

# Energiewende in Deutschland

28. Oldenburger Rohrleitungsforum  
7. Februar 2014



Dr.-Ing. Klaus Beyer  
Geschäftsführer

German Society for Trenchless  
Technology E.V. (GSTT)



# Energiewende in Deutschland

## Stromleitungen - Kabel oder Freileitungen?



Dr.-Ing. Klaus Beyer  
Geschäftsführer

German Society for Trenchless  
Technology E.V. (GSTT)

Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.

*Zweck des Vereins ist es, Wissenschaft und Technik für das grabenlose Bauen und Instandhalten von Leitungen zu fördern und weiterzuentwickeln, zu kommunizieren und zu beraten. ....*

*.....Er wird insbesondere den internationalen Erfahrungsaustausch fördern und zu diesem Zwecke Kontakte zu Dritten herstellen und pflegen.*

# iSTT – International Society for Trenchless Technology

Ca. 3.500 Mitglieder in 55 Ländern (Societies in 26 Regionen)





– International Society for Trenchless Technology

30<sup>th</sup> INTERNATIONAL NO DIG  
BRAZIL  
CONFERENCE & EXHIBITION  
**2012**

12 – 14 November 2012



**30<sup>o</sup> International  
NO-DIG 2012  
SÃO PAULO**

12 a 14 de Novembro de 2012

31<sup>th</sup> INTERNATIONAL NO DIG  
Downunder – Sydney  
CONFERENCE & EXHIBITION  
**2013**

1 – 4 September 2013



# Energiewende in Deutschland

- Allgemeines
- Netze
- Technik Freileitungen und Kabel
- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel
- Fazit

# Energiewende in Deutschland

- **Allgemeines**
- Netze
- Technik Freileitungen und Kabel
- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel
- Fazit

- Allgemeines

- 29. März 2000 -

Inkrafttreten des EEG (Erneuerbare Energien Gesetz)  
Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energie am  
Bruttostromverbrauch und Ausstieg  
aus der Kernenergie

