

# Metastudie über Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen

Abschlussbericht – Befunde

12. Oktober 2011

## **Wissenschaftliche Verantwortung:**

- Dipl.-Medienwiss. Dorothee Arlt
- Dr.-Ing. habil. Alexander Novitzkij
- Prof. Dr.-Ing. Dirk Westermann
- Prof. Dr. Jens Wolling

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Abgrenzung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Methodisches Vorgehen .....</b>	<b>5</b>
2.1	Studienorganisation.....	5
2.2	Studienset und Vorgehensmodell .....	6
2.3	Kriteriengewinnung.....	7
2.4	Metrisch skalierte Kriterien .....	9
2.5	Ordinal skalierte Kriterien .....	11
<b>3</b>	<b>Hauptergebnisse .....</b>	<b>11</b>
3.1	Allgemeine Befunde .....	12
3.2	Metrisch skalierte Kriterien .....	12
3.3	Ordinal skalierte Kriterien .....	16
<b>4</b>	<b>Detailergebnisse – Metrisch skalierte Kriterien.....</b>	<b>20</b>
4.1	Vorbemerkungen.....	20
4.2	Allgemeine Studien .....	20
4.3	Projektorientierte Studien .....	25
4.3.1	Kriterienhäufigkeit .....	25
4.3.2	Detaillierte Darstellung der Kriterienauswertung.....	32
4.3.2.1	Kriterium: Elektrische Festigkeit - Bemessungsspannungen .....	32
4.3.2.2	Kriterium: Isolierung - Leiterquerschnitt.....	33
4.3.2.3	Kriterium: Isolierung - Durchmesser .....	35
4.3.2.4	Kriterium: Trassenlänge .....	37
4.3.2.5	Kriterium: Verluste – Gesamte Leistungsverluste (spezifische Werte).....	39
4.3.2.6	Kriterium: Verluste – Lastabhängige Verluste (spezifische Werte) .....	41
4.3.2.7	Kriterium: Verluste – Lastunabhängige Verluste (spezifische Werte) .....	43
4.3.2.8	Kriterium: Verluste – Zusatzverluste (spezifische Werte).....	44
4.3.2.9	Kriterium: Verluste - Arbeitsverluste .....	46
4.3.2.10	Kriterium: Blindleistungskompensation.....	48
4.3.2.11	Kriterium: Lebensdauer .....	49
4.3.2.12	Kriterien: Investitions-, Betriebs-, und Gesamtkosten .....	50
4.3.2.12.1	Kriterium: Investitionskosten.....	51
4.3.2.12.2	Kriterium: Betriebskosten .....	54
4.3.2.12.3	Kriterium: Gesamtkosten .....	57
4.3.2.12.4	Schlussbemerkung zu Kostenkriterien .....	61
<b>5</b>	<b>Detailergebnisse – Ordinal skalierte Kriterien.....</b>	<b>63</b>
5.1	Vorbemerkungen.....	63
5.1.1	Studienbasis zur Analyse der nicht-technischen Kriterien .....	63
5.1.2	Hinweise zum Aufbau des Berichts zu nicht-technischen Kriterien .....	67

5.1.3	Hinweise zur Interpretation der Befunde zu den nicht-technischen Kriterien .	68
5.2	Auswirkungen auf die Umwelt .....	68
5.2.1	Kriterium: Landschaftsbild .....	68
5.2.2	Kriterium: Flora .....	72
5.2.3	Kriterium: Fauna .....	77
5.2.4	Kriterium: Böden .....	82
5.2.5	Kriterium: Flächen.....	87
5.2.6	Kriterium: Gewässer .....	91
5.2.7	Kriterium: Grundwasser .....	95
5.3	Auswirkungen auf den Menschen durch Immissionen .....	99
5.3.1	Kriterium: Lärm .....	99
5.3.2	Kriterium: Elektrische und magnetische Felder .....	103
5.4	Kriterien auf gesellschaftlicher Ebene .....	107
5.4.1	Auswirkungen auf kommunaler Ebene .....	107
5.4.2	Akzeptanz in der Bevölkerung .....	110
5.5	Störungen in der Betriebsphase .....	113
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>116</b>
6.1	Anhang 1: Übersicht von Studien zur allgemeinen Betrachtung der alternativen Verlegungsarten Freileitung/Erdkabelleitung .....	116
6.2	Anhang 2: Übersicht von Studien zur projektorientierten Betrachtung der alternativen Verlegungsarten Freileitung/Erdkabelleitung .....	119
6.3	Anhang 3: Zusammenstellung von Originaldaten aus dem Studienset zum Thema „Verluste“ (projektorientierte Studien).....	122
6.4	Anhang 4: Zusammenstellung von Originaldaten aus dem projektorientierten Studienset zu den Themen „Nichtverfügbarkeit“ und „Versorgungssicherheit“ .....	126
6.5	Anhang 5: Zusammenstellung von Originaldaten aus dem projektorientierten Studienset zum Thema „Netzauslastung“ .....	128
6.6	Anhang 6: Befunde zum Kriterium elektrische Felder .....	129
6.7	Anhang 7: Studiegrundgesamtheit .....	133
6.8	Anhang 8: Zusammensetzung der Verluste .....	144
<b>7</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>147</b>

## 1 Einleitung und Abgrenzung

In der Vorbereitungs- und Bewilligungsphase von Netzausbaumaßnahmen auf der Höchstspannungsebene werden die verschiedenen Technologieoptionen häufig auf sehr unterschiedlichen inhaltlichen Ebenen kontrovers diskutiert. Im Fokus der Diskussion steht dabei vor allem der Vergleich zwischen Freileitungen, als eine oberirdische Lösung, und Erdkabelleitungen bzw. gasisolierte Leitungen (GIL) als unterirdische Lösung. In diesem Zusammenhang sind in den letzten Jahren eine Vielzahl von Publikationen angefertigt worden, die sich in allgemeiner Weise und auch bezüglich konkreter Ausbauprojekte der Problematik des Vergleichs der zur Verfügung stehenden Technologieoptionen annehmen. Allerdings sind die Ergebnisse der Studien ohne eine Berücksichtigung des entsprechenden Studienkontextes kaum miteinander vergleichbar und eine nicht in den Kontext eingebettete Zitation von Einzelergebnissen aus diesen ist häufig problematisch. Dieser Kritik Rechnung zu tragen, stellt die grundlegende Motivation der vorliegenden Metastudie dar, die im Auftrag der Swissgrid durchgeführt wurde.

Das Ziel der Metastudie ist es, den heutigen Erkenntnisstand zum Thema Freileitungen und Erdkabelleitungen anhand der Analyse von bestehenden Primär-Untersuchungen und Projekten aufzuarbeiten und zusammenzufassen. Eine Metastudie leistet zwar grundsätzlich keinen Vergleich zwischen bestehenden Studien, ermöglicht aber durch das statistische Gegenüberstellen einzelner Kenngrößen eine Übersicht über bestehende Studienergebnisse. Damit wird mit der Metaanalyse eine wissenschaftlich fundierte Basis geschaffen, die den Stand der aktuellen Wissenschaft und realen Umsetzung von Ausbauprojekten abbildet und auf einer fachlich neutralen Ebene eine Zusammenschau ermöglicht. Entsprechend ist es Gegenstand der vorliegenden Metastudie die vorhandene wissenschaftliche Faktenlage zum Leitungsausbau, die durch die Forschungslage gesichert erscheinen, aufzuzeigen und Varianzen zwischen den Studien sichtbar zu machen. Im Ergebnis steht auf diese Weise ein aus dem vorliegenden Forschungsstand begründeter Katalog von Kernaussagen zur Verfügung, der aus der Analyse der betrachteten Studien abgeleitet werden kann.

Die vorliegende Metastudie hat nicht zum Ziel durch neue Berechnungen oder Fallstudien das untersuchte Studienset zu validieren oder neue Fallbeispiele ergänzend zu analysieren. Der Charakter einer Metastudie verlangt es zudem von den Besonderheiten der Einzelstudien zu abstrahieren. Aus diesem Grund werden nur zusammenfassende Statistiken präsentiert. Auch spezielle Befunde aus einzelnen Studien, die ggfs. von generellen Tendenzen abweichen, werden nicht separat dargestellt und gewürdigt, nicht zuletzt um den Charakter der Metastudie, die ihre Stärke aus der Aggregation von Einzelbefunden bezieht, Nachdruck zu verleihen. Für die inhaltliche Darstellung der untersuchten Kriterien werden ausschließlich die in den untersuchten Studien dokumentierten Daten verwendet. Ergänzende Datenerhebungen haben nicht stattgefunden. Die Diskussion über die Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen konzentriert sich nahezu ausschließlich auf Netzausbaumaßnahmen im Übertragungsnetz; in den unteren Spannungsebenen werden heute überwiegend Erdkabelleitungen eingesetzt. Aus diesem Grund fokussiert sich die vorliegende Studie auf die Übertragungsnetzebene (220kV und 380kV). Lediglich als Vergleichsgröße werden an einigen Stellen auch Ergebnisse für 110-kV-Leitungen mit angegeben.

Es ist wichtig zu bemerken, dass in der vorliegenden Metastudie ausschliesslich betriebswirtschaftliche und nicht volkswirtschaftliche Kosten (Tourismus, Land- und Immobilienwertung, etc.) analysiert werden. In der Metastudie wird der in der Schweiz übliche Begriff „Übertragungsnetz“ anstelle des z.B. in Deutschland üblichen Begriffes „Transportnetz“ verwendet. Des Weiteren umfasst der Begriff Erdkabelleitung alle Kabelleitungen ungeachtet derer Verlegungsart.

## 2 Methodisches Vorgehen

### 2.1 Studienorganisation

Die Studie wurde am Institut für Energie- Antriebs- und Umweltsystemtechnik der Technischen Universität Ilmenau von einem interdisziplinär zusammengesetzten Team bestehend aus Elektroingenieuren und Sozialwissenschaftlern durchgeführt.

Da die Ergebnisse der Studie in hohem Maße auf öffentliches und (über)regionales Interesse stossen, wurde von der Swissgrid ein Studienbeirat eingesetzt, der alle Interessensgruppen in der Schweiz im Umfeld von Netzausbauprojekten repräsentiert (Mitglieder siehe Tabelle 2.1). Neben dem Bundesamt für Energie (nachfolgend: BFE) als verantwortliche Behörde in der Schweiz für die Netzausbauverfahren stellten Vertreter der Hersteller von Energietechnikprodukten und -systemen und Netzbetreiber sicher, dass die technischen und betrieblichen Aspekte mit abgedeckt sind. Ebenso stellten Vertreter des Bundesamts für Umwelt (nachfolgend: BAFU) sicher, dass Umweltaspekte ausreichend berücksichtigt wurden. Die Hauptaufgaben des Beirats bestanden in der:

- Reflektion der Studienergebnisse, Diskussion nationaler wie regionaler Gesichtspunkte und Bestätigung der Repräsentationsfähigkeit und Vollständigkeit des Studiensets.
- Bestätigung der Vollständigkeit und der angemessenen Differenziertheit der Analyseinstrumente und -methoden für technische und nicht-technische Kriterien.
- Die objektive Durchführung der Studie nach wissenschaftlichen Methoden wurde durch den Beirat nicht berührt. Es hat keine Abstimmung über die Studienergebnisse oder zu publizierende bzw. nicht zu publizierende Fakten stattgefunden.

**Tabelle 2.1:** Mitglieder des Studienbeirats

Name, Vorname	Organisation	Expertise
Aguet, Michel	Afrédex	Elektrische Netze, Höchstspannungsleitungen
Bhend, Michael	EICom	Regulierungsbehörde Schweiz
Brunner, Christian	Swisslectric	Übertragungsnetzeigentümer
Demiray, Turhan	Forschungsstelle Energienetze ETHZ	Forschung Schweiz
Geidl, Martin	Swissgrid, Systemführung	Netzbetrieb
Gogel, Cornelia	Bundesamt für Energie	Bundesverwaltung, Genehmigende Behörde
Hapka, Roman	Stiftung Landschaftsschutz Schweiz	Experte Raum und Landschaft

Name, Vorname	Organisation	Expertise
Höckel, Michael	Berner FH Technik und Informatik	Elektrische Energiesysteme
Joss, Stefan	Bundesamt für Umwelt	Bundesverwaltung, Nicht ionisierende Strahlung
Kienzle, Florian	Bundesamt für Energie	Bundesverwaltung, Genehmigende Behörde
Kronig, Heinz	HES-SO Valais - FH Wallis	Netzwerke & Elektrische Installationen
Linder, Stefan	ABB Schweiz	Hersteller, Technologie
Meister, Urs	Avenir Suisse	Energie; Schweizer Think Tank
Meuli, Philippe Hans	Swissgrid, Asset Management	Projektiertung
Steiert, Jean-Francois	Verein HSUB, Präsident	Politik
Suter, Elisabeth	Bundesamt für Umwelt	Bundesverwaltung, UVP & Raumordnung
Zeh Weissmann, Heiko	SigmaPlan	Raum und Landschaft

## 2.2 Studienset und Vorgehensmodell

Untersucht wurden Studien, die im Zeitraum 2000 bis Anfang 2011 im europäischen Raum, in Ländern mit einer mit der Schweiz vergleichbaren Infrastruktur, zur Thematik Netzausbau im Höchstspannungs-Übertragungsnetz publiziert wurden. Es wurden Studien, die sich mit allgemeinen Fragen der Erdkabelleitungs- und Freileitungsverlegung auseinandersetzen ebenso berücksichtigt wie solche, die auf konkreten Projekten basieren sowie weitere unspezifische Dokumente, die Inhalte im Themenumfeld haben (Typdefinition siehe unten). Die Grundgesamtheit der Studien umfasst 176 Dokumente (siehe Tabelle 2.2). Daraus wurde ein Studienset erstellt, das möglichst repräsentativ die aktuelle wissenschaftliche Sachstandslage widerspiegelt. Die Auswahl der untersuchten Studien ist nicht von Dritten vorgegeben worden. Details zur Auswahl der Studien sind den Ergebniskapitel vorangestellt. Es wurde kein Einfluss von Dritten auf die Ergebnisdarstellung oder Ergebnisauswahl genommen.

**Tabelle 2.2:** Anzahl und zeitliche wie thematische Einordnung der Studiengrundgesamtheit

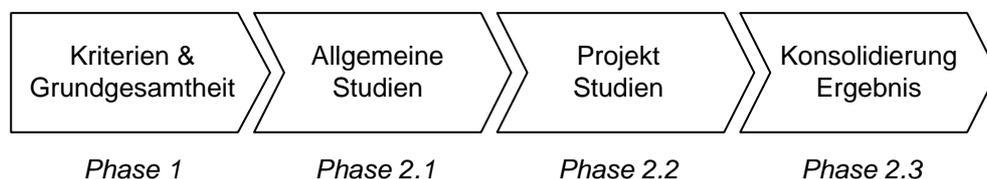
Zeitliche Einordnung	Allgemein	Projekt	Sonst	Total Grundgesamtheit
2001 - 2004	8	3	7	18
2005 - 2008	14	19	24	57
2009 - 2011	8	11	60	79
ohne	0	0	22	22
Summe	30	33	113	176

Für die inhaltliche Analyse erfolgte eine Unterteilung der Grundgesamtheit der Studien in drei Gruppen, die jeweils als Studienset zusammengefasst worden sind:

- **Allgemeine Studien**, die losgelöst von konkreten Realisierungsprojekten Aussagen zum Thema Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen treffen und nach wissenschaftlichen Methoden angefertigt worden sind.
- **Projektstudien**, in denen die Auswirkungen von Freileitungen oder Erdkabelleitungen anhand von konkreten Ausbauprojekten thematisiert oder im Vergleich dargestellt wurde und nach wissenschaftlichen Methoden angefertigt worden sind.
- **Sonstige**, unspezifische Dokumente, in denen Eigenschaften von Freileitungen und Erdkabelleitungen im Vergleich thematisiert werden, die Aussagenherkunft allerdings nicht wissenschaftlich referenziert worden ist und auch die Erstellung des Dokuments nicht nach wissenschaftlichen Methoden erfolgt oder ausgewiesen worden ist. Zu dieser Dokumentengruppe gehören beispielsweise unter anderem auch Produktpräsentationen von Herstellern sowie unspezifische Informationsdokumente ohne spezielle wissenschaftliche Quellenangaben, die nicht zu einem wissenschaftlichen Vergleich herangezogen werden können.

Die Durchführung der Metastudie umfasste vier Phasen (Bild 2.1). Phase 1 umfasste die Erarbeitung der Grundgesamtheit der Studien sowie die Definition des für die Analyse zu Grunde gelegten Kriterienkatalogs.

Der Kriterienkatalog ist auf Basis des *Prüfungs- und Beurteilungsschema "Kabel-Freileitung" auf der 220/380-kV-Ebene* des Schweizer Bundesamts für Energie unter Einbeziehung einer Vorstudie einzelner ausgewählter Untersuchungen aus dem Set der allgemeinen Studien erweitert, angepasst und für die Anwendung auf die Belange der Metastudie konkretisiert worden. Der so entstandene Kriterienkatalog wurde anschließend im Studienbeirat diskutiert und einvernehmlich konsolidiert.



**Bild 2.1:** Vorgehensmodell für die Durchführung der Metastudie

Die in drei Abschnitte unterteilte Phase 2 umfasst die inhaltliche Analyse der Studiensets; untergliedert nach den inhaltlichen Ausrichtungen der Studien nach allgemeinen Studien und projektspezifischen Studien. Am Ende dieser Phase werden die Ergebnisse konsolidiert und ausgewertet.

### 2.3 Kriteriengewinnung

Der Ausgangspunkt für die Analyse Kriterien ist ein Kriterienkatalog, der im Zusammenhang mit einem Prüfungs- und Beurteilungsschema „Kabel-Freileitung“ in der Schweiz erarbeitet wurde: *„Das Prüfungs- und Beurteilungsschema soll als Instrument zur Beurteilung der Frage dienen, ob eine 220/380 kV Leitung als Freileitung geführt oder verkabelt werden soll. Die drei Hauptkriterien Umweltschonung, Versorgungssicherheit und kommunale Interessen umfassen die Punkte, welche zur Entscheidungsfindung im Sinne der Gesamtinteressenabwägung führen.“*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bericht über die Ergebnisse der Anhörung zum Prüfungs- und Beurteilungsschema "Kabel-Freileitung" auf der 220/380-kV-Ebene (ohne punktierte Kosten), Schw. Eidgenossenschaft, UVEK, November 2009

Der im Rahmen dieser Metastudie für die Analyse von Studien angepasste Kriterienkatalog ist in Tabelle 2.3 zusammengefasst. Bei der Analyse eines Studiensets nach einem Kriterienkatalog, müssen zwei Kriterienarten unterschieden werden:

- **Metrisch skalierbare (metr.) Kriterien** sind Kriterien, deren Ausprägungen in den vorliegenden Studien als Zahlenwerten bereits vorliegen und entsprechend direkt analysiert werden können. Darunter fallen in der Regel alle technischen und wirtschaftlichen Kriterien, wie bspw. Verluste, Lebensdauer, Blindleistungsbedarf, etc.. Aus der Analyse eines Studiensets können Verteilungsfunktionen von metrisch skalierten Kriterien abgeleitet werden.
- **Ordinal skalierbare (ordi.) Kriterien** sind Kriterien, deren Ausprägungen nicht *unmittelbar* über Zahlenwerte messbar sind, weshalb vor der Analyse zunächst der Schritt der Codierung erforderlich ist, um Kriterien wie z.B. Auswirkungen auf das Landschaftsbild, Flora und Fauna messbar zu machen. Detailliert ist die methodische Vorgehensweise im Abschnitt 2.5 beschrieben.

Einige der metrisch skalierbaren Kriterien sind technische Designgrößen, die im Rahmen der ingenieurtechnischen Auslegung einer Anlage dimensioniert werden. Darunter fallen in der Regel alle Größen, die einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben. In der vorliegenden Metastudie werden Werte dieser Kriterien aus bestehenden Studien zusammengetragen.

**Tabelle 2.3:** Grundstruktur des in der Metastudie angewandten Kriterienkatalogs

Kriterium	metr.	ordi.	Kommentar
Verfahrensdauer (Idee bis Realisierung)	X		Keine Informationen auswertbar
<b>Technik</b>			
- Elektrische Festigkeit	X		
- Isolierung	X		
- Verlust	X		Normierung auf eine einheitliche Bezugsgrösse
- Zwischenverkabelung	(X)		Nur im Zusammenhang mit Kosten
<b>Bau</b>			
- Errichtungsdauer	X		
- Zufahrtstrassen	X		Nur Zufahrtstrassenausprägung thematisiert
<b>Betrieb</b>			
- Lebensdauer	X		
- Versorgungssicherheit	X		
- Nichtverfügbarkeit	X		
- Witterungseinflüsse	X		
- Netzauslastung Maximallast	X		
- Wartung	X		
- Blindleistungsbedarf	X		
- Erfahrung	X		
<b>Unfälle (Betriebsphase)</b>		X	Kaum thematisiert

Kriterium	metr.	ordi.	Kommentar
<b>Störungen (Betriebsphase)</b>		X	
<b>Schädigungen (Entsorgungsphase)</b>		X	Kaum thematisiert
<b>Wirtschaftlichkeit</b>			Analysiert werden betriebswirtschaftliche und nicht volkswirtschaftliche Betrachtungen.
- Materialkosten	X		
- Errichtungskosten	X		
- Betriebskosten inkl. Verluste	X		
- Gesamtkosten über Lebensdauer	X		
<b>Umwelt (Konstruktionsphase)</b>			
- Auswirkungen auf Flora		X	
- Auswirkungen auf Fauna		X	
- Auswirkungen auf Böden		X	
- Auswirkungen auf Gewässer		X	
- Auswirkungen auf Grundwasser		X	
- Auswirkungen auf Flächenverbrauch		X	
<b>Umwelt (Betriebsphase)</b>			
- Auswirkung auf das Landschaftsbild		X	
- Auswirkungen auf Flora		X	
- Auswirkungen auf Fauna		X	
- Auswirkungen auf Böden		X	
- Auswirkungen auf Gewässer		X	
- Auswirkungen auf Grundwasser		X	
- Auswirkungen auf Flächenverbrauch		X	
<b>Mensch (NIS) (Immissionen)</b>			NIS = <u>N</u> icht <u>i</u> onisierende <u>S</u> trahlung
- Auswirkungen durch Lärm		X	
- Auswirkungen durch elektrische Felder		X	
- Auswirkungen durch magnetische Felder		X	
<b>Gesellschaft/Öffentlichkeit</b>			
- Folgen auf kommunal. Ebene (Tourismus, Wertverlust)		X	
- Akzeptanz in der Öffentlichkeit		X	

## 2.4 Metrisch skalierte Kriterien

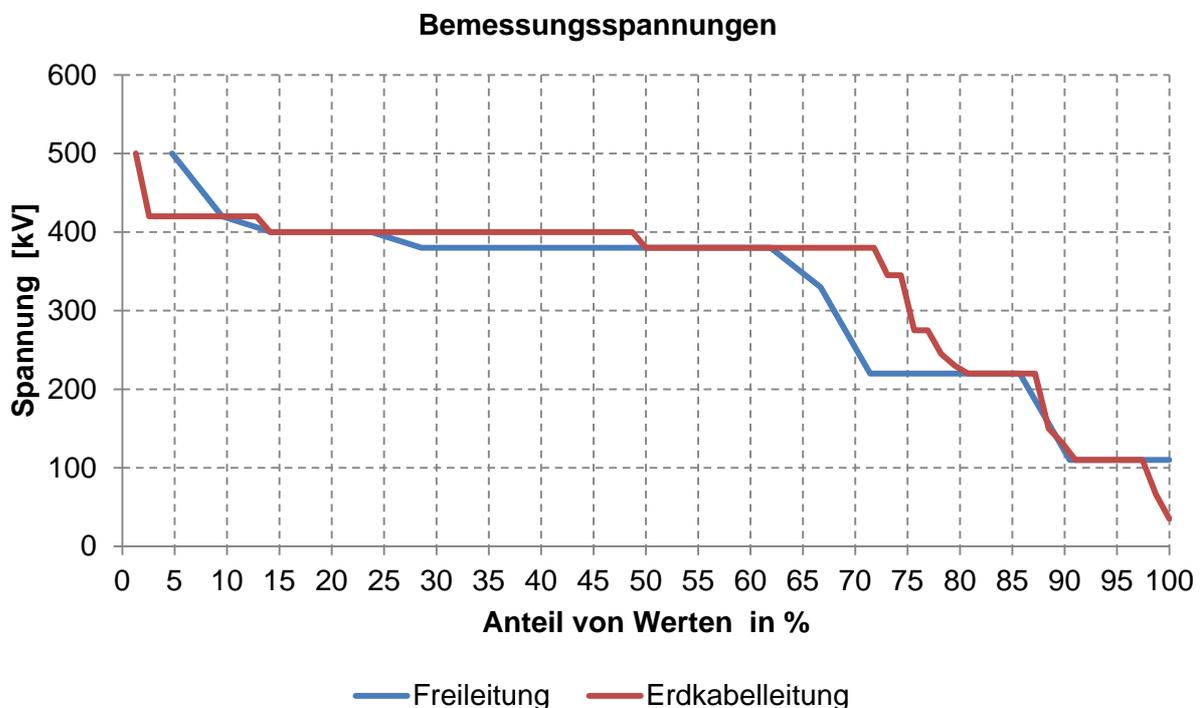
Die Ergebnisdarstellung erfolgt getrennt nach allgemeinen und projektspezifischen Studien in Steckbriefform pro untersuchtes Kriterium in folgender Struktur:

- **Technische Definition** des Kriteriums.
- **Angaben zu den Quellen** wie z.B. verwendetes Studienset und Anzahl der eingeschlossenen Studien, also jenen, in denen das Kriterium thematisiert wird.

- Angabe der **Verteilungsfunktion** bezüglich der Ausprägungen des Kriteriums in den untersuchten Studien (siehe Bild 2.2 als Beispiel) mit Angabe der Anzahl der Werte für Freileitung und Erdkabelleitungen. Die Anzahl der Werte bezieht sich dabei auf die Häufigkeit der Nennung. Mehrfachnennung pro Studie ist möglich.
- **Abgeleitete allgemeine Aussagen** bezüglich des Wertebereichs des Kriteriums.
- **Gründe für Extremwerte** bei der Verteilung des Wertebereichs eines betrachteten Kriteriums sofern ableitbar aus der Studie; sonst Verweis auf fehlende Fakten / Nachvollziehbarkeit.
- **Allgemeine Kommentare** über die Ergebnisausprägung oder besondere Randbedingungen in einer oder mehrerer der untersuchten Studien.

Die Verteilungsfunktion ist eine Dichtefunktion und gibt den Wertebereich eines Kriteriums wieder. Die Abszisse enthält die prozentuale Häufigkeit und die Ordinate repräsentiert den zum Kriterium passenden Wert. Wie bei einer Dichtefunktion üblich, gibt ein Funktionswert  $f(x)$  an in wie vielen Fällen in  $x\%$  der Zahlenwert des betrachteten Kriteriums größer oder gleich  $f(x)$  ist. Bezogen auf das Beispieldiagramm in Bild 2.2 bedeutet dies z.B.,

- dass 95% der untersuchten Studien die Bemessungsspannungen der thematisierten Übertragungstechnologie größer oder gleich 110 kV ist.
- 60% der analysierten Studien behandeln Technologien mit einer Bemessungsspannung von 380 kV bzw. 400 kV.
- In 70% der Fälle wurden Erdkabelleitungen mit einer Bemessungsspannung von 380 kV oder höher betrachtet, wobei weniger als 2,5% der Studien Erdkabelleitungen mit einer Bemessungsspannung von 500 kV betrachtet haben.



**Bild 2.2:** Beispiel einer Verteilungsfunktion als Ergebnisdarstellung anhand der Werte des Kriteriums „Bemessungsspannungen“. (Werteanzahl: 78 – Erdkabelleitung; 21 – Freileitung)

## 2.5 Ordinal skalierte Kriterien

Zur Analyse der nicht-technischen (ordinal skalierten) Kriterien wurde die Methode der quantitativen Inhaltsanalyse angewendet. Dabei handelt es sich um eine empirische Methode zur systematischen und intersubjektiv nachvollziehbaren Beschreibung inhaltlicher Merkmale von Texten, hier in Textform vorliegende Informationen aus den zu analysierenden Studien. Damit eine systematische Analyse der nicht-technischen Kriterien erfolgen konnte, wurde in der Entwicklungsphase der Inhaltsanalyse zunächst ein Codebuch, das als Instrument der Datenerfassung diente, entwickelt. In diesem Codebuch sind alle Kategorien zu denen Daten erhoben wurden, im Falle dieser Studie die vorab festgelegten Kriterien, mit ihren Ausprägungen beschrieben.<sup>2</sup> Auf diese Weise wurden die Kriterien operationalisiert („messbar“ gemacht). Mit der Definition der Kategorien wird festgelegt, welche Aspekte des Untersuchungsgegenstands erfasst werden sollen und welche nicht. Die zu erhebenden Kriterien und das Codebuch wurden dem Beirat zur Kenntnis gegeben und von ihm bestätigt. Im vorliegenden Fall wurde beispielsweise erhoben, ob in einer Studie Freileitungen oder Erdkabelleitungen hinsichtlich der jeweiligen Kriterien als besser oder schlechter beurteilt wurden. Es wurde aber nicht erhoben, ob und wie dieses Urteil in den Studien begründet wurde. Entsprechend können dazu keine Aussagen gemacht werden.

Zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit der Codierung wurden in dieser Phase die einzelnen Studien von mehreren Codierern analysiert und deren Ergebnisse verglichen und angepasst und auf diese Weise auch eine Feinjustierung des Codebuchs erreicht. Danach wurden weiterhin stichprobenartige Kontrollen der Codierung vorgenommen, um eine hohe Reliabilität und Validität der Codierung sicherzustellen. Erst dann erfolgte die finale Codierung der nicht-technischen Kriterien.

## 3 Hauptergebnisse

Nachfolgend werden die zentralen Befunde der Metastudie aufgeführt, die durch eine Metaanalyse bereits durchgeführter Primär-Untersuchungen und bestehender Ausbauprojekte gewonnen wurden. Demnach geben die Ergebnisse der vorliegenden Metastudie den aktuellen Stand der Wissenschaft und realer Ausbauprojekte auf Basis der zur Verfügung stehenden Studien zusammenfassend wieder und weisen Tendenzen, aber auch Varianzen zwischen den Studien auf. Durch die Metastudie lassen sich aus den hier untersuchten Studien einige Kernaussagen zu den Eigenschaften Freileitungen und Erdkabelleitungen ableiten, die hier in Form der Hauptergebnisse dargestellt werden. Eine ausführliche Darstellung der zu Grunde liegenden Ergebnisse finden sich in Kapitel 4 und Kapitel 5.

Es war nicht Zielsetzung der Metastudie neue Berechnungen zu den hier analysierten Kriterien anzustellen. Insbesondere die Kostenkriterien stellen eine Übersicht über die Kostenfaktoren dar, die in den analysierten Studien erarbeitet worden sind. Des Weiteren basieren die Studien nicht auf durchgängig einheitlichen betriebswirtschaftlichen und finanztechnischen Annahmen. Kosten beeinflussende Faktoren wie zum Beispiel Strompreise, Lebensdauer,

---

<sup>2</sup> Zur besseren Lesbarkeit der Ergebnisse wurden die einzelnen Kategoriendefinitionen zu jedem Kriterium aus dem Codebuch unmittelbar vor der jeweiligen Ergebnispräsentation in den Bericht eingefügt. Deshalb befindet sich das Codebuch nicht noch einmal gesondert im Anhang.

Zinssätze, Abschreibungsdauern oder auch Belastungsprofile und Verluste sind in den untersuchten Studien mitunter nicht einheitlich verwendet worden. Dies gilt auch für Einflussfaktoren, wie Veränderung der Materialpreise über die Abschreibungsdauern.

### 3.1 Allgemeine Befunde

- Aus der Mehrzahl der projektspezifischen Studien (85%) kann abgeleitet werden, dass
  - nur 2 aller zugrundeliegenden Studien 90% aller relevanten Kriterien für einen Technologieentscheid abdecken.
  - weniger als 1/3 aller zugrundeliegenden Studien 80% aller relevanten Kriterien für einen Technologieentscheid abdecken.
  - 1/4 aller zugrundeliegenden Studien weniger als 50% aller relevanten Kriterien für einen Technologieentscheid abdecken.
- Alleine aufgrund der Anzahl und Häufigkeit genannter Kriterien ist keine homogene und qualitativ ausgewogene Entscheidung über Vor- und Nachteile einer spezifischen Technologie möglich.
- Die Metastudie zeigt auf, dass es einen standardisierten, allgemein verbindlichen Prozess und rechtlich zuverlässigen Referenzrahmen (Richtlinien, Kriterien) zur sozioökonomischen Bewertung von Freileitungen und Erdkabelleitungen braucht. Dieser muss breit abgestützt und transparent kommuniziert sein.
- Bis dato wurden bei den Kosten oft nur die Investitionskosten betrachtet. In Zukunft sollte für den Vergleich der Kosten von verschiedenen Leitungsvarianten die Berechnung der Gesamtkosten über die Lebensdauer sowie der Betriebskosten analysiert, bewertet und maßgebend sein. Auch hier ist ein allgemein gültiger Bewertungsrahmen erforderlich.
- Da das Kriterium Verluste stark mit den Investitionen, dem Design, der Lebensdauer und Belastung einer Leitung zusammenhängt, sind pauschale Aussagen problematisch. Wichtig ist, dass die Verlustkriterien unter Berücksichtigung aller relevanten Beeinflussungsfaktoren bei zukünftigen Studien evaluiert werden, um Gleiches mit Gleichem zu vergleichen.

### 3.2 Metrisch skalierte Kriterien

#### *Trassenlänge*

- Die Trassenlängen von alternativen Freileitungs- und Erdkabelleitungsstrecken sind nicht immer identisch. Oft sind die alternativen Erdkabelleitungsstrecken kürzer. Gründe dafür sind sowohl höhere Kosten vom Erdkabelleitungsbau wie auch mögliche Einschränkungen zum Freileitungstrassenverlauf.
- Unter Abzug von Extremwerten (Häufigkeitsverteilung von 22% bis 77%) gelten für das Gros der Studien folgende Erkenntnisse für Trassenlängen:
  - Die **Trassenlängen** von 220-kV-Leitungen von beiden Typen sind von ca. 1 km bis 30 km.
  - Die **Trassenlängen** von 380-kV-Freileitungen sind von 4 km bis 90 km.
  - Die **Trassenlängen** von 380-kV-Erdkabelleitungen sind von 4 km bis 40 km.

## Verluste

- In der Metastudie werden ausschließlich die durch den Leitungsbetrieb bedingten technischen Verlustkennzahlen bzgl. Leistung und Energie in den Leitungen betrachtet. Die Zusammensetzung der technischen Verluste wird im Anhang 8 beschrieben.
- Verluste hängen von der Belastung und der Auslegung einer Leitung ab. Bei richtiger Auslegung ist grundsätzlich davon auszugehen, dass ein wirtschaftliches Optimum von Erdkabelleitungen und Freileitungen angestrebt worden ist. Aus diesem Grund sind sowohl Erdkabelleitungen als auch Freileitungen für sich genommen wirtschaftlich optimiert. Die einzelnen Verlustfaktoren können zwischen Erdkabelleitung und Freileitung variieren.
- Die allgemeinen Studien zeigen auf, dass die lastunabhängigen Verluste bei Freileitungen geringer sind als bei Erdkabelleitungen. Zum selben Ergebnis kommen projektorientierte Studien.
- Bei den lastabhängigen Verlusten hingegen verzeichnet die Freileitungsvariante bei identischem Betriebszustand höhere Verluste als die Erdkabelleitung.
- Nur wenige Studien adressieren die Zusatzverluste in Drosseln und in Schirmen, die bei Erdkabelleitungsstrecken auftreten, obwohl die Drosselverluste gemäß den Auswertungsergebnissen zahlenmäßig höher als die spannungsabhängigen Verluste sind. Schirmverluste können sowohl größer als auch kleiner als die spannungsabhängigen Verluste sein.
- Die ab einer gewissen Erdkabelleitungslänge vorzusehende Blindleistungskompensation wird in den analysierten Studien ausreichend thematisiert.
- Eine allgemeine Aussage darüber, ab welcher Länge grundsätzlich eine Kompensation eingesetzt werden muss und ob und wie stark der Betrieb einer Kompensationsanlage einen Einfluss auf die Verluste einer Erdkabelleitung hat, kann aus den Studien nicht abgeleitet werden.
- Es besteht ein Mangel an einem einheitlichen Referenzrahmen für die Durchführung der Verlustanalyse. Weitere Recherchen und Überlegungen sind hier notwendig.

## Betrieb / Versorgungssicherheit

- Bei Betrachtung der Parameter Ausfallhäufigkeit, Reparaturdauer und Nichtverfügbarkeit stehen Freileitungen für den Normalbetrieb schneller wieder zur Verfügung als Erdkabelleitungen. Freileitungen haben zwar eine leicht höhere Ausfallhäufigkeit, dafür dauert die Reparatur bei Erdkabelleitungen länger. Daraus resultiert eine um den Faktor 40 - 270 höhere Nichtverfügbarkeit von Erdkabelleitungssystemen. Statistisch bedeutet das, dass eine Erdkabelleitung im Vergleich zu einer Freileitung 40-fach bis zu 270-fach länger im Falle einer störungsbedingte Abschaltung außer Betrieb stehen wird als eine Freileitung.
- Der Blindleistungsbedarf von Erdkabelleitungen hängt von der Länge der Strecke ab. Alle Studien sagen aus, dass ab einer gewissen Streckenlänge (u.U. schon ab 5 km) Blindleistungskompensationsanlagen notwendig sind. Dies bedeutet Zusatzkosten bei den Blindleistungskompensationsanlagen je nach Belastung und Streckenlänge. Diese Aussage steht in Ergänzung zu o.g. Aussage zum Thema Kompensation.
- Bei reiner Betrachtung des Kriteriums Lebensdauer, müsste grundsätzlich immer die Variante Freileitung gewählt werden. Für Erdkabelleitungen gelten 20 bis 60 Jahre, für

Freileitungen 40 bis 120 Jahre. Es gibt keine international gültigen regulatorischen Vorschriften auf diesem Gebiet. In diesem Zusammenhang muss berücksichtigt werden, dass die entsprechenden Erfahrungswerte für VPE-Höchstspannungskabel noch fehlen und heute lediglich Schätzwerte angegeben werden können, da es in Europa noch keine Projekte gibt, die älter als 40 Jahre sind.

**Anmerkung:** Ein Ersatz der Leiterseile nach z.B. 40 Jahren ist in der Schweiz aufgrund der verwendeten Seilqualitäten (Aldrey oder Alu mit Stahlkern) nicht notwendig, d.h. die Lebensdauer der Freileitungsbeseilung in der Schweiz bewegt sich im oberen Bereich der Studienskala.

### *Betriebswirtschaftliche Kosten*

- Die Kostenbetrachtung beinhaltet drei Kriterien: Investitionskosten, Betriebskosten und Gesamtkosten. Nur 30% bis 35% der Studien greifen die Kriterien Betriebskosten inklusive Verluste und Gesamtkosten über die Lebensdauer auf. Wohingegen 60% das Kriterium Investitionskosten thematisieren.
- Zu den **Investitionskosten** zählen die Material- und Errichtungskosten vor der Inbetriebnahme und je nach Zeithorizont Re-Investitionskosten nach Ablauf der Lebensdauer. Alle Studien berücksichtigen nicht dieselben Parameter. Die Vergleichbarkeit ist nicht über alle Studien gegeben. 80% der minimalen und maximalen Werte stammen aus den Studien zum Leitungsbau in Deutschland.

Die **Investitionskosten** bei Erdkabelleitungen liegen nach Abzug der Extremwerte je nach Spannungsebene zwischen dem 2- bis 13-fachen im Vergleich zu Freileitungen; je höher die Spannungsebene, desto höher die Kostendifferenz. Die minimalen und maximalen Investitionskosten resultieren zum Teil aus der Verlegung von nur einem System, aus kurzen Übertragungstrecken, überdurchschnittlich großen Leiterquerschnitten und nicht vergleichbaren Systemen an der Küste oder im Mittelgebirge.

Unter Abzug von Extremwerten (Häufigkeitsverteilung von 25% bis 75%) gelten für das Gros der Studien folgende Erkenntnisse für Investitionskosten:

- Die **Investitionskosten** bei 110-kV-Erdkabelleitungen liegen beim 2- bis 4-fachen gegenüber Freileitungen.
- Die **Investitionskosten** bei 220-kV-Erdkabelleitungen liegen beim 8- bis 10-fachen gegenüber Freileitungen.
- Die **Investitionskosten** bei 380-kV-Erdkabelleitungen liegen beim 9- bis 13-fachen gegenüber Freileitungen.
- Zu den **Betriebskosten** zählen die Wartungs-, Unterhalts- und Verlustkosten. Eine vollständige Betrachtung beinhaltet auch die Nichtverfügbarkeitskosten einer Anlage. 60% der Studien, in denen die Betriebskosten thematisiert werden, berücksichtigen jedoch ausschließlich die Verlustkosten, mit der Begründung, dass diese das Gros der Betriebskosten ausmachen. Nur 20% der Studien mit der Thematisierung von Betriebskosten betrachten auch die Nichtverfügbarkeitskosten. Die Studien mit der Thematisierung von Nichtverfügbarkeitskosten stammen aus Deutschland und Großbritannien.

Die **Betriebskosten** von Freileitungen liegen nach Abzug der Extremwerte je nach Spannungsebene zwischen dem 1- bis 4-fachen im Vergleich zu Erdkabelleitungen, mit Ausnahme von 380-kV-Leitungen. Hier liegen in 80% der Fälle die Betriebskosten von Erdkabelleitungen nahe derer der Freileitung bzw. bis maximal beim 2-fachen ge-

genüber Freileitungen. Da es sich nicht um einen Projekt-zu-Projekt-Vergleich handelt, sollte die Schwankungsbreite berücksichtigt werden: In diesen 80% ergibt der größte Wert „Erdkabelleitung“ zum kleinsten Wert „Freileitung“ einen Faktor von ungefähr 10. In den verbleibenden 20% hingegen weist der Faktor kleinster Wert „Erdkabelleitung“ zu kleinster Wert „Freileitung“ den Wert 5 auf.

Alle Studien berücksichtigen nicht dieselben Parameter. Die Vergleichbarkeit ist nicht über alle Studien gegeben. Etwa 70% der minimalen und maximalen Werte stammen aus den Studien zum Leitungsbau in Deutschland.

Unter Abzug von Extremwerten (Häufigkeitsverteilung von 25% bis 75%) gelten für das Gros der Studien folgende Erkenntnisse für Betriebskosten:

- Die **Betriebskosten** für 110-kV-Freileitungen liegen beim 2,5 bis 4-fachen gegenüber Erdkabelleitungen.
- Die **Betriebskosten** für 220-kV-Freileitungen liegen beim 2 bis 2,2-fachen gegenüber Erdkabelleitungen.
- Die **Betriebskosten** für 380-kV-Erdkabelleitungen liegen beim 1- bis 2-fachen gegenüber Freileitungen.

Die Betriebskosten sind grundsätzlich von aktuellen Strompreisen abhängig. Im Falle einer Erhöhung der Strompreise wird die Betriebskostenrelation Freileitung / Erdkabelleitung allerdings weniger betroffen, da die Kosten für die Nichtverfügbarkeit einen dominanten Einfluss haben.

- Die in den Studien thematisierten **Gesamtkosten** sind nicht notwendiger Weise aus einzeln ausgewiesenen Betriebs- und Investitionskosten berechnet worden. Es werden hier ausschließlich betriebswirtschaftliche und nicht volkswirtschaftliche Kosten analysiert. Auf die volkswirtschaftlichen Kostenbetrachtungen (Werte von Flächen/Boden, Wert von Landschaft, etc.) wurde in den betrachteten Studien entweder gar nicht oder nicht ausreichend für eine fundierte Gegenüberstellung eingegangen. Das Thema „Volkswirtschaftliche Kostenanalyse beim Höchstspannungsleitungsbau“ erfordert weitere Recherche und kann in der vorliegenden Metastudie nicht abgedeckt werden. Alle hier zusammengestellten Gesamtkosten sind direkt aus den analysierten Studien entnommen. Im Rahmen der Metastudie wurde keine (Nach-)Berechnung der Gesamtkosten aus Betriebs- und Investitionskosten vorgenommen. In der absoluten Mehrheit von Studien wurde die Barwertmethode für die Bestimmung von **Gesamtkosten über die Lebensdauer** der Leitungen verwendet.
- Im Allgemeinen belegen die untersuchten Studien, dass die Gesamtkosten bei einer angesetzten Betrachtungsdauer von 80 Jahren für eine Kabelanlage größer sind als jene für eine Freileitungsanlage. Dies resultiert vornehmlich aus den höheren Investitionskosten für Kabelanlagen. Hinzu kommt, dass die Lebensdauer für Erdkabelleitungen in der Regel mit 40 Jahren angenommen wird, sodass für diese Anlagen innerhalb der Betrachtungsdauer Reinvestitionen zu leisten sind. Wenige der untersuchten Studien beziehen auch noch Ausfallkosten für Nichtverfügbarkeit in ihre Betriebskostenberechnung mit ein. Da eine Fehlerbehebung bei Erdkabelleitungen in der Regel länger dauert, als bei Freileitungen, vergrößert auch dies die Gesamtkostendifferenz weiter.
- Die vorausgesetzten Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind bei den untersuchten Studien nicht durchgängig einheitlich, weshalb nicht alle Studien direkt miteinander vergleichbar sind. Hier zeigen sich die Grenzen der Methode der Metastudie,

um aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen müssten die Projektstudien im Detail mit einem einheitlich definierten Berechnungsprozess nachgerechnet werden.

- Der direkte Vergleich von Gesamtkosten von Freileitungen und Erdkabelleitungen innerhalb einer der untersuchten Studien, wurde immer auf einer einheitlichen zeitlichen Vergleichsbasis durchgeführt. Zwischen den analysierten Studien hingegen gibt es erhebliche Unterschiede in den betrachteten Lebensdauern. Für die 380-kV-Übertragungstrecken wird die Betrachtungsdauer von 80 Jahren in 50% der relevanten Studien angenommen. Die restlichen Studien über die 380-kV-Leitungen berücksichtigen die Lebensdauer von 40 Jahren. Für die 220-kV-Übertragungstrecken wird die Lebensdauer von 80 Jahren in allen relevanten Studien betrachtet. Für die 110-kV-Leitungen wird die Lebensdauer von 40 Jahren in 67% der relevanten Studien angenommen. In 33% der Studien über 110-kV-Leitungen wird die Lebensdauer sogar von 25 Jahren betrachtet. Aus diesem Grund kann keine allgemein gültige Aussage über die Gesamtkostenverhältnisse zwischen Erdkabelleitungen und Freileitungen angegeben werden.
- Je kürzer die Verkabelungsstrecke ist, desto höher sind die Gesamtkosten im Vergleich zu Freileitungen, weil der Kostenaufwand für den erforderlichen Übergangsanlagen an den Verbindungsstellen von den Erdkabelleitungen zum Freileitungsnetz die gesamte Kostenrelation der alternativen Leitungsvarianten bei kürzeren Streckenlängen stärker beeinflusst. Näherungsweise können die Erdkabelleitungsstrecken von 1-3 km als kurz betrachtet werden, es sei jedoch angemerkt, dass das genaue Kostenverhältnis immer projektspezifisch ist.
- 110-kV-Netze dienen z.T. als Übertragungsnetze in Deutschland und in Österreich. Aus diesem Grund werden die relevanten Kostenfaktoren für alternative 110-kV-Leitungsauslegungen in einer Reihe von Studien im betrachteten Studienset analysiert. 20% der projektorientierten Studien, die sich mit den Kostenfragen zum Leitungsbau auseinandersetzen, betrachten die Kostenproblematik von 110-kV-Leitungen. Jede zweite Studie davon berücksichtigt sowohl die Höchstspannungs- als auch die 110-kV-Ebene.
- Ein Quervergleich auf tiefere Spannungsebenen verdeutlicht die Änderungen der relativen Kostenunterschiede für die alternativen Varianten vom Leitungsbau in Abhängigkeit vom ausgewählten Netznennspannungsniveau.

### 3.3 Ordinal skalierte Kriterien

#### *Landschaftsbild*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen auf das Landschaftsbild, insbesondere durch die Sichtbarkeit von Leitungen und baulichen Konstruktionen, thematisiert und bewertet wurden.

- Das Kriterium *Landschaftsbild* wurde sehr oft thematisiert.
- Freileitungen werden in hohem Masse negativ bewertet. Aber auch für die Erdkabelleitungen gibt es einige negative Bewertungen.
- Direkte Vergleiche der Auswirkungen auf das Landschaftsbild fallen immer zugunsten der Erdkabelleitung aus.

### *Flora*<sup>3</sup>

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen auf die Flora während der Konstruktions- und der Betriebsphase beispielsweise durch Waldrodungen, Niederhaltungen, Unterbrechungen von Biotopen thematisiert und bewertet wurden.

- Das Kriterium *Flora* wurde in der Betriebsphase öfter thematisiert als in der Konstruktionsphase.
- Sowohl Erdkabelleitung als auch Freileitungen wirken sich in beiden Phasen (Konstruktion und Betrieb) negativ auf die Flora aus.
- Zum direkten Vergleich liegen nur wenige Daten vor. Die vorliegenden Daten fallen in der Konstruktionsphase zugunsten der Freileitung aus, in der Betriebsphase sind die Befunde widersprüchlich.

### *Fauna*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen auf die Fauna während der Konstruktions- und der Betriebsphase beispielsweise durch Stromschlag, Verlust von Rückzugsgebieten, Wanderungsbarrieren thematisiert und bewertet wurden.

- In der Betriebsphase wurde das Kriterium *Fauna* öfter thematisiert als in der Konstruktionsphase.
- Die Freileitungen werden sowohl in der Konstruktionsphase als auch im Betrieb negativ bewertet, zum Teil sogar sehr negativ. Für Erdkabelleitung gilt dieser Befund primär für die Konstruktionsphase. In der Betriebsphase sind die negativen Bewertungen für die Erdkabelleitung seltener.
- Im direkten Vergleich von Erdkabelleitung und Freileitung widersprechen sich die Studien bezüglich der Betriebsphase. In der Konstruktionsphase fallen sie eindeutig zugunsten der Freileitungen aus.

### *Böden*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen auf Böden während der Konstruktions- und der Betriebsphase beispielsweise durch Bodenumlagerungen, Bodenverdichtung, Boden Erwärmung oder Kontamination thematisiert und bewertet wurden.

- Die Auswirkungen auf Böden wurden insbesondere für Erdkabelleitung in der Betriebsphase thematisiert.
- Sowohl Erdkabelleitung als auch Freileitungen werden in beiden Phasen negativ bewertet, Erdkabelleitung jedoch in erhöhtem Ausmaß.
- Die direkten Vergleiche zwischen Erdkabelleitung und Freileitung fallen in beiden Phasen ebenfalls zugunsten der Freileitungen aus.

### *Flächen*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob der Flächenverbrauch während der Konstruktions- und der Betriebsphase beispielsweise durch Flächenversiegelung und Trassenbreite thematisiert und bewertet wurde.

---

<sup>3</sup> Auch: Flora und Wald

- Das Kriterium *Flächen* wurde in der Betriebsphase öfter thematisiert als in der Konstruktionsphase.
- Insgesamt überwiegen Einschätzungen mit leicht negativer oder ambivalenter Tendenz. Die Bewertungen der Erdkabelleitungen fallen in der Konstruktions- und tendenziell auch in der Betriebsphase negativer aus als die Einschätzungen der Freileitungen.
- In der Konstruktionsphase fällt der direkte Vergleich zugunsten der Freileitungen aus. Bezüglich der Betriebsphase kommen die Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen.

#### *Gewässer*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen auf Gewässer während der Konstruktions- und der Betriebsphase beispielsweise durch Störungen des natürlichen Verlaufs von Fließgewässern, Entwässerung oder Kontamination thematisiert und bewertet wurden.

- Das Kriterium *Gewässer* wurde in beiden Phasen kaum thematisiert, eindeutige Schlussfolgerungen sind deshalb schwierig.
- Beide Leitungstypen werden in beiden Phasen eher negativ bewertet.
- Im direkten Vergleich fällt das Urteil jedoch zugunsten der Freileitungen aus.

#### *Grundwasser*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen auf das Grundwasser während der Konstruktions- und der Betriebsphase insbesondere durch Absenkung des Grundwasserspiegels oder Kontamination thematisiert und bewertet wurden.

- Das Kriterium *Grundwasser* wurde in beiden Phasen kaum thematisiert. Eindeutige Schlussfolgerungen sind deshalb schwierig.
- Es liegen nur wenige Bewertungen vor, diese fallen jedoch tendenziell in beiden Phasen für Erdkabelleitungen negativer aus.
- In beiden Phasen wurden kaum direkte Vergleiche zwischen Erdkabelleitungen und Freileitungen vorgenommen.

#### *Lärm*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Lärmbelästigung während der Konstruktions- und der Betriebsphase – zum einen durch Baulärm und zum anderen durch Betriebsgeräusche – thematisiert und bewertet wurden.

- Das Kriterium *Lärm* wurde insbesondere für 380-kV-Freileitungen in der Betriebsphase thematisiert.
- Während der Betriebsphase wurde das Kriterium Lärm fast überhaupt nicht bewertet. In der Konstruktionsphase werden vor allem Erdkabelleitungen bei diesem Kriterium negativ bewertet.
- Es wurden in beiden Phasen kaum direkte Vergleiche zwischen Erdkabelleitungen und Freileitungen vorgenommen.

### *Magnetische Felder*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen durch magnetische Felder auf den Menschen während der Betriebsphase beispielsweise in Form von Schlafstörungen, Krankheiten, Auswirkungen auf Herzschrittmacher thematisiert und bewertet wurden.

- Das Kriterium *magnetische Felder* wurde sehr oft thematisiert.
- In den meisten Fällen gibt es keine klaren Bewertungen (neutrale, widersprüchliche oder keine Bewertungen). Für die Schweiz gibt es lediglich eine negative Bewertung für Freileitungen.
- Im direkten Vergleich schneiden Erdkabelleitungen in den Studien besser ab als Freileitungen.

### *Elektrische Felder*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen durch elektrische Felder während der Betriebsphase beispielsweise in Form von Schlafstörungen, Krankheiten, Wachstumsstörungen thematisiert und bewertet wurden.

- Das Kriterium *elektrische Felder* wurde sehr oft thematisiert.
- In den meisten Fällen gibt es keine klaren Bewertungen (neutrale, widersprüchliche oder keine Bewertungen). Für die Schweiz gibt es lediglich eine negative Bewertung für Freileitungen.
- Im direkten Vergleich schneiden Erdkabelleitungen in den Studien besser ab als Freileitungen.

### *Auswirkungen auf kommunaler Ebene*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Auswirkungen auf kommunaler Ebene während der Betriebsphase beispielsweise auf Tourismus/Naherholung, Ortsentwicklung oder den Wert von Grundstücken thematisiert und bewertet wurden.

- Das Kriterium *kommunale Auswirkungen* wurde in knapp der Hälfte der Fälle thematisiert.
- Sowohl für Freileitungen als auch für Erdkabelleitungen sind negative Bewertungen zu finden.
- Ein direkter Vergleich von Freileitungen und Erdkabelleitungen findet selten statt und wenn, dann sind die Befunde widersprüchlich.

### *Akzeptanz in der Bevölkerung*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Aussagen über die Akzeptanz der geplanten Leitung in der Bevölkerung beispielsweise in Form von Protesten oder Einsprüchen thematisiert und bewertet wurden.

- Das Kriterium *Akzeptanz* wurde in einem guten Viertel der Fälle thematisiert.
- Für Freileitungen fallen die Bewertung sehr häufig negativ aus.
- Im direkten Vergleich wird die Erdkabelleitung besser beurteilt.

### *Störungen in der Betriebsphase*

Mit diesem Kriterium wurde erfasst, ob Störungen – hervorgerufen durch gewollte und ungewollte menschliche Eingriffe oder Umwelteinwirkungen – thematisiert und bewertet wurden, die während der Betriebsphase zu Ausfällen oder negativen Auswirkungen auf die Umwelt führen können.

- Das Kriterium *Störungen* wurde sehr häufig untersucht.
- Insgesamt betrachtet waren die Bewertungen bei den Freileitungen weniger negativ als bei den Erdkabelleitungen. Bei beiden Leitungstypen wurden jedoch in weniger als der Hälfte der Fälle negative Bewertungen abgegeben.
- Im direkten Vergleich kommen die Studien zu widersprüchlichen Ergebnissen, wobei die Auswirkungen von Störfällen bei Freileitungen häufiger als weniger schwerwiegend beurteilt wurden als Störfälle bei Erdkabelleitungen.

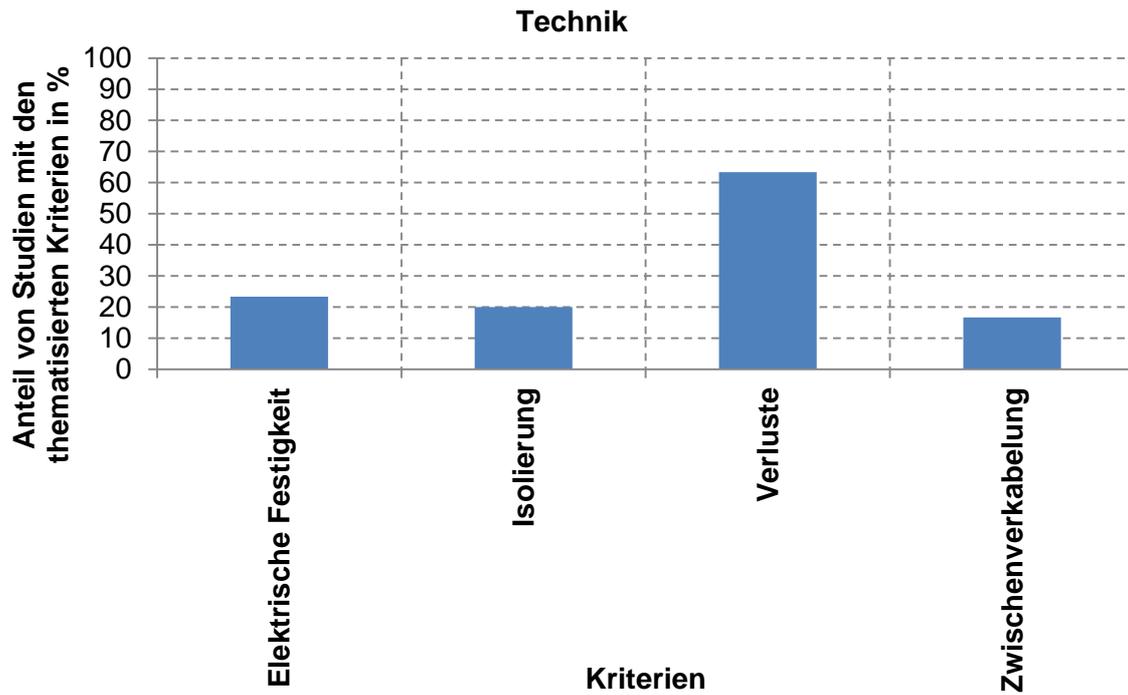
## **4 Detailergebnisse – Metrisch skalierte Kriterien**

### **4.1 Vorbemerkungen**

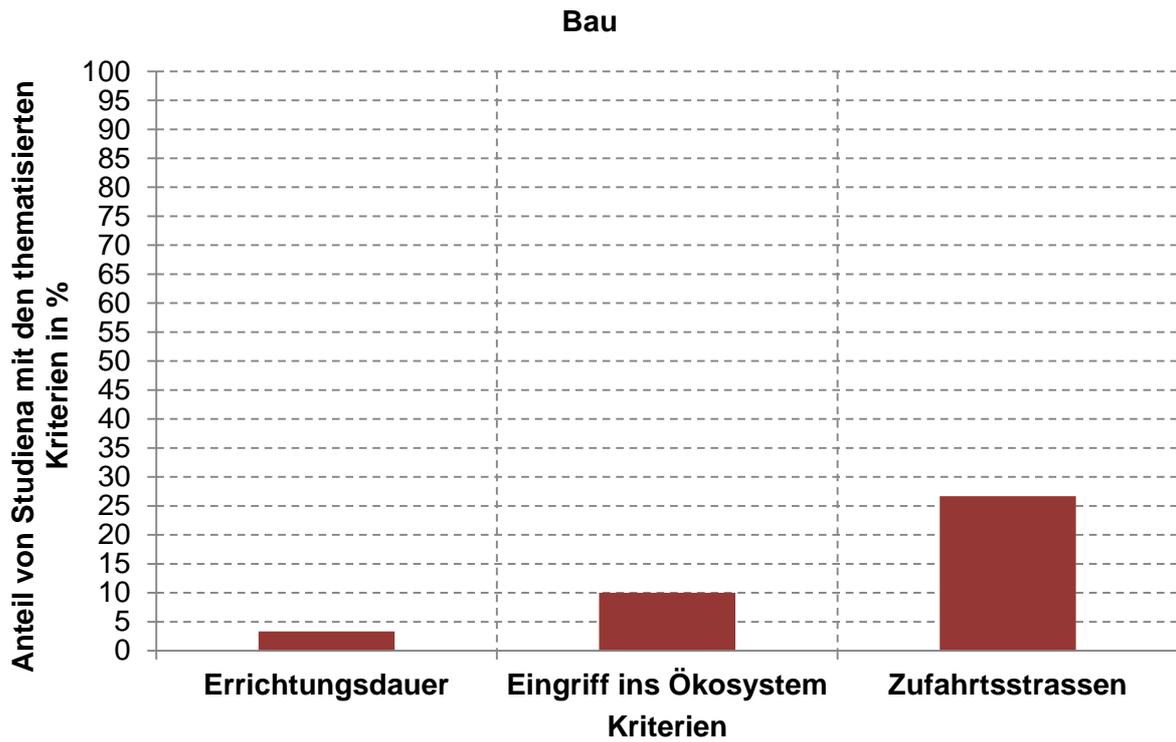
In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der Studienanalyse bezüglich der metrisch skalierbaren Kriterien angegeben. Ein Großteil der gewinnbaren Daten ist in den projektorientierten Studien angegeben. Aus diesem Grund liegt der Auswertungsschwerpunkt in diesem Dokument auf der ausführlichen Darstellung der Ergebnisse im Kontext dieses Studiensets. Dies bezieht sich insbesondere auch auf die Umrechnung von metrisch skalierten Größen auf eine einheitliche Bezugsbasis, die hier für die projektorientierten Studien erfolgt ist (z.B. Verluste, Kosten, etc. die zum Teil pro System bzw. pro Leiter oder pro Punkt-zu-Punkt-Verbindung angegeben worden sind).

### **4.2 Allgemeine Studien**

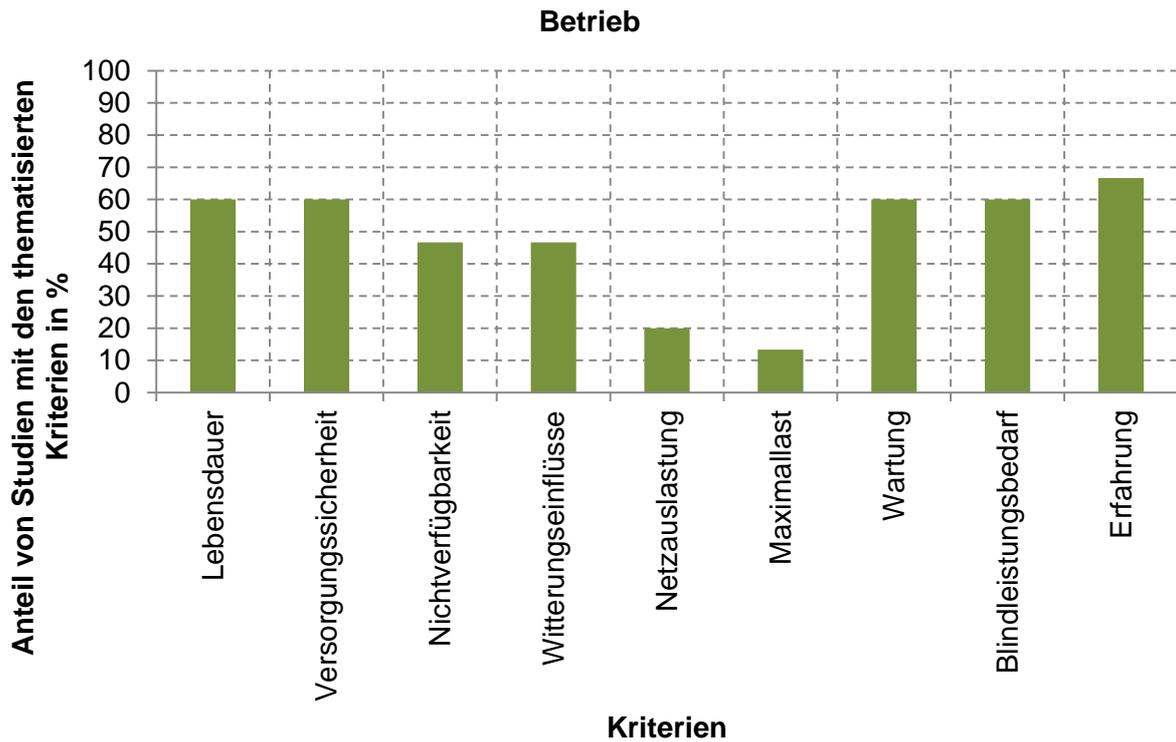
Nachfolgend werden die Häufigkeiten der Thematisierung von einzelnen Kriterien zu den Themen „Technik“, „Bau“, „Betrieb“ für das Studienset zur allgemeinen Analyse (Studienset dazu siehe Anhang 1) dargestellt. Das betrachtete Studienset besteht aus 30 Studien. Aus den Bildern 4.1 – 4.3 ist ersichtlich, dass das technische Kriterium „Verluste“ **am häufigsten** im Studienset thematisiert wird (über 60% der Studien). Es ist weiterhin zu sehen, dass die Bauproblematik im Studienset kaum Erwähnung findet. Die Thematik „Betrieb“ wird im Studienset oft betrachtet. In erster Linie geht es um die Kriterien „Lebensdauer, Versorgungssicherheit, Wartung, Blindleistungsbedarf und Erfahrung“ (60% von Studien). Es sei angemerkt, dass die volle Gesamtheit der vordefinierten Kriterien jedoch nur in wenigen Studien (< 5% der Studien) berücksichtigt wird. 80% der Kriterien werden nur in 10% von Studien betrachtet. (Bild 4.4 ).



