/8, 675-681
- König, Herbert L.; Folkerts, Enno: Elektrischer Strom als Umweltfaktor. München (Pflaum) 1992
- Lechlein, Helmut: Formen des landschaftsgerechten Stromleitungstrassenbaus. Informationen zur Raumentwicklung 1986, 6/7, 477-486
- Leitgeb, Norbert: Elektrosmog als Gefährdung des Menschen? Technische Rundschau 1992/4, 32-34
- Lohfink, Klaus: Zur Minderung von Umweltbelastungen beim Stromleitungstrassenbau nach dem Bundesnaturschutzgesetz. Raumforschung und Raumordnung 1987/4, 168-175
- Losch, Siegfried; Nake, Reinhard: Landschaftsverbrauch durch linienhafte technische Infrastrukturen. Informationen zur Raumentwicklung 1990/12, 689-714
- Pfaffenberger, Wolfgang: Elektrizitätswirtschaft. München, Wien, (Oldenburg) 1993
- Popp, Dieter: Umweltprobleme der Elektrizitätsübertragung. Konfliktfeld Freileitung - erdverlegte Kabel. Informationen zur Raumentwicklung 1985, 7/8, 721-724
- Rubner, Jeanne: Grenzkämpfe am elektromagnetischen Feld. Eine epidemiologische Studie aus Schweden liefert neue Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Leukämie und Strahlung. Süddeutsche Zeitung 10.12.1992
- Sagan, Leonard A.: Epidemiological and Laboratory Studies of Power Frequency Electric and Magnetic Fields. In: Journal of the American Medical Association Vol. 268 No. 5 (August, 5 1992) p. 625-629
- Sauer, Erich; Zeise, Roland: Energietransport, -speicherung und -verteilung. Köln (Resch) 1982

Stöger, Helmut: Erfahrungsberichte mit einer neuen Kabellegetechnik. Elektrizitätswirtschaft 90 (1991) 26, 1526-1532

VDEW (Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V.): Vogelschutz an Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV. Erläuterungen zu Abschnitt 8.10 "Vogelschutz" der Bestimmung DIN VDE 0210/12.85, 2. Auflage. Frankfurt am Main 1991

Wagner, Gerhard: Möglichkeiten der Flächeneinsparung bei Stromleitungen. Raumforschung und Raumordnung 1987/4, 157-168

Wannow, Klaus: Dezentralisierung und Verbundnetz. Von dezentralen Inselbetrieben zum europäischen Energieverbund. Informationen zur Raumentwicklung 1985, 7/8, 703-712

Wiznerowicz, Fred: Kabel und Freileitungen. Elektrizitätswirtschaft 90 (1991) 16/17, 925-931