



Institut für  
Elektrische Anlagen

INSTITUT FÜR

**ELEKTRISCHE ANLAGEN**



A - 8010 GRAZ, Inffeldgasse 18

Telefon: (+43 316) 873 - 7550

Telefax: (+43 316) 873 - 7553

Institutsvorstand: Univ.-Prof. Dr. Lothar Fickert

**Wissenschaftliche Unterstützung bei technischen  
Fragen im Zusammenhang mit Ausbauforderungen im  
oberösterreichischen Netz**

**Univ. Prof. DI Dr. Lothar Fickert**

im Auftrag des Landes Oberösterreich

Projekt Nr.: 2008-27

Ausarbeitung:

Dipl.-Ing. Werner Friedl

3. Juli 2008



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	3
2. Ergänzende Präzisierung zur Frage 11 ([1] Seite 21):	4
3. Ergänzende Präzisierung zur Frage 14 ([1] Seite 27):	7
4. Ergänzende Präzisierung zur Frage 16 ([1] Seite 30):	12
5. Literatur	13



## 1. Einleitung

Am 25.4.2008 wurde in Linz bei der Besprechung und Präsentation der Zusatzfragen (Dokument: Zusatzfragen an den Amtsgutachter Univ. Prof. DI Dr. Lothar Fickert, 9. Jänner 2008 [1], gestellt durch die Bürgerinitiative „Schutzgemeinschaft“), durch die beiden Vertreter der Bürgerinitiative MMag. Bernhard Wiesinger und Herrn Johann Zahlberger um drei ergänzende Präzisierungen gebeten. In den folgenden Kapitel 2 bis 4 wird im jeweiligen Abschnitt 1 die Frage durch die Bürgerinitiative wiederholt, im Abschnitt 2 die Methodik durch den Begutachter zusammengefasst, im Abschnitt 3 die diskutierte und zu ergänzende Präzisierung dargestellt und die Präzisierung im Abschnitt 4 angeführt und beschrieben.



## **2. Ergänzende Präzisierung zur Frage 11 ([1] Seite 21):**

### **2.1. Frage der Bürgerinitiative:**

Welche Leistung in MVA bzw. MW würde bei Anspeisung eines Versorgungsgebietes durch ein 30-kV-Doppelkabel in der Länge von ca. 20 km (ohne Entnahmen unterwegs) zur Verfügung stehen?

### **2.2. Methodik der Beantwortung durch den Gutachter:**

In der Beantwortung der Frage 11 in [1] wurde mit den Formeln für die Berechnung der Übertragungsleistung sowie der Tabelle 1 (Strombelastbarkeit verschiedener Kupfer und Aluminium VPE-Mittelspannungskabel – Auszug aus Datenblatt der Fa „faber kabel“ 12.5.2005) und Tabelle 2 (Schwankung des Umrechnungsfaktors für die Häufung) eine Anleitung für die Berechnung sowie eine beispielhafte Berechnung zusammengestellt.

### **2.3. Gewünschte Präzisierung**

Zur vereinfachten Wahrnehmung der übertragbaren Leistung für jeden einzelnen Kabeltyp und Kabelquerschnitt wurde um eine Berechnung nach Norm und tabellarische Darstellung und Erweiterung um die Spalten für die Leistung gebeten.

### **2.4. Präzisierung**

Wie bereits im Dokument mit der Beantwortung der Zusatzfragen [1] erläutert, sind für die Berechnung der übertragbaren Leistung von Kabeln im Erdreich, Umrechnungsfaktoren  $f_1$  (für Abweichungen von der Erdbodentemperatur, Belastungsgrad und Erdbodenwiderstand),  $f_2$  (Häufung – Anzahl der Systeme nebeneinander) und  $f_3$  (Reduktionsfaktor für Abdeckhauben (0,9) und Verlegung in Rohren (0,85)) anzuwenden.