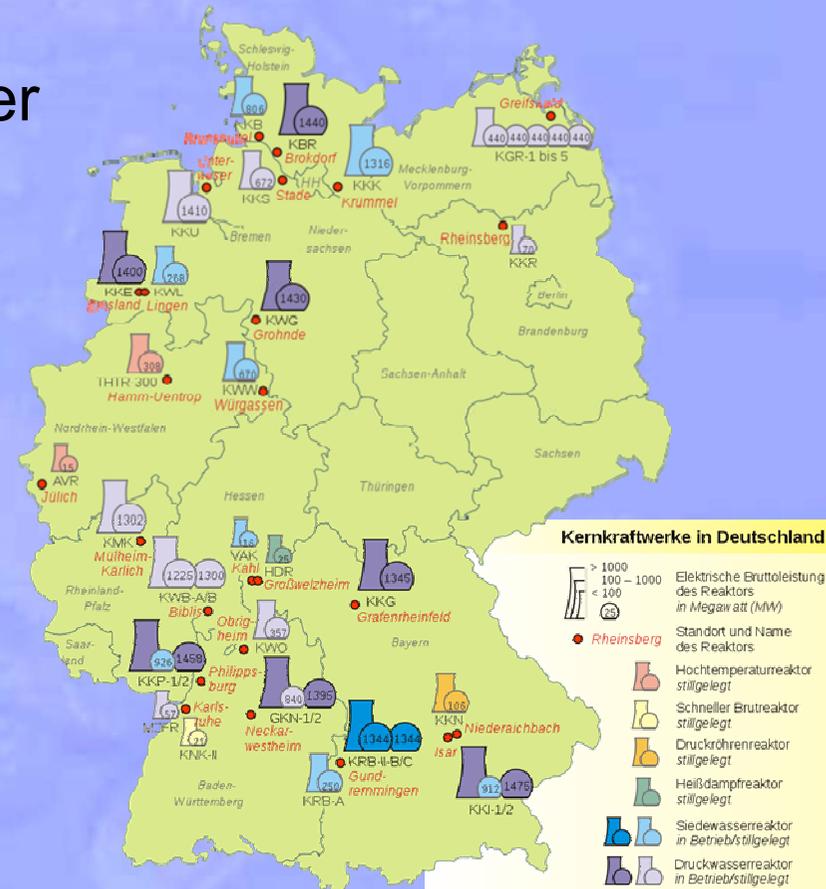
Ziele

2020 mind. 35 %  
2030 mind. 50 %  
2040 mind. 65 %  
2050 mind. 80 %



- Allgemeines

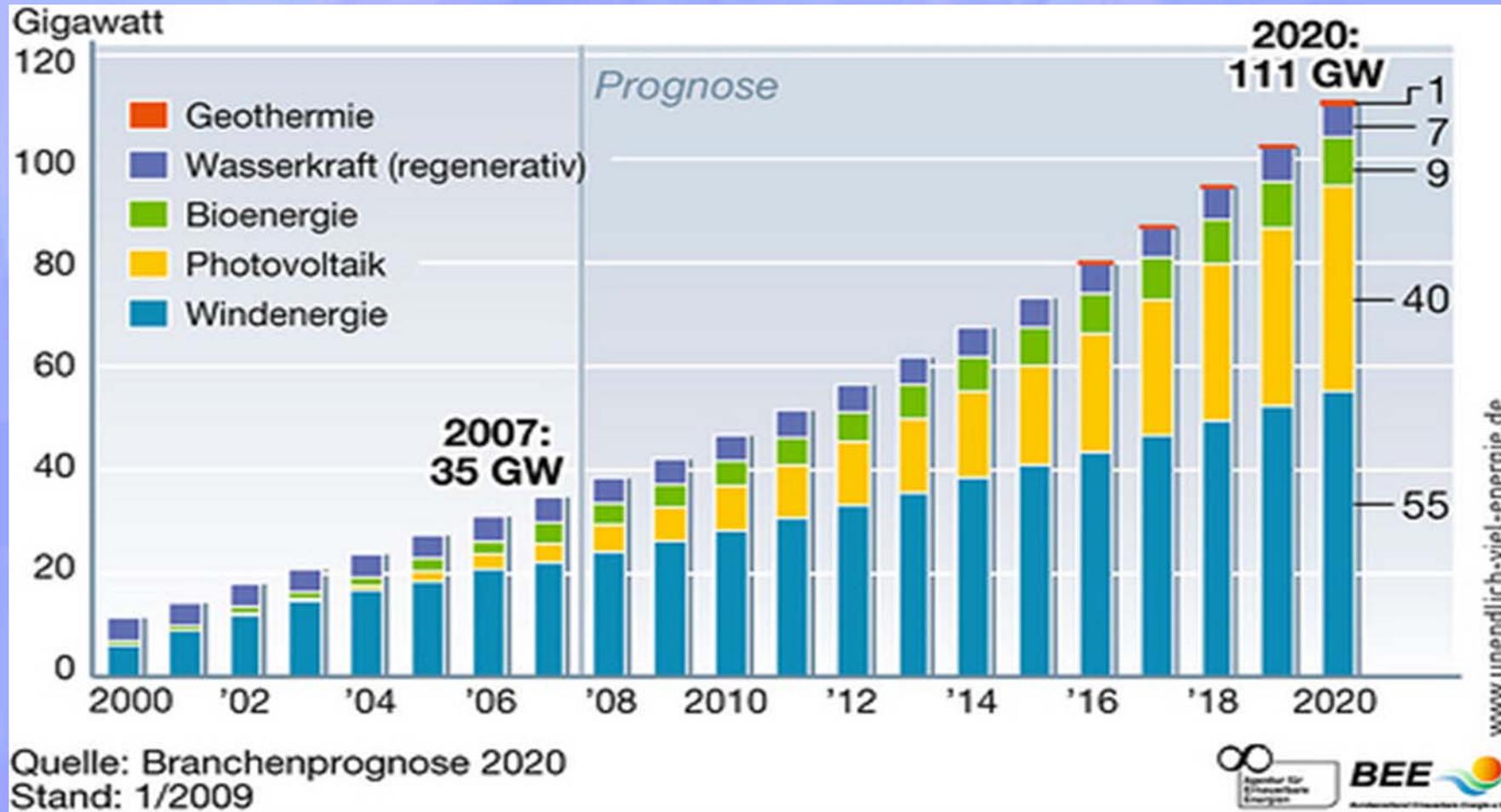
- 28. Oktober 2010 - Laufzeitverlängerung deutscher Kernkraftwerke
- 11. März 2011 - Naturkatastrophe von Fukushima in Japan
- 6. August 2011 - Rücknahme der Laufzeitverlängerung deutscher Kernkraftwerke



QUELLE: LENCER

- Allgemeines

## Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland



- Allgemeines

- **Allgemeines**
- Netze
- Technik Freileitungen und Kabel
- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel
- Fazit

- Netze

- Allgemeines
- **Netze**
- Technik Freileitungen und Kabel
- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel
- Fazit

- Netze

## Netzentwicklungsplan\*

Der Netzentwicklungsplan (NEP) ist ein zentrales Dokument auf dem Wege in das neue Energiezeitalter. Er wird die zu erwartende Entwicklung der deutschen Strominfrastruktur für die nächsten zehn Jahre abbilden. Darüber hinaus wird er konkrete Empfehlungen für den Aus- und Neubau der Stromtransportnetze in Deutschland enthalten.

Die deutschen Übertragungsnetzbetreiber sind erstmalig 2012 verpflichtet, einen solchen Plan vorzulegen.

\* unter Leitung der dena entwickelt

- Netze

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

- Die Netzstudie II baut auf den Ergebnissen der dena-Netzstudie I von 2005 auf.
- Die dena-Netzstudie I hatte zur Integration von Windenergie ins Stromnetz bis 2015 einen Bedarf von 850 km neuen Stromtrassen im Höchstspannungsnetz ermittelt und die Notwendigkeit von Maßnahmen zur Verstärkung des Stromübertragungsnetzes festgestellt.

- Netze

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

- Der in der Studie ausgewiesene trassenkonkrete Ausbaubedarf im Höchstspannungsnetz ist in das Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG 2009) als vordringlich umzusetzendes Vorhaben eingeflossen.
- Nach den Ergebnissen der dena-Netzstudie I müssen bis 2015 850 km neue Trassen errichtet sein. Bei den Untersuchungen der dena-Netzstudie II werden diese Trassen als vollständig realisiert vorausgesetzt.

- Netze

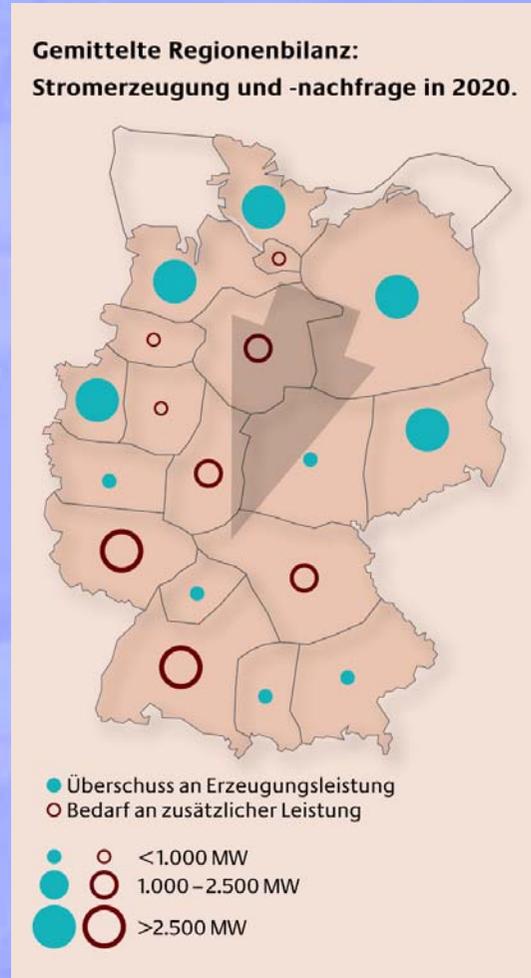
## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

