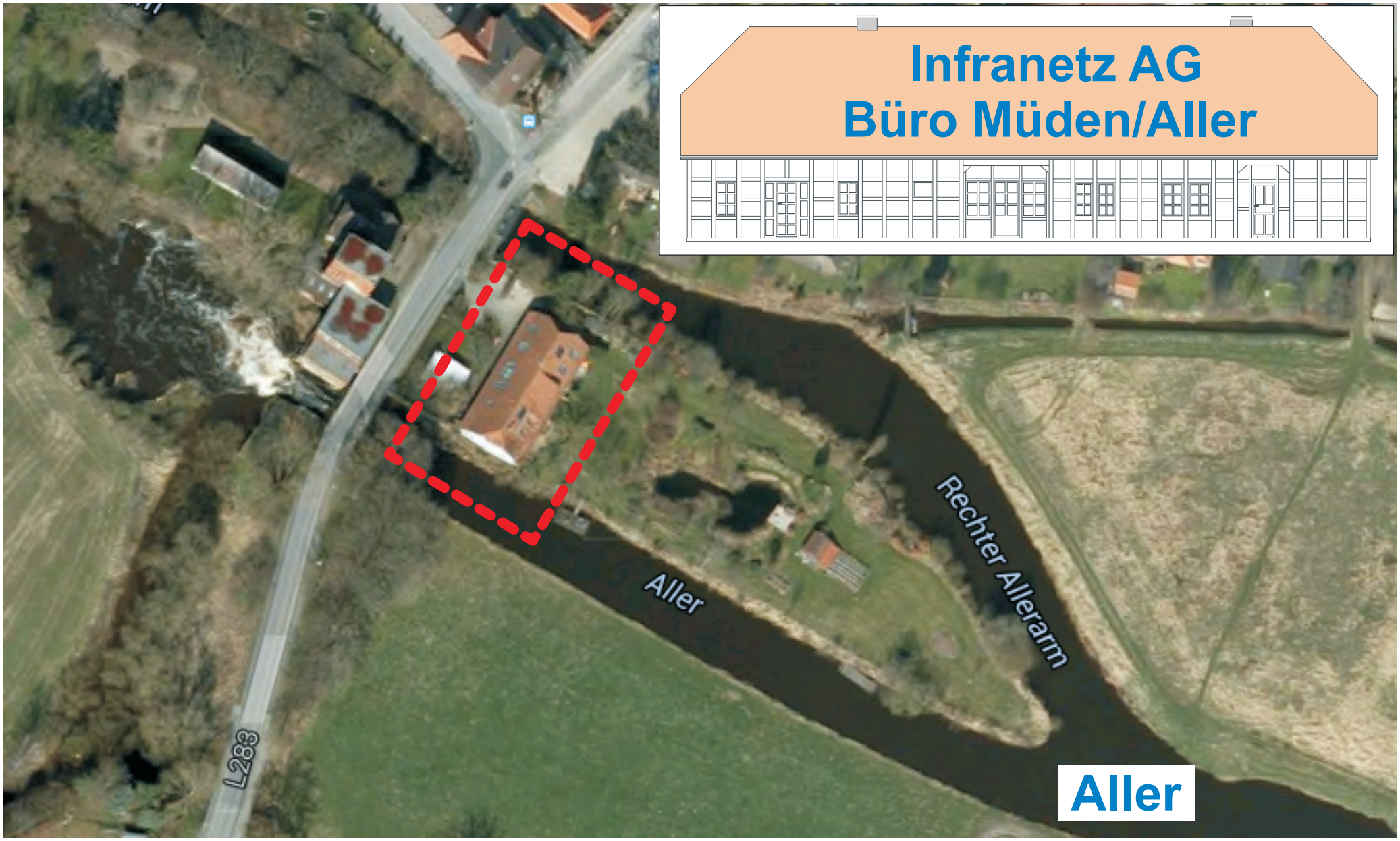
HGÜ-Trassen in Vollverkabelung

Umweltfreundlich
und mit
Bürgerakzeptanz



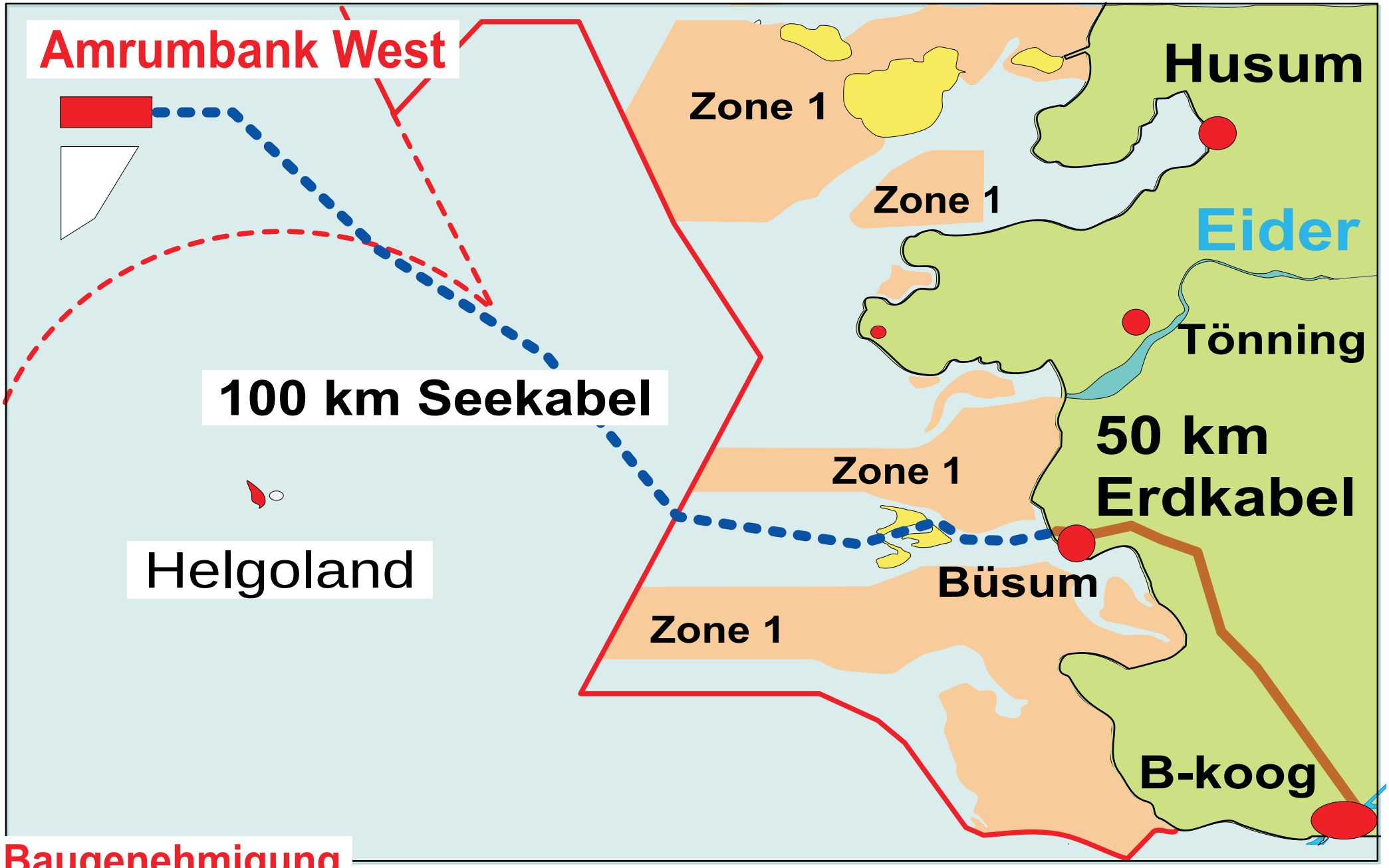
Auf der Dyckhorst 1, 38539 Müden/Aller

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Claus Rennert

ingo.rennert@infranetz.de Tel.: 0160 3480 189 oder 05375 6814, www.infranetz.com

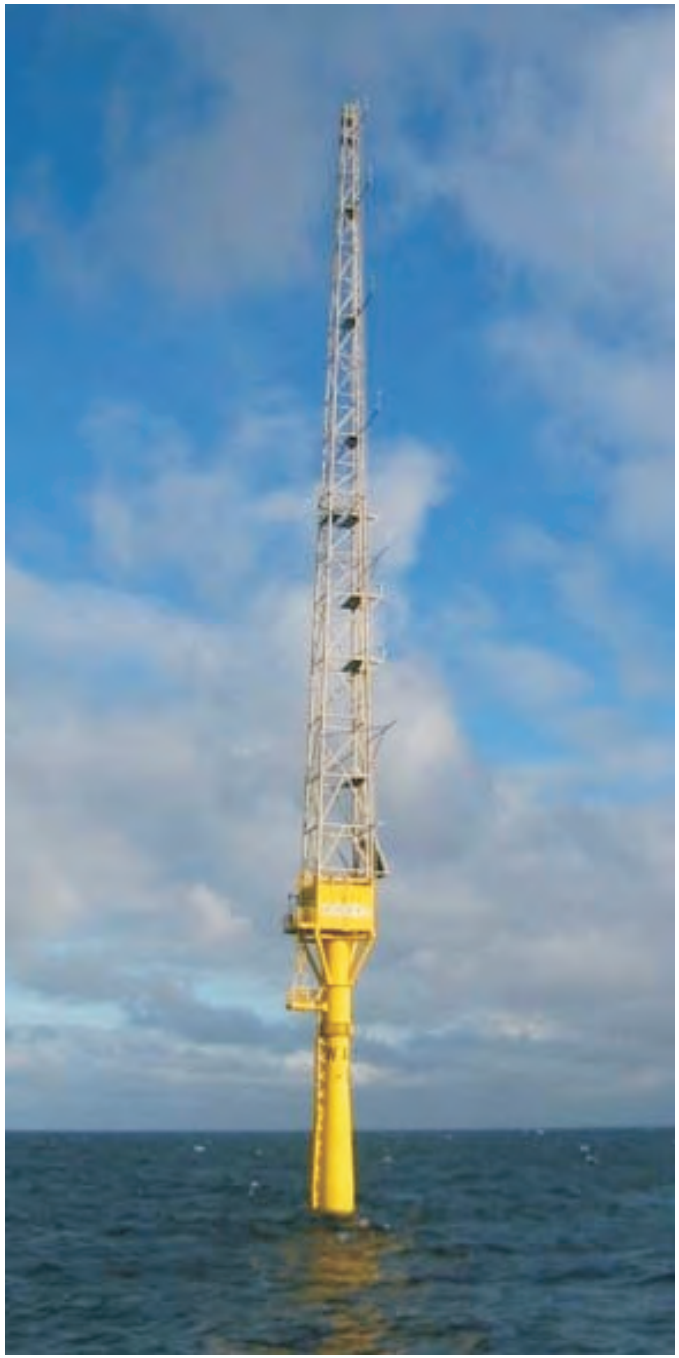
Okerkraftwerk Müden, Kaplan S-Turbine, 230 KW, Baujahr 1989

