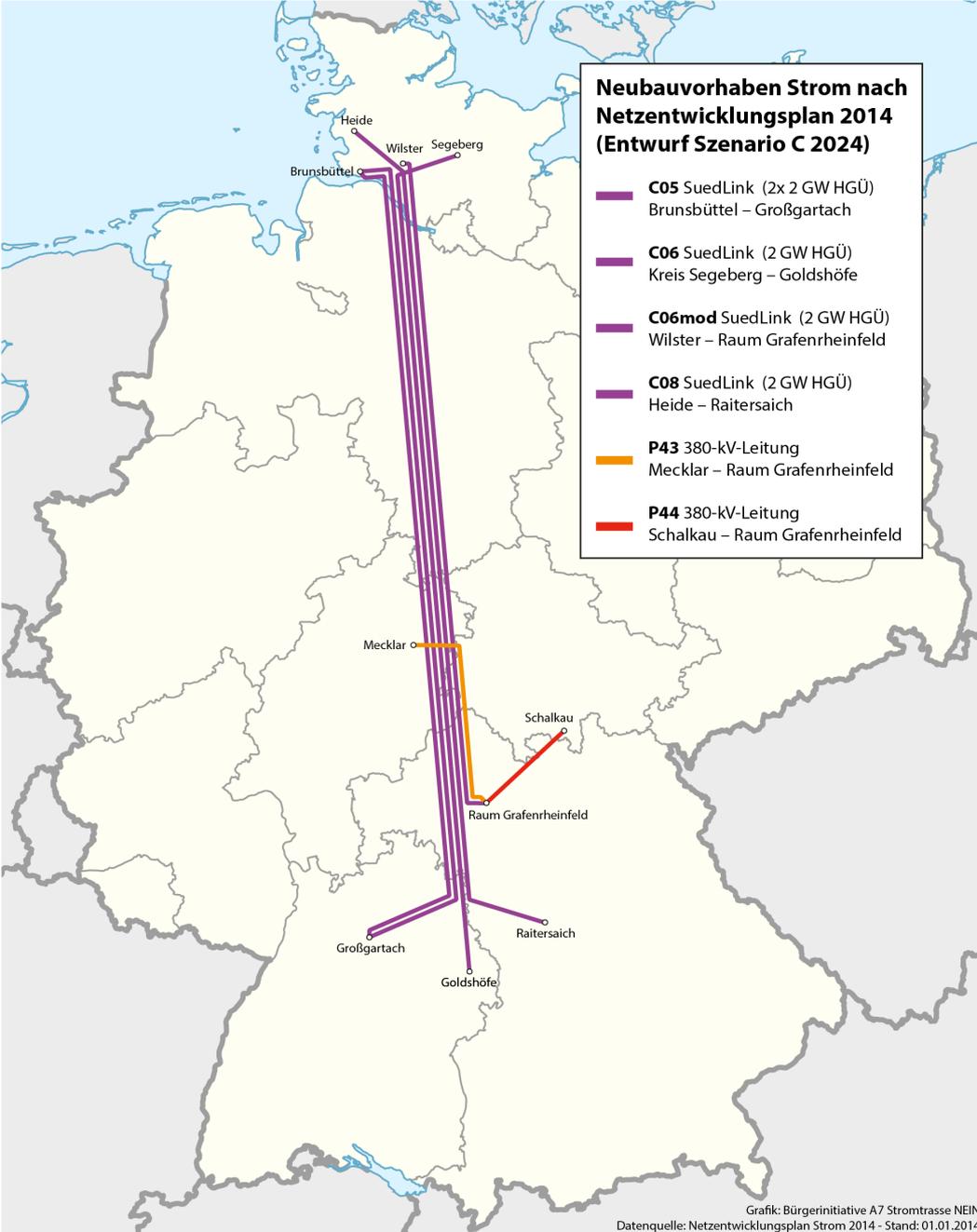


# **Risiken für Mensch und Natur durch HGÜ–Stromtrassen als Freileitung und Erdkabel**

# Gliederung

- 1 Trassenverlauf von SuedLink
- 2 Anspruch
- 3 Physikalische Grundlagen
- 4 Physiologische und psychische Auswirkungen auf den Menschen
- 5 Richtwerte aus Gesetzen und Verordnungen
- 6 Realisierung von Erdkabeln
- 7 Einwirkungen von Erdkabel auf die Natur
- 8 Zusammenfassung



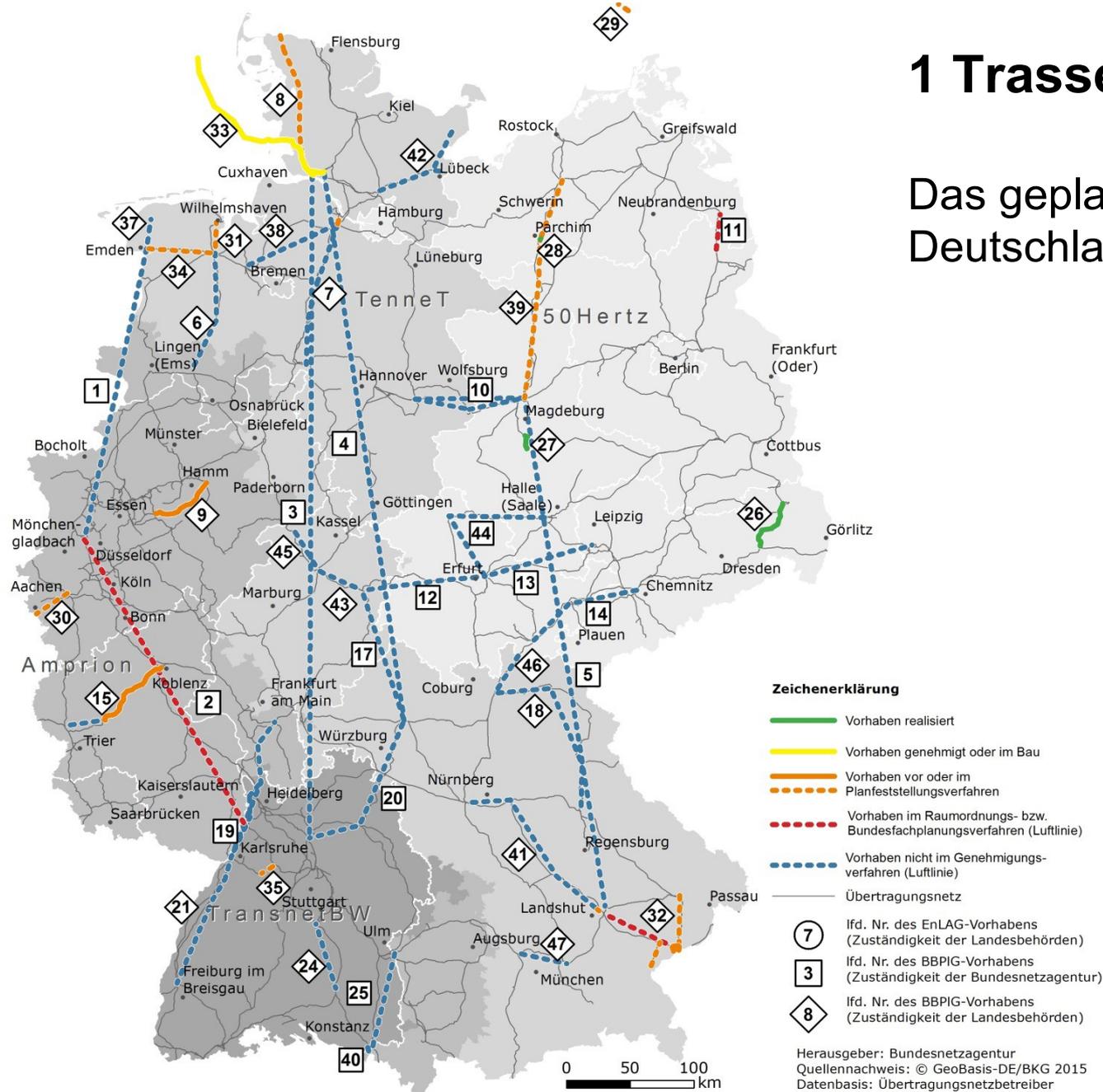
# 1 Trassenverlauf

Die Trasse **SuedLink** ist Teil eines Höchstspannungsgleichstromnetzes in Deutschland, das

1. die Struktur des deutschen Stromnetzes auf Grund des Wegfalls der Atom- und Kohlekraftwerke den zukünftigen Stromerzeugungsquellen anpassen und
2. den europäischen Stromhandel innerhalb Europas ermöglichen soll.

