

ULTRANET FAQ - OFT GESTELLTE FRAGEN

STAND MÄRZ 2022

INHALTSVERZEICHNIS

Bedarf und Genehmigung	4
1. Warum ist die Gleichstromverbindung Ultranet erforderlich?	4
2. Wird Ultranet denn nur „grünen Strom“ transportieren?	4
3. Wenn es um Offshore-Windenergie geht – warum startet bzw. endet Ultranet dann in Nordrhein-Westfalen?	4
4. Gibt es Stromengpässe und Versorgungsausfälle, wenn die Leistung der abgeschalteten Kernkraftwerke nicht rechtzeitig durch Ultranet und andere Gleichstromverbindungen ersetzt wird?	4
5. Wie wird der Bedarf für die Verstärkung und den Ausbau des Stromnetzes ermittelt?	5
6. Werden die großen Stromtrassen mit wachsender dezentraler Energieeinspeisung (verbrauchsnahe Erzeugung) überflüssig?	5
7. Wie wird das Projekt genehmigt?	6
Technische Aspekte	6
8. Warum ist die Verbindung in Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungstechnik (HGÜ) geplant?	6
9. Was bedeutet eigentlich „Hybridleitung“?	6
10. Warum wird die Gleichstromverbindung Ultranet nicht als Erdkabel umgesetzt?	6
11. Wieso ist die Gleichstromverbindung Ultranet ein „Pilotprojekt“?	7
12. Werden Anwohnerinnen und Anwohner mit Ultranet zu Versuchskaninchen?	7
Immissionsschutz	7
13. Was sind elektrische und magnetische Felder?	7
14. Welche Felder treten bei Ultranet auf?	8
15. Wie stark sind die magnetischen Felder heute im Wechselstrombetrieb und wie stark sind sie im Hybridbetrieb?	8
16. Welche Vorgaben gibt es, um die Gesundheit von Anwohnerinnen und Anwohnern zu schützen?	9
17. Gelten im benachbarten Ausland andere Grenzwerte?	9

18. Und bei den Gleichfeldern – gelten hier europaweit dieselben Grenzwerte?	10
19. Gibt es für den Gesundheitsschutz einen Mindestabstand zu Stromleitungen?	10
20. Welche Auswirkungen haben elektrische und magnetische Gleichfelder auf den Menschen?	11
21. Welche Auswirkungen haben die Felder einer Hybridleitung? Wie verhält es sich also bei der Kombination von Gleich- und Wechselfeldern?	11
22. Manche Menschen spüren ein Kribbeln auf der Haut unter Stromleitungen? Wie ist das bei Ultranet?	12
23. Was unternimmt Amprion, damit Anwohnerinnen und Anwohner von den elektrischen Feldern nicht belästigt werden?	12
24. Wie stellt Amprion den Immissionsschutz sicher?	13
Was sagt die Wissenschaft?	13
25. Sind die Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern überhaupt ausreichend untersucht?	13
26. Fordert die Strahlenschutzkommission nicht weitere Humanstudien?	13
27. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat eine neue Studienreihe in Auftrag gegeben. Müssen die Ergebnisse vor dem Ausbau des Netzes nicht erst einmal abgewartet werden?	13
Was ist mit den Korona-Ionen?	14
28. Was sind eigentlich Ionen?	14
29. Was sind Korona-Ionen bei Höchstspannungsleitungen?	14
30. Gefährden Korona-Ionen von Höchstspannungsleitungen die Gesundheit?	15
Was ist mit den Geräuschen der Leitung?	16
31. Wodurch entsteht das Knistern an Leitungen?	16
32. Warum gibt es die Unterschiede bei den Geräuschen von Gleichstrom und Wechselstromleitungen bei Regen bzw. Trockenheit?	16
33. Eine Wechselstromleitung knistert bei Regen, die Gleichstromleitung bei trockenem Wetter. Wird es künftig rund um die Uhr knistern?	17
Weiterführende Links	17
Literaturverzeichnis	18

BEDARF UND GENEHMIGUNG

1. Warum ist die Gleichstromverbindung Ultramet erforderlich?

In Deutschland und Europa befinden sich die Stromnetze im Wandel – die deutsche Energiewende und immer mehr grenzüberschreitende Stromflüsse prägen schon heute die Energielandschaft und stellen unser Übertragungsnetz vor neue Herausforderungen. Die Kohle- und Kernkraftwerke in Deutschland gehen sukzessive vom Netz, dafür kommen viele dezentrale Erzeuger dazu. Vor allem Offshore-Windparks in der Nordsee werden große Mengen Energie liefern – mehr als an der Küste verbraucht werden kann. Und im Süden Deutschlands erzeugen Photovoltaikanlagen mehr und mehr Strom. Diese Energie soll möglichst genau dahin transportiert werden, wo sie gebraucht wird. Besonders im Süden und Westen Deutschlands werden auch in Zukunft große Strommengen für die Industrie benötigt. Der Stromverbrauch wird noch anwachsen, wenn wir zukünftig zum Beispiel vermehrt auf E-Mobilität und die Elektrifizierung der Industrie setzen wollen. Und nur so können wir unsere Klimaziele erreichen. Für die Übertragung größerer Strommengen über weite Distanzen fehlen bislang die Kapazitäten. Im Zuge der Energiewende wird das deutsche Stromnetz daher um leistungsfähige Gleichstromverbindungen ergänzt, die Strom über viele hundert Kilometer verlustarm transportieren.

2. Wird Ultramet denn nur „grünen Strom“ transportieren?

Welche Energie über eine Leitung fließt, hängt von der witterungsbedingten Einspeisung aus erneuerbaren Energien ab und wird darüber hinaus vom Markt entschieden.

Wenn allerdings Öko-Strom in das Netz eingespeist wird, hat er Vorrang vor Strom aus fossilen Brennstoffen. Das garantiert das EEG – das Erneuerbare-Energien-Gesetz.

- Zu Zeiten hohen Windaufkommens im Norden dient die Leitung zum Abtransport der Windenergieleistung in südliche Richtung.
- Bei hoher Sonneneinspeisung kann Leistung aus Süddeutschland in Richtung Rhein-Ruhr-Region transportiert werden.
- Zu Zeiten geringer Erzeugung aus erneuerbaren Energien kann bis zu ihrer Abschaltung noch je nach marktbedingtem Kraftwerkeinsatz Leistung aus den im Ballungszentrum Rhein-Ruhr vorhandenen Kraftwerken zur Energieversorgung beitragen und transportiert werden. Aber je mehr Ökostrom produziert wird, desto weniger wird das der Fall sein.

3. Wenn es um Offshore-Windenergie geht – warum startet bzw. endet Ultramet dann in Nordrhein-Westfalen?

Im ersten Schritt endet die Gleichstromverbindung Ultramet in Meerbusch-Osterath. Dieser Verknüpfungspunkt ist und bleibt sehr wichtig für die Energieversorgung Nordrhein-Westfalens. In einem zweiten Ausbauschnitt der Gleichstromverbindung bis nach Emden (A-Nord) gelangt zunehmend weniger konventionelle Energie aus Nordrhein-Westfalen ins Netz. Vielmehr wird Windenergie aus den Offshore-Windparks Richtung Süden, also nach Nordrhein-Westfalen und nach Baden-Württemberg fließen. Damit Nordrhein-Westfalen davon profitieren kann, ist die „Steckdose“ in Osterath sehr wichtig.