- Umgestaltung des Energiesystems
- Zielsetzung
- Ausbaubedarf des Stromnetzes
- Flexibilisierung des Stromsystems
- Beitrag der erneuerbaren Energien zur Systemsicherheit
- Netzanschluss der Offshore-Windenergie
- Ausblick und Empfehlungen

- Netze - Umgestaltung des Energiesystems

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

- Stromerzeugung im Norden und Osten von Deutschland
- Stromnachfrage im Süden und Westen von Deutschland



- Netze - Zielsetzung

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

Diese Studie untersucht verschiedene Systemlösungen auf ihre Eignung, einen Anteil von 39 Prozent erneuerbarer Energien an der deutschen Stromversorgung bis 2020 vollständig in das Energiesystem zu integrieren.

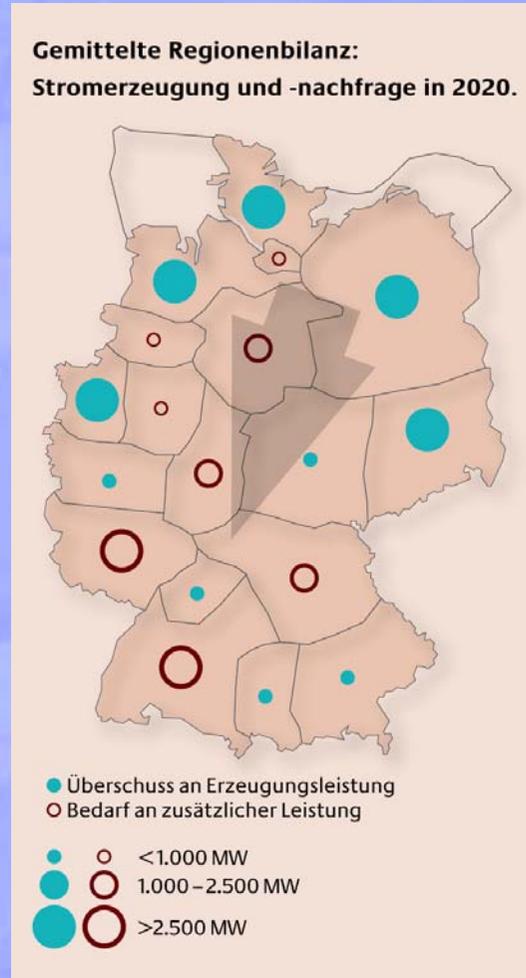


- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

### Zukünftige Energieeinspeisung

Der Schwerpunkt der dena-Netzstudie II liegt auf der Ermittlung des Netzausbaubedarfs für das deutsche Stromnetz bis 2020/25 aufgrund der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien unter Berücksichtigung des konventionellen Kraftwerksparks und des europäischen Stromhandels.



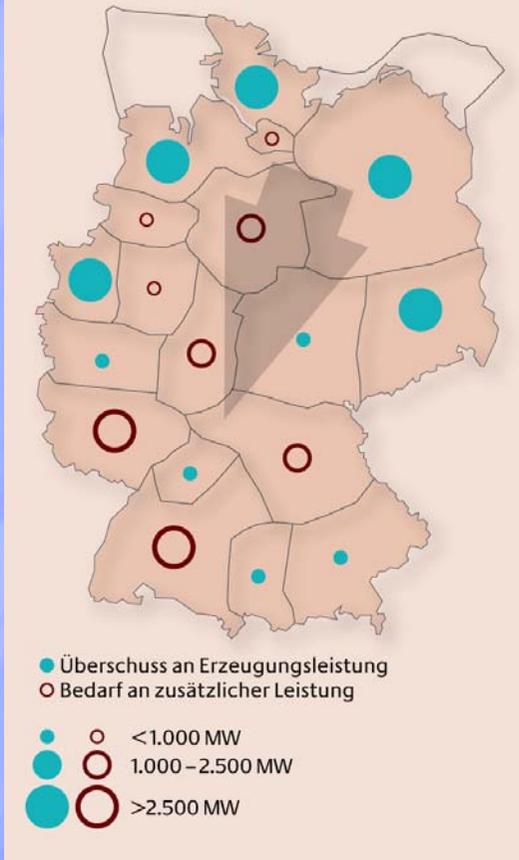
- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

### Nutzung der Kernenergie

Die dena-Netzstudie II unterstellt den im Jahr 2000 beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie. Eine Überprüfung im Rahmen der Studie zeigt, dass durch die im Jahr 2010 beschlossene Verlängerung der Laufzeiten der Kernkraftwerke jedoch keine grundlegenden Veränderungen für den ermittelten Netzausbaubedarf zu erwarten sind, wobei sich regional Veränderungen ergeben können.

Gemittelte Regionenbilanz:  
Stromerzeugung und -nachfrage in 2020.