# 1 Trassenverlauf

## Das geplante HGÜ-Netz in Deutschland



## 2 Anspruch - Umweltverträglichkeitsprüfung

In dem **Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung** (UVPG) wird in § 2 (1) der Umfang der von diesem Gesetz geforderten Umweltverträglichkeitsprüfung definiert:

*„Die Umweltverträglichkeitsprüfung ist ein unselbständiger Teil verwaltungsbehördlicher Verfahren, die der Entscheidung über die Zulässigkeit von Vorhaben dienen. Die Umweltverträglichkeitsprüfung umfasst die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen eines Vorhabens auf*

- 1. Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt,**
- 2. Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,**
- 3. Kulturgüter und sonstige Sachgüter sowie*
- 4. die Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern.*

Sie wird unter Beteiligung der Öffentlichkeit durchgeführt. ...“

Im Anlage 1 des UVPG sind im Kapitel 19 Leitungsanlagen als UVP-pflichtige Vorhaben aufgeführt.

# 6 Realisierung von Erdkabeln

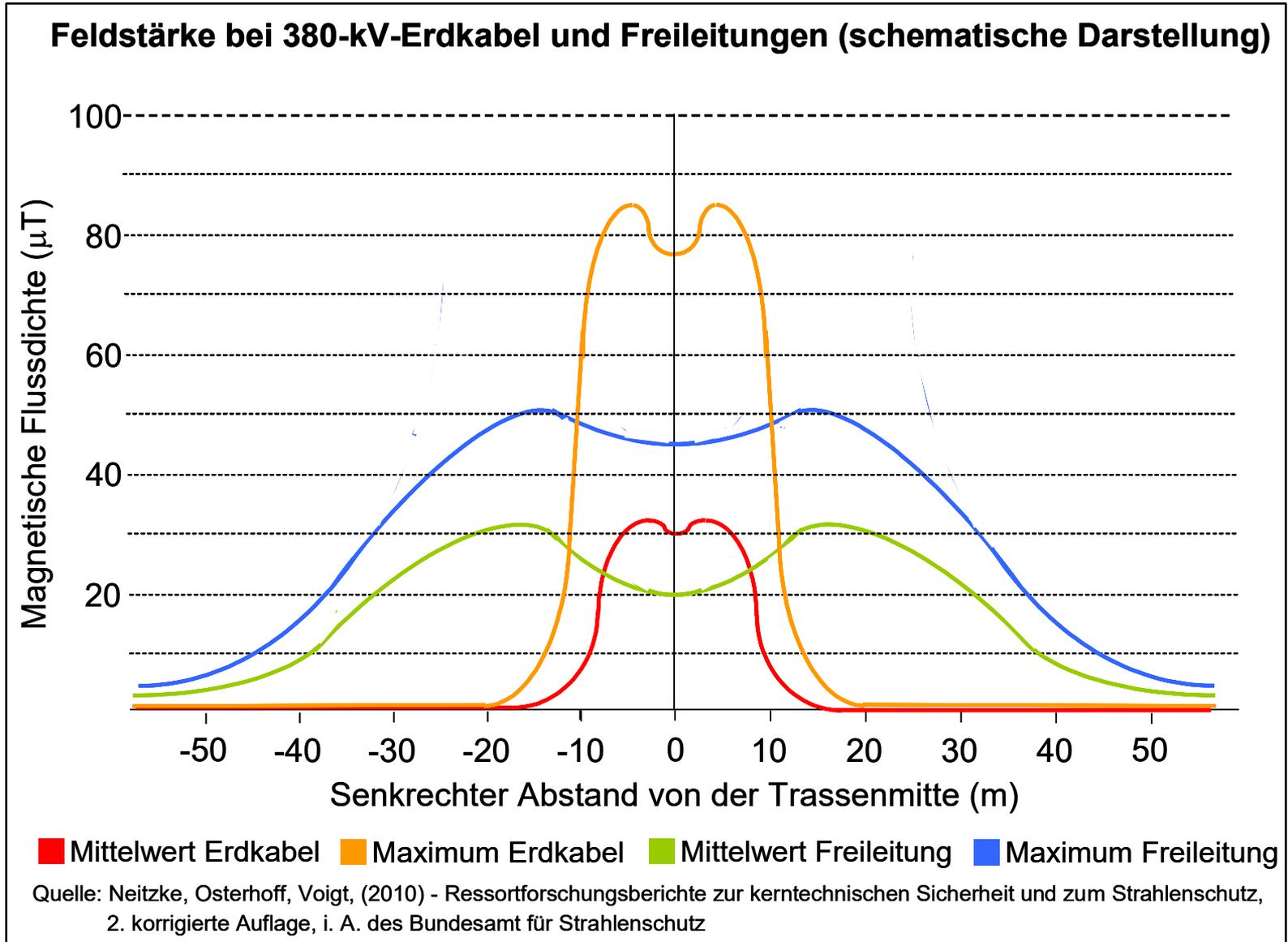


## Muffenmontage (2)

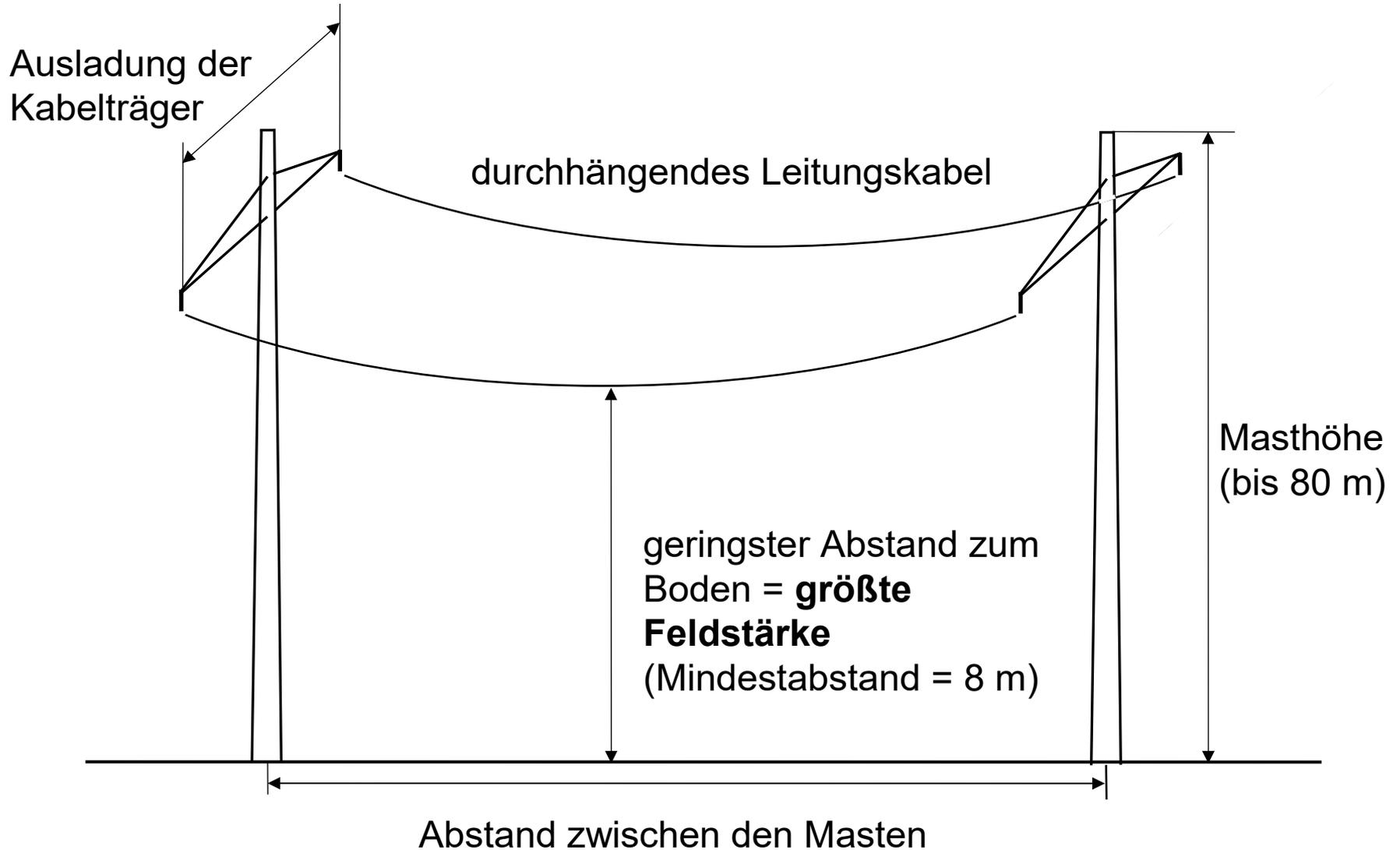
### 3 Physikalische Grundlagen

- **Übertragungsleitungen als Freileitungen, Erdkabel oder Seekabel**
- **Art des Stroms: Wechselstrom, Drehstrom, Gleichstrom**
- **Höhe der Spannungen: Nieder-** (bis 1 kV), **Mittel-** (bis 20 kV), **Hoch-** (bis 110kV) **oder Höchstspannungsnetze** (220 kV und mehr)
- **Übertragungsarten:**