4. Gibt es Stromengpässe und Versorgungsausfälle, wenn die Leistung der abgeschalteten Kernkraftwerke nicht rechtzeitig durch Ultramet und andere Gleichstromverbindungen ersetzt wird?

Fakt ist, dass die Anstrengungen, um die Systemstabilität im Netz kontinuierlich sicherzustellen, größer werden. Die Übertragungsnetzbetreiber überwachen rund um die Uhr die Leistungsflüsse im Netz. Sie

sorgen dafür, dass keine Leitungen überlasten und beheben Netzengpässe. Ein Mittel dafür ist der sogenannte Redispatch von Kraftwerken. Dabei wird die Einspeisung eines Kraftwerks vor einem Netzengpass heruntergefahren und zum Ausgleich hinter dem Netzengpass die Einspeisung eines anderen Kraftwerks erhöht. Diese Eingriffe ins Netz nehmen zu und damit die Kosten für den Stromkunden. Je mehr Kraftwerke im Süden abgeschaltet werden, desto dringender brauchen wir die Leitungen aus dem Norden, die dies kompensieren.

5. Wie wird der Bedarf für die Verstärkung und den Ausbau des Stromnetzes ermittelt?

Der Netzentwicklungsplan (NEP) beschreibt, wo das deutsche Höchstspannungsnetz in den kommenden 10 bis 15 Jahren ausgebaut oder verstärkt werden muss und legt entsprechende Ausbauprojekte fest. Die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber Amprion, 50Hertz, TenneT und TransnetBW entwickeln den NEP auf Basis des so genannten Szenariorahmens, der die wahrscheinliche Entwicklung von Energieerzeugung und -verbrauch in Deutschland sowie dessen Austausch mit anderen Ländern für die kommenden Jahre beschreibt. Der NEP wird gemäß Energiewirtschaftsgesetz in einem zweijährlichen Turnus erstellt. Die Bundesnetzagentur (BNetzA) prüft die Planungen und bestätigt die energiewirtschaftlich erforderlichen und vordringlichen Vorhaben. Die Öffentlichkeit hat von Beginn an mehrfach im Erstellungsprozess Gelegenheit, ihre Argumente einzubringen - ein bisher einmaliges Verfahren bei der Planung von Infrastrukturprojekten in Deutschland. Die Ergebnisse des Netzentwicklungsplans fließen in das Bundesbedarfsplangesetz ein.



6. Werden die großen Stromtrassen mit wachsender dezentraler Energieeinspeisung (verbrauchsnahe Erzeugung) überflüssig?

Allgemein ist richtig, dass das zukünftige Stromsystem sehr dezentral organisiert sein wird. Dezentralität darf aber nicht mit Autonomie verwechselt werden. Ein großer Anteil der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien findet in relativ dünn besiedelten Regionen statt, wo Wind- bzw. Sonnenkraft am stärksten ist. Dort wird von den dezentralen Erzeugern in der Regel mehr produziert, als vor Ort verbraucht wird. Der produzierte Überschuss wird über die Übertragungsnetze in Verbrauchszentren transportiert. Ein Umbau der Stromerzeugung erfordert deshalb auch einen Umbau der Transportinfrastruktur. Dezentrale Stromproduktion führt deshalb nicht automatisch zum Einsparen von Stromleitungen. De facto entsteht durch zunehmend dezentrale Energieerzeugung mehr Netzausbaubedarf: Dezentral ist in den meisten Fällen nicht gleichzusetzen mit verbrauchsnahe. Insbesondere der Strombedarf für Industrie und Gewerbe lässt sich mit einem rein dezentralen Konzept nicht decken. Dies belegt auch eine Studie des Umweltbundesamtes zu dem Thema. [1]

7. Wie wird das Projekt genehmigt?

Die Genehmigung von Ultranet erfolgt in zwei Schritten. In der Bundesfachplanung wird von der Bundesnetzagentur ein circa 1 Kilometer breiter Trassenkorridor für den Verlauf der Leitung festgelegt. Danach wird der konkrete Verlauf innerhalb des Korridors in einem Planfeststellungsverfahren festgelegt. Die Genehmigung der Konverteranlagen in Osterath und Philippsburg zur Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom und umgekehrt erfolgt in einem Verfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz bei den Landkreisen.

TECHNISCHE ASPEKTE

8. Warum ist die Verbindung in Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungstechnik (HGÜ) geplant?

Für bestimmte Transportaufgaben empfehlen sich heutzutage Gleichstromverbindungen. Sie sind ideal geeignet, große Strommengen verlustarm und zielgerichtet über weite Entfernungen dorthin zu transportieren, wo diese gebraucht werden. Ultranet kann bei gleicher Spannung (380 Kilovolt) mehr elektrische Leistung transportieren als eine Wechselstromleitung. Zudem funktioniert die Verbindung wie ein Bypass von Punkt zu Punkt, Osterath nach Philippsburg oder von Philippsburg nach Osterath, vorbei am stark belasteten Wechselstromnetz im Rheinland und Rhein-Main-Gebiet.

Besonders vorteilhaft ist bei der Gleichstromtechnik zudem, dass die Verbindung steuerbar ist. So lässt sich der Stromfluss gezielt an den tatsächlichen Strombedarf anpassen. Darüber hinaus spielen die Konverterstationen an den Enden der Strecke eine wichtige Rolle für die Netzsicherheit. Sie regulieren und stabilisieren die Spannung im Netz. Damit übernehmen sie eine Aufgabe, die bisher konventionelle Kraftwerke geleistet haben.

9. Was bedeutet eigentlich „Hybridleitung“?

Hybrid bedeutet im Fall von Ultranet, dass zwei erprobte Techniken – nämlich Wechselstrom- und Gleichstrom-Übertragung, auf einem Mast hängen. Auf der Strecke zwischen Osterath und Philippsburg soll ein Stromkreis vorhandener Höchstspannungsleitungen von Wechsel- auf Gleichstrom umgestellt werden. Beide Techniken bieten beim Betrieb des Stromnetzes Vorteile bei bestimmten Situationen. In Zukunft möchte Amprion die beiden Techniken zwischen Osterath und Philippsburg kombinieren, um das Netz optimal zu steuern und auch nach dem Ausstieg aus Kern- und Kohleenergie stabil zu halten. Wenn wir beide Techniken an einem Mast kombinieren, dann bedeutet das auch, dass wir für Ultranet keine zusätzliche Leitung bauen müssen, sondern die bisherige effizienter nutzen. Zum großen Teil können wir eine bereits bestehende Leitung und sogar die vorhandenen Masten nutzen, die lediglich umgerüstet werden. Diese Lösung ist nicht nur wirtschaftlich von großem Vorteil, sondern auch für Mensch und Natur. Regionen wie das Rheinland und Rhein-Main-Gebiet werden nicht mit einer zusätzlichen Leitungsverbindung belastet und engbesiedelter Raum so geschont.

10. Warum wird die Gleichstromverbindung Ultranet nicht als Erdkabel umgesetzt?

Viele Bürgerinnen und Bürger fragen im Rahmen unserer Dialogveranstaltungen nach einer unterirdischen Verlegung der geplanten Leitung. Ultranet zählt jedoch nicht zu den Gleichstromprojekten, die der Gesetzgeber laut Bundesbedarfsplangesetz dafür vorsieht. Das liegt daran, dass wir für Ultranet bestehende Leitungen nutzen können und somit kein Neubau erforderlich ist – weder über- noch unterirdisch. Da ein Gleichstrom-Erdkabel die bestehende Wechselstromleitung nicht ersetzen kann, würde es lediglich parallel zur Freileitung betrieben. Ein zusätzlicher Kabelgraben

hätte nicht nur einen erheblichen Flächenbedarf, es entstünden auch neue Eingriffe in Natur und Landschaft. Vor diesem Hintergrund stellt eine Erdverkabelung für Ultranet keine sinnvolle Option dar.

