

Entwurf

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV)

Vom...

Nach Artikel 84 Absatz 2 des Grundgesetzes und auf Grund von § 4 Absatz 2 Satz 2 der Verordnung über elektromagnetische Felder in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266) in Verbindung mit § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), der zuletzt durch Artikel 1 Nummer 11 des Gesetzes vom 20. November 2014 (BGBl. I S. 174) geändert worden ist, erlässt die Bundesregierung nach Anhörung der beteiligten Kreise mit Zustimmung des Bundesrates folgende allgemeine Verwaltungsvorschrift:

Inhaltsübersicht

1.	Anwendungsbereich	1
2.	Begriffsbestimmungen	1
2.1	Bahnoberleitungsanlage.....	1
2.2	Bahnstromumrichteranlage.....	1
2.3	Bewertungsabstand	1
2.4	Bezugspunkt	2
2.5	Einwirkungsbereich	2
2.6	Erdkabel.....	2
2.7	Freileitung.....	2
2.8	Höchste betriebliche Anlagenauslastung.....	2
2.9	Immission	2
2.10	Immissionswerte	2
2.11	Leitung.....	3
2.12	Maßgeblicher Minimierungsort.....	3
2.13	Mitgeführte Leitung.....	3
2.14	Stromrichteranlage, Konverterstation.....	3
2.15	Transformator	3

2.16	Umspann- und Schaltanlage	3
2.17	Wirksamkeit einer Minimierungsmaßnahme	3
3.	Minimierung	3
3.1	Minimierungsziel und Rahmenbedingungen	3
3.2	Vorgehen zur Umsetzung des Minimierungsgebotes	4
3.2.1	Vorprüfung	4
3.2.1.1	Status der jeweiligen Anlage	4
3.2.1.2	Betrachtung des Einwirkungsbereiches	4
3.2.2	Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen	5
3.2.2.1	Prüfung der Minimierung nur an Bezugspunkten	6
3.2.2.2	Individuelle Minimierungsprüfung	7
3.2.2.3	Prüfung des Minimierungspotentials	7
3.2.3	Maßnahmenbewertung, Festlegung der Minimierungsmaßnahmen	7
4.	Maßgeblicher Nachweispunkt	7
5.	Technische Möglichkeiten zur Minimierung	8
5.1	Hochspannungsgleichstromanlagen, 0 Hertz	8
5.1.1	HGÜ-Freileitungen	8
5.1.1.1	Abstandsoptimierung	8
5.1.1.2	Elektrische Schirmung	9
5.1.1.3	Minimieren der Seilabstände	9
5.1.1.4	Optimieren der Mastkopfgeometrie	9
5.1.1.5	Optimieren der Polanordnung	10
5.1.2	HGÜ-Erdkabel	10
5.1.2.1	Magnetische Schirmung	10
5.1.2.2	Minimieren der Kabelabstände	10
5.1.2.3	Optimieren der Polanordnung	11
5.1.2.4	Optimierung der Verlegetiefe	11
5.1.3	Stromrichteranlagen	11
5.1.3.1	Abstandsoptimierung	11
5.1.3.2	Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Polarität	12
5.2	Bahnstromanlagen mit 16,7 Hertz	12
5.2.1	Bahnstromfreileitungen	12
5.2.1.1	Abstandsoptimierung	12
5.2.1.2	Elektrische Schirmung	12
5.2.1.3	Minimieren der Seilabstände	13

5.2.1.4	Optimieren der Mastkopfgeometrie	13
5.2.1.5	Optimieren der Leiteranordnung	14
5.2.2	Bahnstromerkabel	14
5.2.2.1	Magnetische Schirmung	14
5.2.2.2	Minimieren der Kabelabstände.....	14
5.2.2.3	Optimieren der Phasenordnung	15
5.2.2.4	Optimieren der Verlegegeometrie	15
5.2.2.5	Optimierung der Verlegetiefe	15
5.2.3	Bahnstromoberleitungen.....	16
5.2.3.1	Abstandsoptimierung.....	16
5.2.3.2	Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Auto-Transformatoren	16
5.2.3.3	Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Booster-Transformatoren ohne Isolierstöße	16
5.2.3.4	Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Installation eines Rückleiterseils ohne Isolierstöße.....	17
5.2.3.5	Minimieren des Fahrstroms	17
5.2.4	Bahnstromnebenanlagen.....	17
5.2.4.1	Abstandsoptimierung.....	17
5.2.4.2	Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln.....	18
5.3	Energieübertragungsanlagen mit 50 Hertz	18
5.3.1	Drehstromfreileitungen.....	18
5.3.1.1	Abstandsoptimierung.....	18
5.3.1.2	Elektrische Schirmung.....	18
5.3.1.3	Minimieren der Seilabstände	19
5.3.1.4	Optimieren der Mastkopfgeometrie	19
5.3.1.5	Optimieren der Leiteranordnung	20
5.3.2	Drehstromkabel	20
5.3.2.1	Magnetische Schirmung	20
5.3.2.2	Minimieren der Kabelabstände.....	20
5.3.2.3	Optimieren der Leiteranordnung	21
5.3.2.4	Optimieren der Verlegegeometrie	21
5.3.2.5	Optimieren der Verlegetiefe	21
5.3.3	Drehstromumspann- und Drehstromschaltanlagen ab Mittelspannung und höher, Umrichter- und Kompensationsanlagen	22
5.3.3.1	Abstandsoptimierung.....	22

5.3.3.2	Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung	22
5.3.4	Ortsnetzumspannstationen auf der Nieder- und Mittelspannungsebene	22
5.3.4.1	Abstandsoptimierung.....	22
5.3.4.2	Magnetische Schirmung	23
5.3.4.3	Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung	23
5.3.4.4	Optimieren von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung.....	23
Anhang I zu Ziffer 3.2.....	24
Anhang II zu Ziffer 3.2.2.1	25
Anhang III zu Ziffer 3.2.2.2	26
6.	Inkrafttreten	28

1. Anwendungsbereich

Diese allgemeine Verwaltungsvorschrift konkretisiert § 4 Absatz 2 der Verordnung über elektromagnetische Felder - nachfolgend: 26. BImSchV - in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013.

Sie beschreibt die Anforderungen an Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen bei der Errichtung und wesentlichen Änderung, um die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren.

Sie gilt für Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen nach § 1 Absatz 2 Nummer 2 und 3 der 26. BImSchV.

Die allgemeine Verwaltungsvorschrift dient der zuständigen Behörde als Entscheidungsgrundlage, ob die Minimierung der Felder unter Berücksichtigung der Gegebenheiten im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage sachgerecht geplant und umgesetzt wird.

Die Anforderungen nach dem Bundesbedarfsplangesetz, dem Energieleitungsausbaugesetz, dem Energiewirtschaftsgesetz und dem Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz werden vom Anwendungsbereich nicht umfasst. Neben den fachrechtlichen Vorgaben, wie den Regelungen des Naturschutzes, insbesondere des Gebiets- und Artenschutzes, bleiben das Emissionsminimierungsgebot aus Nummer 5.2.7 der TA Luft und die Dynamisierungsklausel in Nummer 5.2.8 der TA Luft unberührt.

2. Begriffsbestimmungen

2.1 Bahnoberleitungsanlage

Gesamtheit der Betriebsmittel der elektrischen Energieversorgung von Unterwerken zu elektrischen Triebfahrzeugen, zu der Oberleitungen und Bahnenergieleitungen, welche aus Umgehungsleitung, Speiseleitung und Verstärkungsleitung bestehen, gehören.

2.2 Bahnstromumrichteranlage

Anlage zur Umwandlung des Drehstroms der öffentlichen Elektrizitätsnetze in den für die Eisenbahn verwendeten Wechselstrom mit Hilfe elektronischer Bauelemente sowie vor- oder nachgeschalteter Transformatoren, Drosseln, Filtern und Schaltfeldern.

2.3 Bewertungsabstand

Abstand von der Anlage, ab dem die Feldstärken wegen der besseren Kompensationswirkung mit der Entfernung durchgehend abnehmen.

Ausgangspunkt ist jeweils die Bodenprojektion¹ des ruhenden äußeren Leiters einer Freileitung, des äußeren Kabels eines Erdkabels, die Gleismitte bei einer Bahnoberleitung für eine eingleisige Strecke, die Mitte des äußeren elektrifizierten Gleises bei einer Bahnoberleitung für eine mehrgleisige Strecke und die Eingrenzung oder, sofern nicht letztere vorhanden ist, die Einhausung einer Kabelübergabeanlage, Stromrichteranlage, Bahnstromumrichteranlagen, Umspann- oder Schaltanlage.

¹ Bei Leitungen in Tunneln oder an Brücken ist der Bewertungsabstand radial zu betrachten.

2.4 Bezugspunkt

Der Bezugspunkt ist ein Punkt, der für maßgebliche Minimierungsorte, die außerhalb des Bewertungsabstandes liegen, ermittelt wird. Er liegt im Bewertungsabstand auf der kürzesten Geraden zwischen dem jeweiligen maßgeblichen Minimierungsort und der jeweiligen Anlagenmitte/Trassenachse.

Der Bezugspunkt ist so gewählt, dass durch eine auf diesen Punkt bezogene Minimierung die Feldstärken in größeren Abständen ebenfalls minimiert werden.

2.5 Einwirkungsbereich

Der Einwirkungsbereich einer Anlage ist der Bereich, in dem die Anlage signifikante von den natürlichen und mittleren anthropogen bedingten Immissionen, welche je nach Frequenz verschieden sind, abhebende Immissionswerte verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen.

Ausgangspunkt ist jeweils die Bodenprojektion² des ruhenden äußeren Leiters einer Freileitung, des äußeren Kabels eines Erdkabels, die Gleismitte bei einer Bahnoberleitung für eine eingleisige Strecke, die Mitte des äußeren elektrifizierten Gleises bei einer Bahnoberleitung für eine mehrgleisige Strecke und die Eingrenzung oder, sofern nicht letztere vorhanden ist, die Einhausung einer Kabelübergabeanlage, Stromrichteranlage, Bahnstromumrichteranlagen, Umspann- oder Schaltanlage.

2.6 Erdkabel

Gesamtheit einer Anlage zur unterirdischen Fortleitung von Strom, bestehend aus isolierten Leitern, die im Boden, Rohren, Tunneln, Mulden oder auf vergleichbare Weise verlegt sind, einschließlich Nebenbauwerken wie zum Beispiel Muffenbauwerken und Kabelübergabeanlagen.

2.7 Freileitung

Gesamtheit einer Anlage zur oberirdischen Fortleitung von Strom.

2.8 Höchste betriebliche Anlagenauslastung

Die höchste betriebliche Anlagenauslastung ist durch technische Grenzen charakterisiert. Dies sind der maximale betriebliche Dauerstrom und die Nennspannung.

2.9 Immission

Elektrische und magnetische Felder, die von einer oder mehreren Anlagen ausgehen und an einem maßgeblichen Minimierungsort auftreten und dort auf Menschen, Tiere und Pflanzen einwirken können.

2.10 Immissionswerte

Zahlenmäßiger Wert einer Immissionsgröße in einer physikalischen Maßeinheit.

Immissionswerte im Sinne dieser allgemeinen Verwaltungsvorschrift werden wie folgt angegeben:

- a) Elektrische Feldstärke in Kilovolt pro Meter (kV/m)
- b) Magnetische Flussdichte in Mikrottesla (μT)

² Bei Leitungen in Tunneln oder an Brücken ist der Bewertungsabstand radial zu betrachten.

2.11 Leitung

Kurzform für Freileitung oder Erdkabel.

2.12 Maßgeblicher Minimierungsort

Ein maßgeblicher Minimierungsort ist ein im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage liegendes Gebäude oder Grundstück im Sinne des § 4 Absatz 1 der 26. BImSchV sowie jedes Gebäude oder Gebäudeteil, das zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt ist.