$$P = U_N \cdot I_{be} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$$

$$S = U_N \cdot I_{be} \cdot \sqrt{3} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$$

$U_N$	Nennspannung
$I_{be}$	max. Bemessungsstrom bei Erdverlegung
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor
$f_1$	Umrechnungsfaktor bei Abweichungen von 20°C Erdbodentemperatur, Belastungsgrad $m = 0,7$ und Erdbodenwärmewiderstand $r_{th} = 1 \text{ K m/W}$
$f_2$	Umrechnungsfaktor für Häufung
$f_3$	Reduktionsfaktor für Abdeckhauben und Verlegung in Rohren

Die Berechnungen in der nachstehenden Tabelle 1 gelten für Annahme einer gebündelten Anordnung und einem lichten Abstand von 25 cm für parallel verlegte Systeme (siehe Abbildung 1).

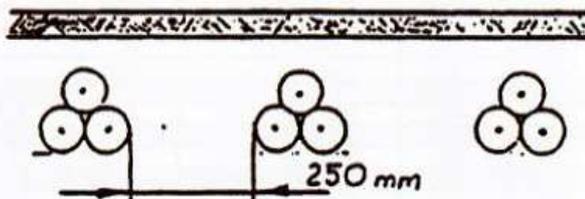


Abbildung 1: Gebündelte Anordnung mit lichten Abstand von 25 cm (ergänzende Darstellung gemäß HD 620 S1:1996; Tabelle 12 [2])

Die Annahmen für die Faktoren  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$  nach Norm ÖVE-K 620 [2] sind in der Tabelle 1 für die jeweilige Wahl der Anzahl der Systeme gelb hinterlegt.

Für die Wahl des Faktors  $f_1$  gilt die Annahme, dass die Verlegung des Kabels bzw. der Kabeln im Erdreich mit einem spezifischen Wärmewiderstand von 1 K·m/W erfolgt.



Dem Faktor  $f_2$  liegt ein Belastungsgrad von 0,7 und einem Erdbodenwärmewiderstand von 1 K·m/W zu Grunde.

Weiters kann in der nachstehenden Tabelle 1 für jeden einzelnen Querschnitt die übertragbare Wirkleistung entnommen werden. Zu berücksichtigen ist, dass der Netzbetreiber im Sinne seiner Versorgungspflicht verpflichtet ist, das Netz (n-1)-sicher oder zumindest (n-1)-strukturiert zu betreiben. In diesem Sinn muss er für die gesicherte Versorgung durch Variante C (siehe Dokument [1]) ein Reservekabel vorsehen, was bedeutet, dass z.B. bei einer 2-systemigen Verlegung (Doppelkabel) die Übertragungsleistung nur eines Systems (Kabel) herangezogen werden darf.

$U_N$	kV	29,2	29,2	29,2	29,2
$\sqrt{3}$		1,73	1,73	1,73	1,73
$\cos \varphi$		0,95	0,95	0,95	0,95
$f_1$		1	1	1	1
$f_2$		1	0,89	0,82	0,78
$f_3$		0,9	0,9	0,9	0,9

Anzahl der Systeme		1	2	3	4	2 + 1	
Anzahl zur gesicherten Versorgung (1 Reserve)		2	3	4	5	2 + 2	
Leitematerial	Querschnitt	P					
	mm <sup>2</sup>	A	MW				
Kupfer	150	414	17,9	31,9	44,0	55,9	49,8
	185	466	20,2	35,9	49,6	62,9	56,0
	240	539	23,3	41,5	57,3	72,7	64,8
	300	606	26,2	46,6	64,5	81,8	72,8
	400	680	29,4	52,3	72,3	91,7	81,7
	500	765	33,1	58,9	81,4	103,2	92,0
	630	820	35,5	63,1	87,2	110,6	98,6
Aluminium	150	322	13,9	24,8	34,3	43,4	38,7
	185	364	15,7	28,0	38,7	49,1	43,8
	240	422	18,2	32,5	44,9	56,9	50,7
	300	476	20,6	36,6	50,6	64,2	57,2
	400	541	23,4	41,6	57,5	73,0	65,0
	500	616	26,6	47,4	65,5	83,1	74,1
	630	675	29,2	52,0	71,8	91,1	81,1

Tabelle 1: Erweiterte Darstellung der Strombelastbarkeit mit Spalten (unterschiedliche Anzahl der Systeme) für die übertragbare Leistung.