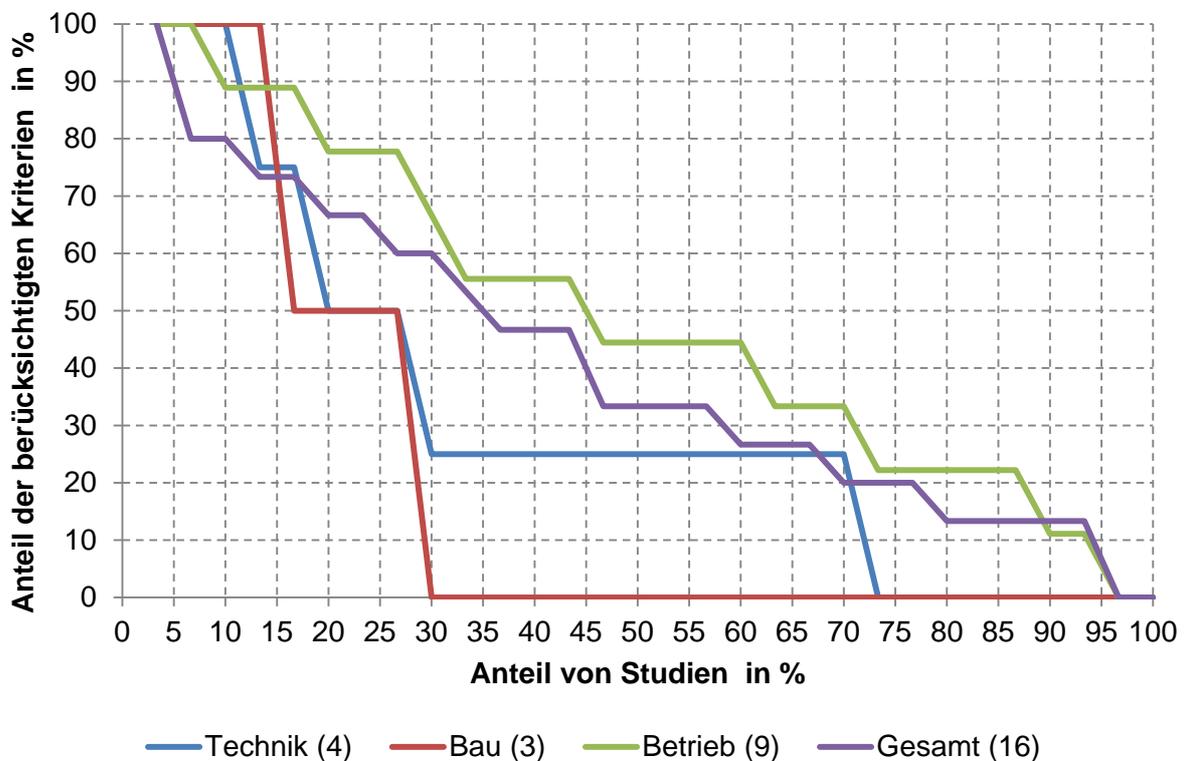
**Bild 4.1:** Übersicht der vordefinierten Kriterien zum Thema „Technik“



**Bild 4.2:** Übersicht der vordefinierten Kriterien zum Thema „Bau“



**Bild 4.3:** Übersicht der vordefinierten Kriterien zum Thema „Betrieb“

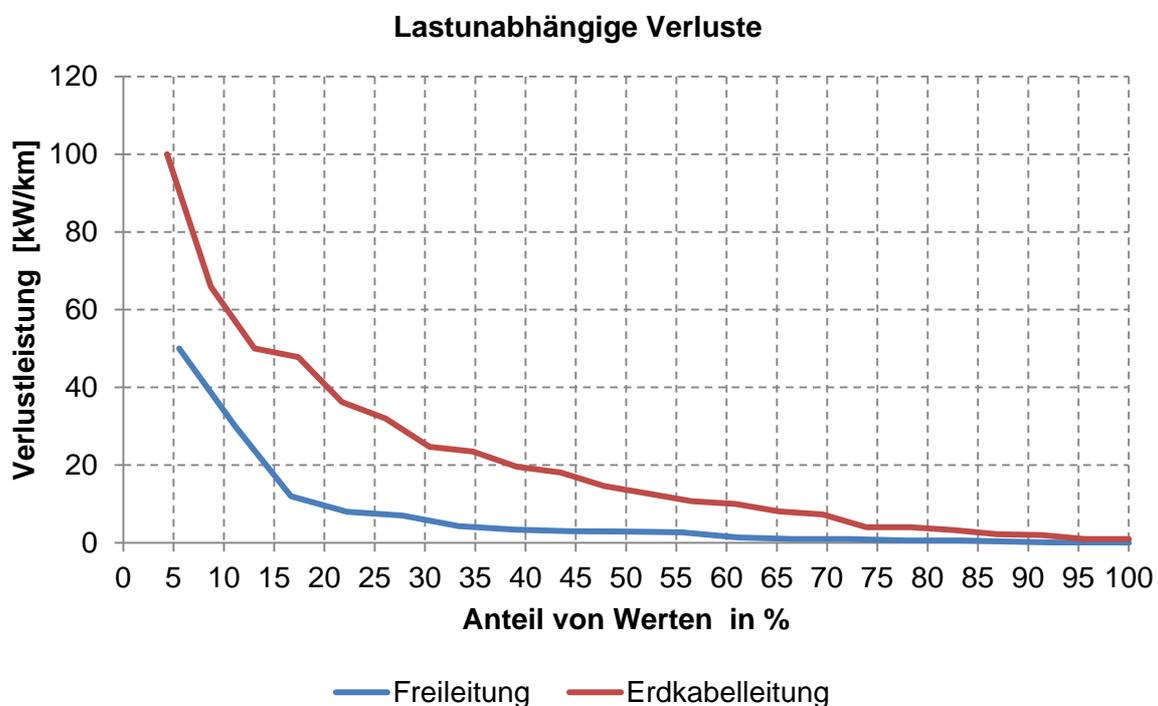


**Bild 4.4:** Zugeordnetes Diagramm zur Präsenz der Kriterien zu den Themen „Technik“, „Bau“ und „Betrieb“ im Studienset (30 Studien, Anhang 1)

Die Bilder 4.5 - 4.8 stellen **exemplarisch** die Verteilungen der Zahlenwerte von metrisch skalierten Kriterien dar.

Das Kriterium „Verluste“, als das am häufigsten thematisierte Kriterium der vordefinierten Kriterien-Auswahl zum Thema „Technik“, wird im Bild 4.5 präsentiert. Für eine vollständige Analyse der Verluste unter Berücksichtigung von allen Bestandteilen der Gesamtverluste wird die Zahl der Werte aus dem Studienset jedoch nicht ausreichen. Eine umfangreiche Verlust-Analyse wird anhand der Datenwerte von projektorientierten Studien durchgeführt (s. Punkt 4.3)

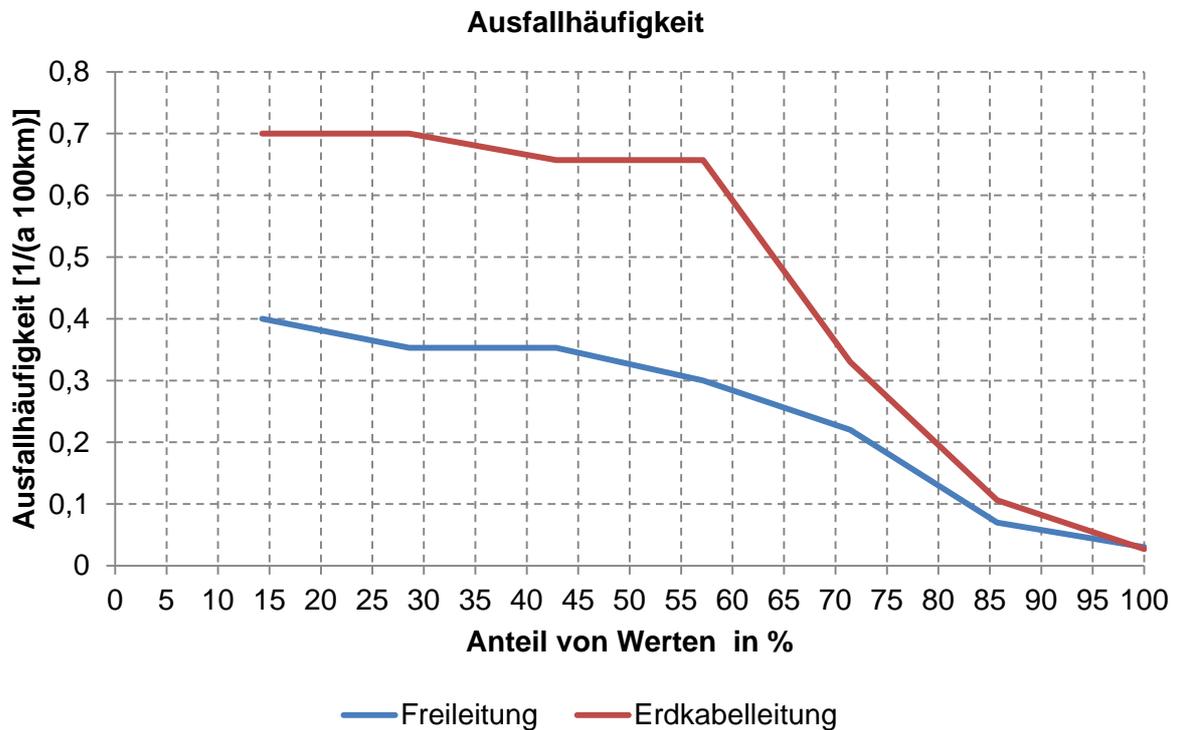
Es sei angemerkt, dass die metrisch skalierbaren Kriterien im Studienset zur allgemeinen Problematik der Erdkabelleitungs-/Freileitungsverlegung überwiegend qualitativ charakterisiert werden (beispielsweise. „hohe Verluste, niedrigere Verluste, vergleichbare Verluste“, etc.). Aus diesem Grund werden detaillierte Auswertungen zur Quantifizierung der metrisch skalierbaren Kriterien anhand der Analyse des projektorientierten Studiensets vorgenommen.



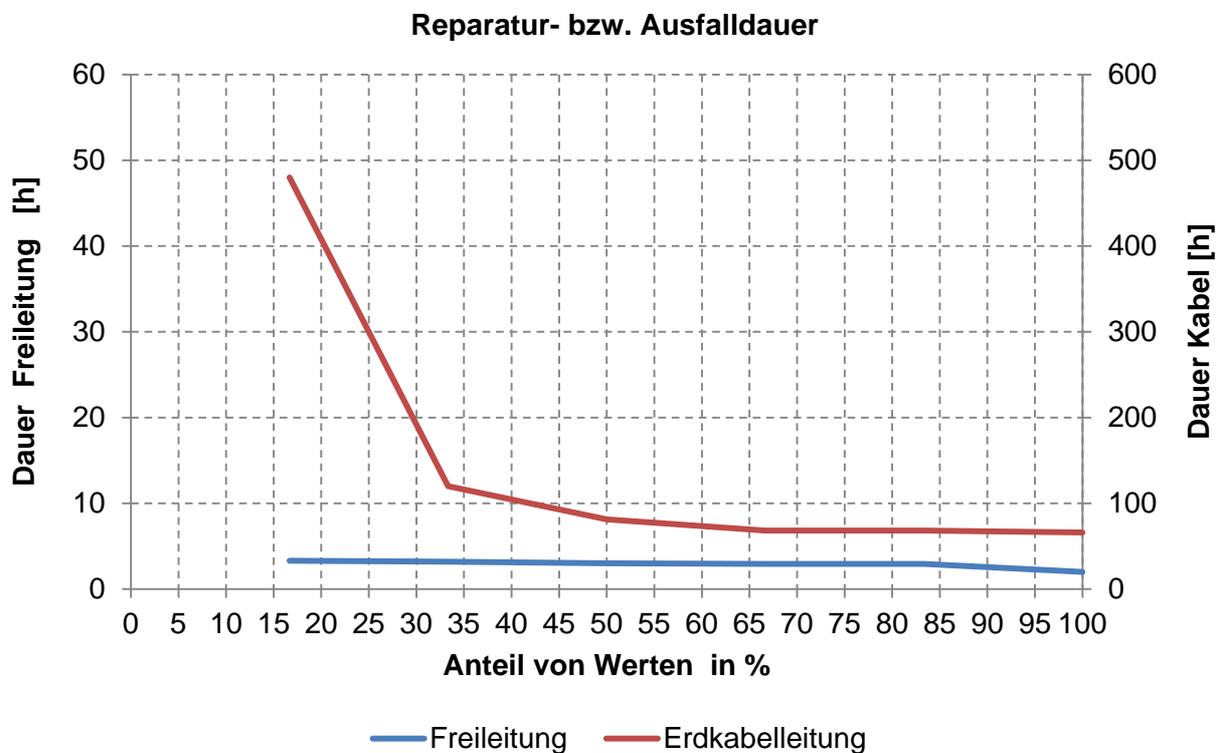
**Bild 4.5:** Verteilung der Werte des Kriteriums „lastunabhängige Verluste“. (Werteanzahl: 23 – Erdkabelleitung; 18 – Freileitung)

Die Bilder 4.6 - 4.8 zeigen die Charakteristiken von Kriterien „Versorgungssicherheit“ („Ausfallhäufigkeit“ und „Reparatur- bzw. Ausfalldauer“) sowie „Nichtverfügbarkeit“. Es ist aus den Bildern 4.6 - 4.8 zu erkennen, dass Freileitungen in Anbetracht der Parameter Ausfallhäufigkeit, Reparaturdauer und Nichtverfügbarkeit für den Normalbetrieb schneller als Erdkabelleitungen wieder zur Verfügung stehen. Freileitungen haben zwar eine leicht höhere Ausfallhäufigkeit, dafür dauert die Reparatur bei Erdkabelleitungen länger. Daraus resultiert eine um den Faktor 40 – 270 höhere Nichtverfügbarkeit von Erdkabelleitungssystemen. Statistisch bedeutet das, dass eine Erdkabelleitung im Vergleich zu einer Freileitung 40-fach bis zu 270-fach län-

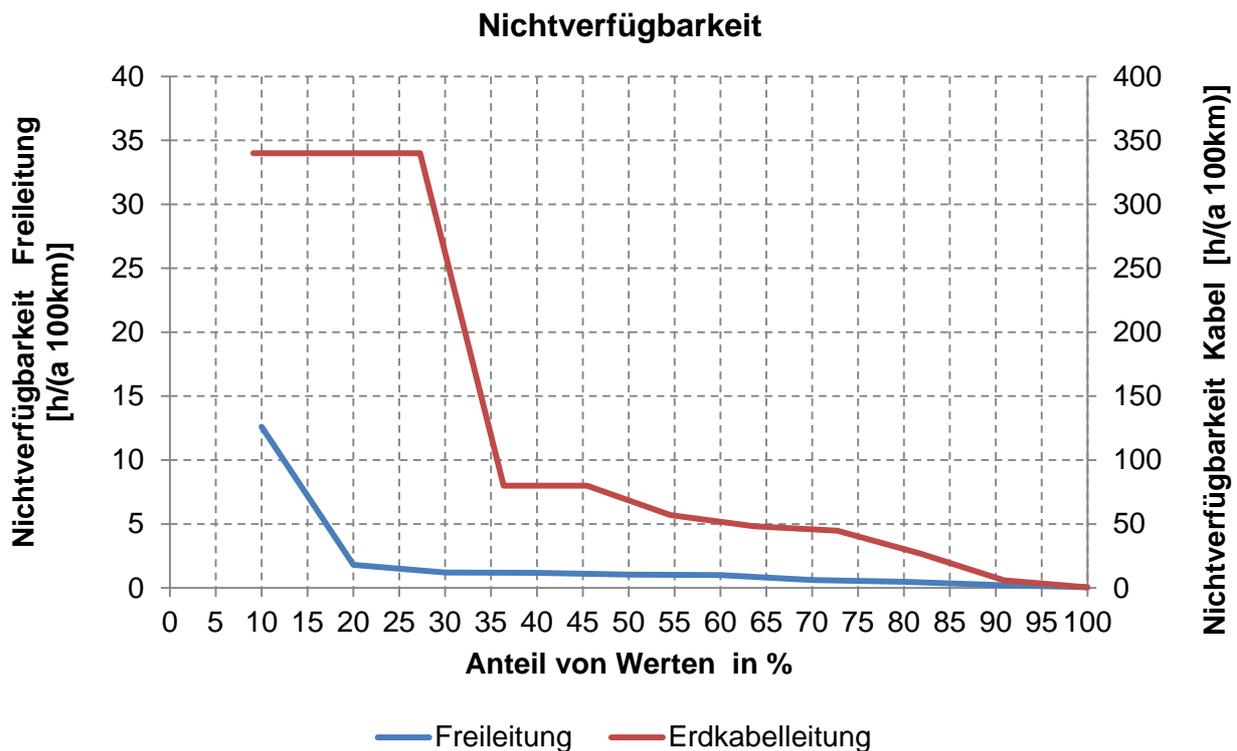
ger im Falle einer störungsbedingte Abschaltung außer Betrieb stehen wird als eine Freileitung.



**Bild 4.6:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Versorgungssicherheit-Ausfallhäufigkeit“. (Werteanzahl: 7 – Erdkabelleitung; 7 – Freileitung)



**Bild 4.7:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Versorgungssicherheit- Reparaturdauer“. (Werteanzahl: 6 – Erdkabelleitung; 6 – Freileitung)



**Bild 4.8:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Nichtverfügbarkeit“ (Werteanzahl: 11 – Erdkabelleitung; 10 – Freileitung)

### 4.3 Projektorientierte Studien

Nachfolgend werden die Häufigkeiten der Thematisierung von einzelnen Kriterien zu den Themen „Technik“, „Bau“, „Betrieb“ für das betrachtete Set (Studienset dazu siehe Anhang 2) dargestellt. Für die Häufigkeitsanalyse wurden nur die ersten 26 Studien gemäß der Liste aus dem Anhang 2 (Studien [2.1 – 2.26]) berücksichtigt, da die Studien [2.27 - 2.33] zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung gestellt wurden. Für die Zahlenwertanalyse der technischen und wirtschaftlichen Kriterien wurden insgesamt 29 Studien [2.1 - 2.29] berücksichtigt. Die Studien [2.30 – 2.33] waren zum Zeitpunkt der Durchführung der Analyse nicht verfügbar.

Die Bilder 4.9 - 4.14 zeigen die Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse der Kriterienthematisierung im projektorientierten Studienset. Die Bilder 4.10, 4.12 charakterisieren die Repräsentation von einzelnen Aspekten der vordefinierten Kriterien in den betrachteten Studien anhand des erweiterten Kriteriensets. Das erweiterte Kriterienset präzisiert die Analyseschwerpunkte der Studienausswahl.

#### 4.3.1 Kriterienhäufigkeit

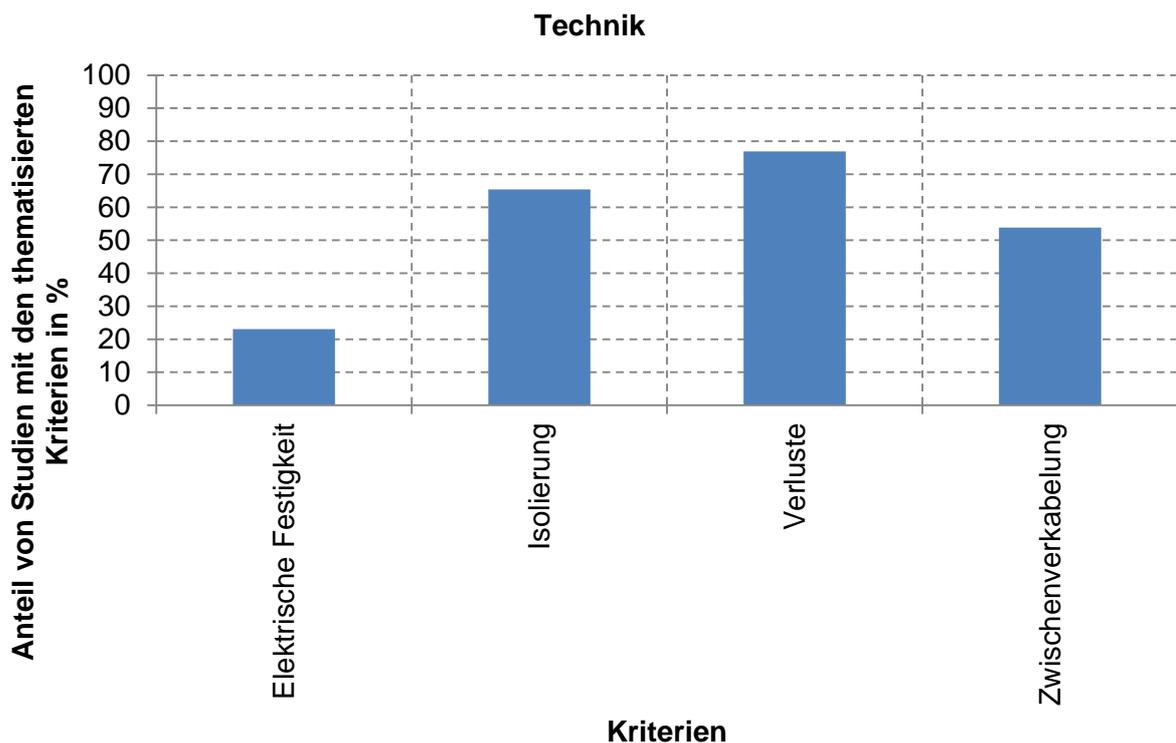
Im Vergleich zu den allgemeinen Studien wird bei projektorientierten Studien die absolute Mehrzahl von Kriterien bei über 50% thematisiert. Die Ausnahme bildet nur das Kriterium „Elektrische Festigkeit“, das nur bei ca. 20 % von Studien eine Erwähnung findet. Es ist weiterhin zu bemerken, dass die Kriterien zum Thema „Bau“ bei den projektorientierten Studien

erwartungsgemäß stärker vertreten sind als bei den allgemeinen Studien. In 25% der Studien werden alle vordefinierten Kriterien betrachtet. Bei 50% der projektorientierten Studien werden über 90% der Kriterien thematisiert (vgl. Bilder 4.4 und 4.15).

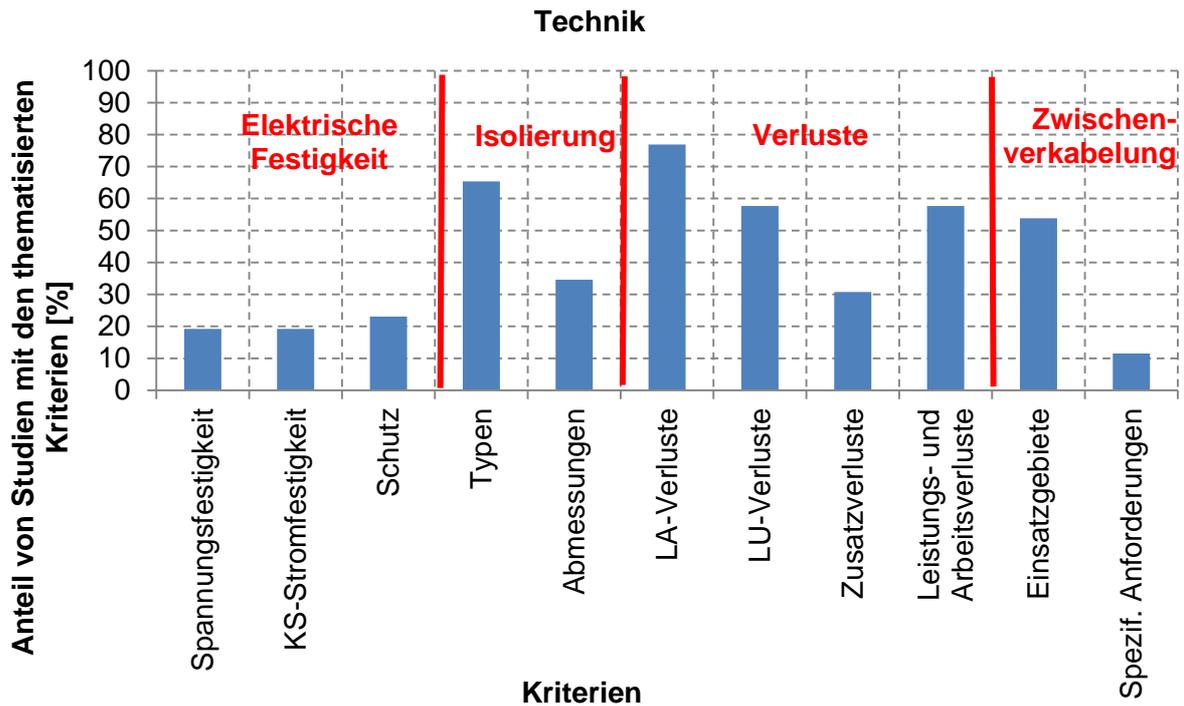
Aus den Bildern 4.15 und 4.16 ist zu erkennen, dass die meisten Studien aus dem Set mehrere Analyse-Kriterien aus der erweiterten Kriterien-Auswahl beinhalten. Unter diesem Aspekt kann das gewählte Set als ausreichend repräsentativ für die Analyse betrachtet werden.

Zusätzlich zu den vorgewählten 26 Studien wurden noch 3 weitere Studien nach Empfehlung durch den Beirat für die Zahlenwert-Analyse berücksichtigt. Diese Studien sind ebenfalls im Anhang 2 aufgelistet. Dadurch wurde das repräsentative Analyse-Set auf insgesamt 29 Studien erweitert.

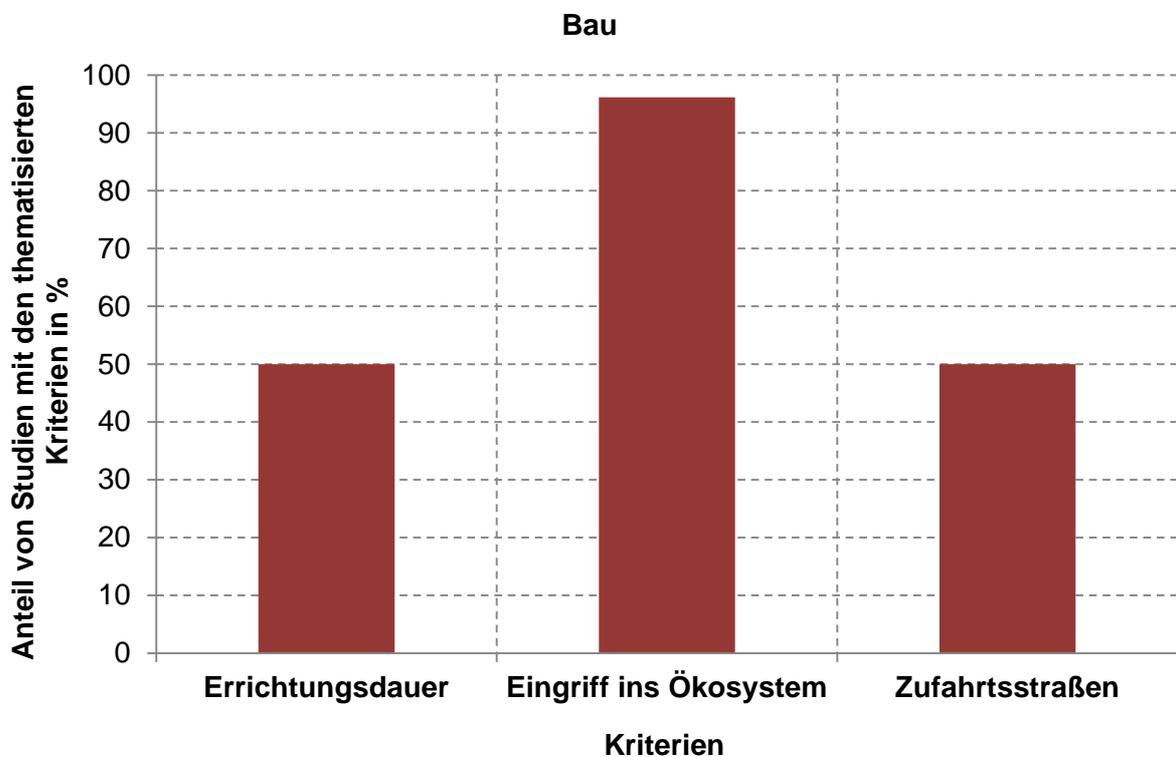
Das Bild 4.17 charakterisiert die Häufigkeit der Betrachtung von HGÜ- und GIL-Verbindungen als Stromübertragungstrassen im betrachteten Studienset. Aus dem Bild 4.17 ist erkennbar, dass die HGÜ- oder GIL-Varianten nur in wenigen Studien quantitativ betrachtet wurden. Aus diesem Grund werden HGÜ- und GIL-Varianten im Rahmen des vorliegenden Berichtes nicht näher analysiert.



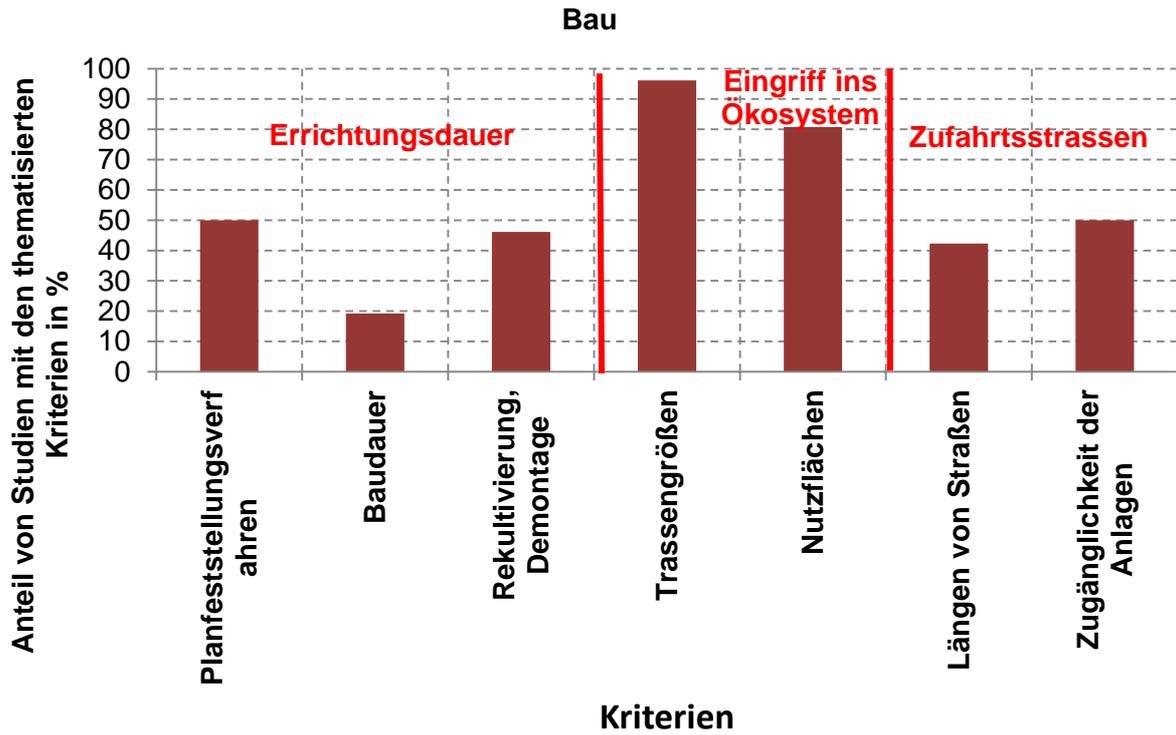
**Bild 4.9:** Übersicht der vordefinierten Kriterien zum Thema „Technik“



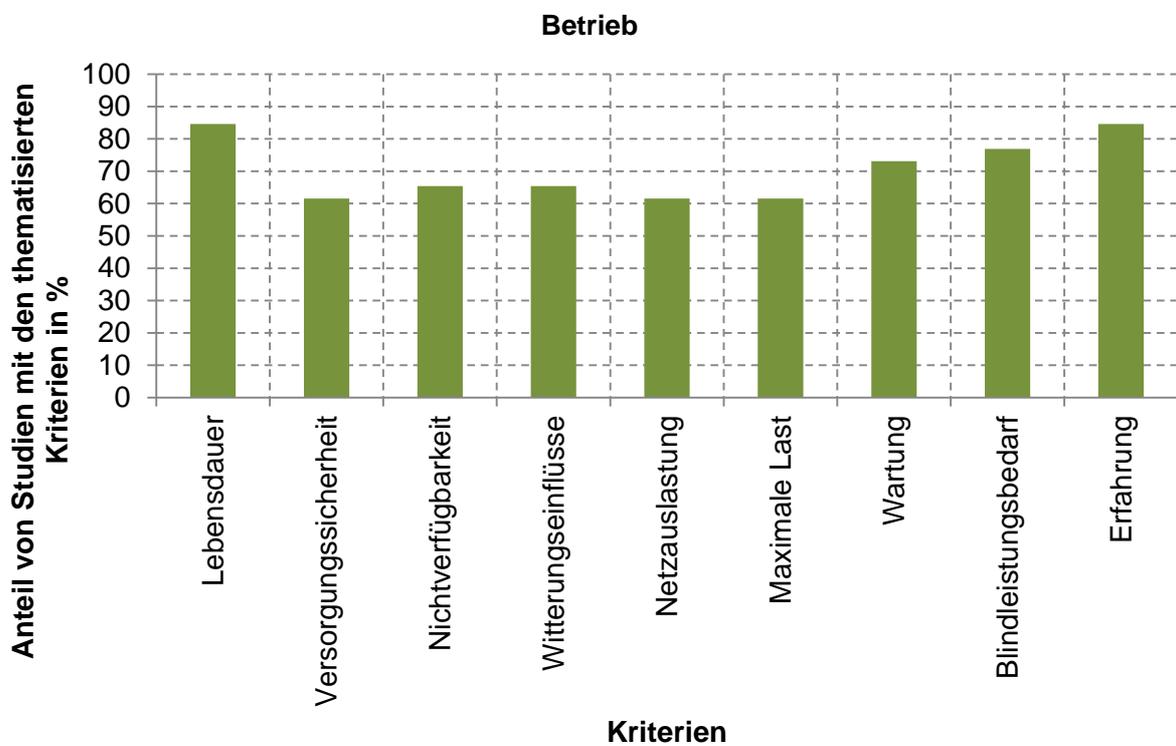
**Bild 4.10:** Übersicht zur erweiterten Kriterienauswahl zum Thema „Technik“  
 (KS-Stromfestigkeit ist Kurzschlussstromfestigkeit;  
 LA-Verluste sind lastabhängige Verluste;  
 LU-Verluste sind lastunabhängige Verluste)



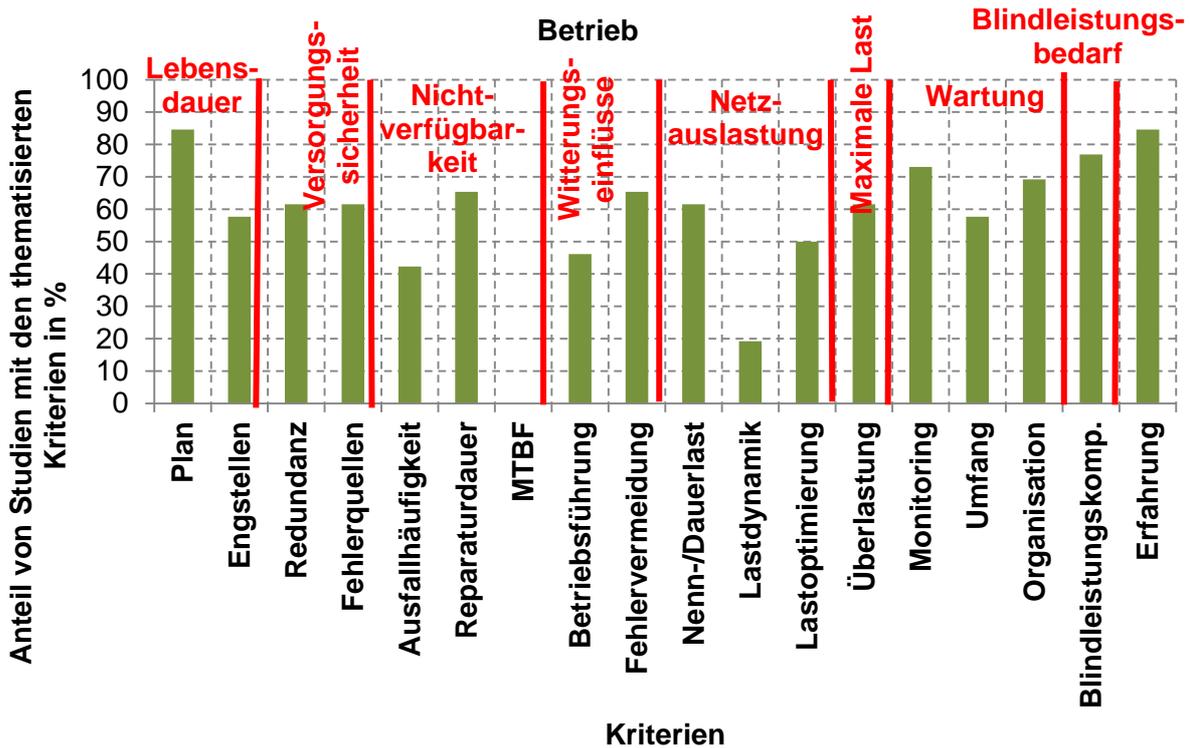
**Bild 4.11:** Übersicht der vordefinierten Kriterien zum Thema „Bau“



**Bild 4.12:** Übersicht zur erweiterten Kriterienauswahl zum Thema „Bau“

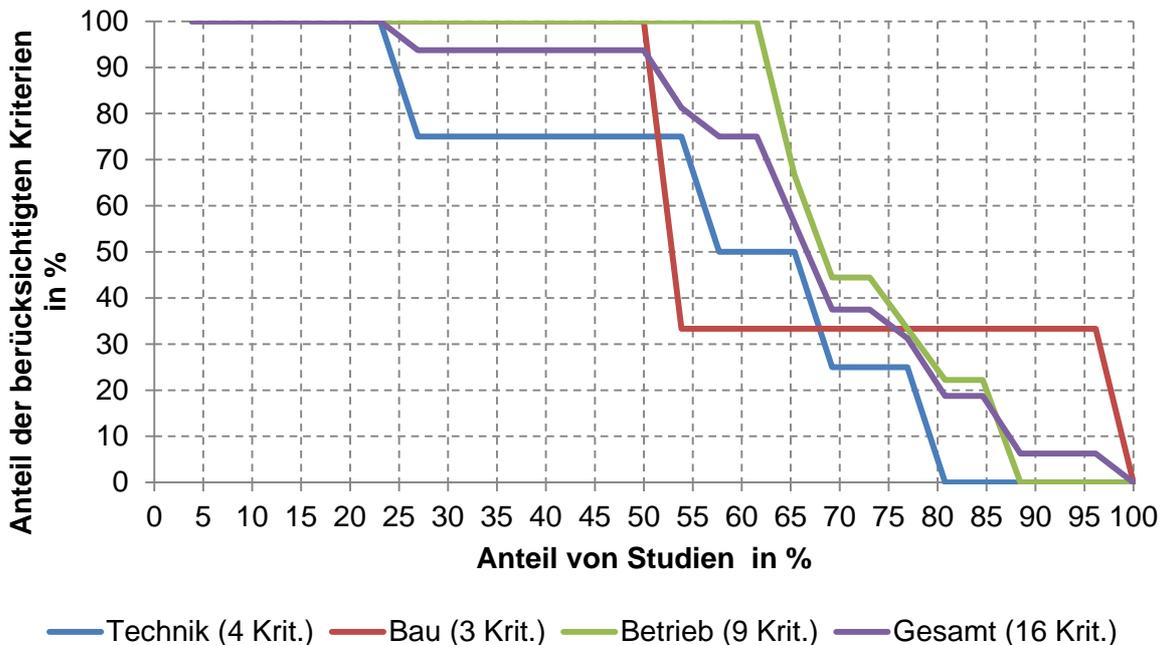


**Bild 4.13:** Übersicht der vordefinierten Kriterien zum Thema „Betrieb“

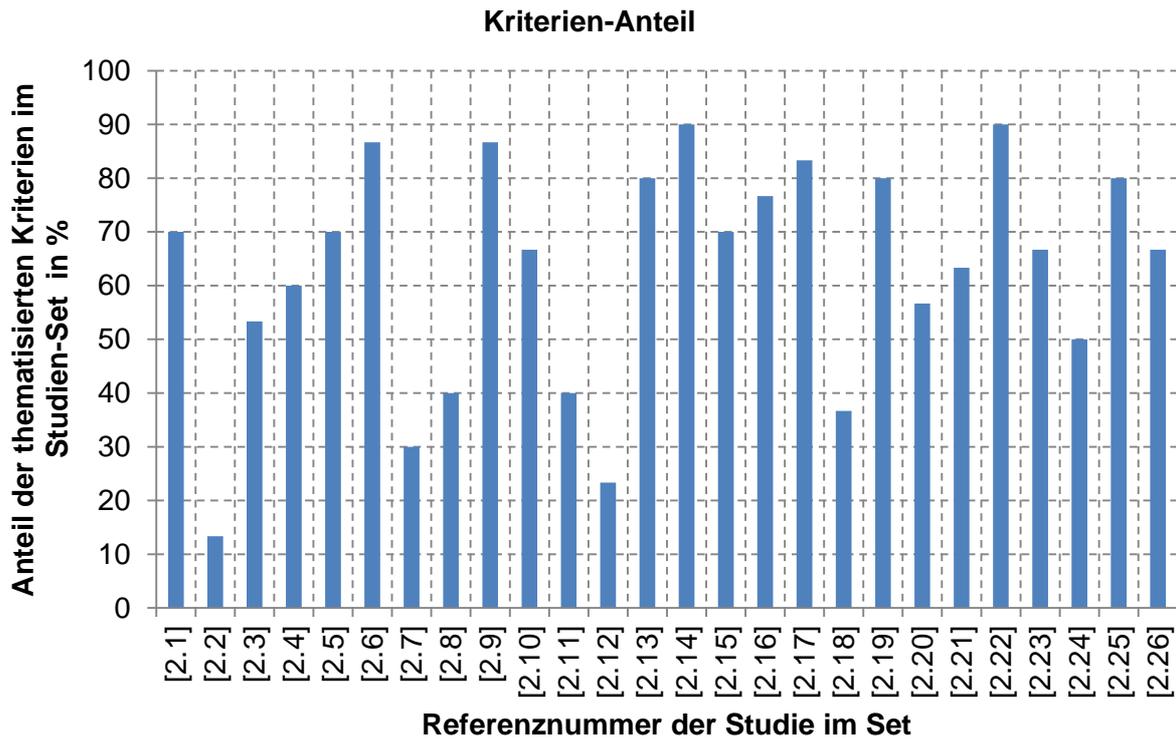


**Bild 4.14:** Übersicht zur erweiterten Kriterienauswahl zum Thema „Betrieb“

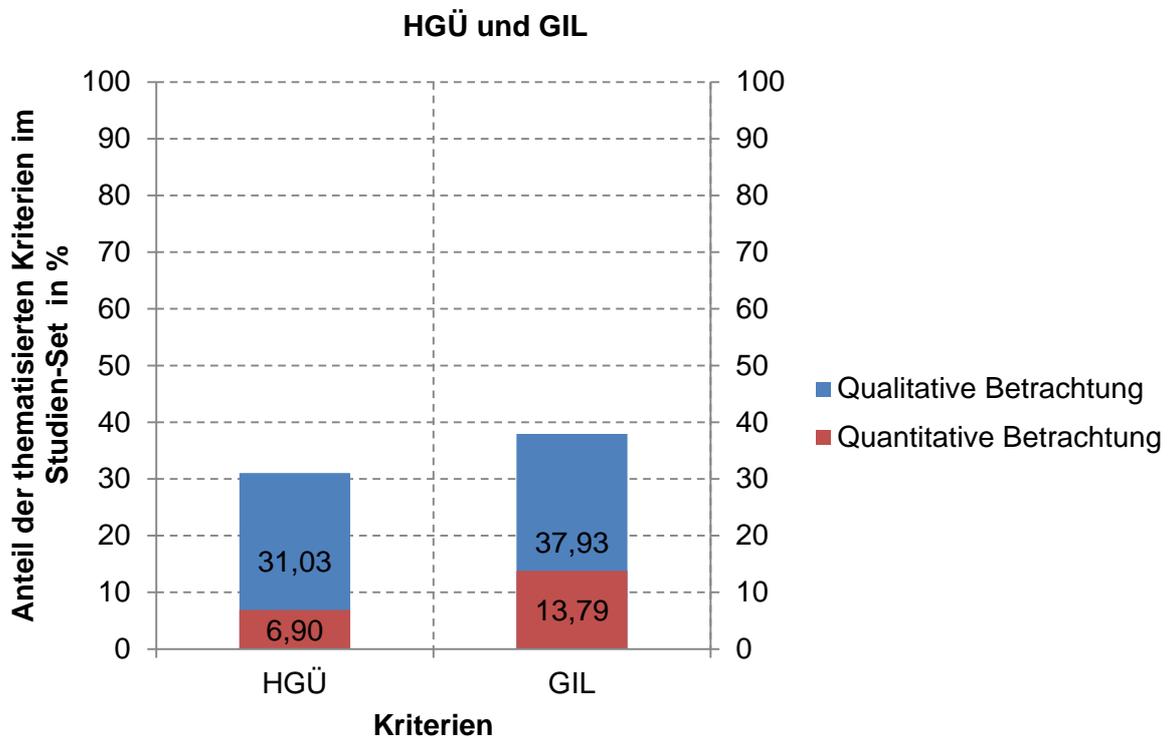
Das Bild 4.15 charakterisiert das Studienset zur projektorientierten Betrachtung der alternativen Verlegungsarten Freileitung/Erdkabelleitung nach Kriterienauswahl. Im Bild 4.16 werden die erweiterten Kriterien von insgesamt 36 Positionen für das gleiche Set zusammengezählt.



**Bild 4.15:** Zugeordnetes Diagramm zur Präsenz der Kriterien zu den Themen „Technik“, „Bau“ und „Betrieb“ im Studienset (26 Studien, Anhang 2)



**Bild 4.16:** Anteil von Kriterien in den einzelnen Studien nach der erweiterten Kriterienauswahl zu den Themen „Technik“, „Bau“ und „Betrieb“ (26 Studien, Anhang 2)



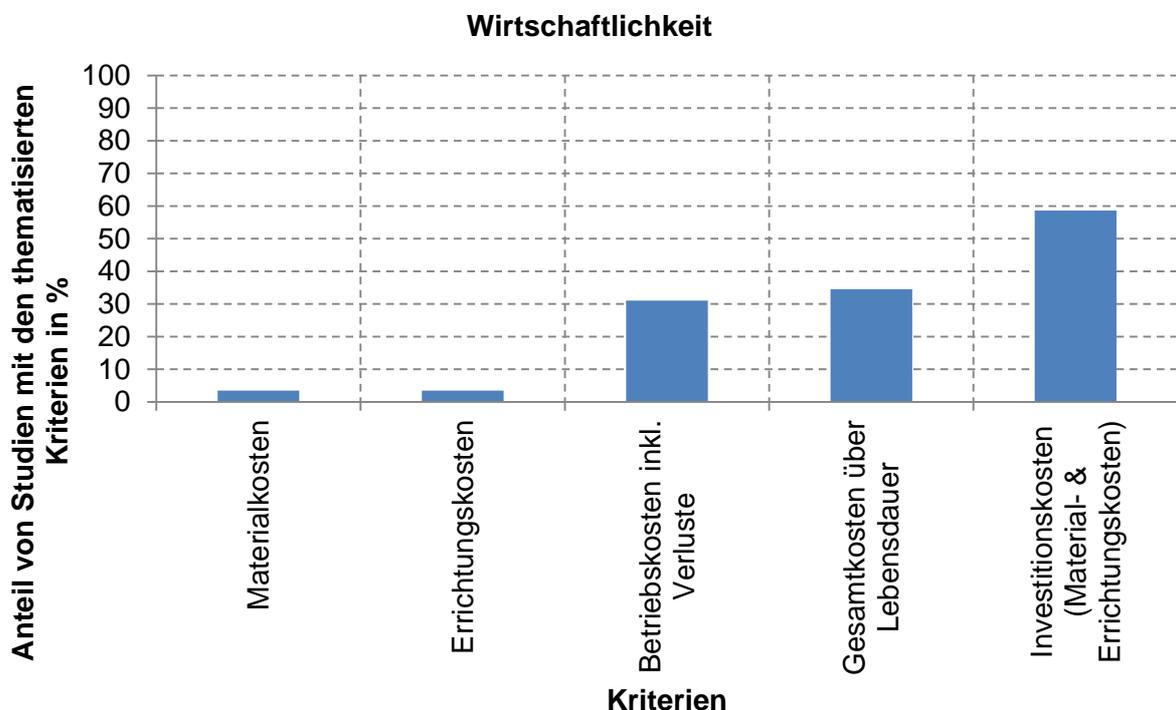
**Bild 4.17:** Übersicht zur Häufigkeit der Betrachtung von HGÜ- und GIL-Stromübertragungstrassen im Studienset

Über die Problematik der Netzstabilität wurde im betrachteten Studienset kaum diskutiert. Nur in 4 Studien (13,8% von allen Studien im Set) wurde darauf eingegangen. Es wurden lediglich zwei Aspekte genannt:

- „Bei einem Lastabwurf im Netz kann die durch die Erdkabelleitungen abgegebene kapazitive Blindleistung zu Stabilitätsproblemen führen, wenn die am Netz verbleibenden Verbraucher weniger Blindleistung benötigen als von den Erdkabelleitungen abgegeben wird und die Generatoren über ihre Stabilitätsgrenze hinaus Blindleistung aufnehmen müssen“ [2.28].
- Durch den Bau einer Leitung wird die Netzübertragungskapazität erhöht. Dadurch werden die Risiken hinsichtlich der Spannungsstabilität erheblich reduziert [2.17].

Es sei angemerkt, dass der Aspekt „Netzstabilität“ auch in der vollen Gesamtheit der betrachteten Dokumenten (s. Punkt 2.2) ebenfalls kaum thematisiert wird. Der Anteil von Veröffentlichungen mit der Thematisierung des Begriffes „Netzstabilität“ liegt bei unter 11%. Zusammenfassend ist abzuleiten, dass das Thema „Netzstabilität“ von den meisten Autoren der betrachteten Studien nicht detailliert untersucht wurde.

Das Bild 4.18 zeigt die Übersicht der vordefinierten Kriterien zum Thema „Wirtschaftlichkeit“. Aus dem Bild 4.18 ist zu erkennen, dass die Kriterien „Materialkosten“ und „Errichtungskosten“ relativ selten separat repräsentiert werden. In den meisten Studien erfolgt die Betrachtung von beiden o.g. Kriterien zusammen (s. Bild 4.18). Für die Analyse der im Bild 4.18 dargestellten Ergebnisse wurde das erweiterte Set von 29 Studien betrachtet.



**Bild 4.18:** Übersicht der vordefinierten Kriterien zum Thema „Wirtschaftlichkeit“

### 4.3.2 Detaillierte Darstellung der Kriterienauswertung

In diesem Kapitel sind die detaillierten Ergebnisse bzgl. der metrisch skalierbaren Kriterien nach der in Kapitel 2.4 dargestellten Methodik angegeben. Einige der Größen wurden auf eine einheitliche Bezugseinheit umgerechnet. Die Originaldaten sind im Anhang 3 bis 5 aufgelistet. Zur zusammenfassenden Darstellung der Begriffsdefinitionen sei auf Kapitel 7 (Glossar) verwiesen. Die Zusammenstellung der Zahlenangaben basiert auf dem Studienset zur projektorientierten Betrachtung der alternativen Verlegungsarten Freileitung/Erdkabelleitung wobei bis zu 29 Studien berücksichtigt wurden. Eine Angabe der berücksichtigten Studien und Werteanzahl pro Kriterium ist jeweils unterhalb der Ergebnisgrafik angegeben.

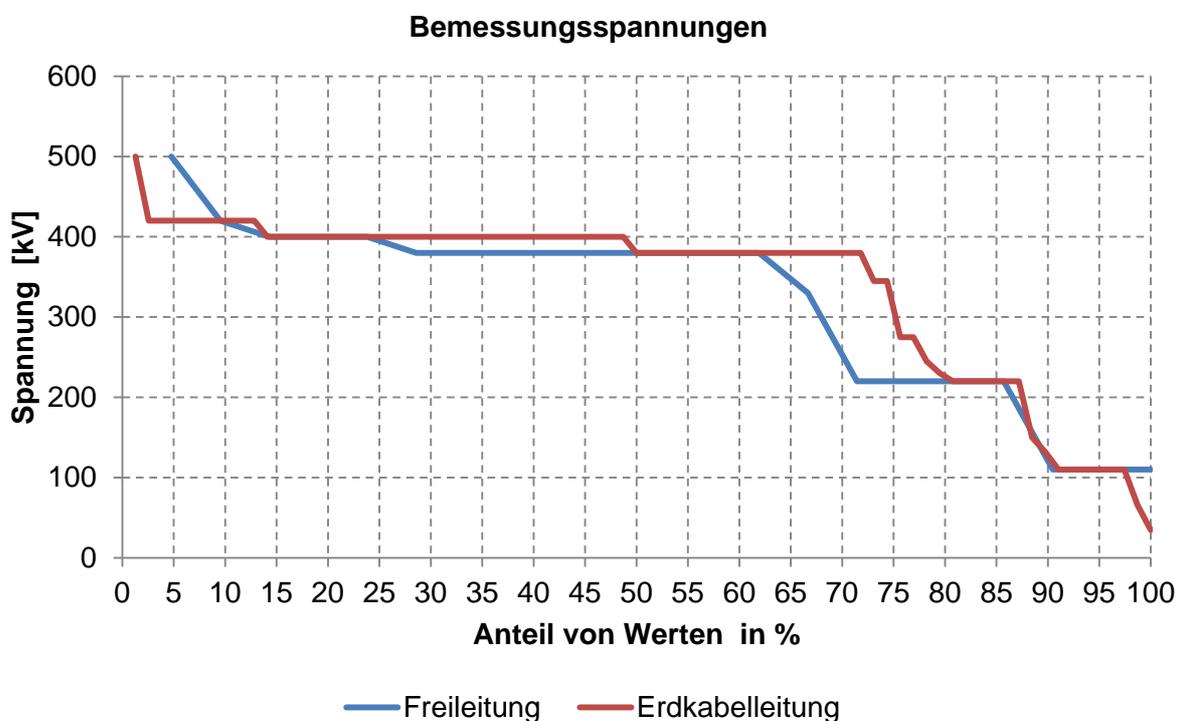
#### 4.3.2.1 Kriterium: Elektrische Festigkeit - Bemessungsspannungen

##### Definition: Bemessungsspannungen

Bemessungsspannungen sind die Sollspannungen, für die die Leitungssysteme ausgelegt sind. Die Bemessungsspannungen können identisch den Netznennspannungen oder höher sein und bestimmen die Anforderungen zur elektrischen Festigkeit der Leitungssysteme

##### Angaben zu den Quellen:

- Die Bemessungsspannungen charakterisieren die Nennspannungen der betrachteten Übertragungsstrecken und befinden sich im Wertebereich von 35 kV bis 500 kV.



**Bild 4.19:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Bemessungsspannungen“ (Werteanzahl: 78 – Erdkabelleitung; 21 – Freileitung)

### Abgeleitete allgemeine Aussagen:

- Die Bemessungsspannungen der Erdkabelleitungstrassen sind in den meisten Fällen identisch mit den Bemessungsspannungen der relevanten Freileitungsstrecken.
- In mehr als 70% der untersuchten Trassenvarianten sind die betrachteten Bemessungsspannungen bei Erdkabelleitungen 380 kV und höher. Der relevante Anteil der Bemessungsspannungen bei den Freileitungsstrecken (380 kV und mehr) beträgt mehr als 60%. Der höhere prozentuale Anteil von berücksichtigten 380-kV-Erdkabelleitungsstrecken im Vergleich mit dem relevanten Anteil von berücksichtigten 380-kV-Freileitungsstrecken ergibt sich aufgrund der Betrachtung von Erdkabelleitungstrassen, zu welchen keine Freileitungsalternativen vorhanden sind. Die Grafiken in der Metastudie stellen grundsätzlich keine Zusammenstellung von paarweise erstellten Werten (1 Wert für Freileitung und 1 Wert für Erdkabelleitung) dar. Sie sind eine statistische Zusammenstellung von allen relevanten Werten, die in den Studien thematisiert werden. Aus diesem Grund unterscheiden sich in der Regel die in den Bildlegenden angegebenen Fallzahlen für Erdkabelleitungen und Freileitungen.

### Gründe für Extremwerte:

- Die maximalen Werte im Diagramm (500 kV) entsprechen dem maximalen Kabelnennspannungswert nach Hersteller-Angabe und der Netznennspannung der Erdkabelleitungsstrecke in Tokyo [2.22] sowie der Nennspannung einer von betrachteten Freileitungsstrecken in [2.25].
- Die minimalen Werte entsprechen den Erdkabelleitungsübertragungsstrecken mit der Netznennspannung von 35 kV [2.28] sowie den Freileitungsstrecken mit der Netznennspannung von 110 kV.

### Allgemeine Kommentare:

- Aus dem Bild 4.19 ist zu erkennen, dass die vertieften Untersuchungen zur Auswahl von alternativen Stromübertragungstechniken, in erster Linie, für das Höchstspannungsbereich (380 kV und höher) von Bedeutung ist.
- Bemessungsspannungen bestimmen die Prüfungsspannungen sowie weitere Auslegungsmerkmale für die Gewährleistung der elektrischen Festigkeit von Leitungssystemen.

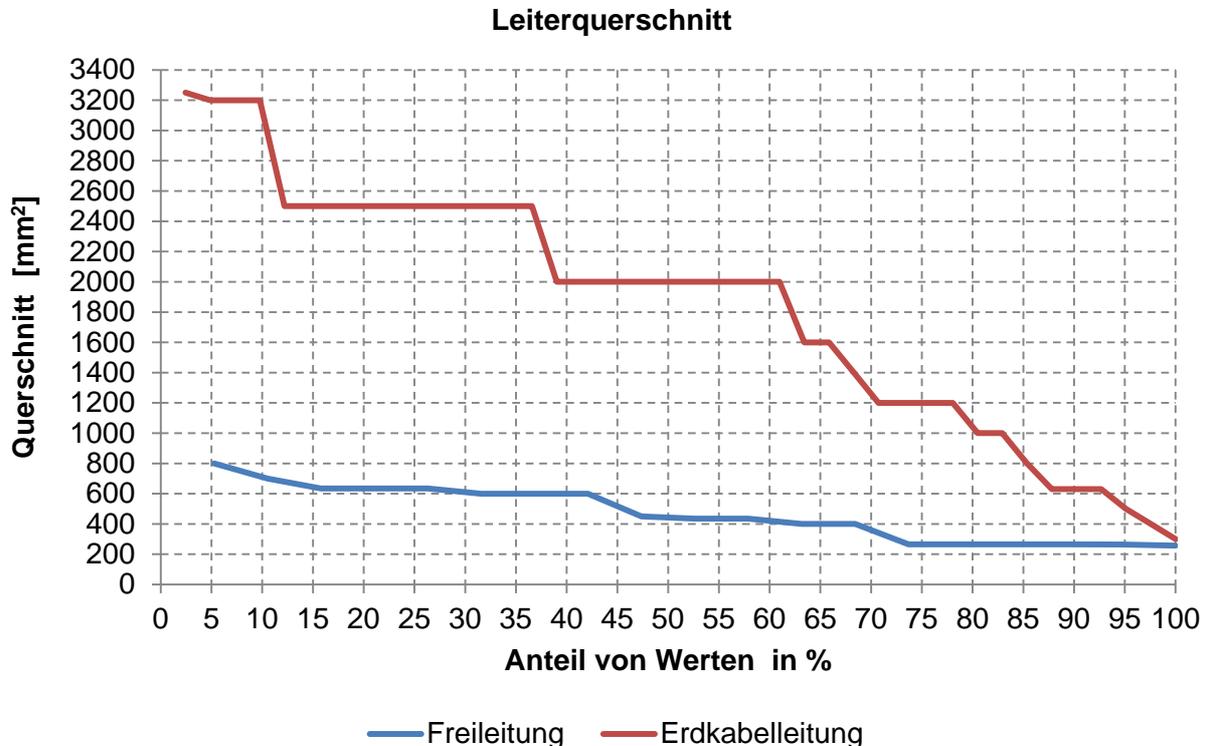
#### 4.3.2.2 Kriterium: Isolierung - Leiterquerschnitt

##### **Definition: Leiterquerschnitt**

Leiterquerschnitt ist die stromleitende Querschnittfläche eines Leiters. Die Leiterquerschnitte charakterisieren die Typen der angewendeten Leiter in den betrachteten Stromübertragungssystemen.

### Angaben zu den Quellen:

- Die Leiterquerschnitte charakterisieren die Konstruktion der betrachteten Leitungssysteme und befinden sich im Wertebereich von  $3250 \text{ mm}^2$  bis  $300 \text{ mm}^2$  bei Erdkabelleitungen und von  $800 \text{ mm}^2$  bis  $257 \text{ mm}^2$  bei Freileitungen.



**Bild 4.20:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Leiterquerschnitt“ (Werteanzahl: 41 – Erdkabelleitung; 19 – Freileitung)

### Abgeleitete allgemeine Aussagen:

- Die Leiterquerschnitte der Erdkabelleiter sind deutlich größer als die relevanten Leiterquerschnitte der Freileitungssysteme. Grund dafür ist die Verwendung von Bündelleitern bei Freileitungen mit der relevanten Stromaufteilung zwischen den einzelnen Teilleitern.
- In mehr als 80% der untersuchten Trassenvarianten sind die betrachteten Leiterquerschnitte bei Erdkabelleitungen  $1000 \text{ mm}^2$  und größer. Durch die Verwendung von großen Querschnitten wird die Übertragung von großen Dauerströmen über die Einzelkabelleiter gesichert.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der Leiterquerschnitte im Diagramm ist deutlich größer bei Erdkabelleitungen als bei Freileitungen (10,83 gegenüber 3,11). Grund dafür ist die Berücksichtigung der existierenden Kabelverbindungen im betrachteten Studienset. Alternative Freileitungen wurden dabei nicht berücksichtigt. Aufgrund der technischen Kompliziertheit der Hochspannungskabelherstellung, Verlegung und Betriebsführung wurde eine Reihe von gebauten Erdkabelleitungsstrecken mit kleineren Leiterquerschnitten ausgestattet.
- Unter Berücksichtigung des Zahlenwertes des 80,5%-Quantils der im Diagramm repräsentierten Verteilung von Kabelleiterquerschnitten ( $1000 \text{ mm}^2$ ) anstelle des relevanten

Minimalwertes reduziert sich das Verhältnis zwischen den Extremwerten auf 3,25. Dieser Zahlenwert entspricht weitgehend dem o.g. Zahlenwert des Verhältnisses der Extremwerte der Freileitungsleiterquerschnitte. Das bedeutet, dass das Äquivalenzprinzip hinsichtlich der Dauerstrombelastungen bei der Auswahl von alternativen Stromübertragungstechniken weitgehend verfolgt wird.

#### Gründe für Extremwerte:

- Der maximale Wert im Diagramm für Erdkabelleitung ( $3250 \text{ mm}^2$ ) entspricht dem maximal möglichen Kabelleiterquerschnitt nach Hersteller-Angabe [2.10]. Der maximale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken ( $800 \text{ mm}^2$ ) charakterisiert die Freileitungsalternative in [2.1].
- Der minimale Wert im Diagramm für Erdkabelleitung ( $300 \text{ mm}^2$ ) charakterisiert die bestehende Kabelverbindung mit der Netznennspannung von 150 kV [2.11]. Der minimale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken ( $257 \text{ mm}^2$ ) charakterisiert die Freileitungsalternative in [2.1].

#### Allgemeine Kommentare:

- Es sei angemerkt, dass die Erdkabelleitungsstrecken mit den maximalen Leiterquerschnitten ( $3250 \text{ mm}^2$  oder  $3000 \text{ mm}^2$ ) noch nirgendwo praktisch realisiert wurden.