2.13 Mitgeführte Leitung

Leitung, die über einen oder mehrere Leitungsabschnitte zusammen mit einer anderen Leitung auf einem Gestänge geführt wird. Dabei können sich Spannungsebene und Frequenz der Leitungen unterscheiden.

2.14 Stromrichteranlage, Konverterstation

Anlage zur Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom oder umgekehrt mit Hilfe elektrischer Bauelemente sowie vor- oder nachgeschalteten Transformatoren, Drosseln, Filtern und Schaltfeldern.

2.15 Transformator

Betriebsmittel mit einer oder mehreren Wicklungen, mit dem ein Wechselspannungs- und Wechselstromsystem durch elektromagnetische Induktion in ein anderes Wechselspannungs- und Wechselstromsystem, das üblicherweise die gleiche Frequenz, aber andere Spannungs- und Stromwerte aufweist, transformiert wird.

2.16 Umspann- und Schaltanlage

Anlagen, in der Elektrizität umgespannt, geschaltet oder verteilt wird. Im Gegensatz zur Schaltanlage enthält die Umspannanlage mindestens einen Transformator.

2.17 Wirksamkeit einer Minimierungsmaßnahme

Die mit der getroffenen Maßnahme erreichte Feldminimierung in Bezug auf die von der Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Feldstärken, die ohne diese Maßnahme vorliegen würden.

3. Minimierung

3.1 Minimierungsziel und Rahmenbedingungen

Das Ziel des Minimierungsgebotes nach § 4 Absatz 2 der 26. BImSchV ist es, die von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich so zu minimieren, dass die Immissionen an den maßgeblichen Minimierungsorten der jeweiligen Anlage minimiert werden.

Minimierungsmaßnahmen gemäß § 4 Absatz 2 der 26. BImSchV sind zu prüfen, wenn sich mindestens ein maßgeblicher Minimierungsort im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage befindet. Liegen mehrere maßgebliche Minimierungsorte innerhalb des Einwirkungsbereiches, werden bei der Minimierung alle maßgeblichen Minimierungsorte gleichrangig betrachtet. Eine Maßnahme kommt als Minimierungsmaßnahme nicht in Betracht, wenn sie zu einer Erhöhung der Immissionen an einem maßgeblichen Minimierungsort führen würde.

Die Prüfung möglicher Minimierungsmaßnahmen erfolgt individuell für die geplante Anlage einschließlich ihrer geplanten Leistung und für die festgelegte Trasse. Das Minimierungsgebot verlangt keine Prüfung nach dem im Energiewirtschaftsrecht verankerten sogenannten NOVA-Prinzip - Netzoptimierung vor Netzverstärkung vor Netzausbau - und keine Alternativenprüfung, wie zum Beispiel Erdkabel statt Freileitung oder alternative Trassenführung, die nach den sonstigen Rechtsvorschriften, insbesondere nach dem Planfeststellungsrecht, erforderlich sein kann.

Es kann die Anwendung mehrerer Minimierungsmaßnahmen in Betracht kommen. Soweit deren gemeinsame Anwendung ausscheidet, ist eine Auswahl anhand der in dieser allgemeinen Verwaltungsvorschrift enthaltenen inhaltlichen Maßgaben zu treffen. Wirken sich eine oder mehrere Minimierungsmaßnahmen unterschiedlich auf das elektrische und das magnetische Feld aus, ist bei der Auswahl für Gleichstromanlagen die Minimierung des elektrischen Feldes und für Niederfrequenzanlagen die Minimierung des magnetischen Feldes zu bevorzugen.

Insbesondere ist der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren, indem Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen betrachtet werden. Zudem sind mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Schutzgüter zu berücksichtigen.

Wird auf bestehendem Gestänge eine neue Leitung mitgeführt oder eine bereits mitgeführte Leitung wesentlich geändert, bezieht sich das Minimierungsgebot nur auf die mitgeführte Leitung, sofern die bestehende Leitung nicht ihrerseits wesentlich geändert wird. Bei der Minimierung sind jedoch die Felder der bestehenden Leitung zu berücksichtigen.

3.2 Vorgehen zur Umsetzung des Minimierungsgebotes

Die Umsetzung des Minimierungsgebotes erfolgt in drei Teilschritten: einer Vorprüfung, einer Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen und einer Maßnahmenbewertung. Der Zusammenhang der einzelnen Teilschritte und der Prüfablauf sind im Anhang I in einem Flussdiagramm dargestellt.

3.2.1 Vorprüfung

Die Vorprüfung dient der Feststellung, ob für die jeweilige Anlage überhaupt eine Minimierung durchzuführen ist und damit eine Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen erforderlich macht.

3.2.1.1 Status der jeweiligen Anlage

Da das Minimierungsgebot ausschließlich für Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen besteht, die entweder neu errichtet oder wesentlich geändert werden, ist eine weitere Prüfung nur für diese Anlagen notwendig.

3.2.1.2 Betrachtung des Einwirkungsbereiches

Eine Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen nach Ziffer 3.2.2 ist nur durchzuführen, wenn sich im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage mindestens ein maßgeblicher Minimierungsort befindet.

Der Einwirkungsbereich ist sowohl von anlagenbezogenen Faktoren, wie zum Beispiel der Masthöhe, der Anzahl der Systeme und der Spannungsebene, als auch von anlagenunabhängigen Faktoren, wie zum Beispiel der Topografie, der Bebauung und dem Bewuchs, abhängig. Daher ist der Einwirkungsbereich für jede Anlage individuell zu bestimmen. Dies kann entweder über Mess- und Berechnungsverfahren erfolgen oder über konservative Pauschalwerte. Die Pauschalwerte für den Einwirkungsbereich werden wie folgt festgelegt:

Einwirkungsbereich von Gleichstromanlagen

Freileitung	
Nennspannung	Abstand
≥ 500 kV	500 m
≥ 300 kV bis < 500 kV	400 m
< 300 kV	300 m

Erdkabel	
Nennspannung	Abstand
≥ 500 kV	20 m
≥ 300 kV bis < 500 kV	15 m
≥ 100 kV bis < 300 kV	10 m
< 100 kV	5 m

Stromrichteranlagen	Abstand
Alle	100 m

Einwirkungsbereich von Niederfrequenzanlagen

Freileitung (einschließlich Bahnstromfernleitung)	
Nennspannung	Abstand
≥ 380 kV	400 m
≥ 220 kV bis < 380 kV	300 m
≥ 110 kV bis < 220 kV	200 m
< 110 kV	100 m

Erdkabel	
Nennspannung	Abstand
≥ 380 kV	100 m
≥ 220 kV bis < 380 kV	75 m
≥ 110 kV bis < 220 kV	50 m
< 110 kV	25 m

Umspann- und Schaltanlagen	
Nennspannung	Abstand
Umspann- und Schaltanlage ≥ 110 kV	100 m
Ortsnetzstation	20 m

Bahnstromanlagen	Abstand
Bahnoberleitung	100 m
Bahnenergieleitung	100 m
Bahnstromumrichteranlage	20 m
Umspann- und Schaltanlage	20 m

3.2.2 Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen

Die Prüfung der Minimierung ist von der Lage der maßgeblichen Minimierungsorte in Bezug auf den Bewertungsabstand abhängig. Es wird zwischen einer Prüfung nur an Bezugspunkten und einer individuellen Minimierungsprüfung unterschieden. Der Bewertungsabstand für Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen wird wie folgt festgelegt:

Bewertungsabstand für Gleichstromanlagen

Freileitung	
Nennspannung	Abstand
Alle	35 m

Erdkabel	
Nennspannung	Abstand
Alle	5 m

Stromrichteranlagen	
Nennspannung	Abstand
Alle	5 m

Bewertungsabstand für Niederfrequenzanlagen

Freileitung (einschließlich Bahnstromfernleitung)	
Nennspannung	Abstand
≥ 380 kV	20 m
≥ 220 kV bis < 380 kV	15 m
≥ 110 kV bis < 220 kV	10 m
< 110 kV	5 m

Erdkabel	
Nennspannung	Abstand
≥ 380 kV	10 m
≥ 220 kV bis < 380 kV	5 m
≥ 110 kV bis < 220 kV	1 m
< 110 kV	1 m

Umspann- und Schaltanlagen	
Nennspannung	Abstand
Umspann- und Schaltanlage ≥ 110 kV	5 m
Ortsnetzstation	1 m

Bahnstromanlagen	
Nennspannung	Abstand
Bahnoberleitung	10 m
Bahnenergieleitung	10 m
Bahnstromumrichteranlage	5 m
Umspann- und Schaltanlage	5 m

3.2.2.1 Prüfung der Minimierung nur an Bezugspunkten

Befindet sich kein maßgeblicher Minimierungsort in dem Bereich zwischen der Anlagenmitte/Trassenachse und dem Bewertungsabstand, ist das Minimierungspotential nur an den Bezugspunkten zu ermitteln. Bei dichter Bebauung und damit einer Vielzahl von Bezugspunkten können stattdessen ein oder mehrere repräsentative Bezugspunkte gewählt werden. Schematische Beispiele sind in Anhang II dargestellt.

3.2.2.2 Individuelle Minimierungsprüfung

Liegt mindestens ein Minimierungsort zwischen Anlagenmitte/Trassenachse und dem Bewertungsabstand ist eine individuelle Minimierungsprüfung erforderlich. Hierbei sind zwei Fälle zu unterscheiden. Im Fall I befinden sich alle maßgeblichen Minimierungsorte im Bereich zwischen der Anlagenmitte/Trassenachse und dem Bewertungsabstand; im Fall II liegen sowohl innerhalb als auch außerhalb dieses Bereiches maßgebliche Minimierungsorte. Schematische Beispiele sind in Anhang III dargestellt.

Im Fall I ist das Minimierungspotential für die innerhalb des Bewertungsabstandes liegenden maßgeblichen Minimierungsorte zu ermitteln.

Im Fall II ist das Minimierungspotential für die innerhalb des Bewertungsabstandes liegenden maßgeblichen Minimierungsorte und an den Bezugspunkte für die außerhalb des Bewertungsabstandes liegenden maßgeblichen Minimierungsorte zu ermitteln. Bei dichter Bebauung, d.h. einer Vielzahl von Bezugspunkten, kann stattdessen ein oder mehrere repräsentative Bezugspunkte gewählt werden. Hierbei ist zusätzlich zu prüfen, ob eine Minimierungsmaßnahme zu einer Erhöhung der Immissionen an innerhalb des Bewertungsabstandes liegenden maßgeblichen Minimierungsorten führen würde.

3.2.2.3 Prüfung des Minimierungspotentials

Für die jeweilige Anlage ist bezogen auf die festgelegten Bezugspunkte und maßgeblichen Minimierungsorte das Minimierungspotential zu prüfen. Diese Prüfung erfolgt auf Basis der in Kapitel 5 aufgeführten technischen Möglichkeiten zur Minimierung. Die jeweiligen Maßnahmen sind sowohl bei einem Neubau als auch bei einer wesentlichen Änderung zu prüfen.

Das Minimierungspotential ist entweder über Mess- und Berechnungsverfahren oder über eine pauschalierende Betrachtung, zum Beispiel durch Vergleich mit bestehenden Anlagen, zu ermitteln.

3.2.3 Maßnahmenbewertung, Festlegung der Minimierungsmaßnahmen

Im letzten Teilschritt Maßnahmenbewertung ist die Verhältnismäßigkeit der ermittelten technischen Möglichkeiten zur Minimierung zu bewerten.

Es kommen nur Maßnahmen in Betracht, die mit generell vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand und Nutzen umgesetzt werden können. Dieser Aufwand kann erheblich davon abhängen, ob eine Minimierungsmaßnahme auf die gesamte Anlage oder nur auf einen Teil, zum Beispiel einen Leitungsabschnitt, angewendet wird. Bei wesentlichen Änderungen ist der zusätzliche Aufwand auch von Art und Umfang der geplanten wesentlichen Änderung selbst abhängig.