11. Wieso ist die Gleichstromverbindung Ultranet ein „Pilotprojekt“?

Der Gesetzgeber hat alle Gleichstromverbindungen, die im Bundesbedarfsplan aufgeführt sind, als Pilotprojekt gekennzeichnet. Das liegt daran, dass die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungstechnik (HGÜ) innerhalb des bestehenden vermaschten Wechselstromnetzes in Deutschland erstmalig angewendet wird. Weltweit sind HGÜ-Verbindungen bereits in vielen Ländern im Einsatz – in Deutschland bislang für die Netzanbindung von Offshore-Windparks.

12. Werden Anwohnerinnen und Anwohner mit Ultranet zu Versuchskaninchen?

Innovationsprojekte gehen wir bei Amprion mit höchster Sorgfalt an. Es ist unser gesetzlicher Auftrag, den sicheren und zuverlässigen Betrieb unseres Übertragungsnetzes zu gewährleisten. Unserer Verantwortung müssen wir auch dann gerecht werden, wenn wir innovative Techniken in unser Netz integrieren. Deshalb haben wir auch die technische Möglichkeit einer Hybridleitung intensiv untersucht und 2012 im Feldversuch getestet. Dabei sind wir zu dem Ergebnis gekommen, dass der Betrieb technisch sicher möglich ist.

Bei der geplanten Hybridleitung kombinieren wir bewährte Techniken: Sowohl die Übertragung von Gleichstrom als auch von Wechselstrom ist im Höchstspannungsbereich gut erprobt und untersucht – auch im Hinblick auf den Immissionsschutz - elektrische und magnetische Felder.

IMMISSIONSSCHUTZ

13. Was sind elektrische und magnetische Felder?

Wo Strom fließt und Spannung anliegt, entstehen elektrische und magnetische Felder: zeitlich gleichbleibende Felder bei Gleichstrom (statische Felder oder auch Gleichfelder genannt) und sich zeitlich veränderliche Felder bei Wechselstrom (Wechselfelder).

Die Ursache für ein elektrisches Feld ist Spannung, die zwischen zwei Punkten anliegt. Je höher die Spannung ist, desto größer ist das elektrische Feld.

Elektrische Felder entstehen überall dort, wo Stromleitungen oder elektrische Geräte an das Stromnetz angeschlossen sind. Verbindet man ein elektrisches Gerät mit der Steckdose, entsteht ein elektrisches Feld – auch dann, wenn das Gerät nicht eingeschaltet ist, weil es dennoch unter Spannung steht. Das heißt: Alle Geräte im Haushalt, die über das Netzkabel mit der Steckdose verbunden sind, auch dann, wenn sie ausgeschaltet sind (Kaffeemaschine, Radio, Fernseher, PC etc.), umgibt ein elektrisches Feld aufgrund der Spannung. Vergleichbar also mit dem Wasserdruck in einem Gartenschlauch, der angeschlossen, aber nicht aufgedreht ist. Gemessen wird die elektrische Feldstärke bei niederfrequenten Feldern meist in Kilovolt pro Meter (kV/m).

Die Ursache für das magnetische Feld ist ein fließender Strom. Schaltet man den Fön, das Bügeleisen, den Fernseher, den Computer oder das Licht ein, entsteht zusätzlich zum elektrischen ein magnetisches Feld.

Das magnetische Feld umgibt das Gerät und den Leiter, durch den Strom fließt – also z.B. das Kabel des Föns, Bügeleisens, Fernsehers, Computers oder der Lampe. Für das magnetische Feld wird als physikalische Größe die „magnetische Flussdichte“ betrachtet. Diese wird bei niederfrequenten Feldern meist in Mikrottesla (μT) gemessen. Ein Mikrottesla ist ein Millionstel Tesla.

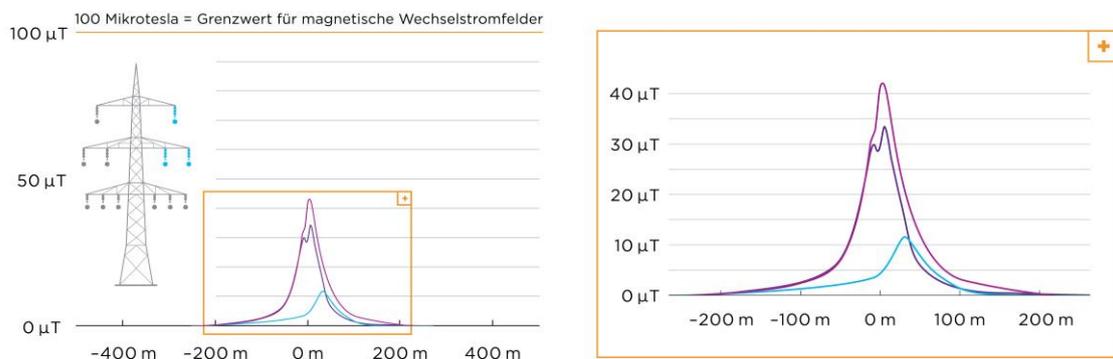
14. Welche Felder treten bei Ultrahochspannung auf?

Bisher werden die Leitungen zwischen Osterath und Philippsburg mit Wechselstrom betrieben. Dadurch werden elektrische und magnetische Wechselfelder erzeugt. Künftig soll ein bestehender Wechselstromkreis in Gleichstrom betrieben werden. Zu den bisherigen elektrischen und magnetischen Feldern des Wechselstroms kommen so genannte elektrische und magnetische Gleichfelder, auch statische Felder genannt, hinzu. Statische Felder kommen auch in der Natur vor. So entstehen elektrische Gleichfelder zwischen Erdboden und Gewitterwolken und entladen sich manchmal als Blitz. Ein Beispiel für ein natürliches, statisches Magnetfeld ist das Erdmagnetfeld.

15. Wie stark sind die magnetischen Felder heute im Wechselstrombetrieb und wie stark sind sie im Hybridbetrieb?

Die Stärke der magnetischen Felder kann je nach Leitung und Auslastung unterschiedlich sein. Die magnetischen Felder unterhalb der bestehenden Freileitung im reinen Wechselstrombetrieb liegen gewöhnlich weit unterhalb des Grenzwerts der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) von 100 Mikrottesla. Auch das magnetische Gleichfeld wird deutlich unterhalb des Grenzwertes von 500 Mikrottesla für Gleichfelder liegen und sich unterhalb der typischen Stärke des Erdmagnetfelds von 50 Mikrottesla bewegen. [2] (vgl. auch Frage 16)

BEISPIELRECHNUNG FÜR MAGNETISCHE FELDER



Hybridbetrieb - Anteil Wechselstrom

1 Stromkreis mit $\pm 380\text{-kV}$ -Wechselstrom,
2 Stromkreise mit 110-kV -Wechselstrom:
magnetische Flussdichte (max.)
= 33 Mikrottesla

Hybridbetrieb - Anteil Gleichstrom

1 Stromkreis mit $\pm 380\text{-kV}$ -Gleichstrom
(Bipol-Betrieb):
magnetische Flussdichte (max.)
= 11 Mikrottesla

Umschaltoption

2 Stromkreise mit
 380-kV -Wechselstrom,
2 Stromkreise 110-kV -Wechselstrom:
magnetische Flussdichte (max.)
= 42 Mikrottesla

Die „Umschaltoption“ sieht den temporären Betrieb des Gleichstromkreises in Wechselstrom vor, zum Beispiel in Revisionszeiten des Konverters.