  - **Hoch-/Höchstspannungs-Wechselstrom-Übertragung (HWÜ),**
  - **Hoch-/Höchstspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ) und**
  - **Hoch-/Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)**  
**bei HGÜ: monopolar und bipolar Leitungsspannungen**  
Beispiel: geplante SUEDLINK = HGÜ mit +/-500 kV, bipolar
- **Felder: elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder**
- **Wirkgrößen:**
  - **Elektrische Feldstärke in Volt pro Meter (V/m)**
  - **Magnetische Feldstärke in Ampere pro Meter (A/m)**
  - **Magnetische Flussdichte in Tesla (T) (Millitesla - mT,**  
Mikrotesla -  $\mu$ T  
und Nanotesla - nT)

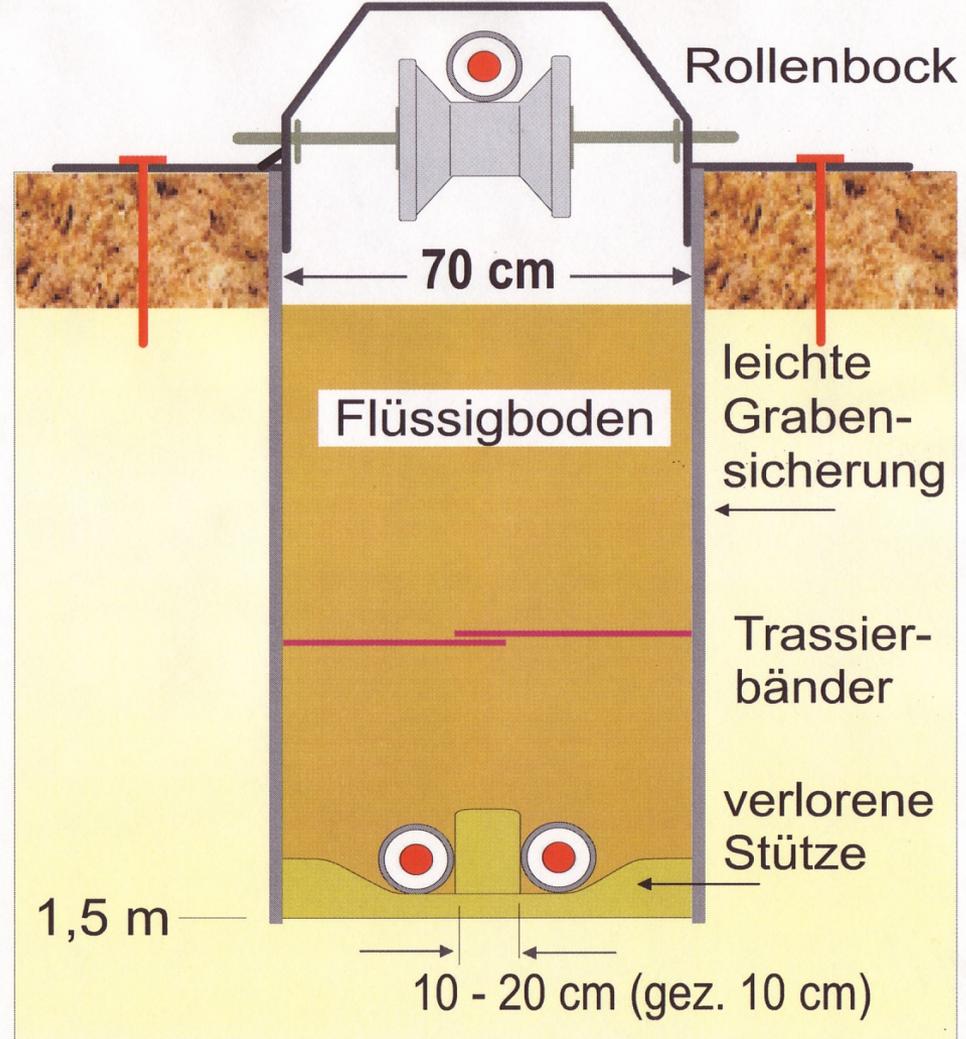
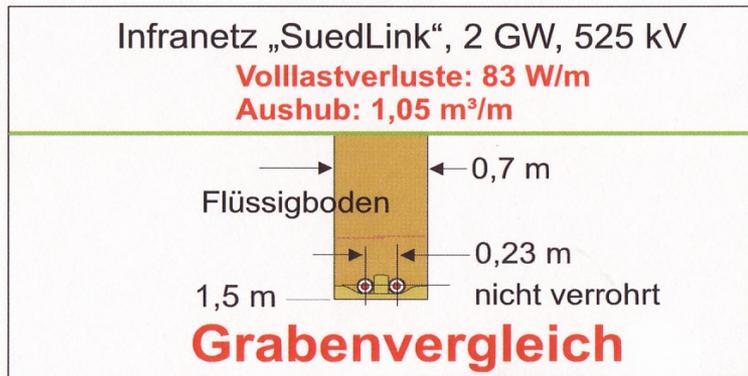
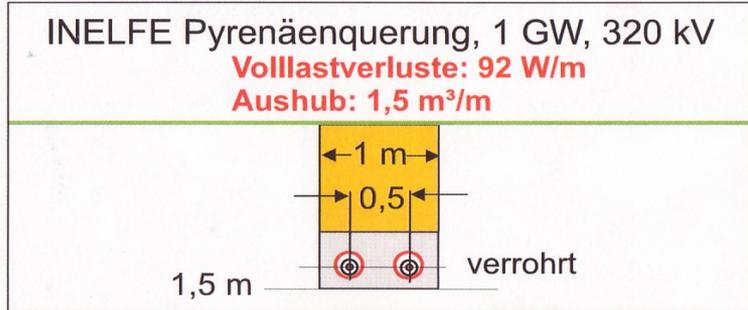
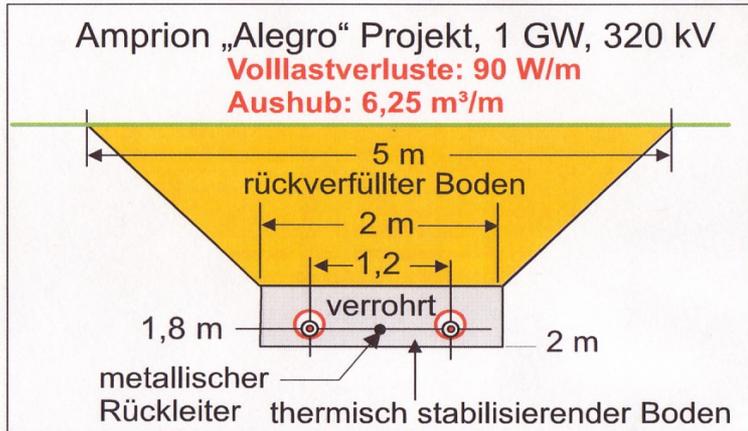
# 3 Physikalische Grundlagen



### 3 Physikalische Grundlagen



# 3 Physikalische Grundlagen



## Kabeleinbau beim INFRANETZ-Verfahren

### 3 Physikalische Grundlagen

#### Direkte Wirkungen auf den Menschen bei HGÜ-Freileitungen

- Einwirkungen der elektrischen Felder
- Einwirkungen der magnetischen Felder

#### Indirekte Wirkungen auf den Menschen bei HGÜ-Freileitungen

- Mikroentladungen (Koronaentladungen)
- Ionisation der Luft und Staubpartikeln in der Luft, führt zu größeren Raumladungswolken (beeinflusst von Windstärke und -richtung)
- Entstehung von chemischen Verbindungen wie Ozon und Stickoxide