Bei der Auswahl der in Betracht kommenden Minimierungsmaßnahmen sind zudem mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Schutzgüter zu berücksichtigen. Hierbei sind zum einen sämtliche fachrechtlichen Vorgaben, zum Beispiel die Regelungen des Naturschutzes, insbesondere des Gebiets- und Artenschutzes, die Regelungen der TA Lärm oder des Arbeitsschutzes, zu beachten. Zum anderen ist eine umfassende, integrierte Betrachtung geboten mit der Folge, dass Minimierungsmaßnahmen aufgrund der mit ihnen verbundenen nachteiligen Auswirkungen auf andere Schutzgüter ausscheiden können.

Abschließend erfolgt die endgültige Festlegung der Minimierungsmaßnahmen.

4. Maßgeblicher Nachweispunkt

Die Felder einer Anlage werden bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung in der überwiegend zu erwartenden Stromrichtungskonstellation als örtlicher Maximalwert außerhalb der Anlage ohne Berücksichtigung der Oberwellen wie folgt ermittelt:

- a) ein Meter über dem Boden, unabhängig davon, ob der Nachweispunkt in einem Raum oder im Freien liegt,
- b) direkt am Bezugspunkt bei einer Minimierung nach 3.2.2.1,
- c) in Räumen in der Raummitte oder im Freien in der Mitte des maßgeblichen Minimierungsorts bei individueller Minimierungsprüfung nach 3.2.2.2.

Wird der Nachweis messtechnisch geführt, ist darauf zu achten, dass das ungestörte Feld gemessen wird. Zu ferromagnetischen oder elektrisch leitfähigen Objekten, die Feldverzerrungen verursachen können, ist ein Abstand von einem Meter einzuhalten. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass zwischen verschiedenen Messungen keine Verzerrungen durch häusliche Elektroinstallationen oder anderweitige externe Einflüsse wie Wetterbedingungen auftreten. Sofern dies nicht gewährleistet ist, ist der Nachweis in Form einer Feldsimulation zu bevorzugen.

5. Technische Möglichkeiten zur Minimierung

Im Folgenden werden betriebsmittelspezifisch Maßnahmen und ihre Wirksamkeit aufgelistet, um die von einer Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder zu minimieren. Die aufgeführten Maßnahmen sind sowohl bei einem Neubau als auch bei einer wesentlichen Änderung zu prüfen. Einige der Maßnahmen können sich gegenseitig in ihrer Wirksamkeit beeinflussen. Auch der Anlagenbetriebszustand kann Einfluss auf die Wirksamkeit haben. Bekannte Wechselwirkungen sind bei den betreffenden Maßnahmen angegeben.

Neben der Wirksamkeit wurde wenn möglich auch der bauliche und technische Aufwand zur Realisierung der beschriebenen Maßnahmen abgeschätzt. Dieser Aufwand kann erheblich davon abhängen, ob eine Minimierungsmaßnahme auf die gesamte Anlage oder nur auf einen Teil, zum Beispiel einen Leitungsabschnitt, angewendet wird. Bei wesentlichen Änderungen ist der zusätzliche Aufwand von Art und Umfang der geplanten wesentlichen Änderung selbst abhängig. In der Regel muss er deshalb im Einzelfall bewertet werden.

5.1 Hochspannungsgleichstromanlagen, 0 Hertz

5.1.1 HGÜ-Freileitungen

5.1.1.1 Abstandsoptimierung

Ziel der Maßnahme ist es, die Distanz der Leiterseile zu maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern. Zum Boden wird die Distanz zum Beispiel durch die Erhöhung der Masten oder die Verringerung der Spannfeldlänge vergrößert. Wird ein Stromkreis auf einer von einem maßgeblichen Minimierungsort abgewandten Traverse - Querausleger - geführt, verringert dies die Immission an diesem Ort.

Voraussetzungen: Die Bodenbeschaffenheit muss geeignete Mastfundamente ermöglichen, wenn die Masten erhöht werden. Der Bodenabstand der Leiterseile kann bei Neubau planerisch festgelegt werden.

Wirksamkeit: Grundsätzlich ist sie in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab.

Hinweise: Der Aufwand ist für Masterrhöhungen bei einer neu zu bauenden Leitung niedrig. Mit zunehmendem Bodenabstand steigt der Aufwand.

5.1.1.2 Elektrische Schirmung

Die Maßnahme besteht darin, elektrisch leitfähige Schirmflächen oder -leiter vorzugsweise zwischen den spannungsführenden Leitungsteilen und einem maßgeblichen Minimierungsort als Bestandteil der Anlage einzufügen. Das Mitführen von Erdleiterseilen zählt zu dieser Maßnahme. Bei monopolaren Systemen ist das Mitführen eines Neutralleiterseils Teil dieser Maßnahme.

Voraussetzungen: Die baulichen Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit die zusätzlichen Leitungs- und Zubehörteile angebracht werden können. Mindestisolierluftstrecken zwischen den Schirmen und den spannungsführenden Leiterseilen und der Mindestbodenabstand müssen eingehalten werden.

Wirksamkeit: Die Maßnahme wirkt überwiegend auf die elektrische Feldstärke. Die Wirksamkeit eines Neutralleiters als Maßnahme zur Schirmung ist in der Regel niedrig.

Hinweise: Das Einbringen zusätzlicher Seile erfordert in den meisten Fällen wegen zu gewährleistendem Bodenabstand eine Erhöhung des Mastes und damit verbunden eine Überprüfung der Statik und gegebenenfalls bauliche Anpassungen.

5.1.1.3 Minimieren der Seilabstände

Die Abstände zwischen den Seilen, insbesondere zwischen den spannungs- und stromführenden Leiterseilen werden minimiert; hierzu gehört auch die Minimierung der Seilabstände innerhalb eines Stromkreises und die Minimierung der Abstände zu anderen Stromkreisen.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist bei allen bipolaren Leitungen möglich und kann bei Neubau realisiert werden. Immer wenn die Mastkopfbilder geändert werden sollen, ist die Maßnahme auch bei einer wesentlichen Änderung möglich. Mindestisolierluftstrecken zwischen den Seilen, zwischen Leiterseilen und dem Mast sowie anderen geerdeten Anlagenteilen oder zum Boden müssen eingehalten werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit liegt im mittleren Bereich. Sie wird allerdings von anderen Anlagenparametern beeinflusst und ist abhängig vom Abstand zu den Leitern.

Hinweise: Kurze Luftstrecken können in Abhängigkeit von der Spannungsebene Koronaeffekte fördern und besondere Maßnahmen bei der Wartung, zum Beispiel zur Besteigbarkeit, erfordern, wenn mehr als ein System an einem Mast geführt wird. Die Maßnahme wird beeinflusst durch die Ausschwingweite und die Mindestisolierluftstrecke der Leiterseile. Bei einer neu zu bauenden Leitung verursachen minimierte Seilabstände keinen zusätzlichen Aufwand.

5.1.1.4 Optimieren der Mastkopfgeometrie

Zwischen möglichen Masttypen, wie Tonnenmast und Donaumast, wird derjenige ausgewählt, dessen Mastkopfbild eine für die Kompensation von entstehenden elektrischen und magnetischen Feldern geometrisch günstige Aufhängung der Leiterseile ermöglicht. Die wesentlichen Unterschiede der verschiedenen Masttypen bestehen in den geometrischen Anordnungsmöglichkeiten der Leiterseile, die horizontal, vertikal oder dreieckförmig sein können. Dabei ist für die Kompensation von elektrischen und magnetischen Feldern grundsätzlich eine vertikale Anordnung der Außenleiterseile günstiger als eine horizontale.

Voraussetzungen: Bei Neubau können der Masttyp und damit die Mastkopfgeometrie festgelegt werden. Bei Neubau und insbesondere wesentlicher Änderung können technische Randbedingungen, wie die Mitführung mehrerer Systeme, die Wahlmöglichkeiten einschränken.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch.

Hinweise: Der zusätzliche Aufwand für einen Masttyp mit günstiger Mastgeometrie kann schon bei Neubau zum Beispiel aufgrund unterschiedlicher Masthöhen erheblich sein. Bei wesentlicher Änderung kann die Wahl eines günstigeren Masttyps oft an technische Grenzen stoßen.

5.1.1.5 Optimieren der Polanordnung

Bei einer vorgegebenen geometrischen Seilanordnung wird die Zuordnung der positiven und negativen Pole an die Seile so gewählt, dass sich die von den einzelnen Polen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Es muss mehr als ein bipolarer Stromkreis auf dem Mast installiert sein. Bei Neubau kann die Maßnahme durchgeführt werden, bei wesentlicher Änderung nur dann, wenn ein längerer Leitungsabschnitt oder die gesamte Leitung betroffen ist.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist grundsätzlich hoch und wird von anderen Anlagenparametern, wie dem Mastkopfbild oder dem Leiterseilabstand, beeinflusst. Geringe Leiterseilabstände erhöhen die Wirksamkeit dieser Maßnahme. Zudem ist die relative Wirksamkeit abhängig vom Abstand zu den Leiterseilen. Sie ist vor allem im Einwirkungsbereich örtlich sehr unterschiedlich und kann punktuell deutlich schwanken.

Hinweise: Bei einer Leistungsflussumkehr in einem Stromkreis kann sich die Anlage in einem nicht optimierten Zustand hinsichtlich des Magnetfeldes befinden. Der zusätzliche Aufwand bei einer neu zu bauenden Leitung ist gering. In kurzen Leitungsabschnitten ist eine Änderung der Polanordnung meist mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

5.1.2 HGÜ-Erdkabel

5.1.2.1 Magnetische Schirmung

Magnetisch leitfähige Schirmflächen werden zwischen dem stromführenden Leitungssystem und einem maßgeblichen Minimierungsort eingefügt.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist bei allen Gleichstromerdkabelsystemen technisch möglich. Um thermische Belastungen der Kabel zu begrenzen, können Mindestabstände zwischen Kabeln und Schirmung nötig sein.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit kann hoch sein.

Hinweise: Die zusätzliche Verwendung magnetischer Schirmungsmaterialien kann die Ausführung der Anlage sowohl technisch als auch baulich beeinflussen. Sie können erhebliche negative Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften haben. Der zusätzliche Aufwand ist abhängig von der geplanten Ausführung sowie von der Länge des zu schirmenden Leitungsabschnitts. Bislang liegen in Deutschland keine praktischen Erfahrungen vor. Erfahrungen von Netzbetreibern aus dem europäischen Ausland sind nicht bekannt.

5.1.2.2 Minimieren der Kabelabstände

Die Kabel werden mit möglichst geringem Abstand zueinander verlegt. Die Minimierung der Kabelabstände innerhalb eines Stromkreises und die Minimierung der Abstände zu anderen Stromkreisen zählen zu dieser Maßnahme.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist bei allen bipolaren Stromkreisen möglich und kann bei Neubau realisiert werden. Mindestkabelabstände können erforderlich sein, um die thermische Belastungen der Kabel zu begrenzen.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch. Sie wird allerdings von anderen Anlagenparametern beeinflusst und ist abhängig vom Abstand zu den Leitern.

Hinweise: Die Verringerung von Kabelabständen kann zu einer Erwärmung im Boden führen. Der zusätzliche Aufwand bei einer neu zu bauenden Leitung ist gering.

5.1.2.3 Optimieren der Polanordnung

Bei einer vorgegebenen geometrischen Leiteranordnung wird die Anschlussreihenfolge der positiven und negativen Pole an die Erdkabel so gewählt, dass sich die von den Kabeln ausgehenden magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann durchgeführt werden, wenn mehr als ein bipolarer Stromkreis in einer Trasse verlegt ist. Bei Neubau kann die Maßnahme durchgeführt werden, bei wesentlicher Änderung nur dann, wenn ein längerer Leitungsabschnitt oder die gesamte Leitung betroffen ist.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist grundsätzlich hoch. Sie wird allerdings von anderen Anlagenparametern, wie der geometrischen Anordnung der einzelnen Kabel oder dem Leiterabstand beeinflusst. Geringe Leiterabstände erhöhen die Wirksamkeit dieser Maßnahme.