- Berechnung für maximale Leitungsauslastung
- Abstand zu Trassenmitte in Meter
- $110\text{-}/380\text{-kV}$ -Spannungsebene
- 15 Meter Abstand zwischen Leiterseil und Boden

16. Welche Vorgaben gibt es, um die Gesundheit von Anwohnerinnen und Anwohnern zu schützen?

Für durch elektrische Anlagen erzeugte elektrische und magnetische Felder legt die aktuelle Fassung der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) aus dem Jahr 2013 Grenzwerte fest [2]. Diese in der 26. BImSchV verankerten Grenzwerte wurden auf der Grundlage übereinstimmender Empfehlungen der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) und der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) festgelegt. Sie betragen 500 Mikrottesla für magnetische Gleichfelder, 100 Mikrottesla für magnetische Wechselfelder und 5 Kilovolt pro Meter für elektrische Wechselfelder mit der Netzfrequenz von 50 Hertz. Da elektrische Gleichfelder keine direkten Wirkungen auf den Körper haben, gibt es für sie keine Grenzwerte. Erhebliche Belästigungen durch Entladungen müssen vermieden werden.

17. Gelten im benachbarten Ausland andere Grenzwerte?

In anderen europäischen Ländern werden ähnliche Ansätze zum Schutz der Allgemeinheit vor den Wirkungen von Feldern verfolgt. In den Niederlanden und der Schweiz gelten beispielsweise die folgenden Grenzwerte:

	Frequenz	Elektrisches Feld	Magnetisches Feld
Niederlande	50 Hz	8 kV/m	120 μ T
	0 Hz	--	40.000 μ T
Schweiz	50 Hz	5 kV/m	100 μ T
	0 Hz	--	40.000 μ T

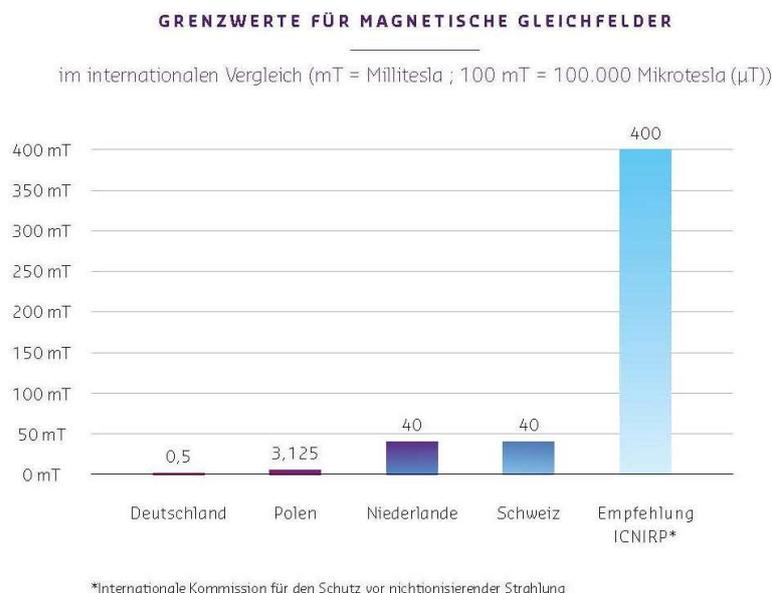
In den Niederlanden sind die Grenzwerte jedoch nicht gesetzlich geregelt, sondern werden lediglich von einem nationalen Expertenkomitee des Gesundheitsrates empfohlen (Health Council of the Netherlands) [3]. Das heißt die Einhaltung ist nicht gesetzlich vorgeschrieben und damit unverbindlich. In der Schweiz sind die Grenzwerte in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) geregelt [4]. Die Einhaltung ist verpflichtend und muss wie in Deutschland nachgewiesen werden.

Die Niederlande und die Schweiz sehen ebenso Konzepte zur Vorsorge bei Neubauten vor. In den Niederlanden besteht eine Empfehlung des Ministeriums für Bauraumplanung und Umwelt beim Neubau von Hochspannungsleitungen in der Nähe von Wohnhäusern, Schulen und Kindergärten im Jahresmittel einen Wert für das magnetische 50 Hz-Feld von 0,4 μ T nicht zu überschreiten [5], [6]. Die Schweiz hat hingegen einen sogenannten Anlagegrenzwert von 1 μ T festgelegt, der pro neuer Anlage und an Orten mit empfindlicher Nutzung wie Wohnungen oder Spielplätzen gelten soll [4]. Die Behörden können allerdings Ausnahmen genehmigen, etwa wenn die Umsetzung zu hohe Kosten verursacht [4]. Letztlich gewährleisten alle Konzepte der Vorsorge, ob in Deutschland, den Niederlanden, der Schweiz oder anderen europäischen Ländern, ein gleich wirksames Schutzniveau. [7]

18. Und bei den Gleichfeldern – gelten hier europaweit dieselben Grenzwerte?

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat im Jahr 2006 einen umfassenden ausführlichen Review zu den biologischen Wirkungen von statischen elektrischen und magnetischen Feldern veröffentlicht [8]. Die Datengrundlage beruht auf knapp 600 wissenschaftlichen Studien, die bis einschließlich 2005 veröffentlicht wurden. Das Dokument ist die Grundlage für die Grenzwertempfehlungen für Gleichfelder der ICNIRP [9], an denen sich ebenfalls der deutsche Gesetzgeber orientiert. Die Veröffentlichungen nach 2005 wurden in einem weiteren wissenschaftlichen Review ausgewertet [10].

Für Gleichstromleitungen gilt: Elektrische Gleichfelder haben keine direkten Auswirkungen auf das Körperinnere. Einen konkreten Grenzwert empfiehlt die ICNIRP daher nur für magnetische Gleichfelder. Wie die folgende Grafik zeigt, hat Deutschland im internationalen Vergleich die strengsten Grenzwerte für magnetische Gleichfelder festgesetzt. Hier hatte man Menschen mit Implantaten wie Herzschrittmachern im Blick. Die Implantate dürfen auf keinen Fall beeinflusst werden.



19. Gibt es für den Gesundheitsschutz einen Mindestabstand zu Stromleitungen?

Häufig werden wir bei unseren Bürgerveranstaltungen nach den Abstandsvorgaben gefragt, die einige Bundesländer beim Bau neuer Leitungen vorsehen. Oft wird vermutet, dass sich die Vorgaben aus dem Gesundheitsschutz ableiten. Das ist jedoch nicht der Fall – vielmehr zielen sie auf den Schutz des Wohnumfeldes. Es sollen siedlungsnahen Freiräume erhalten bleiben, die ein attraktives Landschaftsbild aufweisen. Da wir für Ultranet bestehende Leitungen in einem gewachsenen Wohnumfeld nutzen, finden die Abstandsregeln keine Anwendung.