#### 4.3.2.3 Kriterium: Isolierung - Durchmesser

##### Definition: Durchmesser

Durchmesser ist die Entfernung zwischen den Schnittpunkten eines Kreises mit einer Geraden, die dessen Mittelpunkt schneidet. Unter Berücksichtigung der typischen Auslegung eines Hoch- und Höchstspannungskabels als Einleiterkabel kann die Dicke der Erdkabelisolierung anhand des Kabelaußendurchmessers und des Leiterquerschnitts indirekt abgeschätzt werden.

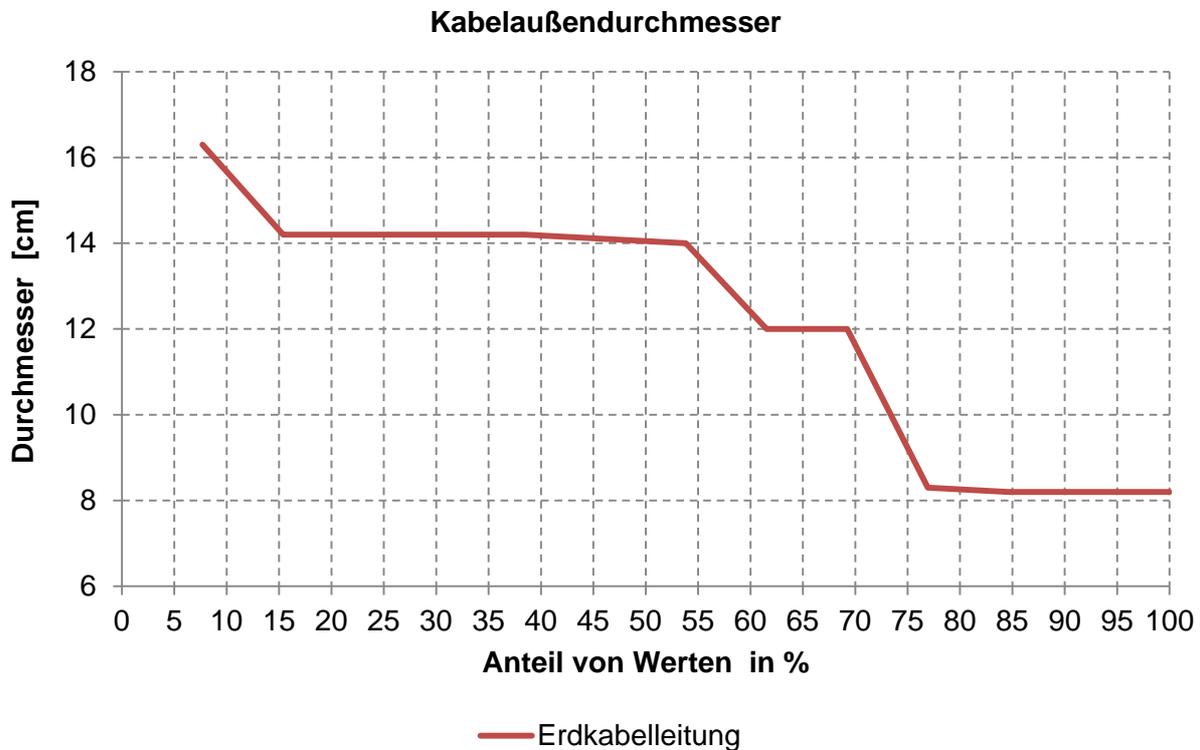
##### Angaben zu den Quellen:

- Der Kabelaußendurchmesser charakterisiert die Konstruktion der betrachteten Erdkabelsysteme und befindet sich im Wertebereich von 16,3 cm bis 8,2 cm.

##### Abgeleitete allgemeine Aussagen:

- In ca. 70% der untersuchten Trassenvarianten sind die betrachteten Außendurchmesser der Erdkabel 12 cm und größer.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der Außendurchmesser beträgt 1,99.

- Unter Berücksichtigung des Zahlenwertes des 69,2%-Quantils der im Diagramm repräsentierten Verteilung von Erdkabelleiterquerschnitten (12 cm) anstelle des relevanten Minimalwertes reduziert sich das Verhältnis zwischen den Extremwerten auf 1,35.



**Bild 4.21:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Durchmesser“ (Werteanzahl: 13 – Erdkabelleitung)

#### Gründe für Extremwerte:

- Der maximale Wert im Diagramm (16,3 cm) entspricht dem Außendurchmesser des Kabels mit dem Leiterquerschnitt von  $3250 \text{ mm}^2$  und der Bemessungsspannung von 400 kV [2.10].
- Der minimale Wert im Diagramm (8,2 cm) charakterisiert das 110-kV-Erdkabel mit der VPE-Isolierung und den Leiterquerschnitten von  $630 \text{ mm}^2$  sowie  $800 \text{ mm}^2$  [2.9].

#### Allgemeine Kommentare:

- Es sei angemerkt, dass die Informationen zu den Außendurchmessern von Freileitungssystemen im betrachteten Studienset kaum vorhanden sind.
- Bei allen im Studienset betrachteten Freileitungssystemen werden nur die luftisolierten Leiter berücksichtigt. Da die Außendurchmesser von Freileitungssystemen im Vergleich mit den erforderlichen Luftisolationsabständen vernachlässigbar klein sind, spielen die Informationen über den Außendurchmesser der Freileitungssysteme nur untergeordnete Rolle.
- Es sei weiterhin angemerkt, dass die meisten im Studienset betrachteten Erdkabel über eine VPE-Isolierung verfügen.

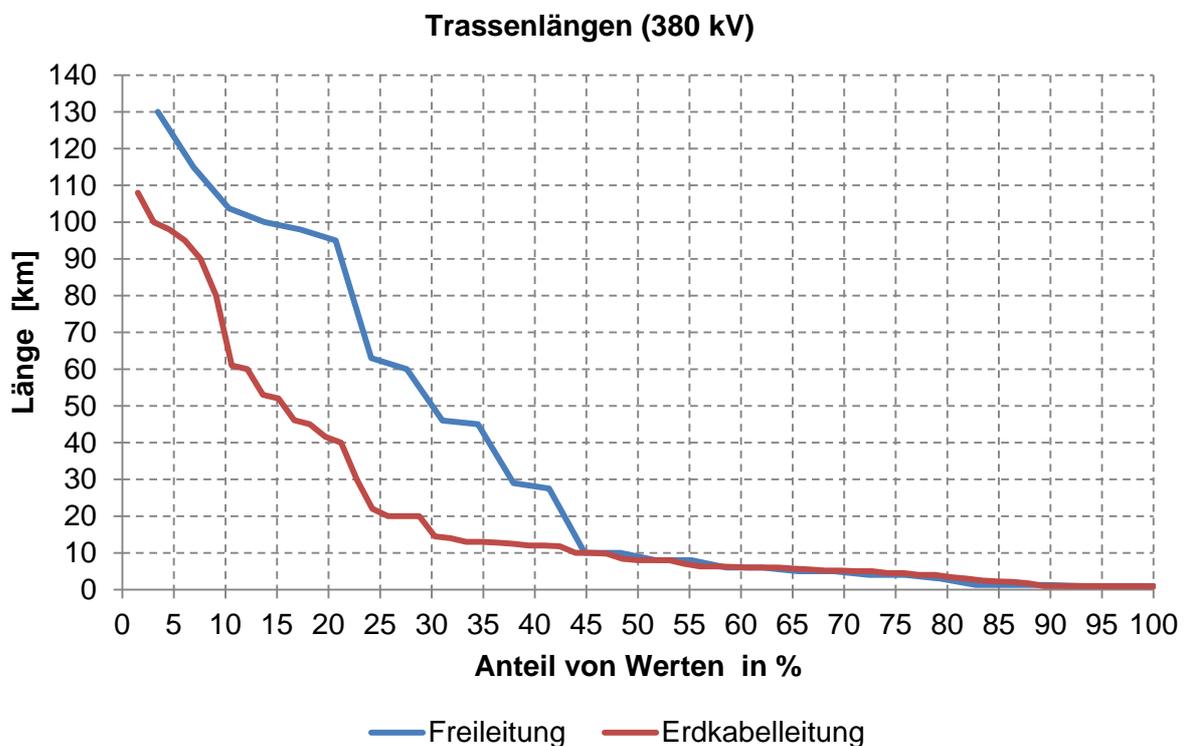
#### 4.3.2.4 Kriterium: Trassenlänge

**Definition: Trassenlänge**

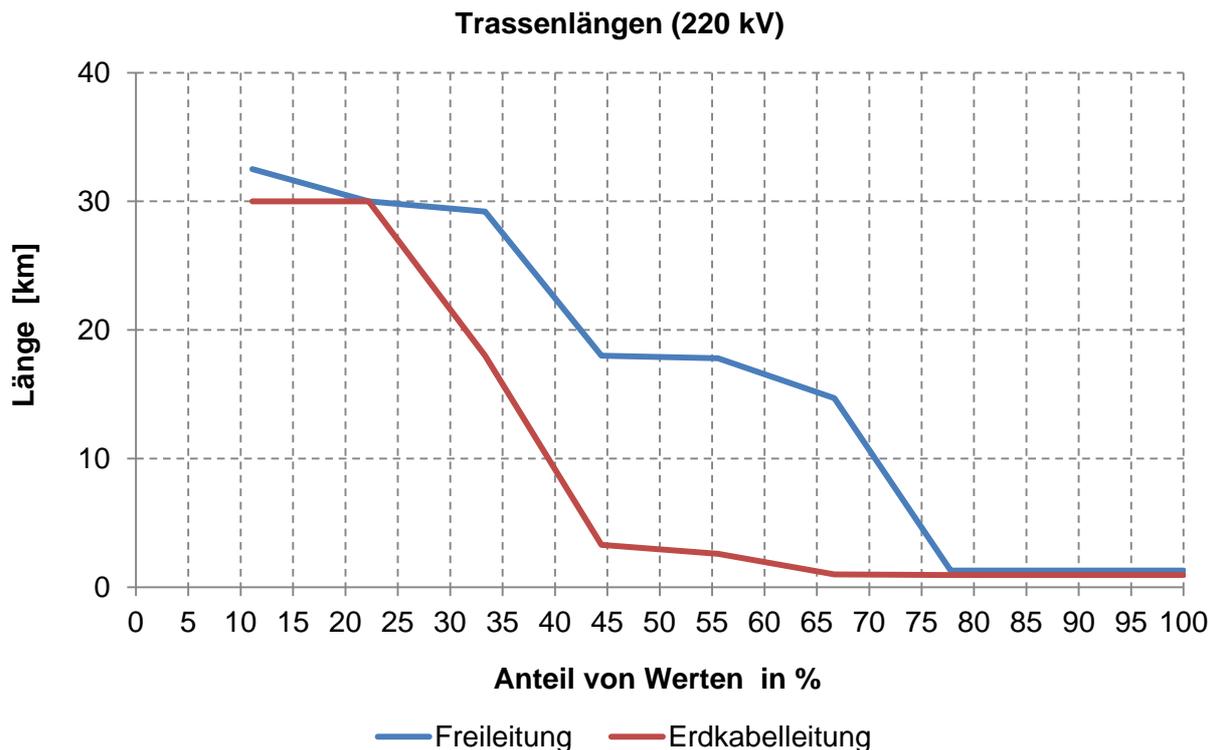
Trassenlänge ist die Länge der Stromübertragungstrasse, die als alternative Erdkabelleitungs- oder Freileitungsstrecke verlegt werden kann.

**Angaben zu den Quellen:**

- Die Zahlenwerte der 380-kV-Trassenlängen befinden sich im Wertebereich von 108 km bis 0,83 km (Erdkabelleitungen) und im Wertebereich von 130 km bis 1 km (Freileitungen).
- Die Zahlenwerte der 220-kV-Trassenlängen befinden sich im Wertebereich von 30 km bis 0,95 km (Erdkabelleitungen) und im Wertebereich von 32,5 km bis 1,3 km (Freileitungen).



**Bild 4.22:** Verteilung der Werte des Kriteriums „380-kV-Trassenlängen“ (Werteanzahl: 66 – Erdkabelleitung; 29 – Freileitung)



**Bild 4.23:** Verteilung der Werte des Kriteriums „220-kV-Trassenlängen“ (Werteanzahl: 9 – Erdkabelleitung; 9 – Freileitung)

#### Abgeleitete allgemeine Aussagen:

- In 45% der untersuchten Varianten von 380-kV-Trassen werden die Freileitungstrassen gegenüber den Erdkabelleitungen länger.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten von berücksichtigten Trassenlängen ist größer bei Erdkabelleitungen als bei Freileitungen (130,1 gegenüber 130 bei 380-kV-Trassen; 31,6 gegenüber 25 bei 220-kV-Trassen).

#### Gründe für Extremwerte:

- Der maximale Wert im Diagramm für 380-kV-Erdkabelleitungsstrecken (108 km) charakterisiert die geplante Trassenlänge der Salzburgleitung [2.22]. Der maximale Wert im Diagramm für 380-kV-Freileitungsstrecken (130 km) charakterisiert die Freileitungsalternative für die Salzburgleitung in [2.22].
- Der maximale Wert im Diagramm für 220-kV-Erdkabelleitungsstrecken (30 km) charakterisiert die Trassenlänge in [2.22]. Der maximale Wert im Diagramm für 220-kV-Freileitungsstrecken (32,5 km) charakterisiert die Freileitungsalternative in [2.28].
- Der minimale Wert im Diagramm für 380-kV-Erdkabelleitungsstrecken (0,83 km) charakterisiert die Trassenlänge in [2.21]. Der minimale Wert im Diagramm für 380-kV-Freileitungsstrecken (1 km) charakterisiert die Freileitungsalternative in [2.16].
- Der minimale Wert im Diagramm für 220-kV-Erdkabelleitungsstrecken (0,95 km) charakterisiert die Trassenlänge in [2.3]. Der minimale Wert im Diagramm für 220-kV-Freileitungsstrecken (1,3 km) charakterisiert die Freileitungsalternative in [2.3].

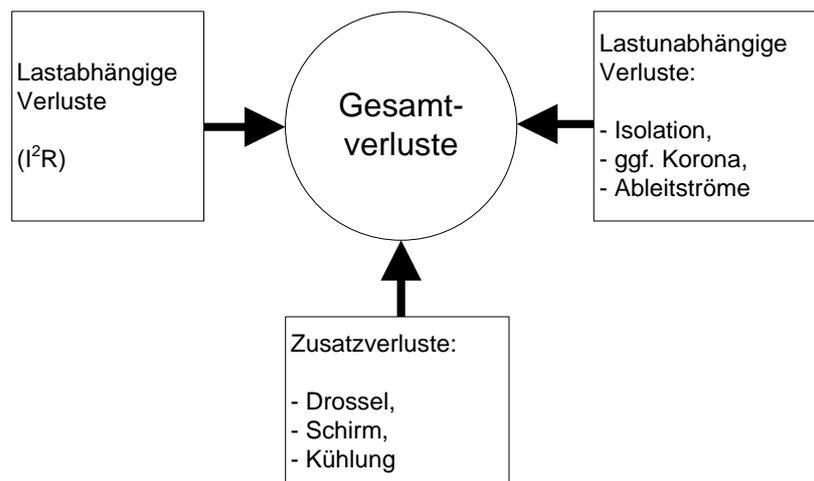
### Allgemeine Kommentare:

- Die betrachteten Trassenlängen decken die komplette Palette von praktisch realisierten Höchstspannungserdkabelleitungsvarianten ab.

#### 4.3.2.5 Kriterium: Verluste – Gesamte Leistungsverluste (spezifische Werte)

##### Definition: Gesamte Leistungsverluste (spezifische Werte) – Gesamtverluste

Gesamte Leistungsverluste sind die gesamte Leistung, die von der Stromübertragungstrasse aufgenommen wird, um die Leistungsübertragung durch die Leitungssysteme zu ermöglichen. Die gesamten Leistungsverluste werden aus den lastabhängigen, lastunabhängigen und zusätzlichen Verlusten gebildet. Spezifische Werte der gesamten Leistungsverluste werden pro 1 km der Übertragungstrasse ermittelt. Die Verluste spalten sich definitionsgemäss in die in Bild 4.24 dargestellten Verlustklassen auf.



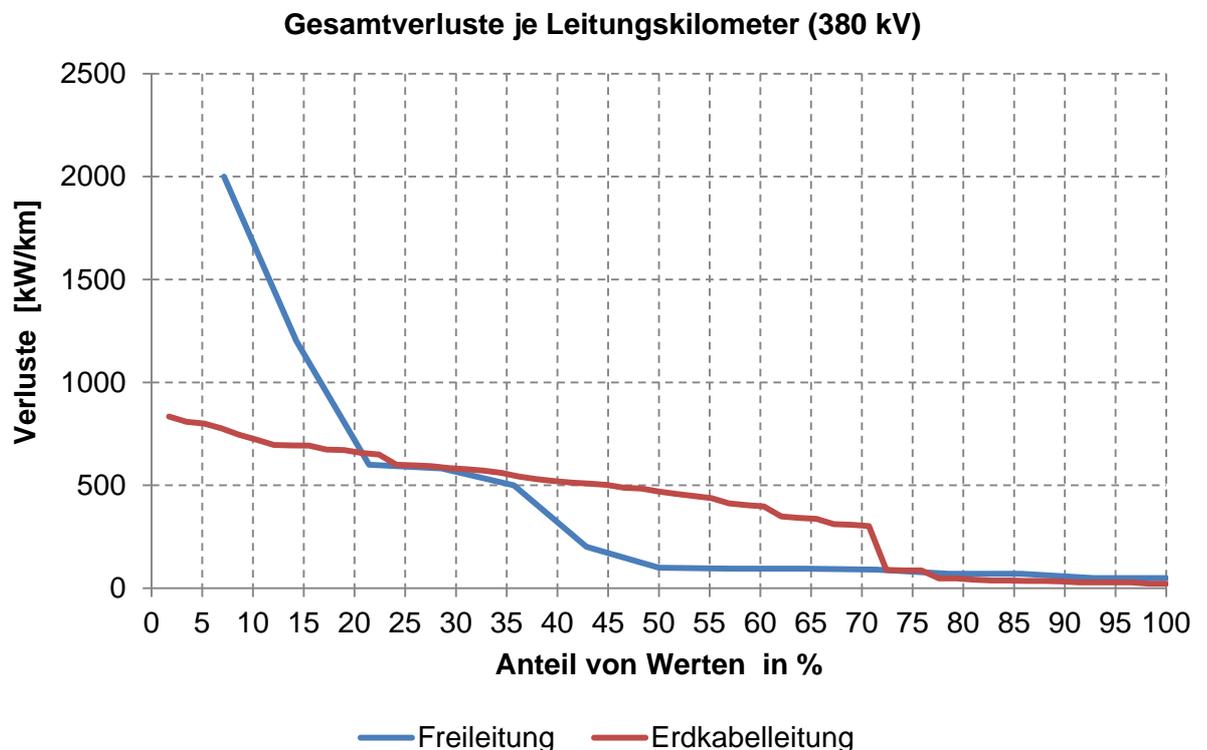
**Bild 4.24:** Prinzipielle Zusammensetzung der hier betrachteten Gesamtverluste

Im Rahmen der Metastudie wurden aus den untersuchten Studien Werte für die einzelnen Verlustklassen entnommen. Es wurde keine Verlustberechnung durchgeführt. Auf Wunsch des Beirats ist in Anhang 8 eine weiterführende Diskussion der Verluste angegeben, um etwaige Missverständnisse in der Ergebnisinterpretation zu vermeiden.

### Angaben zu den Quellen:

- Die Verluste sowie deren Zusammensetzung in den 220-kV-Leitungen werden nur in geringer Anzahl von Studien betrachtet. Aus diesem Grund wurde keine statistische Auswertung von Verlustcharakteristiken der 220-kV-Leitungen im Rahmen der Metastudie vorgenommen. Nachfolgend werden ausschliesslich die Verlustcharakteristiken von 380-kV-Stromübertragungstrassen betrachtet und analysiert.

- Die Zahlenwerte der gesamten Leistungsverluste befinden sich im Wertebereich von 834,4 kW/km bis 22,26 kW/km (Erdkabelleitungen) und im Wertebereich von 2000 kW/km bis 49,5 kW/km (Freileitungen).



**Bild 4.25:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Gesamte Leistungsverluste (spezifische Werte)“ (Werteanzahl: 58 – Erdkabelleitung; 14 – Freileitung)

**Abgeleitete allgemeine Aussagen:**

- In ca. 40% der untersuchten Trassenvarianten verteilen sich die betrachteten gesamten Leistungsverluste in Erdkabelleitungs- und in Freileitungsstrecken beinahe identisch bzw. werden durch die vergleichbaren Zahlenwerte charakterisiert.
- In ca. 35% der untersuchten Trassenvarianten sind die betrachteten gesamten Leistungsverluste in den Erdkabelleitungsstrecken deutlich größer als in den Freileitungsstrecken.
- In ca. 25% der untersuchten Trassenvarianten sind die betrachteten gesamten Leistungsverluste in den Freileitungsstrecken wesentlich größer als in den Erdkabelleitungsstrecken.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der gesamten Leistungsverluste im Diagramm ist geringfügig größer bei Freileitungen als bei Erdkabelleitungen (40,4 gegenüber 37,48).

**Gründe für Extremwerte:**

- Der maximale Wert im Diagramm für Erdkabelleitung (834,4 kW/km) entspricht den gesamten Leistungsverlusten in den 400-kV-Kabelsystemen 4x3x2500 mm<sup>2</sup> [2.22]. Der

maximale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (2000 kW/km) charakterisiert die Freileitungsalternative 2x2x700 mm<sup>2</sup> in [2.20].

- Der minimale Wert im Diagramm für Erdkabelleitung (22,26 kW/km) charakterisiert die gesamten Leistungsverluste in der 400-kV-Erdkabelleitungstrasse [2.3]. Der minimale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (49,5 kW/km) charakterisiert die Freileitungsalternative in [2.5]

#### **Allgemeine Kommentare:**

- Verluste in Stromübertragungstrassen sind eine Designgröße in der der technischen Auslegung der Strecke und können so direkt beeinflusst werden. Ein weiterer Einflussfaktor ist die durch den Netzbetreiber bzw. durch die Systemlast vorgegebene elektrische Auslastung der Strecke.

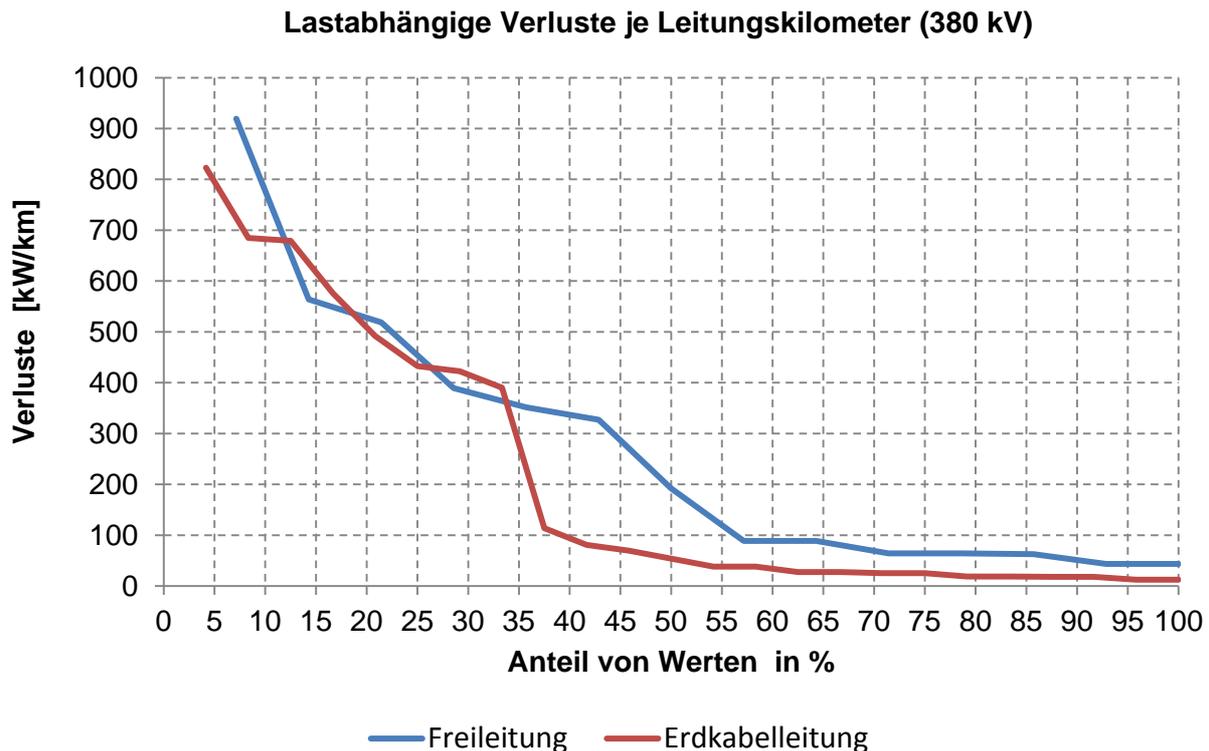
#### **4.3.2.6 Kriterium: Verluste – Lastabhängige Verluste (spezifische Werte)**

##### **Definition: Lastabhängige Verluste (spezifische Werte)**

Lastabhängige Verluste auch stromabhängige oder Joulesche Verluste genannt sind die Leistungsverluste, die zur Erwärmung von leitenden Teilen bei der Stromübertragung führen und quadratisch vom übertragenen Stromwert abhängig sind. Spezifische Werte der lastabhängigen Verluste werden pro 1 km der Übertragungstrasse ermittelt.

##### **Angaben zu den Quellen:**

- Die Zahlenwerte der gesamten Leistungsverluste befinden sich im Wertebereich von 822,8 kW/km bis 12,36 kW/km (Erdkabelleitungen) und im Wertebereich von 919,4 kW/km bis 43,5 kW/km (Freileitungen).



**Bild 4.26:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Lastabhängige Verluste (spezifische Werte)“  
 (Werteanzahl: 24 – Erdkabelleitung; 14 – Freileitung)

**Abgeleitete allgemeine Aussagen:**

- In den meisten von den untersuchten Trassenvarianten sind die betrachteten lastabhängigen Leistungsverluste in den Freileitungsstrecken größer als in den Erdkabelleitungsstrecken.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der gesamten Leistungsverluste im Diagramm ist größer bei Erdkabelleitungen als bei Freileitungen (66,56 gegenüber 21,14).

**Gründe für Extremwerte:**

- Der maximale Wert im Diagramm (822,8 kW/km) entspricht den lastabhängigen Verlusten im 400-kV-Kabelsystem 4 x 3 x 2500 mm<sup>2</sup> [2.22]. Der maximale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (919,4 kW/km) charakterisiert die maximalen stromabhängigen Verluste in einer 380-kV-Freileitung in [2.9].
- Der minimale Wert im Diagramm für Erdkabelleitung (12,36 kW/km) charakterisiert die lastabhängigen Leistungsverluste in den Leitern der 1-systemigen 400-kV-Erdkabelleitungstrasse [2.5]. Der minimale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (43,5 kW/km) charakterisiert die Freileitung nur mit einem 380-kV-System in [2.5].

#### Allgemeine Kommentare:

- Es sei wiederum angemerkt, dass die lastabhängigen Leistungsverluste grundsätzlich vom Betriebszustand der Leitung abhängig sind

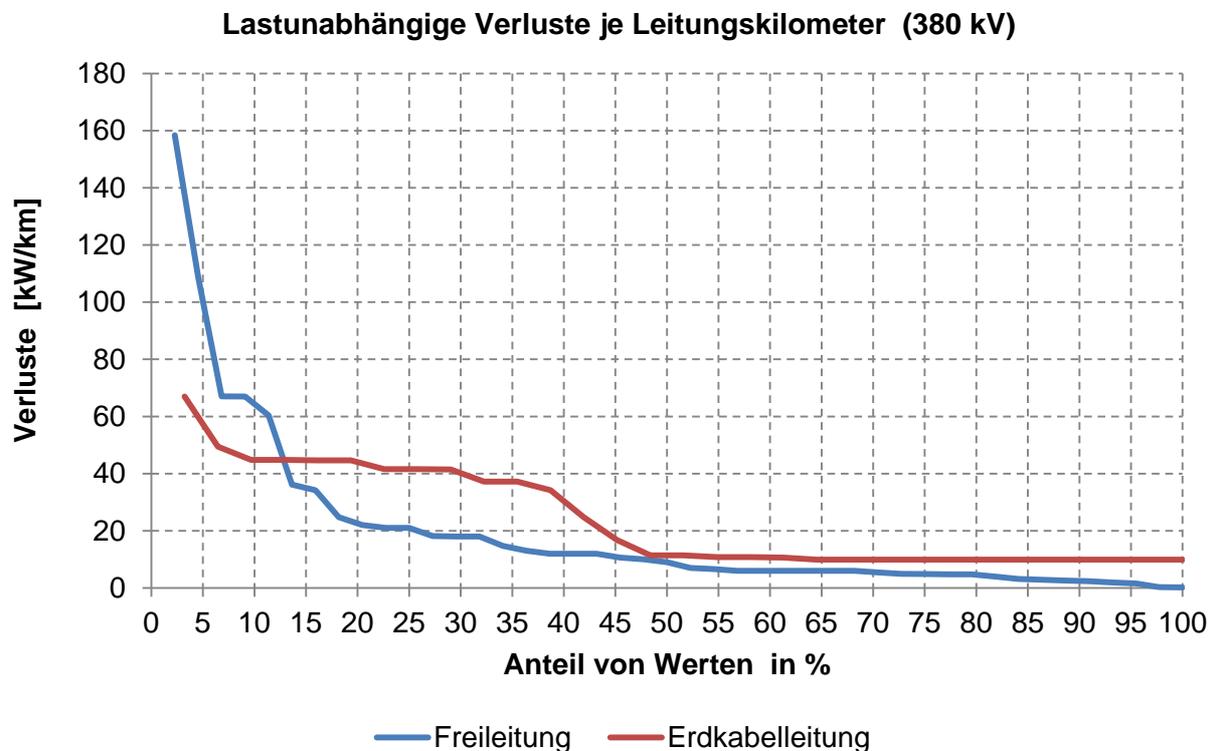
#### 4.3.2.7 Kriterium: Verluste – Lastunabhängige Verluste (spezifische Werte)

##### Definition: Lastunabhängige Verluste (spezifische Werte)

Lastunabhängige Verluste auch spannungsabhängige oder Leerlaufverluste genannt sind die Leistungsverluste, die im Isolierungsmedium entstehen und von der angelegten Spannung abhängig sind. Dazu werden auch die Verluste von den Ableitströmen über die Isolatorenoberflächen sowie die Corona-Verluste mitgezählt. Spezifische Werte der lastunabhängigen Verluste werden pro 1 km der Übertragungsstrasse ermittelt.

##### Angaben zu den Quellen:

- Die Zahlenwerte der gesamten Leistungsverluste befinden sich im Wertebereich von 66,96 kW/km bis 9,9 kW/km (Erdkabelleitungen) und im Wertebereich von 158,4 kW/km bis 0,18 kW/km (Freileitungen).



**Bild 4.27:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Lastunabhängige Verluste (spezifische Werte)“ (Werteanzahl: 31 – Erdkabelleitung; 44 – Freileitung)

### Abgeleitete allgemeine Aussagen:

- In fast 90% der untersuchten Fälle sind die lastunabhängigen Verluste in Erdkabelleitungen höher im Vergleich mit den relevanten Freileitungsverlusten. Grund dafür ist die höhere Leitfähigkeit der Kabelisolation gegenüber der Luftisolation bei Freileitungen.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der gesamten Leistungsverluste im Diagramm ist markant größer bei Freileitungen als bei Erdkabelleitungen (878 gegenüber 6,76). Ursache dafür ist eine sehr starke Abhängigkeit der lastunabhängigen Freileitungsverluste von Witterungsbedingungen.

### Gründe für Extremwerte:

- Der maximale Wert im Diagramm (66,96 kW/km) entspricht den lastunabhängigen Verlusten in einer 6-systemigen Erdkabelleitungstrasse mit Kabeln 2500 mm<sup>2</sup> [2.25]. Der maximale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (158,4 kW/km) charakterisiert die Korona-Verluste bei Raureif in der 500-kV-Freileitung in [2.25].
- Der minimale Wert im Diagramm für Erdkabelleitung (9,9 kW/km) charakterisiert die lastunabhängigen Leistungsverluste im 380-kV-Kabelsystem [2.3]. Der minimale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (0,18 kW/km) charakterisiert die lastunabhängigen Leistungsverluste aufgrund der Ableitströme in einer 330-kV-Freileitung bei der Luftfeuchte < 90% [2.25].

### Allgemeine Kommentare:

- Es sei angemerkt, dass nicht alle Arten von lastunabhängigen Leistungsverlusten (Isolationsverluste, Ableitstromverluste, Korona-Verluste) in allen Studien berücksichtigt wurden.

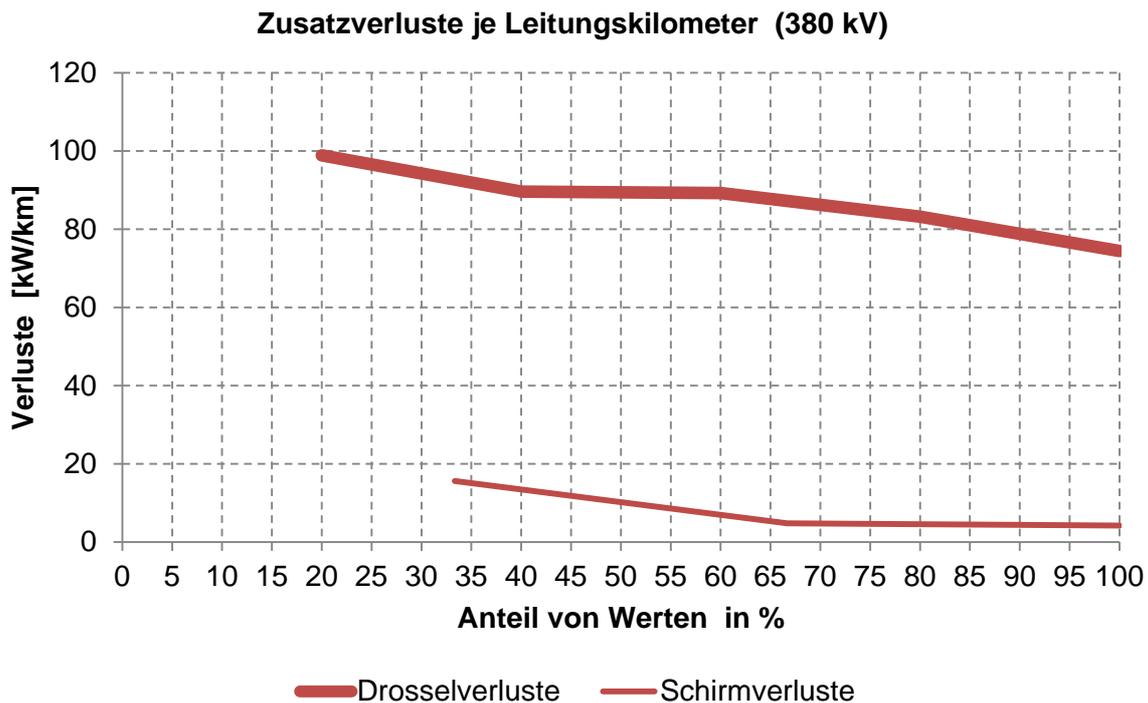
#### 4.3.2.8 Kriterium: Verluste – Zusatzverluste (spezifische Werte)

##### Definition: Zusatzverluste (spezifische Werte)

Als Zusatzverluste werden die Verluste in Kabelschirmen, in Kompensationsdrosseln sowie der für die Kabelkühlung erforderliche Leistungsverbrauch betrachtet. Spezifische Werte der Zusatzverluste werden pro 1 km der Übertragungstrasse ermittelt. Diese Verluste treten nur bei Erdkabelleitungen auf.

##### Angaben zu den Quellen:

- Die Zahlenwerte der Zusatzverluste befinden sich in den Wertebereichen von (98,88-74,4) kW/km (Verluste in Kompensationsdrosseln) und von (15,6 - 4,2) kW/km (Schirmverluste).



**Bild 4.28:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Zusatzverluste (spezifische Werte)“ (Werteanzahl: 5 – Drosselverluste; 3 – Schirmverluste)

**Abgeleitete allgemeine Aussagen:**

- Verluste in den Kompensationsdrosseln sind wesentlich höher als die Verluste in den Kabelschirmen.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der Drosselverluste im Diagramm beträgt 1,32.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der Schirmverluste im Diagramm beträgt 3,71.

**Gründe für Extremwerte:**

- Der maximale Wert im Diagramm (98,88 kW/km) entspricht den Zusatzverlusten in Kompensationsdrosseln für 4 Kabelsysteme mit dem Kabel 2XS(FL)2Y 1x2500 RM/50 [2.22].
- Der minimale Wert im Diagramm für Erdkabelleitung (4,2 kW/km) charakterisiert die Zusatzverluste im Kabelschirm für zwei 400-kV-Kabelsysteme [2.19].

**Allgemeine Kommentare:**

- Es sei angemerkt, dass die Zusatzverluste nur in wenigen Studien überhaupt betrachtet werden, obwohl diese Verluste zahlenmäßig höher sein können als z.B. die spannungsabhängigen Verluste (vgl. Bilder 4.27 und 4.28).

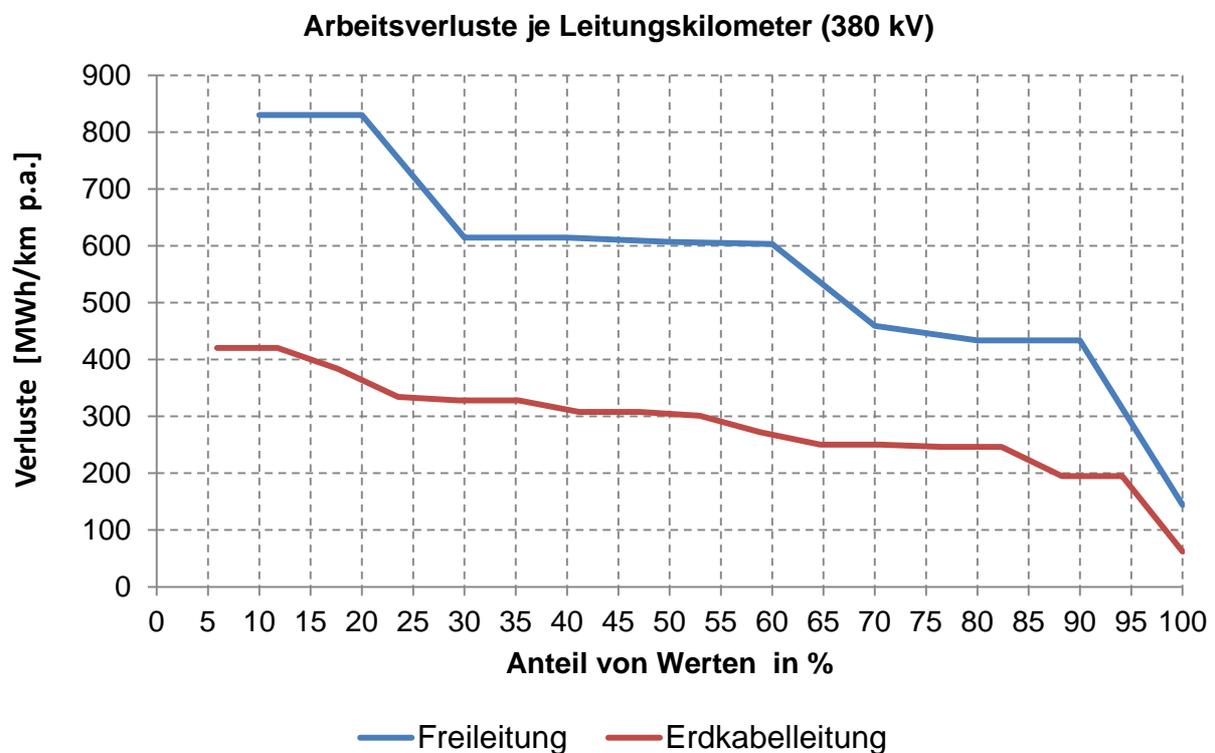
### 4.3.2.9 Kriterium: Verluste - Arbeitsverluste

**Definition: Arbeitsverluste**

Arbeitsverluste, auch Verlustenergie, Verlustarbeit oder Energieverluste genannt sind das Integral der gesamten Leistungsverluste über die Betrachtungszeit. Im betrachteten Studienset werden oft die Arbeitsverluste per annum betrachtet.

**Angaben zu den Quellen:**

- Die betrachteten Arbeitsverluste befinden sich im Wertebereich von 420,48 MWh bis 62,2 MWh pro Jahr und km bei Erdkabelleitungen und im Wertebereich von 830,19 MWh bis 144 MWh pro Jahr und km bei Freileitungen.



**Bild 4.29:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Arbeitsverluste“ (Werteanzahl: 17 – Erdkabelleitung; 10 – Freileitung)

**Abgeleitete allgemeine Aussagen:**

- In allen berücksichtigten Fällen sind die angegebenen Arbeitsverluste bei Freileitungen höher als die Arbeitsverluste bei Erdkabelleitungen.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der Arbeitsverluste im Diagramm ist etwas größer bei Freileitungen als bei Erdkabelleitungen (6,76 gegenüber 5,77).

### Gründe für Extremwerte:

- Der maximale Wert im Diagramm (420,48 MWh) entspricht den Arbeitsverlusten in der 380-Erdkabelleitungsstrecke [2.3]. Der maximale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (830,19 MWh) charakterisiert die maximalen Arbeitsverluste in der 380-Freileitungsstrecke in [2.5].
- Der minimale Wert im Diagramm für Erdkabelleitung (62,2 MWh) charakterisiert die Arbeitsverluste in der zweisystemigen Erdkabelleitungsstrecke mit dem 400-kV-Kabel [2.16]. Der minimale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (144 MWh) charakterisiert die gleiche Übertragungsstrecke mit der 400-kV-Freileitung [2.16].

### Allgemeine Kommentare:

- Es sei angemerkt, dass die Informationen zu den Arbeitsverlusten im betrachteten Studienset nur in relativ wenigen Fällen explizit angegeben sind. Das bedeutet, dass die Arbeitsverluste selbst als ein Vergleichskriterium für die alternativen Stromübertragungstechniken nur eingeschränkt verwendet werden.

### Fazit zur Verlustanalyse:

Die ausgewerteten Datensätze ermöglichen keine eindeutigen Aussagen bezüglich der Verhältnisse von Leistungsverlusten in Erdkabelleitungen gegenüber den Freileitungen. Gründe dafür sind die Abhängigkeit der Leistungsverluste in einer Übertragungsstrecke sowohl von den Auslegungsmerkmalen (Leistungsdesign) als auch von der aktuellen elektrischen Auslastung der Leitung. Betriebszustände der Übertragung der Maximalleistungen werden grundsätzlich durch höhere Leistungsverlustwerte charakterisiert als die Betriebszustände der Übertragung von mittleren oder minimalen Leistungen. Gemäß den bekannten Vorschriften aus Deutschland können sowohl die maximalen als auch die mittleren Leistungsverluste zur Verlustbewertung verwendet werden. Die relevanten Verhältnisse der Leistungsverluste in Erdkabelleitungen und in Freileitungen können dabei unterschiedlich ausfallen, weil die Abhängigkeiten der Leistungsverluste von der Leitungsauslastung nichtlinear und unterschiedlich für Erdkabelleitungen und für Freileitungen sind.

Nicht alle für Erdkabelleitungen und Freileitungen relevanten Leistungsverlustarten werden in allen betrachteten Studien berücksichtigt. Insbesondere trifft es die lastunabhängigen Verluste zu. Das erschwert zusätzlich die Vergleichsanalyse.

Die ausgewerteten Datensätze zu den Arbeitsverlusten zeigen einheitlich höhere Arbeitsverlustwerte bei den Freileitungen gegenüber den Arbeitsverlustwerten in Erdkabelleitungen. Da die Ermittlung von Arbeitsverlusten grundsätzlich auf den Leistungsverlustwerten basiert, ist hier ein gewisser Widerspruch zu den Auswertergebnissen der Leistungsverlustzahlenwerte zu verzeichnen.

Es besteht ein Mangel an einem einheitlichen Referenzrahmen für die Durchführung der Verlustanalyse. Die Auswertergebnisse spiegeln dies wider.

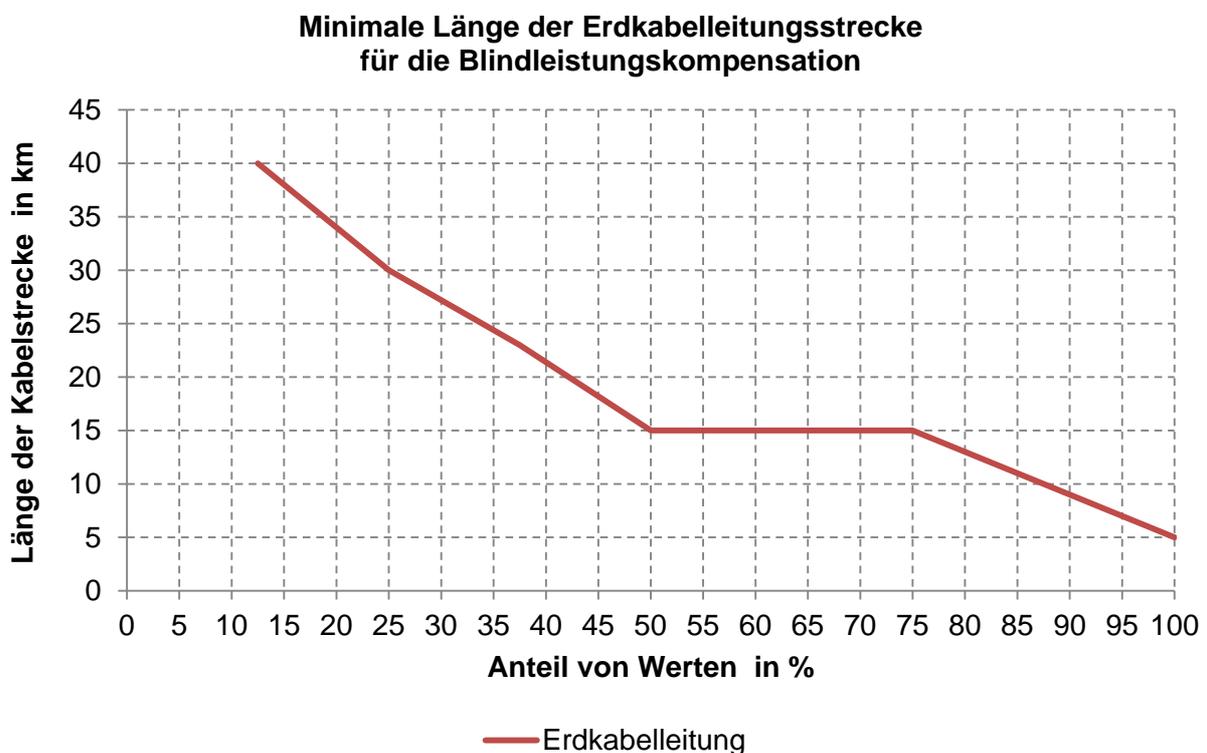
#### 4.3.2.10 Kriterium: Blindleistungskompensation

##### Definition: Blindleistungskompensation

Kompensation des Blindleistungsbedarfes bzw. der Ladeströme von Erdkabelleitungen. Blindleistungskompensation wird durch den Einsatz von Drosselspulen realisiert. Blindleistungsbedarf der Erdkabelleitungsstrecke hängt von der Länge der Strecke ab. Blindleistungskompensation wird erst beim Erreichen einer bestimmten Streckenlänge erforderlich.

##### Angaben zu den Quellen:

- Die betrachteten minimalen Längen von Erdkabelleitungsstrecken befinden sich im Wertebereich von 40 km bis 5 km. Bei der Überschreitung der angegebenen Erdkabelleitungstrassenlänge wird die Blindleistungskompensation erforderlich.



**Bild 4.30:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Blindleistungskompensation“ (Werteanzahl: 8 – Erdkabelleitung)

##### Abgeleitete allgemeine Aussagen:

- Es sei angemerkt, dass die Aussagen zur minimalen Länge der Erdkabelleitungsstrecke bei verschiedenen Autoren recht unterschiedlich sind.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der minimalen Länge im Diagramm beträgt 8.

#### Gründe für Extremwerte:

- Der maximale Wert im Diagramm (40 km) entspricht den Angaben in [2.27]. Der minimale Wert im Diagramm (5 km) entspricht den Angaben in [2.23].

#### Allgemeine Kommentare:

- Eine korrekte Entscheidung über die Notwendigkeit einer Blindleistungskompensation bei der Erdkabelleitungsstrecke kann auf der Basis von LAT-Kriterium (Longueur d'Aptitude au Transport) getroffen werden. Die Erfüllung des Kriteriums bedeutet, dass die durch die Erdkabelleitung übertragene Leistung im Falle einer rein ohmschen Belastung ( $\cos \phi = 1$ ) die Größe von 95% der eingespeisten Leistung nicht unterschreitet [2.25].

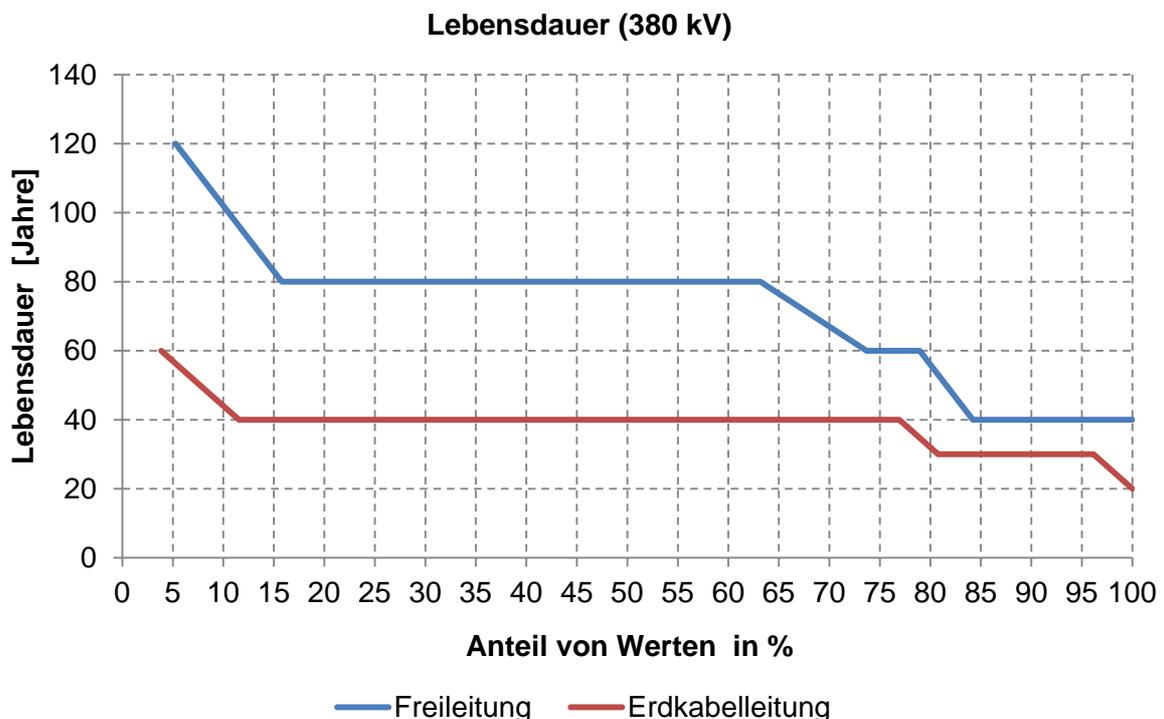
#### 4.3.2.11 Kriterium: Lebensdauer

##### Definition: Lebensdauer

Lebensdauer ist die Zeit des ununterbrochenen Betriebes einer Leitung.

##### Angaben zu den Quellen:

- Die betrachteten Werte befinden sich im Zahlenbereich von 20 Jahren bis 60 Jahren bei Erdkabelleitungen und im Zahlenbereich von 40 Jahren bis 120 Jahren bei Freileitungen.



**Bild 4.31:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Lebensdauer“ (Werteanzahl: 26 – Erdkabelleitung; 19 – Freileitung)

### Abgeleitete allgemeine Aussagen:

- In allen berücksichtigten Fällen ist die angegebene Lebensdauer bei Freileitungen höher als die Lebensdauer bei Erdkabelleitungen. Es sei angemerkt, dass die Lebensdauer einer Freileitung immer unter Berücksichtigung der notwendigen Erneuerung der Freileitungsbeseilung nach ca. 40 Jahren des Betriebes im Studienset angegeben wurde.
- Das Verhältnis zwischen den maximalen und minimalen Werten der Lebensdauer im Diagramm ist bei Erdkabelleitungen wie bei Freileitungen 3.
- Freileitungen haben in den überwiegenden Fällen eine doppelt so hohe Lebensdauer wie Erdkabelleitungen.

### Gründe für Extremwerte:

- Der maximale Wert im Diagramm für Erdkabelleitungsstrecken (60 Jahren) entspricht den Angaben in [2.13], wobei der Wert gleich als eine „Spekulation“ eingestuft ist. Der maximale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (120 Jahren) charakterisiert die Angaben in [2.15].
- Der minimale Wert im Diagramm für Kabel (20 Jahren) charakterisiert die Angaben in [2.17]. Der minimale Wert im Diagramm für Freileitungsstrecken (40 Jahren) ist in [2.12] angegeben.

### Allgemeine Kommentare:

- Es sei angemerkt, dass die Informationen zur Lebensdauer von Höchstspannungskabelstrecken die Schätzungswerte darstellen. Es ist noch keine bestehende VPE-Kabelverbindung von über 40 Jahren in Betrieb.

#### 4.3.2.12 Kriterien: Investitions-, Betriebs- und Gesamtkosten

Wie bereits in der Einleitung kurz dargestellt, ist es nicht Zielsetzung der Metastudie neue Berechnungen zu den hier verwendeten Kostenkriterien anzustellen, was in der vorliegenden Metastudie auch nicht erfolgt ist. Bezüglich der Ergebnisinterpretation sei an dieser Stelle nochmals erwähnt, dass die im Folgenden dargestellten Ergebnisse der Kostenkriterien eine Übersicht über die Kostenfaktoren darstellt, die in den analysierten Studien erarbeitet worden sind. Diese können mitunter auf unterschiedlichen betriebswirtschaftlichen und finanztechnischen Annahmen basieren. Kosten beeinflussende Faktoren wie zum Beispiel Strompreise, Lebensdauer, Zinssätze, Abschreibungsdauern oder auch Belastungsprofile und Verluste sind in den untersuchten Studien mitunter nicht einheitlich verwendet worden. Aus diesem Grund stellen die im Rahmen dieser Metastudie dargestellten Werte für die drei Kostenkriterien eine statistische Zusammenfassung einzelner (in den untersuchten Studien) publizierter Werte dar. Eine konkrete Nutzung für etwa netzplanerische Zwecke erfordert eine weitergehende Analyse mit genauer Untersuchung der Faktoren, die die Investitions-, Betriebs- und Gesamtkosten beeinflussen.

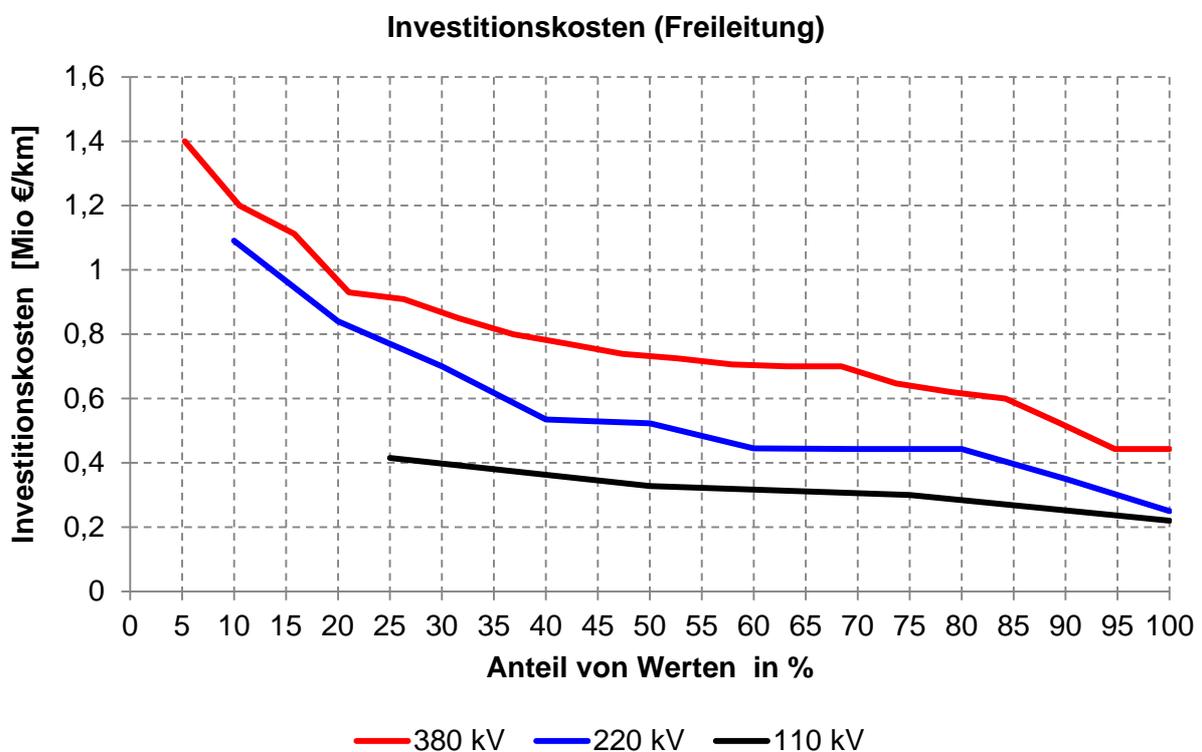
#### 4.3.2.12.1 Kriterium: Investitionskosten

##### Definition: Investitionskosten

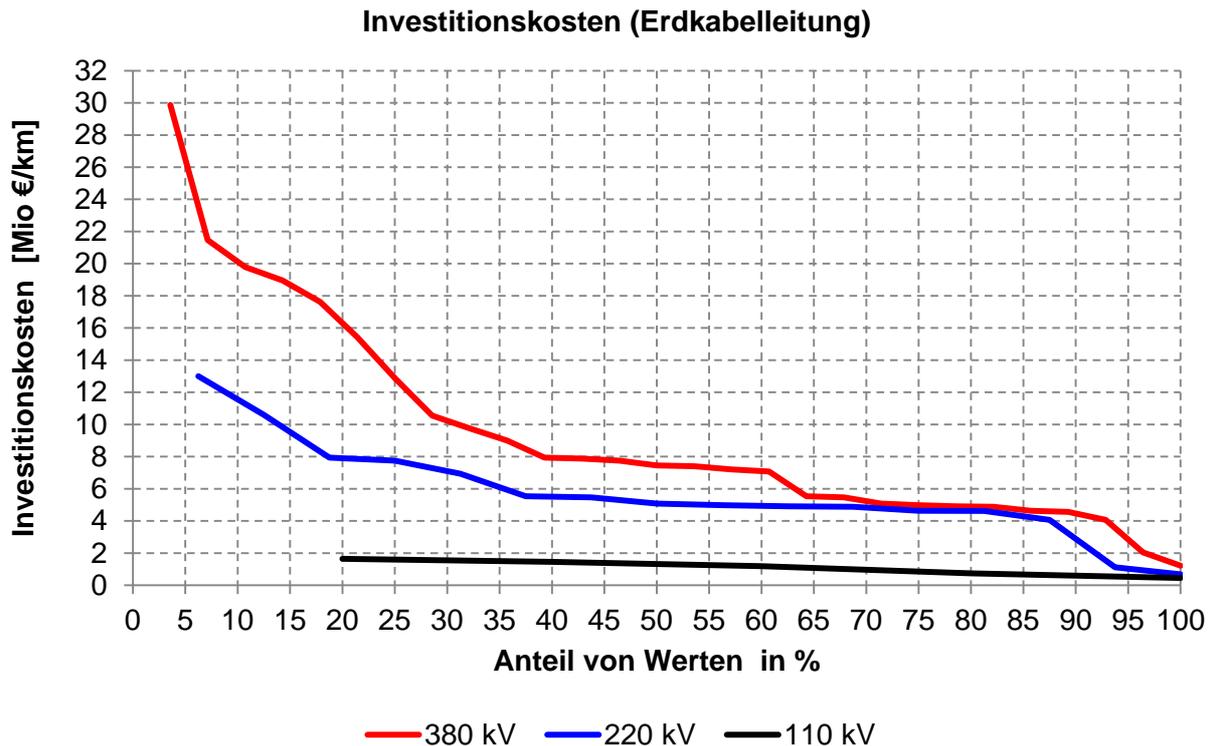
Investitionskosten sind Kosten, die zum Bau einer Leitung aufgebracht werden müssen, bevor diese in den Betrieb geht. Neben den reinen Material- zählen hierzu auch die Errichtungskosten. Je nach betrachtetem Zeithorizont sind Re-Investitionen nach Ablauf der jeweiligen Lebensdauer enthalten.

##### Angaben zu den Quellen:

- Die Nennspannungen der betrachteten Übertragungsstrecken sind 110 kV, 220 kV und 380 kV.



**Bild 4.32:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Investitionskosten“ (Freileitung) (Werteanzahl: 19 – 380 kV; 10 – 220 kV; 4 – 110 kV)



**Bild 4.33:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Investitionskosten“ (Erdkabelleitung)  
 (Werteanzahl: 28 – 380 kV; 16 – 220 kV; 5 – 110 kV)

**Abgeleitete allgemeine Aussagen:**

- Die Investitionskosten sind bei Erdkabelleitungen im Allgemeinen höher als bei Freileitungen
- 110 kV:
  - In 60% der untersuchten Studien liegen die Investitionskosten für 110-kV-Kabelanlagen unter etwa 1,2 Mio. €/km.
  - In allen untersuchten Studien liegen die Investitionskosten für 110-kV-Freileitungsanlagen unter 0,5 Mio. €/km.
  - Der größte Wert für Investitionskosten für Erdkabelleitungen ist um Faktor 4 größer als der größte Wert für Freileitungen.
- 220 kV:
  - In über 70% der untersuchten Studien liegen die Investitionskosten für 220-kV-Kabelanlagen zwischen 4 Mio. €/km und 8 Mio. €/km.
  - In 90% der untersuchten Studien liegen die Investitionskosten für 220-kV-Freileitungsanlagen unter 850 T€/km.
  - Der größte Wert für Investitionskosten für Erdkabelleitungen ist um Faktor 12 größer als der größte Wert für Freileitungen.
- 380 kV:
  - In über 60% der untersuchten Studien liegen die Investitionskosten für 380-kV-Kabelanlagen zwischen 4 Mio. €/km und 10 Mio. €/km.

- In allen untersuchten Studien liegen die Investitionskosten für 380-kV-Freileitungsanlagen unter 1,5 Mio. €/km.
- Der größte Wert für Investitionskosten für Erdkabelleitungen ist um Faktor 21 größer als der größte Wert für Freileitungen.

#### **Gründe für Extremwerte:**

- 110 kV:
  - Die maximalen Investitionskosten bei 110-kV-Freileitungen stammen aus dem Bericht [2.14].
  - Die minimalen Investitionskosten bei 110-kV-Freileitungen resultieren aus der Verlegung nur eines Systems [2.11].
  - Die maximalen Investitionskosten bei 110-kV-Erdkabelleitungen stammen aus Bericht [2.14].
  - Die minimalen Investitionskosten bei 110-kV-Erdkabelleitungen resultieren aus der Verlegung nur eines Systems [2.11].
- 220 kV:
  - Die maximalen Investitionskosten bei 220-kV-Freileitungen stammen aus dem Bericht [2.28].
  - Die minimalen Investitionskosten bei 220-kV-Freileitungen resultieren aus der Verlegung nur eines Systems [2.11].
  - Die maximalen Investitionskosten bei 220-kV-Erdkabelleitungen resultieren aus der Verlegung großer Kabelquerschnitte [2.1].
  - Die minimalen Investitionskosten bei 220-kV-Erdkabelleitungen resultieren aus der Verlegung nur eines Systems [2.11].
- 380 kV:
  - Die maximalen Investitionskosten bei 380-kV-Freileitungen beziehen sich auf die Errichtung von vier Systemen an der Küste oder im Mittelgebirge [2.11].
  - Die Minimalwerte der Investitionskosten bei 380-kV-Freileitungen sind Ergebnisse der Berichte [2.6] und [2.13].
  - Die Maximalwerte der Investitionskosten resultieren aus kurzen Übertragungsstrecken (1 km bis 5 km) [2.25].
  - Die Minimalwerte der Investitionskosten für 380-kV-Erdkabelleitungen resultieren aus der Verlegung nur eines Systems [2.11].

#### **Allgemeine Kommentare:**

- Keine.