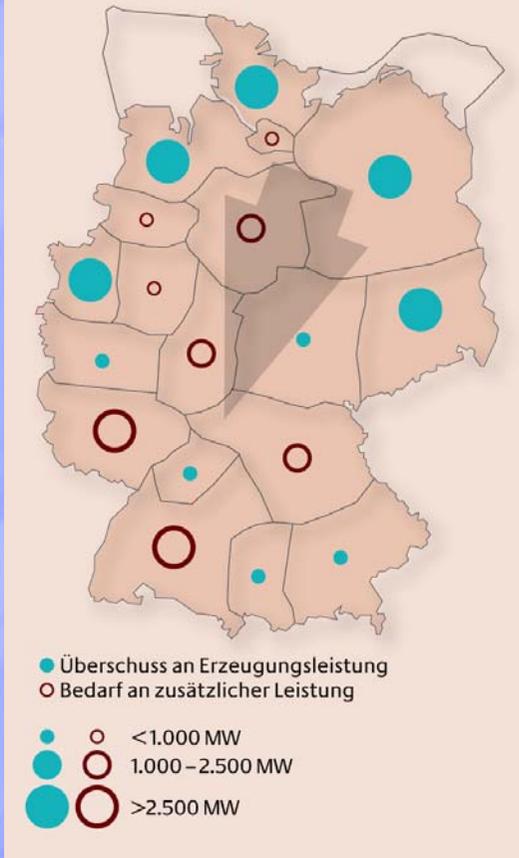
- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

Basisszenario BAS: Realisierung des Netzausbaus im Rahmen bisher eingesetzter Technik

In diesem Szenario wird das Netz unter Nutzung von 380-kV-Drehstromfreileitungen mit Standardübertragungsfähigkeit ausgebaut. Im Ergebnis müssten so rund 3.600 km neue Freileitungstrassen errichtet werden, bei jährlichen Kosten von etwa 950 Millionen Euro.

Gemittelte Regionenbilanz:  
Stromerzeugung und -nachfrage in 2020.



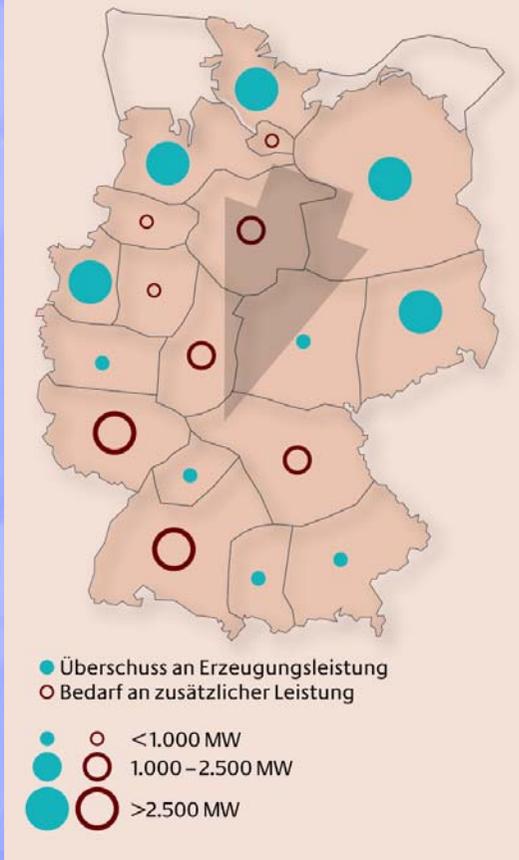
- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

### Szenario TAL: Einsatz von Hochtemperaturleiterseilen (TAL)

Bei ihrem Einsatz reduziert sich der Bedarf an neu zu errichtenden Trassen auf 1.700 km. Gleichzeitig müssten jedoch bestehende Trassen auf 5.700 km für den Betrieb mit TAL umgerüstet werden, einschließlich Masterhöhungen und -verstärkungen. Die Kosten belaufen sich auf insgesamt 1,6 Milliarden Euro pro Jahr.

Gemittelte Regionenbilanz:  
Stromerzeugung und -nachfrage in 2020.



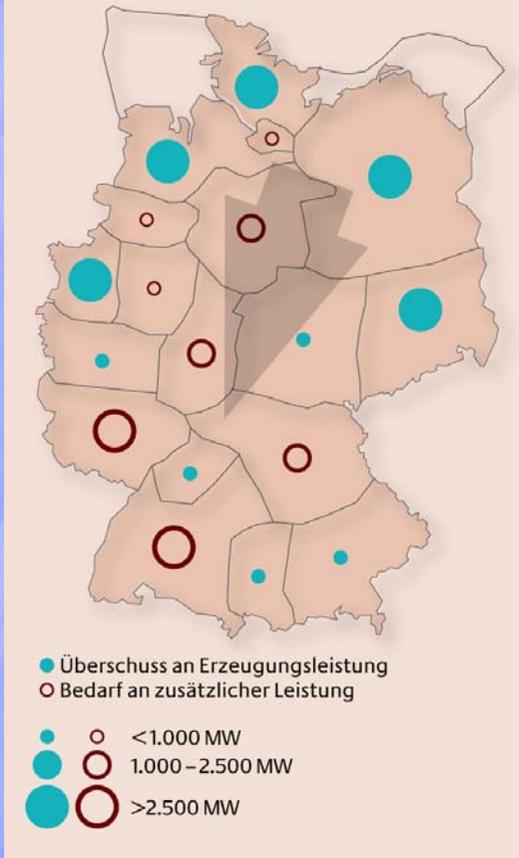
- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

### Szenario FLM: Einsatz von Freileitungsmonitoring (FLM)

Da es sich aber um einen temporären Nutzen handelt, reduziert der Einsatz von FLM den Bedarf an Neubautrassen nur unwesentlich auf 3.500 km, ergänzend müssten bestehende Freileitungstrassen auf 3.000 km Länge mit FLM ausgerüstet werden. Die Kosten belaufen sich dabei auf 985 Millionen Euro pro Jahr.

Gemittelte Regionenbilanz:  
Stromerzeugung und -nachfrage in 2020.