Windpark „Padingbüttel, 5 MW, Bj. 93



Baugenehmigung

Offshore Windpark „Amrumbank West“, und Kabelanbindung in 2005

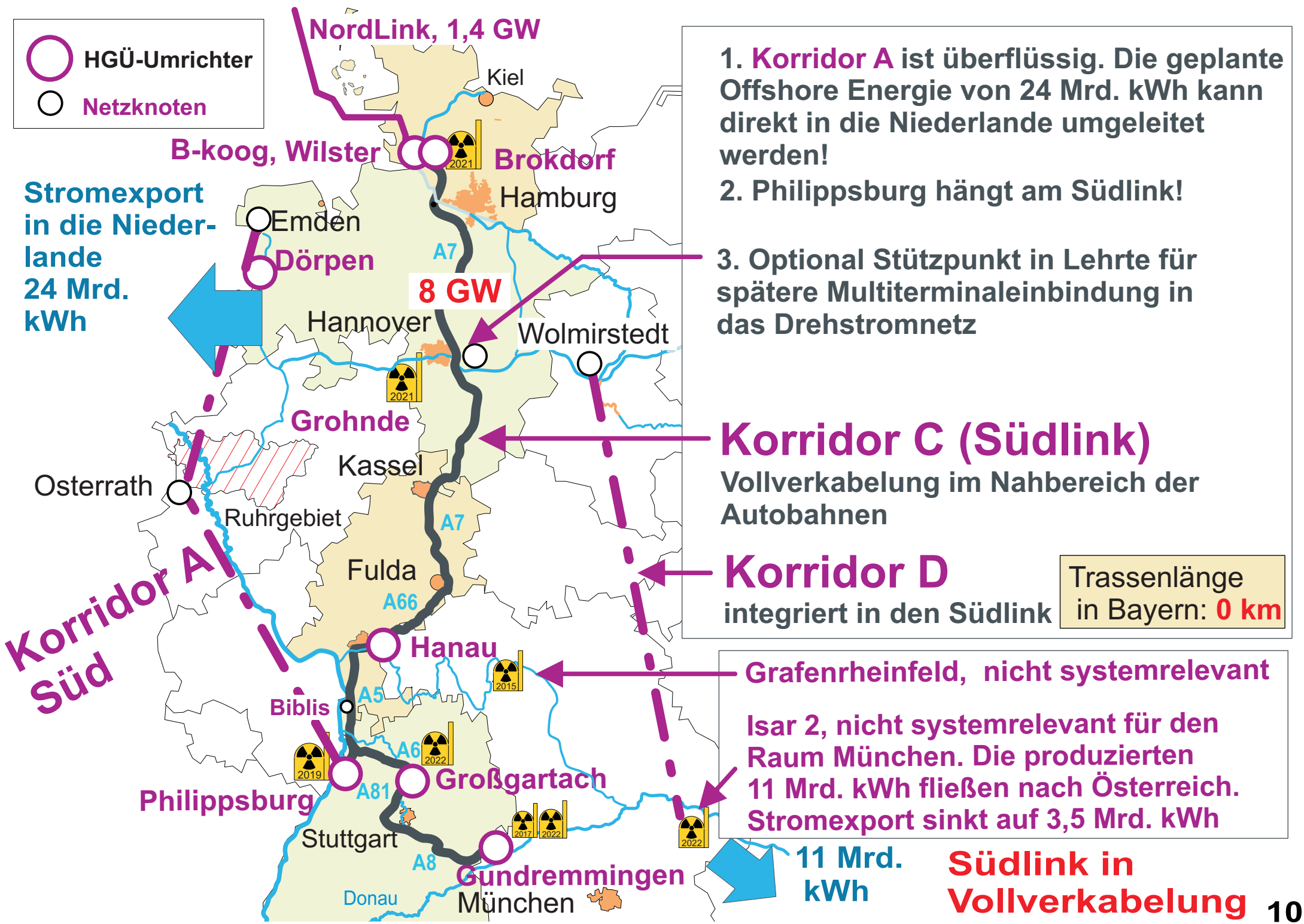


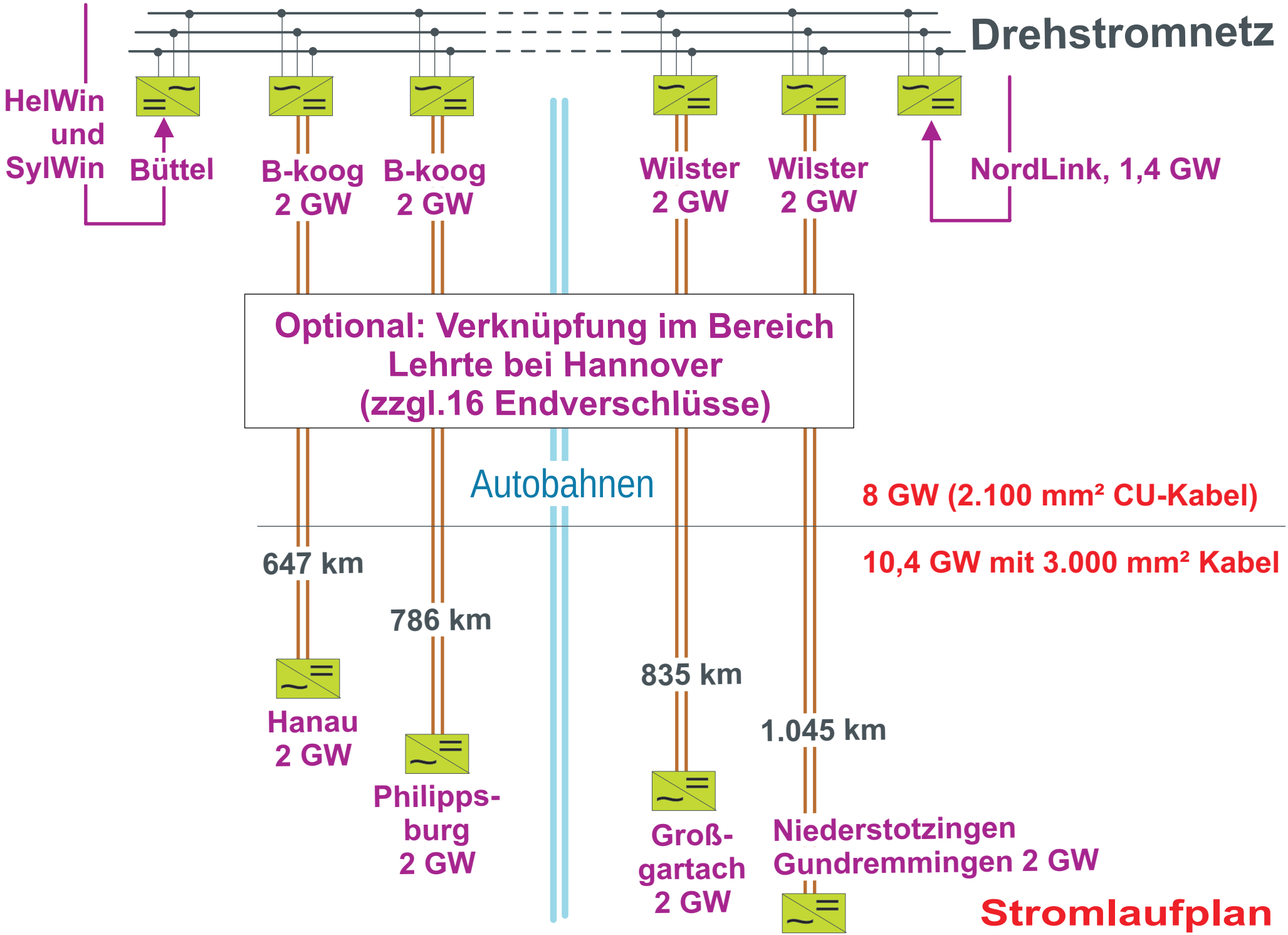
Auslegung Windmessmast „Amrumbank West“

Elektrische Auslegung einer Offshore Trafoplattform

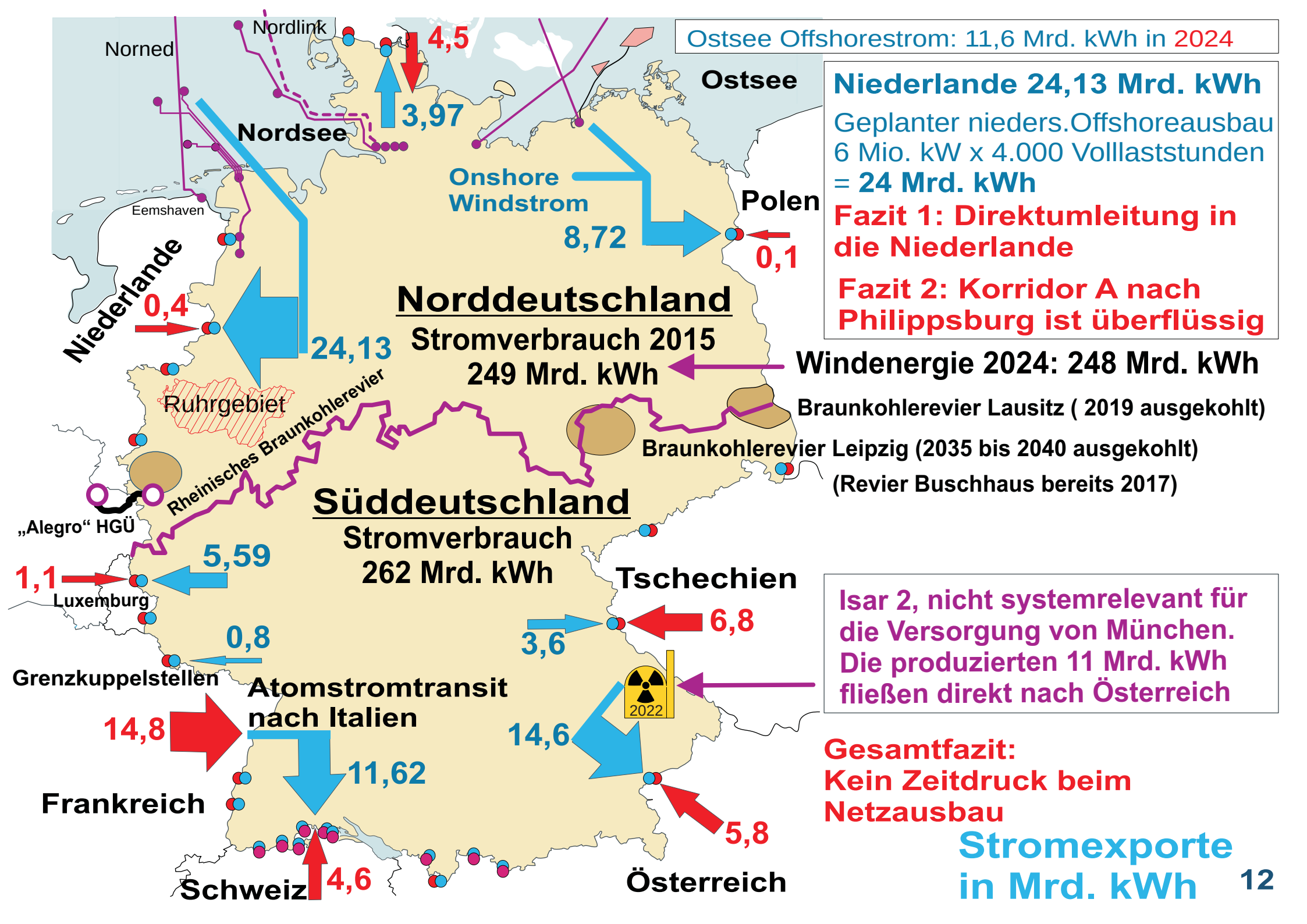
Wasserschnecke Allerkraftwerk 130 kW

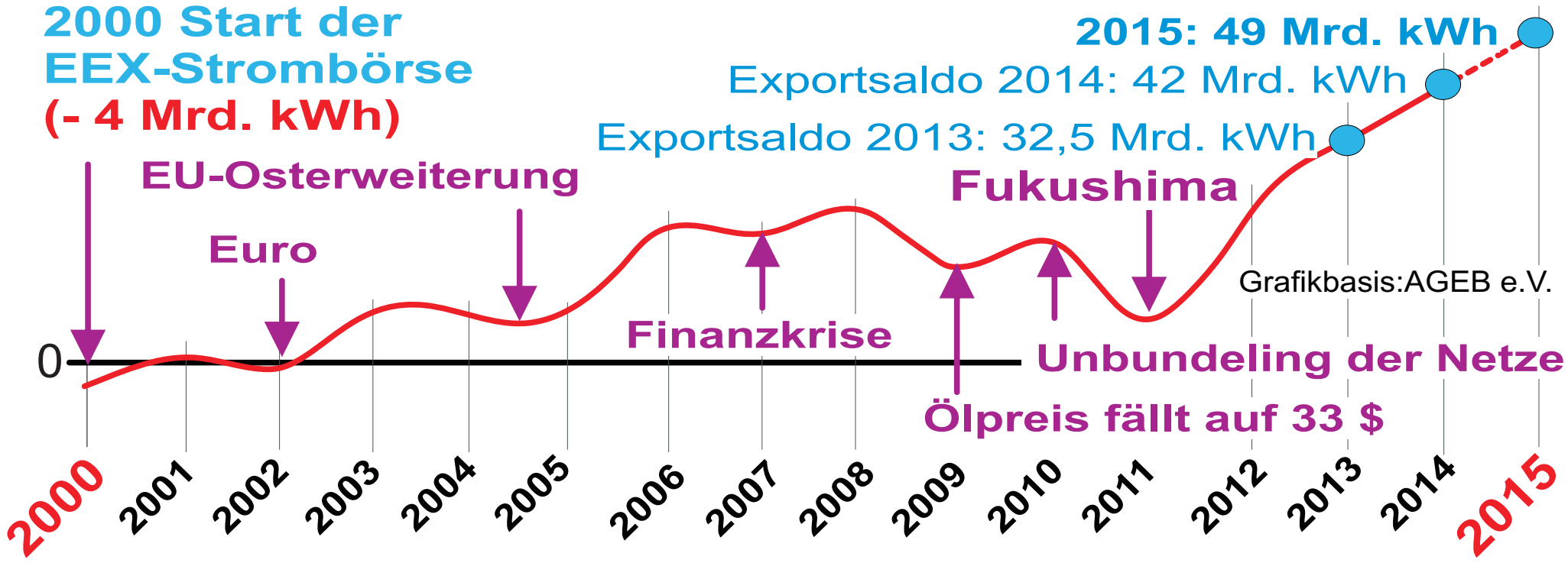
Übersicht


HGÜ-Umrichter
Netzknoten
NordLink, 1,4 GW
Kiel
B-koog, Wilster
Brokdorf
2021
Hamburg
Stromexport in die Nieder-lande 24 Mrd. kWh
Emden
Dörpen
A7
8 GW
Hannover
Wolmirstedt
2021
Grohnde
Kassel
Osterrath
Ruhrgebiet
A7
Korridor A
Süd
Fulda
A66
Hanau
2015
Biblis
A5
2019
A6
2022
Philippsburg
A81
Großgartach
2017
2022
Stuttgart
A8
Gundremmingen
Donau
München
2022
11 Mrd. kWh
1. Korridor A ist überflüssig. Die geplante Offshore Energie von 24 Mrd. kWh kann direkt in die Niederlande umgeleitet werden!
2. Philippsburg hängt am Südlink!
3. Optional Stützpunkt in Lehrte für spätere Multiterminaleinbindung in das Drehstromnetz
Korridor C (Südlink)
Vollverkabelung im Nahbereich der Autobahnen
Korridor D
integriert in den Südlink
Trassenlänge in Bayern: 0 km
Grafenrheinfeld, nicht systemrelevant
Isar 2, nicht systemrelevant für den Raum München. Die produzierten 11 Mrd. kWh fließen nach Österreich. Stromexport sinkt auf 3,5 Mrd. kWh
Südlink in Vollverkabelung



Stromlaufplan


Ostsee Offshorestrom: 11,6 Mrd. kWh in 2024
Niederlande 24,13 Mrd. kWh
Geplanter nieders.Offshoreausbau
6 Mio. kW x 4.000 Volllaststunden
= 24 Mrd. kWh
Fazit 1: Direktumleitung in die Niederlande
Fazit 2: Korridor A nach Philippsburg ist überflüssig
Norned
Nordlink
4,5
3,97
Ostsee
Nordsee
Onshore Windstrom
8,72
Polen
0,1
Eemshaven
Niederlande
0,4
24,13
Norddeutschland
Stromverbrauch 2015
249 Mrd. kWh
Windenergie 2024: 248 Mrd. kWh
Ruhrgebiet
Rheinisches Braunkohlerevier
Braunkohlerevier Lausitz (2019 ausgekohlt)
Braunkohlerevier Leipzig (2035 bis 2040 ausgekohlt)
(Revier Buschhaus bereits 2017)
„Alegro“ HGÜ
Süddeutschland
Stromverbrauch
262 Mrd. kWh
5,59
1,1
Luxemburg
Tschechien
6,8
3,6
0,8
Grenzkuppelstellen
Atomstromtransit nach Italien
Isar 2, nicht systemrelevant für die Versorgung von München. Die produzierten 11 Mrd. kWh fließen direkt nach Österreich
2022
14,8
14,6
11,62
Frankreich
5,8
Gesamtfazit:
Kein Zeitdruck beim Netzausbau
Schweiz
4,6
Österreich
Stromexporte in Mrd. kWh



Nettoerlöse aus Stromexport:

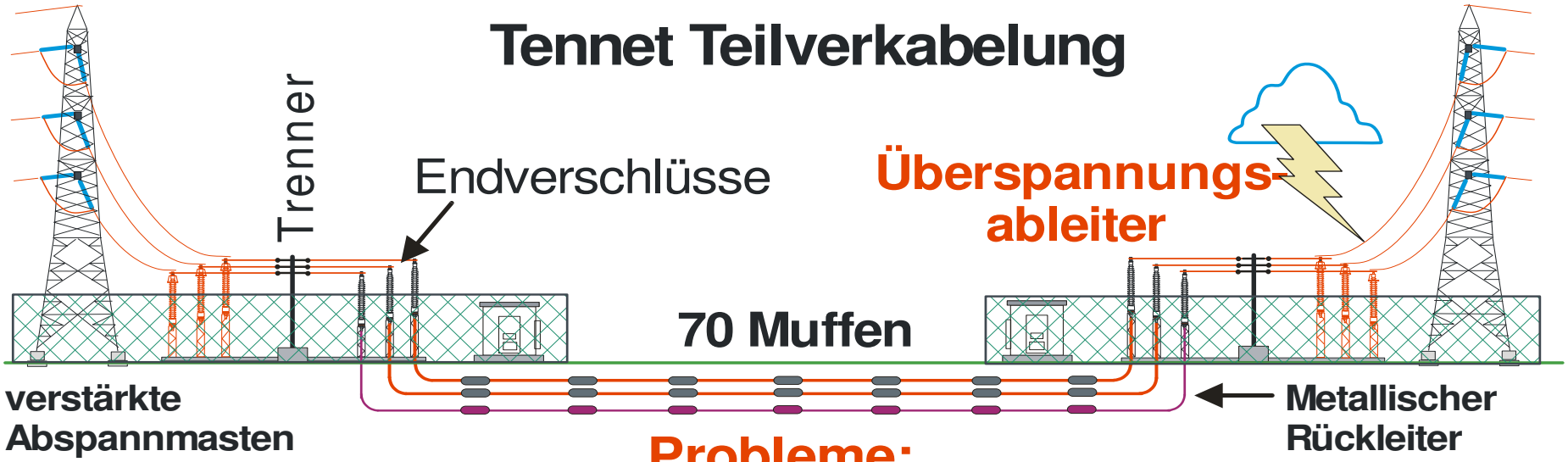
2013: 1,14 Mrd. € (BNetzA, Monitoringbericht 2014, Tab. 26)

2014: 1,48 Mrd. € (errechnet aus 0,03523 €/kWh x 42 Mrd. kWh)

2015: 1,73 Mrd. € (errechnet aus 0,03523 €/kWh x 49 Mrd. kWh)

Exportsaldo

8 GW Südlink mit ca. 50% Teilverkabelung (4 Systeme a' 2 GW mit durchschnittlich 828 km Länge gerechnet)			
1 Teilverkabelungsabschnitt		Teilverkabelung nach Tennet: 400 Abschnitte a' 4 km	Vollverkabelung nach Infranetz: 4 Systeme a' 828 km
40	km MI-Kabel (10 Kabel a‘ 4 km)	16.000 km M I- Kabel (Längen 0,5 km)	6.654 km VPE-Kabel, 2.100 mm² Kupfer (Längen 1,2 km)
70	M I - Muffen	28.000 M I - Muffen, Montagezeit 7 Tage (196.000 Tage / 253 Arbeitstage = **774 Jahre**)	5.000 VPE-Muffen, Montagezeit 2 Tage (10.000 Tage / 253 Arbeitstage = **39 Jahre**)
20	Endverschlüsse	8.000 Endverschlüsse	16
12	Überspannungsableiter	4.800 Überspannungsableiter	keine
12	Trenner	4.800 Trenner	keine



Probleme:

Montagezeit, Blitzschlag, Komponentenzahl, Kosten, Ausfallhäufigkeit, Sabotage, Flächenbedarf und Ausgleichsflächen