Hinweise: Bei einer Leistungsflussumkehr in einem Stromkreis kann sich die Anlage in einem nicht optimierten Zustand hinsichtlich des Magnetfeldes befinden. Der zusätzliche Aufwand bei einer neu zu bauenden Leitung ist gering. In kurzen Leitungsabschnitten ist eine Änderung der Polanordnung meist mit einem erheblichen Aufwands verbunden.

5.1.2.4 Optimierung der Verlegetiefe

Die Erdkabel werden tief im Boden verlegt.

Voraussetzungen: Die Bodenbeschaffenheit und die vor Ort vorhandene Infrastruktur müssen für eine tiefe Verlegung geeignet sein. Die Maßnahme ist bei allen Gleichstromerdkabeln möglich. Die Maßnahme kann bei Neubau grundsätzlich realisiert werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit hängt von der Verlegetiefe ab. Sie ist sie in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab.

Hinweise: Bei größerer Verlegetiefe verschlechtert sich die Wärmeabfuhr mit möglichen Konsequenzen für Kabel und Boden. Der zusätzliche Aufwand ist abhängig von den Gegebenheiten im Einzelfall.

5.1.3 Stromrichteranlagen

5.1.3.1 Abstandsoptimierung

Feldverursachende Anlagenteile werden innerhalb des Betriebsgeländes oder des Betriebsgebäudes mit größtmöglicher Distanz zu maßgeblichen Minimierungsorten errichtet; hierzu zählt auch die Erhöhung der Portale für zu- und abführende Freileitungen.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau und wesentlicher Änderung realisiert werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch.

Hinweise: Bei wesentlicher Änderung kann der Aufwand abhängig vom Umfang der geplanten Änderung im Vergleich zum Neubau erheblich steigen.

5.1.3.2 Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Polarität

Betriebsmittel oder Betriebsmittelelemente, die Spannungen und Ströme mit unterschiedlicher Polarität führen, werden möglichst nah zusammen aufgebaut, damit sich die elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau unter Einhaltung der technischen Randbedingungen realisiert werden. Bei wesentlicher Änderung sind die räumlichen Gegebenheiten und der Umfang der vorgesehenen Änderungen entscheidend. Mindestisolierluftstrecken zwischen Betriebsmitteln oder Betriebsmittelelementen mit unterschiedlichen elektrischen Potenzialen müssen eingehalten werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist vom Umfang der Maßnahme abhängig. Sie wird von anderen Anlagenparametern beeinflusst und ist abhängig vom Abstand der Leiter.

Hinweise: Geringe Distanzen zwischen Betriebsmitteln oder Betriebsmittelelementen, die unterschiedlichen Stromkreisen zugeordnet sind, können sich nachteilig auf die Verfügbarkeit auswirken. Der zusätzliche Aufwand ist bei Neubau niedrig. Bei wesentlicher Änderung ist der zusätzliche Aufwand abhängig vom Umfang der geplanten Änderung und von den räumlichen Gegebenheiten. Praktische Erfahrungen liegen nicht vor.

5.2 Bahnstromanlagen mit 16,7 Hertz

5.2.1 Bahnstromfreileitungen

5.2.1.1 Abstandsoptimierung

Ziel der Maßnahme ist es, die Distanz der Leiterseile zu maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern. Zum Boden wird die Distanz zum Beispiel durch die Erhöhung der Masten oder die Verringerung der Spannfeldlänge vergrößert. Wird ein Stromkreis auf einer von einem maßgeblichen Minimierungsort abgewandten Traverse – Querausleger - geführt, verringert dies die Immission an diesem Ort.

Voraussetzungen: Die Bodenbeschaffenheit muss geeignete Mastfundamente ermöglichen, wenn die Masten erhöht werden. Der Bodenabstand der Leiterseile kann bei Neubau planerisch festgelegt werden.

Wirksamkeit: Grundsätzlich ist sie in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab.

Hinweise: Die Wirksamkeit der Erhöhung des Bodenabstandes kann in Abhängigkeit von anderen Anlagenparametern, wie der Phasenordnung bei Masten mit mehr als einem Stromkreis, in der Trasse sehr variabel sein und örtlich begrenzt eine entgegengesetzte Wirkung haben. Der zusätzliche Aufwand wird für Masterrhöhungen bei einer neu zu bauenden Leitung zwischen niedrig und moderat eingeschätzt. Mit zunehmendem Bodenabstand steigt der Aufwand an.

5.2.1.2 Elektrische Schirmung

Elektrisch leitfähige Schirmflächen oder -leiter werden vorzugsweise zwischen den spannungsführenden Leitungsteilen und einem maßgeblichen Minimierungsort als Bestandteil der Anlage eingefügt; hierzu zählt auch das Mitführen von Erdleiterseilen.

Voraussetzung: Die baulichen Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit die zusätzlichen Leitungs- und Zubehörteile angebracht werden können. Mindestisolierluftstrecken zwischen den Schirmen und den spannungsführenden Leiterseilen und der Mindestbodenabstand müssen eingehalten werden.

Wirksamkeit: Die Maßnahme wirkt überwiegend auf die elektrische Feldstärke. Die Wirksamkeit ist abhängig von der Ausführung, in der Regel aber niedrig.

Hinweise: Das Einbringen zusätzlicher Seile erfordert in den meisten Fällen wegen zu gewährleistendem Bodenabstand eine Erhöhung des Mastes und damit verbunden eine Überprüfung der Statik und gegebenenfalls bauliche Anpassungen. Der zusätzliche Aufwand ist bei Neubau und wesentlicher Änderung abhängig von der geplanten Ausführung und von der Länge des zu schirmenden Leitungsstücks.

5.2.1.3 Minimieren der Seilabstände

Die Abstände zwischen den Seilen, insbesondere zwischen den spannungs- und stromführenden Leiterseilen, werden minimiert. Die Minimierung der Seilabstände innerhalb eines Stromkreises und zu anderen Stromkreisen zählen zu dieser Maßnahme.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist bei allen Leitungen möglich. Die Maßnahme kann bei Neubau realisiert werden. Immer wenn die Mastkopfbilder geändert werden sollen, ist die Maßnahme auch bei einer wesentlichen Änderung möglich. Mindestisolierluftstrecken zwischen den Seilen, Leiterseilen und dem Mast sowie anderen geerdeten Anlagenteilen oder zum Boden müssen eingehalten werden. Durch besondere Ausführung der Masten und Spannfelder mit geringem Durchhang kann eine deutliche Verringerung des Abstandes zwischen Leiterseilen und Stromkreisen erreicht werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch. Sie wird allerdings von anderen Anlagenparametern beeinflusst und ist abhängig vom Abstand zu den Leitern.

Hinweise: Kurze Luftstrecken können in Abhängigkeit von der Spannungsebene Koronaeffekte fördern und besondere Maßnahmen bei der Wartung, zum Beispiel der Besteigbarkeit, erfordern, wenn mehr als ein System an einem Mast geführt wird. Die Maßnahme wird beeinflusst durch die Ausschwingweite und die Mindestisolierluftstrecke der Leiterseile. Bei einer neu zu bauenden Leitung verursachen minimierte Seilabstände keinen zusätzlichen Aufwand.

5.2.1.4 Optimieren der Mastkopfgeometrie

Zwischen möglichen Masttypen, wie Ein-, Zwei-, Dreiebenen-Mast, wird derjenige ausgewählt, dessen Mastkopfbild eine für die Kompensation von entstehenden elektrischen und magnetischen Feldern geometrisch günstige Aufhängung der Leiterseile ermöglicht. Die wesentlichen Unterschiede der verschiedenen Masttypen bestehen in den geometrischen Anordnungsmöglichkeiten der Leiterseile, vorzugsweise horizontal oder vertikal. Dabei ist für die Kompensation von elektrischen und magnetischen Feldern grundsätzlich eine vertikale Anordnung der Außenleiterseile günstiger als eine horizontale.

Voraussetzungen: Bei Neubau können der Masttyp und damit die Mastkopfgeometrie festgelegt werden. Bei Neubau und insbesondere wesentlicher Änderung können technische Randbedingungen, wie das Mitführen mehrerer Systeme, die Wahlmöglichkeiten einschränken.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch.

Hinweise: Der zusätzliche Aufwand für einen Masttyp mit günstiger Mastgeometrie kann schon bei Neubau zum Beispiel aufgrund unterschiedlicher Masthöhen erheblich sein. Bei wesentlicher Änderung kann die Wahl eines günstigeren Masttyps oft an technische Grenzen stoßen.

5.2.1.5 Optimieren der Leiteranordnung

Bei einer vorgegebenen geometrischen Seilanordnung wird die Anschlussreihenfolge der Wechselstromleiter an die Seile so gewählt, dass sich die von den einzelnen Leiterseilen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Es muss mehr als ein Stromkreis auf dem Mast installiert sein. Bei Neubau kann die Maßnahme durchgeführt werden; bei wesentlicher Änderung ist sie möglich, wenn ein längerer Leitungsabschnitt oder die gesamte Leitung betroffen ist.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch und wird von anderen Anlagenparametern, wie dem Mastkopfbild oder dem Leiterseilabstand beeinflusst. Geringe Leiterabstände erhöhen die Wirksamkeit. Zudem ist die relative Wirksamkeit abhängig vom Abstand zu den Leiterseilen. Sie ist vor allem im Einwirkungsbereich örtlich sehr variabel und kann punktuell deutlich schwanken.

Hinweise: Die optimale Leiteranordnung kann für den Nah- und Fernbereich unterschiedlich sein. Eine für den Fernbereich optimale Phasenordnung kann in Abhängigkeit von anderen Anlagenparametern wie dem Bodenabstand der Leiterseilhöhe in der Trasse örtlich begrenzt eine entgegengesetzte Wirkung haben. Der zusätzliche Aufwand für eine neu zu bauende Leitung ist gering. In kurzen Leitungsabschnitten ist eine Änderung der Leiteranordnung meist mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

5.2.2 Bahnstromerkabel

5.2.2.1 Magnetische Schirmung

Elektrisch und/oder magnetisch leitfähige Schirmflächen werden zwischen dem stromführenden Leitungssystem und einem maßgeblichen Minimierungsort eingefügt.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist bei allen Erdkabelsystemen technisch möglich. Um thermische Belastungen der Kabel zu begrenzen, können Mindestabstände zwischen Kabeln und Schirmung nötig sein.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit kann hoch sein.

Hinweise: In elektrisch leitfähigen Schirmflächen bilden sich Wirbelströme, die zu Verlusten führen. In Abhängigkeit von der Ausführung können durch Schirmungsmaßnahmen Immissionen an anderer Stelle erhöht werden. Die zusätzliche Verwendung magnetischer Schirmungsmaterialien kann die Ausführung der Anlage sowohl technisch als auch baulich beeinflussen. Sie können erhebliche negative Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften haben. Der zusätzliche Aufwand ist abhängig von der geplanten Ausführung sowie von der Länge des zu schirmenden Leitungsabschnitts. Bislang liegen für Anlagen mit einer Spannung von 110 kV oder mehr in Deutschland keine praktischen Erfahrungen vor. Erfahrungen von Netzbetreibern aus dem europäischen Ausland sind nicht bekannt.

5.2.2.2 Minimieren der Kabelabstände

Die Kabel werden mit möglichst geringem Abstand zueinander verlegt. Die Minimierung der Kabelabstände innerhalb eines Stromkreises und zu anderen Stromkreisen zählen zu dieser Maßnahme.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist bei allen Erdkabelsystemen möglich. Wird ein Stromkreis in einem einzigen Kabel geführt, kann der Abstand zu anderen Stromkreisen minimiert werden. Die Maßnahme kann bei Neubau grundsätzlich realisiert werden. Mindestkabelabstände können erforderlich sein, um thermische Belastungen der Kabel zu begrenzen.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch. Sie wird allerdings von anderen Anlagenparametern beeinflusst und ist abhängig vom Abstand zu den Leitern.