### 3. Ergänzende Präzisierung zur Frage 14 ([1] Seite 27):

#### 3.1. Frage der Bürgerinitiative:

Wann wäre diese Reserve unter der Annahme eines jährlichen Verbrauchszuwachses von ca. 2,5 % aufgebraucht?

#### 3.2. Methodik der Beantwortung durch den Gutachter:

In der Antwort wurden die Zeiträume für die 3 unterschiedlichen 30-kV-Kabelvarianten erörtert.

#### 3.3. Gewünschte Präzisierung

Von Seiten der Vertreter der Bürgerinitiative wurde um eine Präzisierung (graphische und tabellarische Darstellung) der Bezeichnung „mittelfristiger Zeitraum“ bei einem konstanten relativen Zuwachs von 3 % (optional dazu ein einmaliger Lastzuwachs mit 3 MW in 5 Jahren) und einer Ausgangsleistung von 17 MW ersucht.

#### 3.4. Präzisierung

Unter der Annahme eines konstanten jährlichen (relativen) Lastzuwachses von 3 %, lässt sich mit der Annahme einer Ausgangsleistung mit nachstehender Formel der Leistungsbedarf in Abhängigkeit der Zeit errechnen.

$$P(a) = P' \cdot (1 + p)^a$$

a	Anzahl der Jahre
p	relativer Zuwachs pro Jahr
P(a)	Leistung in a Jahren
P'	Ausgangsleistung



Umgekehrt lässt sich durch Lösung dieser Formel, bei Annahme einer maximalen Leistung (z.B. übertragbare Leistung eines Kabels) und der Ausgangsleistung (17 MW), die Dauer in Jahren berechnen, in der die Kapazität der Übertragungsleistung erschöpft ist.

$$a = \frac{\log\left(\frac{P}{P'}\right)}{\log(1+p)}$$

Aufbauend auf die tabellarische Darstellung der Ergänzung zu Frage 11 kann die nachstehende Tabelle 2 unter Anwendung der abgewandelten Formel erstellt werden.

		Ausgangsleistung	MW	17			
		relativer Zuwachs pro Jahr	%	3			
Anzahl der Systeme		1	2	3	4	2 + 1	
Anzahl zur gesicherten Versorgung (1 Reserve)		2	3	4	5	2 + 2	
Leitmaterial	Querschnitt	Zeit					
	mm <sup>2</sup>	I <sub>be</sub>	a				
Kupfer	150	414	1	21	32	40	36
	185	466	5	25	36	44	40
	240	539	10	30	41	49	45
	300	606	14	34	45	53	49
	400	680	18	38	48	57	53
	500	765	22	42	52	61	57
	630	820	24	44	55	63	59
Aluminium	150	322	-6	12	23	31	27
	185	364	-2	16	27	35	31
	240	422	2	21	32	40	36
	300	476	6	25	36	44	41
	400	541	10	30	41	49	45
	500	616	15	34	45	53	49
	630	675	18	37	48	56	52

Tabelle 2: Ergänzende tabellarische Darstellung der Dauer bis zum Erschöpfen der Übertragungsleistung bei einem relativen Zuwachs von 3 % - Angabe in Jahren

Zusätzlich zur tabellarischen Darstellung bis zum Erschöpfen der Übertragungsleistung wird in der nachstehenden Grafik (Abbildung 1) unter Berücksichtigung des (n-1)-strukturierten Netzaufbaus ein 2-systemiges 240 mm<sup>2</sup> Kupferkabel mit einem zusätzlichen einmaligen Lastzuwachs von 3 MW nach genau 5 Jahren, dem gleichen Kabel mit konstanten (relativen) Zuwachs von 3 % gegenübergestellt.