Komponententabelle im Vergleich

Pos.	Parameter (blau) und Leistungsbeschreibung	km	m	m²	m³	Stck.	%	€/m²	€/m³	€/km	€/Stck.	Summe in €	Gewerk	Mio. € ~
2	Durchschnittliche Systemlängen (2 GW)	828				Kostenkalkulation Südlink vom 03.10.15: Vollverkabelung im Nahbereich von A7, A66, A3, A5, A6, A81, A8 ; 2 GW pro System, 1.050 kV (+/-525 kV), getrennte Trasssen gerechnet								
3	Kabelgraben gesamt (4 Gräben a' 2 GW)	3.312												
4	Muffen	5.000												
5	Kabellänge zzgl. 6 m Verschnitt pro Muffe (30 km Verschnitt)	6.654												
6	Kabeltrommellänge	1,2				Pos. 11 Abschätzung der Kabelkosten für **1,2 km Kupferkabel.** Tagespreise am 02.10.15: Kupferleiter, 22,43 to, 2.100 mm² (ca. 103.041 €), Schirmkupfer 1,82 to, 170 mm² (ca. 8.341 €), Drahtherstellung Kupfer (ca. 20.000), Kunststoffe 13,2 to (ca. 26.393 €), Zwischensumme Material: ca. 137.776 €, Fertigung, Prüfung, Logistik (100.000 €). In Summe: 237.776 € für 1,2 km Kabel. Aufschlag 100% = geschätzter Verkaufspreis = 475.552 €. Relative Kosten: 475.552 € /1,2 km = 396.293 €/km bzw. 396,3 €/m. **Gerundet 400 €/m.**								
7	Grabentiefe im Mittel (1,3 bis 1,5 m)		1,40											
8	Grabenbreite		0,7											
9	Grabenquerschnitt			0,98										
10	Grabenvolumen gesamt zzgl. 67.500 m³ Zuschlag für 2.500 Doppelmuffenplätze (27 m³ pro Muffenplatz)				3.313.260									
11	Kabeltrommeln und Kabel					5.545					480.000	2.661.600.000	Kabel und Garnituren	2.762,4
12	Muffen incl. Montage (rechnerische Montagezeit: 5.000 Muffen x 2 Tage = 10.000 Tage / 253 Arbeitstage = 39 Jahre)					5.000					20.000	100.000.000		
13	Endverschlüsse incl. Montage (16 Endverschlüsse in 8 Umrichtern) incl. der optionalen 16 Endverschlüsse in Lehrte					32					25.000	800.000		
14	Kabeltrommeltransporte per Autobahn und Binnenschiff					5.545					20.000	110.900.000	Kabeltransport	110,9
15	Umrichter je 2 GW					8					160.000.000	1.280.000.000	Umrichter	1.280,0
16	RSS Flüssigbodenverfahren (Graben fräsen, Aushub analysieren, verflüssigen, mit Betonpumpe verfüllen)				3.313.260				200			662.652.000	Tiefbau	1.982,6
17	Grabensicherung liefern und einbauen (kein Mann m Graben, d.h. kein schwerer DIN 4124 Verbau. Nur Sicherung gegen nachrutschende Erde)									20.000		66.240.000		
18	Kabel einbauen	6.654								30.000		199.620.000		
19	Rückbau der Oberfläche	3.312		3.312.000				20				66.240.000		
20	Wiederherstellung pauschal	3.312	Drainagen, Wasser. Abwasser, Kabel, Telekom, Maschinen,							20.000		66.240.000		
21	Kampfmittel, Störkörper u. Artefakte scannen und dokumentieren	3.312	Kampfmittelbeseitigung hoheitlich durch Bund oder Land							10.000		33.120.000		
22	Bahn, Strassen und kleinere Gewässerquerungen mit Stahl bzw. HDPE Schutzrohr	3.312								150.000		496.800.000		
23	Größere Gewässerquerungen (durchschnittlich)					20					8.000.000	160.000.000		
24	Verkehrssicherungsmaßnahmen						5					93.090.600		
25	Baustelleneinrichtungen pauschal						5					87.545.600		
26	Wasserhaltung pauschal.(Keine Wasserhaltung bei Flüssigboden erforderlich. Flüssigboden verdrängt das Wasser aus dem Graben.						5					51.101.000		
27	Umweltverträglichkeitsstudien	3.312								3.000		9.936.000	Umweltstudien	19,9
28	Archäologische Gutachten (§ 13 Abs. 2 NDSchG)	3.312								3.000		9.936.000		
29	Inbetriebnahme der Kabelsysteme incl. Resonanzprüfung und Mantelprüfung	6.654								15.000		99.810.000	Inbetriebnahme	99,8
30	Grundstücksverträge abschliessen. 10 Stck pro Kilometer Kabelgraben	3.312				33.120					1.000	33.120.000	Planungskosten	201,3
31	Planungskosten incl. Studien, Rechtsberatung, und Dokumentation (ohne Umrichter, Kabel, Garnituren und Kabeltransporte gerechnet)						8					168.186.496		
32	Bundesfachplanung (getrennte Trassen gerechnet)	3.312								50.000		165.600.000	Fachplanung	165,6
33	**entspricht relativen Kosten pro Kilometer Trasse (4 x 828 km = 3.312 km) = 2 Mio. €/km**											**6.622.537.696**	Invest	**6.622,5**
34	**Zum Vergleich: 2 Freileitungen 786 km und 1.045 km (durchschnittlich 2 x 915 km) mit 50% Teilverkabelungen**													
35	Baukostenbasis: 2,5 Mio. €/km nach BMU Studie aus 2011 für Freileitungen mit 2 Teilverkabelungen incl. Planungskosten, Entschädigungen und Inbetriebnahme)													4.575,0
36	8 Umrichter a' 2 GW (8 x 160 Mio. €)													1.280,0
37	Vogelschutzmaßnahmen und Ausgleichsmaßnahmen (7% der Baukosten nach § 6 Abs. 1 Satz 1 NAGBNatSchG)													320,3
38	Umweltstudien (30.000 €/km)													54,9
39	Bundesfachplanung (50.000 € pro km)													91,5
40	Waldeinschlag 4.000 ha.(300 Bäume/ha Stammdurchmesser 50 cm mit Rücken und Roden, 110 €/Stck. bzw. 33.000 €/ha., siehe: Kostendateien für Ersatzmaßnahmen Freistaat Thüringen, 2003)													132,0
41	Wiederaufforstung 4.000 ha mit niedrig wachsendem Gehölz ohne zukünftige forstwirtschaftliche Nutzung (300 Bäume / ha a' 22 €/Stck., siehe: Kostendateien für Ersatzmaßnahmen Freistaat Thüringen, 2003)													26,4
42	§ 5 Stromnetzentgeltverordnung (40.000 €/km Freileitung zur Akzeptanzverbesserung von Freileitungen an die Gemeinden)													73,2
43	Prozesskosten, Enteignungskosten, Konsultationskosten (ohne Verzögerungskosten nach BMU Studie 2011 von 1,8 Mio. € pro km)													100,0
44	**entspricht relativen Kosten pro Kilometer Trasse (2 x 915 km = 1.830 km) = 3,61 Mio. €/km**													**6.653,3**

ca. 6,65 Mrd. €

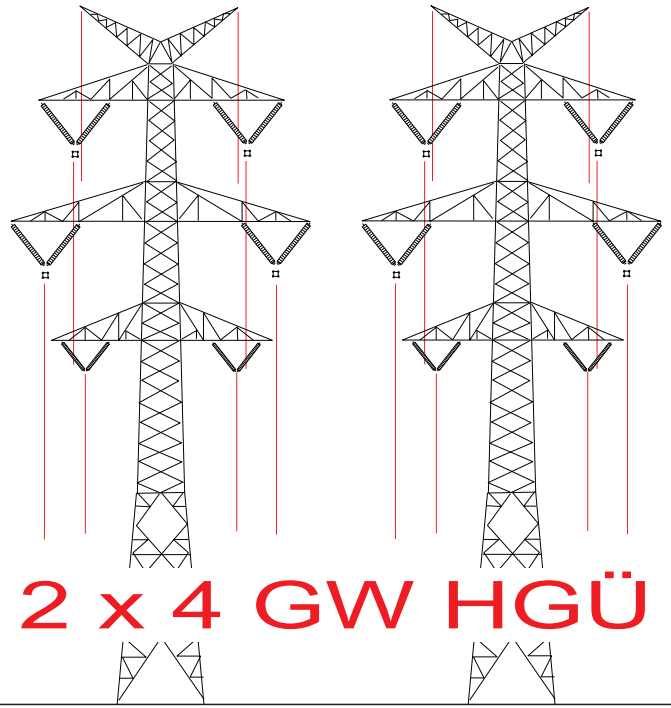
← 8 Umrichter in beiden Fällen: 1,28 Mrd. € →

ca. 5,34 Mrd. €

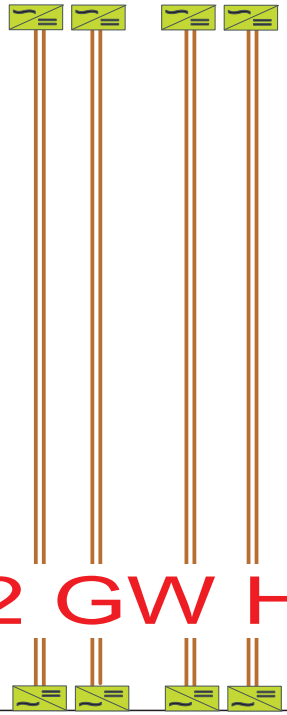
Fachplanung, Studien, Prozesskosten, etc.

Vogelschutz- u. Ausgleichsmaßnahmen, Waldeinschlag und Wiederaufforstung

Baukosten incl. Planung



2 x 4 GW HGÜ



4 x 2 GW HGÜ

Planung

Tiefbau und Montage

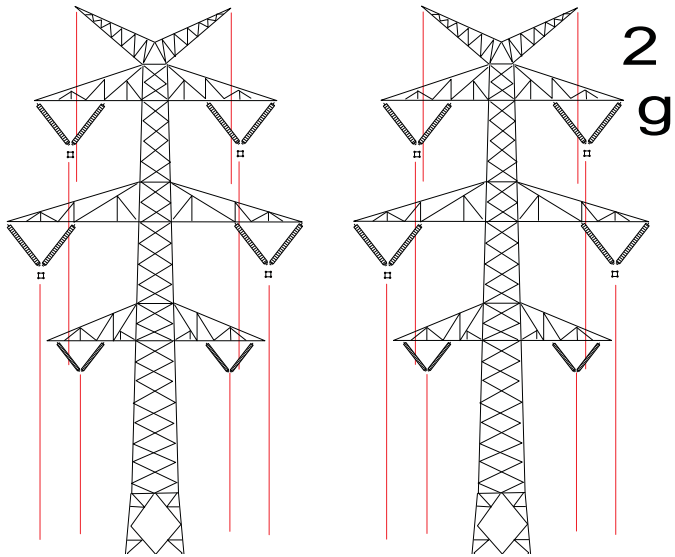
Kabel

Eva-Maria Schäffer (Tennet) am 01.06.15 in der Bayreuther Zeitung:
rel. Kosten von Freileitungen **2 Mio. €/km**
Nach BMU-Studie 2011 ca. **2,5 Mio. €/km** mit Teilverkabelungen

(ohne Umrichter)
ca. 5.340 Mio. €

5.340 Mio. € / 1.830 km
=
2,91 Mio. €/km

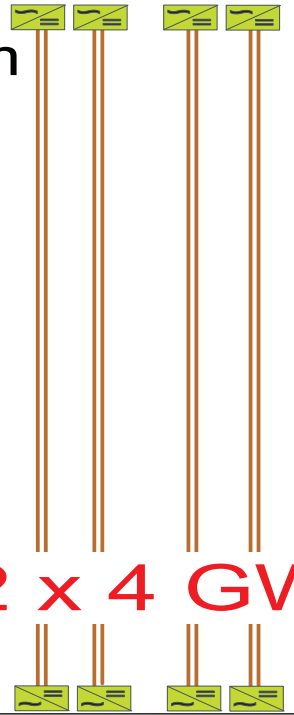
5.340 Mio. € / 1.656 km
=
3,2 Mio. €/km



2 x 915 km
gerechnet

2 x 4 GW

nur
2 x 828 km
gerechnet



2 x 4 GW

Relative Kosten

Verluste	Last	Jahresstunden	Börsenpreis 10/2015	Verlustkosten
MW	%	h	€/MWh	€/pA
467	100%	4.000	29	54.172.000
214	70%	2.315	29	14.366.890
106	50%	2.315	29	7.116.310
787			**Freileitung:**	**75.655.200**

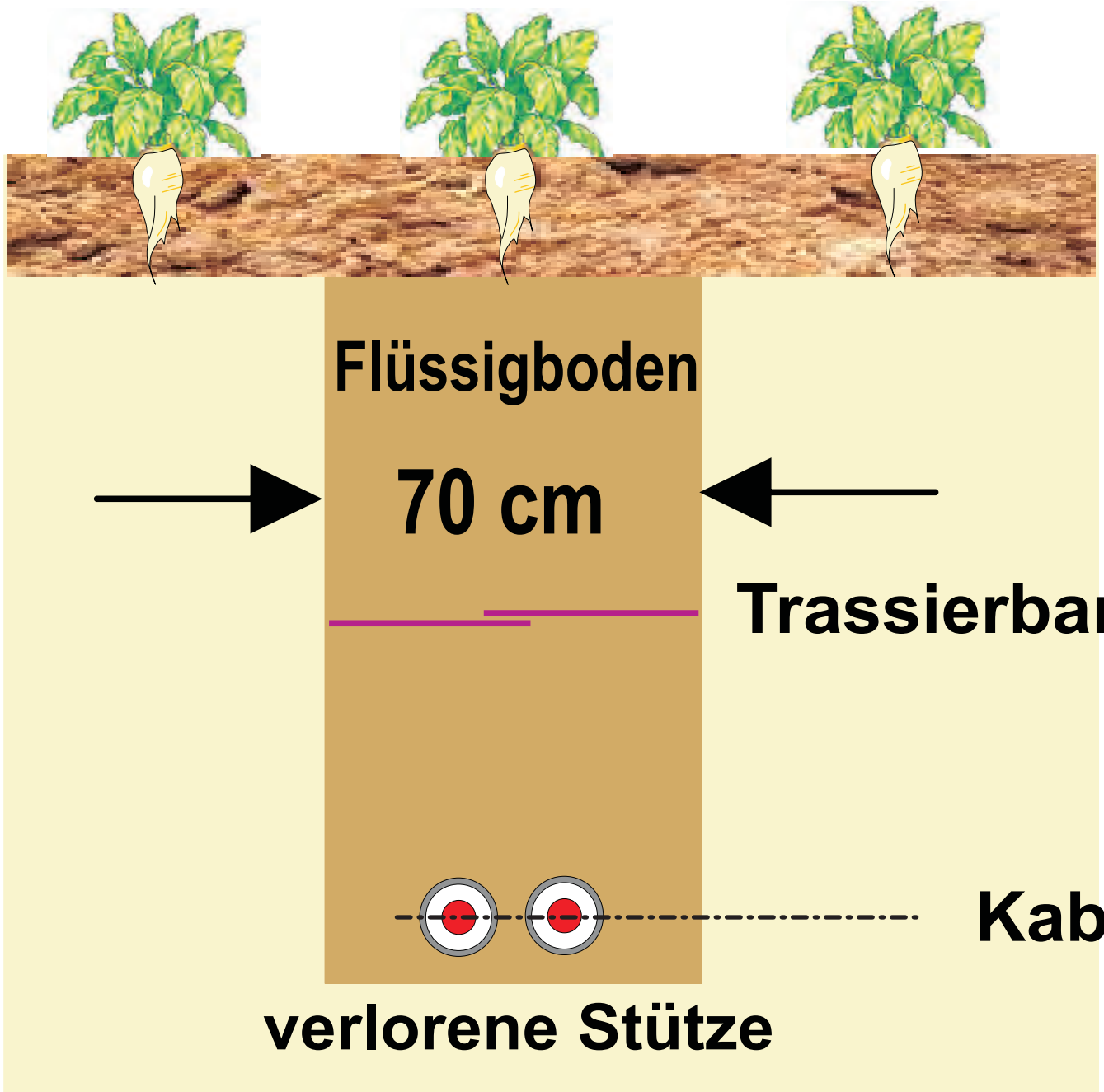
274	100%	4.000	29	31.784.000
125	70%	2.315	29	8.391.875
62	50%	2.315	29	4.162.370
461			**Vollverkabelung:**	**44.338.245**