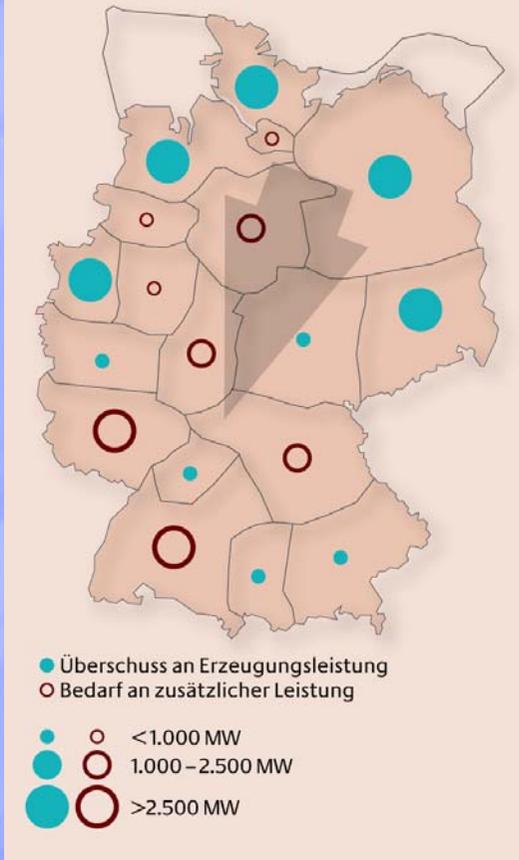
- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

### Bewertungsschema zum Vergleich von Übertragungstechnologien

- Konventionelle 380-kV-Drehstromfreileitungen
- 800-kV-Drehstromfreileitungen
- Erdverlegte 380-kV-Drehstromkabel
- Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) auf Basis von Freileitungen
- Erdverlegte HGÜ-Kabel
- Gasisolierte Leiter (GIL)

Gemittelte Regionenbilanz:  
Stromerzeugung und -nachfrage in 2020.



- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

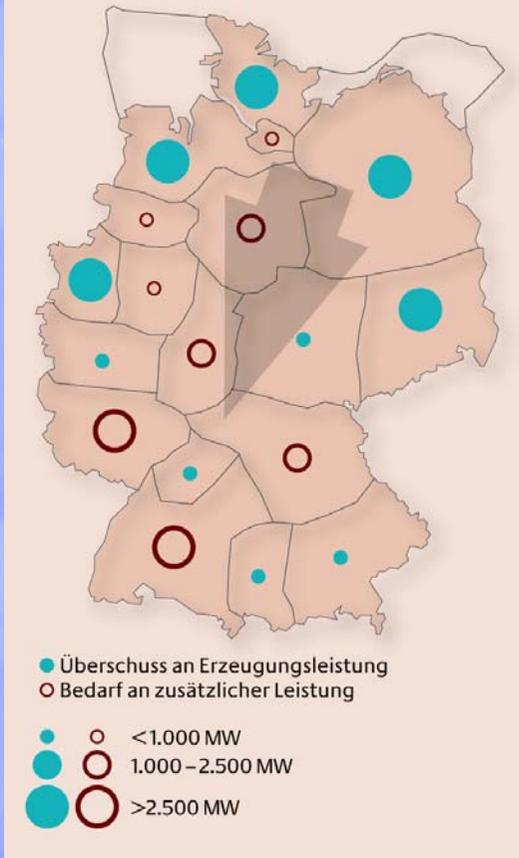
## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

### Netzausbauvarianten unter Nutzung Alternativer Technologien

- HGÜ: überlagertes Gleichspannungsnetz auf Basis erdverlegter Kabel.

Diese Lösung ergibt einen Zubaubedarf von 3.400 km neuen Trassen und liegt mit Kosten von rund 2 Milliarden Euro pro Jahr doppelt so hoch wie das Basisszenario.

Gemittelte Regionenbilanz:  
Stromerzeugung und -nachfrage in 2020.



- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

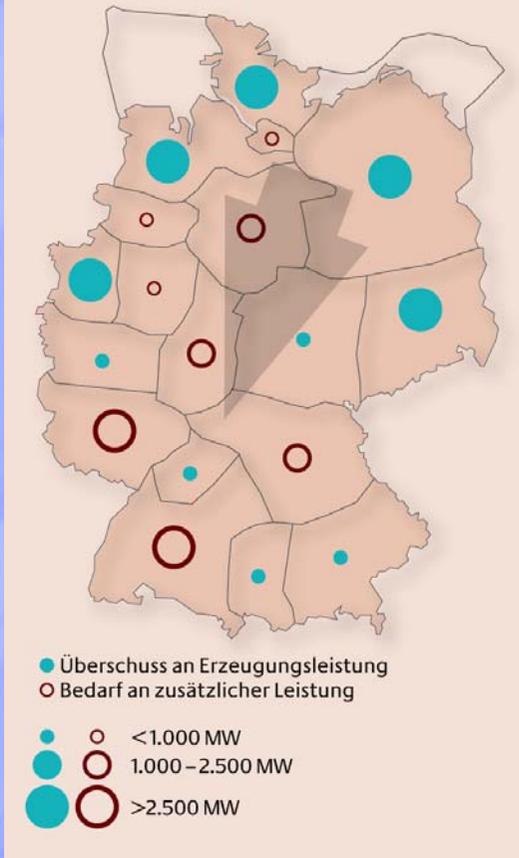
## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

### Netzausbauvarianten unter Nutzung alternativer Technologien

- Hybridlösung: Gleichspannungstrasse von 800 km mit 4.400 MW Leistung zur Fernübertragung von Schleswig-Holstein nach Baden-Württemberg

Für die verbleibenden Übertragungsaufgaben werden zusätzlich 3.100 km Freileitungstrassen benötigt. Die Kosten liegen insgesamt bei ca. 1,3 Milliarden Euro pro Jahr.