Für den Schutz der Gesundheit sind Abstände nicht erforderlich. Entscheidend ist hierbei, dass die Stärke der Immissionen durch elektrische und magnetische Felder oder durch Geräusche unterhalb von festgelegten Grenzwerten bleibt. Diese Anforderung des Immissionsschutzes sind in Deutschland für elektrische und magnetische Felder in der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV) und für Geräusche in der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) geregelt.

Wir sind verpflichtet, die Einhaltung der Grenzwerte in den Genehmigungsverfahren nachzuweisen. Sowohl die elektrischen und magnetischen Felder als auch die Geräuschemissionen nehmen mit zunehmendem Abstand von einer Höchstspannungsleitung stark ab. Insbesondere die magnetischen Felder werden mit Blick auf die Gesundheit häufig diskutiert. Wir legen jedoch unsere Höchstspannungsleitungen so aus, dass der entsprechende Grenzwert auch im direkten Umfeld einer Leitung deutlich unterschritten wird. Die Felder sind damit so gering, dass sie sich nicht negativ auf die Gesundheit auswirken können.

Auch das Bundesamt für Strahlenschutz beantwortet die Frage nach dem Abstand von Wohngebäuden zu Freileitungen auf seiner [Homepage](#).

20. Welche Auswirkungen haben elektrische und magnetische Gleichfelder auf den Menschen?

Elektrische Gleichfelder haben keine direkten Auswirkungen auf das Körperinnere, denn sie dringen nicht in den Körper ein. Auch die elektrischen Gleichfelder von Ultranet sind daher ungefährlich. Elektrische Felder kann man aber auf der Haut spüren, da sich durch sie Ladungen auf der Körperoberfläche sammeln können. Durch einen entsprechenden technischen Aufbau werden die elektrischen Felder minimiert, so dass es zu keinen erheblichen Belästigungen kommt (mehr dazu vgl. Fragen 21/22).

Magnetische Gleichfelder sind im Hinblick auf mögliche biologische Wirkungen grundsätzlich als unkritisch anzusehen, weil sie keine Ströme im Körper verursachen. Laut Weltgesundheitsorganisation gibt es keinerlei Hinweise auf negative Auswirkungen magnetischer Gleichfelder bei Leitungen zur Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) [8].

Der Gesetzgeber schreibt vor, Leitungen so zu errichten und betreiben, dass sie die gesetzlichen Grenzwerte an Orten, die zum dauerhaften oder vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind auch bei höchster Auslastung der Leitungen einhalten. Die Grenzwerte der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung stellen sicher, dass es zu keinen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit kommt [2].

Die Strahlenschutzkommission kommt zum Schluss, dass auch nach Bewertung der neueren wissenschaftlichen Literatur durch die bei Hochspannungs-Gleichstromübertragungsleitungen anzunehmenden magnetischen Gleichfelder keine direkten gesundheitlich relevanten Auswirkungen auf die Allgemeinbevölkerung zu erwarten sind [11]. Die Stärke des magnetischen Gleichfelds liegt sogar direkt unter der Stromleitung im Bereich der in der Natur auftretenden Werte.

21. Welche Auswirkungen haben die Felder einer Hybridleitung? Wie verhält es sich also bei der Kombination von Gleich- und Wechselfeldern?

Wichtig ist dabei, zwischen elektrischen und magnetischen Feldern zu unterscheiden. Denn elektrische Felder bleiben an der Körperoberfläche. Magnetische Felder hingegen gehen durch den Körper hindurch.

Elektrische Gleichfelder dringen nicht in den Körper ein und auch die elektrischen Wechselfelder werden fast vollständig vom Körper abgeschirmt. Es kann somit auch nicht durch die Kombination von elektrischen Gleich- und Wechselfeldern zu einer Wirkung im Körper kommen.

Magnetische Felder können eine Wirkung erst bei hohen Flussdichten erzeugen. Die magnetischen Flussdichten bei beiden Betriebsarten sind jeweils zu niedrig, um sich gesundheitlich auf den menschlichen Körper auszuwirken. Auch eine aufschaukelnde oder Wechselwirkung gibt es nicht. Die magnetischen Gleich- und Wechselfelder sind so schwach, dass die Kombination beider Felder kein Problem ist. Wir leben schließlich tagtäglich in der Kombination aus Erdmagnetfeld und magnetischen

Wechselfeldern von Leitungen oder Haushaltsgeräten.

Das deckt sich mit allen bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen: Es liegen zahlreiche Studien zu Wechselstrom-Magnetfeldern von Freileitungen vor, die keinen Nachweis gesundheitlicher Gefahren unterhalb der Flussdichten, wie sie durch die Grenzwerte festgelegt sind, erbracht haben (www.emf-portal.org). Die Ergebnisse dieser Studien gelten auch für die Hybridleitung Ultranet: Das Wechselstrom-Magnetfeld der Freileitungen überlagert sich stets mit dem magnetischen Gleichfeld der Erde (Erdmagnetfeld).

Dies spiegelt sich ebenfalls in der gesetzlich vorgeschriebenen separaten Bewertung bezüglich der Grenzwerte für Gleich- und Wechselfelder in der 26. BImSchV wieder. Hierzu heißt es in den Durchführungshinweisen zur 26. BImSchV [12], dass es „[...] bisher keinen wissenschaftlichen Anhaltspunkt für ein gemeinsames Wirkmodell von Gleichfeldern und Wechselfeldern gibt.“

22. Manche Menschen spüren ein Kribbeln auf der Haut unter Stromleitungen? Wie ist das bei Ultranet?

Elektrische Felder kann man auf der Haut spüren, da sich durch sie Ladungen auf der Körperoberfläche sammeln können. Bei der Kombination von elektrischen Gleich- und Wechselfeldern können die Ladungen auf der Haut stärker wahrgenommen werden. Wir spüren es zum Beispiel, wenn sich unsere Körperhärchen aufrichten. Dies kann aber nicht zu gesundheitsrelevanten Wirkungen führen.

Darüber hinaus kann sich der Körper in elektrischen Feldern aufladen und es kann zu Mikroentladungen kommen. Das kennt jeder aus dem Alltag. Der Körper lädt sich zum Beispiel beim Laufen auf einem Teppich oder beim Tragen von Kunstfasertextilien oder Wollpullovern auf. Wenn daraufhin z.B. eine Türklinke berührt wird, bekommt man „einen gewischt“. Diese Mikroentladungen können auch unter einer Höchstspannungsleitung auftreten. Sie sind aber völlig ungefährlich, weil sie gerade einmal so stark sind, dass der Mensch sie spüren kann. Sie sind zu klein, um eine gesundheitliche negative Wirkung zu haben. [13]

23. Was unternimmt Amprion, damit Anwohnerinnen und Anwohner von den elektrischen Feldern nicht belästigt werden?

Weil bekannt ist, dass man elektrische Felder aufgrund von Ladungen auf der Haut spüren kann, haben die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber eine wissenschaftliche Studie zur Wahrnehmungsschwelle unterstützt, durchgeführt von der Universität RWTH Aachen. Die Netzbetreiber wollten genauer wissen, ab wann die Ladungen bei einer Hybridleitung zu spüren sind. In der Studie wurde wie von der Strahlenschutzkommission gefordert eine Humanstudie unter gut kontrollierten Bedingungen durchgeführt [11].