Berücksichtigt sind 130 Jahres-stunden für die Umrichterwartung

Differenz: 31,3 Mio. €

Verlustkosten

Kabelverlegung

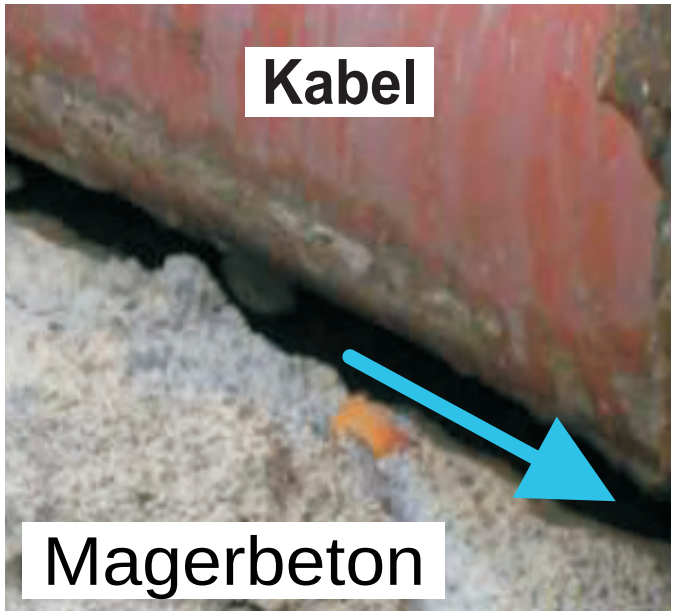


2 GW

Kabeltiefe: 1,2 m

Kabelverlegung

Keine Ringspalt-bildung



Keine Längsdrainage wie bei Magerbeton

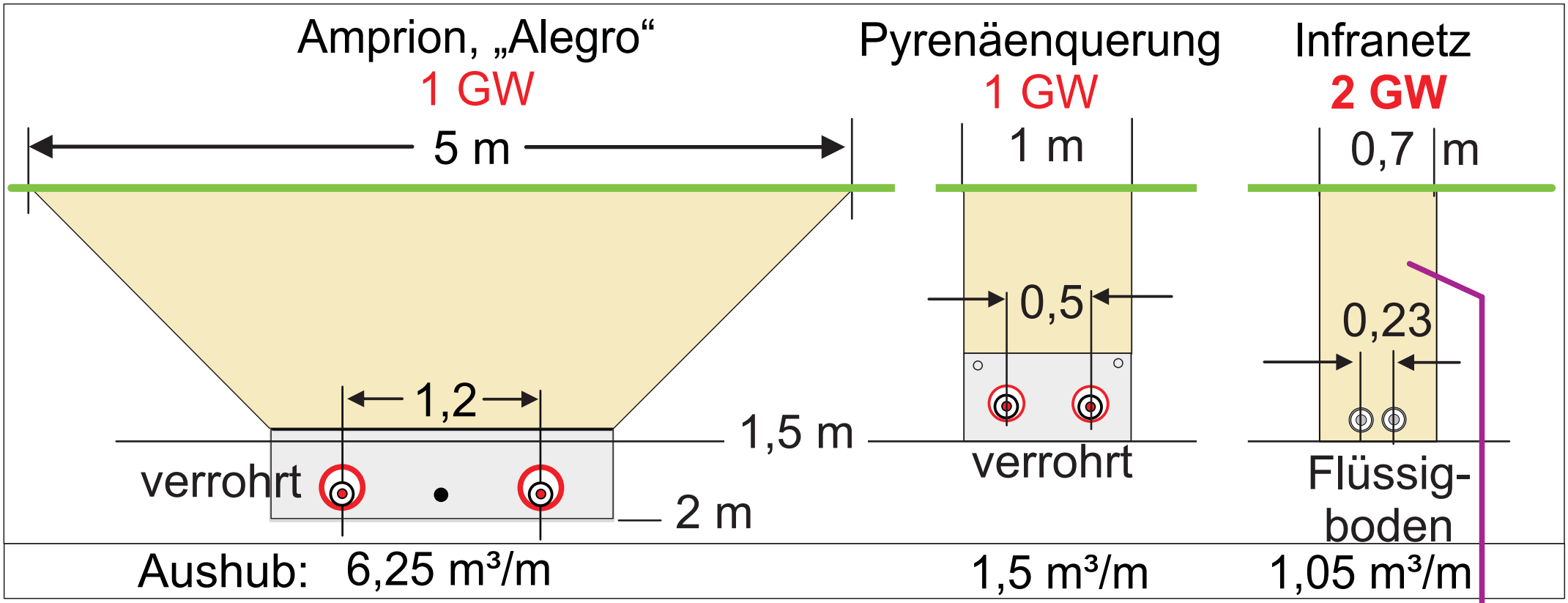
Tritt- und stichfest in ca. 4 Std.

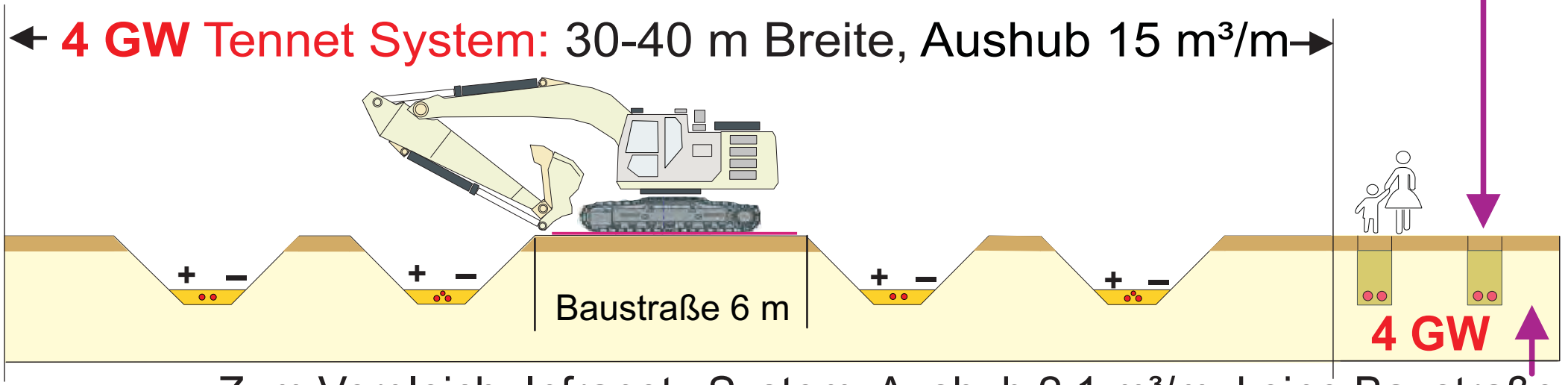
Flüssigboden

Marais SM 400 C
Schnittbreite bis 90 cm;
Schnitttiefe bis 2,5 m

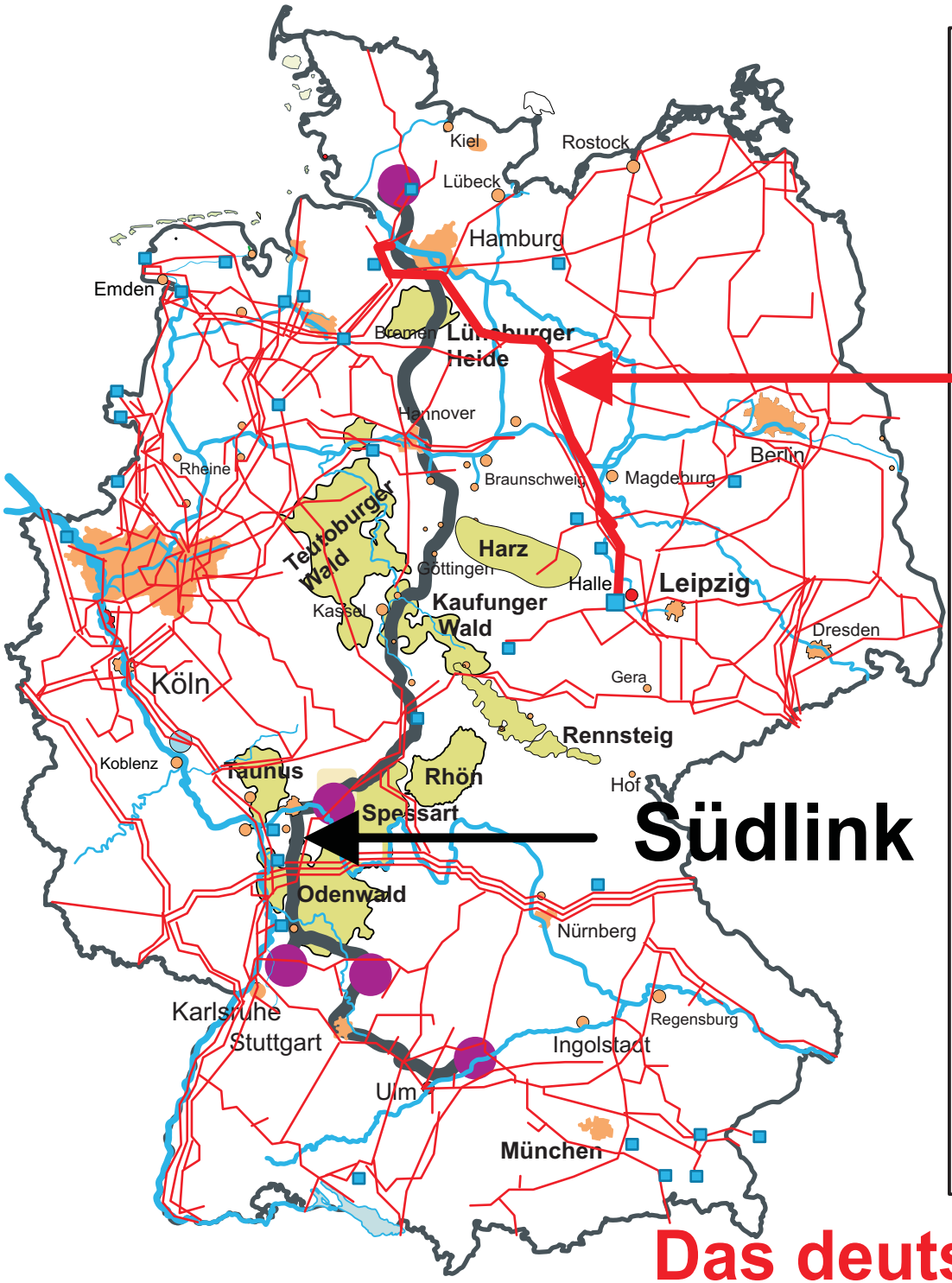
Felsfräse
Vermeer T-850
in Kalksandstein

Kabelgraben





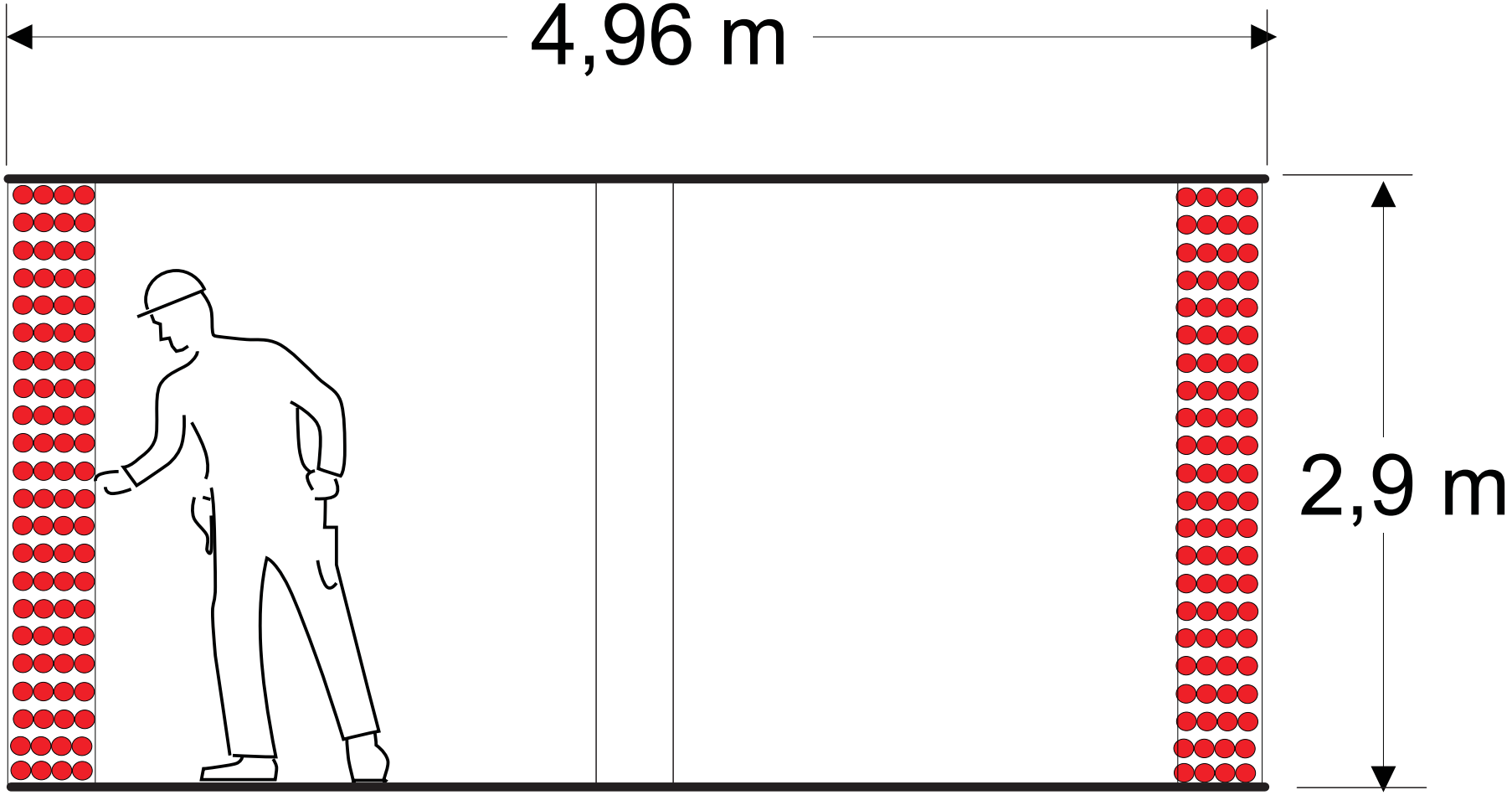
Zum Vergleich, Infranetz System: Aushub 2,1 m³/m, keine Baustraße



Südlink

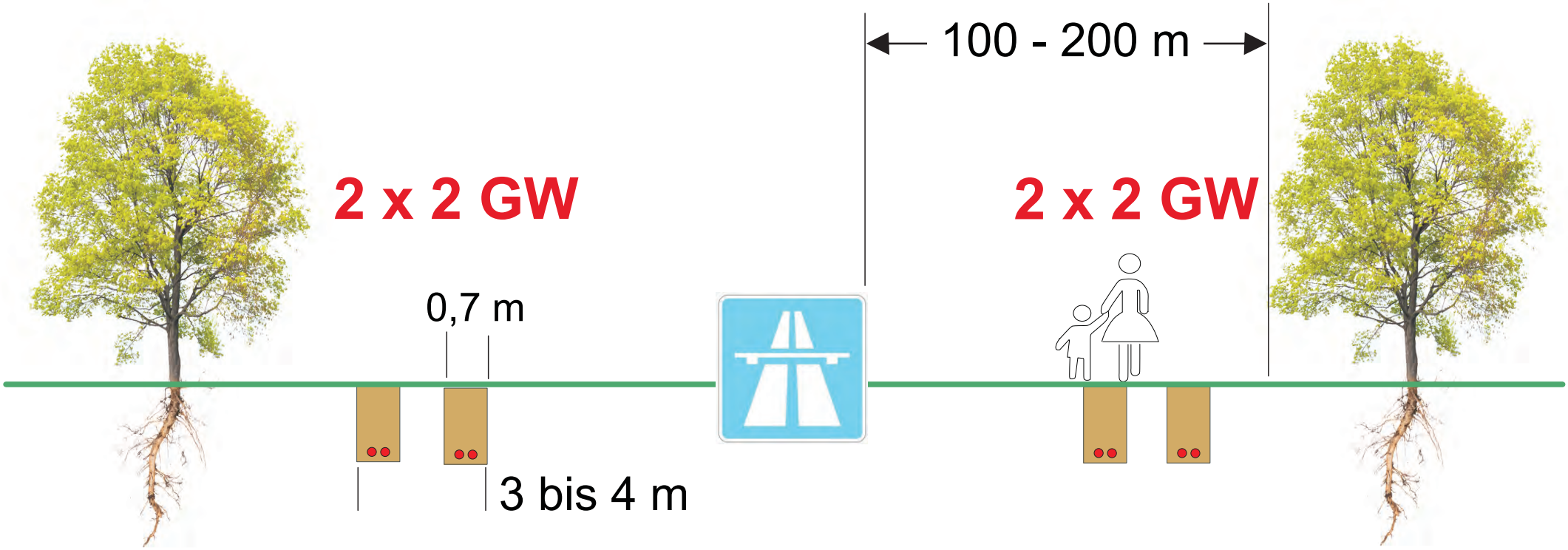
DOW-Ethylen Pipeline von Stade nach Leipzig, 390 km,
Kosten: 125 Mio. €
relative Kosten: 0,35 Mio. €/km
Bauzeit 1 Jahr
3 Pumpstationen, 2 Verdichter-stationen, 17 Schieberstationen, 203 HDD-Bohrungen, darunter 24 größere Gewässerquerungen, 4.500 Grundstücke