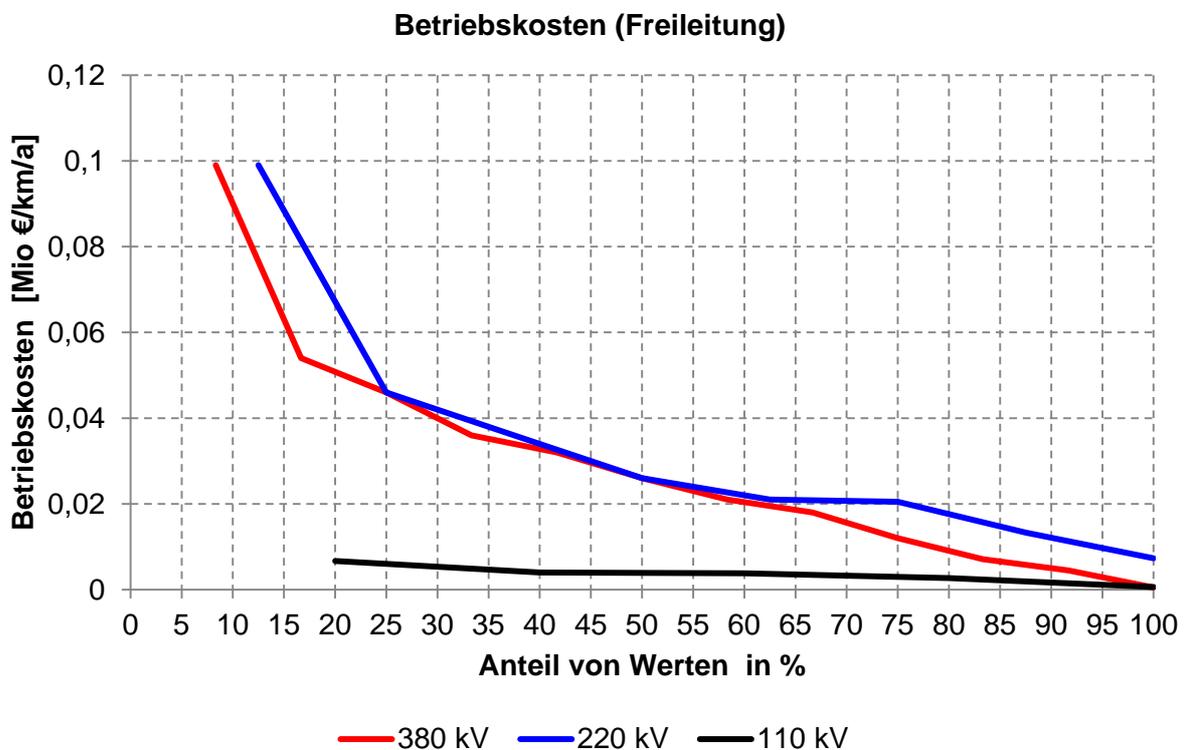
#### 4.3.2.12.2 Kriterium: Betriebskosten

##### Definition: Betriebskosten

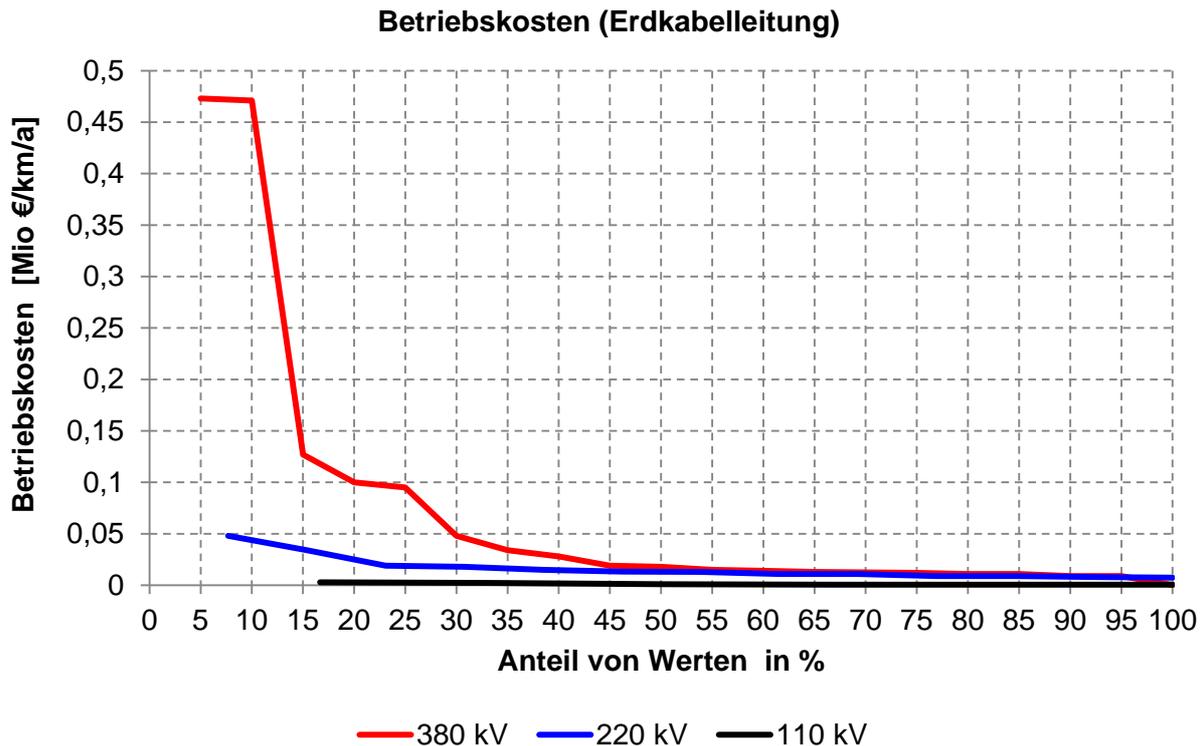
Betriebskosten beschreiben diejenigen Kostenaufwendungen, die während der Betriebsphase entstehen. Hierzu zählen Wartungs-, Unterhaltungs- und Verlustkosten. Die vollständige Betrachtung inkludiert aber auch Kosten, die durch die Nichtverfügbarkeit einer Anlage entstehen [2.25].

##### Angaben zu den Quellen:

- Die Nennspannungen der betrachteten Übertragungsstrecken sind 110 kV, 220 kV und 380 kV.



**Bild 4.34:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Betriebskosten“ (Freileitung)  
(Werteanzahl: 12 – 380 kV; 8 – 220 kV; 5 – 110 kV)



**Bild 4.35:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Betriebskosten“ (Erdkabelleitung) (Werteanzahl: 20– 380 kV; 13 – 220 kV; 6 – 110 kV)

**Abgeleitete allgemeine Aussagen:**

- Die Betriebskosten für Erdkabelleitungen sind in der 110-kV- und 220-kV-Ebene kleiner als jene der Freileitungen. Lediglich in der 380-kV-Ebene belegen einige Studien höhere Betriebskosten der Erdkabelleitungen. Dies ist zum Teil auch durch die Einbeziehung von Ausfallkosten bedingt [2.25].
- 110 kV:
  - In 40% der untersuchten Studien liegen die Betriebskosten für 110-kV-Freileitungen zwischen 2,7 T€/km/a und 4 T€/km/a.
  - In 50% der Studien liegen die Betriebskosten für 110-kV-Erdkabelleitungen höchstens bei 1 T€/km/a.
  - Der größte Wert für Betriebskosten für Freileitungen ist um Faktor 2,4 größer als der größte Wert für Erdkabelleitungen.
- 220 kV:
  - In über 50% der Studien liegen die Betriebskosten für 220-kV-Freileitungen zwischen 20 T€/km/a und 46 T€/km/a.
  - In etwa 85% der Studien liegen die Betriebskosten für 220-kV-Erdkabelleitungen unter 20 T€/km/a.
  - Der größte Wert für Betriebskosten für Freileitungen ist um Faktor 2 größer als der größte Wert für Erdkabelleitungen.

- 380 kV:
  - In über 80% der Studien liegen die Betriebskosten für 380-kV-Freileitung unter 55 T€/km/a.
  - In 70% der Studien liegen die Betriebskosten für 380-kV-Erdkabelleitungen unter 50 T€/km/a
  - Der größte Wert für Betriebskosten für Erdkabelleitungen ist um Faktor 4,7 größer als der größte Wert für Freileitungen.

#### Gründe für Extremwerte:

- 110 kV:
  - Die minimalen Betriebskosten für 110-kV-Freileitungen, wurden im Bericht [2.9] ermittelt.
  - Die maximalen Betriebskosten für 110-kV-Freileitungen, wurden im Bericht [2.11] ermittelt.
  - Die minimalen Betriebskosten für 110-kV-Erdkabelleitungen, wurden in den Berichten [2.9] und [2.14] ermittelt.
  - Die maximalen Betriebskosten für 110-kV-Erdkabelleitungen, wurden im Bericht [2.11] ermittelt.
  
- 220 kV:
  - Die maximalen Betriebskosten für 220-kV-Freileitungen, resultieren aus einer hohen mittleren Übertragungsleistung [2.3].
  - Die minimalen Betriebskosten für 220-kV-Freileitungen, wurden im Bericht [2.11] ermittelt.
  - Die minimalen Betriebskosten für 220-kV-Erdkabelleitungen, wurden im Bericht [2.11] ermittelt.
  - Die maximalen Betriebskosten für 220-kV-Erdkabelleitungen, resultieren aus einer hohen mittleren Übertragungsleistung [2.3].
  
- 380 kV:
  - Die maximalen Betriebskosten für 380-kV-Freileitungen, resultieren aus einer hohen mittleren Übertragungsleistung [2.3].
  - Die minimalen Betriebskosten für 380-kV-Freileitungen, wurden im Bericht [2.16] ermittelt.
  - Die maximalen Betriebskosten für 380-kV-Erdkabelleitungen resultieren daraus, dass der Bericht [2.20] auch Ausfallkosten mit berücksichtigt.
  - Die minimalen Betriebskosten für 380-kV-Erdkabelleitungen, wurden im Bericht [2.16] ermittelt.

### **Allgemeine Kommentare:**

- Viele Studien berücksichtigen ausschließlich Verlustkosten, mit der Begründung, dass diese das Gros der Betriebskosten ausmachen [2.14], [2.16]. Nur in wenigen Studien werden außer Verlust- und Wartungskosten auch die Kosten, die durch Nichtverfügbarkeit der Leitung entstehen, mit berücksichtigt [2.20], [2.25].

#### *4.3.2.12.3 Kriterium: Gesamtkosten*

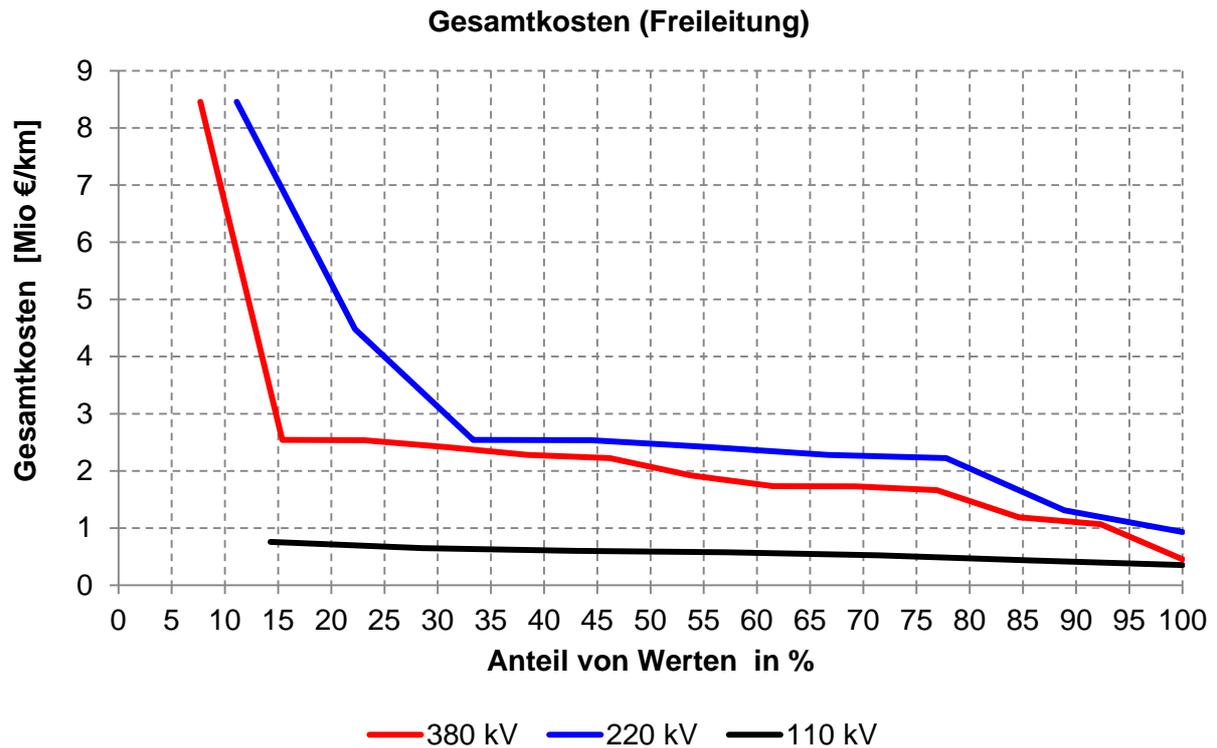
##### **Definition: Gesamtkosten**

Die Gesamtkosten beschreiben alle betriebswirtschaftlichen Kosten, die durch Errichtung und Betrieb einer Anlage verursacht werden. Enthalten sind Investitions- und Betriebskosten. Es werden hier ausschliesslich betriebswirtschaftliche und nicht volkswirtschaftliche Kosten analysiert. Auf die volkswirtschaftlichen Kostenbetrachtungen (Werte von Flächen/Boden, Wert von Landschaft, etc.) wurde in den betrachteten Studien entweder gar nicht oder nicht ausreichend für eine fundierte Gegenüberstellung eingegangen. Nur in ca. 10% von projektorientierten Studien sind die Zahlenangaben zur Charakterisierung der volkswirtschaftlichen Kostenfaktoren überhaupt präsent. Diese Kosten sind auch zum Teil länderspezifisch (z.B. Wertschöpfung durch die Herstellung von Leitungsteilen im Inland oder im Ausland [2.1]). Unter allen genannten Aspekten ist zu schlussfolgern, dass das Thema „Volkswirtschaftliche Kostenanalyse beim Höchstspannungsleitungsbau“ im Rahmen der vorliegenden Metastudie nicht betrachtet werden kann und weitere Recherche verlangt.

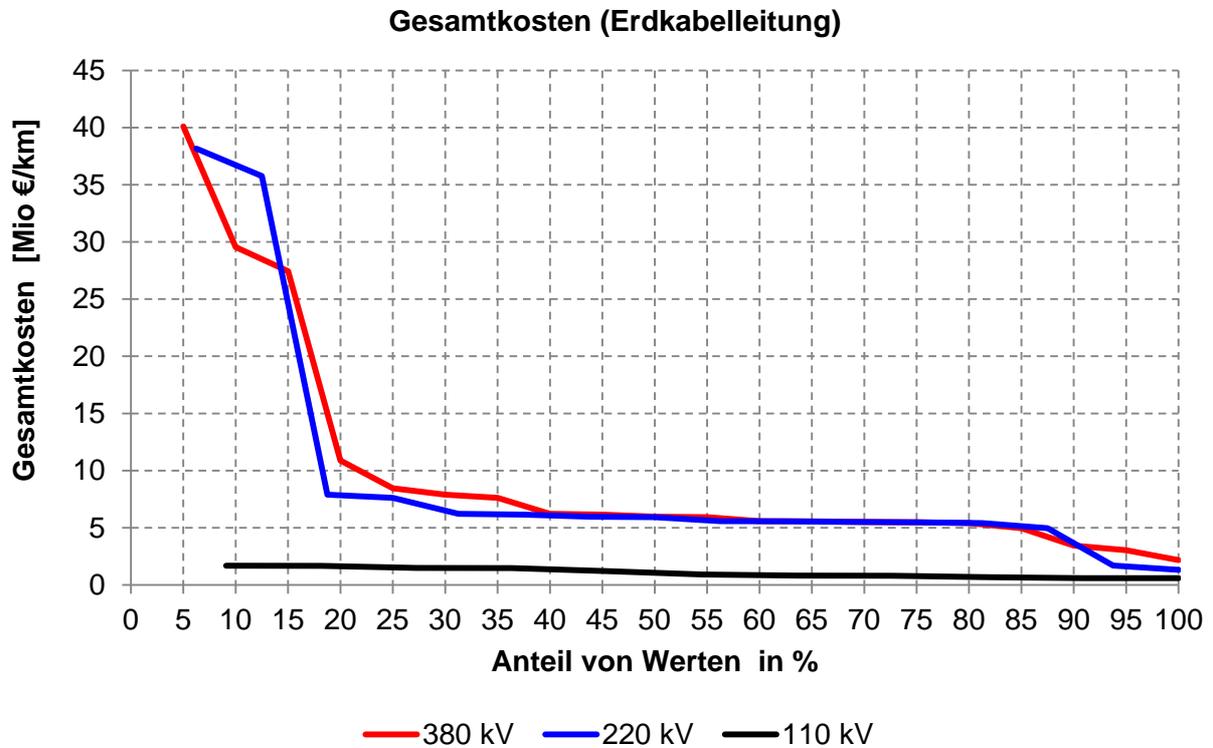
Bei der Bewertung der Gesamtkosten sollte berücksichtigt werden, dass die hier dargestellten Faktoren direkt aus den analysierten Studien entnommen wurden. Im Rahmen der Metastudie fand keine Umrechnung von Investitions- und Betriebskosten auf Gesamtkosten statt.

##### **Angaben zu den Quellen:**

- Die Nennspannungen der betrachteten Übertragungsstrecken sind 110 kV, 220 kV und 380 kV.



**Bild 4.36:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Gesamtkosten“ (Freileitung)  
(Werteanzahl: 13 – 380 kV; 9 – 220 kV; 7 – 110 kV)



**Bild 4.37:** Verteilung der Werte des Kriteriums „Gesamtkosten“ (Erdkabelleitung)  
(Werteanzahl: 20 – 380 kV; 16 – 220 kV; 11 – 110 kV)

### Abgeleitete allgemeine Aussagen:

- Im Allgemeinen sind die Gesamtkosten einer Kabelanlage höher als die einer Freileitungsanlage.
- 110 kV:
  - In über 55% der untersuchten Studien liegen die Gesamtkosten für eine 110-kV-Kabelanlage unter 1 Mio. €/km.
  - Die Kosten für eine 110-kV-Freileitungsanlage liegen unter 760 T€/km.
  - Der größte Wert für Gesamtkosten für Erdkabelleitungen ist um Faktor 2,2 größer als der größte Wert für Freileitungen.
- 220 kV:
  - In 75% der untersuchten Studien liegen die Gesamtkosten für eine 220-kV-Kabelanlage zwischen 4 Mio. €/km und 8 Mio. €/km.
  - In 55% der untersuchten Studien liegen die Gesamtkosten für eine 220-kV-Freileitungsanlage zwischen 2,2 Mio. €/km und 2,6 Mio. €/km.
  - Der größte Wert für Gesamtkosten für Erdkabelleitungen ist um Faktor 4,5 größer als der größte Wert für Freileitungen.
- 380 kV:
  - In 65% der untersuchten Studien liegen die Gesamtkosten für 380-kV-Kabelanlagen zwischen 5 Mio. €/km und 11 Mio. €/km.
  - In über 80% der untersuchten Studien liegen die Gesamtkosten für 380-kV-Freileitungsanlagen zwischen 1 Mio. €/km und 2,6 Mio. €/km.
  - Der größte Wert für Gesamtkosten für Erdkabelleitungen ist um Faktor 4,7 größer als der größte Wert für Freileitungen.
- Die in den Verteilungsfunktionen dargestellten Werte für Kabelanlagen und Freileitungen stellen keinen Projektvergleich dar sondern lediglich eine Verteilung der Werte für Erdkabelleitungen und Freileitungen über die analysierten Studien. D.h. um ein Verhältnis zu bilden zwischen den Kosten für Erdkabelleitungen und Freileitungen dürfen nicht nur die Werte der jeweils gleichen Prozentzahl ins Verhältnis gesetzt werden. Um die gesamte Bandbreite der möglichen Faktoren darzustellen, müssen auch die jeweils kleinsten Werte der Erdkabelleitung ins Verhältnis mit den jeweils größten Werten der Freileitung gesetzt werden und umgekehrt:
  - Die 75% kleinsten Werte für die Gesamtkosten von 220-kV-Leitungen weisen folgendes Verhältnis auf: Kleinster Wert Gesamtkosten Freileitung zu größtem Wert Gesamtkosten Erdkabelleitung bis ca. Faktor 8 höhere Gesamtkosten für eine 220-kV-Kabelanlage (umgekehrt: ca. Faktor 3).
  - Die 75% kleinsten Werte für die Gesamtkosten von 380-kV-Leitungen weisen folgendes Verhältnis auf: Kleinster Wert Gesamtkosten Freileitung zu größtem Wert Gesamtkosten Erdkabelleitung bis ca. Faktor 19 höhere Gesamtkosten für eine 380-kV-Kabelanlage (umgekehrt: ca. Faktor 1).

### Gründe für Extremwerte:

Die minimalen und maximalen Gesamtkosten resultieren zum Großteil aus einem einzelnen Bericht, einer hohen mittleren Übertragungsleistung, der Verlegung großer Leiterquerschnitte, der Berücksichtigung der Nachlaufphase oder aus kurzen Übertragungsstrecken. Die Gesamtkosten enthalten die Investitions- und Betriebskosten (siehe auch Schlussbemerkungen in Kap. 4.3.2.12.4).

- 110 kV:
  - Der Maximalwert der 110-kV-Freileitungsgesamtkosten ist Ergebnis des Berichts [2.11].
  - Der Minimalwert der 110-kV-Freileitungsgesamtkosten ist Ergebnis des Berichts [2.9].
  - Die Maximalwerte der 110-kV-Erdkabelleitungsgesamtkosten sind Ergebnisse des Berichts [2.14].
  - Die Minimalwerte der 110-kV-Erdkabelleitungsgesamtkosten sind Ergebnisse des Berichts [2.24].
  
- 220 kV:
  - Der Maximalwert der 220-kV-Freileitungsgesamtkosten entspricht einer Leitung, welche hohe mittlere Leistungen überträgt [2.3].
  - Der Minimalwerte der 220-kV-Freileitungsgesamtkosten sind Ergebnisse des Berichts [2.11].
  - Die Maximalwerte der 220-kV-Erdkabelleitungsgesamtkosten resultieren aus großen Leiterquerschnitten [2.1].
  - Die Minimalwerte der 220-kV-Erdkabelleitungsgesamtkosten sind Ergebnis des Berichts [2.11].
  
- 380 kV:
  - Der Maximalwert der 380-kV-Freileitungsgesamtkosten entspricht einer Leitung, welche hohe mittlere Leistungen überträgt [2.3].
  - Der Minimalwert der 380-kV-Freileitungsgesamtkosten ist Ergebnis des Berichts [2.20].
  - Die Maximalwerte der 380-kV-Erdkabelleitungsgesamtkosten resultieren aus kurzen Übertragungsstrecken (1 km bis 5 km) und es werden zusätzlich die Kosten der Nachlaufphase mit berücksichtigt [2.25].
  - Die Minimalwerte der 380-kV-Erdkabelleitungsgesamtkosten sind Ergebnis des Berichts [2.11].

### Allgemeine Kommentare:

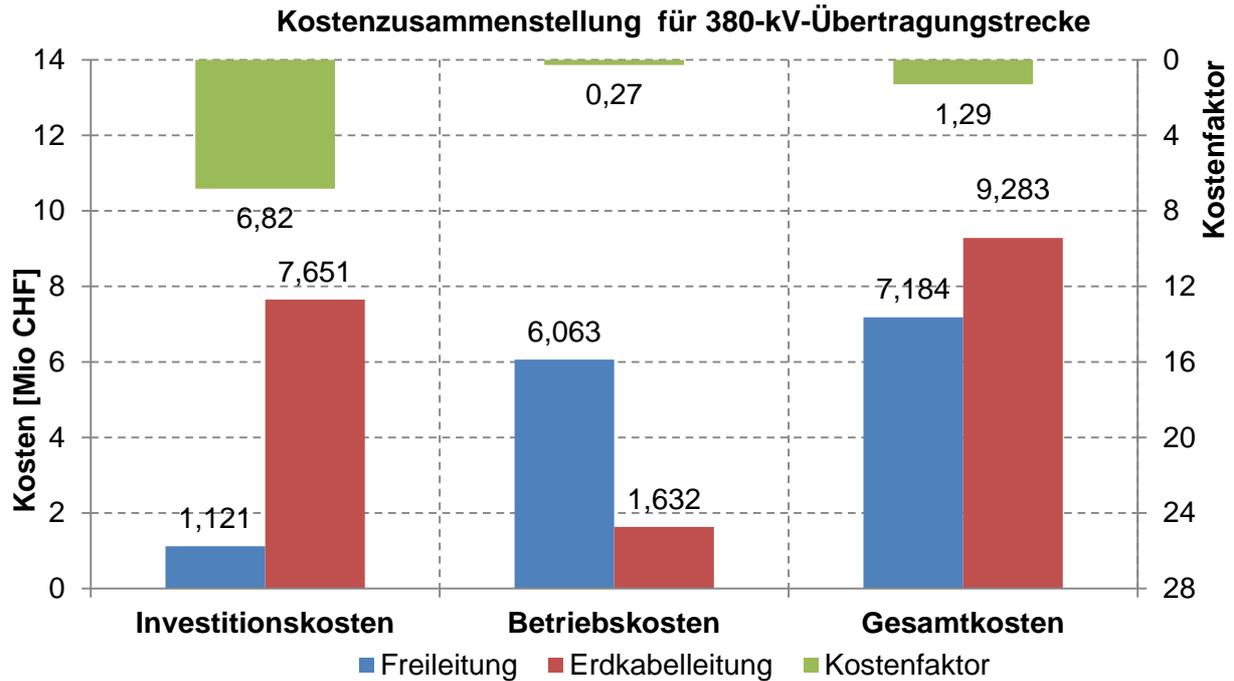
- In nur sehr wenigen Studien werden die Kosten der Nachlaufphase (Rückbau-, Entsorgungskosten, Ausgleichskosten für die Eingriffe in die Natur und Landschaft) mit berücksichtigt [2.25].

#### 4.3.2.12.4 Schlussbemerkung zu Kostenkriterien

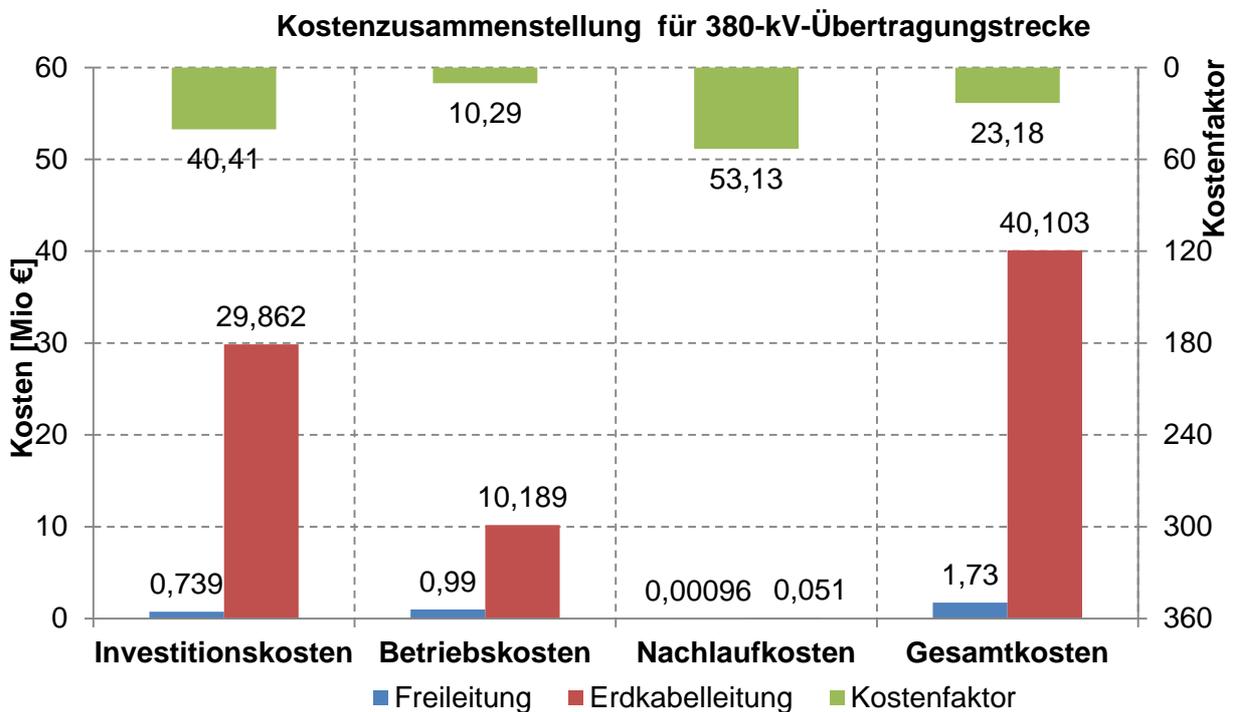
Im Allgemeinen belegen die untersuchten Studien, dass die Gesamtkosten bei einer angesetzten Betrachtungsdauer von 80 Jahren für eine Kabelanlage größer sind als jene für eine Freileitungsanlage. Dies resultiert vornehmlich aus den höheren Investitionskosten für Kabelanlagen. Hinzu kommt, dass die Lebensdauer für Erdkabelleitungen in der Regel mit 40 Jahren angenommen wird, sodass für diese Anlagen innerhalb der Betrachtungsdauer Reinvestitionen zu leisten sind. Wenige der untersuchten Studien beziehen auch noch Ausfallkosten für Nichtverfügbarkeit in ihre Betriebskostenberechnung mit ein. Da eine Fehlerbehebung bei Erdkabelleitungen in der Regel länger dauert, als bei Freileitungen, vergrößert auch dies die Gesamtkostendifferenz weiter.

Die vorausgesetzten Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind bei den untersuchten Studien nicht durchgängig einheitlich, weshalb nicht alle Studien direkt miteinander vergleichbar sind. Hier zeigen sich die Grenzen der Methode der Metastudie, um aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen müssten die Projektstudien im Detail mit einem einheitlich definierten Berechnungsprozess nachgerechnet werden.

Auf Wunsch des Beirats wurden zur weiteren Erklärung der Gesamtkostenzusammensetzung zwei Studien herausgegriffen, um die wertemässige Zusammensetzung aus den Betriebskosten und den Investitionskosten zu illustrieren. Nachfolgende Bilder zeigen die Kostenelemente und Gesamtkosten bei den beispielhaft ausgewählten Studien. Die linke Wertachse gibt den absoluten Wert der jeweiligen Kosten an, die rechte Wertachse enthält das Kostenverhältnis von Erdkabelleitungen zu Freileitungen. Aus dem ersten Beispiel in Bild 4.38 wird deutlich, dass obwohl die Investitionskosten einer Erdkabelleitung mit einem Faktor von 6,82 über denen einer Freileitung liegen, die Gesamtkosten aufgrund der höheren Betriebskosten einer Freileitung nur um den Faktor 1,29 höher sind. Das zweite Beispiel in Bild 4.39 zeigt einen Fall, in dem die Betriebskosten des Kabels höher sind als die einer Freileitung. Der Hauptgrund dafür ist die Berücksichtigung der Nichtverfügbarkeitskosten in der Betriebskostenzusammensetzung.



**Bild 4.38:** Beispiel der Kostenzusammensetzung aus [2.4] (Betrachtungsdauer 80 Jahre) zur Verdeutlichung der Abhängigkeit der Gesamtkosten von den Investitions- und Betriebskosten



**Bild 4.39:** Beispiel der Kostenzusammensetzung aus [2.25] (Betrachtungsdauer 80 Jahre) zur Verdeutlichung der Abhängigkeit der Gesamtkosten von den Investitions- und Betriebskosten

## 5 Detailergebnisse – Ordinal skalierte Kriterien

Zur Analyse der nicht-technischen Kriterien wurde die Methode der quantitativen Inhaltsanalyse angewendet. Dabei handelt es sich um eine empirische Methode zur systematischen und intersubjektiv nachvollziehbaren Beschreibung inhaltlicher Merkmale von Texten, hier in Textform vorliegende Informationen aus den zu analysierenden Studien. Damit eine systematische Analyse der nicht-technischen Kriterien erfolgen konnte, wurde in der Entwicklungsphase der Inhaltsanalyse zunächst ein Codebuch, das als Instrument der Datenerfassung diente, entwickelt. In diesem Codebuch sind alle Kategorien zu denen Daten erhoben wurden, im Falle dieser Studie die vorab festgelegten Kriterien, mit ihren Ausprägungen beschrieben. Auf diese Weise wurden die Kriterien operationalisiert („messbar“ gemacht). Im Anschluss folgte die Testphase.<sup>4</sup>

### 5.1 Vorbemerkungen

#### 5.1.1 Studienbasis zur Analyse der nicht-technischen Kriterien

Basis für die nachfolgende Analyse der nicht-technischen Kriterien waren insgesamt 60 Studien, bei denen es sich sowohl um allgemeine als auch um projektspezifische Studien handelt. In 7 der Studien wurden keine nicht-technischen Kriterien thematisiert und so fielen sie aus der nachfolgenden Betrachtung heraus (Tabelle 5.1). Die DENA II Studie wurde sowohl bei der Entwicklung des Bewertungsschemas als auch als Bestandteil des Studiensets genutzt. Darüber hinaus wurden die beiden Berichte des Bundesamts für Energie (2008, 2009) zur Prüfung und Beurteilung von Erdkabelleitungs- und Freileitungsausbauprojekten auf 220/380-kV-Ebene als Grundlage für die Entwicklung des Analyseinstruments verwendet, jedoch nicht mit ausgewertet. Demnach bildeten 51 Studien die Grundgesamtheit der Analyse der nicht-technischen Kriterien.

**Tabelle 5.1:** Übersicht über relevante Studien für nicht-technische Kriterien

Studien-ID	Studien zur Codebuchentwicklung	Studien nur mit technischen Kriterien	Studien mit nicht-technische Kriterien
[1.1]	x	-	x
[1.2]	-	-	x
[1.3]	-	-	x
[1.4]	x	-	-
[1.5]	x	-	-
[1.6]	-	x	-
[1.7]	-	-	x
[1.8]	-	-	x
[1.9a]	-	-	x
[1.9b]	-	x	-
[1.11]	-	-	x
[1.12]	-	-	x
[1.13]	-	-	x
[1.14]	-	-	x
[1.15]	-	-	x
[1.16]	-	-	x
[1.17]	-	-	x
[1.18]	-	-	x

<sup>4</sup> Zur besseren Lesbarkeit der Ergebnisse wurden die einzelnen Kategoriendefinitionen zu jedem Kriterium aus dem Codebuch unmittelbar vor der jeweiligen Ergebnispräsentation in den Bericht eingefügt. Deshalb befindet sich das Codebuch nicht noch einmal gesondert im Anhang.

[1.19]	-	-	x
[1.21]	-	-	x
[1.22]	-	-	x
[1.23]	-	-	x
[1.24]	-	-	x
[1.25]	-	-	x
[1.26]	-	x	-
[1.27]	-	x	-
[1.28]	-	-	x
[1.28]	-	-	x
[1.29]	-	-	x
[1.30]	-	-	x
[2.1]	-	-	x
[2.2]	-	-	x
[2.3]	-	-	x
[2.4]	-	-	x
[2.5]	-	-	x
[2.6]	-	-	x
[2.7]	-	-	x
[2.8]	-	-	x
[2.9]	-	-	x
[2.10]	-	-	x
[2.11]	-	x	-
[2.12]	-	-	x
[2.13]	-	-	x
[2.14]	-	x	-
[2.15]	-	-	x
[2.16]	-	-	x
[2.17]	-	-	x
[2.18]	-	-	x
[2.19]	-	-	x
[2.20]	-	-	x
[2.21]	-	-	x
[2.22]	-	-	x
[2.23]	-	-	x
[2.24]	-	-	x
[2.25]	-	x	-
[2.26]	-	-	x
[2.28]	-	-	x
[2.31]	-	-	x
[2.32]	-	-	x
[2.33]	-	-	x
<b>60</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>51</b>

In diesen 51 relevanten Studien konnten insgesamt **118 Untersuchungseinheiten (UE)** unterschieden werden. Eine UE ist dadurch definiert, dass im Rahmen der Studie Aussagen über eine bestimmte Leitungart gemacht wurden. Wenn beispielsweise in einer Studie Aussagen über eine 380-kV-Freileitung und über eine Erdkablösung gemacht wurden, dann enthält die Studie zwei Untersuchungseinheiten. Wenn nur vereinzelt unsystematisch bei einzelnen Kriterien ein anderer Leitungstyp zum Vergleich herangezogen wurde, dann wurde diese Vergleichslösung nicht als eigenständige UE behandelt, sondern nur im Rahmen solcher Kategorien berücksichtigt, die auf den direkten Vergleich zwischen Freileitung und Erdkabelleitung abzielen.

Insgesamt ließen sich in den Studien die folgenden Leitungstypen unterscheiden: Freileitungen allgemein, Freileitungen auf den Spannungsebenen 220 kV, 380 kV und 750 kV sowie HGÜ-Freileitungen, Erdkabelleitungen allgemein, Erdkabelleitungen auf den Spannungsebenen 220 kV, 380kV sowie 220/380 kV, HGÜ und GIL. Es sei darauf hingewiesen, dass die

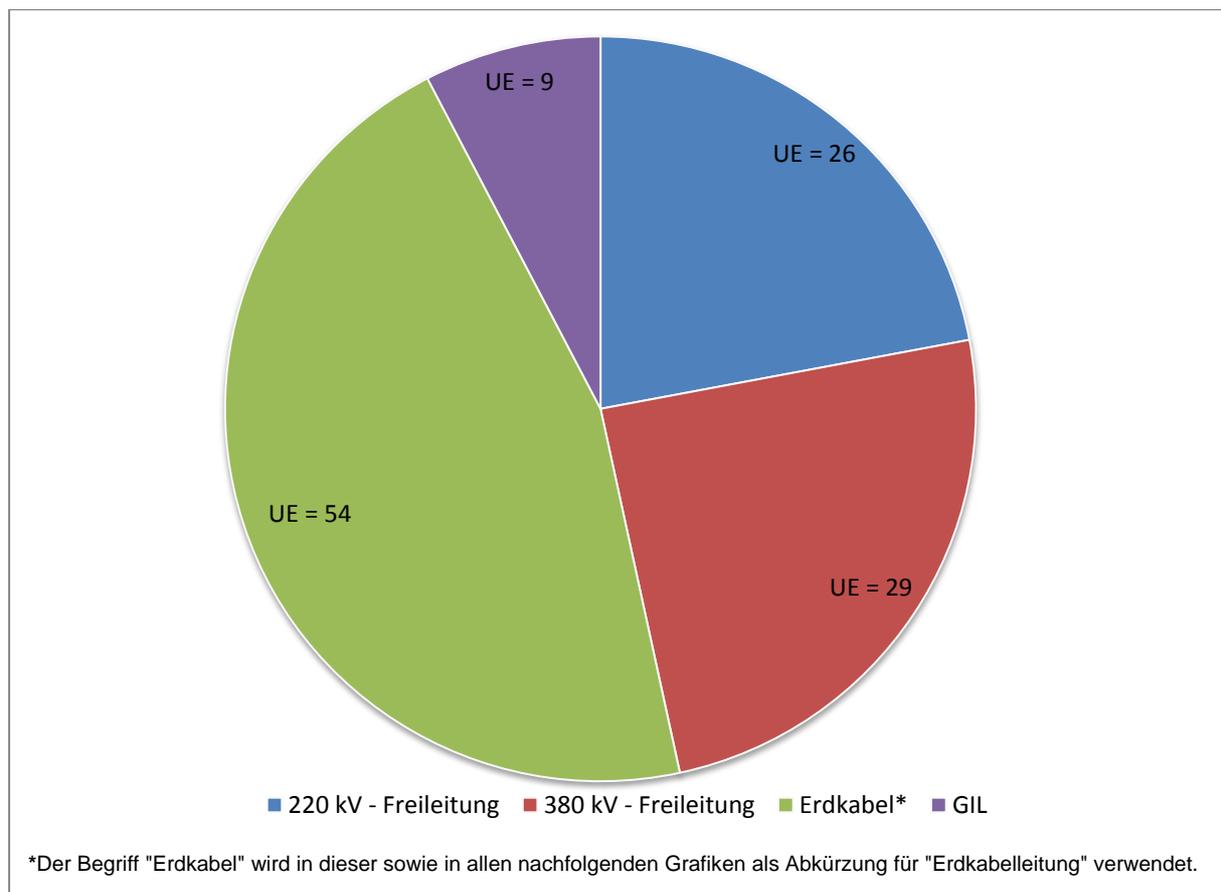
Bezeichnungen dieser unterschiedlichen Leitungstypen aus den Originalstudien übernommen wurden. Aus der Tabelle geht auch hervor, wie viele und welche Leitungstypen in den verschiedenen Studien unterschieden wurden. Dabei wurden in den meisten Studien 2 UE unterschieden, wobei es sich hierbei meist um eine Gegenüberstellung von Freileitungen vs. Erdkabelleitungen handelt (Tabelle 5.2).

**Tabelle 5.2:** Übersicht über Extraktion von Untersuchungseinheiten aus Studien

Studien-ID	Freileitungen					Erdkabelleitungen						UE je Studie
	FL	220 kV	380 kV	750 kV	HGÜ -FL	EK	220 kV	220/380 kV	380 kV	HGÜ	GIL	
[1.1]	-	-	1	1	1	-	-	-	1	1	1	6
[1.2]	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
[1.3]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.7]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	3
[1.8]	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	3
[1.9]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.11]	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	4
[1.12]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.13]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.14]	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
[1.15]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.16]	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
[1.17]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.18]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.19]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.20]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.21]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.22]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.23]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	3
[1.24]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.25]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.28]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.29]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[1.30]	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1	3
[2.1]	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	4
[2.2]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.3]	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2
[2.4]	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	3
[2.5]	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2
[2.6]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	3
[2.7]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.8]	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	2
[2.9]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.10]	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	2
[2.12]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.13]	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	3
[2.15]	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	3

[2.16]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.17]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.18]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.19]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.20]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.21]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.22]	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1	3
[2.23]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	3
[2.24]	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
[2.26]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.28]	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.32]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
[2.32]	-	1	-	-	-	-	1	-	-	1	1	4
[2.33]	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
<b>Gesamt</b>	<b>22</b>	<b>4</b>	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>41</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>118</b>

Die beiden Leitungstypen „Erdkabelleitung im Allgemeinen“ (41 UE) und „380-kV-Freileitung“ (26 UE) wurden am häufigsten thematisiert. Da bei einigen Leitungstypen nur sehr wenige UE aus den Studien extrahiert werden konnten, wurden die UE in Abstimmung mit dem Beirat zu 4 Gruppen zusammengefasst.



**Bild 5.1:** Übersicht über die Anzahl der UEs in den vier Vergleichsgruppen

Allerdings beziehen sich die nachfolgenden Auswertungen in Absprache mit dem Beirat aufgrund der Fallzahlen in der Regel auf einen Vergleich zwischen den drei großen Gruppen „Freileitung Allgemein (inklusive der 4 UE 220 kV)“, „380-kV-Freileitung (inklusive eine UE 750 kV und eine UE HGÜ FL)“ und „Erdkabelleitung“. Eine Unterteilung bei den Erdkabelleitungen in verschiedene Spannungsbereiche war nicht sinnvoll möglich, da nur 6 UE vorhanden waren, in denen speziell 380-kV-Erdkabelleitungen evaluiert wurden.

### 5.1.2 Hinweise zum Aufbau des Berichts zu nicht-technischen Kriterien

Der Bericht ist so aufgebaut, dass bei jedem Kriterium zunächst die entsprechenden Auszüge aus dem Codebuch dargestellt werden, die die definitorische Grundlage für die Erfassung der entsprechenden Merkmale der Kategorie darstellen. Und jeweils unmittelbar danach werden dann in der Regel drei Grafiken präsentiert:

1. Auf der ersten Grafik wird jeweils dargestellt, bei wie viel Prozent der UE das jeweilige Kriterium überhaupt thematisiert wurde.
2. Auf der zweiten Grafik wird dann die Tendenz der Bewertung der Schädlichkeit/Nützlichkeit des Leitungsbaus hinsichtlich des Kriteriums präsentiert. Um zu verdeutlichen, dass bei vielen UEs zwar ein Kriterium als mögliches Bewertungskriterium genannt wurde, dann aber im Rahmen der Studie *keine Bewertung* der UE durchgeführt wurde, wurde hier auch jeweils der Anteil der UE ohne Bewertung mit ausgewiesen.
3. Auf der dritten Grafik werden dann Zahlen zum direkten Vergleich von Freileitung und Erdkabelleitung präsentiert, sofern solche Aussagen in den Studien gemacht wurden.

Verglichen werden jeweils die drei genannten Leitungstypen-Kategorien, wobei immer dann, wenn eine separate Codierung des Kriteriums für Konstruktions- und Betriebsphase vorgenommen wurde, diese direkt nebeneinander gestellt wurden.

Abweichungen von dieser Logik finden sich im Bereich der Aussagen zu den Auswirkungen von nichtionisierender Strahlung (Elektrische Felder/Magnetische Felder). Dort wurde auf Wunsch des Beirates eine separate Darstellung der Befunde für Studien aus Deutschland, Österreich und der Schweiz durchgeführt, da in den drei Ländern zum Teil andere Grenzwerte gelten. Aufgrund der dadurch zum Teil sehr kleinen Anzahl von UE wurde dort nicht mit Prozentwerten gearbeitet sondern mit n-Zahlen.

Ebenfalls auf Wunsch des Beirates wurde bei den Kriterien „Boden“ und „Elektrische/Magnetische Felder (NIS)“ die Befunde zum Erdkabelleitungstyp GIL zusätzlich ausgewertet.

Abschließend werden dann für jedes Kriterium die wesentlichen Befunde, die den zugehörigen Grafiken zu entnehmen sind, verbal zusammengefasst. Eine statistische Prüfung der Ergebnisse erscheint weder angemessen noch notwendig, denn es wurde eine Vollerhebung aller verfügbaren seriösen Studien durchgeführt. Deswegen entfällt die Notwendigkeit zu prüfen, ob eine Verallgemeinerung der Befunde auf die Grundgesamtheit möglich ist. Aus diesem Grund kann aus wissenschaftlicher Perspektive auch keine Mindestanzahl von verfügbaren UE angegeben werden, die für die Interpretation der Befunde notwendig ist. Wenn die Auswertungen

bei einzelnen Kategorien auf sehr kleinen Fallzahlen beruhen, wurde bei der Zusammenfassung der Befunde darauf hingewiesen.

### 5.1.3 Hinweise zur Interpretation der Befunde zu den nicht-technischen Kriterien.

Eine Interpretation der Befunde der Einzelstudien, die darauf abzielt die wissenschaftliche Qualität der Studien und die Validität ihrer wertenden Aussagen über die Freileitungen/Erdkabelleitungen einzuschätzen, ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Ziel ist es intersubjektiv nachvollziehbar zu erfassen, was in den Studien geschrieben wurde und wie in den Studien bewertet wurde, und nicht, die Angemessenheit/Richtigkeit der Aussagen zu beurteilen.

Die Darstellung der Befunde zu den einzelnen Kriterien orientiert sich an der Einfachheit/Komplexität der Befundlage. Mit der Platzierung oder Umfang der Darstellung der Befunde ist keine Gewichtung der Wichtigkeit der Befunde verbunden oder intendiert.

Das angewandte Verfahren der kommunikationswissenschaftlichen Inhaltsanalyse ermöglicht es mit hoher Zuverlässigkeit intersubjektiv nachvollziehbar zu ermitteln was in den verschiedenen Studien geschrieben wurde. Wobei die Aussagen auf solche Faktoren beschränkt bleiben müssen, die im Zuge der Kategorienentwicklung als relevant erkannt und bei der Instrumentenentwicklung berücksichtigt wurden. Das Instrument der Inhaltsanalyse erlaubt es nicht Aussagen darüber zu machen, ob die Bewertungen sachlich richtig vorgenommen wurden. Die Begründung hierfür sei an einer Analogie verdeutlicht: Mit einer Inhaltsanalyse kann man feststellen, wie unterschiedliche politische Akteure die mögliche Einführung von Euro-Bonds bewerten. Ob die Einführung aber eine richtige oder falsche Entscheidung ist, kann mit Hilfe des Instruments aber nicht festgestellt werden.

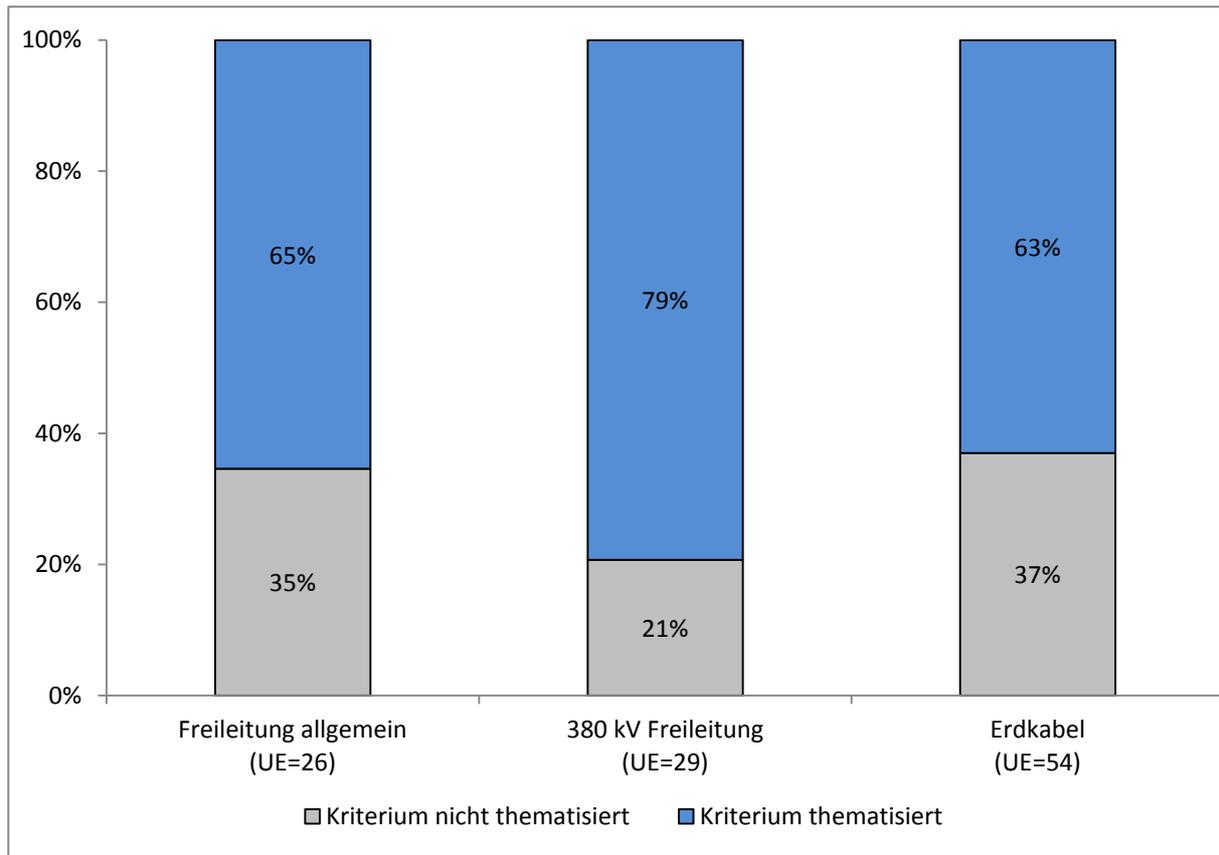
Bei der Interpretation der erzielten Befunde ist zu berücksichtigen, dass es sich um eine Zusammenschau von Einzelstudien handelt, die jeweils unter konkreten Rahmenbedingungen zu bestimmten Ergebnissen kommen. Diese Rahmenbedingungen (z.B. die Entfernung zu bewohnten Häusern, die Durchquerung sensibler Naturräume), können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Es war nicht das Ziel dieser Studie diese unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu würdigen. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Begründungen, warum bestimmte Bewertungen vorgenommen wurden, ebenfalls nicht erfasst wurden. Grundsätzlich wäre dies mit dem Instrument der Inhaltsanalyse möglich. Bei der Entwicklung des Kategorienschemas wurde dieser Aspekt jedoch nicht berücksichtigt.

## 5.2 Auswirkungen auf die Umwelt

### 5.2.1 Kriterium: Landschaftsbild

#### Thematisierung von Auswirkungen [BLAND1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf das Landschaftsbild dargestellt werden. Dazu zählen:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sichtbarkeit der Freileitungen</li> <li>- Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes</li> <li>- Bedeutung und Schutzwürdigkeit des betroffenen Landschaftsbildes</li> </ul>	
<input type="radio"/>	Nicht thematisiert
<input type="radio"/>	Thematisiert

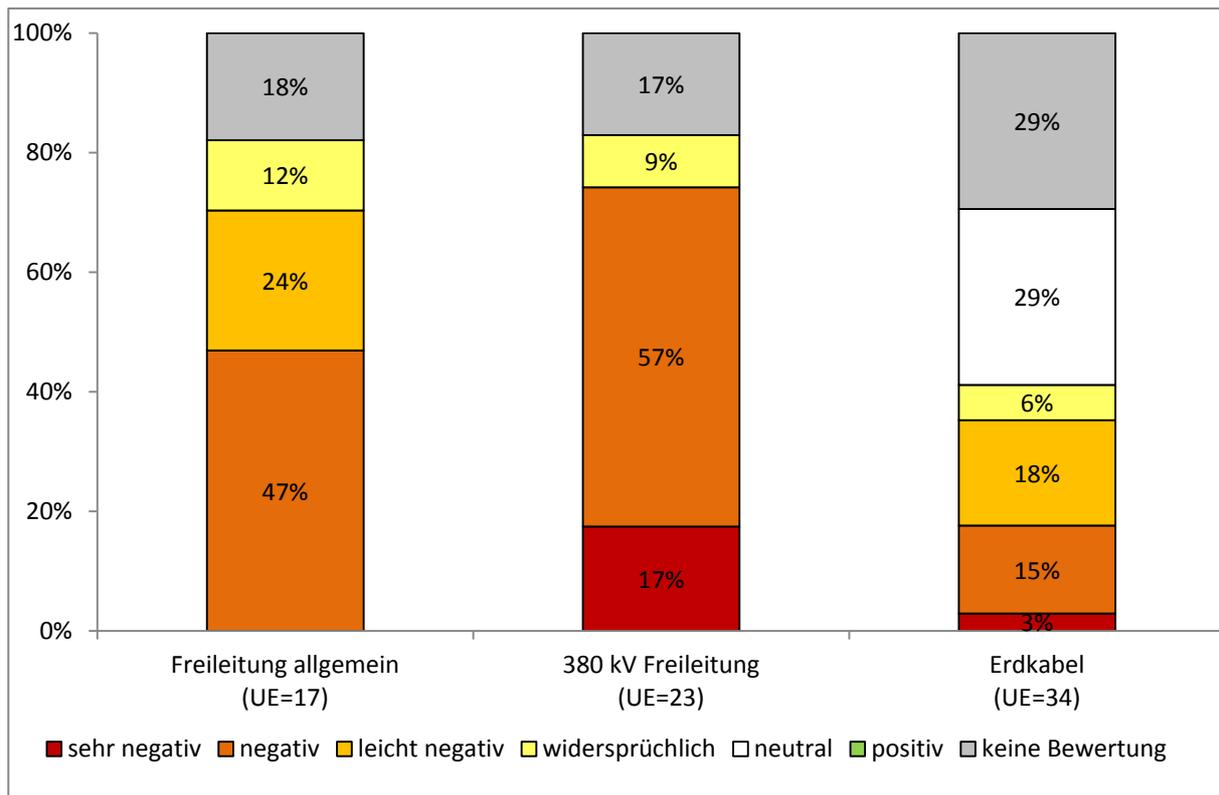


**Bild 5.2:** Thematisierung von Auswirkungen auf das Landschaftsbild.

### Bewertung der Auswirkungen [BLAND2]

Hier werden die Auswirkungen auf das Landschaftsbild in der Betriebsphase bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen (Rückbau von Altmasten) - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leichte negative Bewertung - kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft - kaum eine Verschlechterung des Landschaftsbilds durch Eingriff, weil es ohnehin schon beeinträchtigt ist
<input type="radio"/>	negative Bewertung - mittlere Beeinträchtigung liegt vor - Auswirkungen werden allgemein als negativ/beeinträchtigend eingestuft - Auswirkungen werden mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als sehr schwerwiegend eingestuft

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>sehr starke Beeinträchtigung des Landschaftsbild</i></li> <li>- <i>Sehr starke Beeinträchtigung des Landschaftsbilds liegt insb. dann vor, wenn durch das Vorhaben ein Eingriff in national/international als schützenswert ausgewiesene Landschafts- und Naturschutzgebiete (z.B. durch Verweis auf Bundesnaturschutzgesetz) vorgenommen wird. Dazu gehören:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ <i>Landschaftsschutzzonen/Naturschutzzonen/Naturschutzgebiete</i></li> <li>➔ <i>Biosphärenreservate</i></li> <li>➔ <i>Natur- und Nationalparks</i></li> <li>➔ <i>UNESCO-Welterbe-Gebiete</i></li> </ul> </li> </ul>
--

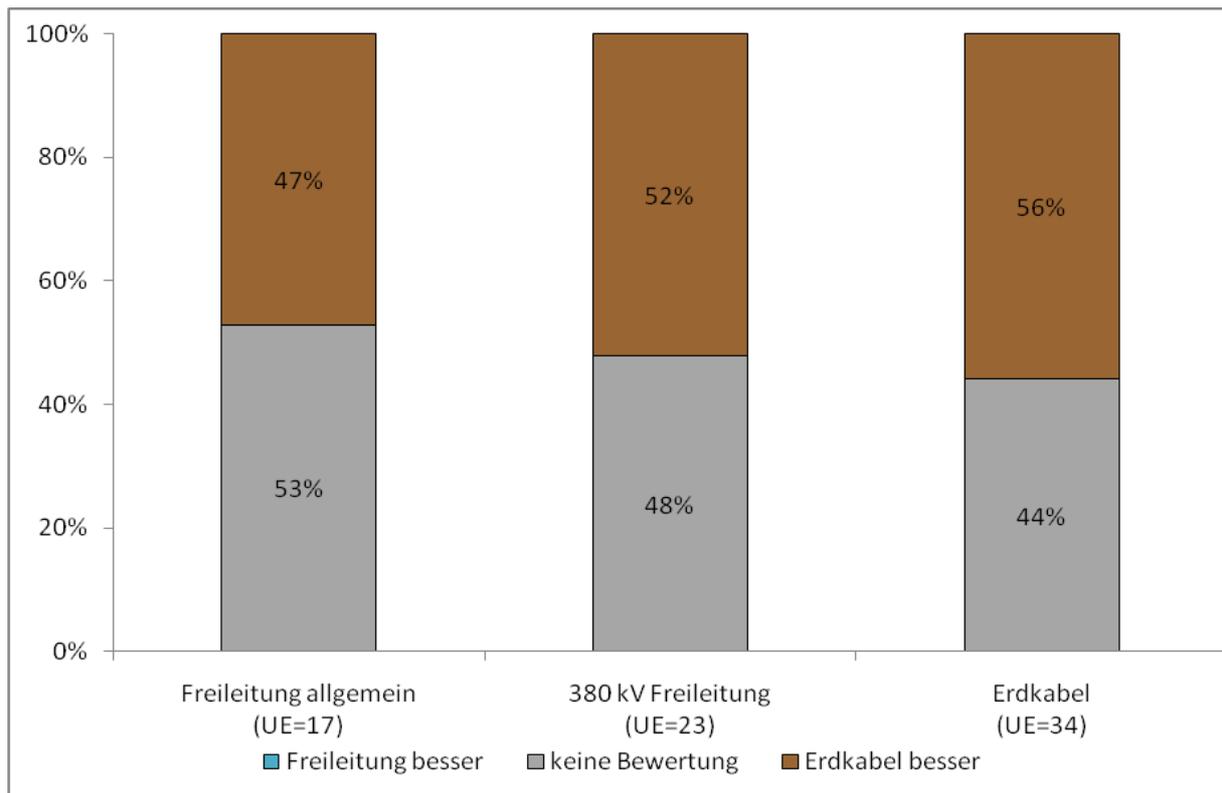


**Bild 5.3:** Bewertung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild<sup>5</sup>

### Bewertung der Auswirkungen im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BLAND3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf das Landschaftsbild</i></li> </ul>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf das Landschaftsbild</i></li> </ul>

<sup>5</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.



**Bild 5.4:** Bewertung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild im Vergleich

### Befunde zum Kriterium Landschaftsbild

Die Auswirkungen des Leitungsbaus auf das Landschaftsbild wurden in allen drei Kategorien in über 60% der Untersuchungseinheiten (UE) thematisiert (Bild 5.4). Am häufigsten (ca. 80%) bei den 380-kV-Freileitungen, am seltensten bei den Erdkabelleitungen (63%).

Wenn das Kriterium Landschaftsbild thematisiert wurde, dann wurden die Auswirkungen sehr häufig auch bewertet: Und zwar in über 80% der UE, in denen die Freileitungstypen untersucht wurden und in fast 70% der Erdkabelleitungs-UE (Bild 5.3). Am negativsten wurden die Auswirkungen der 380-kV-Leitungen bewertet: In 74% der UE wurden negative Bewertungen vorgenommen. Davon 17% sogar sehr negativ, d.h. es wurden Eingriffe in als schützenswerte ausgewiesene Landschafts- und Naturschutzgebiete festgestellt.

Auch bei den „Freileitungen Allgemein“ dominieren die negativen Bewertungen mit 71%, allerdings finden sich hier keine *sehr negativen* Bewertungen und bei 24% handelt es sich zudem nur um *leicht negative* Auswirkungen.

Die Beurteilung der Auswirkungen der Erdkabelleitungen auf das Landschaftsbild ist weniger negativ. Allerdings werden auch hier in rund 35% der UE die Auswirkungen als negativ bewertet.<sup>6</sup> In über 30% der UE finden sich aber auch neutrale oder widersprüchliche Bewertungen.

Im direkten Vergleich von Erdkabelleitung und Freileitung (Bild 5.4) zeigt sich, dass immer dann, wenn solche direkten Vergleiche vorgenommen wurden (in über 50% der UE), die Erdkabelleitung als günstiger für das Landschaftsbild eingeschätzt wurde.

Ein wichtiger Aspekt hinsichtlich einer möglichen Beeinträchtigung des Landschaftsbildes ist die Höhe der Masten bei den Freileitungen. Eine minimale Mastenhöhe wurde nur in insgesamt 8 UE thematisiert, davon 6 im Zusammenhang mit 380-kV-Leitungen. Eine maximale Mastenhöhe wurde in 11 UE benannt, davon 8 im Zusammenhang mit 380-kV-Leitungen. Die Angaben zur minimalen Mastenhöhe beliefen sich auf Werte zwischen 30 und 50 Metern mit einem Durchschnittswert von 40 Metern. Die Werte der maximalen Mastenhöhe variieren zwischen 43 und 100 Metern. Der Durchschnittswert beträgt hier 60 Meter.

### 5.2.2 Kriterium: Flora

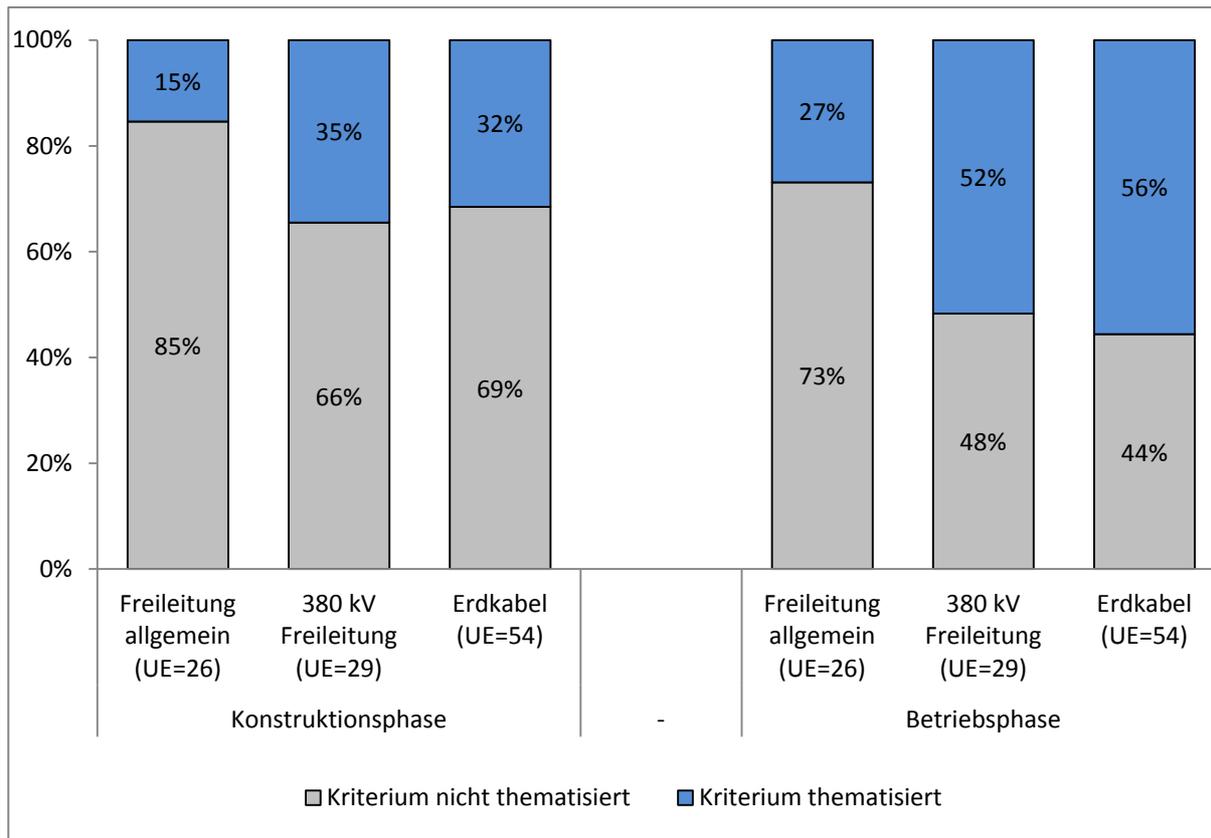
#### Thematisierung von Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KFLORA1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen während der Konstruktion entstehen. Dazu zählen:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waldrodungen/Schneisen im Wald</li> <li>- Unterbrechungen von Biotopen</li> <li>- Selbstverjüngung bestimmter Pflanzen durch Rodungen</li> <li>- Austrocknungen von Pflanzen</li> <li>- verstärktes Pflanzenwachstum</li> <li>- Absterben von Pflanzen bei Kontamination</li> <li>- Verschiebung des Artenspektrums, Änderung der Vegetationsvielfalt (positiv/negativ)</li> <li>- beschränkter Platz für Flora durch Baustraßen</li> </ul>	
<input type="radio"/>	Nicht thematisiert
<input type="radio"/>	Thematisiert

#### Thematisierung von Auswirkungen in der Betriebsphase [BFLORA1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf die Flora während des Betriebs entstehen. Dazu zählen:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waldrodungen im Betrieb (Niederhaltungen, Beschneidungen)</li> <li>- Veränderte Retentionswirkung durch fehlende Bäume</li> <li>- Unterbrechungen von Biotopen</li> <li>- erhöhte Baumknickgefahr, Rindenbrand, Pilz- und Schädlingsgefahr</li> <li>- Selbstverjüngung bestimmter Pflanzen durch Rodungen</li> <li>- Austrocknungen von Pflanzen</li> <li>- verstärktes Pflanzenwachstum</li> <li>- Absterben von Pflanzen bei Kontamination</li> <li>- Verschiebung des Artenspektrums, Änderung der Vegetationsvielfalt</li> </ul>	
<input type="radio"/>	Nicht thematisiert
<input type="radio"/>	Thematisiert

<sup>6</sup> Auf Wunsch des Beirats werden im vorliegenden Bericht einige aus Sicht des Beirats überraschende Einzelbefunde durch ergänzende Erläuterungen in Fußnoten verständlich gemacht. In diesem Fall die *sehr negative* Bewertung hinsichtlich der Auswirkungen eines Erdkabelprojekts auf das Landschaftsbild. Diese Bewertung ist darauf zurückzuführen, dass in dem in Frage stehenden Projekt „Abspanngerüste“ notwendig sind, die als besonders störend und stark beeinträchtigend klassifiziert wurden.