Hinweise: Die Verringerung von Kabelabständen kann zu einer Erwärmung im Boden führen. Der zusätzliche Aufwand bei einer neu zu bauenden Leitung ist gering. Bei einer wesentlichen Änderung hängt der zusätzliche Aufwand von Art und Umfang der geplanten Änderung ab und ist deshalb im Einzelfall zu prüfen.

5.2.2.3 Optimieren der Phasenordnung

Bei einer vorgegebenen geometrischen Leiteranordnung wird die Anschlussreihenfolge der Bahnstromphasen an die Erdkabel so gewählt, dass sich die von den Kabeln ausgehenden magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann durchgeführt werden, wenn mehr als ein Stromsystem in einer Trasse verlegt ist und die geometrische Anordnung der einzelnen Kabel gleich bleibt, wie bei der Verlegung von Einleiterkabeln. Bei Neubau kann die Maßnahme durchgeführt werden; bei wesentlicher Änderung ist sie möglich, wenn ein längerer Leitungsabschnitt oder die gesamte Leitung betroffen ist.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch und wird von anderen Anlagenparametern, wie der geometrischen Anordnung der einzelnen Kabel oder dem Leiterabstand beeinflusst. Geringe Leiterabstände erhöhen die Wirksamkeit dieser Maßnahme.

Hinweise: Der zusätzliche Aufwand bei einer neu zu bauenden Leitung ist gering. In kurzen Leitungsabschnitten ist eine Änderung der Phasenordnung meist mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

5.2.2.4 Optimieren der Verlegegeometrie

Kabel werden so verlegt, dass die relative Position der Einzeladern eine bestmögliche Kompensation der entstehenden magnetischen Felder ermöglicht. Die Adern eines Systems können gemeinsam in einem Kabel oder einzeln in getrennt verlegten Kabeln geführt werden. Für die Kompensation ist die Führung in einem gemeinsamen Kabel oder die vertikale Anordnung von Einzelkabeln vorteilhaft. Zusätzlich können Kabel mit kleinerem Kabelquerschnitt verdrillt werden.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist vor allem bei Einleiterkabeln möglich und kann bei Neubau festgelegt werden. Bei wesentlicher Änderung kann die Wahl einer alternativen Verlegegeometrie an technische Grenzen stoßen.

Wirksamkeit: Durch die Wahl einer günstigen Verlegegeometrie kann die Immission im Einwirkungsbereich deutlich gegenüber einer ungünstigen Geometrie verringert werden. Die Verdrillung trägt in Abhängigkeit von der Schlaglänge zur Minimierung bei. Die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb als hoch einzuschätzen. Sie wird allerdings von anderen Anlagenparametern, wie bei nicht verdrillten Leitern vom Leiterabstand, beeinflusst.

Hinweise: Übereinander verlegte oder verdrillte Kabel können besondere Maßnahmen bei der Entstörung erfordern. Der zusätzliche Aufwand für eine spezielle Verlegegeometrie kann schon bei Neubau erheblich sein. Bei wesentlicher Änderung wird die Wahl einer günstigeren Geometrie in Abhängigkeit von der Spannungsebene oft an technische Grenzen stoßen.

5.2.2.5 Optimierung der Verlegetiefe

Die Erdkabel werden tief im Boden zu verlegen.

Voraussetzungen: Die Bodenbeschaffenheit und die vor Ort vorhandene Infrastruktur müssen für eine tiefe Verlegung geeignet sein. Die Maßnahme ist bei allen Bahnstromerkabeln möglich. Die Maßnahme kann bei Neubau realisiert werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit hängt von der Verlegetiefe ab. Grundsätzlich ist sie in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab.

Hinweise: Bei größerer Verlegetiefe verschlechtert sich die Wärmeabfuhr mit möglichen Konsequenzen für Kabel und Boden. Der zusätzliche Aufwand ist abhängig von den Gegebenheiten im Einzelfall.

5.2.3 Bahnstromoberleitungen

5.2.3.1 Abstandsoptimierung

Feldverursachende Anlagenteile, wie Verstärkungs- oder Speiseleitungen, sind innerhalb des Betriebsgeländes mit größtmöglicher Distanz zu maßgeblichen Minimierungsorten zu errichten. Möglich ist zum Beispiel die erhöhte Anbringung und geeignete Ausrichtung von Querträgern.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau und wesentlicher Änderung grundsätzlich realisiert werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit liegt im mittleren Bereich.

Hinweise: Der Aufwand kann abhängig vom Umfang der Maßnahme erheblich steigen. Die Maßnahme kann zu deutlich höheren Masten führen. Erhöhter Aufwand kann bei der Instandhaltung entstehen (Instandhaltungsfahrzeuge ggf. nicht einsetzbar), was zu einer Reduzierung der Verfügbarkeit der Anlage führen kann.

5.2.3.2 Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Auto-Transformatoren

Ein möglichst hoher Anteil des Rückstroms wird aus Gleis und Erdreich ferngehalten und mit möglichst geringer Distanz zu den Anlagenteilen geführt, die die höchsten zufließenden Ströme leiten wie Speise- und Verstärkungsleitungen sowie Fahrdrähte.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau realisiert werden. Alle Maßnahmen können auf Teilstrecken begrenzt werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist grundsätzlich hoch. In Abschnitten, in denen sich ein Zug befindet, hat die Maßnahme keinen Effekt. Der Gesamteffekt ist damit abhängig von der Streckenauslastung und der Länge der Auto-Transformator Abschnitte.

Hinweise: Bei Auto-Transformator-Systemen wird zusätzlich eine Speiseleitung mit -15 kV benötigt. Durch das Einfügen einer zusätzlichen Spannungsebene wird die Komplexität des Systems deutlich erhöht. Dadurch steigt der technische Aufwand für zusätzlich benötigte Anlagenteile sowie durch Auto-Transformator-Schaltanlagen an beiden Enden des Streckenabschnitts. Die zusätzlichen Leitungen können die Instandhaltung erschweren und die Verfügbarkeit senken. Der zusätzliche Aufwand wie stabilere Maste und größere Fundamente kann erheblich sein.

5.2.3.3 Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Booster-Transformatoren ohne Isolierstöße

Ein möglichst hoher Anteil des Rückstroms wird aus Gleis und Erdreich ferngehalten und mit möglichst geringer Distanz zu den Anlagenteilen geführt, die die höchsten zufließenden Ströme leiten wie Speise- und Verstärkungsleitungen sowie Fahrdrähte.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau realisiert werden. Alle Maßnahmen können auf Teilstrecken begrenzt werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist grundsätzlich hoch. In Abschnitten, in denen sich ein Zug befindet, hat die Maßnahme keinen Effekt. Der Gesamteffekt ist damit abhängig von der Streckenauslastung und der Länge der Booster-Transformator Abschnitte.

Hinweise: Der Booster führt zu einer Erhöhung der Impedanzen und damit zu einer Verkürzung der Unterwerksabstände und zu zusätzlichen Streckentrennungen mit dem damit verbundenen Aufwand.

5.2.3.4 Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Installation eines Rückleiterseils ohne Isolierstöße

Ein möglichst hoher Anteil des Rückstroms wird aus Gleis und Erdreich ferngehalten und mit möglichst geringer Distanz zu den Anlagenteilen geführt, die die höchsten zufließenden Ströme leiten wie Speise- und Verstärkungsleitungen und Fahrdrähte.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau realisiert werden. Alle Maßnahmen können auf Teilstrecken begrenzt werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch.

Hinweise: Der Aufwand für die Mitführung von Rückleiterseilen steigt mit der Länge der Mitführung, aber er wird bei Streckenabschnitten bis zu einem Kilometer als moderat eingeschätzt. Bei wesentlicher Änderung ist der zusätzliche Aufwand abhängig von Umfang und Art der geplanten Änderung, von den räumlichen Gegebenheiten und vom bestehenden Anlagentyp. So kann das Verschieben von bestehenden Rückleiterseilen nahe an die Anlagenteile mit den höchsten zufließenden Strömen einen geringen zusätzlichen Aufwand bedeuten, wenn die bestehende Mastkonstruktion geeignet ist.

5.2.3.5 Minimieren des Fahrstroms

Die Streckenabschnitte werden zweiseitig gespeist.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau oder wesentlicher Änderung immer realisiert werden. Erforderlich ist auf beiden Seiten ein Anschluss an ein Unterwerk oder Schaltposten.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch.

Hinweise: Im Falle einer Stichstrecke ist der zusätzliche Aufwand hoch, da zusätzlich ein Unterwerk oder Schaltposten gebaut werden müssen, je nachdem ob 110 kV oder 15 kV Bahnenergie zur Verfügung stehen.

5.2.4 Bahnstromnebenanlagen

Bemerkung: Bahnstromnebenanlagen sind zum Beispiel Unter- und Umrichterwerke.

5.2.4.1 Abstandsoptimierung

Feldverursachende Anlagenteile werden innerhalb des Betriebsgeländes oder des Betriebsgebäudes mit größtmöglicher Distanz zu maßgeblichen Minimierungsorten errichtet; hierzu zählt auch die Erhöhung der Portale für zu- und abführende Freileitungen.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau und wesentlicher Änderung realisiert werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist von Art und Umfang der Maßnahme abhängig.

Hinweise: Bei wesentlicher Änderung kann der Aufwand abhängig vom Umfang der geplanten Änderung im Vergleich zum Neubau erheblich steigen.

5.2.4.2 Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln

Betriebsmittel oder Betriebsmittelelemente werden möglichst nah zusammen kompakt aufgebaut, damit sich die elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau unter Einhaltung der technischen Randbedingungen realisiert werden. Bei wesentlicher Änderung sind die räumlichen Gegebenheiten und der Umfang der vorgesehenen Änderungen entscheidend. Mindestisolierluftstrecken zwischen Betriebsmitteln oder Betriebsmittelelementen mit unterschiedlichen elektrischen Potenzialen müssen eingehalten werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist vom Umfang der Maßnahme abhängig. Sie wird von anderen Anlagenparametern beeinflusst und ist abhängig vom Abstand der Leiter.

Hinweise: Geringe Distanzen zwischen Betriebsmitteln oder Betriebsmittelelementen, die unterschiedlichen Stromkreisen zugeordnet sind, können sich nachteilig auf die Verfügbarkeit auswirken. Der zusätzliche Aufwand ist bei Neubau niedrig. Bei wesentlicher Änderung ist der zusätzliche Aufwand abhängig vom Umfang der geplanten Änderung und von den räumlichen Gegebenheiten.

5.3 Energieübertragungsanlagen mit 50 Hertz

5.3.1 Drehstromfreileitungen

5.3.1.1 Abstandsoptimierung

Ziel der Maßnahme ist es, die Distanz der Leiterseile zu maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern. Zum Boden wird die Distanz zum Beispiel durch die Erhöhung der Masten oder die Verringerung der Spannfeldlängen vergrößert. Wird ein Stromkreis auf einer von einem maßgeblichen Minimierungsort abgewandten Traverse - Querausleger - geführt, verringert dies die Immission an diesem Ort.

Voraussetzungen: Die Bodenbeschaffenheit muss geeignete Mastfundamente ermöglichen, wenn die Masten erhöht werden. Der Bodenabstand der Leiterseile kann bei Neubau planerisch festgelegt werden.

Wirksamkeit: Grundsätzlich ist sie in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab.

Hinweise: Die Wirksamkeit der Erhöhung des Bodenabstandes kann in Abhängigkeit von anderen Anlagenparametern, wie der Phasenordnung bei Masten mit mehr als einem Stromkreis, in der Trasse sehr variabel sein und örtlich begrenzt eine entgegengesetzte Wirkung haben. Der zusätzliche Aufwand hängt von der jeweils realisierten Maßnahme ab. Er ist zum Beispiel für Masterhöhungen bei einer neu zu bauenden Leitung niedrig. Mit zunehmendem Bodenabstand steigt der Aufwand stark an.