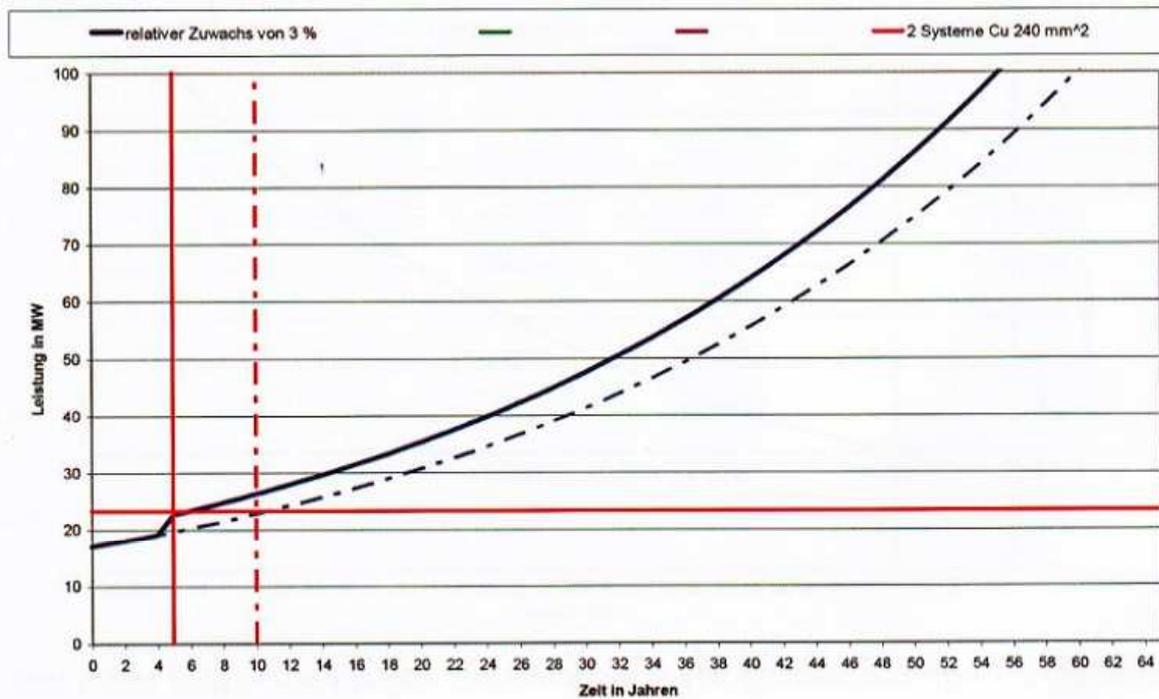


Abbildung 2: 2-systemiges Kupfer-Kabel ( $240 \text{ mm}^2$ ) mit konstantem (relativem) Zuwachs von 3 %

Abbildung 1 zeigt, dass im Fall des konstanten Zuwachses von 3 % der Bedarf zum Einem nach 10 Jahren (vertikale strichpunktierte Linie) und zum Anderen nach etwa 5 Jahren (vertikale volle Linie), bei einem zusätzlichen sprunghaften Anstieg, höher ist als das Kabel übertragen kann.

In den nachstehenden Grafiken (Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5) werden noch eine Reihe anderer Varianten dargestellt.