Das deutsche Gasnetz 477.000 km



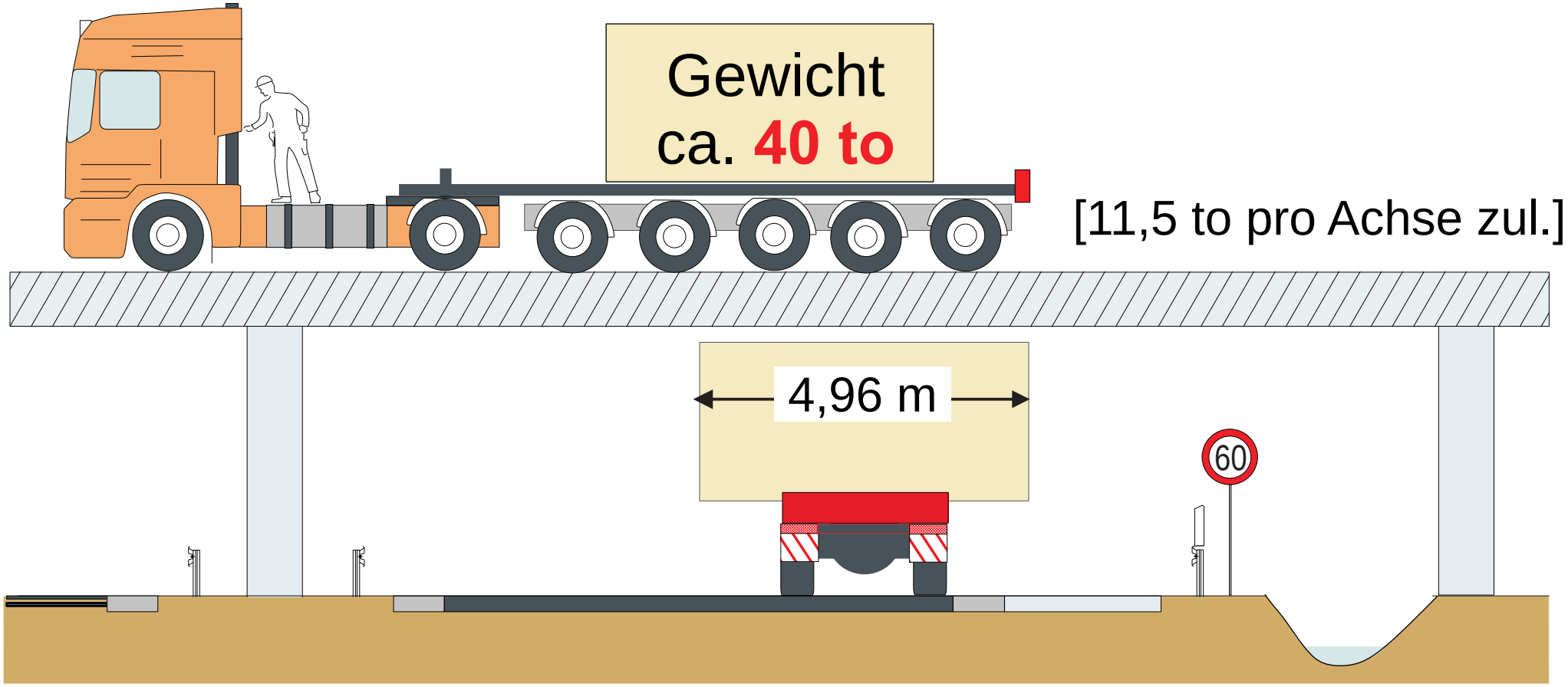
1.2 km Kupferkabel, 2.100 mm² (37,4 to)
Trommelgewicht: ca. 40 to

Kabeltrommel



Trassenführung vorzugsweise im Nahbereich der
Autobahnen
als Transportweg für die Kabeltrommeln

ohne Maßstab !



Kabeltrommeltransport per Autobahn

gez. Liebherr LTR 1060,
Tragkraft 60 to
3 kmh

per Schubeinheit
über Rollen

Kabeltransport im Gelände

B-koog NO-Kanal

Stör

Elbe

Aller bis Celle

Mittellandkanal

Hildesheim Hafen

Kassel Hafen

Hanau am Main

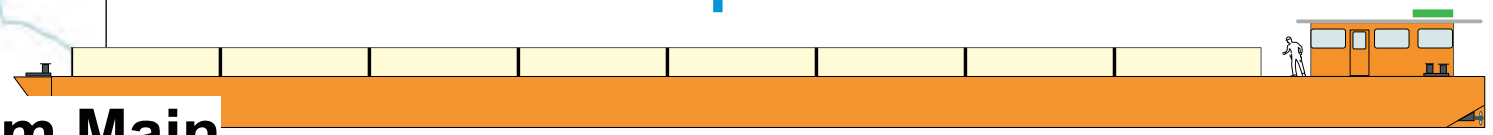
Philippsburg am Rhein

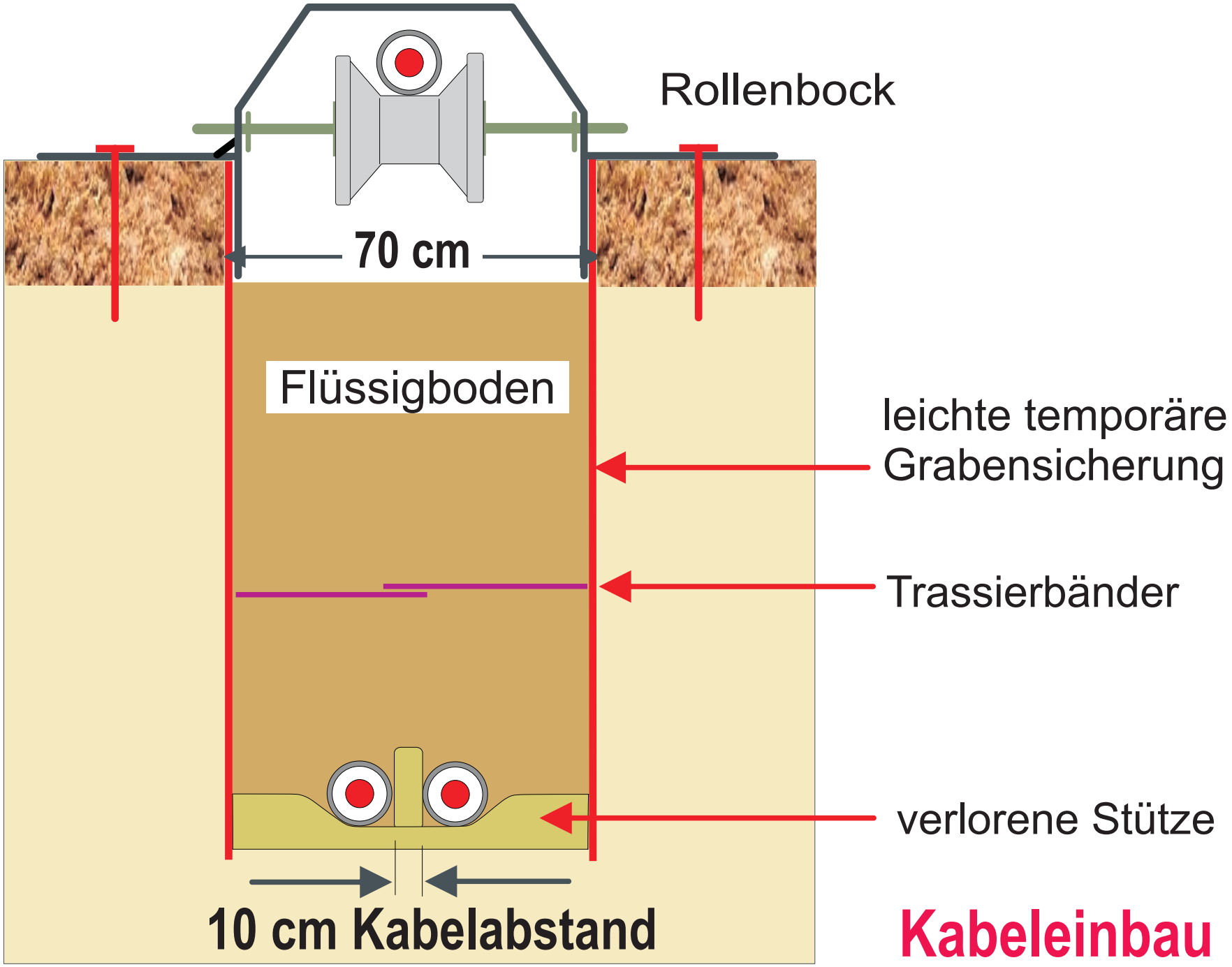
Großgartach

Gundremmingen an der Donau

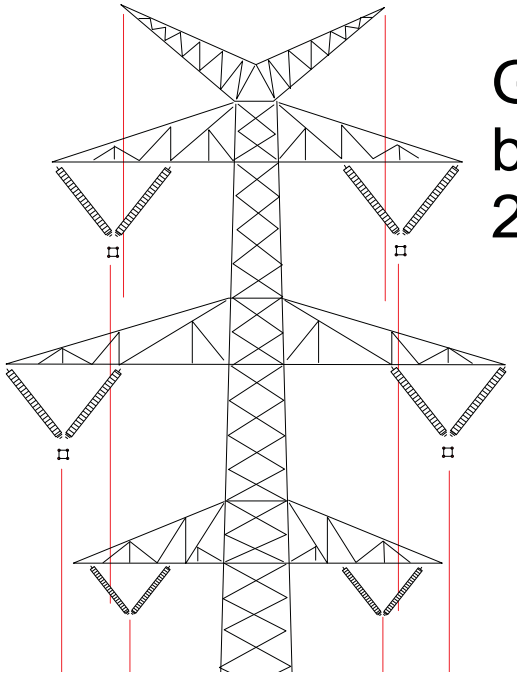
Anlandestellen

20-30 Trommeln per Binnenschiff





Kabeleinbau



Geschätzter Waldeinschlag
bei 915 km Freileitung
2.000 ha

Kiefer
30-60 m
gez. 40 m

ca. 100 m Waldschneisen (10 ha pro km)

Waldwege, Rückewege oder
Brandschutzstreifen

3 m

ohne Maßstab

0,7 m

2 x 2 GW Trassen
(maßstabsgerecht)

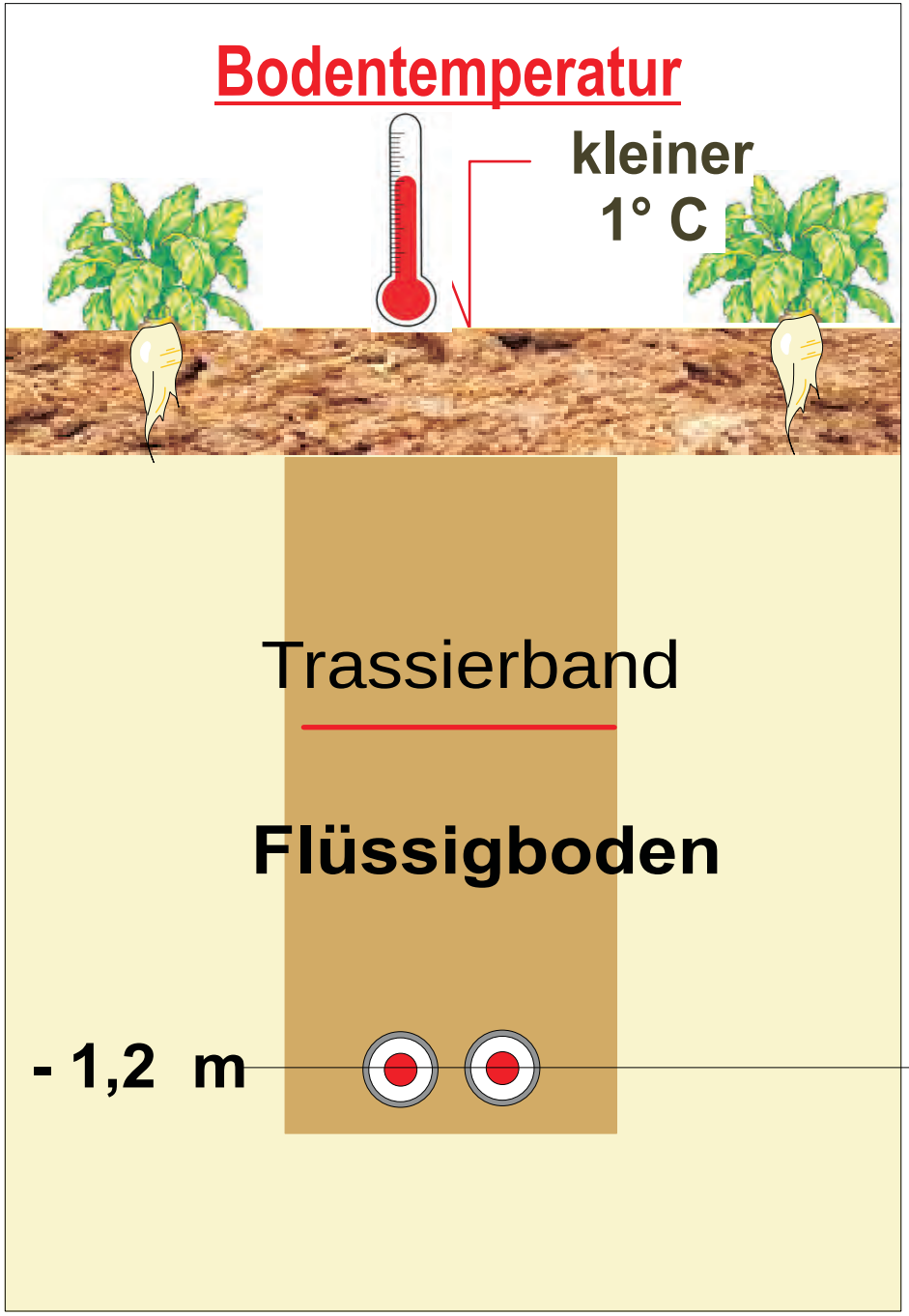
ohne Maßstab

Waldschneisen und Durchwurzelung

optional mit Wurzelschutz-
matten auskleiden

ohne Maßstab

Durchwurzelung



Leitungsverluste pro m Kabelgraben bei 50% Teillast nach:

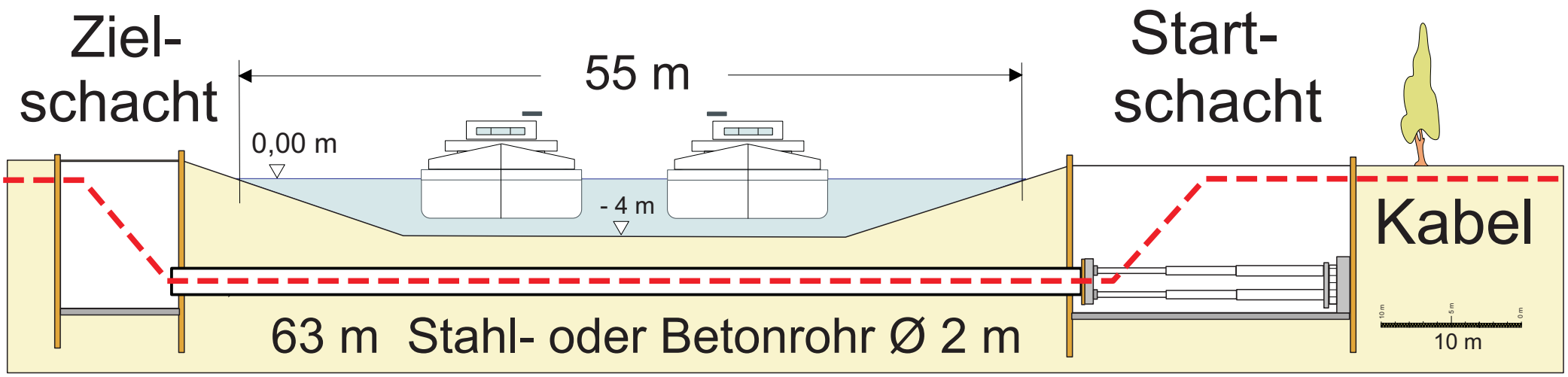
Pv = I² x R x L x 2 / Grabenlänge

952 A x 952 A x 0,01039 Ohm/km x 828 km x 2
828.000 Grabenmeter

19 W pro Grabenmeter bei 50% Teillast

83 W pro Grabenmeter bei Volllast

2 Kupferkabel, 525 kV, 2.100 mm²
Übertragungsleistung 2 GW

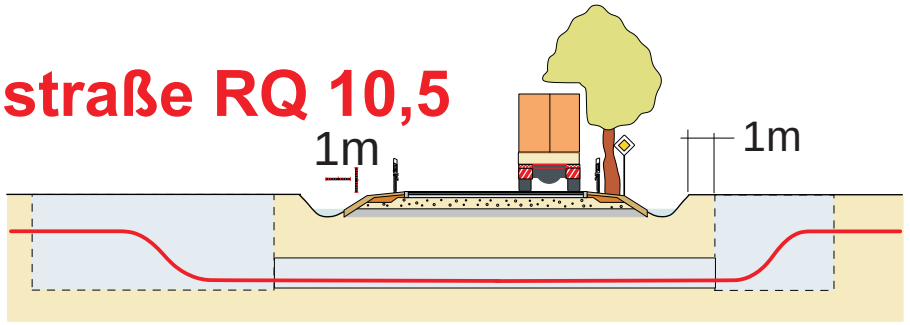


Kosten ca. 5 Mio. €

Hydraulik-
pressen

Beispiel: Mittellandkanal

gez.: Bundesstraße RQ 10,5

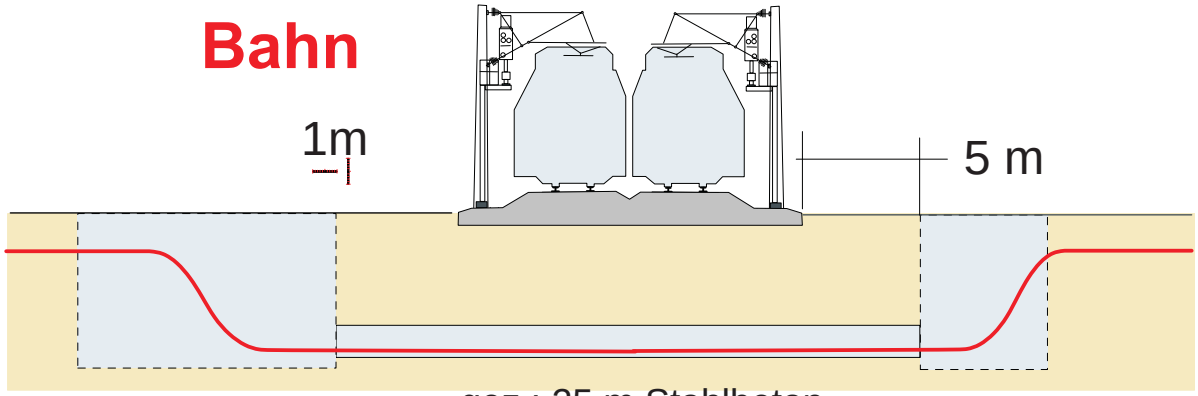


Startgrube:
10 x 5 x 4 m

gez.: 17 m Stahlbeton-
vortriebsrohr DN 1200

Zielgrube:
4 x 4 x 4 m

Bahn

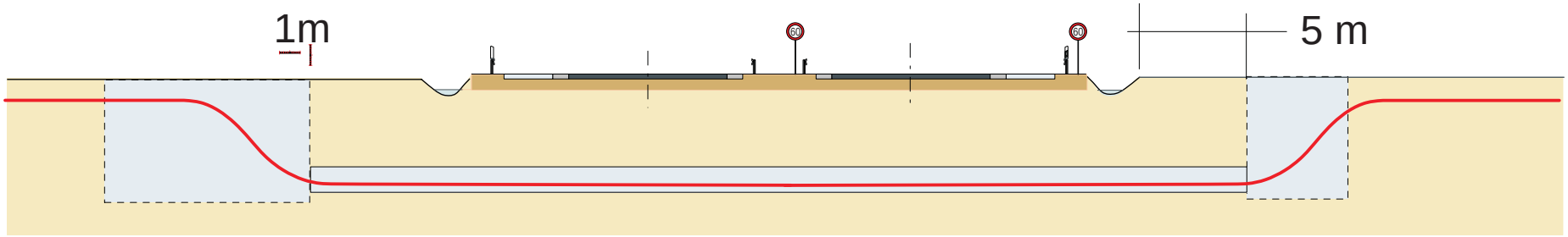


Startgrube:
10 x 5 x 6 m

gez.: 25 m Stahlbeton-
vortriebsrohr DN 1400

Zielgrube:
4 x 4 x 6 m

gez.: Autobahn RQ 29,5

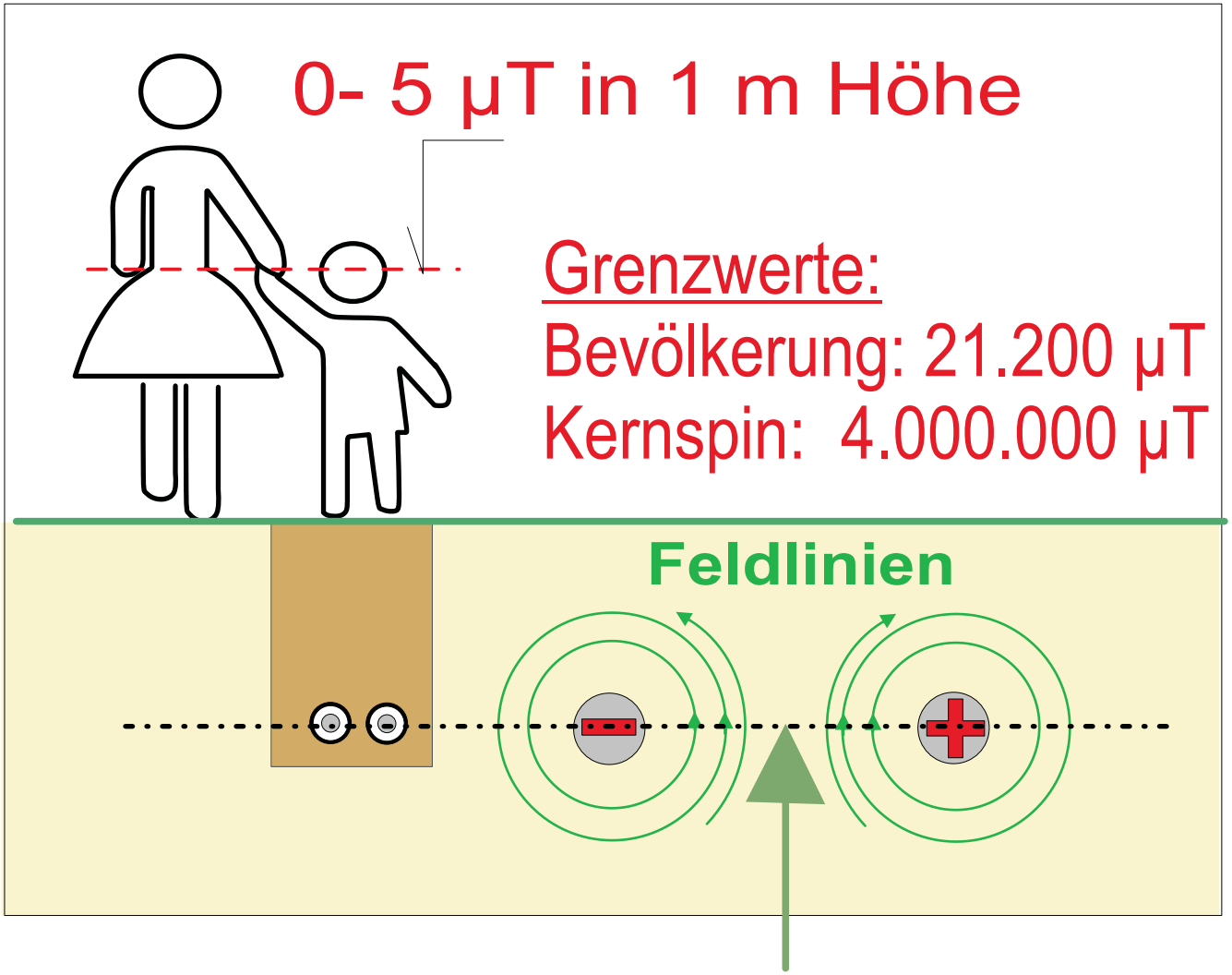


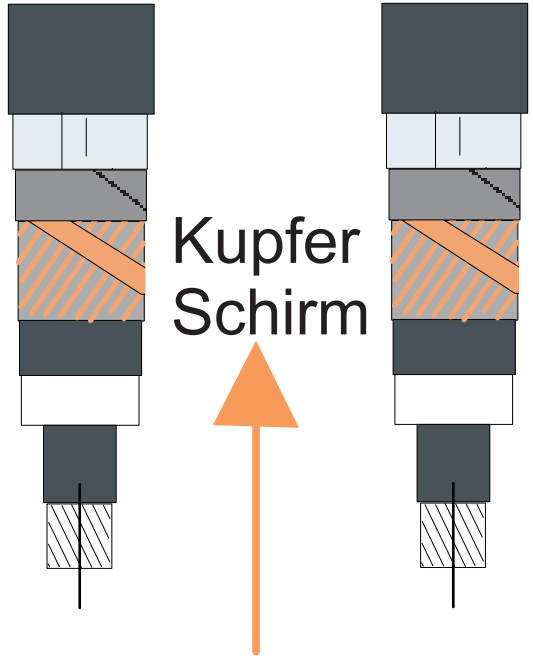
Startgrube:
10 x 5 x 6 m

gez.: 45 m Stahlbetonvortriebsrohr DN 1200

Zielgrube:
4 x 4 x 6 m

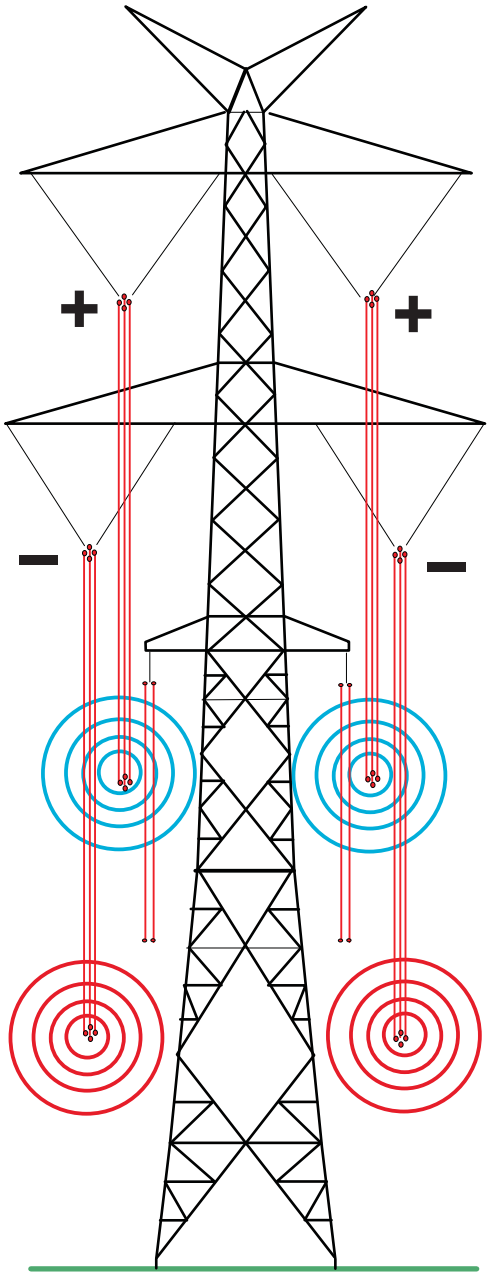
Umwelt





Erdkabel sind durch den Kupferschirm „Faradaysche Käfige“ und emittieren daher keine elektrischen Felder

Magnetfelder lassen sich durch die gegensätzliche Stromrichtung weitgehend neutralisieren.



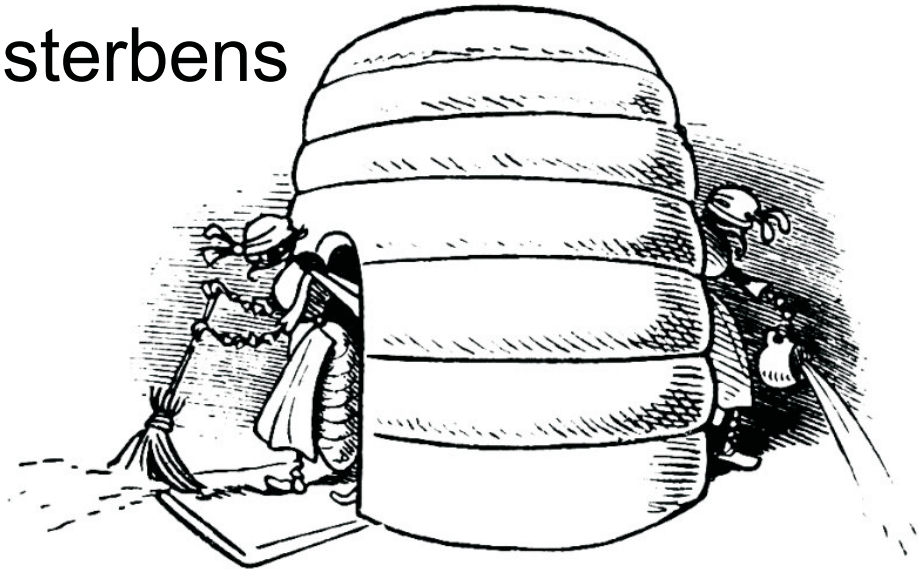
Die Freileitung bildet über die gesamte Länge 4 starke ringförmige Magnetfelder aus.

Fazit: Magnetorientierten Insekten finden nicht mehr zum Stock zurück, was tödliche Folgen hat.

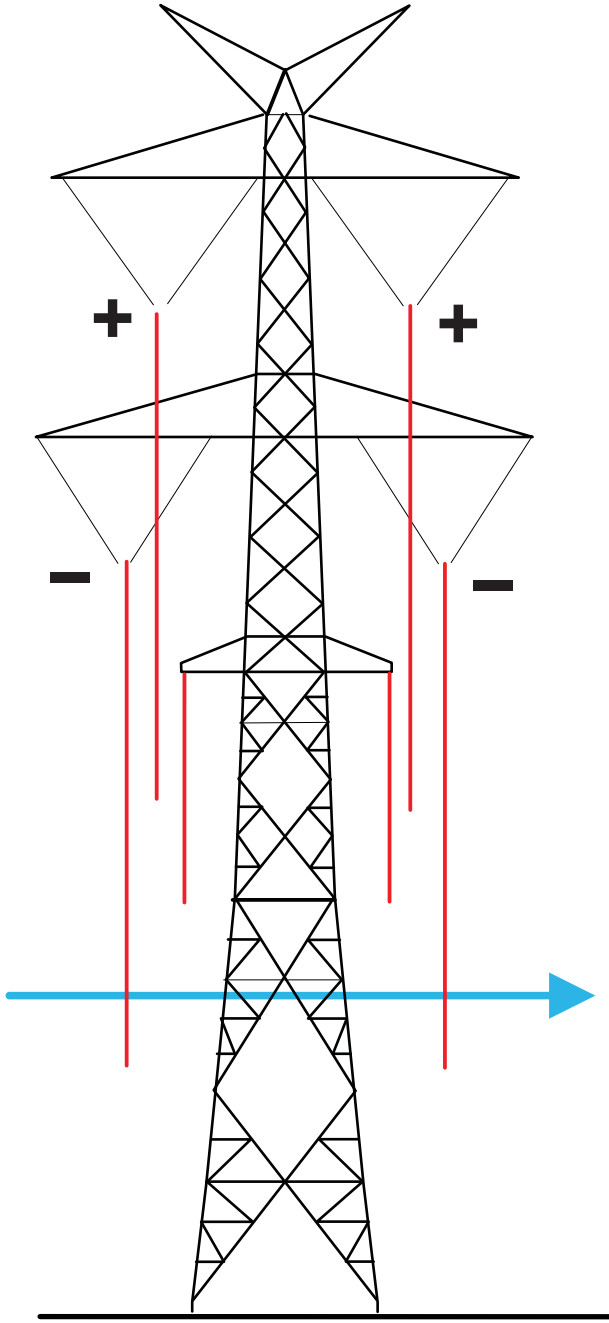
HGÜ-Freileitungen werden zu bestäubungsarmen Zonen.