Die Ergebnisse dieser Humanstudie zeigen, dass ab bestimmten Schwellen, die Kombination von elektrischen Gleich- und Wechselfeldern stärker wahrgenommen werden, als das bei einer Feldart alleine der Fall ist [14], [15]. Amprion und TransnetBW setzen die Erkenntnisse aus dieser Studie in ihren Planungen der Ultranet-Leitung um. Durch einen entsprechenden technischen Aufbau minimieren die Übertragungsnetzbetreiber die elektrischen Felder. Das bedeutet es kann für einzelne Maste eine punktuelle Erhöhung vorgesehen werden, so dass die Gleich- und Wechselfelder von Ultranet nicht als störend wahrgenommen werden. Es werden damit auch die Anforderungen der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung erfüllt. Denn nicht nur gesundheitsrelevante Wirkungen, die mit der deutlichen Unterschreitung der Grenzwerte ohnehin ausgeschlossen sind, sondern auch etwaige Belästigungen durch auf der Haut spürbare Ladungen möchten Amprion und TransnetBW sicher ausschließen.

24. Wie stellt Amprion den Immissionsschutz sicher?

Amprion legt strenge Maßstäbe an die Planung an, um den bestmöglichen Immissionsschutz zu erzielen und die Grenzwerte der Bundes-Immissionsschutzverordnung zu unterschreiten. Wir gehen dabei von dem Fall der dauerhaften maximalen Auslastung der Leitung aus und planen die Leitung entsprechend. Auch direkt unterhalb der Leitung erreichen wir so in der Praxis Feldstärken des elektrischen und magnetischen Feldes, die die Grenzwerte sicher unterschreiten. Mit seitlichem Abstand zur Leitung nehmen die elektrischen und magnetischen Felder rapide ab. Amprion weist die Einhaltung der Grenzwerte im Rahmen der Genehmigungsverfahren nach.

Was sagt die Wissenschaft?

25. Sind die Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern überhaupt ausreichend untersucht?

Die Forschungslage zu elektrischen und magnetischen Feldern ist ausgezeichnet. Es gibt insgesamt über 6.500 Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Gleich- und Wechselfeldern. Die Studien befassen sich mit verschiedenen Bereichen: Kurzzeitwirkungen wie Kopfschmerzen oder auch Langzeitwirkungen wie Krebserkrankungen oder Alzheimer. Die Studien sind in der weltweit größten Datenbank zu elektrischen und magnetischen Feldern verzeichnet, dem EMF-Portal des Forschungszentrums für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) des Universitätsklinikums der RWTH Aachen: www.emf-portal.org

26. Fordert die Strahlenschutzkommission nicht weitere Humanstudien?

Die Strahlenschutzkommission empfiehlt ergänzende Humanstudien zur Wahrnehmbarkeit der elektrischen Felder von Gleichstromverbindungen. Dies liegt daran, dass die durch Studien zu diesem Thema geschaffene Datengrundlage eher begrenzt war. Von der RWTH Aachen wurde mittlerweile eine ergänzende Studie zur Wahrnehmungsschwelle durchgeführt [14], [15]. Es war wie von der Strahlenschutzkommission gefordert eine Humanstudie unter gut kontrollierten Bedingungen. Die Planung für Ultrahochspannung basiert auf den Erkenntnissen dieser aktuellen Studie.

27. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat eine neue Studienreihe in Auftrag gegeben. Müssen die Ergebnisse vor dem Ausbau des Netzes nicht erst einmal abgewartet werden?

Um den bereits umfangreichen Wissenstand noch weiter auszubauen hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) das Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ initiiert. Dabei rechnet man nicht mit Ergebnissen, die den aktuellen Forschungsstand widerlegen. Vielmehr geht es darum, das Wissen noch besser abzusichern und offene Einzelfragen zu untersuchen. Nach dem Auslaufen des vorangegangenen BfS-Forschungsprogramms 2013-2017 kommt das BfS mit dem neuen Programm weiterhin seiner Aufgabe nach, im Sinne der Vorsorge in regelmäßigen Abständen noch offene wissenschaftliche Fragestellungen zu untersuchen. Eine Garantie für die Klärung dieser Fragestellungen gibt es dabei nicht, sehr wohl aber die Verpflichtung des Gesetzgebers immer wieder neue Ansätze auszuprobieren und Versuche zu unternehmen, offene Fragestellungen zu beantworten. Das Forschungsprogramm behindert in keiner Weise den Ausbau des Stromnetzes. Inhalte und Methoden des Forschungsprogramms des BfS dienen dazu, die Erkenntnisse der vielfältigen bereits vorhandenen Studien nochmals genauer zusammen zu fassen, Ergebnisse zu vertiefen und abzusichern, sowie den vorhandenen Wissensstand besser und transparenter zu kommunizieren.

Dies geht bereits aus dem im Jahr 2013 festgelegten Forschungsprogramm zum Strahlenschutz des BfS hervor. Einleitend steht dort: „Die 1996 in Kraft getretene und 2013 novellierte Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) gewährleistet den Schutz der Bevölkerung vor allen nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken von nieder- und hochfrequenten Feldern.“ Diese grundsätzliche Aussage findet sich ganz ähnlich auch im neuen Forschungsprogramm wieder. Dort heißt es: „Die Grenzwerte der 26. BImSchV schützen vor allen nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken statischer und niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder, die von Stromleitungen ausgehen. Die von der SSK bewerteten Studien und vom BfS durchzuführenden Studien dienen der Absicherung und der Veranschaulichung dieses wissenschaftlichen Kenntnisstandes für die allgemeine Bevölkerung.“

Etwaige neue Erkenntnisse, die sich im Zuge des Forschungsprogramms ergeben könnten, werden natürlich in nachfolgenden Schritten in der Gesetzgebung berücksichtigt und führen bei Bedarf zu einer Anpassung der 26. BImSchV. Ein Studienergebnis „weitere Forschung notwendig“ bedeutet dabei ausdrücklich nicht, dass Übertragungstechnologien nicht sicher sind, sondern zeigt dem BfS lediglich an, dass die Studie einzelne Fragestellungen nicht abschließend beantwortet hat und die Thematik bei zukünftigen Forschungsprogrammen weiter berücksichtigt werden sollte.

Was ist mit den Korona-Ionen?

28. Was sind eigentlich Ionen?

Ionen sind elektrisch geladene Teilchen, die auch durch natürliche Quellen in unserem Alltag entstehen. So können sie sich auf natürliche Weise zum Beispiel durch das UV-Licht der Sonne oder an einer brennenden Kerze bilden. Die Energie der Sonne oder der Flamme führt dazu, dass ein neutrales Teilchen in der Luft ein Elektron abgibt oder aufnimmt. Dadurch wird es zu einem geladenen Teilchen – einem Ion. Dieses Prinzip nutzen auch Geräte wie zum Beispiel Ionen-Föns. Sie sollen vermeiden, dass Haare elektrostatisch aufgeladen werden. Letztlich sind wir also in unserer Umwelt immer von Ionen umgeben und machen uns das Phänomen in unserem Alltag zu Nutze.

29. Was sind Korona-Ionen bei Höchstspannungsleitungen?

Auch im Umfeld von Höchstspannungsleitungen entstehen Ionen. Das liegt an der hohen elektrischen Spannung der Leiterseile, an denen es deswegen zu Entladungen kommt. Das passiert sowohl bei Wechselstrom- und als auch bei Gleichstromleitungen. Weil die Entladungen eine Ringform haben, werden sie als Korona-Entladungen bezeichnet. Daher wird im Zusammenhang mit Höchstspannungsleitungen auch manchmal von Korona-Ionen gesprochen.