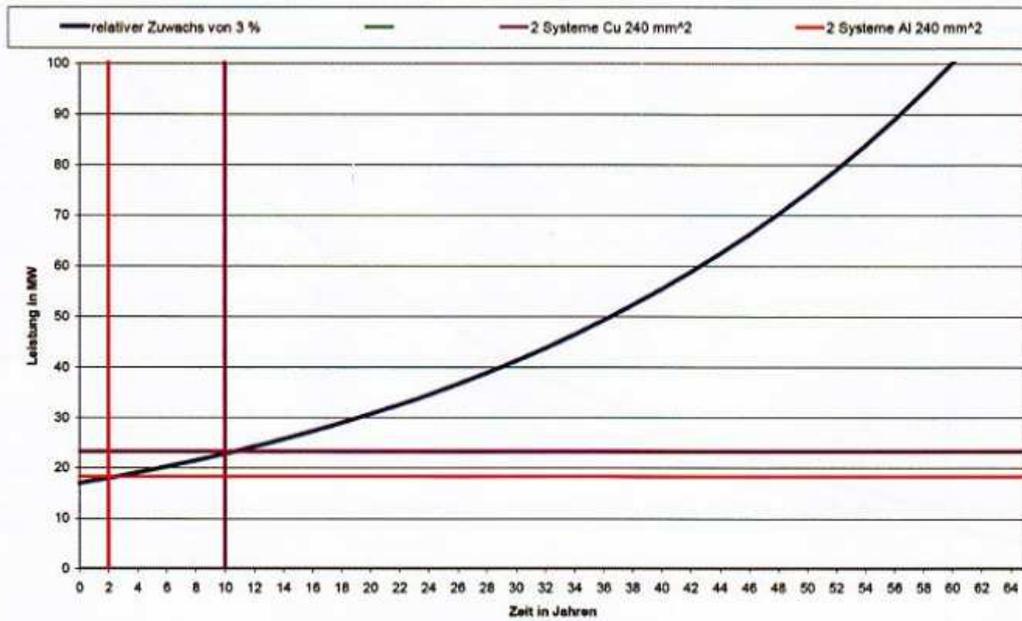


Abbildung 3: Gegenüberstellung eines 2-systemigen Kupfer-Kabels ( $240 \text{ mm}^2$ ) und eines Aluminium-Kabels ( $240 \text{ mm}^2$ ) mit konstantem (relativem) Zuwachs von 3 %