Schwere Verluste für die Landwirtschaft.

Kosten des Bienensterbens in den USA:
15 Mrd. $ / Jahr



Magnetisches Feld und Bienensterben



Die starken elektrischen Felder verursachen:

1. Ionisierte Raumladungswolken

2. Gesundheitsschädliches Ozon

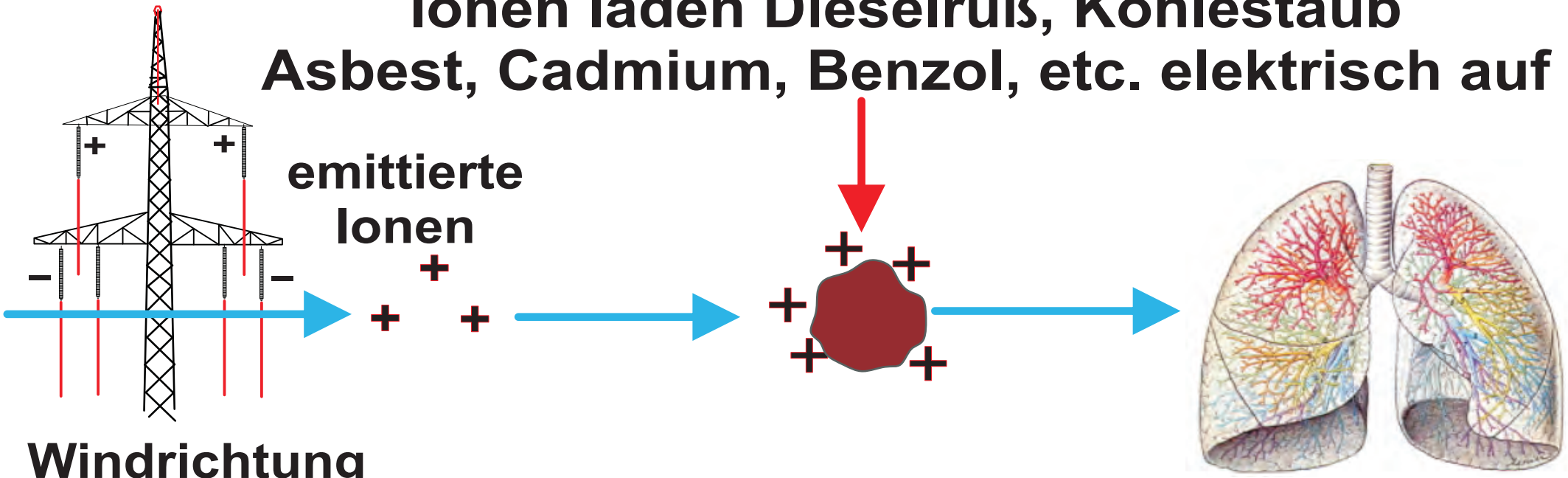
3. Gesundheitsschädliche Stickoxide,

die sich durch Windverfrachtung über weite Bereiche erstrecken können.
[Strahlenschutzkommission vom 07.08.14].

Die Strahlenschutzkommission empfiehlt zunächst die Durchführung von Forschungsprojekte in Form von Humanstudien unter gut kontrollierten Bedingungen.

Fazit:
HGÜ-Freileitungen sind in Deutschland nicht erprobt

Ionen laden Dieselruß, Kohlestaub Asbest, Cadmium, Benzol, etc. elektrisch auf



Inkorporierte geladene Moleküle können nach Studien von Denis Henshaw (Uni Bristol) Lungenkrebs begünstigen.

www.electric-fields.bris.ac.uk/

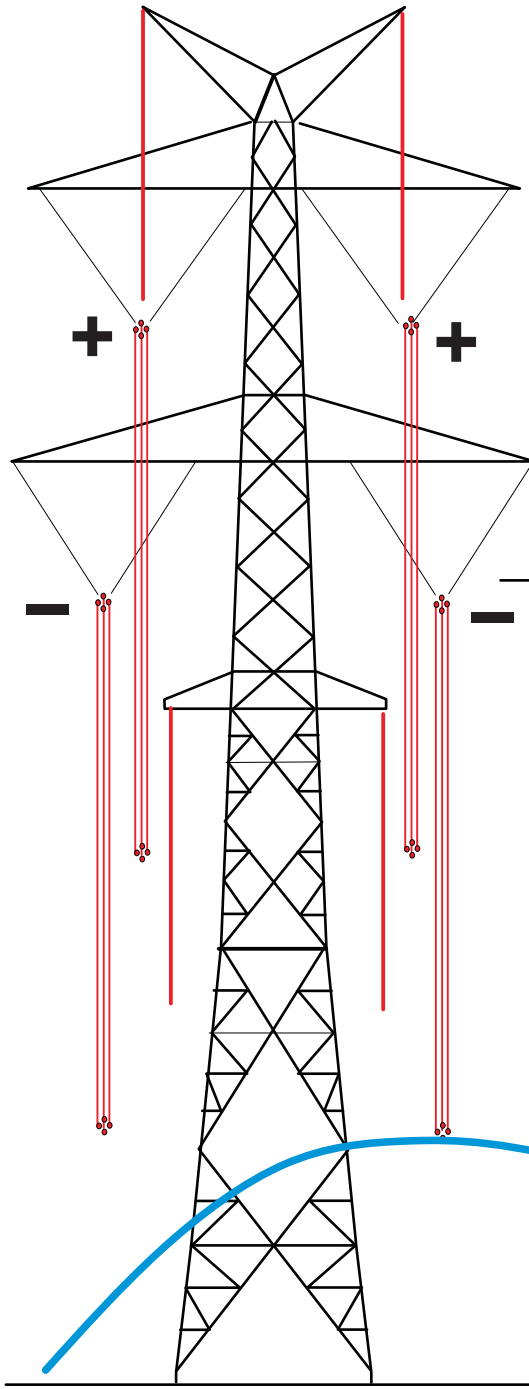
*Freileitungsprojekte haben **erhebliche** und insbesondere **dauerhafte** Auswirkungen und stehen daher im Widerspruch zu:*

1. *FFH-Richtlinie Natura 2000, 9243/EWG*
2. *Vogelschutzrichtlinie 2009/147/EG (Tötungsverbot)*
3. *§§ 15, 34, 44 und 45 des Bundesnaturschutzgesetzes,*

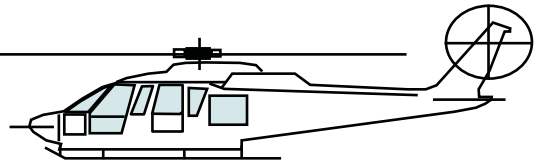
weil alle Schutzgüter wie Gesundheit, Sicherheit, Wälder, Nutztiere, wildlebende Vogelarten, Landschaft und Kulturgüter, sowie das Wirkungsgefüge zwischen ihnen in hohem Maße verletzt werden.

Ausnahmen sind an eine strenge Vorraussetzung geknüpft:
„Zumutbare Alternativen dürfen nicht ersichtlich sein“

Sicherheit ?



Ballonanflüge: z.B. Ibbenbüren 4 Tote am 16.06.99

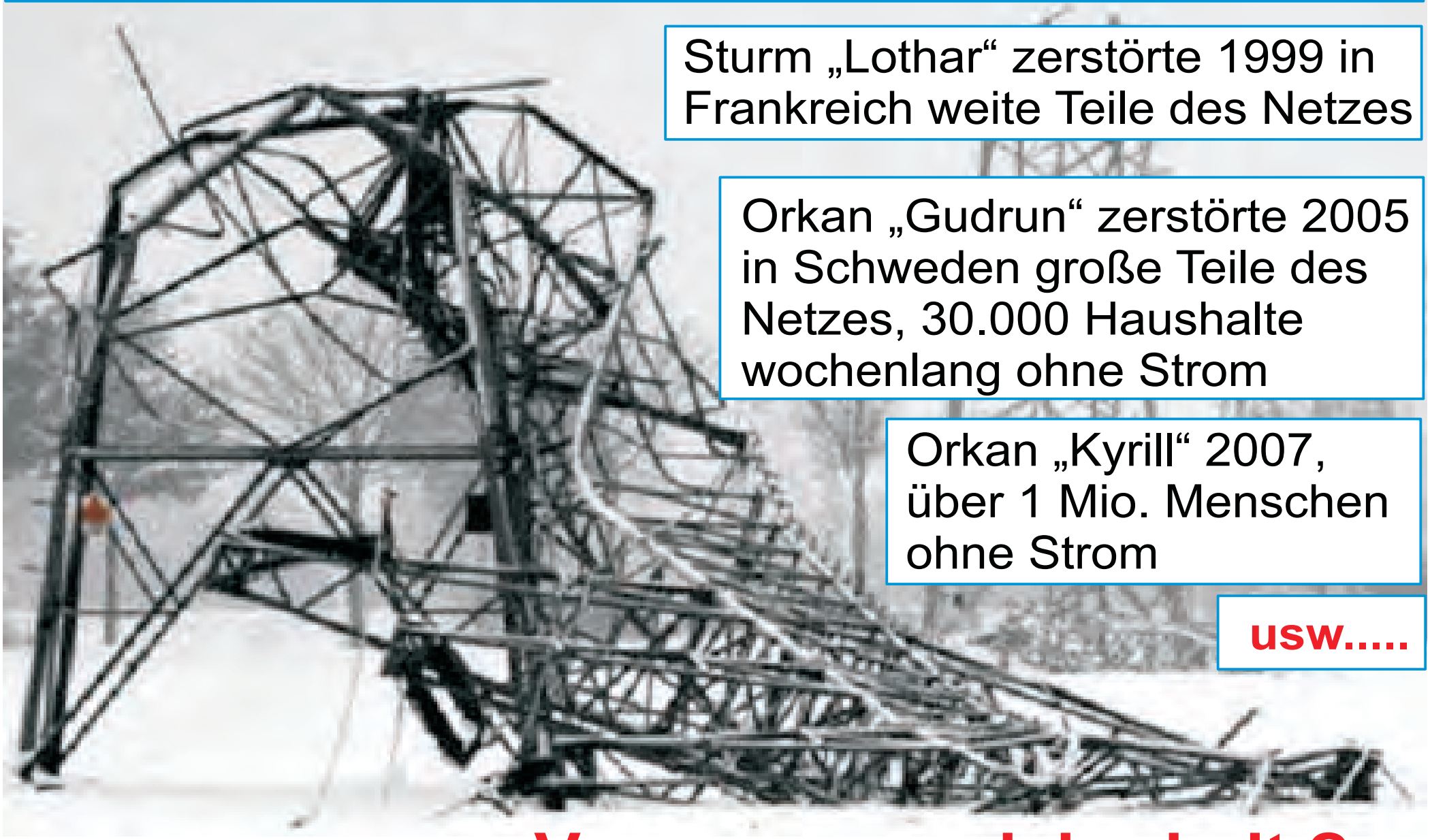


Hubschrauber: z.B. Karlsruhe 3 Tote am 19.10.77

28 m Sicherheits-
abstand

Beregner

Zusammenbruch des Stromnetzes im Münsterland 2005 nach Eisregen, monatelange Reparaturarbeiten, Kosten: 2,2 Mio. €



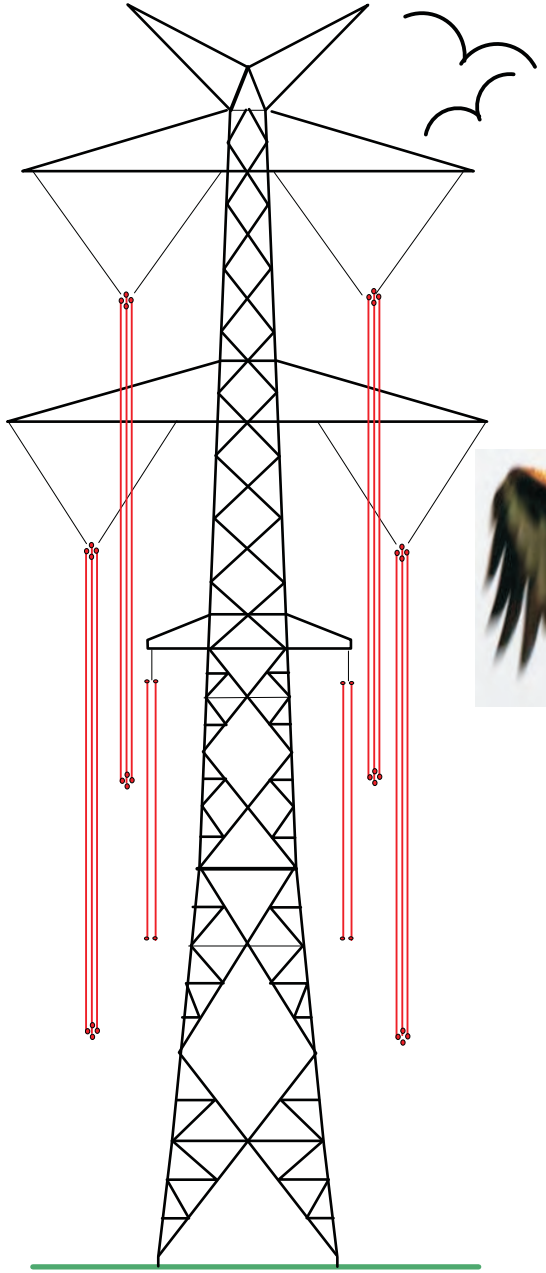
Sturm „Lothar“ zerstörte 1999 in Frankreich weite Teile des Netzes

Orkan „Gudrun“ zerstörte 2005 in Schweden große Teile des Netzes, 30.000 Haushalte wochenlang ohne Strom

Orkan „Kyrill“ 2007, über 1 Mio. Menschen ohne Strom

usw.....

Versorgungssicherheit ?