Gemittelte Regionenbilanz:  
Stromerzeugung und -nachfrage in 2020.



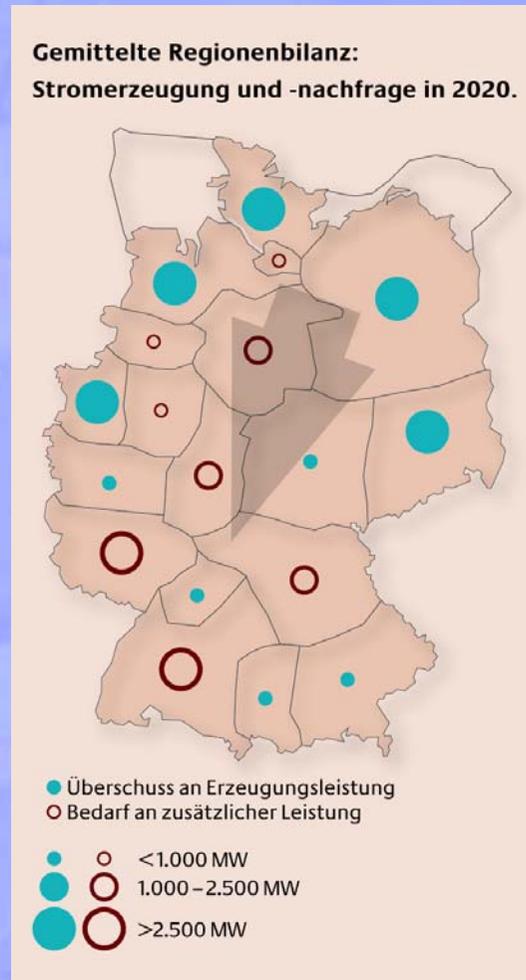
- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

### Netzausbauvarianten unter Nutzung alternativer Technologien

- GIL: flächendeckender Einsatz erdverlegter gasisolierter 380-kV-Leitungen

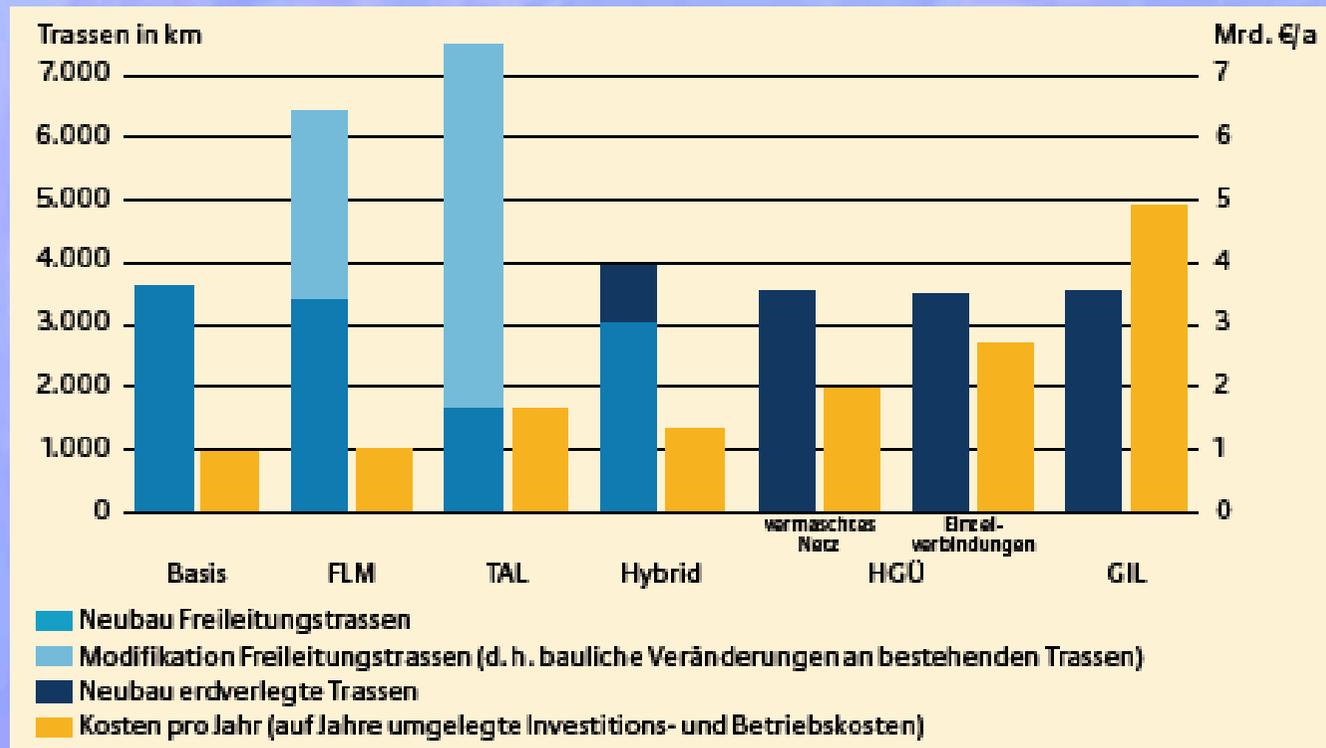
Für diese Variante wären 3.400 km Trassenlänge erforderlich, bei Kosten von ca. 4,9 Milliarden Euro jährlich.



- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

Ermittelter Netzausbau und jährliche Kosten für die untersuchten Varianten



- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

### Flexibilisierung des Stromsystems

Um Maßnahmen für eine Optimierung des Gesamtsystems zu entwickeln, hat die dena-Netzstudie II die Potenziale der verschiedenen Flexibilisierungsoptionen geprüft und sie bei der Berechnung des Ausbaubedarfs im deutschen Höchstspannungsnetz berücksichtigt.