#### Direkte Wirkungen auf den Menschen bei HGÜ-Erdkabel

- Einwirkung der magnetischen Felder

### 3 Physikalische Grundlagen

*„Niederfrequente elektrische Felder beeinflussen die Verteilung der elektrischen Ladungen an der Oberfläche leitender Gewebe und führen dazu, dass im Körper elektrischer Strom fließt (Abb. 3A).*

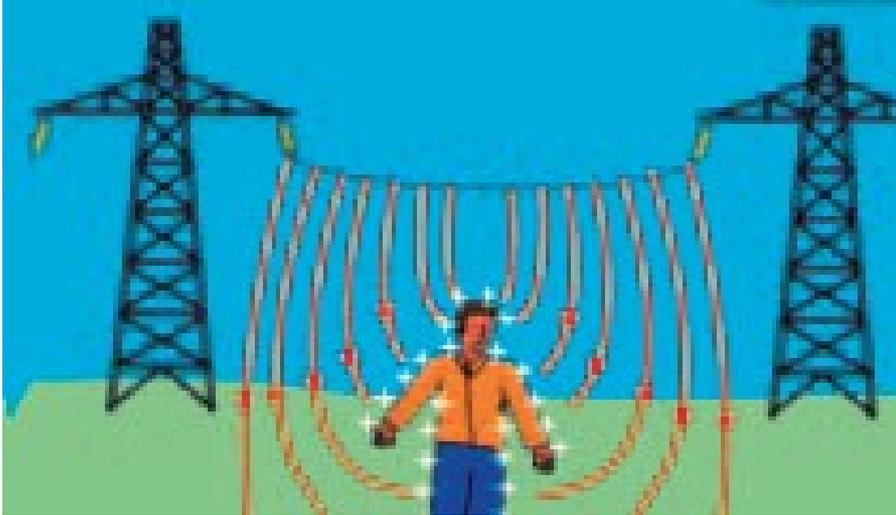


Abb. 3A



Abb. 3B

***Niederfrequente magnetische Felder** induzieren im menschlichen Körper zirkulierende elektrische Ströme (Abb. 3B). Die Stärke dieser induzierten Ströme hängt von der Intensität des äußeren Magnetfelds und der Größe der vom Strom durchflossenen Schleife ab. Bei entsprechenden Stromdichten kann es zu einer **Stimulation von Nerven und Muskelzellen** kommen.“*

Quelle: World Health Organization (2002) (WHO - Weltgesundheitsorganisation): Herstellen eines Dialogs über die Risiken elektromagnetischer Felder, Genf

# 4 Physiologische und psychische Auswirkungen

Man unterscheidet 4 Stufen von Wirkungen

- a) **Wahrnehmung** von Einwirkungen (**Wahrnehmungsschwelle**)
- b) **Belästigung** durch Einwirkungen (**Belästigungsschwelle**)
- c) **Schmerzen** durch Einwirkungen (**Schmerzschwelle**)
- d) **Schädigung** (physische) durch Einwirkungen (**Schädigungsschwelle**)

Die ersten 3 Stufen können auch zu **psychischen Effekten** (z.B. Unruhe, Stress, Angst) führen.

Ferner unterscheidet man

- a) **akute Wirkungen** und
- b) **Langzeiteffekte** (bei vorhandenem Dosis-Wirkungs-Modellen)

# 4.1 Bei elektrische Gleichfelder

## Physiologische Auswirkungen

(Mikro-)Entladungen werden je nach Polarität der Endladung und Einwirkstelle am Körper bei unterschiedlichen Ladungsmengen (0,09 mC am Unterarm, 0,11 mC am Finger) wahrgenommen (**Wahrnehmungsschwelle**).

Die **Belästigungsschwelle** liegt ca. 2,3- bis 3,5-fach höher und die **Schmerzschwelle** ca. 3,5 bis 5,5-fach höher als die Wahrnehmungsschwelle.

Über **Schädigungen** liegen (noch) keine Grenzwerte für Menschen vor.

Die Ladungsmenge bei HGÜ-Leitungen wird durch die Raumladungswolken bei der Ionisierung um ein Mehrfaches verstärkt.

Bei Hybrid-Leitungen (Gleich- und Wechselstrom an einem Mast) erhöhen sich ebenfalls die Reizschwellen.

## Psychische Auswirkungen

Stimulation des Zentralnervensystems und periphere Nerven.

Als mögliche Erkrankung werden Alzheimer und Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) vermutet.

## 4.1 Bei elektrische Gleichfelder

Gesamtbewertung der **Evidenz** für gesundheitliche Wirkungen durch direkte und indirekte Einwirkungen elektrischer Gleichfelder von HGÜ-Leitungen nach den Empfehlungen der Strahlenkommission vom 25.2.2014 (veröffentlicht am 7.8.2014).

EF Gleichfelder	Physikal. Wirkmodell	Biolog. Wirkmodell	Dosis-Wirkung	In-vitro-Studien	In-vivo-Studien	Epidem. Studien	Gesamt-Evidenz
direkt	EN	EN	EN	EN	EN	D0	EN
indirekt	E3	E3	EN	D0	E3	D0	E3

E3 überzeugende Evidenz

EN Evidenz für keinen Zusammenhang (Nicht-Zusammenhang)

D0 keine Daten

EF – elektrische Felder

## 4.2 Bei magnetischen Gleichfeldern

Physiologische Vorgänge (z.B. Herzschlag oder Blutstrom) oder Bewegungen des Körpers oder von Körperteilen führen im magnetischen Gleichfeld zu **Lorentz-Kräften an Ladungen**, die dadurch getrennt werden.

Ferner können in ausreichend starken Felder **Enzymaktivitäten** oder die **Lebensdauer von freien Radikalen** verändert werden. Dies kann z.B. zu **Krebserkrankungen** führen.

Es können **erhöhte Mutationsraten** nach gleichzeitiger Exposition gegenüber chemischen Mutagenen bei magnetischen Gleichfeldern über 2 T auftreten.

Es kann das **Wachstumsverhalten** modifiziert, aber auch die **Apoptose** (programmierter Zelltod) beeinflusst werden.

Es werden auch Einflüsse auf die **Genotoxizität** (Änderungen im genetischen Material von Zellen, z.B. DNA-Schäden) vermutet. Dies wird kontrovers in der Wissenschaft diskutiert.

Die akute transiente (zufällige störende) **Beeinflussung kognitiver Funktionen** durch Kopfbewegungen im Streufeld von MRT-Geräten wurde nachgewiesen.

Es wurden auch **Schwindel** und **Übelkeit** bei Bewegungen im magnetischen Gleichfeld beobachtet.

## 4.2 Bei magnetischen Gleichfeldern

**Evidenz** für direkte gesundheitsrelevante Wirkungen magnetischer Gleichfelder von HGÜ-Leitungen nach den Empfehlungen der Strahlenkommission vom 25.2.2014 (veröffentlicht am 7.8.2014).

Physikal. Wirkmodell	Biolog. Wirkmodell	Dosis-Wirkmodell	In-vitro-Studien	In-vivo-Studien	Epidem. Studien	Gesamt-Evidenz
D0	D0	E0	E0	E0	D1	E0

E0 keine bzw. unzureichende Evidenz für Zusammenhänge

D1 unzureichende Daten

D0 keine Daten

Bei den indirekten Wirkungen können die magnetischen Gleichfelder auf ferromagnetisches Material am bzw. im Körper einwirken. **Implantierte Herzschrittmacher** können im mT-Bereich in einen festfrequenten Überprüfungsmodus umgeschaltet werden.