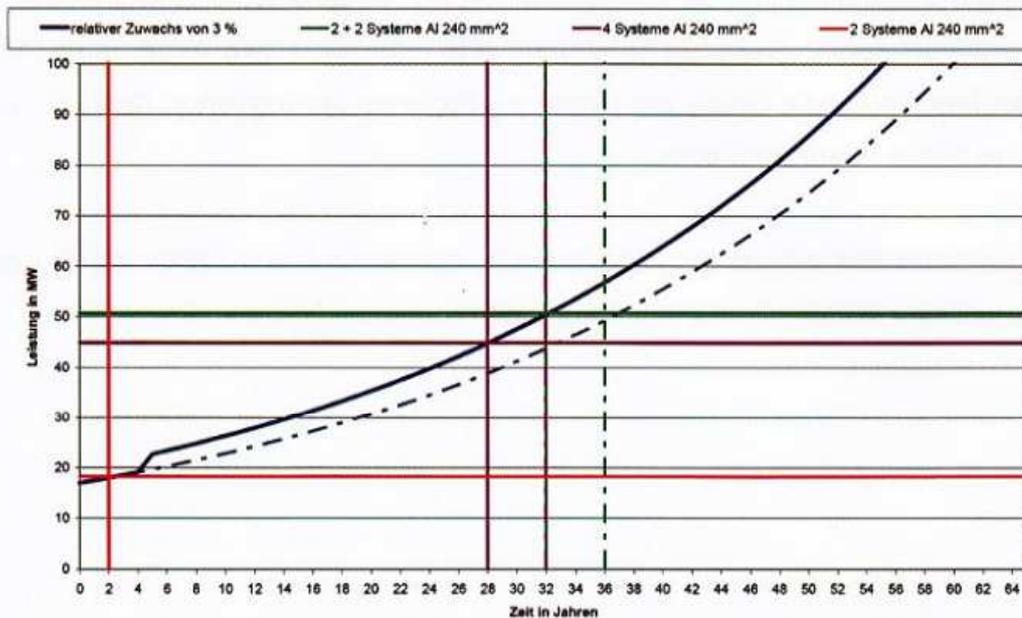


Abbildung 4: Gegenüberstellung eines 2-systemigen, 4-systemigen und 2-systemigen in 2 getrennten Trassen geführten  $240 \text{ mm}^2$  Aluminium-Kabels mit konstantem (relativem) Zuwachs von 3 %

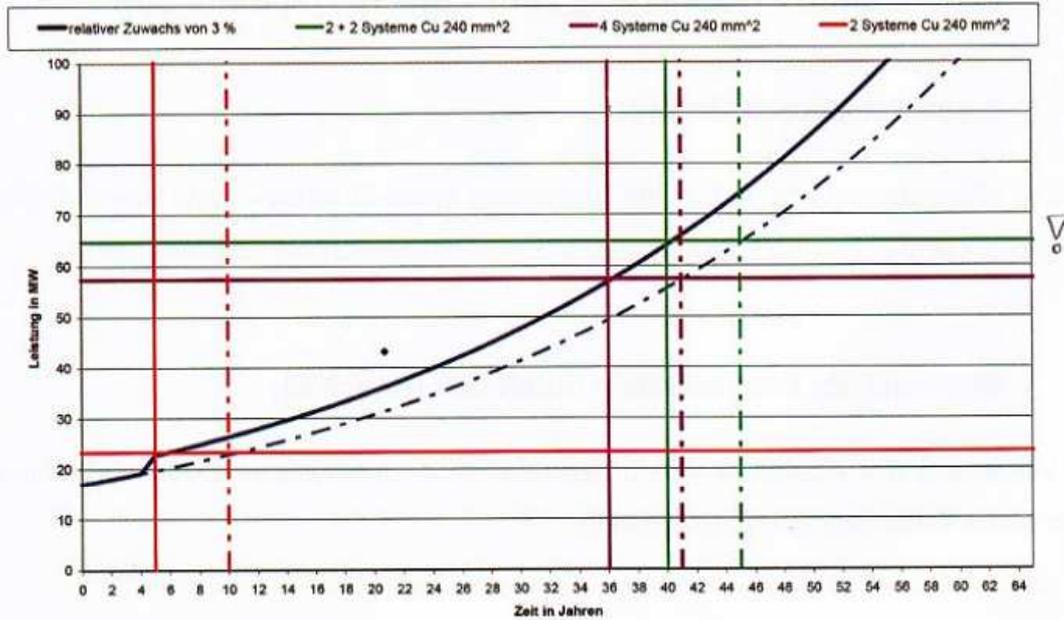


Abbildung 5: Gegenüberstellung eines 2-systemigen, 4-systemigen und 2-systemigen in 2 getrennten Trassen geführten Kupfer-Kabels (240 mm<sup>2</sup>) mit konstantem (relativem) Zuwachs von 3 %



## **4. Ergänzende Präzisierung zur Frage 16 ([1] Seite 30):**

### **4.1. Frage der Bürgerinitiative:**

Welche Mehrkosten in % würde die Verlegung eines Dreifach- bzw. Vierfach-30-kV-Kabels im Vergleich zur Verlegung eines 30-kV-Doppelkabels verursachen?

### **4.2. Methodik der Beantwortung durch den Gutachter:**

Die Verteilung der Kosten wurde prozentuell in 4 Untergliederungen verbal und in Form eines Kreisdiagramms dargestellt.

### **4.3. Gewünschte Präzisierung**

Für die Gegenüberstellung der Mehrkosten wurde von Seiten der Bürgerinitiative eine kumulierte Darstellung in Balkenform gewünscht.