**Bild 5.5:** Thematisierung von Auswirkungen auf die Flora<sup>7</sup>

### Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KFLORA2]

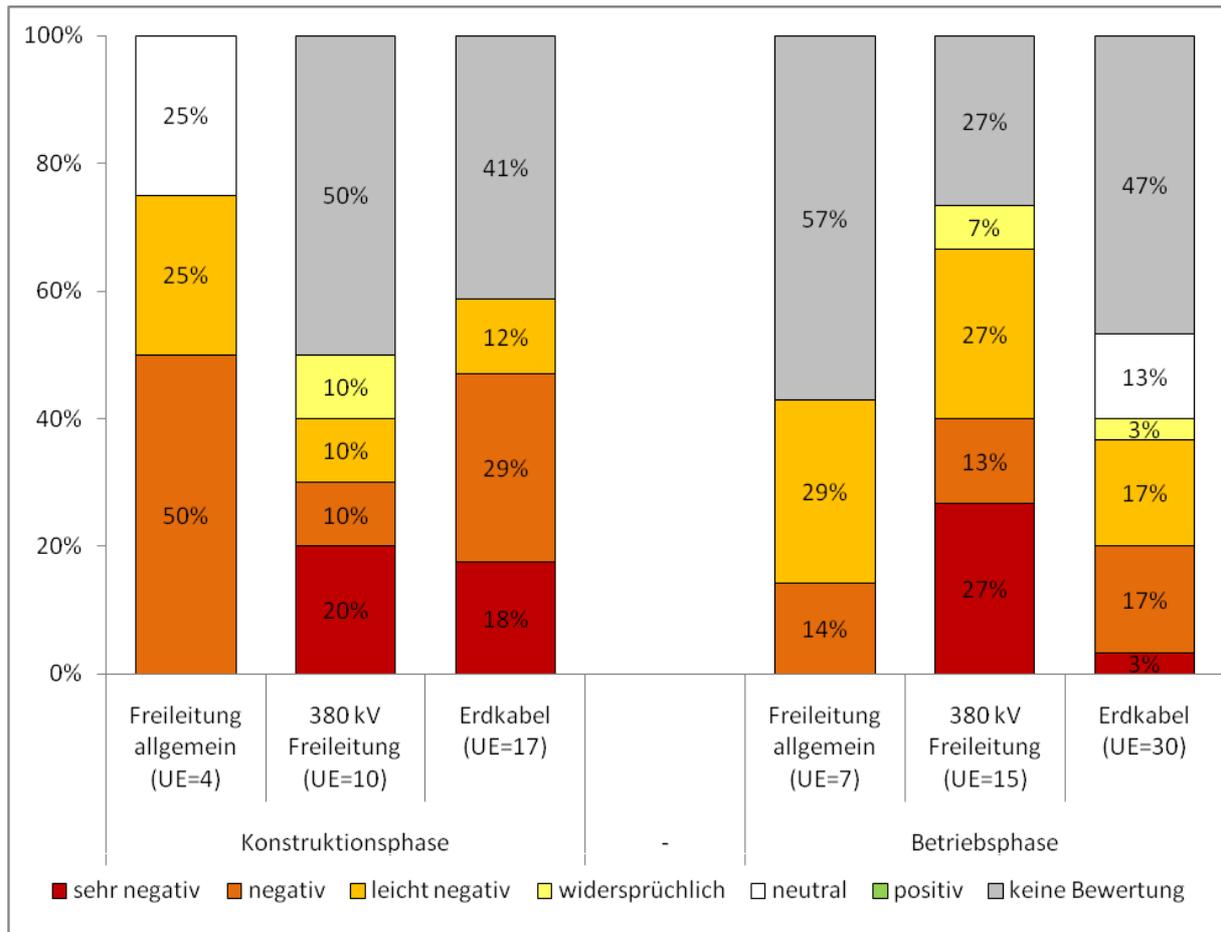
Hier werden die Auswirkungen auf die Flora während der Konstruktion bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leichte negative Bewertung - kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft - kaum eine Verschlechterung der Flora durch Eingriff, da schon beeinträchtigt ist
<input type="radio"/>	negative Bewertung - mittlere Beeinträchtigung der Flora - Auswirkungen auf Pflanzen werden als negativ/beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als sehr schwerwiegend eingestuft - sehr starke Beeinträchtigung der Flora liegt insb. dann vor, wenn durch das Vorha-

<sup>7</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

	<i>ben besonders seltene, schützenswerte Pflanzen bedroht werden z.B. durch Verweis auf unter Schutz stehende Pflanzen; rote Liste</i>
--	--

### **Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase [BFLORA1]**

Hier werden die Auswirkungen auf die Flora in der Betriebsphase bewertet.	
o	positive Bewertung - <i>Auswirkungen werden als positiv angesehen</i> - <i>Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand</i>
o	neutrale Bewertung - <i>Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft</i>
o	keine Bewertung - <i>„keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden</i>
o	widersprüchliche Bewertung - <i>Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden</i>
o	leichte negative Bewertung - <i>kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft</i> - <i>kaum eine Verschlechterung der Flora durch Eingriff, da schon beeinträchtigt ist</i>
o	negative Bewertung - <i>mittlere Beeinträchtigung der Flora</i> - <i>Auswirkungen auf Pflanzen werden als negativ/beeinträchtigend eingestuft</i>
o	sehr stark negative Bewertung - <i>Auswirkungen werden als sehr schwerwiegend eingestuft</i> - <i>sehr starke Beeinträchtigung der Flora liegt insb. dann vor, wenn durch das Vorhaben besonders seltene, schützenswerte Pflanzen bedroht werden z.B. durch Verweis auf unter Schutz stehende Pflanzen; rote Liste</i>



**Bild 5.6:** Bewertung der Auswirkungen auf die Flora<sup>8</sup>

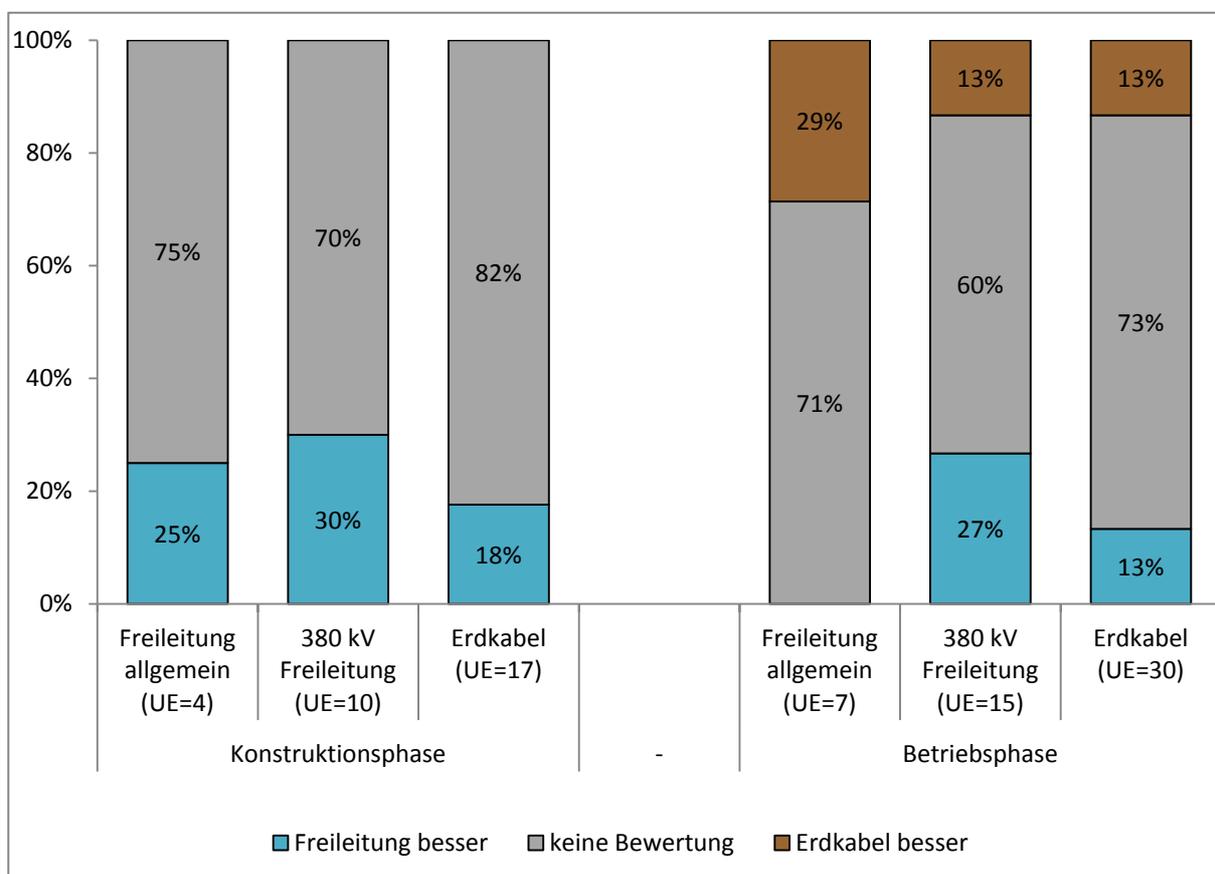
**Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [KFLORA3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf die Flora</i>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf die Flora</i>

<sup>8</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

### Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BFLORA3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
o	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
o	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf die Flora im Allgemeinen</i>
o	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf die Flora im Allgemeinen</i>



**Bild 5.7:** Bewertung der Auswirkungen auf die Flora im Vergleich<sup>9</sup>

### Befunde zum Kriterium Flora

Die Auswirkungen des Leitungsbaus auf die Flora wurden häufiger in der Betriebsphase als in der Konstruktionsphase thematisiert und im Zusammenhang mit den „Freileitungen Allgemein“ seltener als im Zusammenhang mit den anderen beiden Leitungstypen, die sich hinsichtlich

<sup>9</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

der Thematisierungshäufigkeit kaum unterscheiden: Mit Blick auf die Konstruktionsphase ist die Flora bei 380 kV und Erdkabelleitung in rund ein Drittel der UE thematisiert worden, mit Bezug auf die Betriebsphase hingegen bei über 50%.

Nicht immer wenn das Kriterium Flora thematisiert wurde, wurden die Auswirkungen auch bewertet: Die prozentualen Unterschiede hinsichtlich der Bewertungsintensität sollten allerdings wegen der zum Teil sehr geringen Fallzahlen *nicht überinterpretiert* werden. Insgesamt ist festzustellen, dass alle drei Varianten sowohl in der Konstruktionsphase als auch in der Betriebsphase überwiegend mit negativen Auswirkungen auf die Flora in Verbindung gebracht werden, wobei die „Freileitungen Allgemein“ insgesamt etwas weniger kritisch beurteilt werden. Vergleicht man die Einschätzung von 380 kV und Erdkabelleitung werden in der Konstruktionsphase die Auswirkungen der Erdkabelleitung negativer bewertet in der Betriebsphase wird hingegen die 380-kV-Freileitung häufiger mit negativeren Konsequenzen für die Flora in Verbindung gebracht.

Hinsichtlich des direkten Vergleichs von Erdkabelleitung und Freileitung (Bild 5.7) zeigt sich, dass bei dieser Kategorie nur selten direkt verglichen wurde. Wenn dies geschah, dann fiel der Vergleich in der Konstruktionsphase immer zugunsten der Freileitung aus. In der Betriebsphase fielen die direkten Vergleiche teilweise zugunsten der Erdkabelleitung teilweise zugunsten der Freileitungen aus. Eine klare Präferenz ist nicht zu erkennen.

### 5.2.3 Kriterium: Fauna

#### Thematisierung von Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KFAUNA1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf die Fauna während der Konstruktion entstehen. Auswirkungen auf die Fauna durch Lärm werden hier nur bei einem expliziten Hinweis darauf, dass es sich um Auswirkungen auf die Fauna handelt, codiert. (Auswirkungen auf den Menschen unter Kriterium Lärm codiert)

Zu Auswirkungen auf die Fauna zählen:

- Allgemeine Auswirkungen:
  - Verlust/Entwertung des Nahrungshabitat/areals
  - Ausbleiben der Nahrungsgäste
  - Verschiebung Artenspektrum, Vielfaltseinschränkungen
  - Wanderungsbarriere
  - Schädigung, Tod
- Auswirkungen auf Vögel spezifisch:
  - Aufgabe von Nist-, Rast- und Brutplätzen (durch Lärm, Erschütterung, optische Reize)

o	Nicht thematisiert
---	--------------------

o	Thematisiert
---	--------------

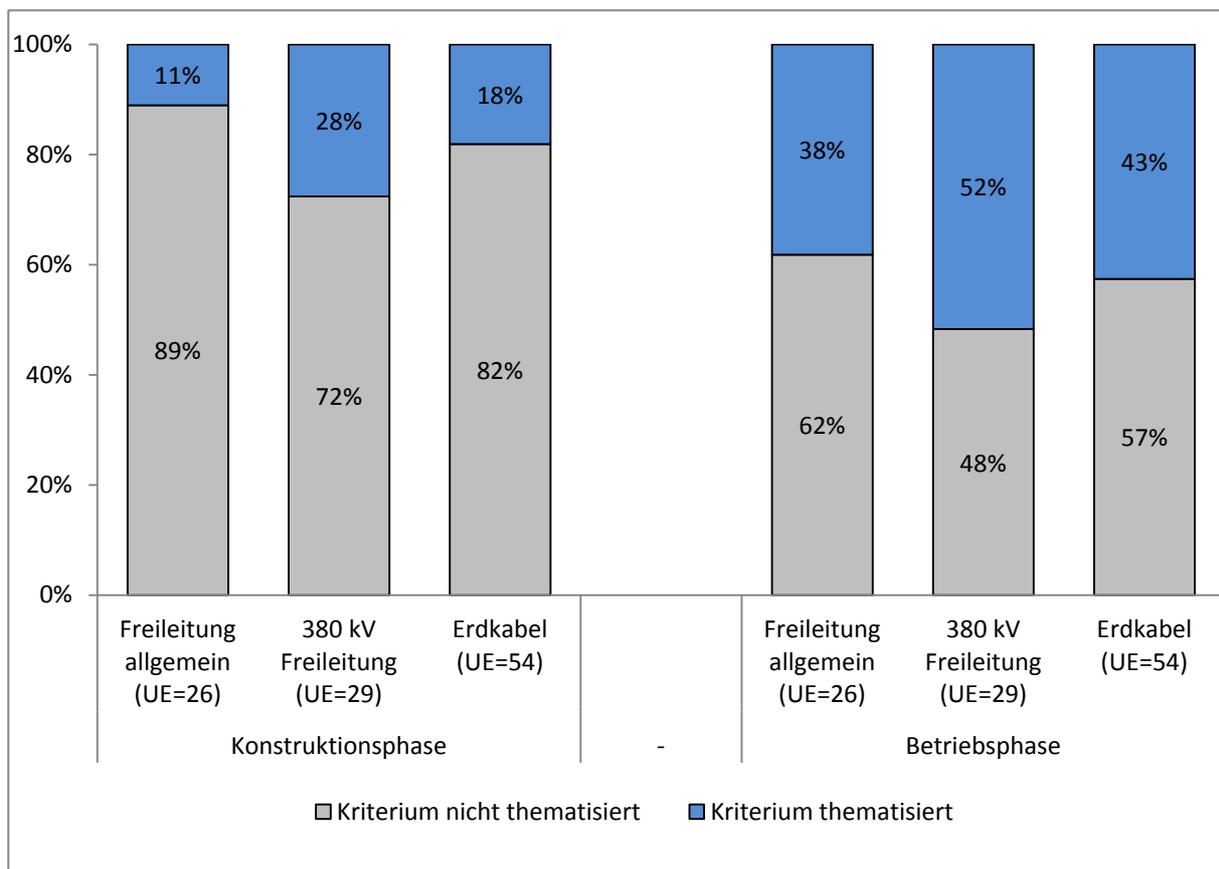
#### Thematisierung von Auswirkungen in der Betriebsphase [BFAUNA1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf die Fauna während des Betriebs entstehen. Auswirkungen durch Lärm, elektrische und magnetische Felder werden hier nur bei einem expliziten Hinweis auf Auswirkungen auf die Fauna codiert.

Zu den Auswirkungen in der Betriebsphase zählen:

- Allgemeine Auswirkungen:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlust/Entwertung des Nahrungshabitat/areals</li> <li>• Ausbleiben der Nahrungsgäste</li> <li>• Verschiebung Artenspektrum, Vielfaltseinschränkungen vs. Vielfaltzunahme (z.B. Kleinsäuger)</li> <li>• Trennwirkung durch Schneisen</li> <li>• Rückzugsgebiet (für Rotwild)</li> <li>• Schädigung, Tod</li> </ul> <p>- Auswirkungen auf Vögel spezifisch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromschlag, Kollision, Beuteopfer</li> <li>• Aufgabe von Nist-, Rast- und Brutplätzen durch (Scheuch- und Silhouettenwirkung) vs. Nutzung als Nist-, Rast, Brutplatz, Singwarte, Jagdsitz</li> <li>• Größerer Energieverbrauch beim Überfliegen, Erschöpfungserscheinungen</li> </ul>
<input type="radio"/> Nicht thematisiert
<input type="radio"/> Thematisiert



**Bild 5.8:** Thematisierung von Auswirkungen auf die Fauna

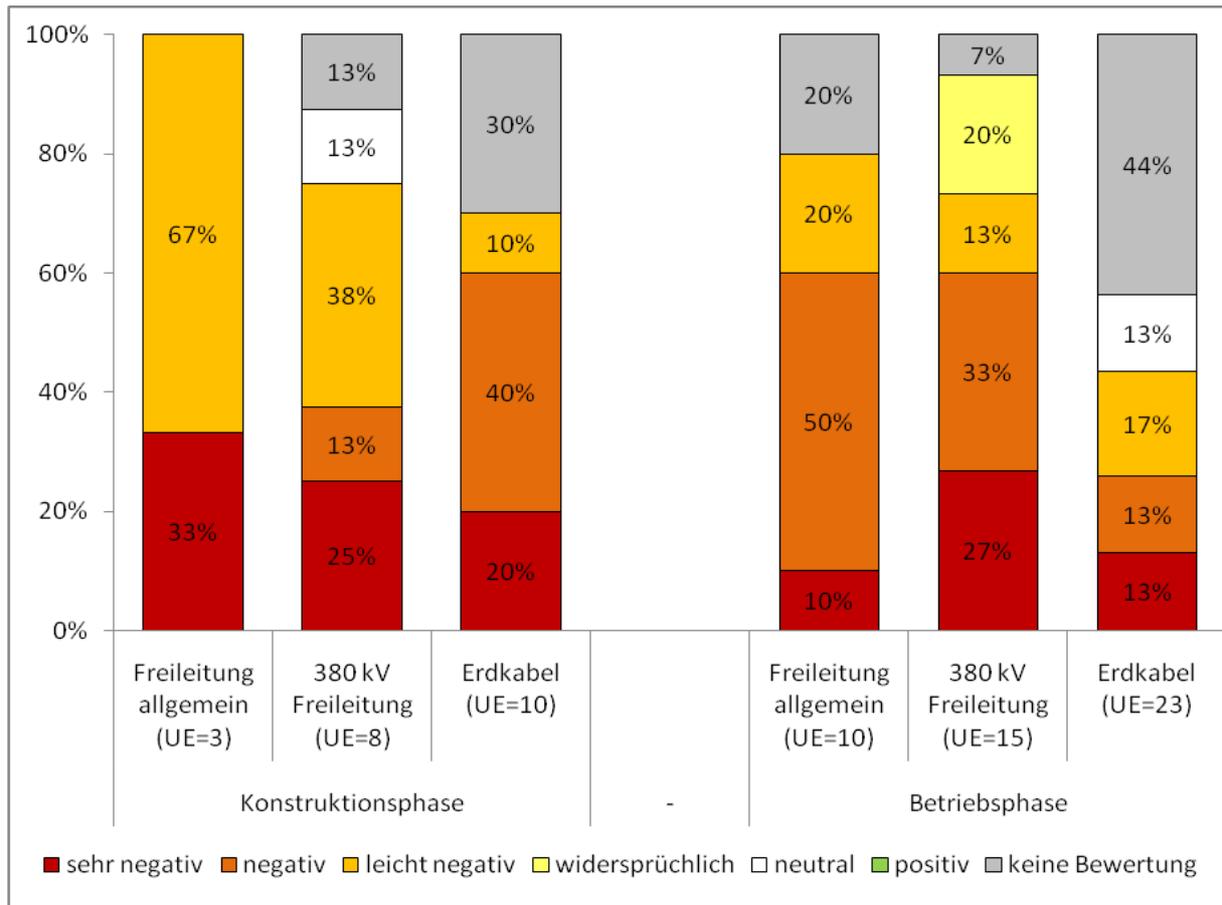
**Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KFAUNA2]**

Hier werden die Auswirkungen auf die Fauna während der Konstruktion bewertet.	
<input type="radio"/> positive Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswirkungen werden als positiv angesehen</li> <li>- Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand</li> </ul>
<input type="radio"/> neutrale Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft</li> </ul>

<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leichte negative Bewertung - kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft - kaum eine Verschlechterung der Fauna durch Eingriff, da schon beeinträchtigt ist
<input type="radio"/>	negative Bewertung - mittlere Beeinträchtigung der Tierwelt - Auswirkungen auf Tierwelt werden als negativ/beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als sehr schwerwiegend eingestuft - sehr starke Beeinträchtigung der Fauna liegt insb. dann vor, wenn durch das Vorhaben besonders seltene, besonders schützenswerte Tiere bedroht werden z.B. durch Verweis auf unter Artenschutz stehende Tiere; Wildtier; rote Liste

### Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase [BFAUNA2]

Hier werden die Auswirkungen auf die Fauna im Betrieb bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leichte negative Bewertung - kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft - kaum eine Verschlechterung der Fauna durch Eingriff, da schon beeinträchtigt ist
<input type="radio"/>	negative Bewertung - mittlere Beeinträchtigung der Tierwelt - Auswirkungen auf Tierwelt werden als negativ/beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als sehr schwerwiegend eingestuft - sehr starke Beeinträchtigung der Fauna liegt insb. dann vor, wenn durch das Vorhaben besonders seltene, besonders schützenswerte Tiere bedroht werden z.B. durch Verweis auf unter Artenschutz stehende Tiere; Wildtier; rote Liste



**Bild 5.9:** Bewertung der Auswirkungen auf die Fauna<sup>10</sup>

**Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [KFAUNA3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.

- kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
- Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet
  - Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf die Fauna im Allgemeinen
- Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet
  - Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf die Fauna im Allgemeinen

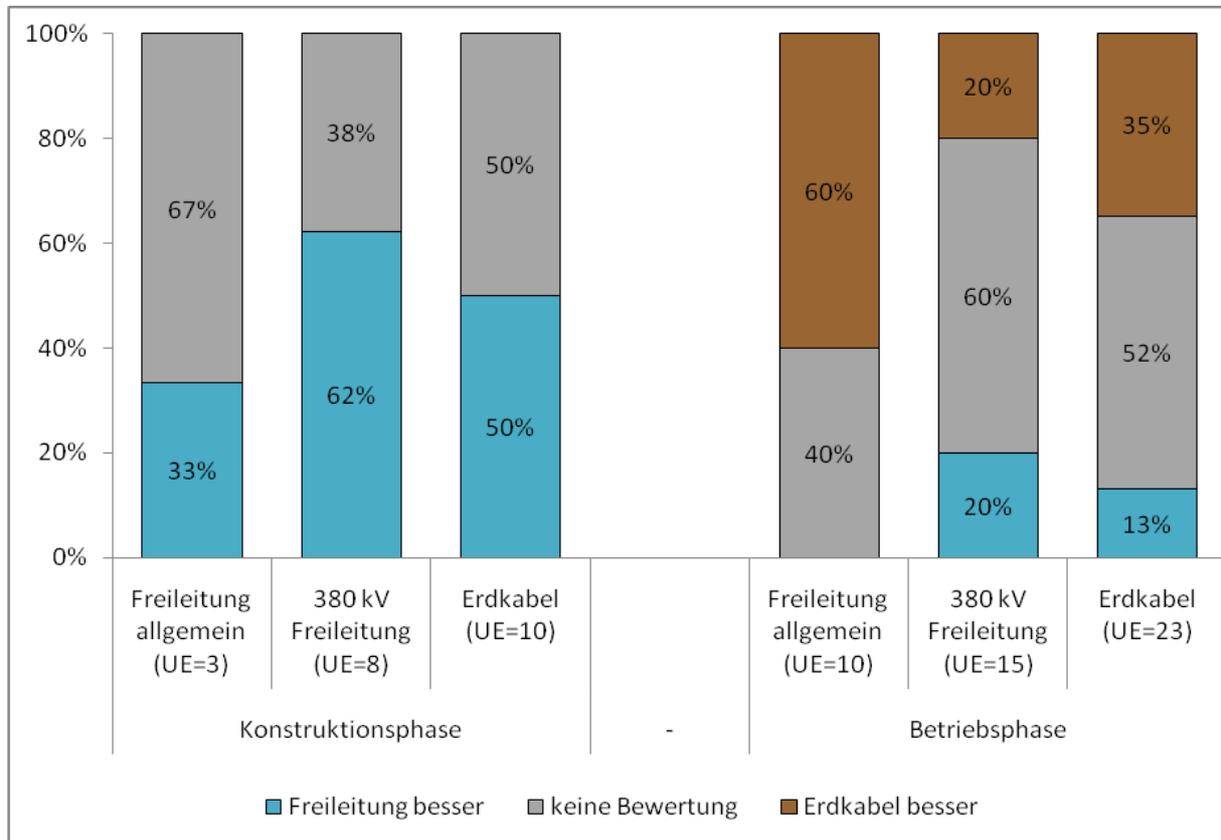
**Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BFAUNA3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.

- kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung

<sup>10</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

o	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf die Fauna im Allgemeinen
o	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf die Fauna im Allgemeinen



**Bild 5.10:** Bewertung der Auswirkungen auf die Fauna im Vergleich

### Befunde zum Kriterium Fauna

Die Auswirkungen des Leitungsbaus auf die Fauna wurden häufiger in der Betriebsphase (38%-52%) als in der Konstruktionsphase (11%-28%) thematisiert und generell im Zusammenhang mit den „Freileitungen Allgemein“ etwas seltener als im Zusammenhang mit der Erdkabelleitung. Am häufigsten wurden die Auswirkungen auf die Fauna sowohl in der Konstruktions- als auch in der Betriebsphase im Zusammenhang mit der 380-kV-Leitungen erwähnt.

Wenn das Kriterium Fauna allerdings thematisiert wurde, dann wurden zumeist auch die Auswirkungen bewertet – vor allem bei den beiden Freileitungstypen: Insgesamt ist festzustellen, dass alle drei Leitungsvarianten sowohl in der Konstruktionsphase als auch in der Betriebsphase fast immer mit negativen Auswirkungen auf die Fauna in Verbindung gebracht werden. Die geringfügigen prozentualen Unterschiede zwischen den drei Leitungstypen in der Bewertungsintensität bezüglich der Konstruktionsphase sollten allerdings – wegen der zum Teil sehr geringen Fallzahlen – *nicht überinterpretiert* werden.

In der Betriebsphase werden die Auswirkungen auf die Fauna vor allem dann bewertet, wenn es um die Freileitungen geht. Hinsichtlich der Erdkabelleitung wird seltener bewertet und wenn dann deutlich weniger negativ, vor allem im Vergleich zur 380-kV-Freileitung.

Hinsichtlich des direkten Vergleichs von Erdkabelleitung und Freileitung (Bild 5.10) zeigt sich, dass er in der Konstruktionsphase immer zugunsten der Freileitung ausfiel. Mit Blick auf die Betriebsphase fielen die direkten Vergleiche hingegen überwiegend zugunsten der Erdkabelleitung aus. In einigen Fällen fielen sie allerdings auch zugunsten der Freileitungen aus, und zwar vor allem dann, wenn die 380-kV-Freileitungen die Referenzgröße waren.

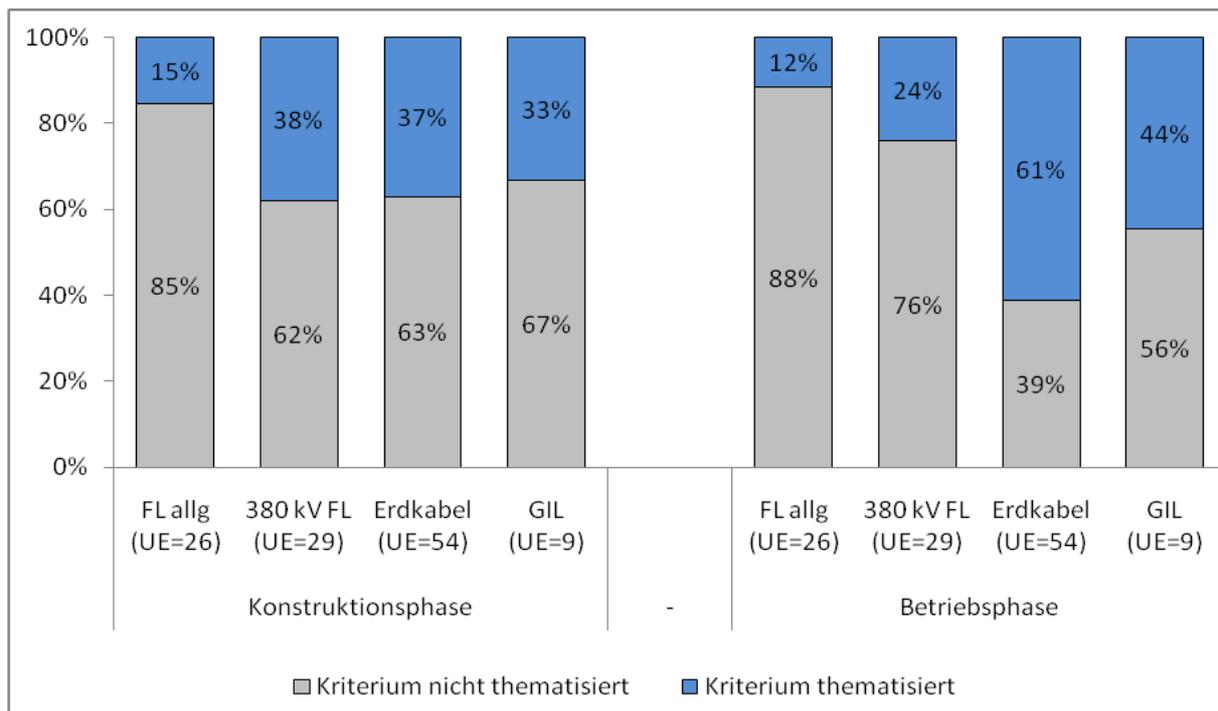
#### 5.2.4 Kriterium: Böden

##### Thematisierung von Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KBOEDEN1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf Böden während der Konstruktion entstehen. Dazu zählen:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenumlagerung und -verlagerung</li> <li>- Änderung/Verlust des Bodenprofils</li> <li>- Bodenschadstoffverdichtungen und -kontamination (z.B. durch Lagerung) vs. Bodenschadstoffabnahme</li> <li>- Verlust der Bodenarchivfunktion</li> <li>- Bodenverdichtung (durch Baustraßen)</li> <li>- Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit bzw. die Bodennutzung</li> </ul>	
<input type="radio"/>	Nicht thematisiert
<input type="radio"/>	Thematisiert

##### Thematisierung von Auswirkungen in der Betriebsphase [BBODEN1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf während des Betriebs entstehen. Dazu zählen:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenerwärmung und -austrocknung</li> <li>- Entkalkung und Nährstoffauswaschung</li> <li>- Bodenschadstoffverdichtungen und -kontamination vs. Bodenschadstoffabnahme (nur für den Normalzustand, <u>nicht</u> den Störfall, siehe Kriterium <i>Störung</i>)</li> <li>- Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit bzw. die Bodennutzung</li> <li>- Auswirkungen, die ihren Ursprung in der Konstruktionsphase haben (z.B. Bodenverdichtung) werden unter Auswirkungen auf Böden während der Konstruktion codiert.</li> </ul>	
<input type="radio"/>	Nicht thematisiert
<input type="radio"/>	Thematisiert



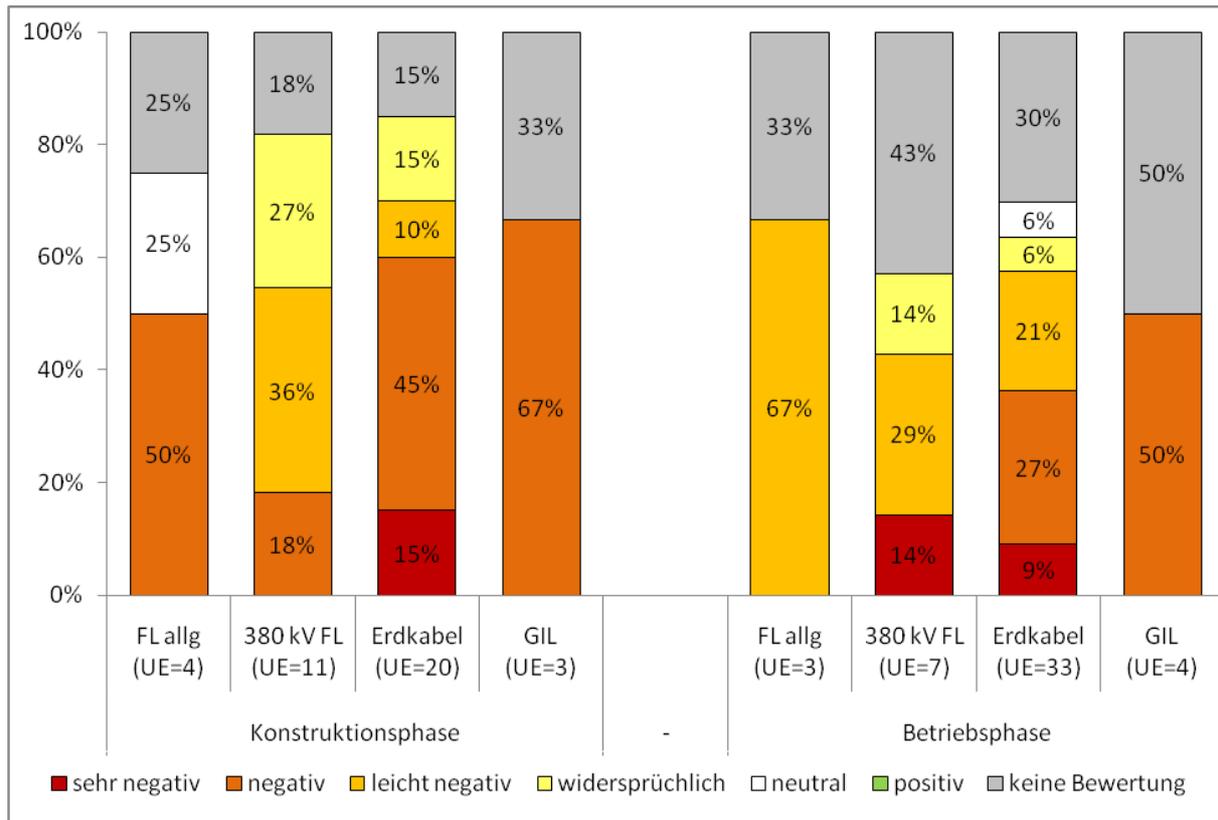
**Bild 5.11:** Thematisierung von Auswirkungen auf die Böden

#### Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KBOEDEN2]

Hier werden die Auswirkungen auf Böden während der Konstruktion bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leichte negative Bewertung - kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft - kaum eine Verschlechterung durch Eingriff, da schon beeinträchtigt ist
<input type="radio"/>	negative Bewertung - mittlere Beeinträchtigung - Auswirkungen werden als negativ/beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als sehr schwerwiegend eingestuft - sehr starke Beeinträchtigung bei als schützenswert ausgewiesenen Böden (u.a. Geotope, Moorböden)

### Bewertung der Auswirkung in der Betriebsphase [BBODEN2]

Hier werden die Auswirkungen auf Böden während des Betriebs bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - <i>Auswirkungen werden als positiv angesehen</i> - <i>Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand</i>
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - <i>Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft</i>
<input type="radio"/>	keine Bewertung - <i>„keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden</i>
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - <i>Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden</i>
<input type="radio"/>	leichte negative Bewertung - <i>kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft</i> - <i>kaum eine Verschlechterung durch Eingriff, da schon beeinträchtigt ist</i>
<input type="radio"/>	negative Bewertung - <i>mittlere Beeinträchtigung</i> - <i>Auswirkungen werden als negativ/beeinträchtigend eingestuft</i>
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - <i>Auswirkungen werden als sehr schwerwiegend eingestuft</i> - <i>sehr starke Beeinträchtigung bei als schützenswert ausgewiesenen Böden (u.a. Geotope, Moorböden)</i>



**Bild 5.12:** Bewertung der Auswirkungen auf die Böden<sup>11</sup>

**Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [KBOEDEN3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf Böden im Allgemeinen</i>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf Böden im Allgemeinen</i>

**Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BBODEN3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde..	
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf Böden im Allgemeinen</i>

<sup>11</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

o Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet  
- Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf Böden im Allgemeinen

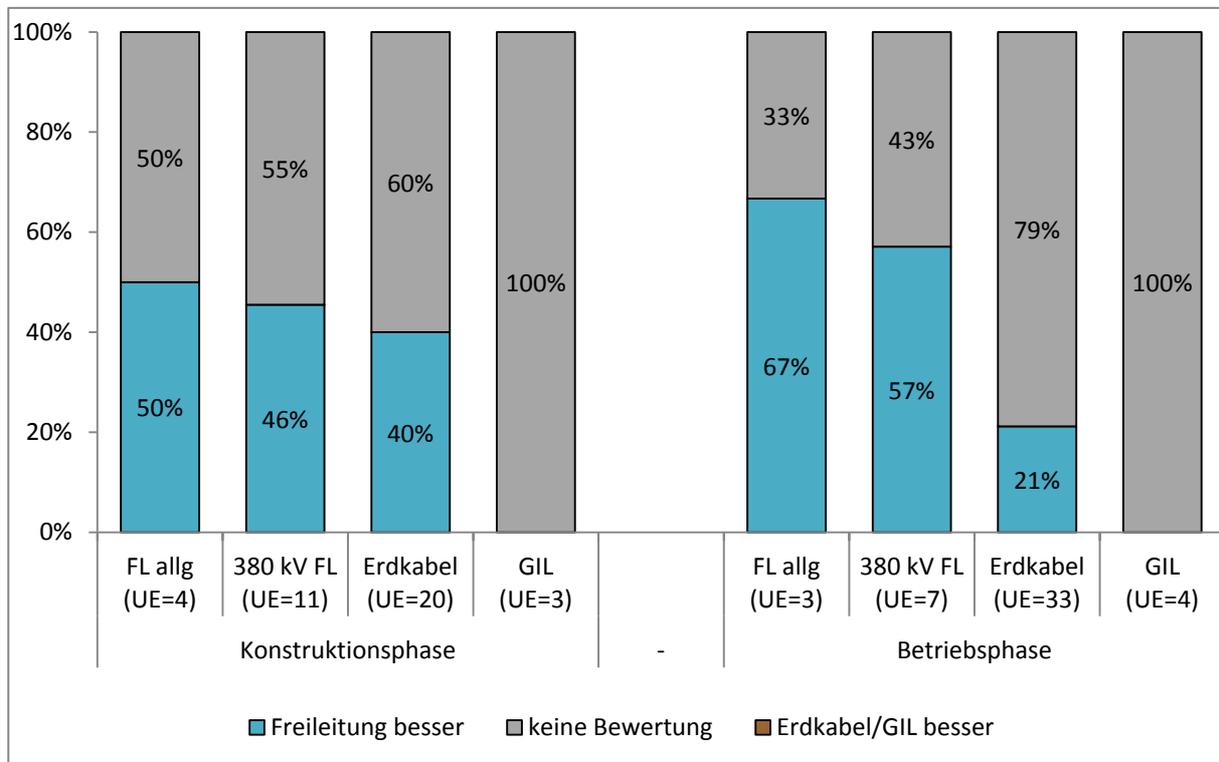


Bild 5.13: Bewertung der Auswirkungen auf die Böden im Vergleich<sup>12</sup>

### Befunde zum Kriterium Böden

Ob die Auswirkungen des Leitungsbaus auf Böden thematisiert wurden hängt von der Art der Leitung ab und ob der Fokus auf der Konstruktions- oder der Betriebsphase liegt. Während der Konstruktionsphase wurden die Auswirkungen auf Böden in gut einem Drittel der UE thematisiert, mit Ausnahme der Kategorie „Freileitungen Allgemein“, dort lag der Anteil nur bei 15%. Während der Betriebsphase findet man deutliche Unterschiede zwischen Freileitungen und Erdkabelleitungen. Bei den Freileitungen war die Thematisierung deutlich geringer als bei den Erdkabelleitungen. Wobei im Zusammenhang mit den GIL-Leitungen das Thema Böden etwas weniger erörtert wurde als bei den Erdkabelleitungen generell.

Da das Thema Böden bei den Freileitungen nur selten thematisiert wurde, beruhen die Ergebnisse zu den Bewertungen (vor allem während der Betriebsphase) auf sehr kleinen Fallzahlen und sollten entsprechend vorsichtig interpretiert werden. Auf höheren Fallzahlen beruht nur die eindeutig negativ Bewertung der Erdkabelleitungen während des Betriebs.

Noch deutlicher fällt die negative Bewertung der Auswirkungen der Erdkabelleitung auf die Böden während der Konstruktionsphase aus, gerade auch im Vergleich zur konkurrierenden 380-kV-Freileitung. Beim direkten Vergleich zwischen Freileitung und Erdkabelleitung ist der

<sup>12</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

Befund eindeutig: Wenn ein direkter Vergleich vorgenommen wurde – was allerdings nur selten geschah – dann fiel das Ergebnis beim Kriterium *Böden* immer zu Gunsten der Freileitung aus.

### 5.2.5 Kriterium: Flächen

#### Thematisierung von Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KFLAECHE1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf Flächen während der Konstruktion entstehen.

Dazu zählen:

- Flächenverbrauch
- Flächenversiegelung

Nicht thematisiert

Thematisiert

#### Thematisierung von Auswirkungen in der Betriebsphase [BGFLAECHE1]

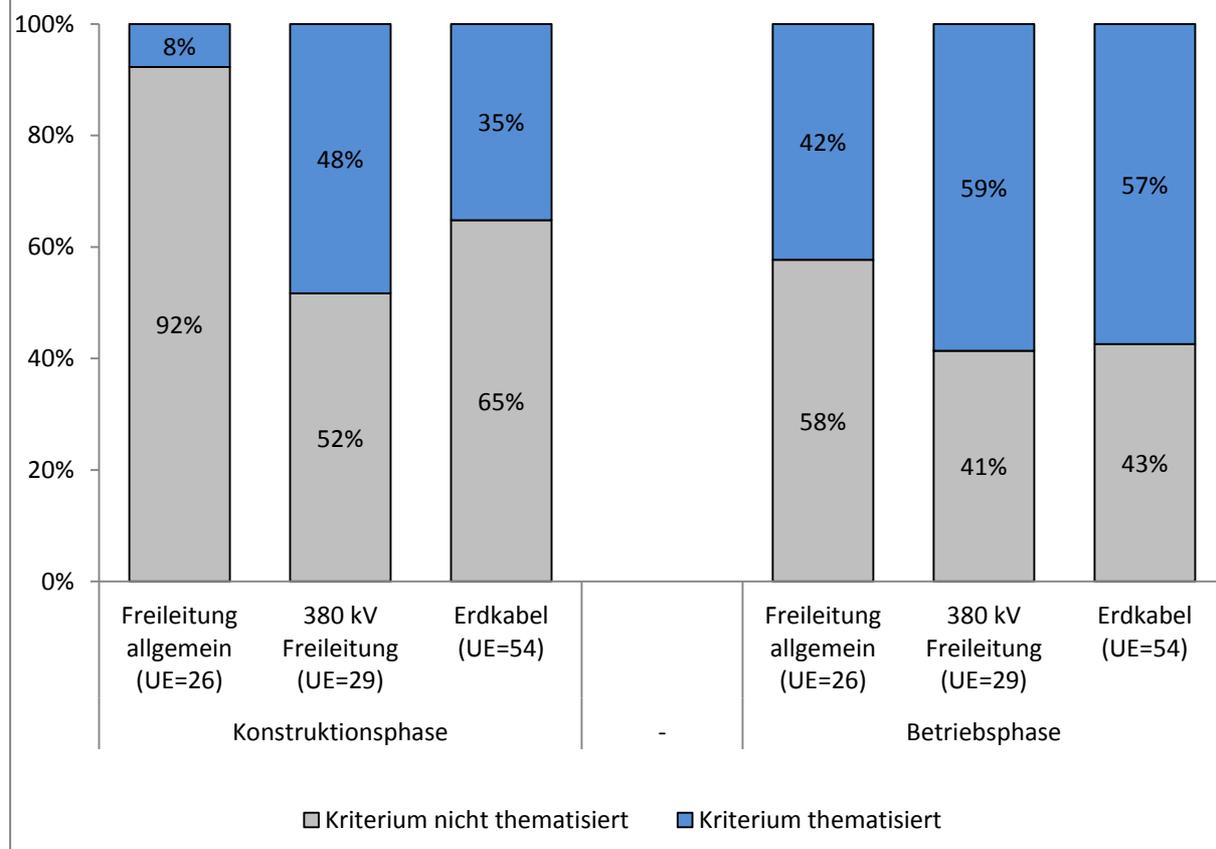
Es wird codiert, ob Auswirkungen auf Flächen während des Betriebs entstehen.

Dazu zählen:

- Flächenverbrauch/Trassenbreite
- Breite des Schutzstreifen

Nicht thematisiert

Thematisiert



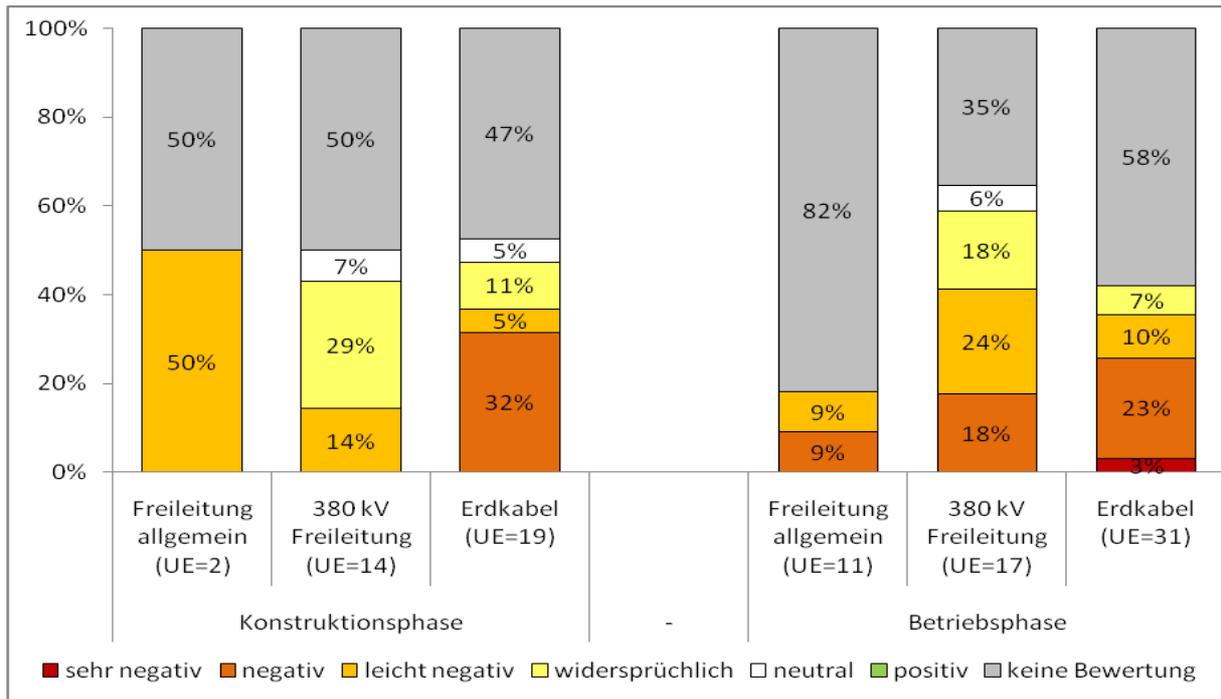
**Bild 5.14:** Thematisierung von Auswirkungen auf die Flächen

### Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KFLAECHE2]

Hier werden die Auswirkungen auf Flächen während der Konstruktion bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - Auswirkungen werden als leicht beeinträchtigend angesehen
<input type="radio"/>	negative Bewertung - Auswirkungen werden allgemein als negativ/beeinträchtigend ohne weitere Spezifikation angegeben - Auswirkungen werden mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als schwerwiegend/bedeutend angesehen

### Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase [BGFLAECHE2]

Hier werden die Auswirkungen auf Flächen während des Betriebs bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leichte negative Bewertung - kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft - kaum eine Verschlechterung durch Eingriff, da schon beeinträchtigt ist
<input type="radio"/>	negative Bewertung - mittlere Beeinträchtigung - Auswirkungen werden als negativ/beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen sehr schwerwiegend; sehr starke Beeinträchtigung



**Bild 5.15:** Bewertung der Auswirkungen auf die Flächen<sup>13</sup>

**Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [KFLAECHE3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.

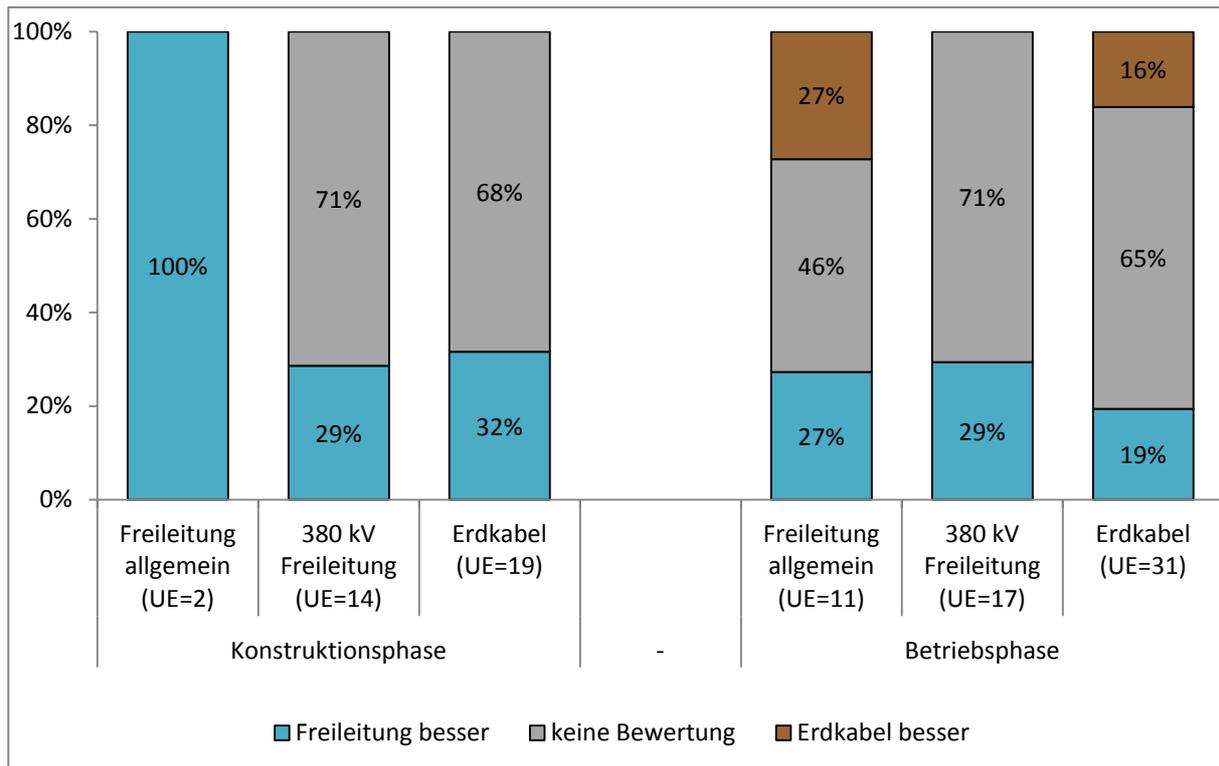
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf Flächen</i>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf Flächen</i>

**Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BGFLAECHE3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.

<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf Flächen</i>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf Flächen</i>

<sup>13</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.



**Bild 5.16:** Bewertung der Auswirkungen auf die Flächen im Vergleich

### Befunde zum Kriterium Flächen

Der Flächenverbrauch wird sowohl im Zusammenhang mit dem Bau als auch in Verbindung mit dem Betrieb der Leitungen thematisiert, wobei der Flächenverbrauch während des Betriebs insgesamt höhere Beachtung findet. In beiden Phasen findet der Aspekt des Flächenverbrauchs bei den „Freileitungen Allgemein“ weniger Beachtung. Bezüglich des Flächenverbrauchs während des Betriebs wird die Problematik sowohl im Zusammenhang mit der 380-kV-Freileitung als auch im Zusammenhang mit der Erdkabelleitung in nahezu 60 % der UE berücksichtigt. In der Konstruktionsphase spielt der Flächenverbrauch häufiger beim Bau der 380-kV-Freileitungen eine Rolle.

Nur bei jeder zweiten UE, bei der das Thema Fläche erwähnt wurde, wurden auch Bewertungen vorgenommen. Insgesamt findet man in diesem Kriterium recht häufig nur Einschätzungen mit leicht negativer oder ambivalenter Tendenz. Insgesamt betrachtet fällt die Bewertung der Erdkabelleitung vor allem in der Konstruktions- aber tendenziell auch in der Betriebsphase deutlich negativer aus als die Einschätzung der Freileitungen. In der Betriebsphase finden sich die sehr negativen und negativen Bewertungen vor allem bei Erdkabelleitungen. Bei der 380-kV-Freileitung sind vor allem ambivalente und leicht negative Bewertungen zu verzeichnen.

Beim direkten Vergleich zwischen Freileitung und Erdkabelleitung ist der Befund in der Konstruktionsphase eindeutig: Die Freileitungen schneiden hier eindeutig besser ab. Wenn ein direkter Vergleich in der Betriebsphase vorgenommen wurde, dann ist das Bild durchwachsen. Insgesamt überwiegen bei den UE, bei denen der Landverbrauch direkt verglichen wurde, die

Präferenzen für die Freileitung, allerdings wurden in einigen Fällen auch Vorzüge der Erdkabelleitungen mit Blick auf den Flächenverbrauch festgestellt.

### 5.2.6 Kriterium: Gewässer

#### Thematisierung von Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KGEWAESSER1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf Gewässer während der Konstruktion entstehen.

Dazu zählen:

- Störung des natürlicher Verlaufs von Fließgewässern
- Aufgabe ungestörter Zustand der Gewässer
- Kontamination
- Entwässerung

Nicht thematisiert

Thematisiert

#### Thematisierung von Auswirkungen in der Betriebsphase [BGEWAESSER1]

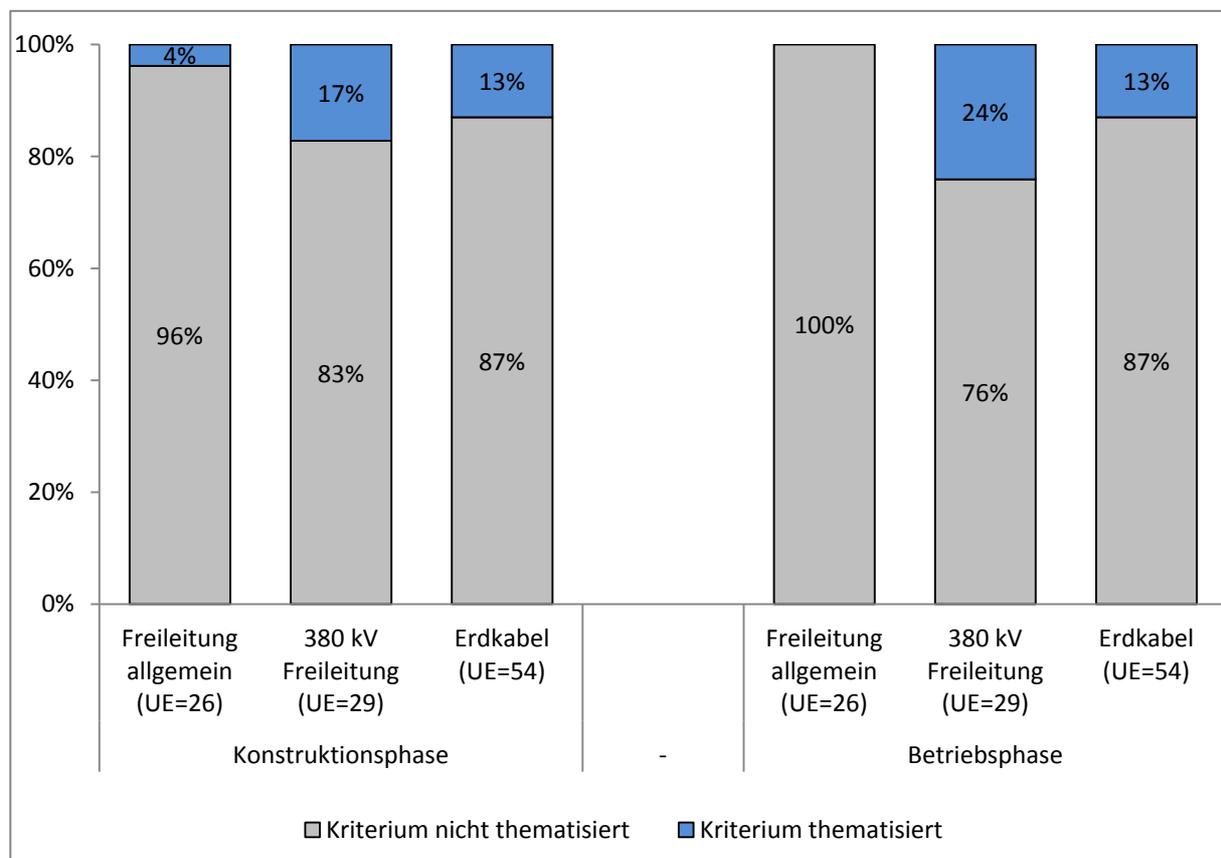
Es wird codiert, ob Auswirkungen auf Gewässer während des Betriebs entstehen.

Dazu zählen:

- Kontamination (nur für den Normalzustand, nicht den Störfall → siehe Kriterium *Störung*)

Nicht thematisiert

Thematisiert



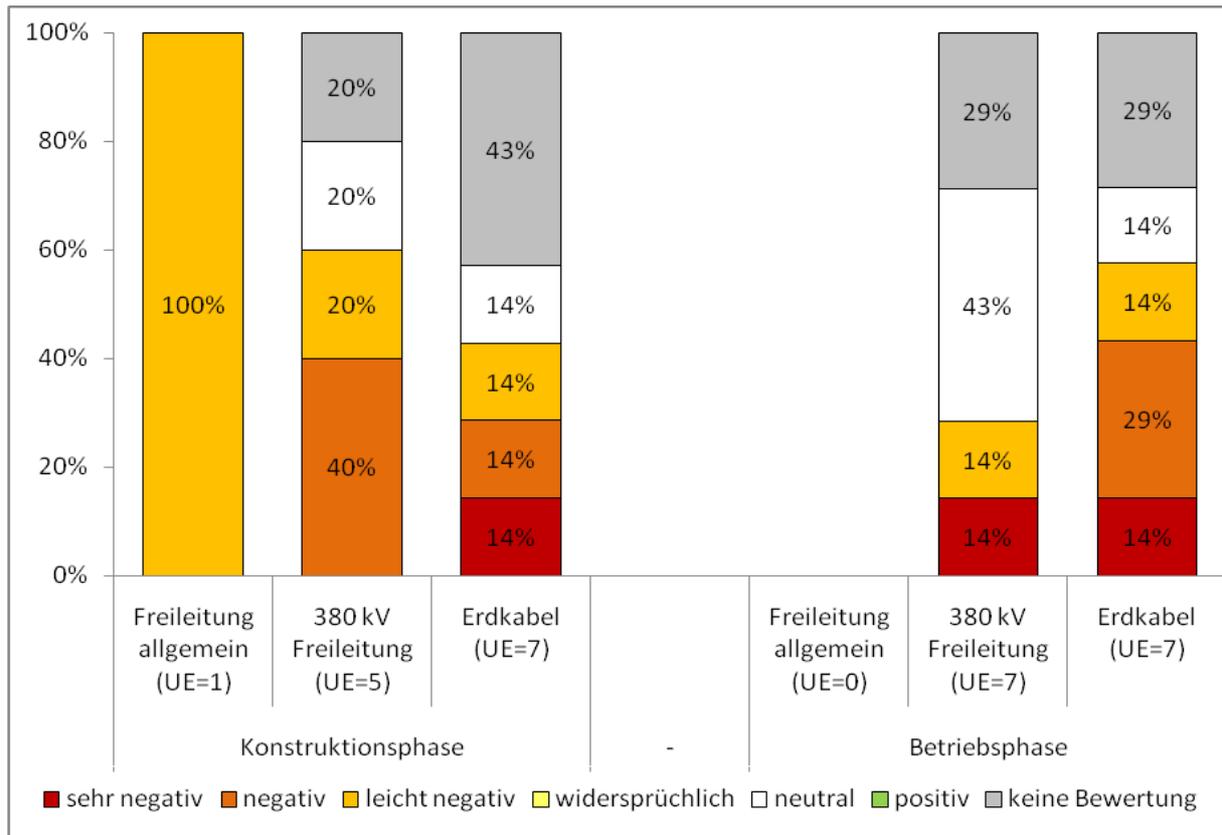
**Bild 5.17:** Thematisierung von Auswirkungen auf die Gewässer

### Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KGEWAESSER2]

Hier werden die Auswirkungen auf Gewässer während der Konstruktion bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	Neutrale Bewertung - Auswirkungen sind temporär - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - Auswirkungen werden als leicht beeinträchtigend angesehen
<input type="radio"/>	negative Bewertung - Auswirkungen werden allgemein als negativ/beeinträchtigend ohne weitere Spezifikation angegeben - Auswirkungen werden mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als schwerwiegend/bedeutend angesehen

### Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase [BGEWAESSER2]

Hier werden die Auswirkungen auf Gewässer während des Betriebs bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leichte negative Bewertung - kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft - kaum eine Verschlechterung durch Eingriff, da schon beeinträchtigt ist
<input type="radio"/>	negative Bewertung - mittlere Beeinträchtigung - Auswirkungen werden als negativ/beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als sehr schwerwiegend eingestuft - sehr starke Beeinträchtigung von als schützenswert ausgewiesenen Gewässer



**Bild 5.18:** Bewertung der Auswirkungen auf die Gewässer<sup>14</sup>

**Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [KGEWAESSER3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.