5.3.1.2 Elektrische Schirmung

Elektrisch leitfähige Schirmflächen oder -leiter werden vorzugsweise zwischen den spannungsführenden Leitungsteilen und einem maßgeblichen Minimierungsort als Bestandteil der Anlage eingefügt; hierzu zählt auch das Mitführen von Erdleiterseilen.

Voraussetzung: Die baulichen Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit die zusätzlichen Leitungs- und Zubehörteile angebracht werden können. Mindestisolierluftstrecken zwischen den Schirmen und den spannungsführenden Leiterseilen und der Mindestbodenabstand müssen eingehalten werden.

Wirksamkeit: Die Maßnahme wirkt überwiegend auf die elektrische Feldstärke. Die Wirksamkeit ist abhängig von der Art und Ausführung, in der Regel aber niedrig.

Hinweise: Das Einbringen zusätzlicher Seile erfordert in den meisten Fällen wegen zu gewährleistendem Bodenabstand eine Erhöhung des Mastes und damit verbunden eine Überprüfung der Statik und gegebenenfalls bauliche Anpassungen. Der zusätzliche Aufwand ist bei Neubau und wesentlicher Änderung abhängig von der geplanten Ausführung und von der Länge des zu schirmenden Leitungsstücks.

5.3.1.3 Minimieren der Seilabstände

Die Abstände zwischen den Leiterseilen werden minimiert; hierzu gehört auch die Minimierung der Seilabstände innerhalb eines Stromkreises und zu anderen Stromkreisen.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist bei allen Leitungen möglich und kann bei Neubau realisiert werden. Immer wenn die Mastkopfbilder geändert werden sollen, ist die Maßnahme auch bei einer wesentlichen Änderung möglich. Mindestisolierluftstrecken zwischen den Seilen, zwischen Leiterseilen und dem Mast sowie anderen geerdeten Anlagenteilen oder zum Boden müssen eingehalten werden. Durch besondere Ausführung der Masten und Spannfelder bei geringem Durchhang kann eine deutliche Verringerung des Abstandes zwischen Leiterseilen und Stromkreisen erreicht werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch. Sie wird allerdings von anderen Anlagenparametern beeinflusst und ist abhängig vom Abstand zu den Leitern.

Hinweise: Kurze Luftstrecken können in Abhängigkeit von der Spannungsebene Koronaeffekte fördern und besondere Maßnahmen bei der Wartung, zum Beispiel zur Besteigbarkeit, erfordern, wenn mehr als ein Stromkreis an einem Mast geführt wird. Die Maßnahme wird beeinflusst durch die Ausschwingweite und die Mindestisolierluftstrecke der Leiterseile. Bei einer neu zu bauenden Leitung verursachen minimierte Seilabstände keinen zusätzlichen Aufwand.

5.3.1.4 Optimieren der Mastkopfgeometrie

Zwischen möglichen Masttypen wie Tonnenmast und Donaumast wird derjenige ausgewählt, dessen Mastkopfbild eine für die Kompensation von entstehenden elektrischen und magnetischen Feldern geometrisch günstige Aufhängung der Leiterseile ermöglicht. Die wesentlichen Unterschiede der verschiedenen Masttypen bestehen in den geometrischen Anordnungsmöglichkeiten der Leiterseile, die horizontal, vertikal oder dreieckförmig sein können. Dabei ist für die Kompensation von elektrischen und magnetischen Feldern grundsätzlich eine vertikale Anordnung der Außenleiterseile günstiger als eine horizontale.

Voraussetzungen: Bei Neubau können der Masttyp und damit die Mastkopfgeometrie festgelegt werden. Bei Neubau und insbesondere wesentlicher Änderung können technische Randbedingungen wie die Mitführung mehrerer Systeme die Wahlmöglichkeiten einschränken.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch.

Hinweise: Der zusätzliche Aufwand für einen Masttyp mit günstiger Mastgeometrie kann schon bei Neubau zum Beispiel aufgrund unterschiedlicher Masthöhen erheblich sein. Bei wesentlicher Änderung kann die Wahl eines günstigeren Masttyps oft an technische Grenzen stoßen.

5.3.1.5 Optimieren der Leiteranordnung

Bei einer vorgegebenen geometrischen Seilanordnung wird die Anschlussreihenfolge der Drehstromleiter an die Seile so gewählt, dass sich die von den einzelnen Leiterseilen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Es muss mehr als ein Stromkreis auf dem Mast installiert sein. Bei Neubau kann die Maßnahme durchgeführt werden; bei wesentlicher Änderung ist sie möglich, wenn ein längerer Leitungsabschnitt oder die gesamte Leitung betroffen ist.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch und wird von anderen Anlagenparametern, wie dem Mastkopfbild oder dem Leiterseilabstand beeinflusst. Geringe Leiterabstände erhöhen die Wirksamkeit. Zudem ist die relative Wirksamkeit abhängig vom Abstand zu den Leiterseilen. Sie ist vor allem im Einwirkungsbereich örtlich sehr unterschiedlich und kann punktuell deutlich schwanken.

Hinweise: Die optimale Leiteranordnung kann für das elektrische und magnetische Feld und für den Nah- und den Fernbereich unterschiedlich sein. Weil sie auch von den Lastflussrichtungen der Einzelsysteme abhängt, kann sich die Leitung nach einer Lastflussumkehr in einem Stromkreis in einem nicht optimierten Zustand befinden. Der zusätzliche Aufwand für eine neu zu bauenden Leitung ist gering. In kurzen Leitungsabschnitten ist eine Änderung der Leiteranordnung meist mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

5.3.2 Drehstromkabel

5.3.2.1 Magnetische Schirmung

Elektrische und/oder magnetisch leitfähige Schirmflächen werden zwischen dem stromführenden Leitungssystem und einem maßgeblichen Minimierungsort.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist bei allen Erdkabelsystemen technisch möglich. Um thermische Belastungen der Kabel zu begrenzen, können Mindestabstände zwischen Kabeln und Schirmung nötig sein.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit kann hoch sein.

Hinweise: In elektrisch leitfähigen Schirmflächen bilden sich Wirbelströme, die zu Verlusten führen. In Abhängigkeit von der Ausführung können durch Schirmungsmaßnahmen Immissionen an anderer Stelle erhöht werden. Die zusätzliche Verwendung magnetischer Schirmungsmaterialien kann die Ausführung der Anlage sowohl technisch als auch baulich beeinflussen. Sie können erhebliche negative Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften haben. Der zusätzliche Aufwand ist abhängig von der geplanten Ausführung sowie von der Länge des zu schirmenden Leitungsabschnitts. Bislang liegen für Anlagen mit einer Spannung von 110 kV oder mehr in Deutschland keine praktischen Erfahrungen vor. Erfahrungen von Netzbetreibern aus dem europäischen Ausland sind nicht bekannt.

5.3.2.2 Minimieren der Kabelabstände

Die Kabel werden mit möglichst geringem Abstand zueinander verlegt; hierzu gehört auch die Minimierung der Kabelabstände innerhalb eines Stromkreises und zu anderen Stromkreisen.

Voraussetzungen: Die Maßnahme ist bei allen Erdkabelsystemen möglich. Wird ein Stromkreis in einem einzigen Kabel geführt, kann der Abstand zu anderen Stromkreisen minimiert werden. Die Maßnahme kann bei Neubau realisiert werden. Mindestkabelabstände können erforderlich sein, um thermische Belastungen der Kabel zu begrenzen.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch und wird von anderen Anlagenparametern beeinflusst und ist abhängig vom Abstand zu den Leitern.

Hinweise: Die Verringerung von Kabelabständen kann zu einer Erwärmung im Boden führen. Der zusätzliche Aufwand bei einer neu zu bauenden Leitung ist gering.

5.3.2.3 Optimieren der Leiteranordnung

Bei einer vorgegebenen geometrischen Anordnung der einzelnen Kabel wird die Anschlussreihenfolge der Drehstromleiter an die Erdkabel so gewählt, dass sich die von den Kabeln ausgehenden magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann durchgeführt werden, wenn mehr als ein Stromkreis in einer Trasse verlegt ist und die geometrische Anordnung der einzelnen Kabel gleich bleibt, wie bei der Verlegung von Einleiterkabeln. Bei Neubau kann die Maßnahme durchgeführt werden; bei wesentlicher Änderung ist sie möglich, wenn ein längerer Leitungsabschnitt oder die gesamte Leitung betroffen ist.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist hoch und wird von anderen Anlagenparametern, wie der geometrischen Anordnung der einzelnen Kabel oder dem Leiterabstand beeinflusst. Geringe Leiterabstände erhöhen die Wirksamkeit dieser Maßnahme.

Hinweise: Bei einer Leistungsflussumkehr in einem Stromkreis kann sich die Anlage in einem nicht optimierten Zustand hinsichtlich des Magnetfeldes befinden. Der zusätzliche Aufwand bei einer neu zu bauenden Leitung ist gering. In kurzen Leitungsabschnitten ist eine Änderung der Leiteranordnung meist mit einem enormen Aufwand verbunden.

5.3.2.4 Optimieren der Verlegegeometrie

Kabel werden so verlegt, dass die relative Position der einzelnen Kabel eine bestmögliche Kompensation der entstehenden magnetischen Felder ermöglicht. Sie können in einer Ebene - horizontal oder vertikal - oder im Dreieck verlegt werden. Für die Kompensation ist eine Anordnung im Dreieck günstig. Zusätzlich können Kabel mit kleinerem Kabelquerschnitt verdreht werden.

Voraussetzungen: Die Optimierung der Verlegegeometrie ist vor allem bei Einleiterkabeln möglich. Bei Neubau kann die optimale Verlegegeometrie festgelegt werden; bei wesentlicher Änderung kann die Wahl einer alternativen Verlegegeometrie an technische Grenzen stoßen. Die Anforderungen an die Wärmeableitung können eine Flachverlegung der Kabel erfordern.

Wirksamkeit: Durch die Wahl einer günstigen Verlegegeometrie kann die Immission im Einwirkungsbereich deutlich gegenüber einer ungünstigen Geometrie verringert werden. Die Wirksamkeit der Maßnahme ist deshalb als hoch einzuschätzen. Sie wird allerdings von anderen Anlagenparametern, wie z.B. bei nicht verdrehten Kabeln vom Leiterabstand beeinflusst. Die Verdrehung trägt in Abhängigkeit von der Schlaglänge zur Minimierung bei.

Hinweise: Übereinander verlegte oder verdrehte Kabel können besonderen Aufwand bei der Entstörung erfordern

Außerdem ist der Abstand der Erdkabel zueinander vom Wärmeableitvermögen des umgebenden Erdreichs oder des Ersatzfüllguts abhängig. Der zusätzliche Aufwand für eine spezielle Verlegegeometrie kann schon bei einem Neubau erheblich sein. Bei wesentlicher Änderung wird die Wahl einer günstigeren Geometrie in Abhängigkeit von der Spannungsebene oft an technische Grenzen stoßen.

5.3.2.5 Optimieren der Verlegetiefe

Die Erdkabel werden tief im Boden zu verlegt.

Voraussetzungen: Die Bodenbeschaffenheit und die vor Ort vorhandene Infrastruktur müssen für eine tiefe Verlegung geeignet sein. Die Maßnahme ist bei allen Drehstromerkabeln möglich und kann bei Neubau realisiert werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit hängt von der Verlegetiefe ab. In Trassennähe ist sie hoch und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab.

Hinweise: Bei größerer Verlegetiefe verschlechtert sich die Wärmeabfuhr mit möglichen Konsequenzen für Kabel und Boden.

5.3.3 Drehstromumspann- und Drehstromschaltanlagen ab Mittelspannung und höher, Umrichter- und Kompensationsanlagen

5.3.3.1 Abstandsoptimierung

Feldverursachende Anlagenteile werden innerhalb des Betriebsgeländes oder des Betriebsgebäudes mit größtmöglicher Distanz zu maßgeblichen Minimierungsorten errichtet; hierzu zählt auch die Erhöhung der Portale für zu- und abführende Freileitungen.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau und wesentlicher Änderung realisiert werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist vom Umfang der Maßnahme abhängig.