### **4.4. Präzisierung**

Die ergänzende Darstellung der Verteilung der Kosten als Balkendiagramm („gestapelte Säulen“) stellt in der

- Variante I ein 1-systemiges Kabel in einer Künette dar.
- Variante II zeigt eine 2-systemige Annahme in einer Künette und
- Variante III bzw. IV die Anzahl von 3 bzw. 4 Systemen in 2 getrennten Künetten.

Die dargestellten Annahmen können nur als grobe Näherungen betrachtet werden, da Kostenvariablen wie Kreuzungen mit Straßen, tatsächlich zu verwendende Längen, der fluktuierende Metallpreis und ähnliche Faktoren nur im konkreten Realisierungsfall zu bewerten sind.

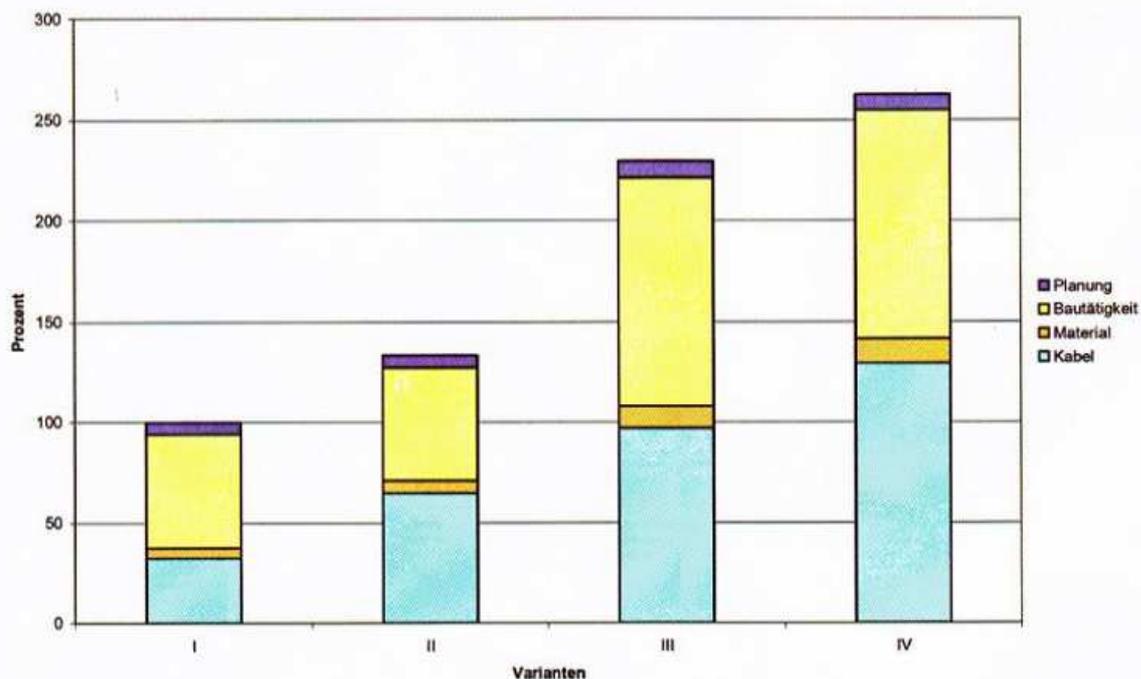


Abbildung 6: Gegenüberstellung der prozentuellen Verteilung der Kosten bei verschiedenen Varianten

## 5. Literatur

- [1] Zusatzfragen an den Amtsgutachter Univ. Prof. DI Dr. Lothar Fickert,  
9. Jänner 2008
- [2] Österreichische Bestimmung für die Elektrotechnik ÖVE-K 620  
Ausgabe 1998-03  
„Energieverteilungskabel mit extrudierter Isolierung für Nennspannungen von  
3,6/6 (7,2) kV bis 20,8/36 (42) kV“