<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf Gewässer</i>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf Gewässer</i>

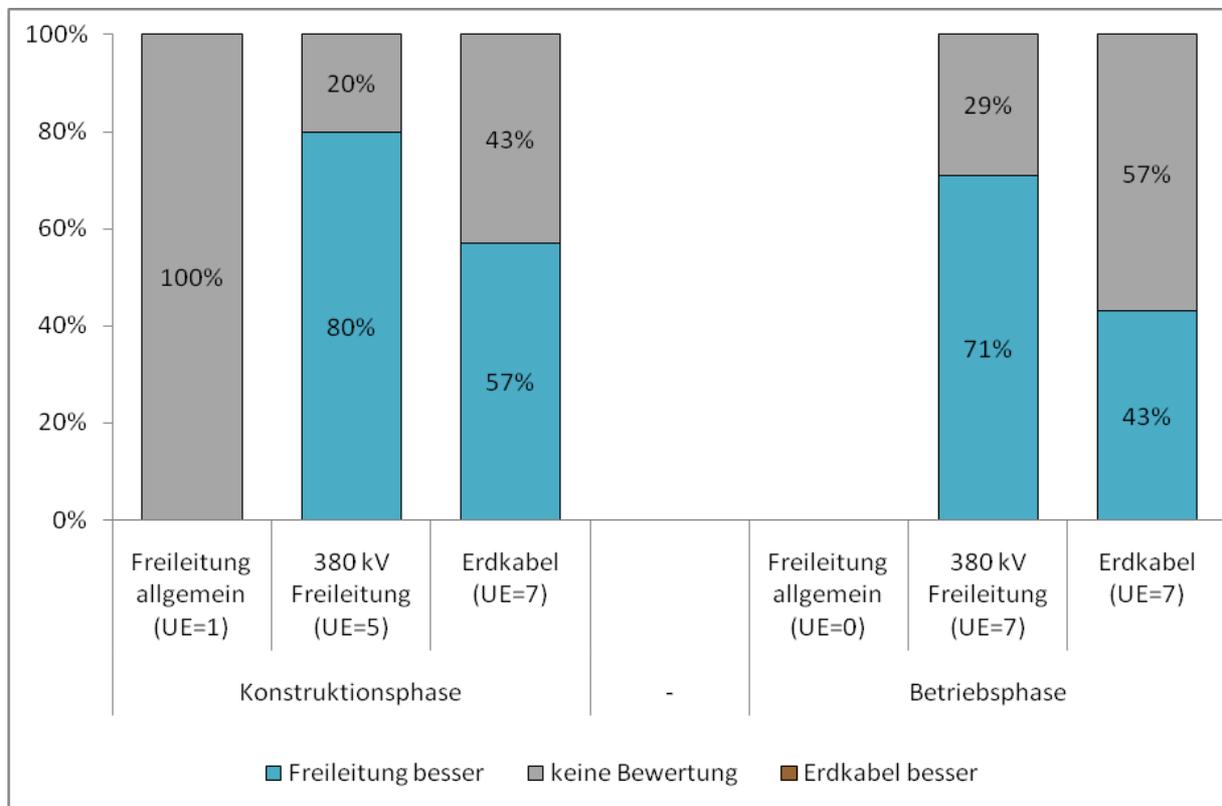
**Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BGEWAESSER3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.

<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet

<sup>14</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

	- Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf Gewässer
o	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf Gewässer



**Bild 5.19:** Bewertung der Auswirkungen auf die Gewässer im Vergleich

### Befunde zum Kriterium Gewässer

Die Auswirkungen des Leitungsbaus auf Gewässer werden sowohl während des Betriebs- als auch während der Konstruktionsphase nur in sehr wenigen UE thematisiert. Insbesondere bei den „Freileitungen Allgemein“ findet der Aspekt der Auswirkungen auf Gewässer keine oder fast keine Beachtung. Bei den 380-kV-Freileitungen und den Erdkabelleitungen wird das Kriterium in maximal 24% der UE erwähnt.

Entsprechend basieren die nachfolgenden Bewertungen nur auf sehr kleinen Fallzahlen und Unterschiede zwischen den Leitungstypen müssen *mit höchster Vorsicht interpretiert* werden.

Tendenziell zeigt sich, dass die Auswirkungen der Erdkabelleitung auf Gewässer in der Betriebsphase etwas negativer eingeschätzt werden, in der Konstruktionsphase sind kaum Unterschiede zu erkennen. Beim direkten Vergleich zwischen Freileitung und Erdkabelleitung ist der Befund hingegen eindeutig: Wenn solche Vergleiche vorgenommen werden, dann schneiden die Freileitungen bei diesem Kriterium in beiden Phasen eindeutig besser ab. Auch hier gelten natürlich die Einschränkungen durch die geringe Anzahl von UE.

## 5.2.7 Kriterium: Grundwasser

### Thematisierung von Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KGRUNDWASSER1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf das Grundwasser während der Konstruktion entstehen. Dazu zählen:

- Kontamination (z.B. durch Mastanstriche, Lagerung schädlicher Stoffe)
- Absenkung Grundwasser

Nicht thematisiert

Thematisiert

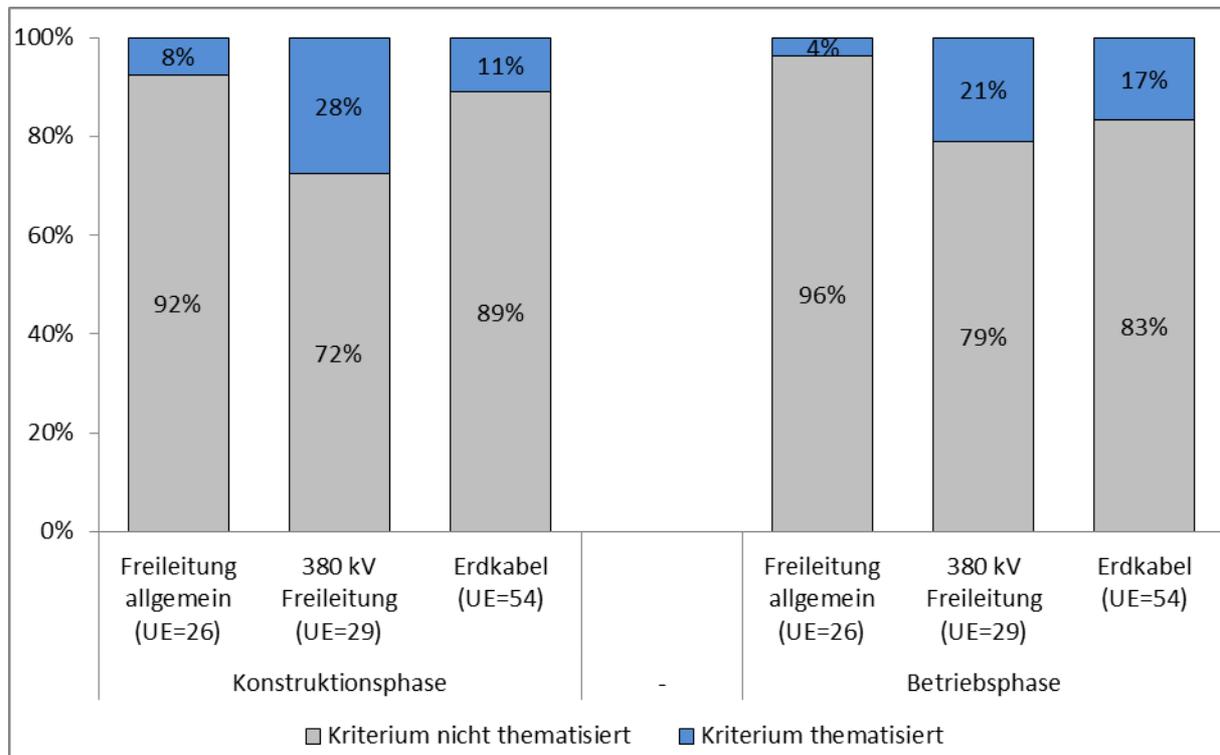
### Thematisierung von Auswirkungen in der Betriebsphase [BGRUNDWASSER1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf das Grundwasser während des Betriebs entstehen. Dazu zählen:

- Kontamination (nur für den Normalzustand, nicht den Störfall, siehe Kriterium *Störung*)

Nicht thematisiert

Thematisiert



**Bild 5.20:** Thematisierung von Auswirkungen auf das Grundwasser

### Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KGRUNDWASSER2]

Hier werden die Auswirkungen auf das Grundwasser während der Konstruktion bewertet.

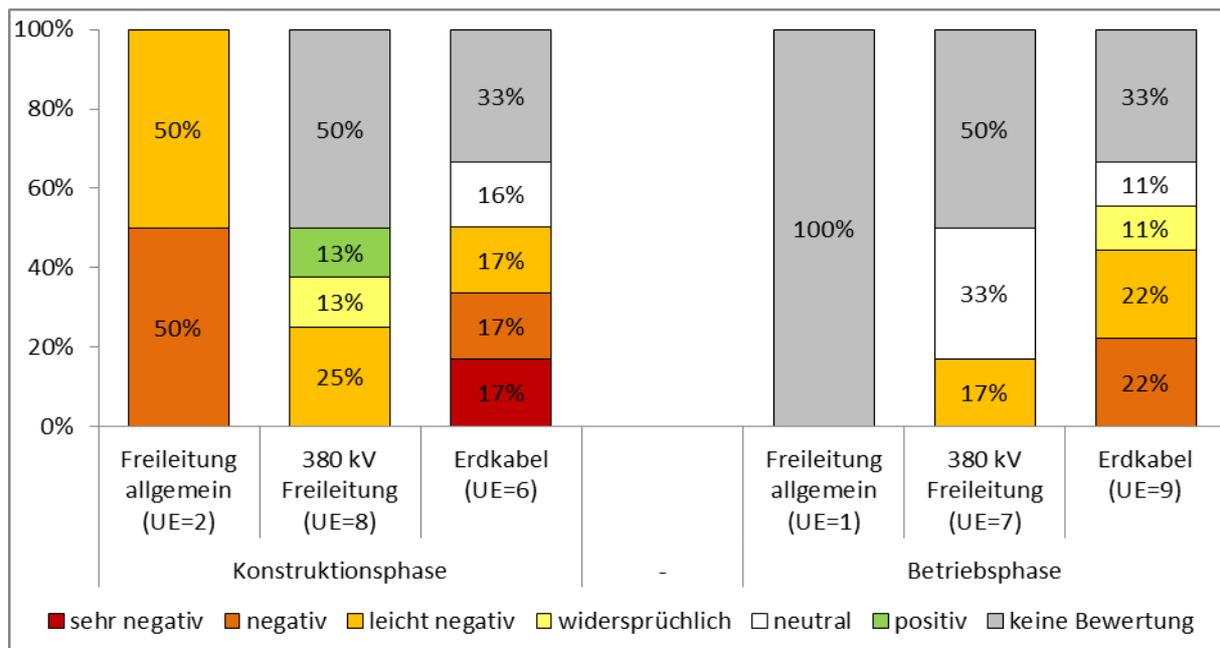
- positive Bewertung
- Auswirkungen werden als positiv angesehen
  - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand

- neutrale Bewertung
- Auswirkungen sind temporär
  - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft

<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - Auswirkungen werden als leicht beeinträchtigend angesehen
<input type="radio"/>	negative Bewertung - Auswirkungen werden allgemein als negativ/beeinträchtigend ohne weitere Spezifikation angegeben - Auswirkungen werden mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als schwerwiegend/bedeutend angesehen

### Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase [BGRUNDWASSER2]

Hier werden die Auswirkungen auf das Grundwasser während des Betriebs bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leichte negative Bewertung - kaum eine Beeinträchtigung; Auswirkungen als leicht beeinträchtigend eingestuft - kaum eine Verschlechterung durch Eingriff, da schon beeinträchtigt ist
<input type="radio"/>	negative Bewertung - mittlere Beeinträchtigung - Auswirkungen werden als negativ/beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen sehr schwerwiegend; sehr starke Beeinträchtigung



**Bild 5.21:** Bewertung der Auswirkungen auf das Grundwasser<sup>15</sup>

### Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [KGRUNDWASSER3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.

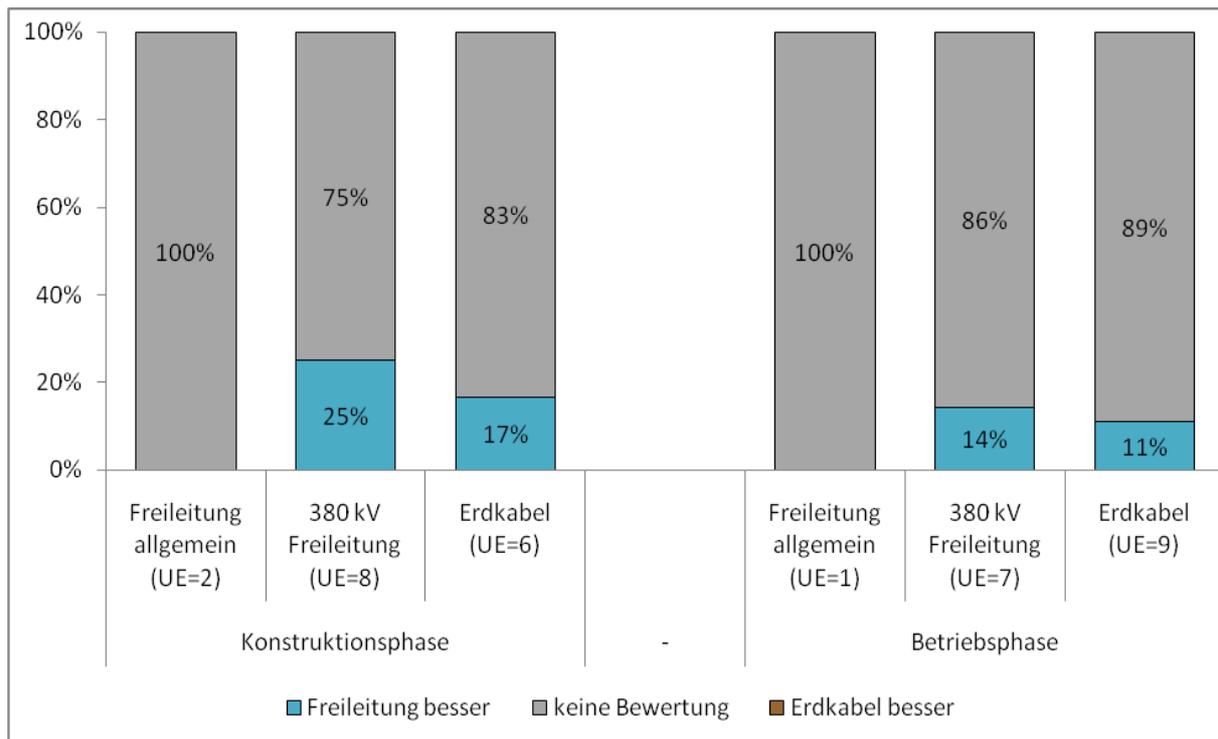
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung getroffen
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf das Grundwasser</i>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf das Grundwasser</i>

### Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BGRUNDWASSER3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.

<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung getroffen
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Freileitungen auf das Grundwasser</i>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen von Erdkabelleitungen auf das Grundwasser</i>

<sup>15</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.



**Bild 5.22:** Bewertung der Auswirkungen auf das Grundwasser im Vergleich

### Befunde zum Kriterium Grundwasser

Die Auswirkungen des Leitungsbaus auf das Grundwasser werden sowohl während des Betriebs als auch während der Konstruktionsphase nur in sehr wenigen UE thematisiert. Insbesondere bei den „Freileitungen Allgemein“ findet der Aspekt der Auswirkungen auf das Grundwasser keine oder fast keine Beachtung. Bei den 380-kV-Freileitungen und den Erdkabelleitungen wird das Kriterium in maximal 28% der UE erwähnt.

Entsprechend basieren die nachfolgenden Bewertungen nur auf sehr kleinen Fallzahlen und Unterschiede zwischen den Leitungstypen müssen *mit höchster Vorsicht interpretiert* werden, zumal in fast 50% der UE das Kriterium zwar thematisiert, dann aber keine Bewertungen vorgenommen werden.

Tendenziell zeigt sich, dass die Auswirkungen der Erdkabelleitung auf das Grundwasser sowohl in der Konstruktionsphase als auch in der Betriebsphase negativer eingeschätzt werden.<sup>16</sup>

Direkte Vergleiche zwischen Freileitung und Erdkabelleitung finden sich fast keine. Die wenigen vorhandenen Vergleiche fallen aber alle in beiden Phasen zugunsten der Freileitung aus.

<sup>16</sup> Auf Wunsch des Beirats werden im vorliegenden Bericht einige aus Sicht des Beirats überraschende Einzelbefunde durch ergänzende Erläuterungen in Fußnoten verständlich gemacht. In diesem Fall die positive Auswirkung des Baus einer 380 kV Freileitung auf das Grundwasser. Dieser Befund ist darauf zurückzuführen, dass die Autoren der Studie argumentieren, die Qualitätsbeweissicherung für zahlreiche Hausbrunnen und Quellen, die vor Baubeginn stattfindet, sei ein Erkenntnisgewinn, der im Sinne einer Bewußtseinsmachung des Schutzguts Grundwasser als Verbesserung zu werten sei.

### 5.3 Auswirkungen auf den Menschen durch Immissionen

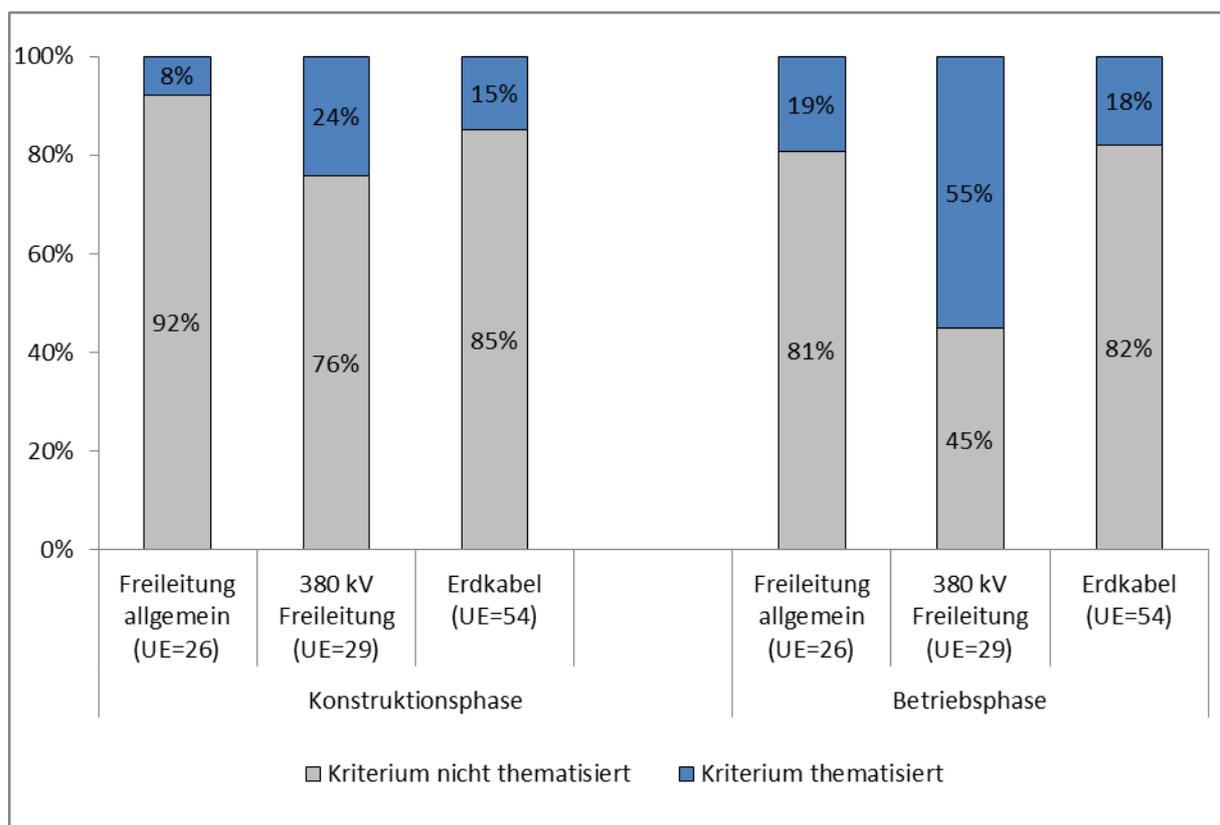
#### 5.2.8 Kriterium: Lärm

##### Thematisierung von Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KLAERM1]

Es wird codiert, ob Lärm während der Konstruktion dargestellt wird. Dazu zählt:	
- Lärm durch Baustellenfahrzeuge	
- Lärm durch Baustelle	
<input type="radio"/>	Nicht thematisiert
<input type="radio"/>	Thematisiert

##### Thematisierung von Auswirkungen in der Betriebsphase [BLAERM1]

Es wird codiert, ob Lärm während des Betriebs dargestellt wird. Dazu zählen:	
- Betriebsgeräusche wie Surren	
- Koronaentladungen	
<input type="radio"/>	Nicht thematisiert
<input type="radio"/>	Thematisiert



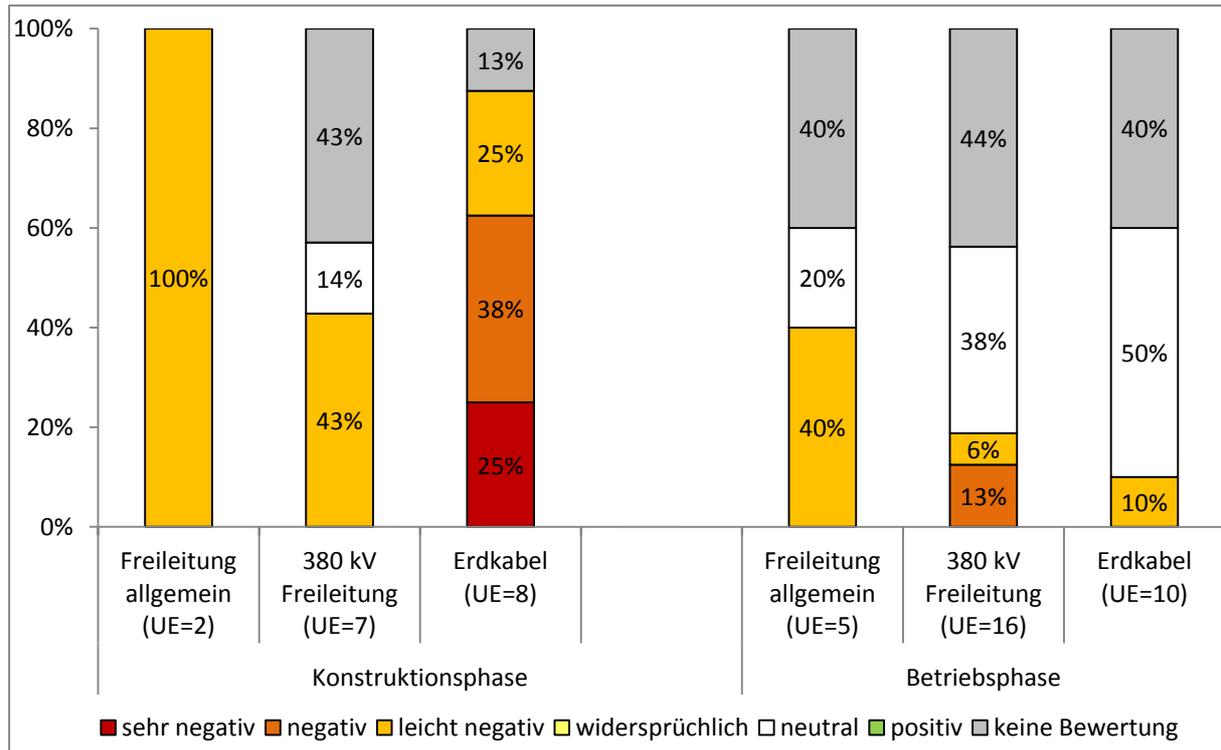
**Bild 5.23:** Thematisierung der Auswirkungen durch Lärm

### Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase [KLAERM2]

Hier wird der Lärm während der Konstruktion bewertet.	
<input type="radio"/>	Positive Bewertung
<input type="radio"/>	Neutrale Bewertung - <i>Lärm wird als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft</i>
<input type="radio"/>	keine Bewertung - <i>„keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden</i>
<input type="radio"/>	Widersprüchliche Bewertung - <i>Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden</i>
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - <i>Lärm wird als leicht beeinträchtigend angesehen</i>
<input type="radio"/>	negative Bewertung - <i>Lärm wird allgemein als negativ/beeinträchtigend ohne weitere Spezifikation angegeben</i> - <i>Lärm wird mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben</i>
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - <i>Lärm wird als schwerwiegend/bedeutend angesehen</i>

### Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase [BLAERM2]

Hier wird der Lärm während des Betriebs bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - <i>Lärm wird als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft</i>
<input type="radio"/>	keine Bewertung - <i>„keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden</i>
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - <i>Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden</i>
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - <i>Lärm wird als leicht beeinträchtigend angesehen</i>
<input type="radio"/>	negative Bewertung - <i>Lärm wird allgemein als negativ/beeinträchtigend ohne weitere Spezifikation angegeben</i> - <i>Lärm wird mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben</i>
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - <i>Lärm wird als schwerwiegend/bedeutend angesehen</i> - <i>Sehr starke Schädigung durch Lärm (entspricht nicht den Normwerten)</i>



**Bild 5.24:** Bewertung der Auswirkungen durch Lärm<sup>17</sup>

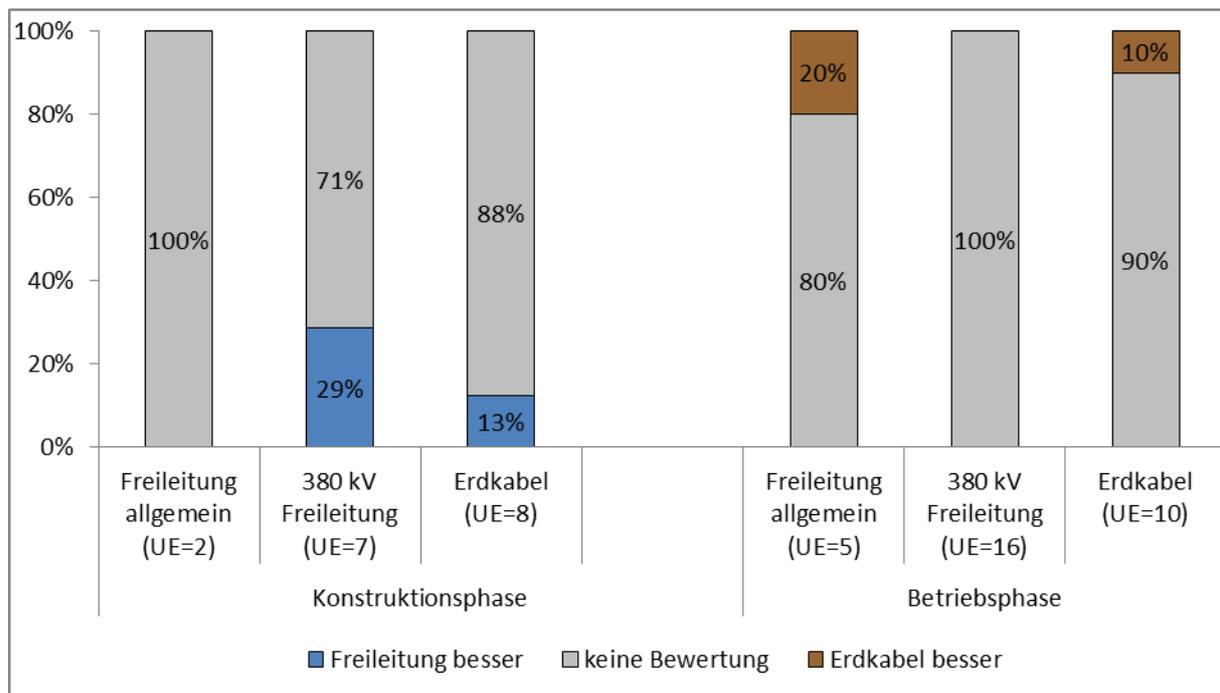
### Bewertung der Auswirkungen in der Konstruktionsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [KLAERM3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
0	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
1	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - Weniger / weniger beeinträchtigender Lärm wird durch Freileitungen verursacht
2	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - Weniger / weniger beeinträchtigender Lärm wird durch Erdkabelleitungen verursacht

### Bewertung der Auswirkungen in der Betriebsphase im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BLAERM3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
o	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
o	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - Weniger / weniger beeinträchtigender Lärm wird durch Freileitungen verursacht
o	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - Weniger / weniger beeinträchtigender Lärm wird durch Erdkabelleitung verursacht

<sup>17</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.



**Bild 5.25:** Thematisierung der Auswirkungen durch Lärm im Vergleich<sup>18</sup>

### Befunde zum Kriterium Lärm

Das Kriterium Lärm wurde sowohl für die Konstruktions- als auch für die Betriebsphase erhoben. Bei der Interpretation der Befunde ist aber zu beachten, dass es sich um zwei qualitativ unterschiedliche Formen von Lärm handelt. Während der Konstruktion geht es um temporären Lärm durch die Bauarbeiten, während es sich in der Betriebsphase um dauerhafte Geräusche beispielsweise durch Brummen oder Surren handelt.

Die Auswirkungen von Lärm auf den Menschen während des Betriebs werden vor allem im Zusammenhang mit den 380-kV-Freileitungen thematisiert und zwar in 55% der UE. Bei Erdkabelleitungen und „Freileitungen Allgemein“ wird der Aspekt nicht einmal in jeder fünften Studie genannt.

Die Zahl der UE in denen dann auch Bewertungen vorgenommen werden, ist verschwindend gering. Tendenziell werden dabei die 380-kV-Leitungen am negativsten bewertet: In 2 UE wird den 380-kV-Leitungen eine starke Lärmemission attestiert.

Direkte Vergleiche zwischen Freileitung und Erdkabelleitung finden sich fast keine, sie fallen aber zugunsten der Erdkabelleitung aus.

Die Lärmbelästigung während der Konstruktionsphase wird in weniger als 25 Prozent der UEs thematisiert. In den wenigen Fällen, in denen das Kriterium thematisiert wird, wird es dann aber relativ häufig bewertet. Dabei zeigt sich eine schlechtere Bewertung der Erdkabelleitungen. Auch im direkten Vergleich wird die Erdkabelleitung schlechter bewertet. Insgesamt beruhen diese Aussagen aber auf sehr wenigen Fällen.

<sup>18</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

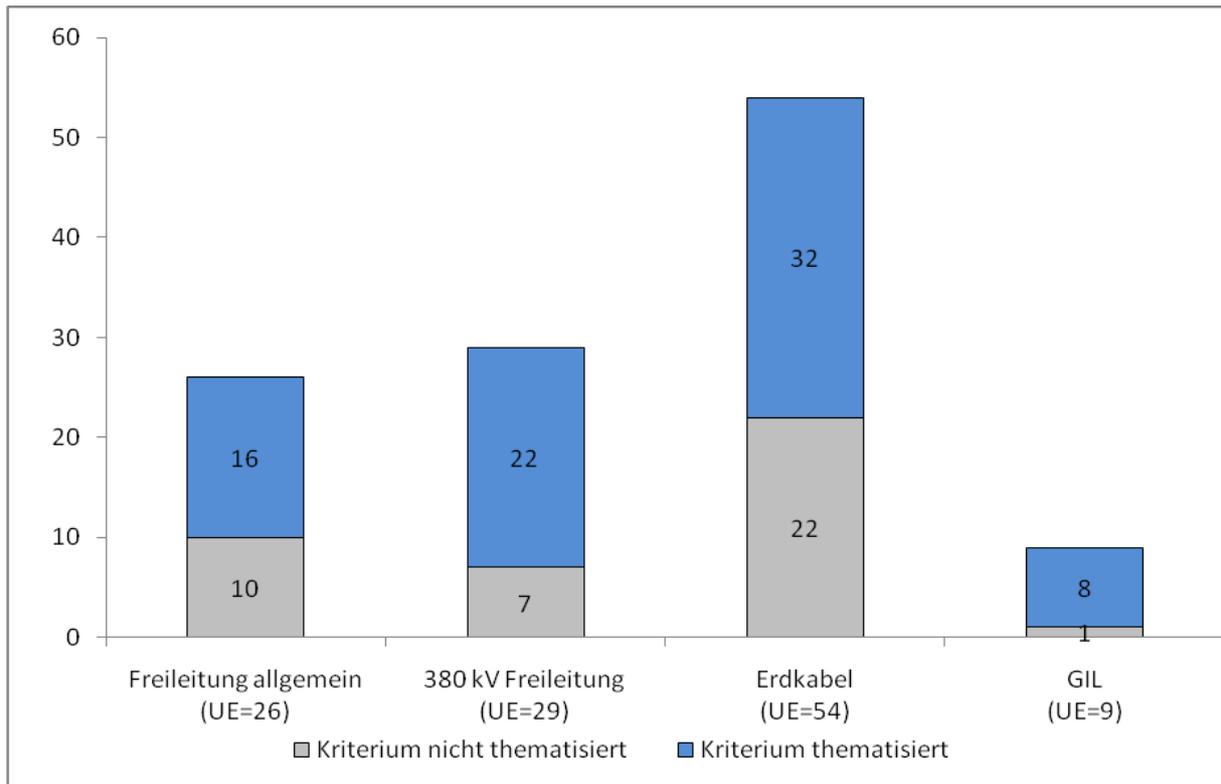
### 5.2.9 Kriterium: Elektrische und magnetische Felder

In den untersuchten Studien wurden Aussagen zu elektrischen und magnetischen Feldern gemacht. Dabei wurden häufig keine konkreten Angaben zu den Werten gemacht, sondern es wurde nur thematisiert, ob die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden. Da die gesetzlichen Vorgaben in den verschiedenen Ländern nicht einheitlich sind, werden die Ergebnisse zur Belastung für Deutschland, Österreich und Schweiz separat ausgewiesen. Studien, die sich nicht auf die Schweiz, Österreich oder Deutschland beziehen, werden zwar bei der Gesamtdarstellung der Befunde berücksichtigt, bei der Aufgliederung in die Länderuntergruppen dann aber nicht separat ausgewiesen, da eine Interpretation dieser Sammelkategorie nicht sinnvoll möglich wäre.

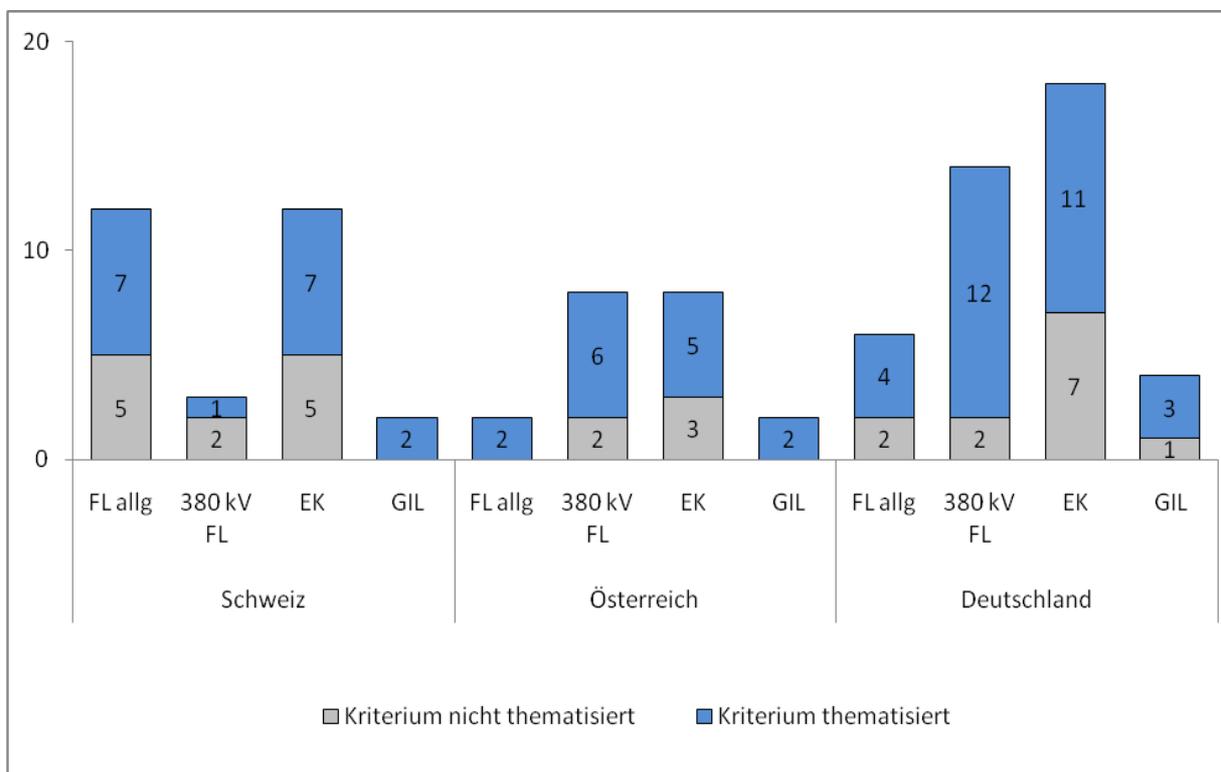
In vielen Studien wird zwar zwischen elektrischen und magnetischen Feldern unterschieden, die Befunde unterscheiden sich aber nur geringfügig, sodass hier nur die Befunde zu den magnetischen Feldern erläutert werden. Die Grafiken, in denen die Ergebnisse zu den elektrischen Feldern dokumentiert wurden, finden sich im Anhang.

#### **Thematisierung von Auswirkungen durch magnetische Felder [BMAGNETISCH1]**

Es wird codiert, ob magnetische Felder und/oder deren Auswirkungen während des Betriebs dargestellt sind. Sowohl explizite Auswirkungen auf Menschen als auch allgemeine Auswirkungen ohne Nennung, auf wen sie zu treffen, werden hier codiert. Dazu zählen:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Krankheiten, z.B. Krebs</li> <li>- Änderung des Melatoninspiegels             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Schlafstörungen, Depressive Verstimmungen, Müdigkeit</li> </ul> </li> <li>- Veränderungen im Verhalten; Veränderungen der Lernfähigkeit; Veränderung des Wachstums, Stoffwechsels, genetischen Materials der Zellen; Auswirkungen auf Herzschrittmacher</li> </ul>	
o	Nicht thematisiert
o	Thematisiert



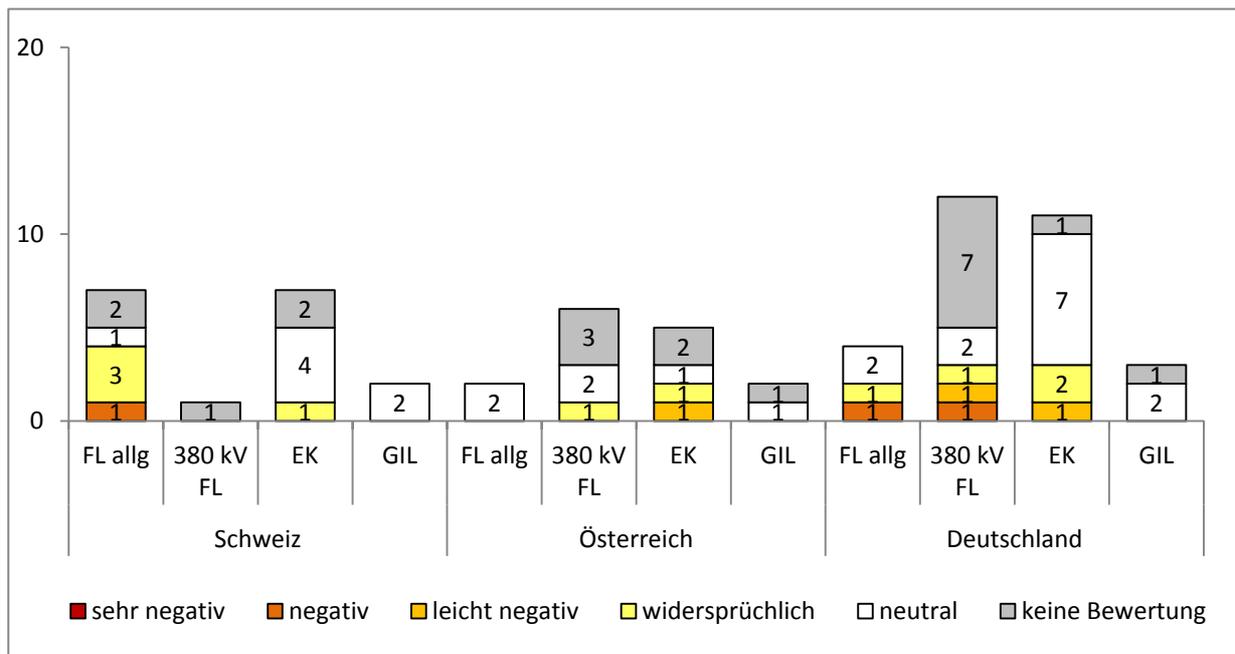
**Bild 5.26:** Thematisierung der Auswirkungen durch magnetische Felder (insgesamt)



**Bild 5.27:** Thematisierung der Auswirkungen magnetischer Felder (nach Ländern)

### Bewertung der Auswirkungen durch magnetische Felder [BMAGNETISCH2]

Hier werden die Auswirkungen der magnetischen Felder während des Betriebs bewertet.	
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - Auswirkungen werden als leicht beeinträchtigend angesehen
<input type="radio"/>	negative Bewertung - Auswirkungen werden allgemein als negativ/beeinträchtigend ohne weitere Spezifikation angegeben - Auswirkungen werden mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als schwerwiegend/bedeutend angesehen

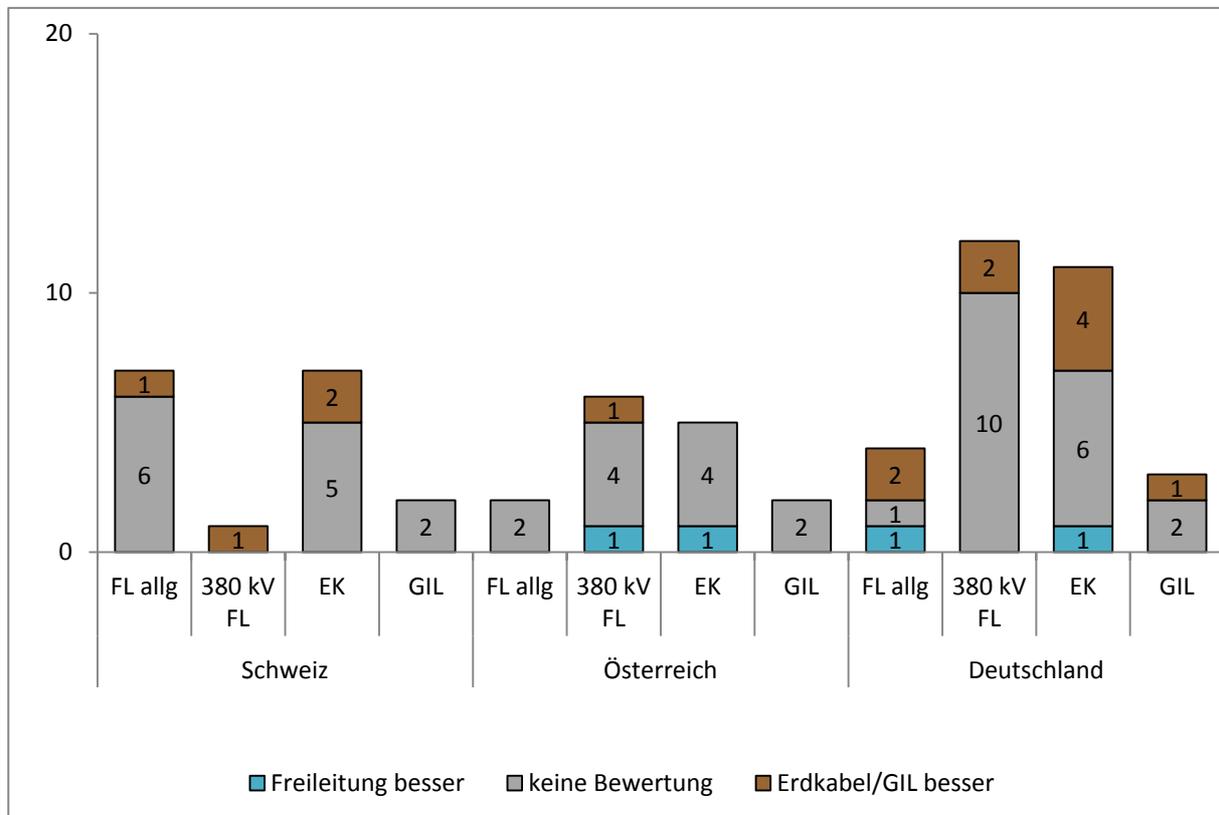


**Bild 5.28:** Bewertung der Auswirkungen durch magnetische Felder

### Bewertung der Auswirkungen im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BMAGNETISCH3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen durch magnetische Felder von Freileitungen

- o Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet  
- Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen durch magnetische Felder von Erdkabelleitungen



**Bild 5.29:** Bewertung der Auswirkungen durch magnetische Felder im Vergleich

### Befunde zum Kriterium magnetische Felder

Das Kriterium der magnetischen Felder wurde bei allen Leitungstypen in deutlich mehr als der Hälfte der UE thematisiert. Besonders hoch war der Anteil bei den 380-kV-Freileitungen und den GIL. Absolut gesehen beziehen sich aber die meisten Erwähnungen auf die Erdkabelleitungen.

Dieses generelle Muster findet sich auch in den drei untersuchten Ländern, wobei allerdings dieses Kriterium in der Schweiz nur in einer der drei UE, die sich mit 380-kV-Freileitung beschäftigen, aufgegriffen wurde.<sup>19</sup>

Das Kriterium der magnetischen Felder ist zwar zunächst in relativ vielen UE erwähnt worden, in den meisten Fällen finden sich anschließend allerdings keine klaren Bewertungen. Häufig wird ganz auf Bewertungen verzichtet oder aber die Bewertungen erweisen sich als widersprüchlich. Darüber hinaus finden sich relativ viele neutrale oder leicht negative Bewertungen.

<sup>19</sup> Unterschiede in den Fallzahlen der UE zwischen der Gesamtdarstellung und der nach Ländern aufgeschlüsselten Darstellung sind darauf zurückzuführen, dass einige UEs sich auf andere Länder als Deutschland, Österreich oder die Schweiz beziehen, oder es sich um allgemeine Studien handelt, bei denen es sich nicht um eine konkrete Trasse handelt. Auf die Darstellung der Befunde zu dieser „Restkategorie“ wird verzichtet, weil die Aufschlüsselung vorgenommen wurde, um die Befunde vor dem Hintergrund der jeweiligen nationalen Grenzwerte interpretieren zu können. Das wäre bei einer „Restkategorie“ nicht möglich.

Nur in drei UE sind klar negative Bewertungen festzustellen. Zwei davon beziehen sich auf Deutschland, eine auf die Schweiz. Bei allen drei handelt es sich um Freileitungen, wobei sich zwei auf Freileitungs-Trassen allgemein und eine auf eine 380-kV-Trasse beziehen. Die GIL werden in keinem Fall negativ bewertet. Bei den Erdkabelleitungen finden sich zwei UE in denen leicht negative Bewertungen abgegeben werden.

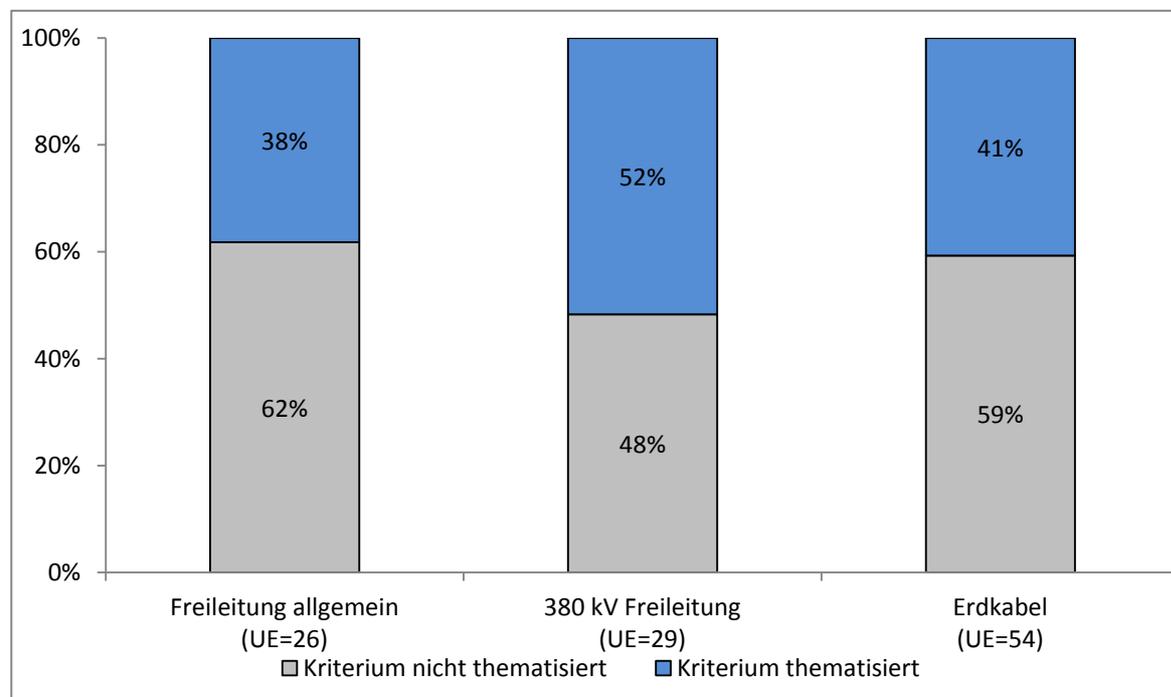
Beim direkten Vergleich von Freileitungen und Erdkabelleitungen werden die Erdkabelleitungen im Hinblick auf die Belastung durch magnetische Felder besser bewertet. Nur in wenigen UE fällt das Urteil zugunsten der Freileitungen aus. In den allermeisten Fällen werden aber keine direkten Vergleiche angestellt.

### 5.3 Kriterien auf gesellschaftlicher Ebene

#### 5.3.1 Auswirkungen auf kommunaler Ebene

##### Thematisierung von Auswirkungen auf kommunaler Ebene [KOMMUNAL1]

Es wird codiert, ob Auswirkungen auf kommunaler Ebene dargestellt sind. Dazu zählen Auswirkungen auf:	
- Tourismus/Naherholung	- Landentwertung
- Ortsentwicklung	- Kultur- und Sachgüter
- Forstwirtschaft	- Landwirtschaft
- Ortsbild	
<input type="radio"/>	Nicht thematisiert
<input type="radio"/>	Thematisiert

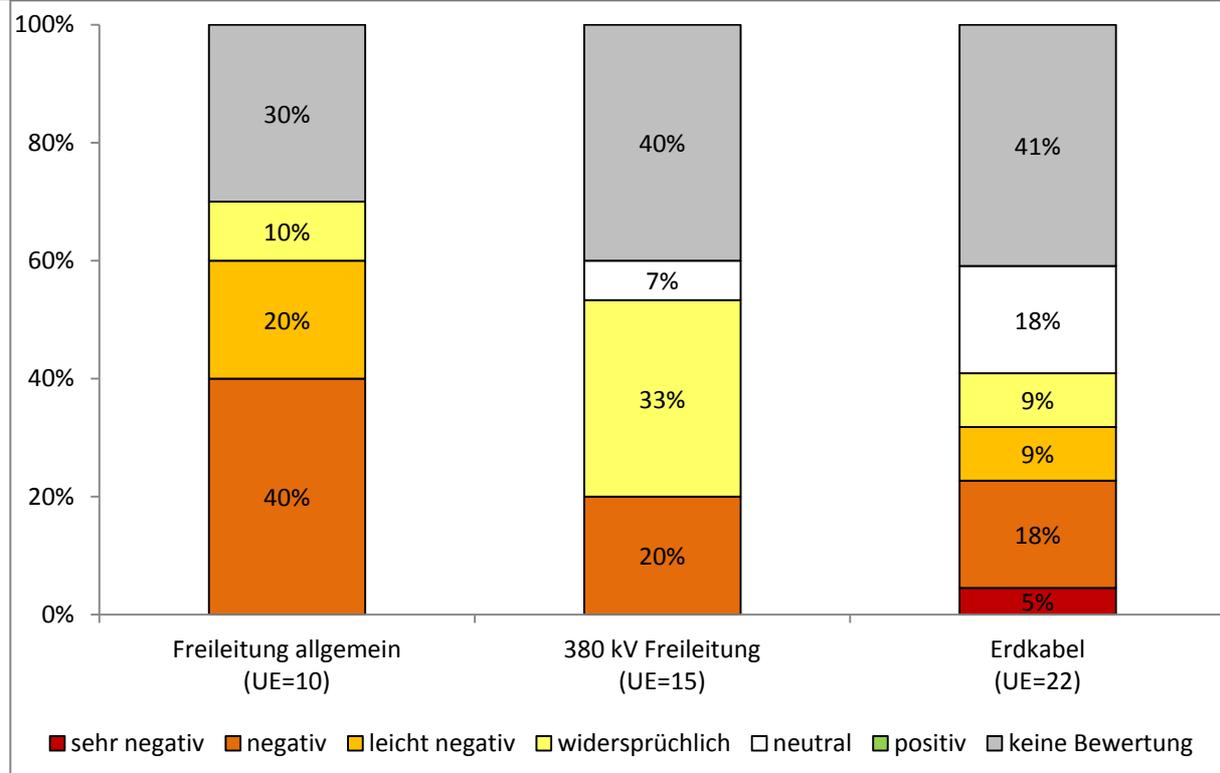


**Bild 5.30:** Thematisierung der Auswirkungen auf kommunaler Ebene

### Bewertung von Auswirkungen auf kommunaler Ebene [KOMMUNAL2]

Hier werden die Auswirkungen auf kommunaler Ebene bewertet.

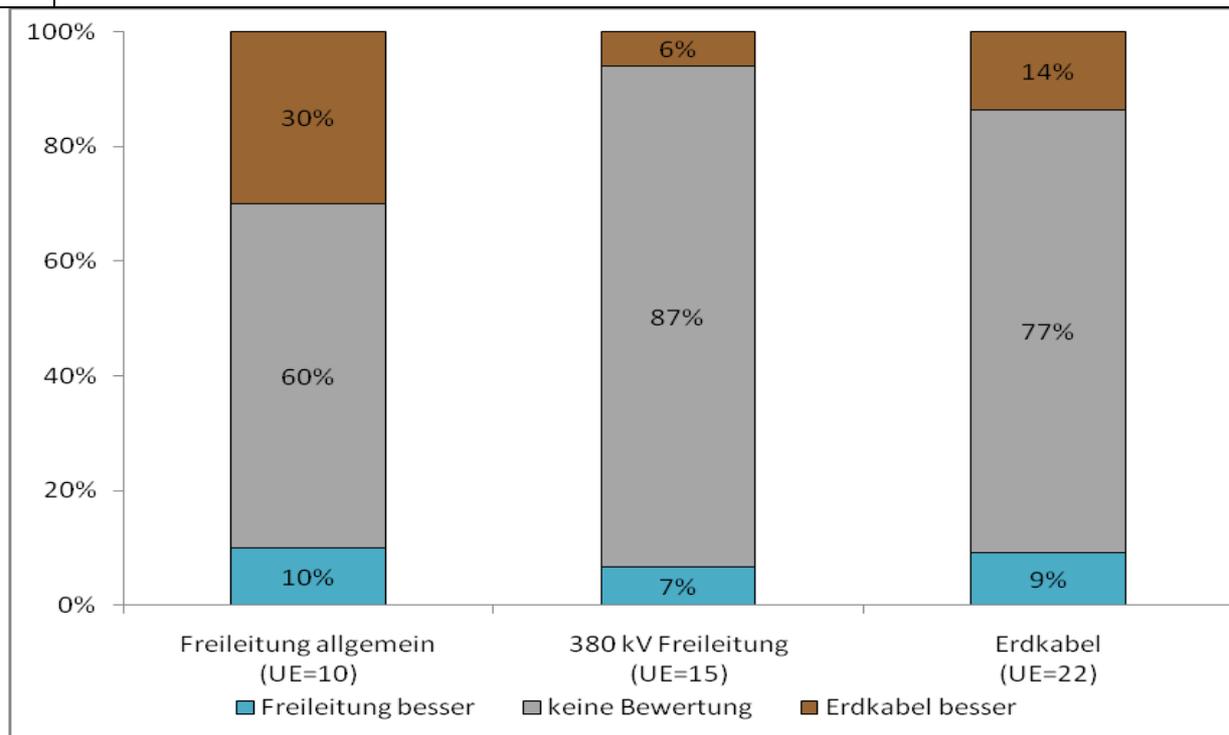
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Auswirkungen werden als positiv angesehen - Auswirkungen führen zu einem besseren Ausgangszustand
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen sind temporär - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - Auswirkungen werden als leicht beeinträchtigend angesehen
<input type="radio"/>	negative Bewertung - Auswirkungen werden allgemein als negativ/beeinträchtigend ohne weitere Spezifikation angegeben - Auswirkungen werden mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als schwerwiegend/bedeutend angesehen



**Bild 5.31:** Bewertung der Auswirkungen auf kommunaler Ebene

### Bewertung von Auswirkungen im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [KOMMUNAL3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende kommunale Auswirkungen von Freileitungen</i>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende kommunale Auswirkungen von Erdkabelleitungen</i>



**Bild 5.32:** Bewertung der Auswirkungen auf kommunaler Ebene im Vergleich

#### Befunde zu Auswirkungen auf kommunaler Ebene

Auswirkungen auf das Entwicklungspotential der Kommunen wurden am häufigsten im Zusammenhang mit den 380-kV-Leitungen (in 52% der UE) und am seltensten im Zusammenhang mit den „Freileitungen Allgemein“ (in 38 % der UE) thematisiert.

In rund 60 % der UE, in denen das Kriterium kommunale Auswirkungen erwähnt wurde, wurden anschließend auch Bewertungen vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass die Auswirkungen in der Kategorie „Freileitungen Allgemein“ tendenziell am negativsten eingeschätzt werden, gefolgt von den Erdkabelleitungen, bei denen sich auch eine sehr negative Bewertung in einer UE findet. Bei den 380-kV-Leitungen ist ein sehr hoher Anteil widersprüchlicher Bewertungen festzustellen.

Beim direkten Vergleich von Erdkabelleitung und Freileitung wird die Erdkabelleitung, vor allem wenn die „Freileitungen Allgemein“ den Vergleichsmaßstab bilden, etwas positiver bewert-

tet. Es finden sich aber immer auch UE in denen die Freileitung besser abschneidet. Bei der Interpretation dieser Kategorie ist zu beachten, dass es sich hier um eine Kategorie handelt, die z.T. sehr unterschiedliche Aspekte umfasst, wie Auswirkungen auf den Tourismus/Naherholung, Landentwertung, Kultur- und Sachgüter oder die Landwirtschaft. Für eine Codierung war es ausreichend, wenn einer dieser Aspekte thematisiert und bewertet wurde.<sup>20</sup>

### 5.3.2 Akzeptanz in der Bevölkerung

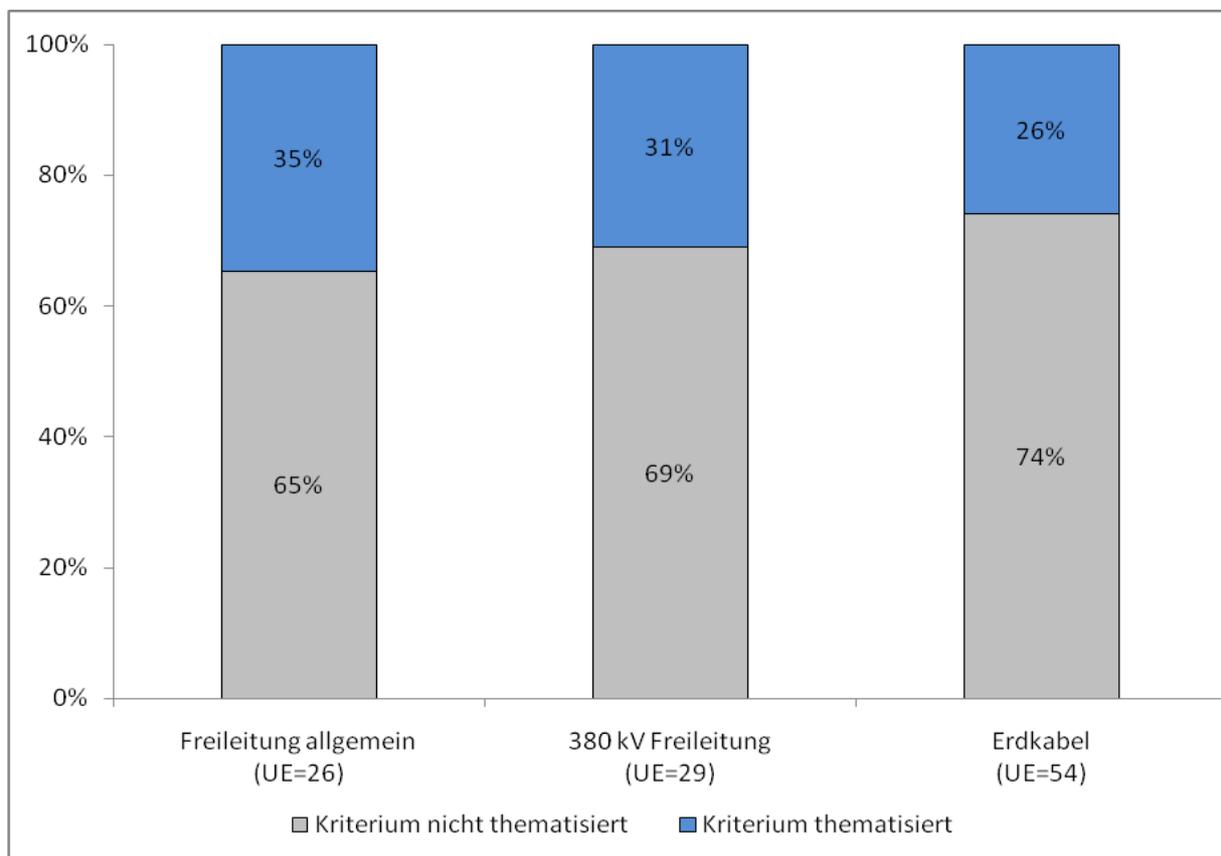
#### Thematisierung von Akzeptanzaspekten [AKZEPTANZ1]

Es wird codiert, ob Aspekte der Akzeptanz, Befürwortung, Ablehnung etc. thematisiert werden.

Dazu zählen:

- Proteste, Einsprüche, Einwänden, Einstellungen, Meinungen

o	Nicht thematisiert
o	Thematisiert

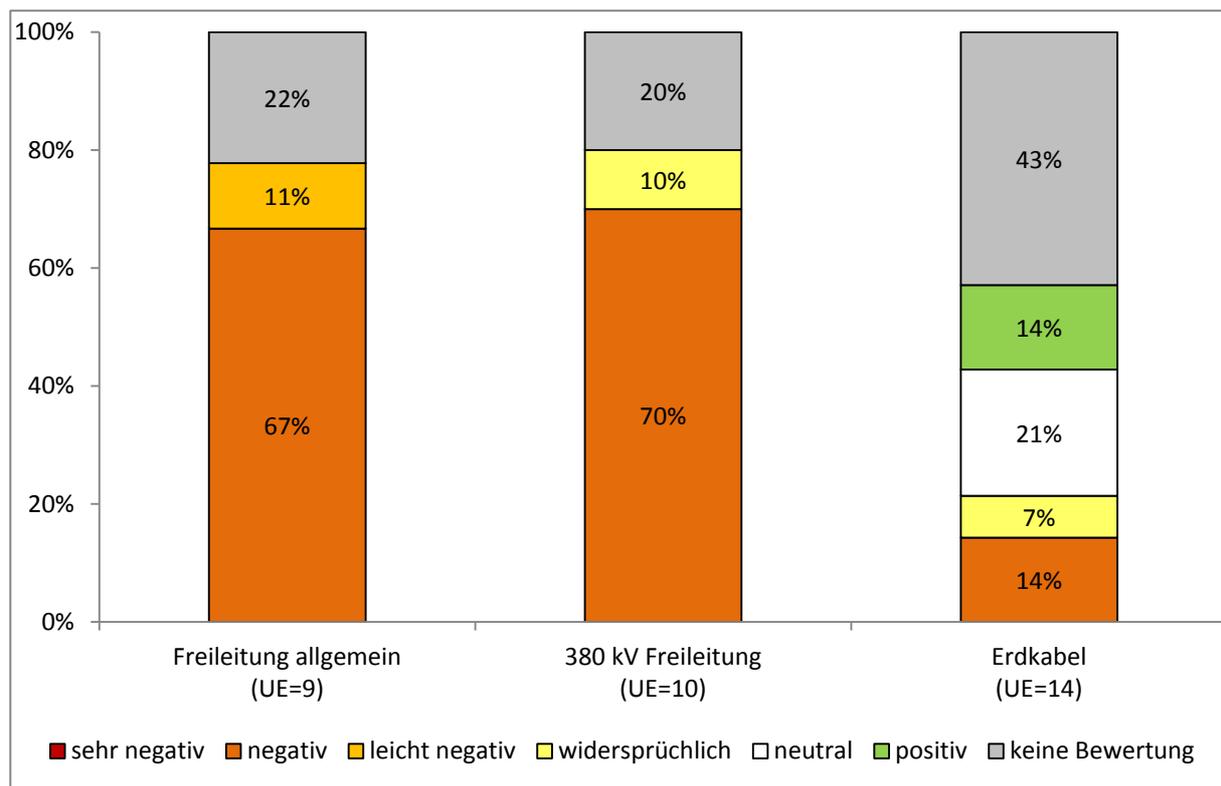


**Bild 5.33:** Thematisierung von Akzeptanzaspekten

<sup>20</sup> Auf Wunsch des Beirats werden im vorliegenden Bericht einige aus Sicht des Beirats überraschende Einzelbefunde durch ergänzende Erläuterungen in Fußnoten verständlich gemacht. In diesem Fall die sehr negative Auswirkungen des Erdkabels auf kommunaler Ebene. Im vorliegenden Fall wurde von einer stark eingeschränkten Nutzungsmöglichkeit der Kabeltrasse gesprochen. Ähnlich wurde auch bei den direkten Vergleichen, die zu Ungunsten des Erdkabels ausfielen argumentiert. Die bisherige Nutzung des Trassengeländes für die Viehzucht werde durch die Freileitung nicht durch die Erdkabel aber durchaus behindert.