Hinweise: Bei wesentlicher Änderung kann der Aufwand abhängig vom Umfang der geplanten Änderung im Vergleich zum Neubau erheblich steigen. Praktische Erfahrungen liegen nicht vor.

5.3.3.2 Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung

Betriebsmittel oder Betriebsmittelelemente, die Spannungen und Ströme mit unterschiedlicher Phase führen wie Stromschienen und Schaltfelder, werden möglichst nah zusammen kompakt aufgebaut, damit sich die elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau unter Einhaltung der technischen Randbedingungen realisiert werden. Bei wesentlicher Änderung sind die räumlichen Gegebenheiten und der Umfang der vorgesehenen Änderungen entscheidend. Mindestisolierluftstrecken zwischen Betriebsmitteln oder Betriebsmittelelementen mit unterschiedlichen elektrischen Potenzialen müssen eingehalten werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist vom Umfang der Maßnahme abhängig. Sie wird von anderen Anlagenparametern beeinflusst und ist abhängig vom Abstand zwischen den Betriebsmitteln.

Hinweise: Geringe Distanzen zwischen Betriebsmitteln oder Betriebsmittelelementen, die unterschiedlichen Stromkreisen zugeordnet sind, können sich nachteilig auf die Verfügbarkeit auswirken. Der zusätzliche Aufwand ist bei Neubau niedrig..

5.3.4 Ortsnetzumspannstationen auf der Nieder- und Mittelspannungsebene

5.3.4.1 Abstandsoptimierung

Feldverursachende Anlagenteile werden innerhalb des Betriebsraums mit größtmöglicher Distanz zu maßgeblichen Minimierungsorten errichtet; hierzu gehören die Ausrichtung der Niederspannungsseite von Transformatoren auf eine von maßgeblichen Minimierungsorten abgewandten Seite des Betriebsraums sowie das Verlegen von Leitungen auf kurzmöglichstem Weg an den von maßgeblichen Minimierungsorten am weitesten entfernten Wänden oder am Fußboden der Anlage. Bei Maststationen zählt die Erhöhung des Mastes zu den Maßnahmen.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau und wesentlicher Änderung realisiert werden.

Wirksamkeit: Weil von den Leitern der Niederspannungsseite höhere Magnetfelder als von Leitern der Mittelspannungsseite ausgehen, sind Maßnahmen, die die Distanz von Anlagenteile der Niederspannungsseite zu maßgeblichen Minimierungsorten erhöhen, in der Regel effektiver.

Hinweise: Bei wesentlicher Änderung kann der Aufwand abhängig vom Umfang der geplanten Änderung im Vergleich zum Neubau erheblich steigen. Zusätzlich kann sich durch die Umlegung von Betriebsmitteln der Aufwand für die Entstörung und die Instandsetzung erhöhen.

5.3.4.2 Magnetische Schirmung

Magnetisch leitfähige Schirmflächen werden zwischen den stromführenden Leitungsteilen und einem maßgeblichen Minimierungsort eingefügt.

Voraussetzungen: Bei Neubau und wesentlicher Änderung sind die räumlichen Gegebenheiten und der Umfang der vorgesehenen Änderungen entscheidend.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist vom Umfang der Maßnahme abhängig.

Hinweise: In elektrisch leitfähigen Schirmflächen bilden sich Wirbelströme, die zu Verlusten führen und damit die Anlagenleistung beeinflussen können. In Abhängigkeit von der Ausführung können durch Schirmungsmaßnahmen Immissionen an anderer Stelle erhöht werden.

5.3.4.3 Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung

Betriebsmittel oder Betriebsmittelelemente, die Spannungen und Ströme mit unterschiedlicher Phase führen, werden möglichst nah zusammen kompakt aufgebaut, damit sich die elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau unter Einhaltung der technischen Randbedingungen realisiert werden; bei wesentlichen Änderungen sind die räumlichen Gegebenheiten und der Umfang der vorgesehenen Änderungen entscheidend. Mindestisolierluftstrecken zwischen Betriebsmitteln oder Betriebsmittelelementen mit unterschiedlichen elektrischen Potenzialen müssen eingehalten werden.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit ist im unmittelbaren Umfeld der Anlage hoch.

Hinweise: Der zusätzliche Aufwand ist bei Neubau niedrig. Bei wesentlicher Änderung kann der Aufwand erheblich steigen.

5.3.4.4 Optimieren von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung

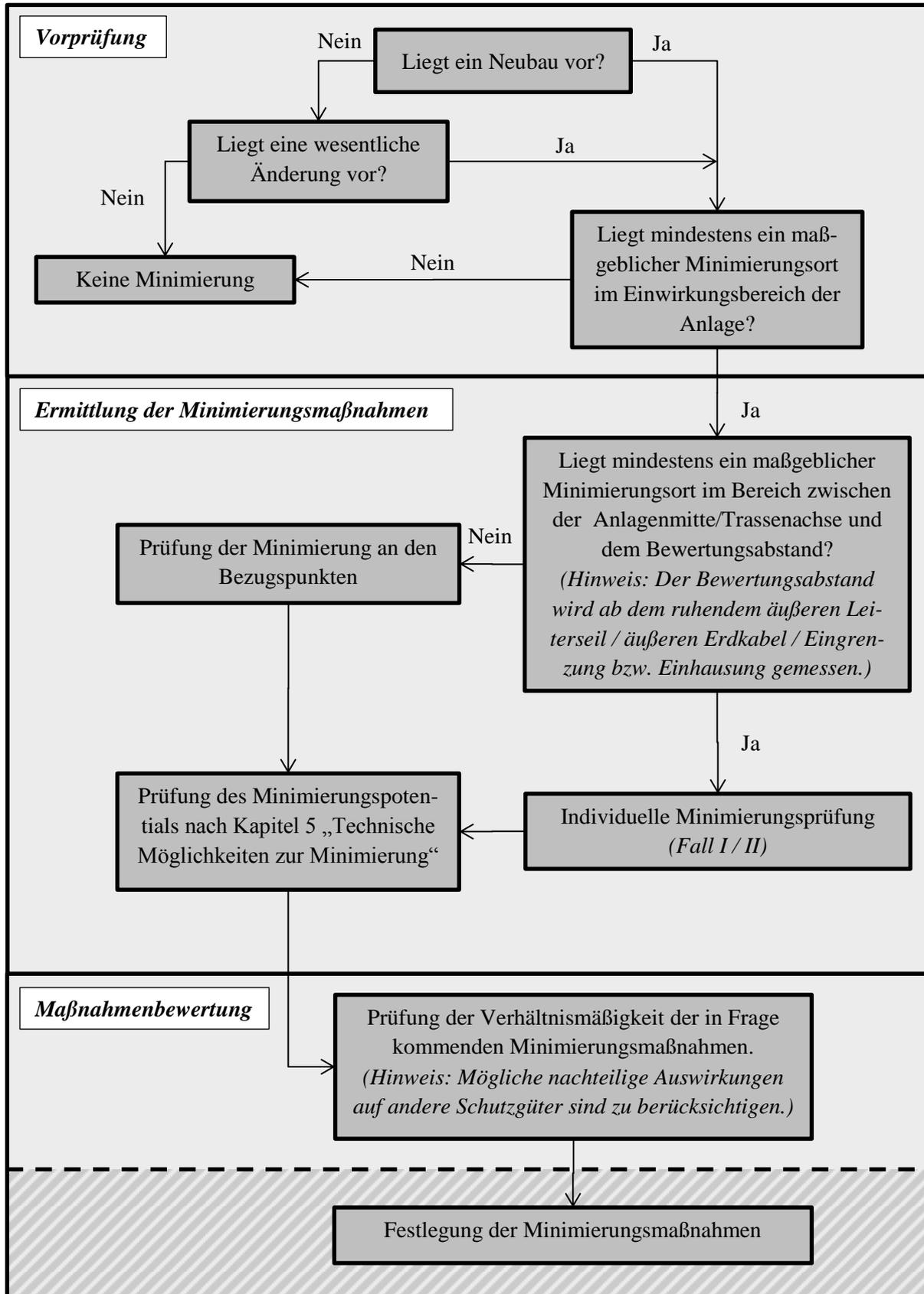
An der Niederspannungsverteilung wird der Anschluss der Leitung vom Transformator so platziert, dass die magnetfeldverursachenden Ströme auf der Niederspannungsverteilung minimiert werden. Die Mitte der Niederspannungsverteilung ist ein günstigerer Anschlussort als deren Seiten.

Voraussetzungen: Die Maßnahme kann bei Neubau und wesentlicher Änderung realisiert werden.

Hinweise: Wenn sich Verbrauch oder Einspeisung in den angeschlossenen Niederspannungsstromkreisen ändern, kann sich die Anlage in einem nicht optimierten Zustand befinden. Der zusätzliche Aufwand ist niedrig.

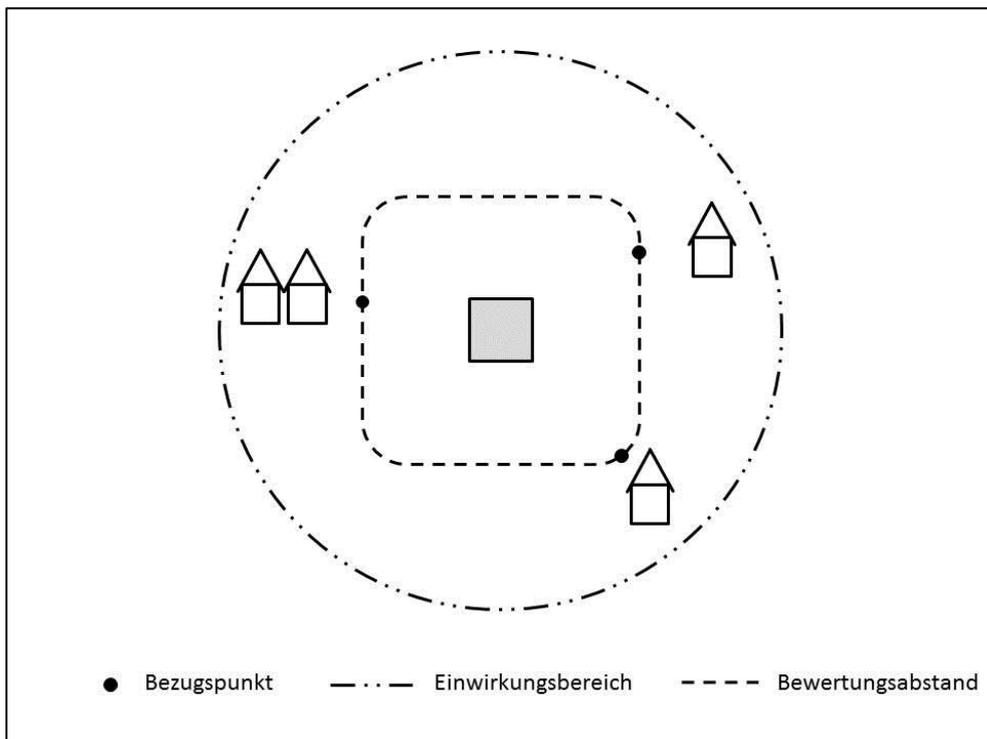
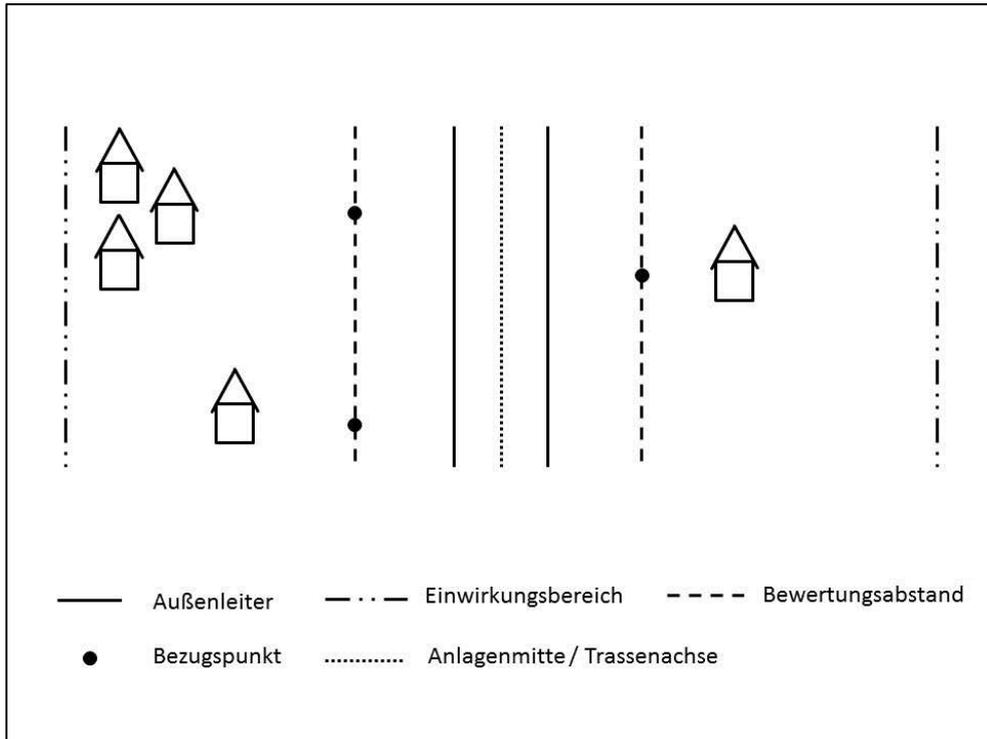
Anhang I zu Ziffer 3.2