## 4.3 Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK)

- **Die SSK empfiehlt**, die elektrischen Gleichfelder von HGÜ-Leitungen mit **dem Ziel der Vermeidung gesundheitlicher Beeinträchtigungen oder erheblicher Belästigungen zu begrenzen** und bei multipler Exposition durch elektrische Gleich- und Wechselfelder eine gewichtete Summation der Einzelbeiträge vorzunehmen.
- Die **Angabe von belastbaren Schwellenwerten für Wahrnehmungs-, Belästigungs-, Schmerz- und Gefährdungseffekte** ist im Hinblick auf die begrenzte Datenlage, insbesondere hinsichtlich der Anzahl der untersuchten Personen und der Einflüsse von Kofaktoren wie z.B. Ionendichte, **derzeit nicht möglich**. Die SSK empfiehlt daher die **Durchführung weiterer Forschungsprojekte zur Wahrnehmung** vor allem in **Form von Humanstudien** unter gut kontrollierten Bedingungen.
- **Die SSK empfiehlt**, die Netzbetreiber darauf hinzuweisen, **mögliche Sekundäreffekte** (z.B. Elektroschocks durch Entladung zu oder von leitfähigen Strukturen) **durch geeignete, primär konstruktive Abhilfemaßnahmen zu unterbinden**.
- **Die SSK weist auf die Notwendigkeit des Schutzes von Personen mit magnetisch aktivierbaren Implantaten hin**. Um z. B. eine Störbeeinflussung von Herzschrittmachern sicher auszuschließen, wird eine Begrenzung der magnetischen Flussdichte auf 500  $\mu\text{T}$  empfohlen.

# 5 Richtwerte aus Gesetzen und Verordnungen

## a) 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) (2013), Anlage 1

	<b>Elektrisches Feld</b>	<b>Magnetfeld</b>
	Elektrische Feldstärke in kV/m (effektiv)	Magnetische Flussdichte in $\mu\text{T}$ (effektiv)
Wechselstrom mit 50 Hz	5 kV/m	100 $\mu\text{T}$
Gleichstrom (DC)	k. A.	500 $\mu\text{T}$

## b) EU-Arbeitsschutz-Richtlinie 2013/35/EU (2013), Anlage II

	<b>Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen (im Magnetfeld)</b>
Normale Arbeitsbedingungen	2 T
Lokale Exposition von Gliedmaßen	8 T
	<b>Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen (im Magnetfeld)</b>
Kontrollierte Arbeitsbedingungen	8 T

# 5 Richtwerte aus Gesetzen und Verordnungen

## b) EU-Arbeitsschutz-Richtlinie 2013/35/EU (2013), Anlage II

Frequenzbereich	Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen bei internen elektrischen Feldstärken von 1 Hz bis 400 Hz
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7 / f \text{ V/m}$ (Spitzenwert)
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$0,07 \text{ V/m}$ (Spitzenwert)
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 \times f \text{ V/m}$ (Spitzenwert)
Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen bei internen elektrischen Feldstärken von 1 Hz bis 10 MHz	
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$1,1 \text{ V/m}$ (Spitzenwert)
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} \times f \text{ V/m}$ (Spitzenwert)

## c) WHO-Empfehlung von 2006 für Arbeitsplätze

	Magnetische Flussdichte
Zeitgewichteter Durchschnittswert bei maximal 2 T Spitzenwert	200 mT
Dauerhafte Exposition	40 mT

# 5 Richtwerte aus Gesetzen und Verordnungen

## d) Richtwerte der Schweiz

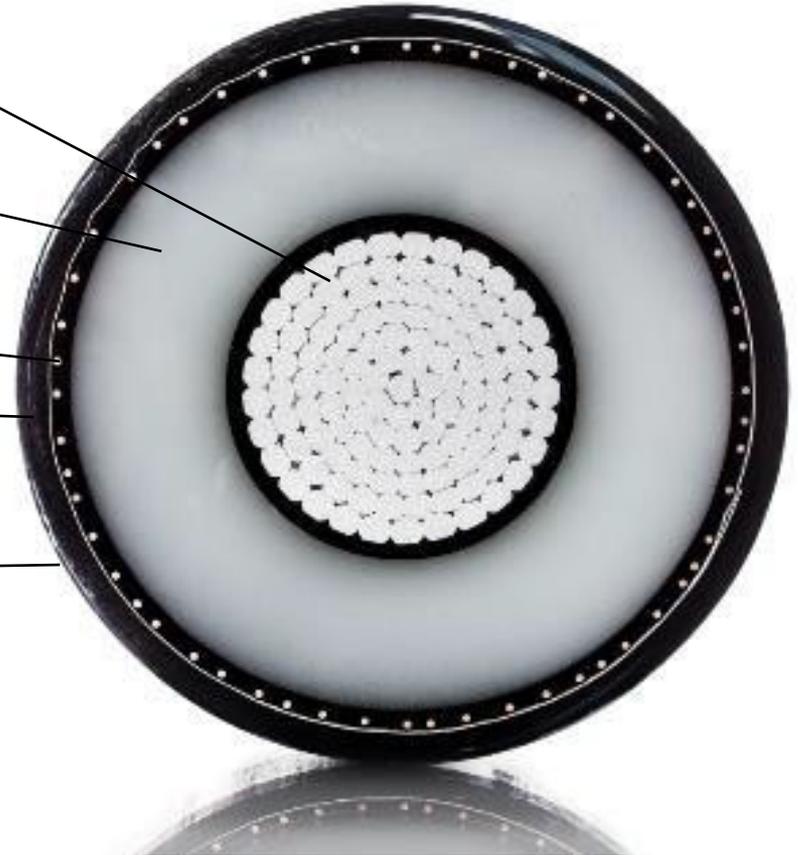
	<b>Magnetische Flussdichte</b>
Grenzwert	100 $\mu\text{T}$
Dauerhafte Exposition an sensiblen Orten	1 $\mu\text{T}$

## e) Empfohlener Richtwerte des Bundeslandes Bremen

	<b>Magnetische Flussdichte</b>
Daueraufenthaltsbereiche	0,3 $\mu\text{T}$

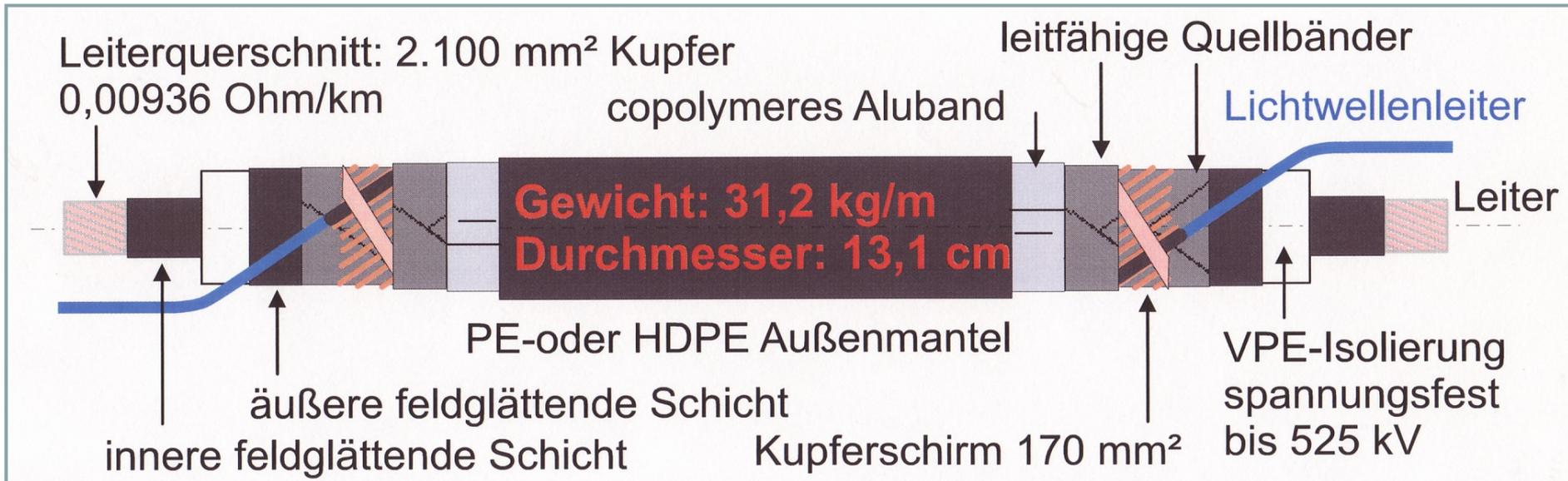
# 6 Realisierung von Erdkabeln

1. Kupfer oder Aluminiumleiter
2. Kunststoffisolierung  
70°C - maximale Betriebstemperatur
3. Schirmdrähte
4. Wasserdichte Schicht  
Aluminiumlaminat (bei Landkabeln)
5. Äußere Hülle  
Polyethylenschicht (bei Landkabeln)