### Bewertung der Akzeptanz in der Bevölkerung [AKZEPTANZ2]

Hier wird die Akzeptanz bewertet.	
<input type="radio"/>	positive Bewertung - Akzeptanz; Befürwortung
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Keine Befürwortung; aber auch keine Ablehnung zu erkennen (nicht widersprüchlich)
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Sowohl Ablehnung als auch Befürwortung werden thematisiert
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - Leichte Ablehnung
<input type="radio"/>	negative Bewertung - Keine Akzeptanz vorhanden; Anlehnung; Proteste
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - sehr starke Ablehnung; schwerwiegende Proteste/Handlungen

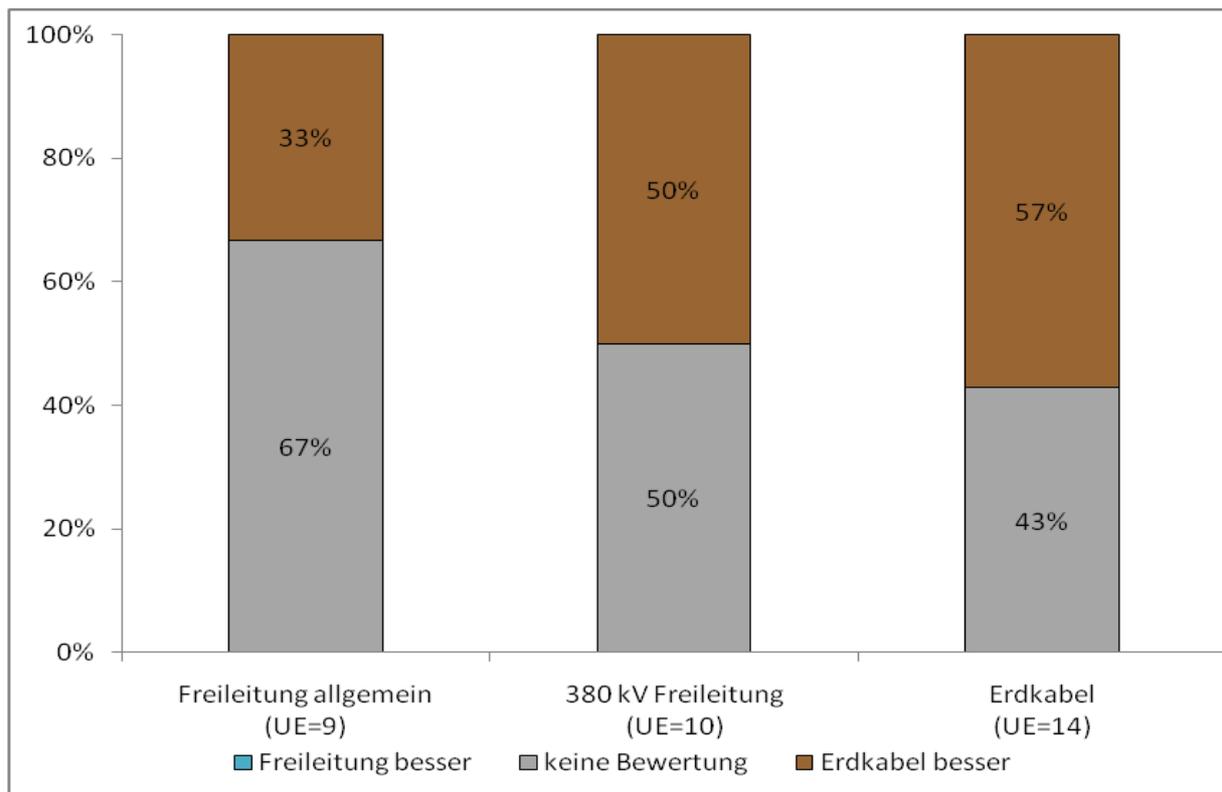


**Bild 5.34:** Bewertung der Akzeptanz in der Bevölkerung<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

### Bewertung der Akzeptanz in der Bevölkerung im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [AKZEPTANZ3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - Mehr Akzeptanz/weniger Ablehnung von Freileitungen
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - Mehr Akzeptanz/weniger Ablehnung von Erdkabelleitungen



**Bild 5.35:** Bewertung der Akzeptanz im Vergleich

#### Befunde zum Kriterium Akzeptanz

Das Kriterium der Akzeptanz wird in rund einem Drittel der UE thematisiert. Am häufigsten im Zusammenhang mit den „Freileitungen Allgemein“ (35%) und am seltensten im Zusammenhang mit den Erdkabelleitungen.

Die Tendenz der Bewertung ist eindeutig: Die beiden Freileitungstypen werden deutlich negativer als die Erdkabelleitung beurteilt. Zwischen den beiden Freileitungstypen finden sich keine nennenswerten Unterschiede im Hinblick auf die Akzeptanz in der Bevölkerung.

Die deutliche bessere Akzeptanzbeurteilung findet sich auch beim direkten Vergleich: Ein solcher direkter Vergleich wird in rund der Hälfte der UE vorgenommen, in denen Bewertungen vorliegen. In allen diesen Fällen fällt er zugunsten der Erdkabelleitungen aus.

## 5.4 Störungen in der Betriebsphase

### Thematisierung von Störungen [BSTOERUNG1]

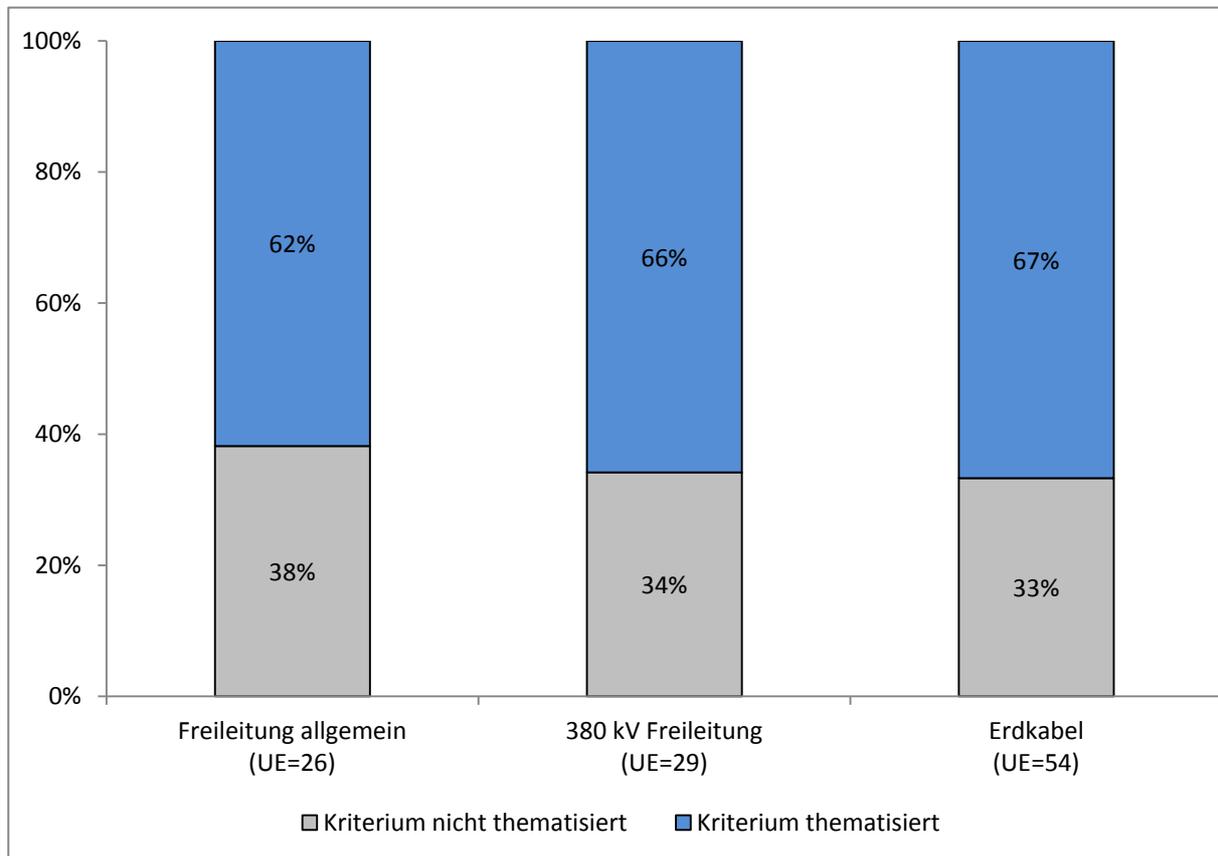
Es wird codiert, ob Störungen thematisiert werden, die ausgelöst wurden durch

- Menschliche Einwirkungen, wie Sabotage, Flugkörper (z.B. Ballon, Gleitschirme, Drachen) und Arbeiten (z.B. Berührung durch Baufahrzeuge) an den Leitungen
- Umwelteinwirkungen, wie Wetter (z.B. Eisbehang, Stürme, Blitzeinschlag) und Vegetation (Bäume bei Freileitungen, tiefwurzelnde Gehölze bei Erdkabelleitungen)

Zu den Störungen zählen:

- Kontamination des Bodens, des Grundwassers, der Flora, der Gewässer, der Flora
- Technische Ausfälle, die z.B. zu Versorgungsengpässen führen

<input type="radio"/>	Nicht thematisiert
<input type="radio"/>	Thematisiert



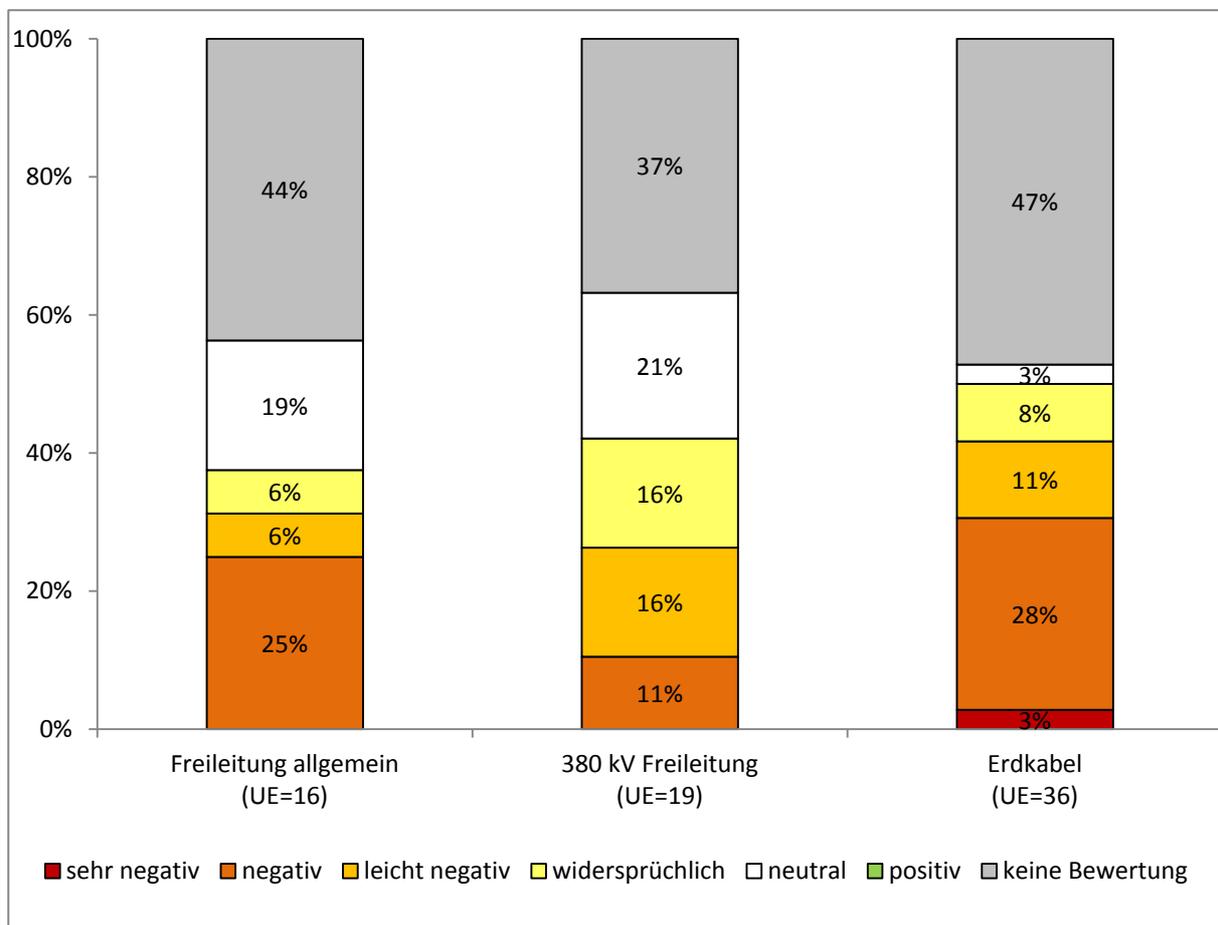
**Bild 5.36:** Thematisierung von Störungen

### Bewertung von Störungen [BSTOERUNG2]

Hier werden der Störfall und dessen Auswirkungen bewertet.

<input type="radio"/>	positive Bewertung ( <i>nur der Vollständigkeit hier angegeben</i> )
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Störungen sind temporär</i></li> <li>- <i>Störungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend angesehen</i></li> </ul>

<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - Störungen werden als leicht beeinträchtigend angesehen
<input type="radio"/>	negative Bewertung - Störungen werden allgemein als negativ/beeinträchtigend ohne weitere Spezifikation angegeben - Störungen werden mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Störungen werden als schwerwiegend/bedeutend angesehen



**Bild 5.37:** Bewertung von Störungen<sup>22</sup>

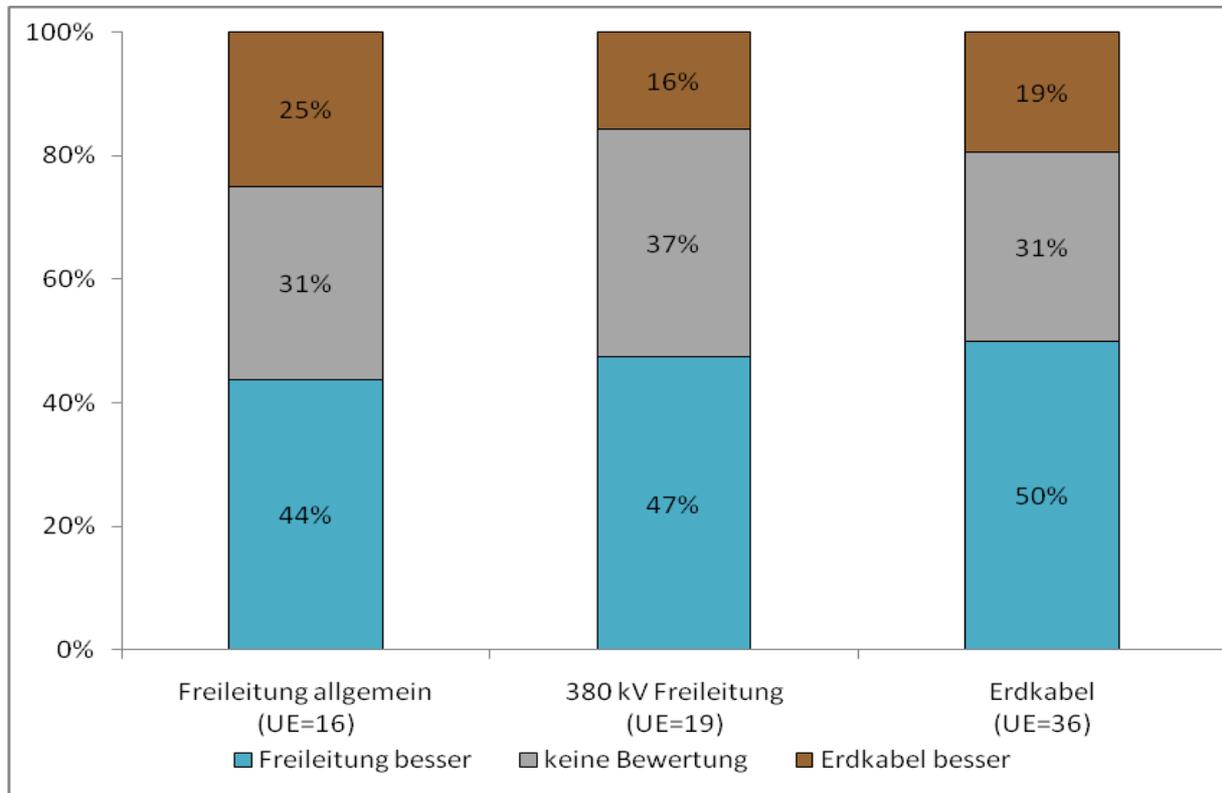
**Bewertung von Störungen im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitungen [BSTOERUNG3]**

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.

<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
-----------------------	---

<sup>22</sup> Wenn sich die Prozentwerte nicht genau auf 100% addieren lassen, dann ist dies auf die notwendigen Rundungen zurückzuführen.

o	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - Weniger bzw. weniger schwerwiegende Störungen bzw. deren Auswirkungen bei Freileitungen
o	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - Weniger bzw. weniger schwerwiegende Störungen bzw. deren Auswirkungen bei Erdkabelleitungen



**Bild 5.38:** Bewertung von Störungen im Vergleich

### Befunde zum Kriterium Störungen

In rund zwei Drittel der UE werden Störungen thematisiert. Die drei Leitungstypen unterscheiden sich in hinsichtlich der Thematisierung dieses Kriteriums nur unerheblich.

Die Erdkabelleitungen werden als etwas störungsanfälliger bewertet. In rund 40% der UE werden negative Bewertungen abgegeben, bei den Freileitungen ist dies in ca. 30% der UE geschehen.

Auch im direkten Vergleich schneiden die Freileitungen besser ab. Allerdings findet sich auch einen nennenswerte Anzahl von Fällen, in denen die Erdkabelleitungen im direkten Vergleich hinsichtlich der Störanfälligkeit besser beurteilt werden.

## 6 Anhang

### 6.1 Anhang 1: Übersicht von Studien zur allgemeinen Betrachtung der alternativen Verlegungsarten Freileitung/Erdkabelleitung

- [1.1] 2010, Dena-Netzstudie II - Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 - 2020 mit Ausblick auf 2025, Herausgeber: Deutsche Energie-Agentur, Bericht (620 Seiten).
- [1.2] 2006, Design and operation of EHV transmission lines including long insulated cable and overhead sections, Verfasser: Colla, L.; Gatta, F.M.; Iliceto, F.; Lauria, S., erschienen in: Power Engineering Conference, IPEC 2005, Artikel (10 Seiten).
- [1.3] 2007, Bewertung der Optimierungspotenziale zur Integration der Stromerzeugung aus Windenergie in das Übertragungsnetz, Herausgeber: Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Verfasser: RWTH Aachen; FGE e.V.; FGH e.V.; ISET e.V., Bericht (210 Seiten).
- [1.4] 2009, Bericht über die Ergebnisse der Anhörung zum Prüfungs- und Beurteilungsschema "Kabel-Freileitung" auf 220/380-kV-Ebene (ohne punktierte Kosten), Herausgeber: Bundesamt für Energie, Bericht (24 Seiten).
- [1.5] 2008, Bericht zum Prüfungs- und Beurteilungsschema "Kabel-Freileitung" auf 220/380-kV-Ebene, Herausgeber: Bundesamt für Energie, Bericht (23 Seiten).
- [1.6] 2007, Integration von Windenergie in ein zukünftiges Energiesystem unterstützt durch Lastmanagement („Wind und Last“): Task 2.3: Netzerweiterungskosten, Herausgeber: Fraunhofer-ISE, Bericht (29 Seiten).
- [1.7] 2010, Technische Möglichkeiten und Kosten transeuropäischer Elektrizitätsnetze als Basis einer 100% erneuerbaren Stromversorgung in Deutschland mit dem Zeithorizont 2050: Optionen der elektrischen Energieübertragung und des Netzausbaus, Herausgeber: Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), Verfasser: Brakelmann, H.; Erlich, I. (Universität Duisburg-Essen), Bericht (89 Seiten).
- [1.8] 2004, Netzverstärkungs-Trassen zur Übertragung von Windenergie: Freileitung oder Kabel ?, Herausgeber: Bundesverband WindEnergie, Verfasser: Brakelmann, H. (Universität Duisburg-Essen), Bericht (132 Seiten).
- [1.9a] 2005, Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020 (dena-Netzstudie I), Herausgeber: Deutsche Energie-Agentur, Bericht (342 Seiten).
- [1.9b] 2005, Anhang zu: Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020 (dena-Netzstudie I), Herausgeber: Deutsche Energie-Agentur.
- [1.10] 2005, Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020 (Anhang A), Herausgeber: Deutsche Energie-Agentur, Bericht (90 Seiten).

- [1.11] 2009, Naturschutzfachliche Analyse von küstennahen Stromleitungen, Herausgeber: GFN; GEO; Uni Duisburg-Essen, Bericht (299 Seiten).
- [1.12] 2005, Elektromog in der Umwelt, Herausgeber: BUWAL, Broschüre (60 Seiten).
- [1.13] 2010, Improvement of the visual impact of the 400-kV-grid, Herausgeber: ENERGINET/DK, Bericht (62 Seiten).
- [1.14] 2003, Untersuchungen zum Einsatz von Höchstspannungskabeln großer Längen in der 400-kV-Ebene, Herausgeber: Dissertation an der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Duisburg-Essen, Bericht (80 Seiten).
- [1.15] 2008, Niederfrequente Magnetfelder und Krebs, Herausgeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bericht (120 Seiten).
- [1.16] 2001, Ökologie beim Leitungsbau - Untersuchung der Auswirkungen auf Natur und Landschaft und ökologische Bauaufsicht bei der Errichtung einer 380-kV-Leitung, Herausgeber: Verbund, Bericht (147 Seiten).
- [1.17] 2009, Vogelschutz an Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1kV, Herausgeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bericht (20 Seiten).
- [1.18] 2005, Comparison of the Reliability of a 400 kV Underground Cable with an Overhead Line for a 200 km Circuit, Herausgeber: Transpower, Bericht (14 Seiten).
- [1.19] 2010, Transmission Technologies and Technical Developments: Cable vs. Overhead – AC vs. DC – Innovations, Herausgeber: Renewables-Grid-Initiative, Bericht (11 Seiten).
- [1.20] 2002, Unit Costs of constructing new transmission assets at 380kV within the European Union, Norway and Switzerland, Herausgeber: ICF Consulting Ltd, Bericht (65 Seiten).
- [1.21] 2003, Undergrounding of Electricity Lines in Europe, Herausgeber: Europäische Kommission, Bericht (38 Seiten).
- [1.22] 2006, Umweltverträglichkeitsgutachten für die Umweltverträglichkeitsprüfung nach UVP-G 2000 für das Vorhaben 380-kV-Freileitung von St. Peter am Hart zum Umspannwerk Salzach Neu (Salzburgleitung), Herausgeber: Amt der Salzburger Landesregierung/Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bericht (712 Seiten).
- [1.23] 2008, Die elektrotechnischen Grundlagen für die Planung der 380-kV-Höchstspannungsleitung, Herausgeber: ESAT; Electra, Bericht (59 Seiten).
- [1.24] 2003, Positionspapier der European Transmission System Operators (ETSO) zur Verwendung von Erdkabeln beim Ausbau europäischer 400-kV-Netze, Herausgeber: ETSO, Bericht (19 Seiten).
- [1.25] 2005, Use of non-conventional technologies for increasing capacity in transmis-

sion networks, Herausgeber: CESI; Ramboll; Mercados; Comillas, Bericht (42 Seiten).

- [1.26] 2004, Neue Auswertung der Berichtsjahre 1994 bis 2001 Ermittlung von Eingangsdaten für Zuverlässigkeitsberechnungen aus der VDN-Störungsstatistik, Herausgeber: IAEW-RWTH Aachen; FGH; VDN, Bericht (13 Seiten).
- [1.27] 2002, Zur Auswahl des optimalen Netzzugangs- und Übertragungstarifmodells für Länderübergreifenden Stromhandel. Eine Analyse am Beispiel Italien-Österreich, Herausgeber: Dissertation an der TU Wien, Bericht (163 Seiten).
- [1.28] 2006, Technischer und wirtschaftlicher Vergleich von Übertragungsalternativen im Höchstspannungsnetz, Verfasser: Oswald, R.; Müller, A.; Krämer, M., Erschienen in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 56(8), Artikel (8 Seiten).
- [1.29] 2010, 100% erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar, Herausgeber: Sachverständigenrat für Umweltfragen, Bericht (94 Seiten).
- [1.30] 2005, Vergleichende Studie zu Stromübertragungstechniken im Höchstspannungsnetz, Herausgeber: ForWind, Bericht (95 Seiten).

## 6.2 Anhang 2: Übersicht von Studien zur projektorientierten Betrachtung der alternativen Verlegungsarten Freileitung/Erdkabelleitung

- [2.1] 2007, Abtransport der in den Kraftwerken Kopswerk I & II und Rodundwerk II der Vorarlberger Illwerke AG erzeugten elektrischen Energie, Herausgeber: RWTH Aachen, Bericht (52 Seiten).
- [2.2] 2010, Umweltpsychologische Untersuchung der Akzeptanz von Maßnahmen zur Netzintegration Erneuerbarer Energien in der Region Wahle – Mecklar (Niedersachsen und Hessen), Herausgeber: Forschungsgruppe Umweltpsychologie, Bericht (31 Seiten).
- [2.3] 2009, Gutachten: 380/220-kV-Leitung Beznau-Birr - Studie Teilverkabelung Riniken. Anmerkungen zu den Stellungnahmen von NOK, ESTI, SWISSGRID, Herausgeber: Gemeindeverwaltung Riniken, Schweiz, Bericht (44 Seiten).
- [2.4] 2009, Begutachtung eines Vergleichs von Leitungsbauvarianten des Energieversorgers EOS, Herausgeber: CONSENTEC, Bericht (19 Seiten).
- [2.5] 2009, 380/220-kV-Leitung Beznau-Birr - Studie Teilverkabelung Riniken. Anmerkungen zu den Stellungnahmen von NOK, ESTI und SWISSGRID, Herausgeber: Gemeindeverwaltung Riniken, Schweiz, Bericht (76 Seiten).
- [2.6] 2004, Umbau 220-kV-Leitung Beznau-Birr auf 380/220 kV - Studie Teilverkabelung Riniken, Herausgeber: Nordostschweizerische Kraftwerke (NOK), Bericht (36 Seiten).
- [2.7] 2008, 380-kV-Leitung Krümmel - Schwerin/Görries: Umweltfachlicher Variantenvergleich (Freileitung - Kabel), Herausgeber: UmweltPlan, Bericht (67 Seiten).
- [2.8] 2009, 380-kV-Verbindung Halle - Schweinfurt. Abschnitt 380-kV-Leitung Altenfeld - Redwitz: Raumordnungsverfahren Umweltverträglichkeitsstudie, Herausgeber: Vattenfall Europe Transmission, Bericht (456 Seiten).
- [2.9] 2008, Gutachten zu Stromübertragungstechniken im Höchstspannungsnetz. Teil 2 Vergleichende Bewertung von Freileitung und Kabel nach technischen betrieblichen und wirtschaftlichen Kriterien, Herausgeber: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern, Bericht (53 Seiten).
- [2.10] 2001, Teilverkabelung der 380-kV-Leitung Zwaring - Rotenturm - Kurzfassung, Herausgeber: Institut für elektrische Anlagen und Hochspannungstechnik - Abteilung für Hochspannungstechnik (TU Graz), Verfasser: Muhr, M.; Woschitz, R., Bericht (38 Seiten)
- [2.11] 2007, Integration von Windenergie in ein zukünftiges Energiesystem unterstützt durch Lastmanagement - Zwischenbericht, Herausgeber: Fraunhofer – ISE; Fraunhofer ISI, Bericht (115 Seiten).
- [2.12] 2004, Overview of the Proposed 400kV Overhead Transmission line near Beauly, Scotland, Herausgeber: ICF Consulting Ltd, Bericht (20 Seiten).

- [2.13] 2009, Begutachtung der NOK-Studie: Umbau 220-kV-Leitung Beznau-Birr auf 380/220 kV Teilverkabelung Riniken, Herausgeber: Gemeindeverwaltung Riniken, Schweiz, Bericht (52 Seiten).
- [2.14] 2006, Gutachten zur Bewertung einer alternativen Verkabelung der geplanten 110-kV-Hochspannungsfreileitungen Baumstraße-Lüstringen und Pkt. Belm-Powe, Herausgeber: Oswald, B. R.; Krämer, M. (Uni Hannover), Bericht (53 Seiten).
- [2.15] 2005, Salzburgleitung. Salzach neu – St. Peter. Zusammenfassung der Umweltverträglichkeitserklärung, Herausgeber: Verbund Umwelttechnik GmbH, Bericht (122 Seiten).
- [2.16] 2006, Expertise zum Teileinsatz einer 400-kV-Kabelstrecke von 1 km Länge in eine Freileitungsverbindung zwischen den Umspannwerken Görries und Krümmel, Herausgeber: Fichtner, Bericht (28 Seiten).
- [2.17] 2005, Genehmigung nach dem UVP-G 2000 betr. die Errichtung und den Betrieb der sog. 380-kV-Steiermarkleitung für den in der Steiermark gelegenen Abschnitt, Herausgeber: Steiermärkischen Landesregierung, Bericht (345 Seiten).
- [2.18] 2005, Stellungnahme zu Bewertung der 380-KV-Leitung Rotenturm und öffentliche Interesse an der Errichtung der 380-KV-Steiermarkleitung, Herausgeber: Urban System Engineering, Bericht (31 Seiten).
- [2.19] 2005, Gutachten zur Bewertung der 380-kV- Steiermark– Leitung aus energietechnischer Sicht, Herausgeber: TU Ilmenau, Verfasser: Noack, F. Bericht (32 Seiten).
- [2.20] 2005, Undergrounding of Extra High Voltage Transmission Lines, Herausgeber: The Highland Council, Bericht (102 Seiten).
- [2.21] 2009, Machbarkeitsstudie Südwest Kuppelleitung Halle-Schweinfurt Abschnitt Altenfeld - Redwitz zur Teilverkabelung am Rennsteig (Thüringer Wald), Herausgeber: Vattenfall Europe Netzservice GmbH, Bericht (72 Seiten).
- [2.22] 2007, 380-kV-Salzburgleitung Auswirkungen der möglichen (Teil)Verkabelung des Abschnittes Tauern-Salzach neu, Herausgeber: Energie-Control GmbH, Wien, Bericht (79 Seiten).
- [2.23] 2005, Machbarkeitsstudie zum Einsatz von 380-kV-Hochspannungskabeln in Bahn- bzw. Autotunnelanlagen, Herausgeber: TU Ilmenau, Verfasser: Fachgebiet Elektrische Energieversorgung, Bericht (54 Seiten).
- [2.24] 2005, Netzeinbindung von Windenergie in Schleswig-Holstein (‘Netzeinbindung’), Herausgeber: Jarass, L.; Obermair, G. M., Bericht (33 Seiten).
- [2.25] 2006, Wirtschaftlicher Vergleich äquivalenter Freileitungs- und Kabelabschnitte innerhalb einer Höchstspannungsübertragungsstrasse, Herausgeber: TU Ilmenau, Verfasser: Fachgebiet Elektrische Energieversorgung, Bericht (54 Seiten).

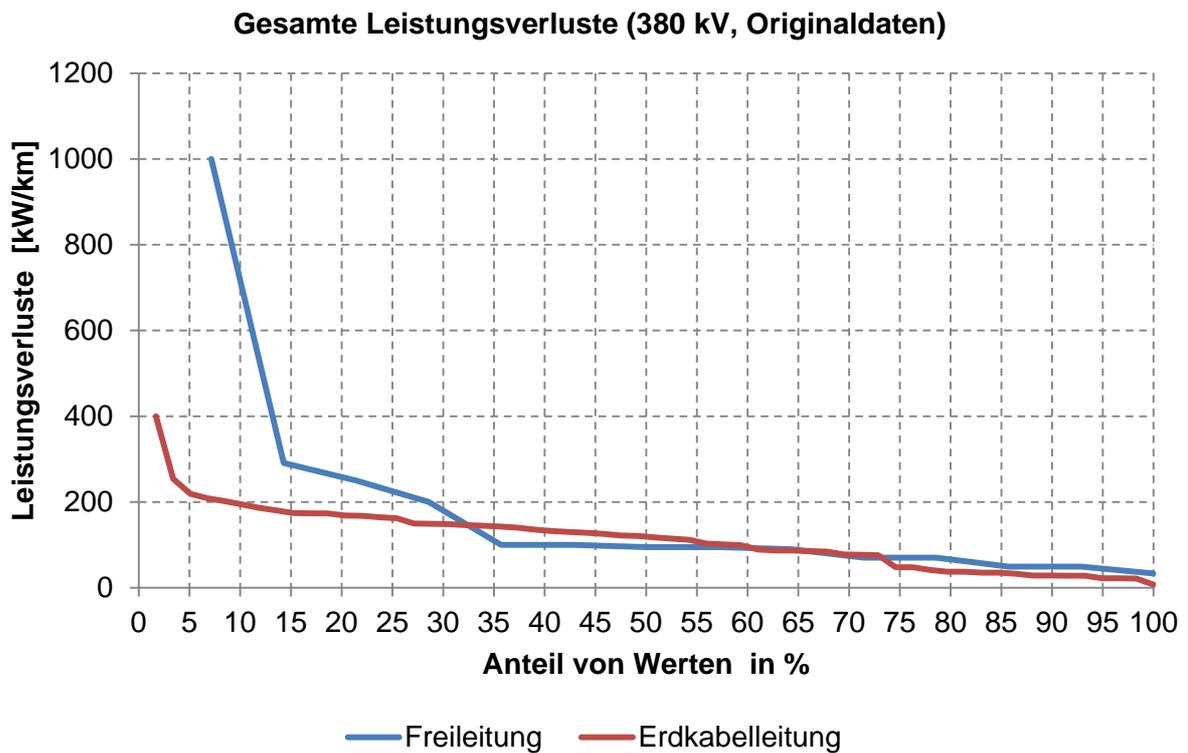
- [2.26] 2007, Wissenschaftliches Gutachten zu Notwendigkeit der geplanten 380-kV-Verbindung Raum Halle - Raum Schweinfurt, Herausgeber: ATW - Forschung, Bericht (134 Seiten).
- [2.27] 2010, Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz, Herausgeber: Bundesamt für Strahlenschutz, Bericht (394 Seiten)
- [2.28] 2005, Umbau 132-kV-Leitung Wattenwil - Mühlenberg auf 220 kV, Studie Teilverkabelung Rümelingen, Bericht (66 Seiten).
- [2.29] 2011, Gutachten zur Verkabelung der Hochspannungsleitung durch Rüschlikon, Herausgeber: Gemeindeverwaltung Rüschlikon, Abteilung Hochbau, Planung und Liegenschaften, Bericht (59 Seiten)
- [2.30] 2007, Machbarkeitsstudie 380-kV-Kabel für Salzburg. Mit besonderem Augenmerk auf den 1. Teilabschnitt in Salzburg, Bericht (190 Seiten)<sup>23</sup>
- [2.31] 2007, Machbarkeitsstudie Erdverlegung 380/220-kV-Leitung „Chippis-Mörel“ im Abschnitt Pfywald, EOS Arbeitsgruppe Machbarkeitsstudie Erdverlegung, Bericht (53 Seiten).
- [2.32] 2009, Begutachtung eines Vergleichs von Leitungsbauvarianten für das Leitungsbauprojekt „Chippis – Mörel“, CONSENTEC, Kurzgutachten für Bundesamt für Energie, Bericht (20 Seiten).
- [2.33] 2010, Machbarkeitsstudie Erdverlegung 380/220-kV-Leitung „Chippis-Mörel“ im Abschnitt Pfywald-Turtmann - Zusatzbericht zur Machbarkeitsstudie der Erdverlegung im Pfywald vom Dezember 2007, Alpiq: Arbeitsgruppe „Prüfen der Machbarkeit einer gemeinsamen Realisierung A9 und Erdverlegung Hochspannungsleitung“, Bericht (65 Seiten).

---

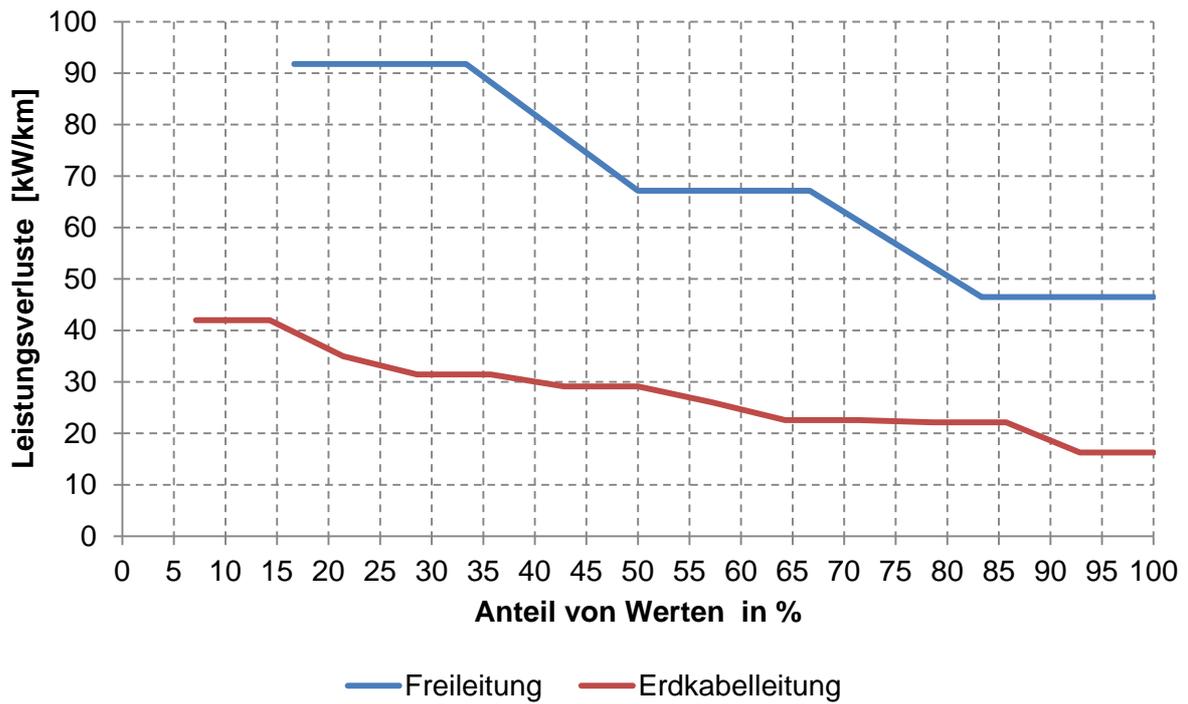
<sup>23</sup> Übergeben vom Verfasser am 20.07.2011

### 6.3 Anhang 3: Zusammenstellung von Originaldaten aus dem Studienset zum Thema „Verluste“ (projektorientierte Studien)

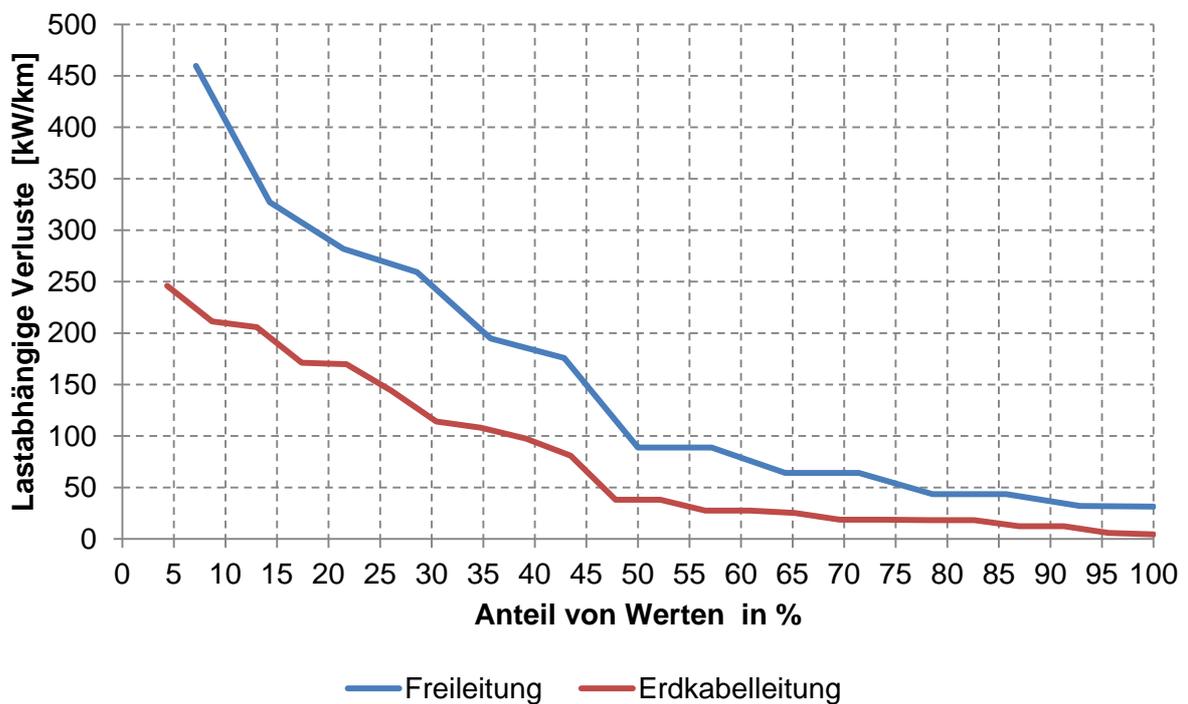
Die Informationen zu den gesamten Leistungsverlusten in den betrachteten Studien basieren auf unterschiedlichen Bezugscharakteristiken (Leiter, Phase, System, Gesamtstrecke). Trotzdem erfolgt die Angabe der Zahlenwerte innerhalb jeder einzelnen Studie einheitlich. Das ermöglicht sowohl einen direkten Wertevergleich als auch eine statistische Betrachtung der Zahlengesamtheit.



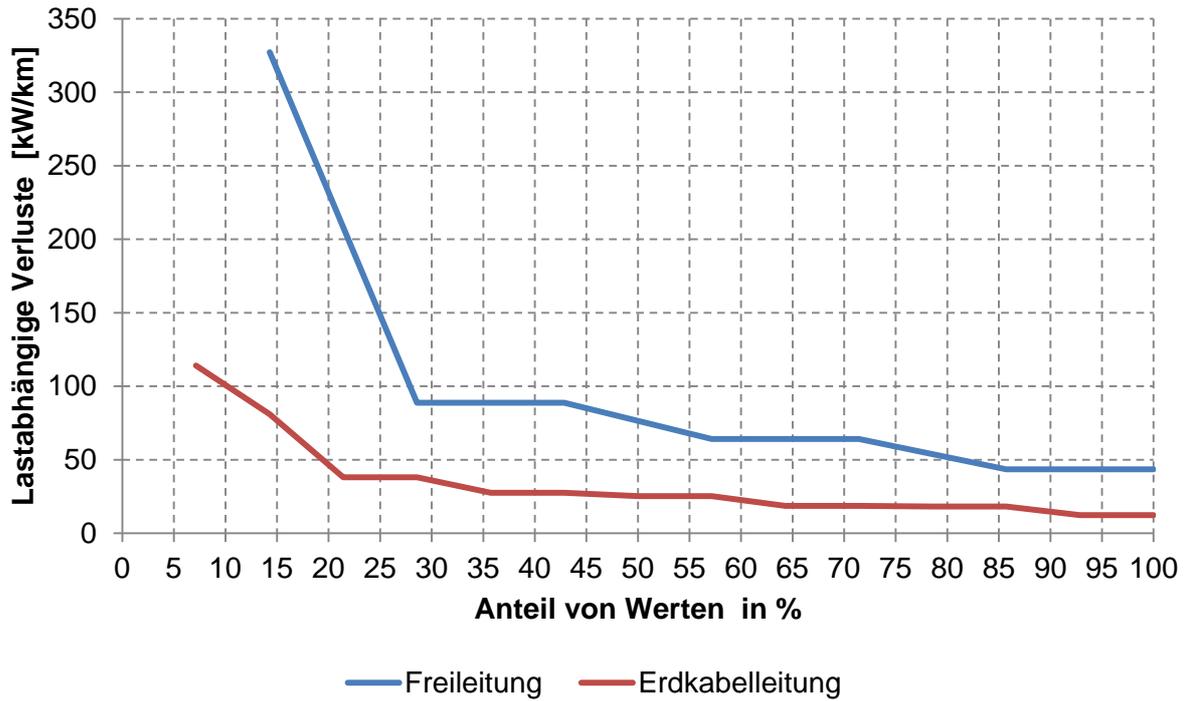
**Gesamte Leistungsverluste (220 kV, Originaldaten)**



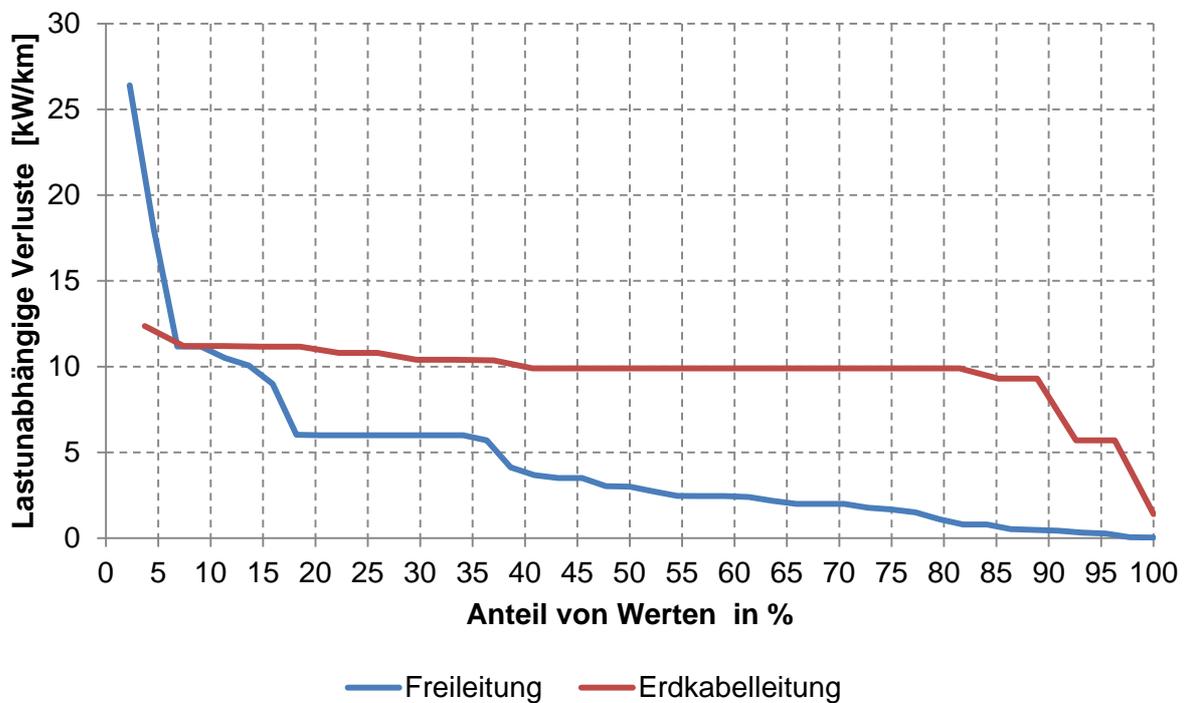
**Lastabhängige Verluste (380 kV, Originaldaten)**



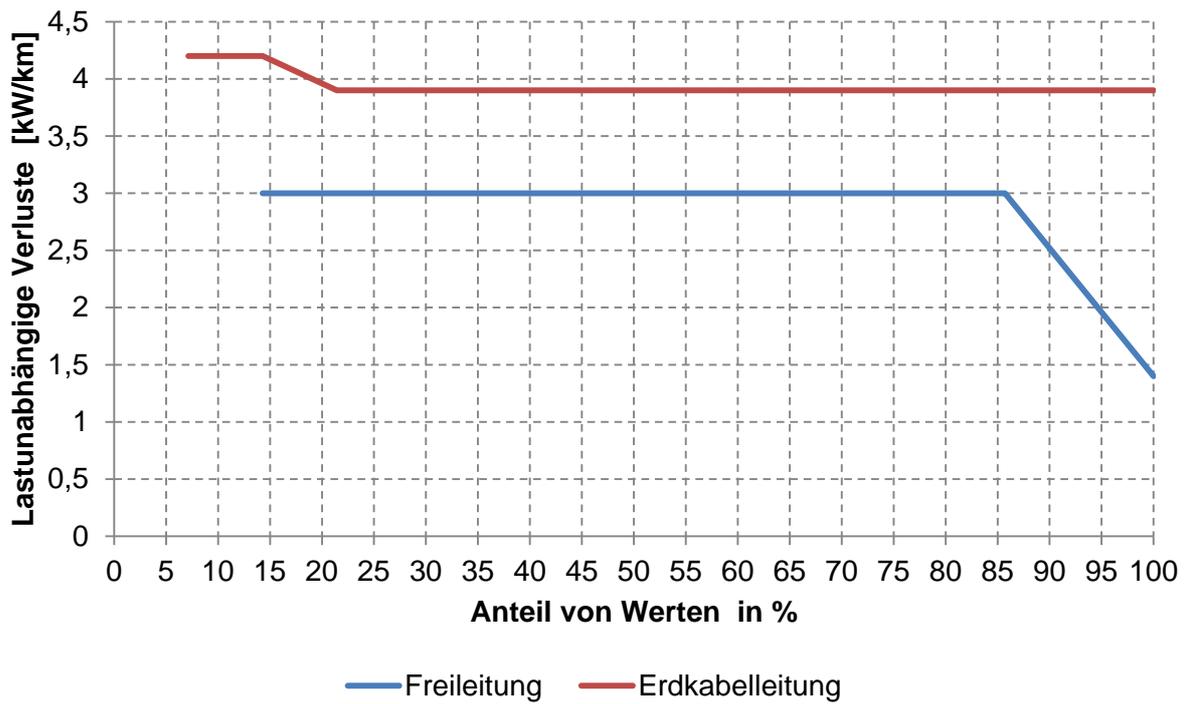
**Lastabhängige Verluste (220 kV, Originaldaten)**



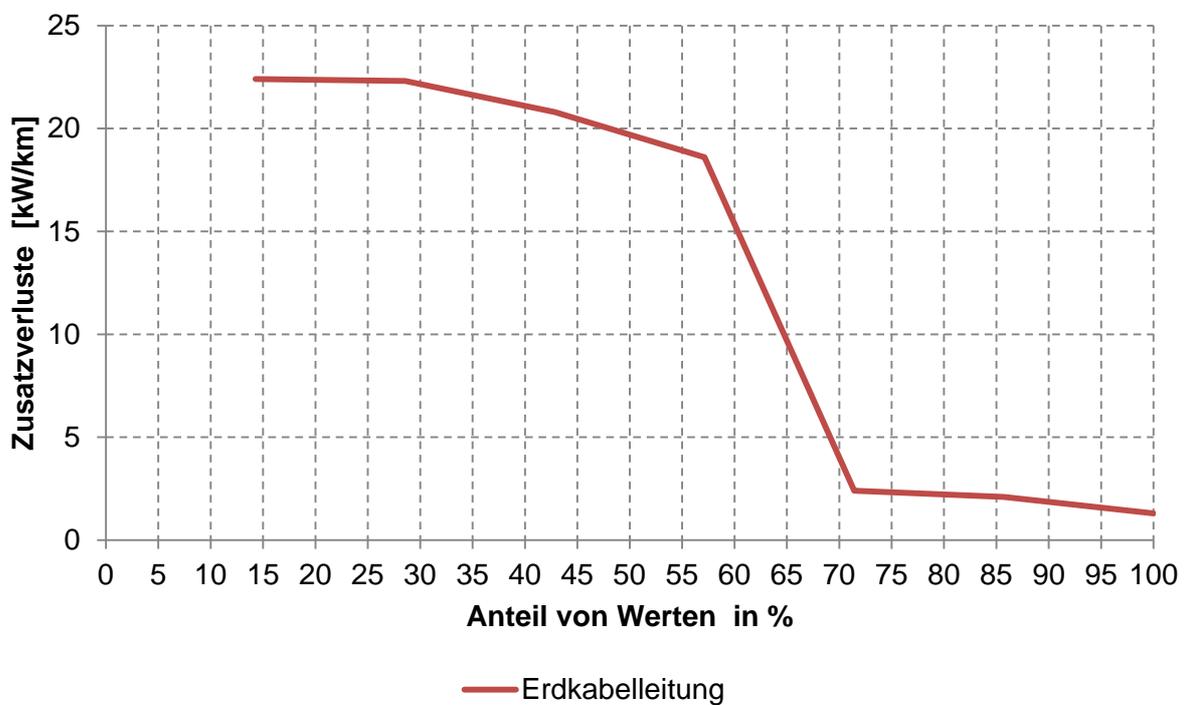
**Lastunabhängige Verluste (380 kV, Originaldaten)**



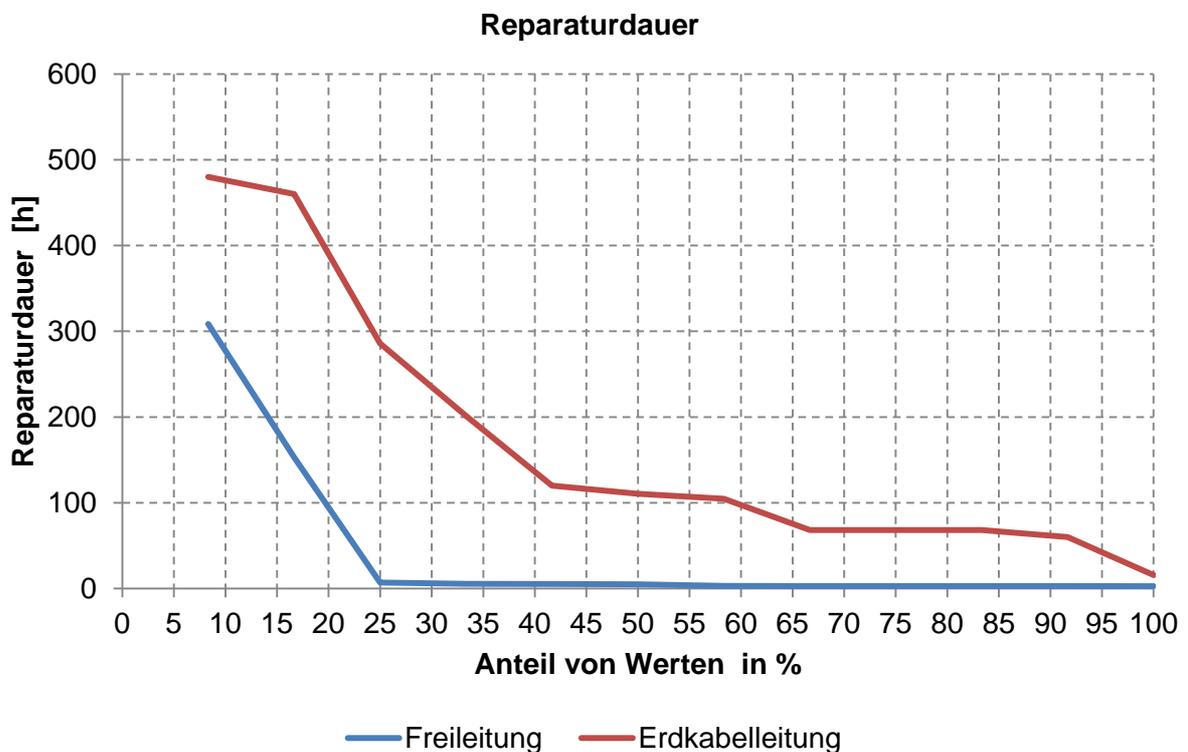
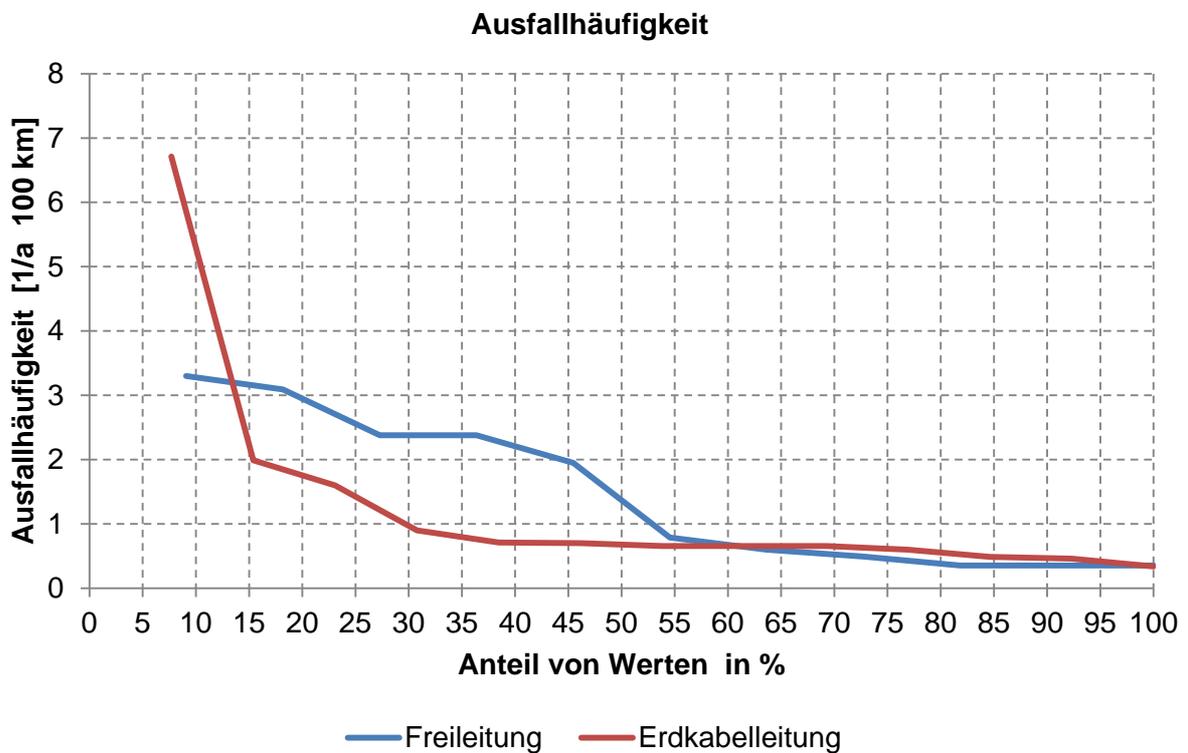
**Lastunabhängige Verluste (220 kV, Originaldaten)**

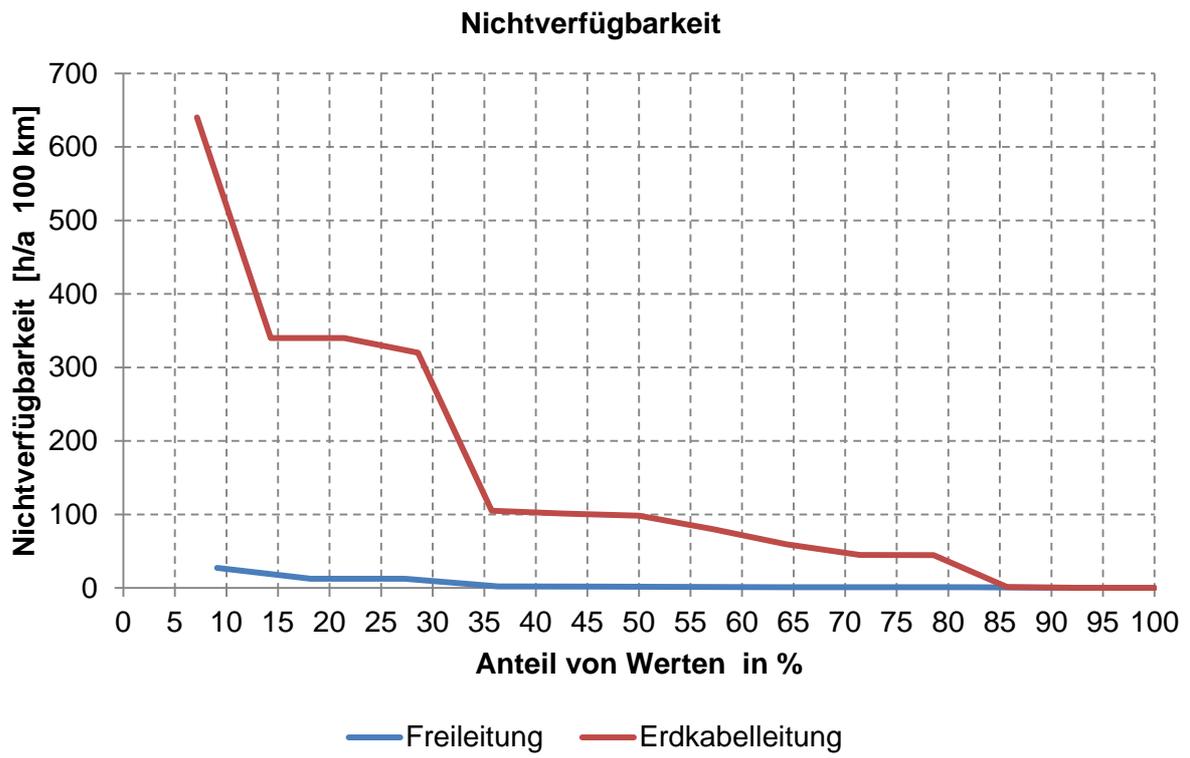


**Zusatzverluste (380 kV, Originaldaten)**

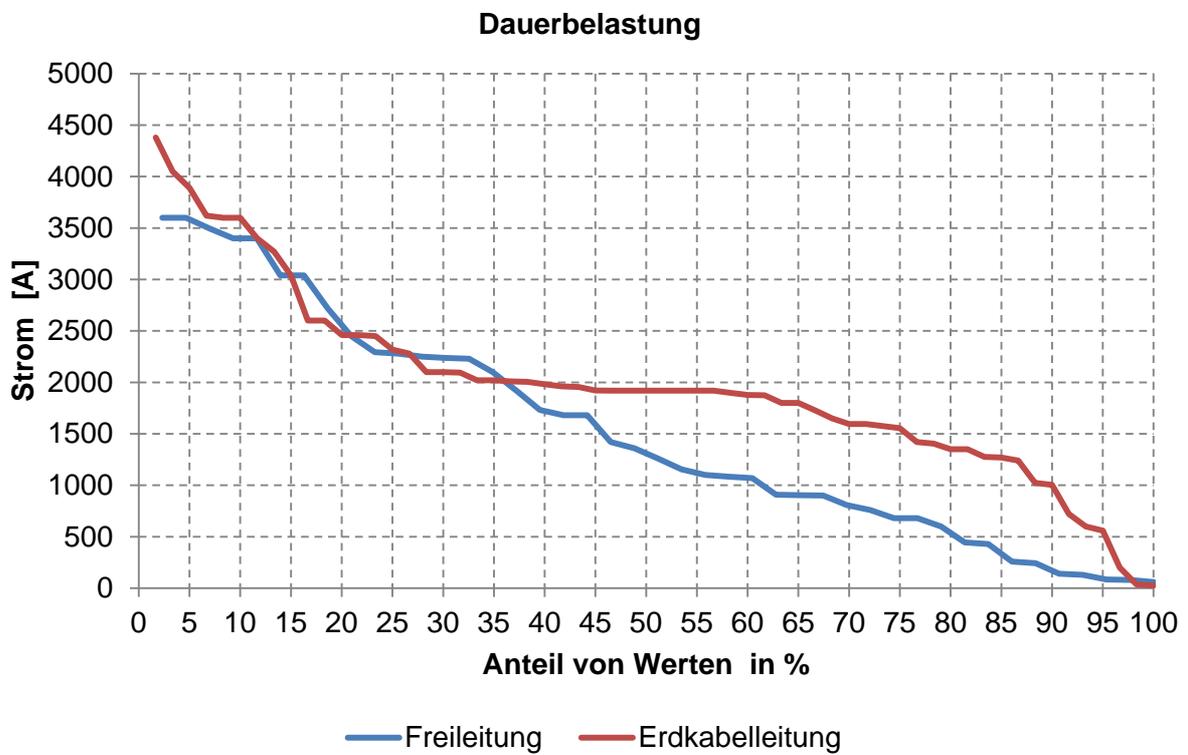
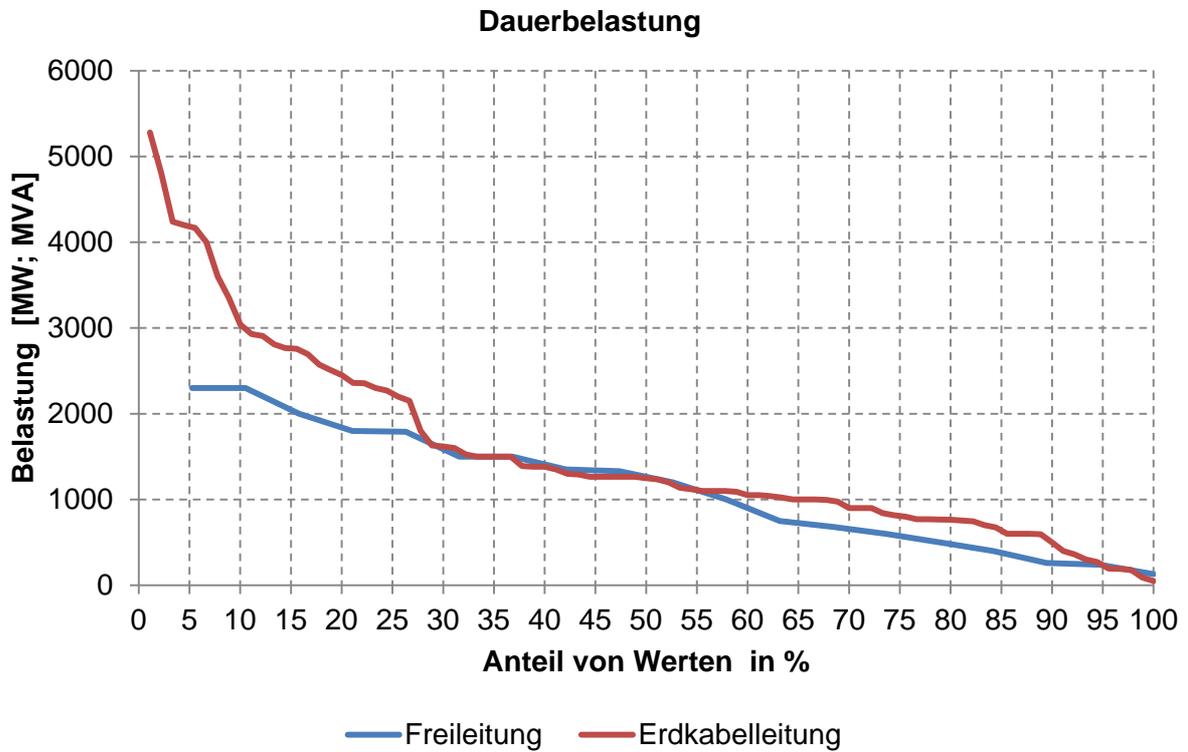