Bei Wechselstromleitungen neutralisieren sich die Ionen sehr schnell. Hier ändert sich nämlich die Polung der Spannung ständig. Bei Gleichstrom gibt es diesen Polaritätswechsel nicht. Deshalb entstehen hier mehr Ionen in direkter Umgebung der spannungsführenden Leiterseile, die vom Wind weggeweht werden können. Manch einer nennt das Raumladungswolken.

Bei Ultranet laufen Gleich- und Wechselstromleitungen auf einem Mast. Mit Blick auf die Ionen ergibt sich dadurch ein Vorteil: Weil die beiden Leitungen so nah beieinander verlaufen, wird ein großer Teil der Ionen der Gleichstromleiter an den Wechselstromleitungen gleich mitneutralisiert.

Die im Bereich von Hochspannungsfreileitungen auftretenden Ionenkonzentrationen sind für Anwohner ungefährlich. Dies gilt auch für Ultranet. Für die Aufladung der Luft an HGÜ-Leitungen existieren daher auch keine Grenzwerte. [16], [17], [18], [19]

30. Gefährden Corona-Ionen von Höchstspannungsleitungen die Gesundheit?

Zwei Fragestellungen stehen im Fokus der Diskussion rund um Ionen: Zum einen, ob Ionen selbst einen Effekt auf den Körper haben, zum anderen, ob diese Ionen an Luftschadstoffen haften und dadurch beim Einatmen leichter in der Lunge oder auf der Haut bleiben.

Zu der Frage nach der Wirkung von Ionen gibt es über 100 Studien – sowohl zu Wechselstrom- als auch zu Gleichstromfreileitungen. Bislang wurde keine negative Wirkung auf den Körper nachgewiesen. [16], [18], [20]

Zu der Frage der Luftschadstoffe machte Ende der 1990 und Anfang der 2000er Jahre eine Forschungsgruppe um Henshaw und Fews aus Bristol von sich reden. Sie stellten die Theorie auf, dass Schadstoffe in der Luft, die durch die Höchstspannungsleitungen elektrisch aufgeladen werden, besonders schädlich sein könnten. [21], [22], [23], [24]

Vor allem deshalb, weil diese so genannten Aerosole möglicherweise besser in der Lunge oder auf der Haut haften. Diese Vermutungen konnten jedoch seither von keiner anderen Forschungsgruppe bestätigt werden. In mehreren Studien wurden verschiedene Windrichtungen modelliert und untersucht, wie sich die Aerosole jeweils verbreiten. Das Ergebnis: In der Nähe von Höchstspannungsleitungen ließ sich keine höhere Aerosolkonzentration feststellen als in weiter entfernten Gebieten. Die Vermutung, dass vom Wind fortgetragene Ionen Aerosole so aufladen, dass es zu einer höheren Ansammlung von Schadstoffen im Umfeld von Höchstspannungsleitungen kommt, hat sich nicht bestätigt. [17], [26], [27]

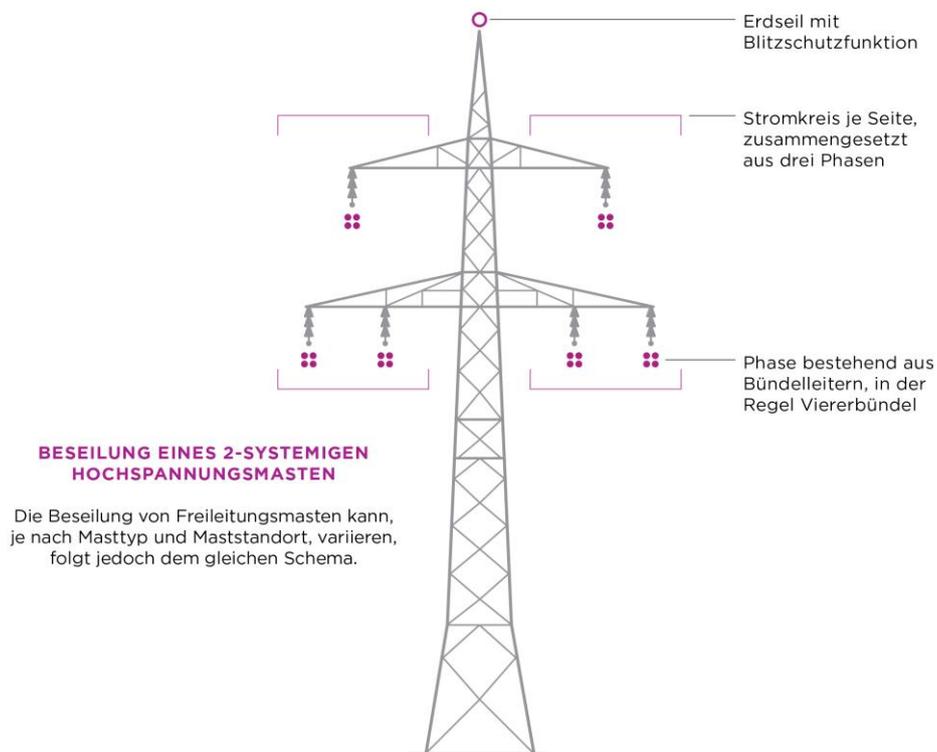
Auch vorhandene Aerosole in Bodennähe direkt unter einer Leitung haben keinen gesundheitlichen Effekt. Wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass die Ladung der Aerosole in Bodennähe unter einer Leitung auch zu gering ist, um über die Lunge oder die Haut leichter in den menschlichen Körper zu gelangen. Schadstoffe in der Luft sind also bei dieser geringen Ladung nicht gefährlicher als nicht geladene Schadstoffe in der Luft. [16], [25], [29] Und so kommen sowohl epidemiologische als auch experimentelle Studien zu dem Fazit, dass durch Ionen von Höchstspannungsleitungen kein gesundheitliches Risiko besteht. [17], [28], [30]

Was ist mit den Geräuschen der Leitung?

31. Wodurch entsteht das Knistern an Leitungen?

Geräusche an Leiterseilen entstehen beim Betrieb von Höchstspannungsleitungen bei Entladungen zwischen der Oberfläche der Leiterseile und der umgebenden Luft. Dabei ist manchmal ein Knistern wahrnehmbar. Die Lautstärke hängt neben den Witterungsbedingungen von der elektrischen Feldstärke auf der Oberfläche der Leiterseile ab. Diese sogenannte Randfeldstärke ergibt sich aus der Höhe der Spannung, der Anzahl und dem Durchmesser der Leiterseile je Phase sowie aus der geometrischen Anordnung und den Abständen der Leiterseile untereinander und zum Boden.

Amprion minimiert die Geräusche durch technische Möglichkeiten bestmöglich, zum Beispiel durch den Einsatz von Viererbündeln, speziell oberflächenbehandelten Leiterseilen oder Leiterseilen mit größerem Durchmesser.



32. Warum gibt es die Unterschiede bei den Geräuschen von Gleichstrom und Wechselstromleitungen bei Regen bzw. Trockenheit?

Auslöser der Entladungen sind Stellen, an denen die elektrische Feldstärke besonders hoch ist, also Spitzen oder unebene Stellen an den Leiterseilen: Bei Wechselstrom sind es Regentropfen, die diese Stellen maßgeblich darstellen und an denen sich Entladungen bilden. Bei Gleichstrom sind es Verschmutzungen oder Partikel in der Luft, an denen sich als unebene Stellen Entladungen bilden und damit Knistergeräusche entstehen.