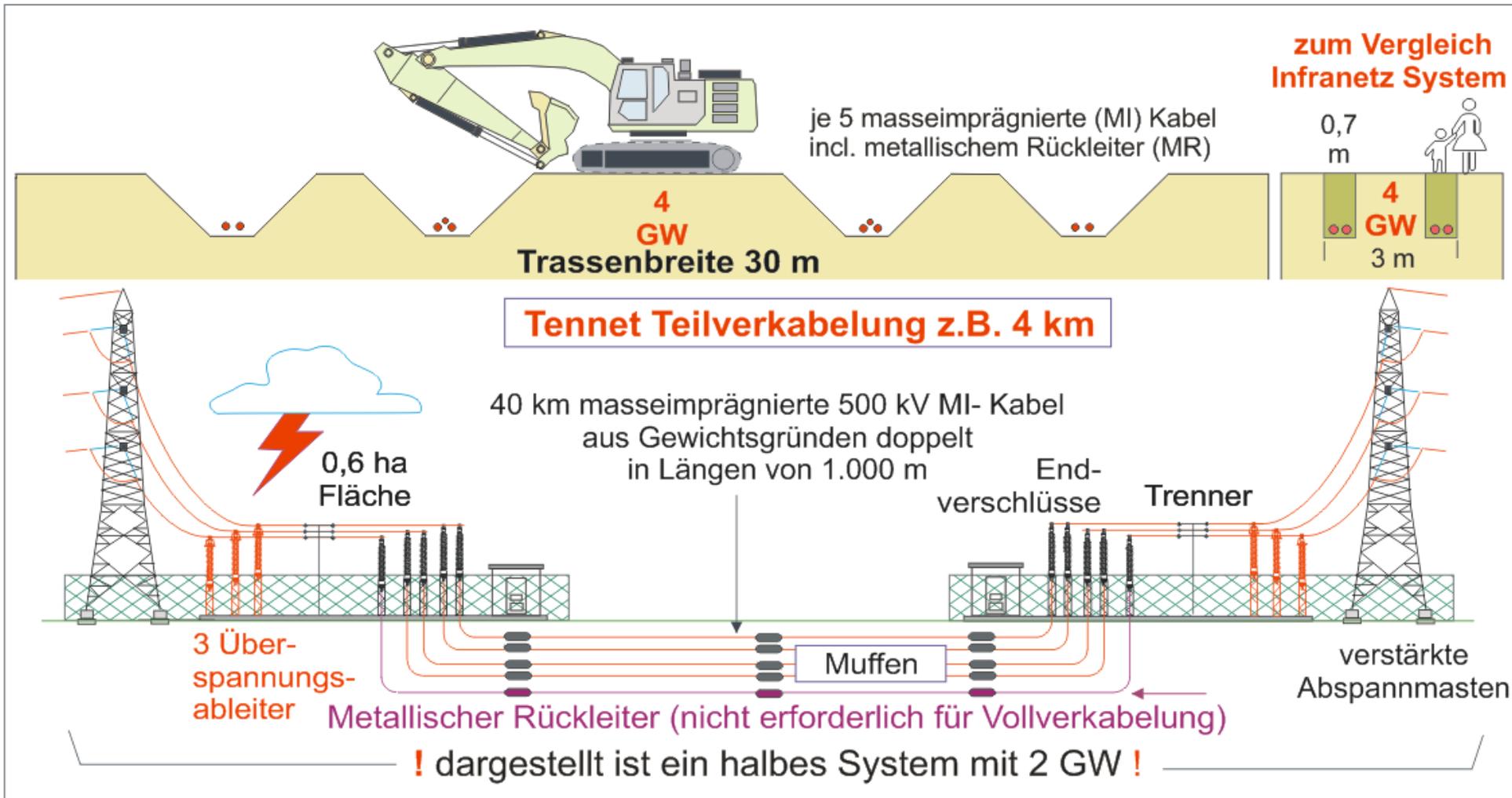
**Querschnitt und Aufbau eines Erdkabels (d = ca. 13 - 15 cm)**

# 6 Realisierung von Erdkabeln



**Aufbau des Erdkabels 525 kV VPE von ABB**

# 6 Realisierung von Erdkabeln



## Grabenformen und Verbindung von Freileitung zu Erdkabel

## 6 Realisierung von Erdkabeln



**Baugrube Muffenbauwerk 380 KV-Leitung Raesfeld**

## 6 Realisierung von Erdkabeln



**Baugrube Muffenbauwerk 380 KV-Leitung Raesfeld**

## 6 Realisierung von Erdkabeln



**Leerrohre der 380 KV-Leitung Raesfeld**

## 6 Realisierung von Erdkabeln



### Schädliche Verdichtungen während der Bauphase

## 6 Realisierung von Erdkabeln



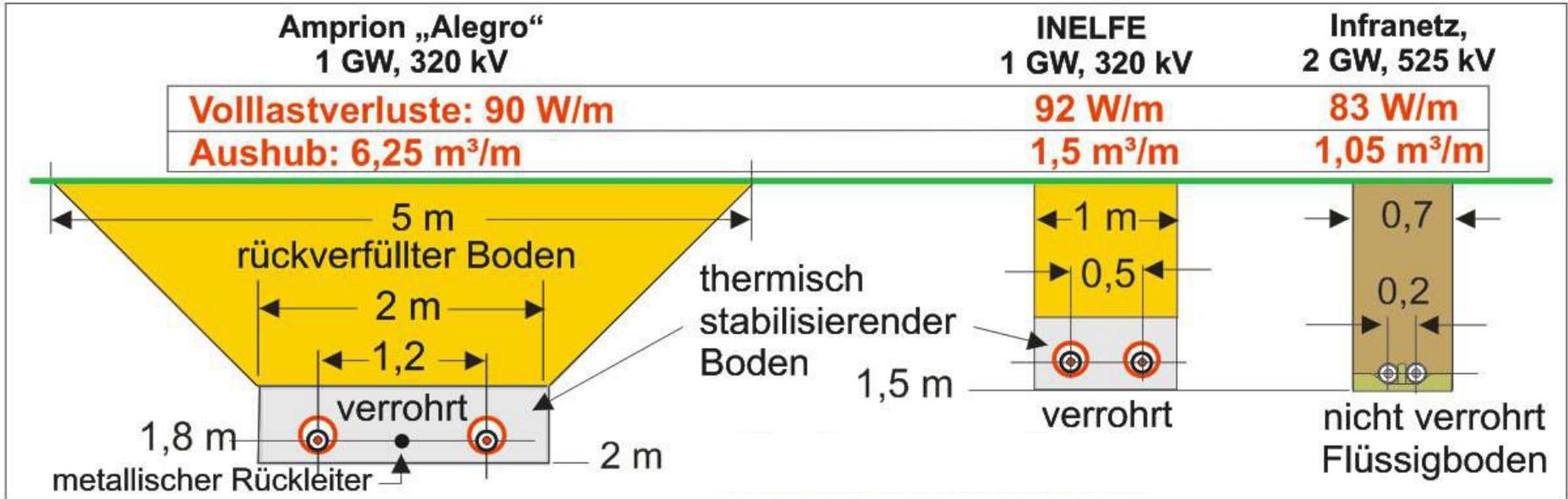
### **Bodenschäden während der Bauphase**

## 6 Realisierung von Erdkabeln



### **Sicherung des Bodens während der Bauphase**

# 6 Realisierung von Erdkabeln



## Vergleich der verschiedenen Grabenformen

## 6 Realisierung von Erdkabeln



Grabenfräse  
Marais SMC 400 C



Kabelpflug

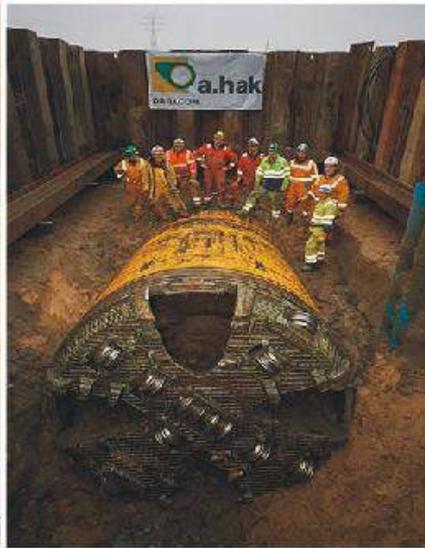


Felsfräse  
Vermeer  
T-850  
in Kalksandstein



2 Leerrohre  $D = 315$   
gleichzeitig möglich

# 6 Realisierung von Erdkabeln



Neuer 1,53 km langer Gasdüker der Gasunie von der Hetlinger Schanze bis Lühesand.  
Bohrdurchmesser: 3 m