6.4 Anhang 4: Zusammenstellung von Originaldaten aus dem projektorientierten Studienseit zu den Themen „Nichtverfügbarkeit“ und „Versorgungssicherheit“





6.5 Anhang 5: Zusammenstellung von Originaldaten aus dem projektorientierten Studienseit zum Thema „Netzauslastung“



## 6.6 Anhang 6: Befunde zum Kriterium elektrische Felder

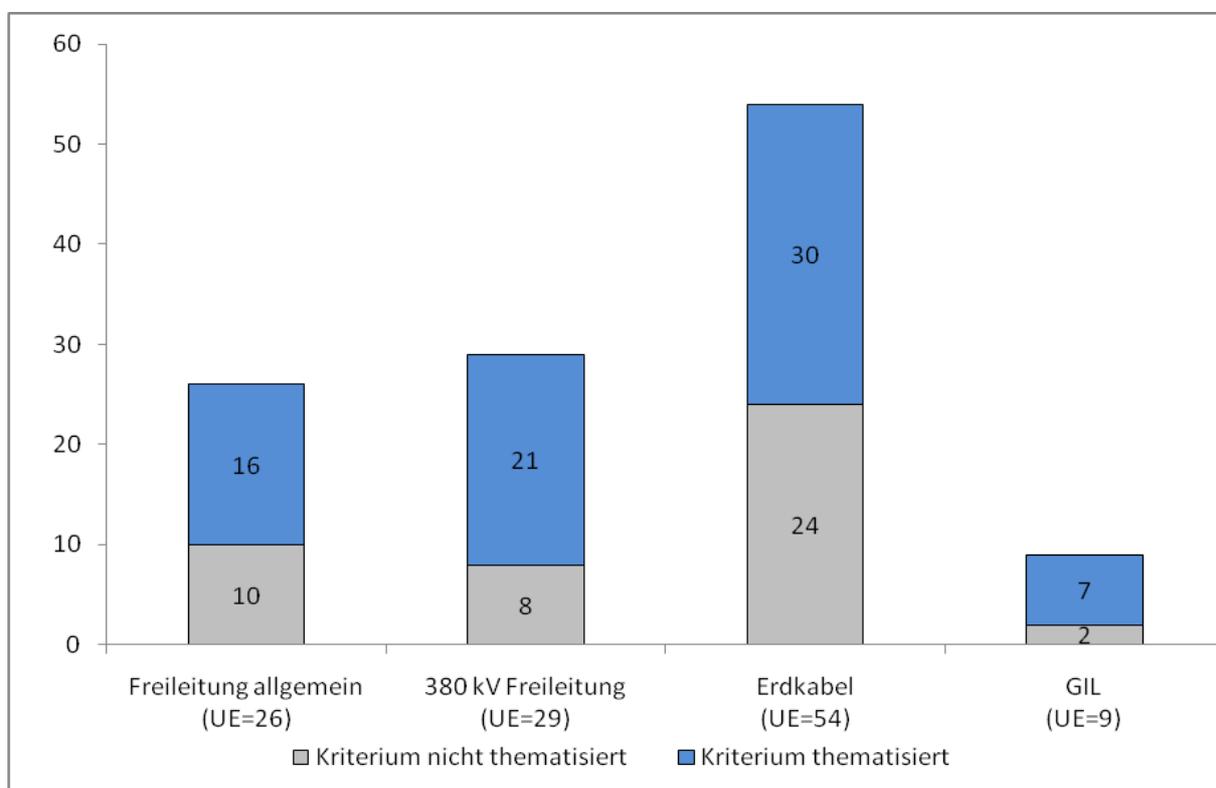
### Thematisierung von Auswirkungen durch elektrische Felder [BELEKTRISCH1]

Es wird codiert, ob elektrische Felder und/oder deren Auswirkungen während des Betriebs dargestellt sind. Sowohl explizite Auswirkungen auf Menschen als auch allgemeine Auswirkungen ohne Nennung, auf wen sie zu treffen, werden hier codiert. Dazu zählen:

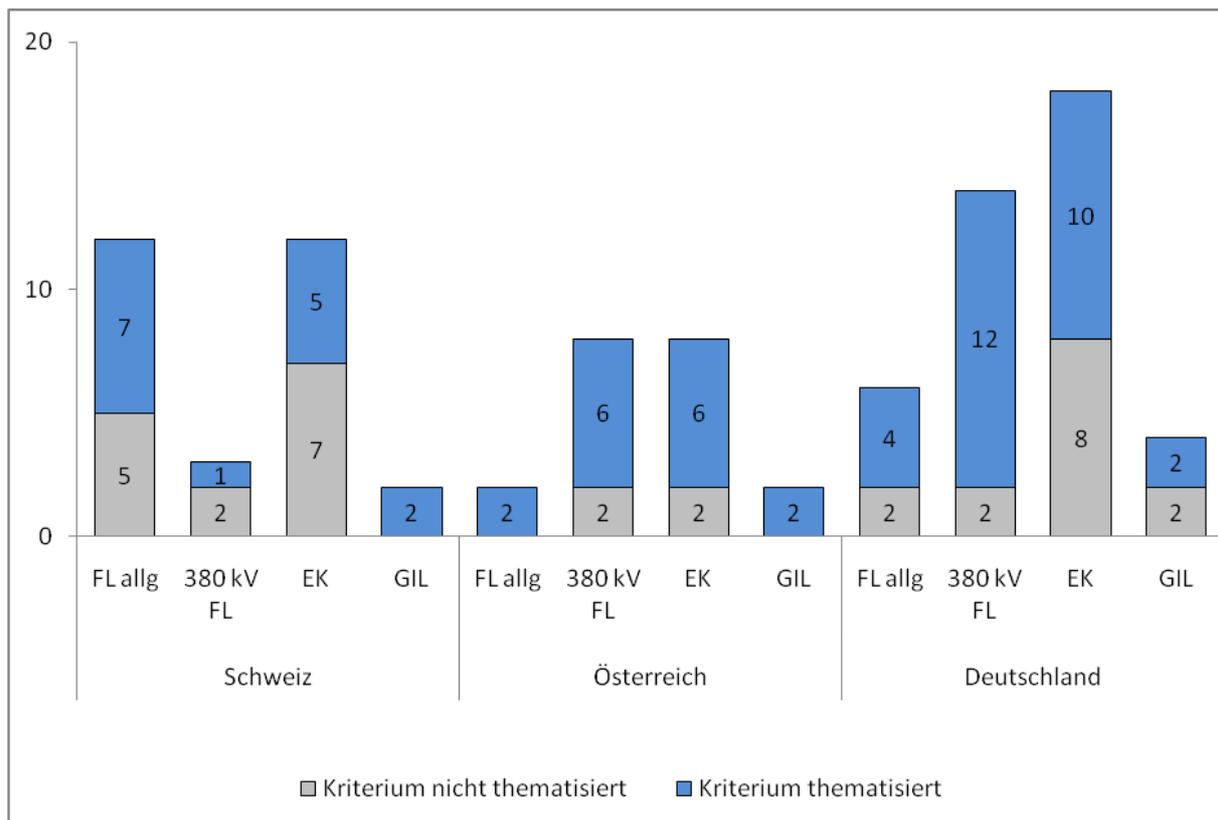
- Krankheiten, z.B. Krebs
- Änderung des Melatoninspiegels
- Schlafstörungen, Depressive Verstimmungen, Müdigkeit
- Verhaltensveränderungen
- Beeinträchtigung der Lernfähigkeit
- Veränderung des Wachstums, Stoffwechsels, genetischen Materials der Zellen

Nicht thematisiert

Thematisiert



**Bild 6.1:** Thematisierung der Auswirkungen durch elektrische Felder (insgesamt)

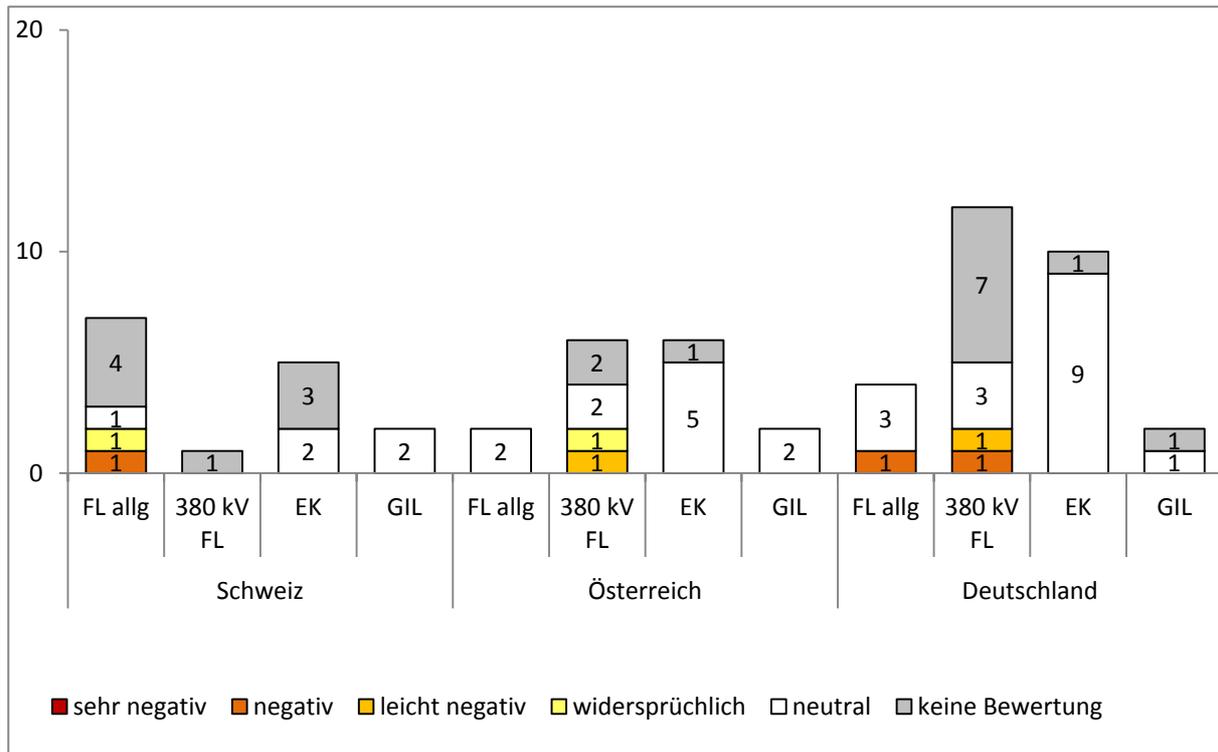


**Bild 6.2:** Thematisierung der Auswirkungen elektrischer Felder (nach Ländern)

### Bewertung der Auswirkungen durch elektrische Felder [BELEKTRISCH2]

Hier werden die Auswirkungen der elektrischen Felder während des Betriebs bewertet.

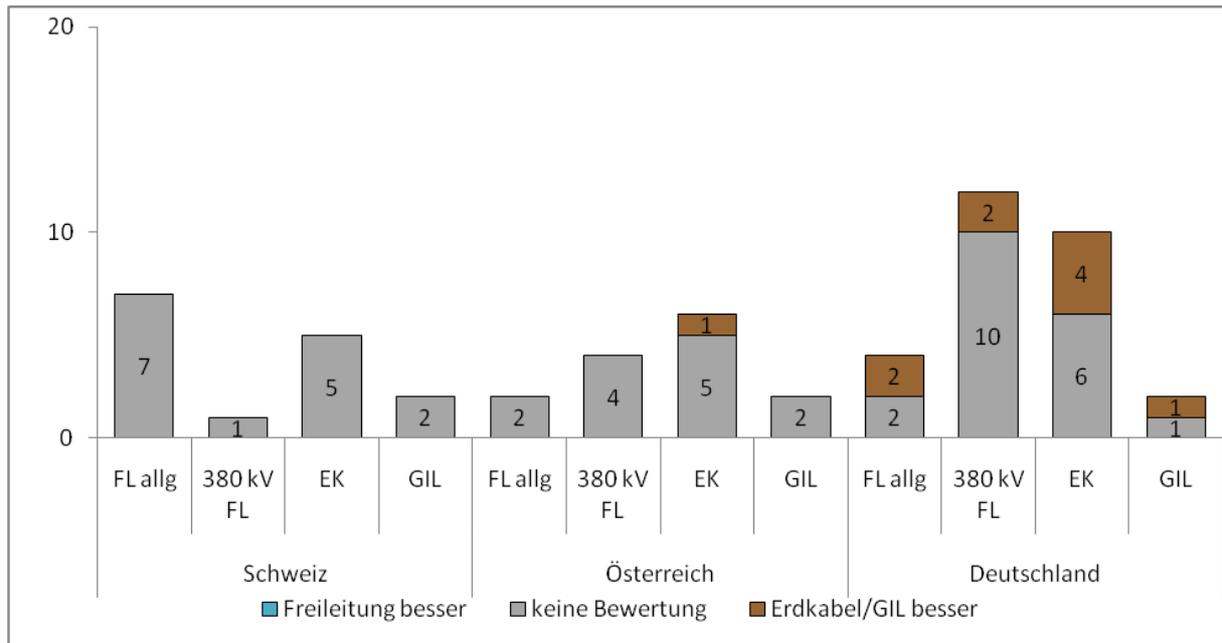
<input type="radio"/>	neutrale Bewertung - Auswirkungen werden als unerheblich, vernachlässigbar oder nicht beeinträchtigend eingestuft
<input type="radio"/>	keine Bewertung - „keine Bewertung getroffen“ wenn die Auswirkungen lediglich aufgezählt werden
<input type="radio"/>	widersprüchliche Bewertung - Auswirkungen werden sowohl als neutrale als auch als negativ dargestellt und eine konkrete bzw. eindeutige Bewertung wird vermieden
<input type="radio"/>	leicht negative Bewertung - Auswirkungen werden als leicht beeinträchtigend angesehen
<input type="radio"/>	negative Bewertung - Auswirkungen werden allgemein als negativ/beeinträchtigend ohne weitere Spezifikation angegeben - Auswirkungen werden mit einer moderaten Beeinträchtigung angegeben
<input type="radio"/>	sehr stark negative Bewertung - Auswirkungen werden als schwerwiegend/bedeutend angesehen



**Bild 6.3:** Bewertung der Auswirkungen durch elektrische Felder

### Bewertung der Auswirkungen im Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung [BELEKTRISCH3]

Beim direkten Vergleich wird codiert, ob einer der beiden Leitungstypen (Freileitung versus Erdkabelleitung) hinsichtlich seiner Auswirkungen besser bewertet wurde.	
<input type="radio"/>	kein direkter Vergleich: Freileitung versus Erdkabelleitung
<input type="radio"/>	Freileitung besser als Erdkabelleitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen durch magnetische Felder von Freileitungen</i>
<input type="radio"/>	Erdkabelleitung besser als Freileitung bewertet - <i>Weniger bzw. weniger schwerwiegende Auswirkungen durch magnetische Felder von Erdkabelleitungen</i>



**Bild 6.4:** Bewertung der Auswirkungen durch elektrische Felder im Vergleich

## 6.7 Anhang 7: Studiengrundgesamtheit

*Bibliographische Feldreferenz: Jahr, Name, Verfasser, (Quelle), (Inst., (Anlass), Form*

- 2000, XLPERFORMANCE Hochspannungskabeltechnik, ABB; Dellby, B.; Bergman, G.; Karlstrand, J.; Kaumanns, J., Artikel
- 2001, Ökologie beim Leistungsbau - Untersuchung der Auswirkungen auf Natur und Landschaft und ökologische Bauaufsicht bei der Errichtung einer 380-kV-Leitung, Schriftenreihe der Forschung im Verbund, Schriftenreihe, Bericht
- 2001, Teilverkabelung der 380-kV-Leitung Zwaring - Rotenturm - Kurzfassung, Institut für elektrische Anlagen und Hochspannungstechnik - Abteilung für Hochspannungstechnik, Studie im Auftrag der Gemeinde Empersdorf, Bericht
- 2001, L'APPORT DE NOUVELLES TECHNOLOGIES DANS L'ENFOUISSEMENT DES LIGNES ÉLECTRIQUES À HAUTE ET TRÈS HAUTE TENSION, Frankreich, Herausgeber: Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Bericht
- 2002, TECHNICAL ISSUES REGARDING THE INTEGRATION OF HVAC UNDERGROUND CABLE SYSTEMS IN THE NETWORK, On behalf of CIGRE Working Group 21.19; ROIZARD, T.; MEREGALLI, S.; OHNO, H.; LARSEN, J. E.; KARLSTRAND, J.; MIKKELSEN, S. D.; ARGAUT, P., Session CIGRÉ, Artikel
- 2002, Unit Costs of constructing new transmission assets at 380kV within the European Union, Norway and Switzerland, ICF Consulting Ltd, DG TREN/European Commission, Final Report
- 2002, Zur Auswahl des optimalen Netzzugangs- und Übertragungstarifmodells für Länderübergreifenden Stromhandel - eine Analyse am Beispiel Italien - Österreich, Tragner, M. (TU Wien), Dissertation
- 2003, ETSO position on use of underground cables to develop European 400kV networks, ETSO, Positionspapier ETSO
- 2003, Untersuchungen zum Einsatz von Höchstspannungskabeln großer Längen in der 400-kV-Ebene (=Studien-Nr.89, TUI12), Laures, W. (Universität Duisburg- Essen), Doktorarbeit
- 2003, UNDERGROUNDING OF ELECTRICITY LINES IN EUROPE, COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Background Paper
- 2003, Positionspapier der European Transmission System Operators (ETSO) zur Verwendung von Erdkabeln beim Ausbau europäischer 400-kV-Netze, ETSO, Stellungnahme der Vereinigung der Europäischen Übertragungsnetzbetreiber/Übersetzung der englischen Version/, Artikel
- 2003, Untersuchung der APG zur Frage der Verkabelung der Steiermarkleitung, Verbund Austrian Power Grid AG, PP<sup>24</sup> Vortrag
- 2004, Netzverstärkungs-Trassen zur Übertragung von Windenergie: Freileitung oder Kabel ?, Brakelmann, H. (Universität Duisburg-Essen), Studie im Auftrag des Bundesverbands WindEnergie e.V., Bericht

<sup>24</sup> PP = Powerpoint

- 2004, Umbau 220-kV-Leitung Beznau-Birr auf 380/220-kV-Studie Teilverkabelung Riniken, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Studie zur Teilverkabelung Riniken, Bericht
- 2004, „Wir Steirer installieren in unserem grünen Wohnzimmer nur unter Putz“ Zusammenfassende Einwendungen der betroffenen Gemeinden zur UVP der 380-KV-Freileitung, Hoffmann, H.; Hoffmann, M.; Integral, PP Vortrag
- 2004, Overview of the Proposed 400kV Overhead Transmission line near Beaully, Scotland, ICF Consulting Ltd, Report
- 2004, Neue Auswertung der Berichtsjahre 1994 bis 2001 Ermittlung von Eingangsdaten für Zuverlässigkeitsberechnungen aus der VDN-Störungsstatistik, RWTH; FGH; E.ON Netz GmbH; VDN, Bericht
- 2004, Kostenvergleich Freileitungen - Erdkabeln, Brakelmann, H. (Uni Duisburg-Essen), Gutachten, Auszug aus der Studie
- 2005, Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020, DEWI; E.ON Netz; EWl; RWE Transportnetz Strom; VE Transmission, Studie im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena), Bericht
- 2005, Elektrosmog in der Umwelt, BUWAL, Informationen zu Elektrosmog, Broschüre
- 2005, Vergleichende Studie zu Stromübertragungstechniken im Höchstspannungsnetz (= Studien-Nr. 47, TUI7), ForWind, Studie zur Trassenplanung, Bericht
- 2005, Vergleichende Studie zu Stromübertragungstechniken im Höchstspannungsnetz - Kurzfassung (=Studien-Nr. TUI11), ForWind, Studie zur Trassenplanung, Bericht
- 2005, Positionspapier Erdkabel, Hoffmann, M., PP Vortrag
- 2005, Undergrounding high voltage electricity transmission - The technical issues, National Grid, Informationen zu technischen Problemen, Bericht
- 2005, Comparison of the Reliability of a 400 kV Underground Cable with an Overhead Line for a 200 km Circuit, Asset Development Group; TRANSPOWER, preliminary investigations, Bericht
- 2005, Design and operation of EHV transmission lines including long insulated cable and overhead sections, Colla, L.; Gatta, F. M.; Iliceto, F.; Lauria, S., IEEE, Power Engineering Conference, IPEC 2005, Department of Electrical Engineering, University of Rome "La Sapienza", Conference Paper
- 2005, Netzeinbindung von Windenergie: Erdkabel oder Freileitung?, Jarass, L.; Obermair, G., Energiewirtschaftliche Tagesfragen 55. Jg. (2005) Heft 6, FH Wiesbaden / Uni Regensburg, Artikel
- 2005, Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020 (Anhang A), DEWI; E.ON Netz; EWl; RWE Transportnetz Strom; VE Transmission, Studie im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena), Bericht
- 2005, USE OF NON-CONVENTIONAL TECHNOLOGIES FOR INCREASING CAPACITY IN TRANSMISSION NETWORKS, CESI; Ramboll; Mercados; Comillas, Positionspapier

- 2005, PROJET DE LIGNE ELECTRIQUE A 400 000 V « COTENTIN – MAINE » ETUDE DES ALTERNATIVES A LA AERIENNE, RTE, Bericht
- 2005, BESCHIED der Steiermärkischen Landesregierung Genehmigung nach dem UVP-G 2000 betr. die Errichtung und den Betrieb der sog. 380-kV-Steiermarkleitung für den in der Steiermark gelegenen Abschnitt, AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, Bescheid
- 2005, Allgemeine Bemerkungen und Stellungnahme zu 1. Bewertung der 380KV-Leitung Rotenturm – Kainachtal aus volkswirtschaftlicher und regionalwirtschaftlicher Sicht und 2. Ermittlung der besonderen 3. Das öffentliche Interesse an der Errichtung der 380KV-Steiermarkleitung regionalwirtschaftlichen Interessen an der Errichtung dieser Leitung sowie volkswirtschaftlichen und besonderen, Urban System Engineering; Stigler, H.; Hoffmann, M., Gutachten
- 2005, Gutachten zur Bewertung der 380-kV-Steiermark-Leitung aus energietechnischer Sicht, Noack, F., TU Ilmenau, Bericht
- 2005, Höchstspannungsnetze: Freileitung oder Kabel? Eine Analyse der Vattenfall Europe AG mit dem Beispiel des 380-kV-Kabelprojekts in Berlin, VATTENFALL EUROPE: WISSEN 01/05 DATEN, FAKTEN, EINBLICKE IN DIE ENERGIEWIRTSCHAFT, Vattenfall Zeitschrift, Bericht
- 2005, Machbarkeitsstudie zum Einsatz von 380-kV-Hochspannungskabeln in Bahn- bzw. Autotunnelanlagen, Technische Universität Ilmenau, Studie im Auftrag der Vattenfall Europe Transmission GmbH, Bericht
- 2005, Netzeinbindung von Windenergie in Schleswig-Holstein („Netzeinbindung“), Jarass, L.; Stanford University; Obermair, G. M., Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein, Bericht
- 2005, Undergrounding of Extra High Voltage Transmission Lines, The Highland Council / Cairngorms National Park Authority & Scottish Natural Heritage, Issue
- 2005, Salzburgleitung Salzach neu – St. Peter Zusammenfassung der Umweltverträglichkeitserklärung, Verbund Umwelttechnik GmbH; Bellina, C., Bericht
- 2005, Genehmigung nach dem UVP-G 2000 betr. die Errichtung und den Betrieb der sog. 380-kV-Steiermarkleitung für den in der Steiermark gelegenen Abschnitt, Herausgeber: Steiermärkischen Landesregierung, Bericht
- 2005, Umbau 132-kV-Leitung Wattenwil – Mühlenberg auf 220 kV, Studie Teilverkabelung Rümelingen, Bericht
- 2006, Comprehensive use of High Voltage AC cables in the Transmission Systems, DTU; iet; Aalborg University; ENERGIENET/DK, Vorschlag für Forschungszusammenarbeit und 2 industrielle Doktorarbeiten, Bericht
- 2006, Cables versus overhead lines The occupation of land, Aanhaanen, G., PP Vortrag
- 2006, Umweltverträglichkeitsgutachten für die Umweltverträglichkeitsprüfung nach UVP-G 2000 für das Vorhaben 380-kV-Freileitung von St. Peter am Hart zum Umspannwerk Salzach Neu (Salzburgleitung), Amt der Salzburger Landesregierung und Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Bericht

- 2006, Gutachten zur Bewertung einer alternativen Verkabelung der geplanten 110-kV-Hochspannungsleitungen Baumstraßer-Lüstringen und Prt. Belm-Powe, Oswald, B. R.; Krämer, M., Uni Hannover, Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgung Universität Hannover, Bericht
- 2006, Expertise zum Teileinsatz einer 400-kV-Kabelstrecke von 1 km Länge in eine Freileitungsverbindung zwischen den Umspannwerken Görries und Krümmel, Fichtner, Studie im Auftrag VATTENFALL Europe Transmission GmbH, Bericht
- 2006, PROJET DE LIGNE ELECTRIQUE A 400 000 V « COTENTIN – MAINE » EXPER-TISE DE LA SOCIETE CESI SUR LES ALTERNATIVES A LA LIGNE A TRES HAUTE TENSION COTENTIN-MAINE, RTE, Bericht
- 2006, Ausbau des Stromtransportnetzes: Technische Varianten im Vergleich, DENA, Artikel
- 2006, Erdkabel schlägt Freileitung, Bundesverband WindEnergie e.V., Hintergrundinformation zur Studie "Netzverstärkungs-Trassen zur Übertragung von Windenergie: Freileitung oder Kabel?", Bericht
- 2006, Technischer und wirtschaftlicher Vergleich von Übertragungsalternativen im Höchstspannungsnetz, Oswald, B. R.; Müller, A.; Krämer, M., Bericht in "Stromnetzte"
- 2006, Wirtschaftlicher Vergleich äquivalenter Freileitungs- und Kabelabschnitte innerhalb einer Höchstspannungsübertragungstrasse, Technische Universität Ilmenau, Studie im Auftrag der Vattenfall Europe Transmission GmbH, Bericht
- 2007, Abtransport der in den Kraftwerken Kopswerk I & II und Rodundwerk II der Vorarlberger Illwerke AG erzeugten elektrischen Energie, RWTH Aachen, Wissenschaftliche Studie im Auftrag der Vorarlberger Illwerke AG, Bericht
- 2007, Bewertung der Optimierungspotenziale zur Integration der Stromerzeugung aus Windenergie in das Übertragungsnetz, FGE e.V.; RWTH Aachen; FGH e.V.; ISET e.V., Wissenschaftliche Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bericht
- 2007, Integration von Windenergie in ein zukünftiges Energiesystem unterstützt durch Lastmanagement („Wind und Last“): Task 2.3: Netzerweiterungskosten, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Zusammenfassung wissenschaftlicher Studien, Bericht
- 2007, Verlust- und Verlustenergieabschätzung für das 380-kV-Leitungsbauvorhaben Wahle – Mecklar in der Ausführung als Freileitung oder Drehstromkabelsystem, Oswald, B. R., Leibniz Universität Hannover, Technische Aspekte zu Leitungsbauvorhaben Wahle-Mecklar, Bericht
- 2007, Statistics of AC underground cable in power networks, Technical Brochure
- 2007, Integration von Windenergie in ein zukünftiges Energiesystem unterstützt durch Lastmanagement -Zwischenbericht, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme; Fraunhofer Institut für System - und Innovationsforschung, Studie zu Lastmanagement, Bericht
- 2007, 380-kV-Salzburgleitung Auswirkungen der möglichen (Teil)Verkabelung des Abschnittes Tauern-Salzach neu, Oswald, B. R., Leibniz Universität Hannover, Gutachten im Auftrag von Energie-Control GmbH Wien, Bericht

- 2007, Wissenschaftliches Gutachten zu Notwendigkeit der geplanten 380-kV-Verbindung Raum Halle - Raum Schweinfurt, ATW - Forschung, Gutachten im Auftrag verschiedener Landräte, (Ober-)Bürgermeister und Bürgerinitiativen aus Südthüringen und Oberfranken, Bericht
- 2007, Machbarkeitsstudie Erdverlegung 380/220-kV-Leitung „Chippis-Mörel“ im Abschnitt Pfywald, Herausgeber: EOS, Bericht
- 2008, Bericht zum Prüfungs- und Beurteilungsschema "Kabel-Freileitung" auf 220/380-kV-Ebene (ohne punktierte Kosten), AG LVS, Bericht zum Prüfungs- und Beurteilungsschema "Kabel-Freileitung", Bericht
- 2008, Chamoson-Chippis - Technical proposal and Cost estimation (englisch, französisch), ABB, Technischer Antrag und Angebotskalkulation, Bericht
- 2008, Europacable position statement: Manufacturing capacity for extra high voltage (EHV) cables, Europacable, Positionspapier
- 2008, Teil- oder Komplettverkabelung der 380-kV-Leitung St. Peter – Salzach – Tauern im Bundesland Salzburg, KEMA, PP Vortrag
- 2008, Niederfrequente Magnetfelder und Krebs, Schweizerische Eidgenossenschaft, UVEK, Bewertung von wissenschaftlichen Studien im Niedrigdosisbereich., Bericht
- 2008, Interpretation der neuen CIGRE-Ausfallstatistik von VPE-Kabeln, nkt cables, Interpretation CIGRE-Ausfallstatistik von VPE-Kabeln, Bericht
- 2008, Verlegung von Erdkabeln in der Hoch- und Höchstspannung: Internationale Erfahrungen , Europacable, ETP-Konferenz, PP Vortrag
- 2008, Technologieperspektiven für Betriebsmittel - Kabel und Freileitungen -, Nexans , 6. CIGRE/CIRED – Informationsveranstaltung « Europäische Netze im Wandel », PP Vortrag
- 2008, 380-kV-Leitung Krümmel - Schwerin/Görries Umweltfachlicher Variantenvergleich (Freileitung - Kabel), UmweltPlan, Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern, Bericht
- 2008, Gutachten zu Stromübertragungstechniken im Höchstspannungsnetz für die 380-kV-Leitung Schwerin/Görries nach Krümmel (Abschnitt Mecklenburg-Vorpommern) sowie zu dem Ringschluss des 110-kV-Leitungsnetzes Teilstrecken Görries-Gammelín und Wittenburg-Zarrentin - Teil 2 Vergleichende Bewertung von Freileitung und Kabel nach technischen betrieblichen und wirtschaftlichen Kriterien, Oswald, B. R., Leibniz Universität Hannover, Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern, Bericht
- 2008, CAVAN - TYRONE AND MEATH-CAVAN 400KV PROJECTS, PB Power, PRELIMINARY BRIEFING NOTE, Bericht
- 2008, Policy on the use of Overhead Line and/or Underground Cable, EirGrid, First Issue
- 2008, CAVAN – TYRONE 400kV TRANSMISSION LINE MEATH – CAVAN 400kV TRANSMISSION LINE EirGrid's Position on the use of Overhead Line and/or Underground Cable for these Projects, EirGrid, Positionspapier
- 2008, Schonend, sicher und effizient HVDC Light®-Kabel als Energieübertragungssystem der Zukunft, Energie und Versorgung, Zeitschriftenaufsatz

- 2008, Die elektrotechnischen Grundlagen für die Planung der 380-kV-Höchstspannungsleitung, Research group Electra, Studie zur Notwendigkeit der Südwest-Koppelleitung, Bericht
- 2008, CESI, Titel unbekannt, Annexe 1, DESCRIPTION DETAILLÉE DES TECHNOLOGIES ALTERNATIVES À L'AÉRIEN ET AU CÂBLE ENTERRE TECHNOLOGIE EN TENSION CONTINUE SOUS-MARINE TECHNOLOGIE EN TENSION CONTINUE TERRESTRE (AÉRIENNE ET ENFOUÏE) TECHNOLOGIE EN CÂBLES À ISOLATION GAZEUSE TECHNOLOGIE EN SUPRACONDUCTEURS, Bericht
- 2009, Transport elektrischer Energie mit Höchstspannungen, ETH Zürich, PP Vortrag
- 2009, Alternativlösungen im Hochspannungs-Erdkabelleitungsbau, Nexans Suisse SA, ETG-Fachtagung, PP Vortrag
- 2009, Transport von elektrischer Energie mit Freileitungen und Kabeln: Erfahrungen beim Ausbau des Schweizer Höchstspannungsnetzes, Atel Netz AG, ETG-Fachtagung, PP Vortrag
- 2009, Erfahrungen der APG in der Diskussion über 380-kV-Verkabelungen, Austrian Power Grid AG, ETG-Fachtagung, PP Vortrag
- 2009, HGÜ – eine Technologie zur Lösung der Herausforderungen im europäischen Verbundnetz, ABB, ETG-Fachtagung, PP Vortrag
- 2009, Bericht über die Ergebnisse der Anhörung zum Prüfungs- und Beurteilungsschema "Kabel-Freileitung" auf 220/380-kV-Ebene (ohne punktierte Kosten), Schweizerische Eidgenossenschaft, UVEK, Bericht zur Anhörung des Prüfungs- und Beurteilungsschema "Kabel-Freileitung" im Auftrag des Bundesrats, Bericht
- 2009, 380/220-kV-Leitung Beznau-Birr Studie Teilverkabelung Riniken Anmerkungen zu den Stellungnahmen von Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK), Eidgenössisches Starkstrominspektorat (ESTI), SWISSGRID, Fröhlich; Glavitsch; UVEK/BAFU - (ohne Anhang); Brakelmann, H. (Universität Duisburg-Essen), Gutachten im Auftrag der Gemeindeverwaltung Riniken, Schweiz, Bericht
- 2009, Begutachtung eines Vergleichs von Leitungsbauvarianten des Energieversorgers EOS, CONSENTEC, Haubrich, H.-J., Kurzgutachten für Bundesamt für Energie
- 2009, Naturschutzfachliche Analyse von küstennahen Stromleitungen, GEO, Universität Duisburg-Essen; GFN, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrag des Bundesamts für Naturschutz, Bericht
- 2009, Beschränkung auf Vortrag 2: Freileitungsverkabelung - Was kann und darf die Politik dazu beitragen (Zusammenfassung StudienNr. 1,3,4,5 und 6), Killer, H., ETG-Fachtagung, PP Vortrag
- 2009, Optionen im Stromnetz für Hoch- und Höchstspannung: Freileitung/Erdkabel Drehstrom/Gleichstrom, Oswald, B. R. (Leibniz Universität Hannover), Vor- und Nachteile Freileitung, Erdkabel, PP Vortrag
- 2009, Position statement: environment impacts of EHV cables and overhead lines, Europacable, Positionspapier
- 2009, Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV, aet, FKH/ETG Fachtagung, PP Vortrag

- 2009, Extra High Voltage Underground Power Cables – Facilitating & Enabling Europe's Electricity Supply, Europacable, PP Vortrag
- 2009, Technische und ökonomische Parameter von Höchstspannungsleitungen am Beispiel der Südwestkuppelleitung, Vattenfall Europe Transmission, Fachsymposium und Auftaktworkshop Deutsche Umwelthilfe, PP Vortrag
- 2009, Beschwerdesache Gemeinde Riniken, Schweizerische Eidgenossenschaft, Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI, Stellungnahme zu Gutachten Brakelmann 2009, Einschreiben
- 2009, Responsible and innovative underground cable installation, TenneT, PP Vortrag
- 2009, 380-kV-Verbindung Halle - Schweinfurt Abschnitt 380-kV-Leitung Altenfeld – Redwitz Raumordnungsverfahren Umweltverträglichkeitsstudie, Vattenfall Europe Transmission, Umweltverträglichkeitsstudie, Bericht
- 2009, Vogelschutz an Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1kV, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE; Schweizerische Eidgenossenschaft; SBB CFF FFS, Vogelschutz, Bericht
- 2009, Assessment of the Technical Issues relating to Significant Amounts of EHV Underground Cable in the All-island Electricity Transmission System, Tokyo Electric Power Company, Public Report
- 2009, Pros and contras of power transmission by cable or overhead line, Schöffner, C. (Swiss Federal Office of Energy), PP Vortrag
- 2009, Begutachtung der NOK-Studie: Umbau 220-kV-Leitung Beznau-Birr auf 380/220-kV-Teilverkabelung Riniken, Brakelmann, H. (Universität Duisburg-Essen), Gutachten im Auftrag der Gemeindeverwaltung Riniken, Schweiz, Bericht
- 2009, Underground and Overhead Transmission Lines, Altalink / Epcor, Infoblatt zu Heartland Transmission Project
- 2009, Environmental impacts of extra high voltage cables and overhead lines, Leonardo ENERGY / HDK, Artikel
- 2009, Mehr Übertragungsleistung in Höchstspannungsnetzen, Jarass, L.; Obermair, G., energy 2.0 Februar 2009 | www.energy20.net, FH Wiesbaden / Uni Regensburg, Artikel
- 2009, Erdkabel statt Freileitung, Müller, K.; Neumann, V.; Brakelmann, H.; Jarass, L.; Stadt und Gemeinde 6/2009, Kooperation zwischen Stadt Plettenberg und SEWAG, Artikel
- 2009, Machbarkeitsstudie Südwest Kuppelleitung Halle-Schweinfurt Abschnitt Altenfeld - Redwitz zur Teilverkabelung am Rennsteig (Thüringer Wald) (=Studien-Nr. 91), Vattenfall Europe Netzservice GmbH, energy cable consult; SAG GmbH, Studie im Auftrag Vattenfall Europe Transmission GmbH; Generalmanager Netzausbau, Bericht
- 2009, On-site testing and monitoring of cable systems - with focus on PD monitoring, STRI, PP Vortrag
- 2009, Begutachtung eines Vergleichs von Leitungsbauvarianten für das Leitungsbauprojekt Chippis – Mörel, Herausgeber: Haubich, J.-H.; CONSENTEC, Bericht

- 2009, Le projet france – espagne: Point sur le projet de LIAISON SOUTERRAINE en COURANT CONTINU, Herausgeber: Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité, Bericht
- 2010, Umweltpsychologische Untersuchung der Akzeptanz von Maßnahmen zur Netzintegration Erneuerbarer Energien in der Region Wahle – Mecklar (Niedersachsen und Hessen), Forschungsgruppe Umweltpsychologie, Umweltpsychologische Studie für Projekt der Deutschen Umwelthilfe "Forum Netzintegration Erneuerbare Energien", Bericht
- 2010, Technische Möglichkeiten und Kosten transeuropäischer Elektrizitätsnetze als Basis einer 100% erneuerbaren Stromversorgung in Deutschland mit dem Zeithorizont 2050: Optionen der elektrischen Energieübertragung und des Netzausbaus, Brakelmann, H.; Erlich, I. (Universität Duisburg-Essen), Studie im Auftrag des Rats von Sachverständigen für Umweltfragen, Bericht
- 2010, dena-Netzstudie II - Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick auf 2025., 50Hertz Transmission; Ampri- on; DEWI; EnBW Transportnetze; EWI; Fraunhofer IWES; TenneT, Studie im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena), Bericht
- 2010, Planung neuer Leitungen in Niedersachsen - Ausblick, transpower, PP Vortrag
- 2010, Challenges in undergrounding new lines and parts of existing 400 kV overhead lines, ENERGIENET/DK, PP Vortrag
- 2010, Übertragung elektrischer Energie (=Studien-Nr. TUI16), ETG, Positionspapier der ETG
- 2010, A TabuSearch approach used for planning the future Danish transmission network, ENERGIENET/DK, International Workshop on Power Cables in the transmission grid, PP Vortrag
- 2010, Principles of reactive power compensation in large AC cable systems, ENERGIENET/DK, International Workshop on Power Cables, PP Vortrag
- 2010, Cable modeling, Ametani, A. (Doshia University), PP Vortrag
- 2010, Laying formation and sheath bonding -effects on positive/zero sequence impedance and cable rating, Nexans, International Workshop on Power Cables in the transmission grid., PP Vortrag
- 2010, Implementation of underground cable projects, Vestjyske Net, International Workshop on Power Cables, PP Vortrag
- 2010, Existing standards for HV and EHV cable testing, from the perspective of the user, KEMA, International Workshop on Power Cables in the transmission grid, PP Vortrag
- 2010, Aktualisiertes wissenschaftliches Gutachten zu Notwendigkeit der geplanten 380-kV-Verbindung Raum Halle - Raum Schweinfurt, Jarass, L. (Universität Regensburg); Obermair, G. M. (Universität München), Gutachten im Auftrag der Gemeindeverwaltung Riniken, Schweiz, Bericht
- 2010, Improvement of the visual impact of the 400 kV grid, ENERGIENET/DK, Lösungsansätze für visuelle Verbesserung, Bericht

- 2010, Plan N- Handlungsempfehlungen an die Politik, Deutsche Umwelthilfe, Forum Netzintegration Erneuerbare Energien, Bericht
- 2010, SC B1 Review of Available Technical Brochures SC Available Technical Brochure, Cigre, International workshop on power cables, PP Vortrag
- 2010, Operational experience of high voltage power cable systems in Berlin and future planning for bulk power lines, 50Hertz Transmission, IEEE PES Swiss Chapter - Workshop on Power Cables, PP Vortrag
- 2010, Operation and Protection of HV Cable Systems in TEPCO, Teruo Ohno Tokyo Electric Power Company, PP Vortrag
- 2010, Short-circuit protection for combined overhead line-cable circuits, Elia, IEEE-cable workshop, PP Vortrag
- 2010, Partial undergrounding of extra high voltage power transmission lines – Stirling Visual Impact Mitigation Scheme, Europacable, Report
- 2010, EHV AC Undergrounding Electrical Power Performance and Planning, Benato, R.; Paolucci, A, Springer Verlag /ISBN: 978-1-84882-866-7, Buch
- 2010, Design Concepts of Cable Transmission Systems, ABB, International Workshop on Power Cables, PP Vortrag
- 2010, Field application of recent product developments, Prysmian, International Workshop on Power Cables, PP Vortrag
- 2010, Cable Systems and Components Power Cables and Accessories, Nexans, International Workshop on Power Cables, PP Vortrag
- 2010, Installations methods, Vestjyske Net, International Workshop on Power Cables, PP Vortrag
- 2010, UK Installation of 400kV Cable Circuits in Rural Areas, Southampton Dielectric Consultants Ltd., Cable Installation Workshop, Denmark, PP Vortrag
- 2010, Design and Operation of Cable Installations: Innovative Approaches, Brakelmann, H. (Universität Duisburg-Essen), Energienet, PP Vortrag
- 2010, Environmental impacts of powercables, Grontmij Carl Bro, International workshop on Power Cables, PP Vortrag
- 2010, Introduction on current rating, KEMA, International workshop on power cables in the transmission grid, PP Vortrag
- 2010, Energinet.dk's dynamic rating system, KEMA, International workshop on power cables in the transmission grid, PP Vortrag
- 2010, VALCAP Load Management Online Monitoring and Rating, nkt cables, PP Vortrag
- 2010, How to make power cable systems more reliable? Recommended maintenance of cable systems, nkt cables, ENERGINET/DK, International workshop on power cables, PP Vortrag
- 2010, Operational experiences, failures on cable systems IV, ENERGIENET/DK, International workshop on power cables, PP Vortrag

- 2010, 100% erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar, Sachverständigenrat für Umweltfragen, Stellungnahme
- 2010, Fantasie und intelligente Netze helfen Energie sparen, Der Bund, Artikel
- 2010, Background Paper on Transmission Options for the RGI Workshop on: Transmission Technologies and Technical Developments: Cable vs. Overhead – AC vs. DC – Innovations, Renewables Grid Initiative, Background Paper
- 2010, Concertation sur le projet de liaison électrique souterraine en courant continu France-Espagne, Herausgeber: Concertation - Liaison en courant continu France-Espagne, Bericht
- 2010, Concertation sur le projet de liaison électrique souterraine en courant continu France-Espagne, Herausgeber: Réseau de transport d'électricité, Bericht
- 2010, International Conference on HV Energy Transmission Denmark, Materialien
- 2010, Les effets sur la santé et l'environnement des champs électromagnétiques produits par les lignes à haute et très haute tension, Herausgeber: Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Bericht
- 2011, Joint paper: Feasibility and technical aspects of partial undergrounding of extra high voltage power transmission lines, ENTSO-E, Europacable, Aspekte zu EHC Power Überlandleitungen, Bericht
- 2011, Die Geister, die sie riefen, Die Weltwoche, Artikel
- 2011, 380-kV-Leitung Massongex-Ulrichen, Schweiz – Kanton Wallis, Medienmitteilung
- 2011, 380-kV-Leitung Massongex-Ulrichen: Resultat der Arbeit der vom Staatsrat beauftragten Experten, Herausgeber: Kanton Wallis, Schweiz, Medienorientierung
- 2011, 380/220-kV-Leitung Beznau-Birr, Teilstrecke Rüfenach (Mast Nr. 20 bis Mast Nr. 37) - Beschwerde gegen das Urteil vom 1. Juli 2010 des Bundesverwaltungsgerichts, Schweiz, Urteil
- 2011, Hochspannungsinfrastrukturen im Wallis, Verfasser: Brakelmann, H.; Fröhlich, K.; Püttgen, H. B., Medienorientierung
- 2011, Infrastructures de transport d'énergie électrique à haute tension dans le Canton du Valais - Ligne à haute tension Chamoson – Chippis, Verfasser: Brakelmann, H.; Fröhlich, K.; Püttgen, H. B., Bericht
- 2011, Machbarkeitsstudie Erdverlegung 380/220-kV-Leitung „Chippis-Mörel“ im Abschnitt Pfywald-Turtmann (Zusatzbericht zur Machbarkeitsstudie der Erdverlegung im Pfywald, 2007), Herausgeber: Alpiq Réseau SA Lausanne, Bericht
- 2011, Gutachten zur Verkabelung der Hochspannungsleitung durch Rüsclikon, Technische und finanzielle Machbarkeitsbeurteilung, Gemeindeverwaltung Rüsclikon, Ernst Basler + Partner AG, Bericht

*Ohne zeitliche Einordnung:*

- 200x, Chamoson-Chippis - Technical proposal and Cost estimation (deutsch), ABB, Technischer Antrag und Angebotskalkulation, Bericht

- 200x, Faktenblatt swisselectric betreffend Erdverlegung von Höchstspannungsleitungen, swisselectric, Handout
- 200x, Operational Aspects of Meshed AC Cable Networks, DigSILENT GmbH, International Workshop on Power Cables in the transmission grid, PP Vortrag
- 200x, UK Harmonic Flows and Harmonic Resonances in an AC Cable-based Grid, Enrique Acha, The University of Glasgow, Vortrag, PP Vortrag
- 200x, Protection of AC cable lines, ENERGIENET/DK, Vortrag, PP Vortrag
- 200x, Underground cables at EHV levels - innovative & reliable technology, Europacable, Allgemeine Fragen , Bericht
- 200x, Position statement: life cycle costs for EHV cables and overhead lines, Europacable, Positionspapier, Bericht
- 200x, Partial Undergrounding in environmentally sensitive areas, Europacable, Positionspapier, Bericht
- 200x, Technische Randbedingungen beim Einsatz und Betrieb von Freileitungen und Erdkabeln, Lutz Hofmann, Leibniz Universität Hannover, PP Vortrag
- 200x, Underground Cable: an innovative and reliable Technology, nkt cables, PP Vortrag
- 200x, Undergrounding HV and EHV – Window of Opportunity Opens, Campbell, A.; ICF; Gorham & Partners, PP Vortrag
- 200x, HV and EHV insulated Power Cables: Evolutions and Trends in a Changing Operating Environment, Schroth, R.; Pirelli, PP Vortrag
- 200x, Overhead or Underground A Comparison, Orton, H.; OCEI, PP Vortrag
- 200x, Overhead vs. Underground Information about undergrounding High-Voltage Transmission Lines, Socotransmission, Infoblatt zu Southern Colorado Transmission Improvement San Luis Valley – Calumet – Comanche Transmission Project, Artikel
- 200x, Fiche d'information swisselectric concernant l'enfouissement de lignes très haute tension, Swisselectric, Background Paper
- 200x, ENERGIETRANSPORT, -SPEICHERUNG UND -VERTEILUNG, Sauer, E. (Uni Duisburg –Essen), Vorlesungskurs
- 200x, Large Cross-Section 400 kV XLPE Cables and Accessories for Long Transmission AC Cable systems, General Cable, PP Vortrag
- 200x, Design of Transition Compounds for 400 kV in Denmark, ENERGIENET/DK, PP Vortrag
- 200x, Temperature monitoring of cables, SEAS NVE, PP Vortrag
- 200x, Failure statistics on cable systems What type of failures do we see?, Danish Energy Association, PP Vortrag
- 200x, Operational experiences Failures on cable systems II- Handling of cables failures, SEAS NVE, PP Vortrag
- 200x, Fault location on long cables, SYD ENERGI, PP Vortrag

## 6.8 Anhang 8: Zusammensetzung der Verluste

Die **Gesamtverluste** in einer Stromübertragungsstrasse setzen sich aus den *lastabhängigen*, *lastunabhängigen* und *zusätzlichen* Verlusten zusammen. Es ist weiterhin zwischen den **Leistungsverlusten** und den **Arbeitsverlusten** zu unterscheiden.

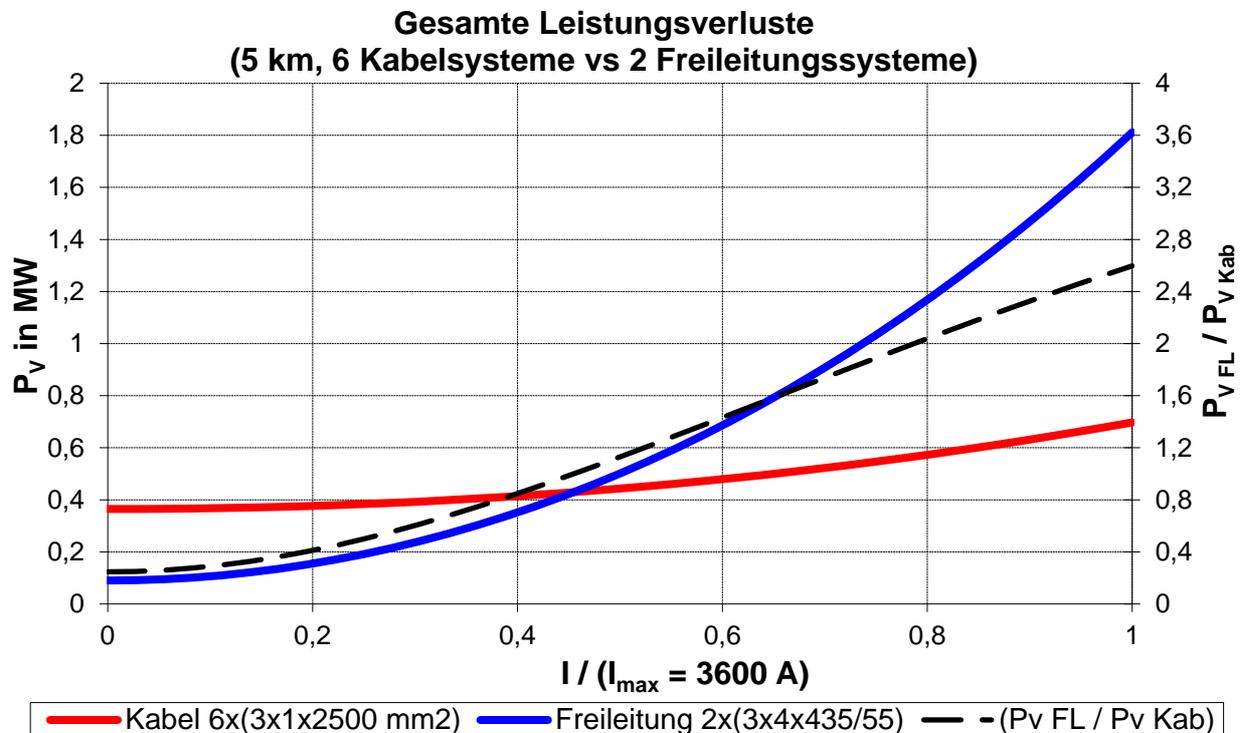
<b>Leistungsverluste</b>	auch <i>Verlustleistung</i> genannt ist die Differenz zwischen der am Leitungsanfang eingespeisten Leistung und der am Leitungsende abgenommenen Leistung.
<b>Arbeitsverluste</b>	auch <i>Verlustenergie</i> , <i>Verlustarbeit</i> , <i>Energieverluste</i> genannt sind das Integral der gesamten <b>Leistungsverluste</b> über die Betrachtungszeit. Im betrachteten Studienset werden oft die Arbeitsverluste per annum betrachtet.
<b>Lastabhängige Verluste</b>	auch <i>stromabhängige</i> oder <i>Joulesche Verluste</i> genannt sind die Leistungsverluste, die zur Erwärmung von leitenden Teilen bei der Stromübertragung führen und quadratisch vom übertragenen Stromwert abhängig sind.
<b>Lastunabhängige Verluste</b>	auch <i>spannungsabhängige</i> oder <i>Leerlaufverluste</i> genannt sind die Leistungsverluste, die im Isolierungsmedium entstehen und von der angelegten Spannung abhängig sind. Dazu werden auch die Verluste von den Ableitströmen über die Isolatorenoberflächen sowie die Korona-Verluste mitgezählt.
<b>Zusatzverluste</b>	sind die Verluste in Kabelschirmen, in Kompensationsdrosseln sowie der für die Kabelkühlung erforderliche Leistungsverbrauch. Diese Verluste treten nur bei Erdkabelleitungen auf.

Die physikalische Zusammensetzung der Verluste bestimmt die Abhängigkeit der Zahlenwerte zur Charakterisierung von Verlusten sowohl vom **Leistungsdesign** (Leitermaterial, Leiterquerschnitt, Anzahl von Systemen, Blindleistungskompensation, Kühlung, etc.) als auch von der **Betriebsführung** der Leitung (Betriebsspannungswerte, Stromauslastung). Außerdem sind die Verluste witterungsabhängig.

Das Bild 8.1 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Stromauslastung ( $I / I_{\max} = 3600 \text{ A}$ ) und den gesamten Leistungsverlusten  $P_V$  in der Stromübertragungsstrasse [2.25]. Der Zahlenwert von 3600 A ist die maximal zulässige Dauerstrombelastung  $I_{\max}$  der betrachteten Leitung.

Aus dem Bild 8.1 ist zu erkennen, dass das Verhältnis ( $P_{V \text{ FL}} / P_{V \text{ Kab}}$ ) zwischen den gesamten Leistungsverlusten in den jeweiligen Freileitungs- und Erdkabelleitungsvarianten direkt von der aktuellen Leitungsbelastung abhängig ist. Im Bereich von 0 bis 0,45 der maximal zulässigen Dauerstromlast sind die Gesamtverluste in der Erdkabelleitung höher. Im Belastungsbereich von über 0,45 sind die Gesamtverluste in der Freileitung höher.

Die im Bild 8.1 dargestellten Abhängigkeiten gelten grundsätzlich für alle Freileitungs- und Erdkabelleitungsalternativen. Die genaue Lage des Schnittpunktes der relevanten Kurven im Diagramm sowie die konkreten Verlustwerte hängen von den Auslegungsmerkmalen ab.



**Bild 8.1:** Gesamte Leistungsverluste in einer Stromübertragungsstrasse in Abhängigkeit von der Leitungsauslastung /nach [2.25]/

Aus dem Bild 8.1 ist abzuleiten, dass die Laständerung über ein bestimmtes Zeitintervall (z.B. **Jahreslastprofil**) für die Ermittlung des Verhältnisses zwischen den Erdkabelleitungs- und Freileitungsverlusten maßgebend ist. Darauf basierend kann ein **Jahresverlustprofil** erstellt werden. Da ein exaktes Lastprofil, insbesondere für die neu geplanten Stromübertragungsstrassen, oft unbekannt ist, werden zur Einschätzung des Verlustverhältnisses die **mittleren** oder **maximalen** Belastungswerte verwendet.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die mittlere Auslastung der Leitung in manchen Fällen nur etwa 0,3 des maximalen Belastungswertes beträgt [1.30], werden oft kontroverse Aussagen bezüglich der Verlustanalyse in verschiedenen Studien abgeleitet.

Eine vereinfachte Ermittlung der **Arbeitsverluste** als die Multiplikation des mittleren Leistungsverlustwertes (oft nach mittlerer Last berechnet) mit der Jahresstundenzahl von 8760 h [2.3], [1.30] ergibt das gleiche Verhältnis zwischen den Verlustzahlenwerten in den Leitungsalternativen wie bei der Betrachtung der relevanten Leistungsverluste.

Die Ermittlung der Arbeitsverluste auf der Basis der maximalen Leistungsverlustwerte (oft nach maximaler Last berechnet) erfordert das Einbeziehen in die Betrachtung weiterer Größen wie die **Verluststundenzahl** oder der **Arbeitsverlustfaktor** (oft unbekannt sind) sowie die

---

separate Berücksichtigung von lastabhängigen und lastunabhängigen Verlusten [2.22]. Das nach diesem Weg ermittelte Verhältnis zwischen den Arbeitsverlustwerten wird im allgemeinen Fall vom Verhältnis für die relevanten Leistungsverlustwerte sich unterscheiden.

Da die Arbeitsverluste die **Verlustkosten** hauptsächlich bestimmen, muss ein besonderes Augenmerk auf die Ermittlung der Arbeitsverlustwerte gelegt werden. Ein völlig korrekter Weg wäre die Ermittlung des Arbeitsverlustwertes anhand des Jahresverlustprofils.

## 7 Glossar

<b>Arbeitsverluste</b>	auch <i>Verlustenergie, Verlustarbeit, Energieverluste</i> genannt sind das Integral der gesamten Leistungsverluste über die Betrachtungszeit. Im betrachteten Studienset werden oft die Arbeitsverluste per annum betrachtet
<b>Arbeitsverlustfaktor</b>	auch Arbeitsverlustgrad genannt ist das Verhältnis zwischen den Arbeitsverlusten und dem Produkt von maximalen Leistungsverlusten mit der Nenndauer, auf die sich die Angabe der Arbeitsverluste bezieht. Für ein Jahr beträgt die Nenndauer 8760 h
<b>Barwert</b>	Der Barwert ist ein Begriff aus der Finanzmathematik. Der Barwert ist der Wert, den zukünftige Zahlungen in der Gegenwart besitzen. Er wird durch Abzinsung der zukünftigen Zahlungen und anschließendes summieren ermittelt.
<b>Bemessungsspannungen</b>	sind die Sollspannungen, für die die Leitungssysteme ausgelegt sind. Die Bemessungsspannungen können identisch den Netzennennspannungen oder höher sein und bestimmen die Anforderungen zur elektrischen Festigkeit der Leitungssysteme
<b>Betriebskosten</b>	sind die Kosten, die diejenigen Kostenaufwendungen beschreiben, die während der Betriebsphase entstehen. Hierzu zählen Wartungs-, Unterhaltungs- und Verlustkosten. Die vollständige Betrachtung inkludiert aber auch Kosten, die durch die Nichtverfügbarkeit einer Anlage entstehen
<b>Blindleistungskompensation</b>	Kompensation des Blindleistungsbedarfes bzw. der Ladeströme von Erdkabelleitungen. Blindleistungskompensation wird durch den Einsatz von Drosselpulen realisiert. Blindleistungsbedarf der Erdkabelleitungsstrecke hängt von der Länge der Strecke ab. Blindleistungskompensation wird erst beim Erreichen einer bestimmten Streckenlänge erforderlich
<b>Durchmesser</b>	ist die Entfernung zwischen den Schnittpunkten eines Kreises mit einer Geraden, die dessen Mittelpunkt schneidet. Unter Berücksichtigung der typischen Auslegung eines Hoch- und Höchstspannungskabels als Einleiterkabel kann die Dicke der Kabelisolation anhand des Kabelaußendurchmessers und des Leiterquerschnitts indirekt abgeschätzt werden
<b>Gesamte Leistungsverluste</b>	sind die gesamte Leistung, die von der Stromübertragungstrasse aufgenommen wird, um die Leistungsübertragung durch die Leitungssysteme zu ermöglichen. Die gesamten Leistungsverluste werden aus den lastabhängigen, lastunabhängigen und zusätzlichen Verlusten gebildet. Spezifische Werte der gesamten Leistungsverluste werden pro 1 km der Übertragungstrasse ermittelt
<b>Gesamtkosten</b>	sind alle Kosten, die durch Errichtung und Betrieb einer Anlage verursacht werden. Enthalten sind Investitions- und Betriebskosten

<b>Investitionskosten</b>	sind Kosten, die zum Bau einer Leitung aufgebracht werden müssen, bevor diese in den Betrieb geht. Neben den reinen Material- zählen hierzu auch die Errichtungskosten. Je nach betrachtetem Zeithorizont sind Re-Investitionen nach Ablauf der jeweiligen Lebensdauer enthalten
<b>Lastabhängige Verluste</b>	auch <i>stromabhängige oder Joulesche Verluste</i> genannt sind die Leistungsverluste, die zur Erwärmung von leitenden Teilen bei der Stromübertragung führen und quadratisch vom übertragenen Stromwert abhängig sind. Spezifische Werte der lastabhängigen Verluste werden pro 1 km der Übertragungstrasse ermittelt
<b>Lastunabhängige Verluste</b>	auch <i>spannungsabhängige oder Leerlaufverluste</i> genannt sind die Leistungsverluste, die im Isolierungsmedium entstehen und von der angelegten Spannung abhängig sind. Dazu werden auch die Verluste von den Ableitströmen über die Isolatorenoberflächen sowie die Korona-Verluste mitgezählt. Spezifische Werte der lastunabhängigen Verluste werden pro 1 km der Übertragungstrasse ermittelt
<b>Lebensdauer</b>	ist die Zeit des ununterbrochenen Betriebes einer Leitung
<b>Leistungsverluste</b>	auch <i>Verlustleistung</i> genannt ist die Differenz zwischen der am Leitungsanfang eingespeisten Leistung und der am Leitungsende abgenommenen Leistung
<b>Leiterquerschnitt</b>	ist die stromleitende Querschnittfläche eines Leiters. Die Leiterquerschnitte charakterisieren die Typen der angewendeten Leiter in den betrachteten Stromübertragungssystemen
<b>Trassenlänge</b>	ist die Länge der Stromübertragungstrasse, die als alternative Erdkabelleitungs- oder Freileitungsstrecke verlegt werden kann
<b>Verluststundenzahl</b>	das Verhältnis zwischen den Arbeitsverlusten und den maximalen Leistungsverlusten während eines Jahres
<b>Zusatzverluste</b>	sind die Verluste in Kabelschirmen, in Kompensationsdrosseln sowie der für die Kabelkühlung erforderliche Leistungsverbrauch. Spezifische Werte der Zusatzverluste werden pro 1 km der Übertragungstrasse ermittelt. Diese Verluste treten nur bei Erdkabelleitungen auf