Flussdiagramm



Anhang II zu Ziffer 3.2.2.1

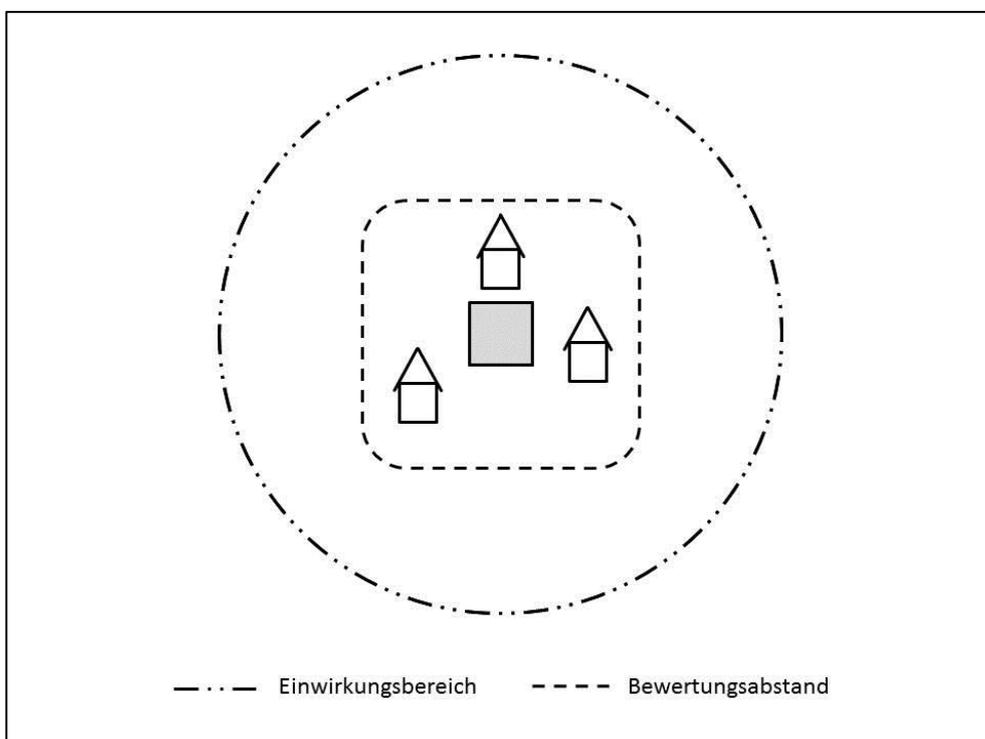
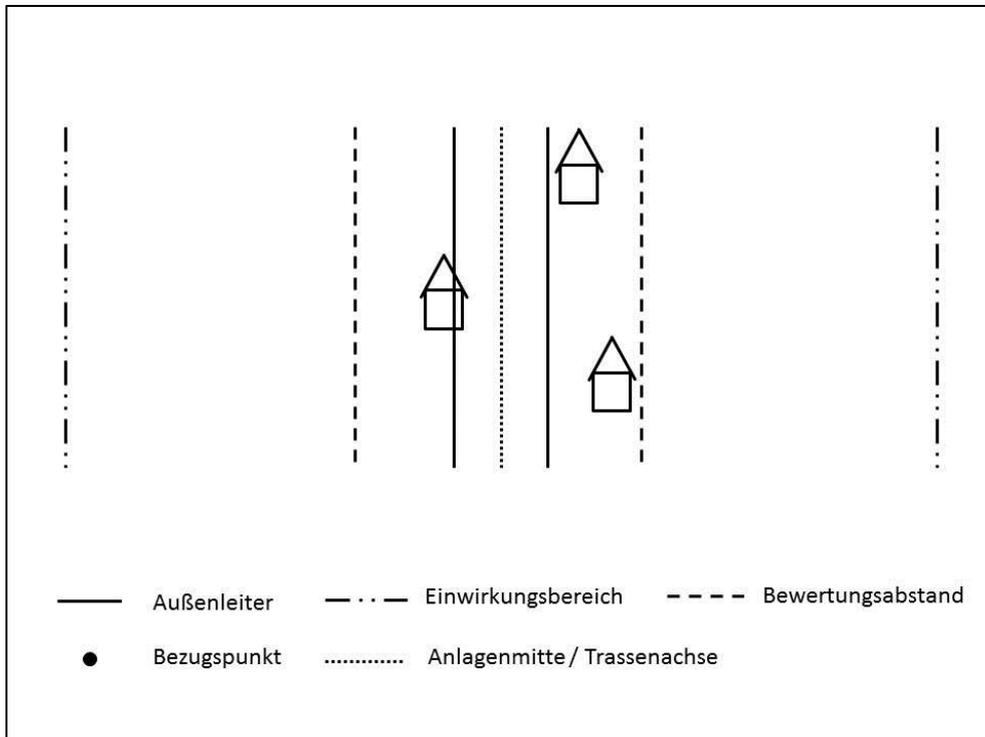
Beispiele für die Ermittlung von Bezugspunkten



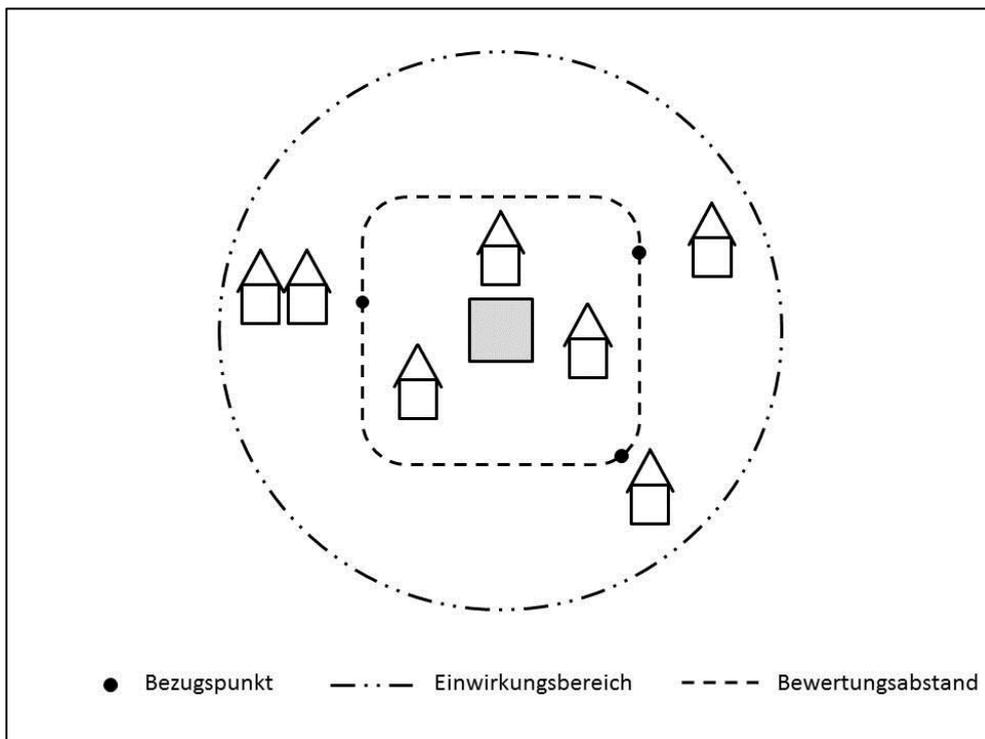
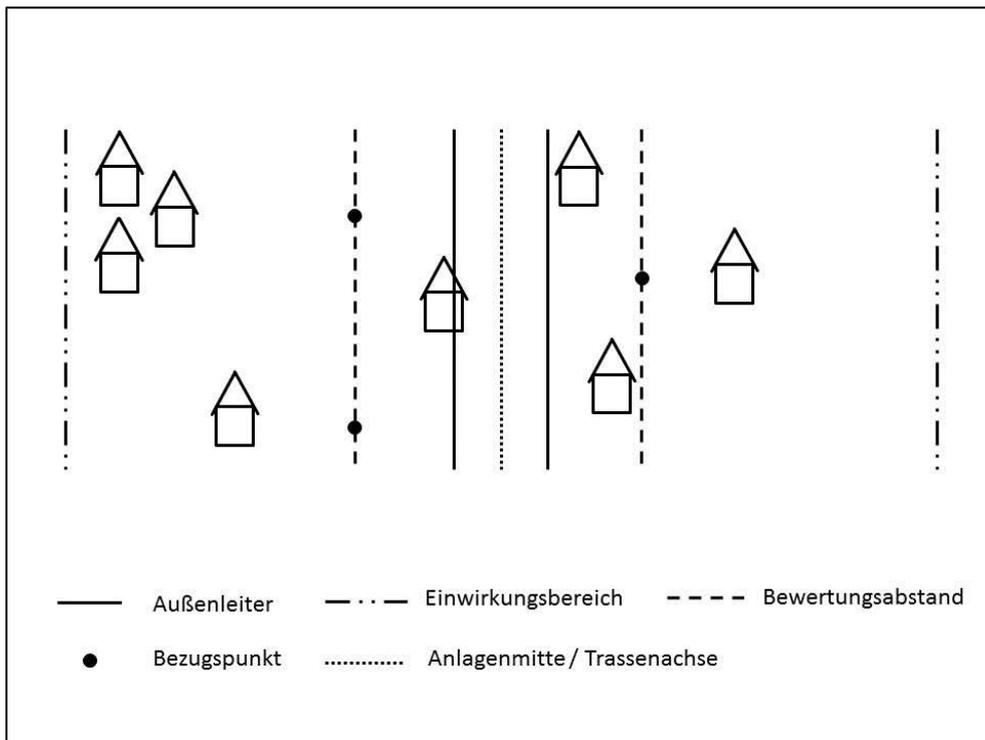
Anhang III zu Ziffer 3.2.2.2

Beispiele für die individuelle Minimierungsprüfung

Beispiele für Fall I



Beispiele für Fall II



6. Inkrafttreten

Diese allgemeine Verwaltungsvorschrift tritt am Tag nach der Bekanntgabe in Kraft.

Der Bundesrat hat zugestimmt.

Berlin, den