<http://www.gemeinde-hetlingen.de/aktuelles/elbedueker-baustelle/index.html>

1,53 km langer Gasdüker unter der Elbe der Gasunie von Hetlinger Schanze bis Lühesand

**Elbquerung**

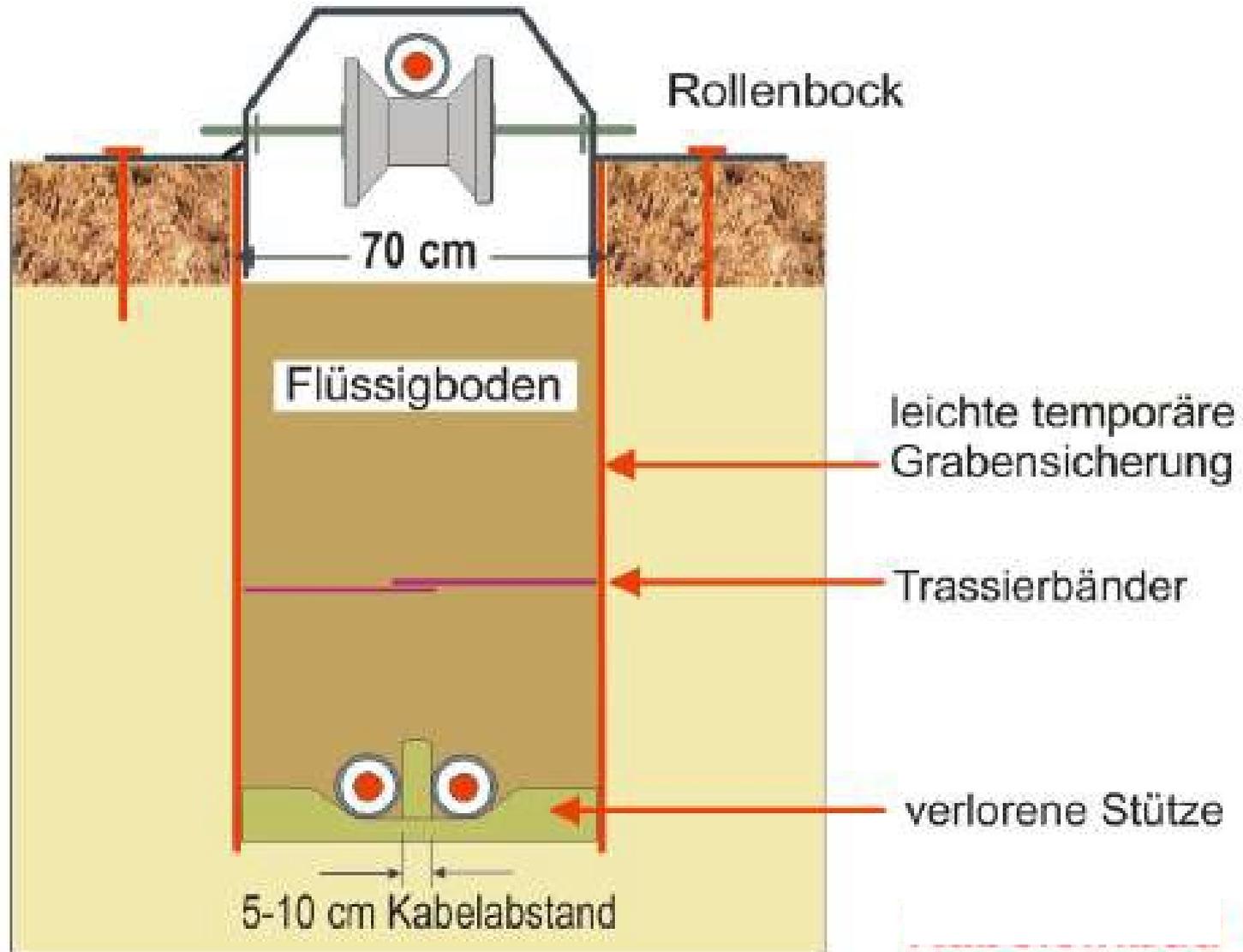


Kosten ca. 5 Mio. €

## Formen der Unterquerung von Hindernissen

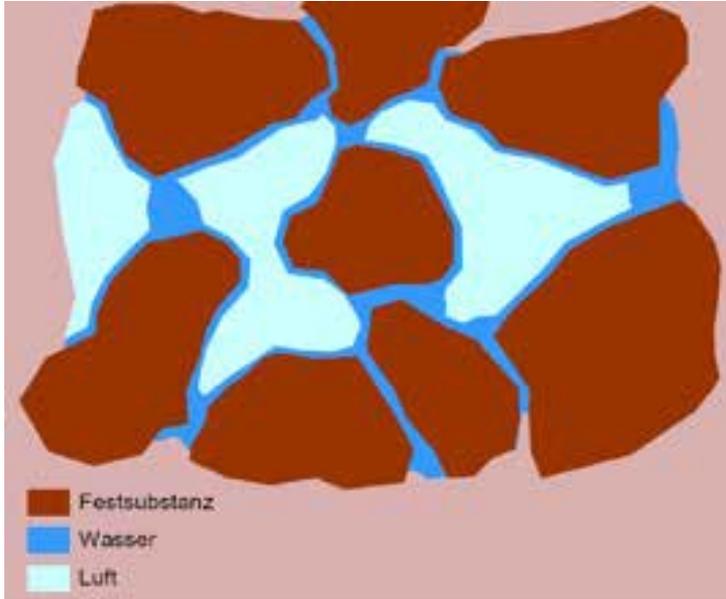
Pyrenäentunnel des INELFE Projekts

## 6 Realisierung von Erdkabeln



### Kabeleinbau des INFRANETZ-Verfahrens

# 7 Einwirkungen von Erdkabel auf die Natur



**Das Bodengefüge bestimmt entscheidend die Leistungsfähigkeit der Böden in den Wasser- und Nährstoffkreisläufen**

**Bodengefüge** (Porenvolumen: 45-55 Vol.-%, Wasserspeichervermögen: bis zu 400 Liter je m<sup>2</sup> bis 1 m Bodentiefe)

# 7 Einwirkungen von Erdkabel auf die Natur



**Mechanische Überlastung führen zu Gefügeschädigungen (Plattengefüge) des Bodens**

# 7 Einwirkungen von Erdkabel auf die Natur

## ***während der Bauphase***

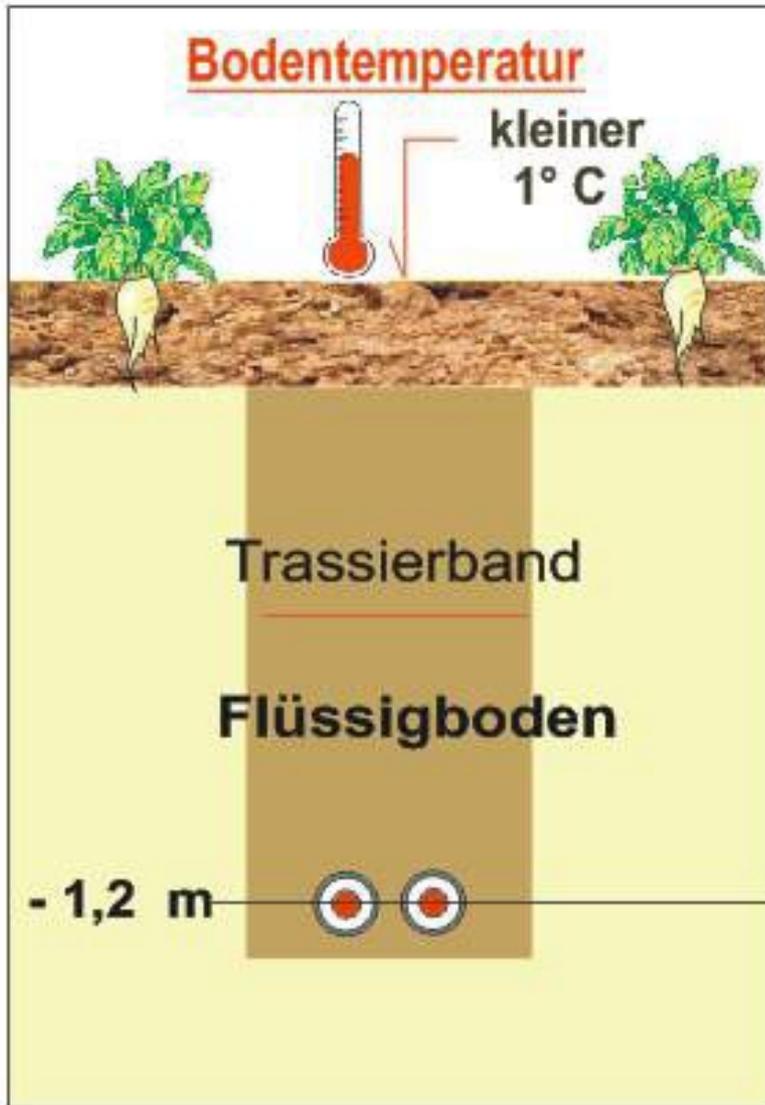
- mechanische Belastung durch Baufahrzeuge
- hydrologische Wirkung (Dränwirkung, Stauwirkung, Bodenerosion)