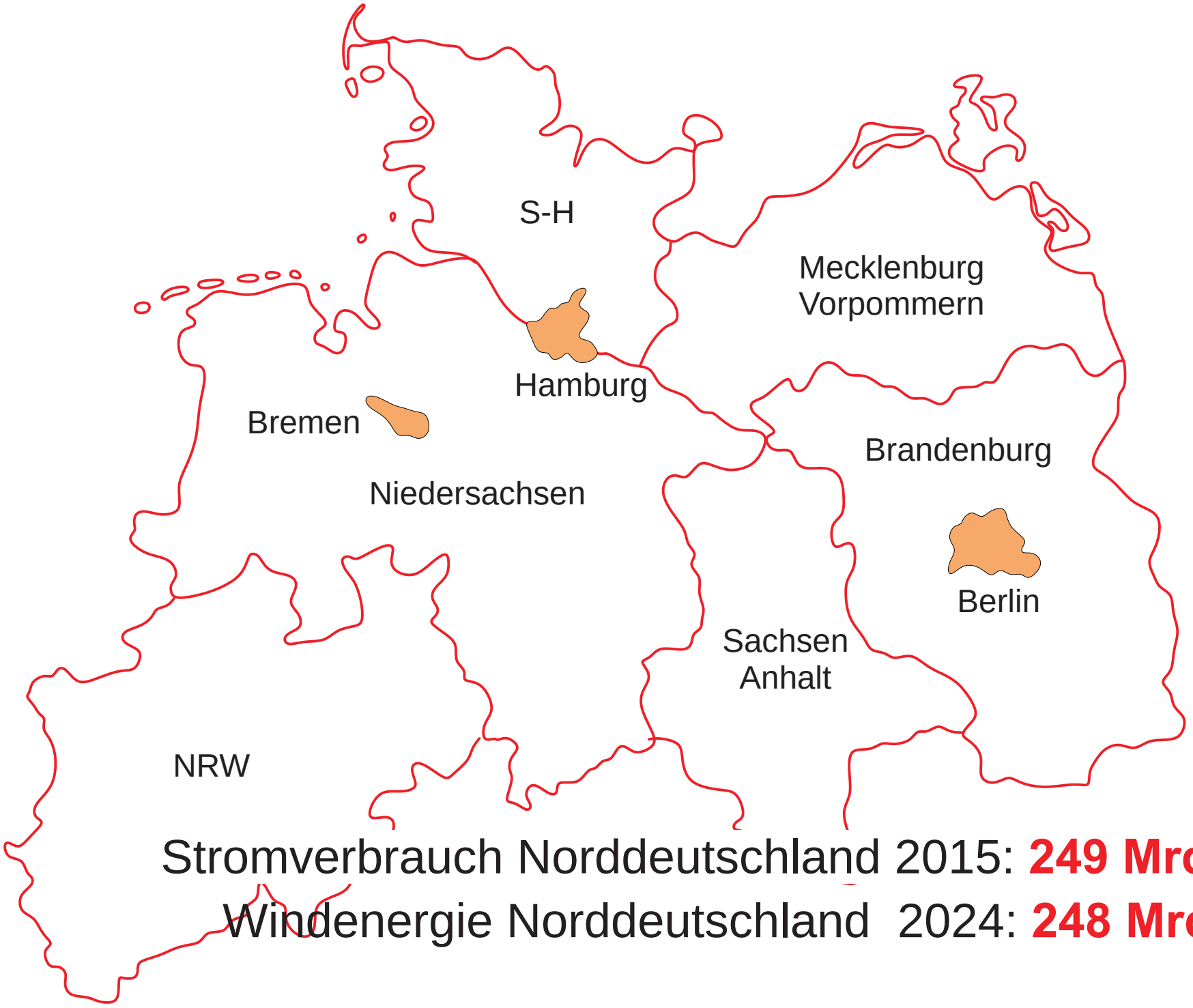


An deutschen Freileitungen sterben jährlich 30 Mio. Vögel

[Heinjis, Hörschelmann, Bernshausen, Richarz]

Kiel
Rostock
Lübeck
Hamburg
Emden
Bremen
Hannover
Berlin
Rheine
Braunschweig
Magdeburg
Göttingen
Halle
Leipzig
Kassel
Dresden
Köln
Gera
Koblenz
Taunus
Hof
Spessart
Odenwald
Nürnberg
Karlsruhe
Stuttgart
Regensburg
Ingolstadt
Ulm
München

Speicher



Stromverbrauch Norddeutschland 2015: **249 Mrd. kWh**

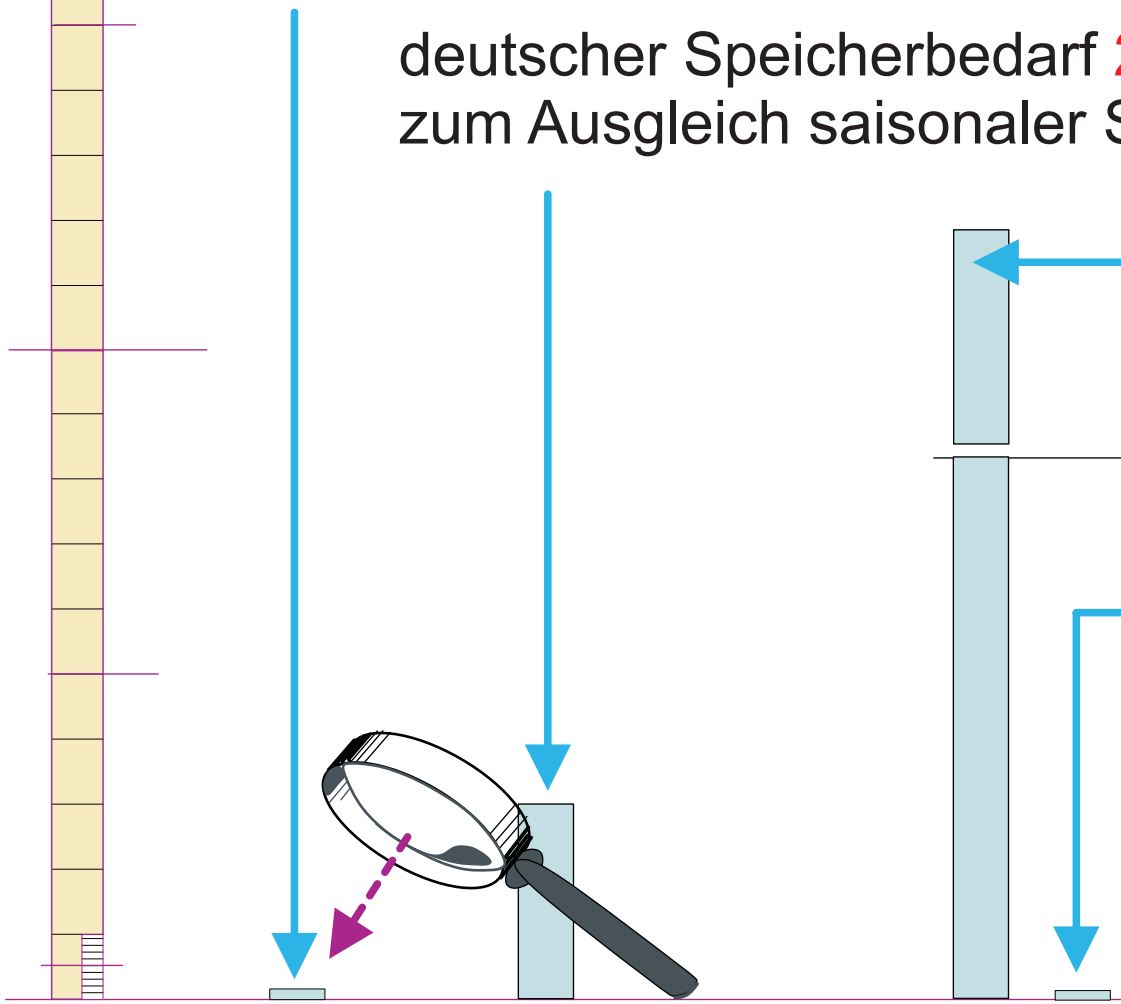
Windenergie Norddeutschland 2024: **248 Mrd. kWh**

* Speicherkapazität des deutschen Gasnetzes **200 Mrd.kWh**

* IWES 2010: https://de.wikipedia.org/wiki/Power-to-Gas#Speicherkapazit.C3.A4t_des_deutschen_Erdgasnetzes

Speicherkapazität der deutschen Pumpspeicher **0,04 Mrd. kWh
(6,8 GW Stundenreserve) Wirkungsgrad 70 - 85%,

deutscher Speicherbedarf 2050 mit 80% EE, **30 Mrd. kWh**
zum Ausgleich saisonaler Schwankungen (mehrere Monate)



* potentielle !! Speicherkapazität Schwedens 34 Mrd. kWh

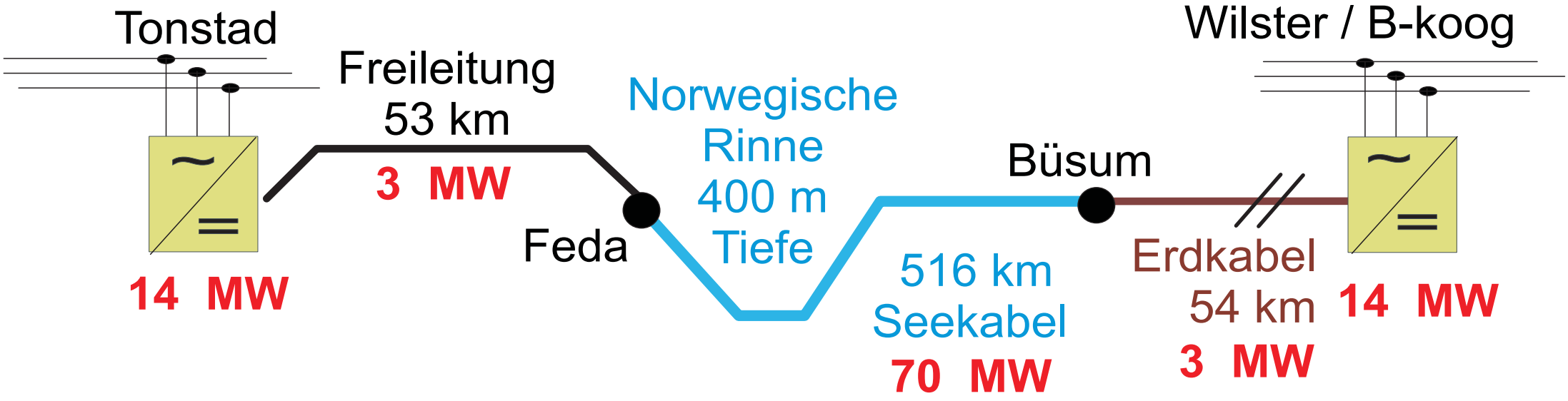
* potentielle !! Speicherkapazität Norwegens 84 Mrd. kWh

1 davon im Betrieb, 1 geplant
1 im Bau 1,6 Mrd. kWh

http://energiespeicher.blogspot.de/2012/06/norwegen-die-superbatterie.html

Power to Gas

** 40.000.000 kWh / 6.800.000 kW = 5,9 Std. (Um eine viertägige Windflaute auszugleichen, müsste man den Bodensee auf das Niveau der Zugspitze hochpumpen) FH-Lübeck



Die Verlustleistung beträgt bei Volllast 104 MW

Fazit: Wird er zum Zwischenspeichern genutzt, fällt die Verlustleistung 2- mal an.

Nordlink

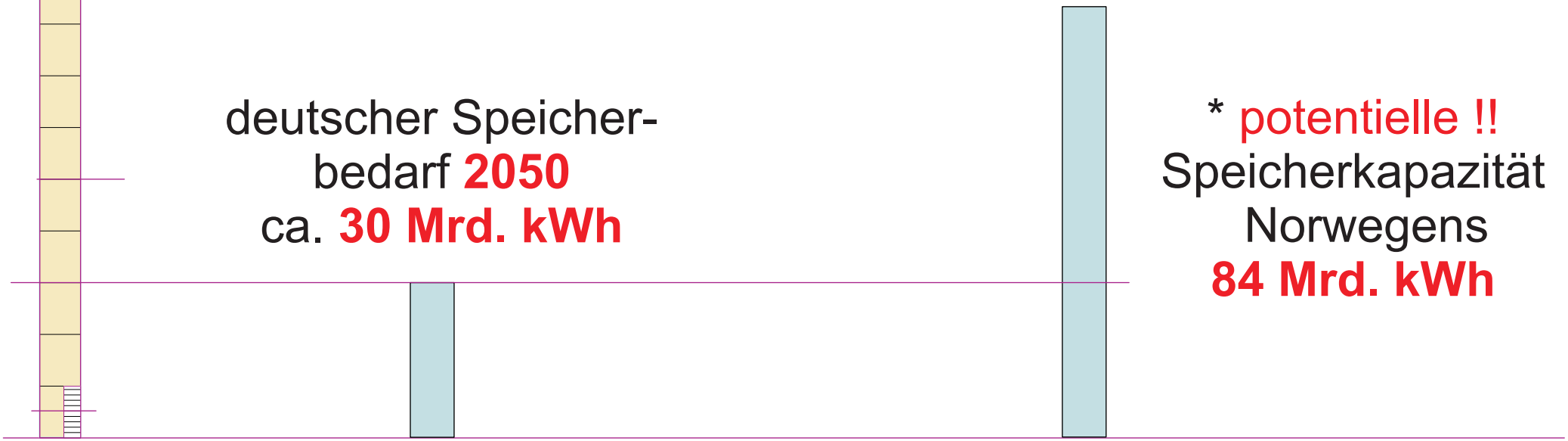
* Speicherkapazität des deutschen Gasnetzes **200 Mrd.kWh**

* IWES 2010: https://de.wikipedia.org/wiki/Power-to-Gas#Speicherkapazit.C3.A4t_des_deutschen_Erdgasnetzes

An 4.000 Offshore Volllaststunden produziert der Nordlink nur Stillstandsverluste, weil der Südlink ausgelastet ist.

Im Rest des Jahres könnte er abzgl. der Leitungsverluste rein rechnerisch 1,29 Mio. kW x 4.760 h ~ 6 Mrd. kWh transportieren.

Für 30 Mrd. kWh Speicherbedarf wären demzufolge **5 Seekabel** durch das Wattenmeer erforderlich. Kosten: 5 x 1,4 Mrd. € = 7 Mrd. €.

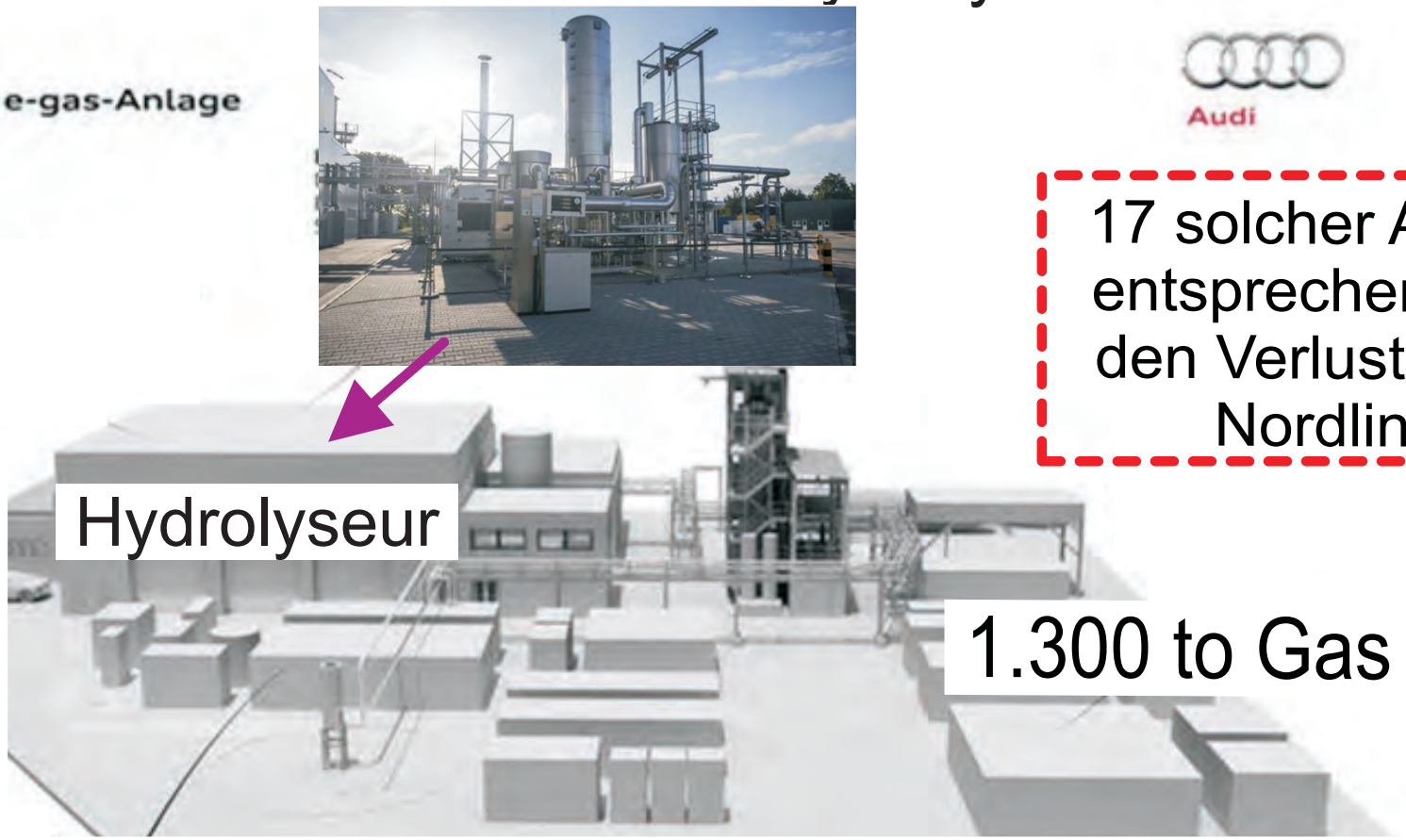


Seekabelbedarf

1. Mainz: 6 MW PEM Forschungshydrolyseur, 17 Mio. €

http://energiepark-mainz.de/presse/mitteilung/detail/startschuss-fuer-gruenen-wasserstoff-aus-mainz/

2. Audi in Werlte: 6 MW PEM Hydrolyseur



17 solcher Anlagen entsprechen allein den Verlusten des Nordlinks

1.300 to Gas pro Jahr

Um 30 Mrd. kWh in 2050 für 1 Monat zu speichern, benötigt man ca. 7.000 solcher Elektrolyseure. Bei 10 Mio. € pro Anlage sind das 70 Mrd. Invest, verteilt auf 25 Jahre ~ 3 Mrd. €/Jahr.

Hydrolyseure