33. Eine Wechselstromleitung knistert bei Regen, die Gleichstromleitung bei trockenem Wetter. Wird es künftig rund um die Uhr knistern?

Tatsächlich treten die meisten Geräusche durch Entladungen bei einer Gleichstromleitung bei trockenem Wetter, bei Wechselstrom dagegen bei Regen auf, wobei die Geräusche bei Gleichstromleitungen deutlich schwächer sind als die Geräusche bei Regen bei Wechselstromleitungen. Die Hybridleitung wird sowohl einen Stromkreis mit Gleichstrom als auch Stromkreise mit Wechselstrom führen. Die maximalen Schallimmissionen der geplanten Leitung werden im Hybridbetrieb nicht höher ausfallen als im reinen Wechselstrombetrieb.

Amprion stellt sicher, dass die Anforderungen der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) zu jeder Zeit eingehalten sind.

Weiterführende Links

- Bundesnetzagentur: www.netzausbau.de
- Netzentwicklungsplan der Übertragungsnetzbetreiber: www.netzentwicklungsplan.de
- EMF-Portal des Forschungszentrums für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) des Universitätsklinikums der RWTH Aachen: www.emf-portal.org
- Bundesamt für Strahlenschutz: www.bfs.de
- Ultranet-Projektseite von Amprion: <https://ultranet.amprion.net/>

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Peter, S. (2013): Modellierung einer vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Stromerzeugung im Jahr 2050 in autarken, dezentralen Strukturen, Bundesumweltamt, Climate Change, 14, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/modellierung-einer-vollstaendig-auf-erneuerbaren>
- [2] 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266): http://www.gesetze-im-internet.de/bimsv_26/index.html
- [3] <https://www.healthcouncil.nl/documents/advisory-reports/2000/03/07/exposure-to-electromagnetic-fields-0hz-10mhz>
- [4] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung vom 23. Dezember 1999, Stand 1. Juni 2019, <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2000/38/de>
- [5] <https://www.rivm.nl/documenten/beleidsadvies-vrom-2005-pdf-361-kb-1>
- [6] <https://www.rivm.nl/documenten/bijlage-beleidsadvies-vrom-2005-pdf-205-kb-1>
- [7] Missling, S. et al. (2015): Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nichtionisierenden Bereich - Vorhaben 3614S80010, Band 1, Ländervergleich der Regelungen für elektrische, magnetische und elektro-magnetische Felder (0 Hz - 300 GHz), erstellt für das Bundesamt für Strahlenschutz, https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2016021914007/3/BfS_2016_3614S80010_Bd1.pdf
- [8] World Health Organisation (WHO) (2006): Environmental Health Criteria 232; Static Fields, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, https://www.who.int/peh-emf/publications/EHC_232_Static_Fields_full_document.pdf
- [9] International Commission in non-ionizing radiation protection (ICNIRP) (2009): ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to static magnetic fields, Health Physics 96(4):504-514, <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPstatgdl.pdf>
- [10] Driessen, S. et al. (2020): Biological and health-related effects of weak static magnetic fields (≤ 1 mT) in humans and vertebrates: A systematic review. PLoS ONE 15(6): e0230038. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230038>
- [11] Strahlenschutzkommission (2013): Biologische Effekte der Emissionen von Hochspannungs-Gleichstromübertragungsleitungen (HGÜ) - Empfehlungen der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2013/HGUE.pdf?__blob=publicationFile
- [12] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. Bundes-Immissionsschutzverordnung) in der überarbeiteten Fassung gemäß Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI), 128. Sitzung, 17.-18. September 2014, https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/ack_1503575775.pdf
- [13] International Electrotechnical Commission (IEC) (2018): 60479 „Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects”, 2018-12
- [14] Kursawe, M. et al. (2021): „Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study”, Environmental Health, Ausgabe 20, Nr. 92, <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-021-00781-4>
- [15] Jankowiak, K. et al. (2021): „Identification of Environmental and Experimental Factors Influencing Human Perception of DC and AC Electric Fields”, Bio Electric Magnetism, Ausgabe 42, Nr. 5, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.22347>

- [16] Advisory Group on Non-ionising Radiation (2004): „Particle Deposition in the Vicinity of Power Lines and Possible Effects on Health”, Documents of the NRPB Ausgabe 15, Nr. 1
- [17] Swanson, J. et al (2014): „Childhood cancer and exposure to corona ions from power lines: an epidemiological test”, Journal of Radiological Protection 34(4), 873, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/34/4/873>
- [18] Alexander, D. D et al. (2013): „Air ions and respiratory function outcomes: a comprehensive review”, J Negat Results BioMed 12, 14, <https://jnrbm.biomedcentral.com/articles/10.1186/1477-5751-12-14>
- [19] Perez, V. et al. (2013): „Air ions and mood outcomes: a review and meta-analysis”, BMC Psychiatry 13, 29, <https://bmcp psychiatry.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-244X-13-29>
- [20] Bailey, W. H. et al. (1997): „HVDC power transmission environmental issues review”, <https://www.osti.gov/servlets/purl/580576-BUAbF9/webviewable/>
- [21] Fews, A.P. et al. (1999): „Corona ions from powerlines and increased exposure to pollutant aerosols”, International Journal of Radiation Biology, Vol. 75(12): 1523-1531
- [22] Henshaw, D. L. et al. (1996): „Enhanced deposition of radon daughter nuclei in the vicinity of power frequency electromagnetic fields”, Int J Radiat Biol 69(1): 25-38
- [23] Henshaw, D. L. (2002): „Does our electricity distribution system pose a serious risk to public health?” Med Hypotheses 59(1): 39-51
- [24] Fews, A. P. et al. (2002): „Modification of atmospheric DC fields by space charge from high-voltage power lines.” Atmospheric Research 63(3-4): 271-289
- [25] Jeffers, D. (2007): „Modelling and analyses do not support the hypothesis that charging by power-line corona increases lung deposition of airborne particles”, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 123(2): 257–261, <https://academic.oup.com/rpd/article/123/2/257/1600506?login=true>
- [26] Jeffers, D. (2015): „Comment on: Childhood cancer and exposure to corona ions from power lines: an epidemiological study”, Journal of Radiological Protection, Volume 35 (2): 481, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/35/2/481>
- [27] J-Fatokun, F. et al. (2010): „Corona Ions from Overhead Transmission Voltage Powerlines: Effect on Direct Current Electric Field and Ambient Particle Concentration Levels”, Environ. Sci. Technol. 2010, 44(1): 526–531, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es9024063>
- [28] Swanson, J. et al. (1999): „Possible mechanisms by which electric fields from power lines might affect airborne particles harmful to health, Journal of Radiological Protection”, Ausgabe 19, Nr. 3, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/19/3/202/meta>
- [29] WHO (2007): „Extremely low frequency fields”, Environmental Health Criteria 238, https://www.who.int/peh-emf/publications/Comple DEC_2007.pdf
- [30] Toledano, M.B. et al. (2020): „Electric field and air ion exposures near high voltage overhead power lines and adult cancers: a case control study across England and Wales”, International Journal of Epidemiology, Ausgabe 49, Nr. 1: i57–i66, <https://doi.org/10.1093/ije/dyz275>