## ***dauerhaft, betriebsbedingt***

- Versiegelung des Bodens
- thermische Wirkung, Erwärmung des Bodens
- Schadstoffeinträge

**Wirkfaktoren, die den Boden beeinträchtigen können.**

# 7 Einwirkungen von Erdkabel auf die Natur



**Leistungsverluste pro m Kabelgraben  
bei 50% Teillast nach:**

$$P_v = I^2 \times R \times L \times 2 / 750.000 \text{ m}$$

$$\frac{952 \text{ A} \times 952 \text{ A} \times 0,01039 \text{ Ohm/km} \times 750 \text{ km} \times 2}{750.000 \text{ m}}$$

**19 W pro Grabenmeter  
bei 50% Teillast**

**83 W pro Grabenmeter  
bei Volllast**

**2 Kupferkabel, 525 kV, 2.100 mm<sup>2</sup>  
Übertragungsleistung 2 GW**

## Bodenerwärmung beim INFRANETZ-Verfahren

# 7 Einwirkungen von Erdkabel auf die Natur



Keine Ringspaltbildung



Keine Längsdrainage  
wie bei Magerbeton



Tritt- und stichfest  
in ca. 4 Stunden

## **RSS-Flüssigboden beim INFRANETZ-Verfahrens**

(Das Bodengefüge wird mit Flüssigboden aus dem originären Bodenaushub nicht verändert.)

# 7 Einwirkungen von Erdkabel auf die Natur

Bei dem INFRANETZ-Verfahren wird aufgrund des schmalen Grabens und der weitgehenden Verlegung in Fahrwegen der Boden nur geringfügig verdichtet.

Die hydrologischen Wirkungen sind aufgrund des Flüssigbodens ausgeschlossen.

Der Boden wird ebenfalls nicht versiegelt, da die oberen 30 cm des Grabens mit Originalboden verfüllt wird.

Die thermische Wirkung ist minimal.

Die Ummantelung der Kabel diffundiert fast keine Stoffemissionen in den Boden.

## **Ausprägung der Wirkfaktoren beim INFRANETZ-Verfahren**

(nach I. Renner)

## 8 Zusammenfassung

- Da es bisher nur wenige Studien zu den gesundheitlichen Gefährdungen durch HGÜ-Leitungen gibt, sollte vor einer breiten Realisierung **grundlegende Forschungen zu den gesundheitlichen Wirkungen** durchgeführt werden. Diese Umweltverträglichkeitsprüfung verlangt das UVPG.
- Aus den Erfahrungen mit Hochspannungs-Wechselstrom-Leitungen und anderen Techniken muss **stets die risikoärmste technische Lösung realisieren** werden.
- Dies bedeutet, dass in der Nähe von Wohngebieten die HGÜ-Leitungen als Erdkabel und mit **genügend weitem Abstand** verlegt werden sollen.
- Grundsätzlich ist der **Ausbau des Stromnetzes** mit HGÜ-Leitungen in Deutschland zu **hinterfragen**, da es inzwischen zunehmend realisierte Beispiele gibt, wie die Stromversorgung in Deutschland durch weitgehend autarke Energiecluster gelöst werden kann. Z.B. hat die Stadt Wolfhagen ihre Stromversorgung (für Industrie und private Haushalte) innerhalb von 6 Jahren auf 100 % Selbstversorgung mit Solarparks, Windkraftanlagen, einer Biogasanlage und Blockkraftheizwerke umgestellt.

Das Motto dieses Vortrags.

**„Was man zu verstehen gelernt  
hat, fürchtet man nicht mehr.“**

Marie Curie (1867 – 1934)

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**

# 6 Realisierung von Erdkabeln

Wechselstrom

Gleichstrom

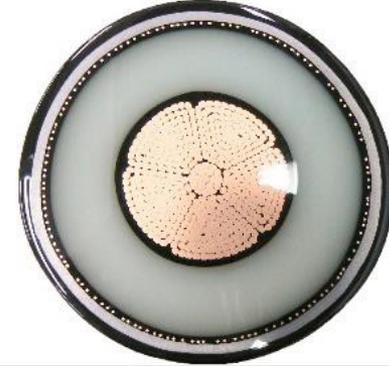
MI-Kabel  
bis 525 kV



XLPE-Kabel  
bis 525 kV



XLPE-Kabel  
bis 420 kV

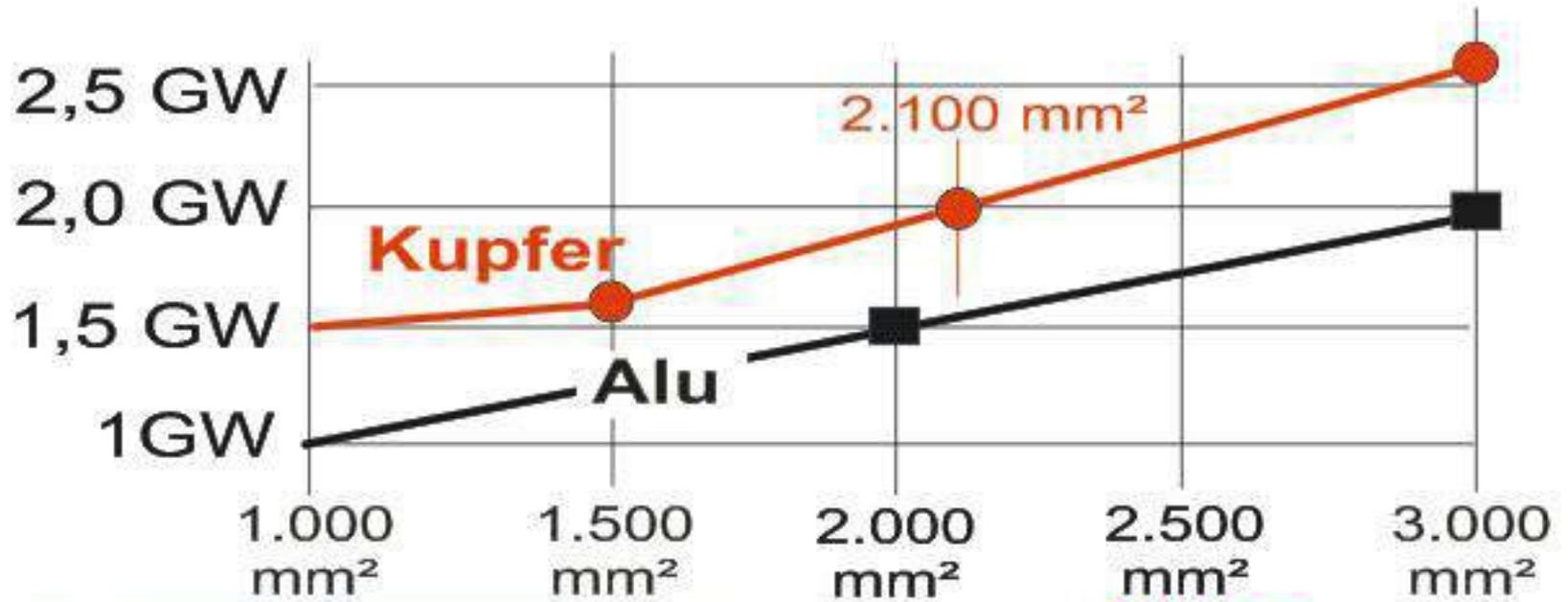


Landkabel

Seekabel



# 6 Realisierung von Erdkabeln



Muffen



Das neue 525 kV VPE-Kabel von ABB

## 6 Realisierung von Erdkabeln



**Muffen zur Verbindung der Erdkabelteile**

# 6 Realisierung von Erdkabeln



## Muffenmontage (1)