- Stromspeicher
- Demand-Side-Management (DSM)
- Verbesserte Prognosegüte der Windstromeinspeisung

- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

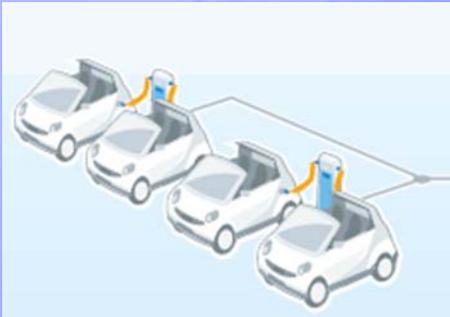
- Stromspeicher

Stromspeicher unterstützen die Integration erneuerbarer Energien, indem sie nicht integrierbare Erzeugungsleistungen aufnehmen.

- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

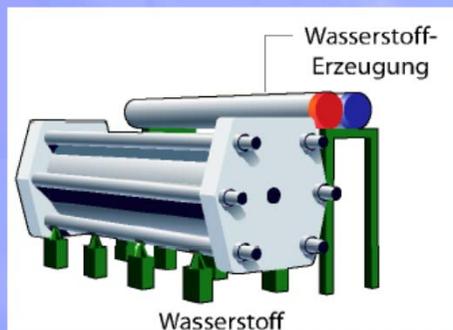
## Lösungen für die Speicherung der Energie

### Batterien für die Elektromobilität



20 % der eingespeisten Energiemenge könnte durch 10.000 am Netz hängende Fahrzeuge zwischengespeichert werden. Diese Energiemenge kann bei Bedarf rückgespeist oder als Fahrstrom genutzt werden.

### Power to Gas



Wasserstoff eignet sich als Energieträger zur Absicherung der Energieversorgung über einen längeren Zeitraum und ist hervorragend geeignet zu Speicherung in unseren Gasnetzen (Stadtgas).

- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

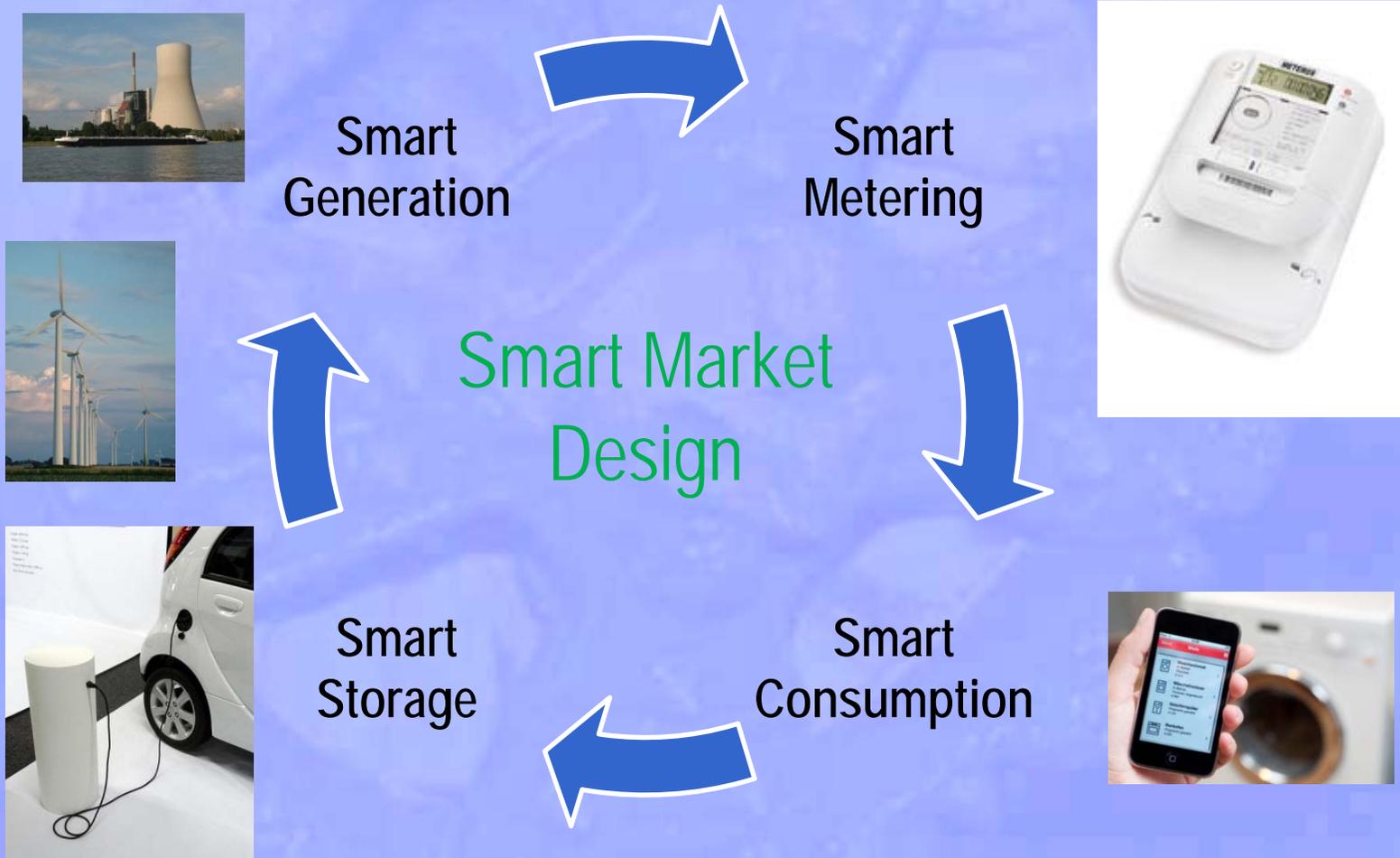
## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

- Demand-Side-Management (DSM)

Die Steuerung der Stromnachfrage wird als Demand-Side-Management (DSM) bezeichnet. DSM kann zum Ausgleich fluktuierender Einspeisung aus erneuerbaren Energien beitragen, indem zum Beispiel in Zeiten geringer Windstromproduktion auch die Stromnachfrage gesenkt wird.

- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

Die Steuerung des Energiemix funktioniert nur mit einem smarten Marktdesign



- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

Voraussetzung für eine intelligente Energielandschaft ist ein Breitbandnetz!



Quelle: RWE Innogy



- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

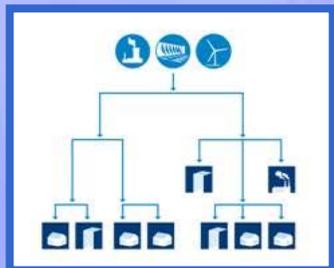
## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

- Verbesserte Prognosegüte der Windstromeinspeisung

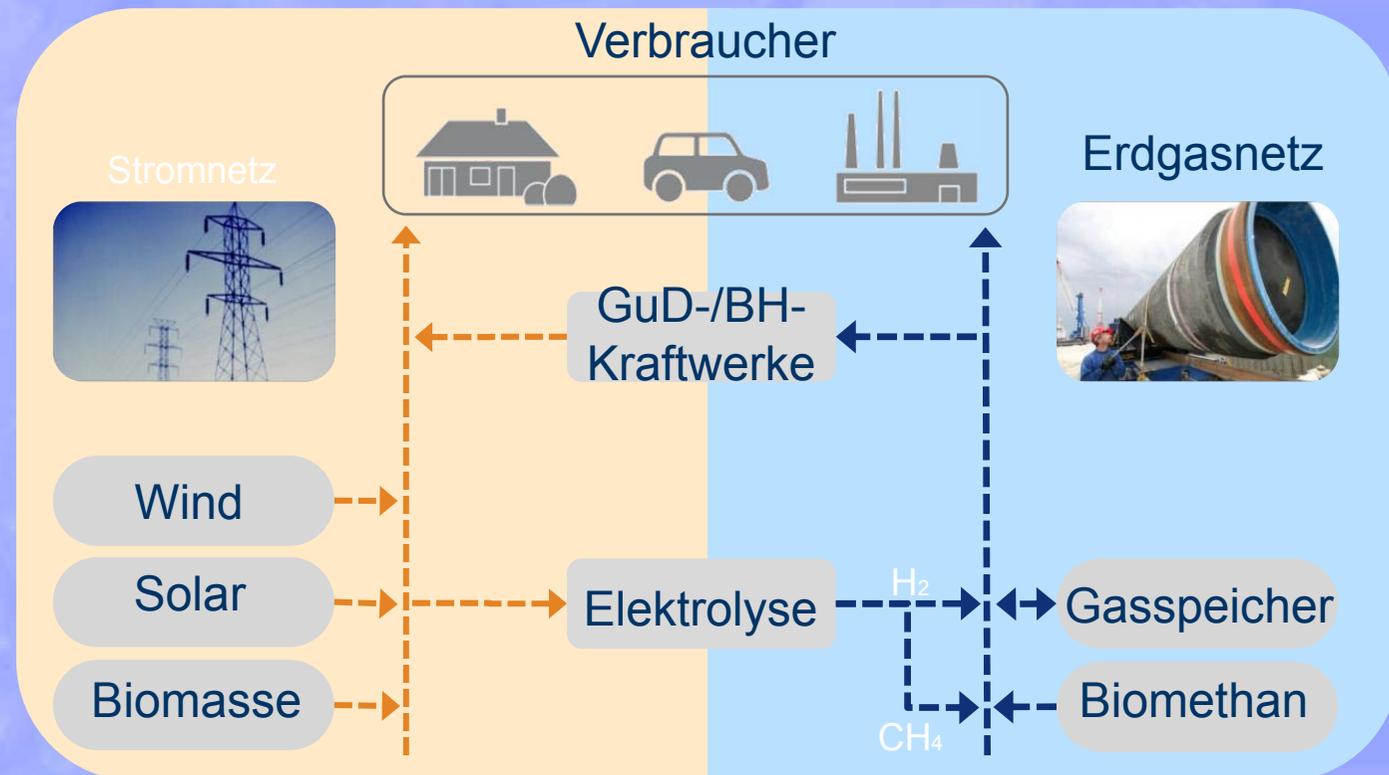
Die Studie zeigt, dass die Windprognosen bis 2020 um 45 Prozent verbessert werden können, unter anderem durch die Verwendung höher aufgelöster Wettermodelle.

- Netze - Ausbaubedarf des Stromnetzes

Die unterschiedlichen zentralen und dezentralen Energiequellen bilden eine neue Versorgungslandschaft ab und verschmelzen das Gas- mit dem Stromnetz.



Quelle: ABB 2012



Quelle: DENA 2012

- Netze - Beitrag der erneuerbaren Energien zur Systemsicherheit

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

Systemdienstleistungen werden benötigt, um das Stromsystem stabil zu halten und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Die dena-Netzstudie II untersucht, inwieweit erneuerbare Energien und insbesondere auch Windenergieanlagen zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen beitragen können.

- Reduzierung der Einspeisung von Kurzschluss- und Blindleistung im Übertragungsnetz
- Biomasseanlagen sind prinzipiell sehr gut geeignet, Regelleistung zur Verfügung zu stellen.

- Netze - Netzanschluss der Offshore-Windenergie

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

Zukünftig wird ein signifikanter Anteil der Windenergie aus Offshore-Windparks der Nord- und Ostsee stammen. Sie müssen an das Stromnetz an Land angeschlossen werden, um den Strom zu den Verbrauchern zu bringen.

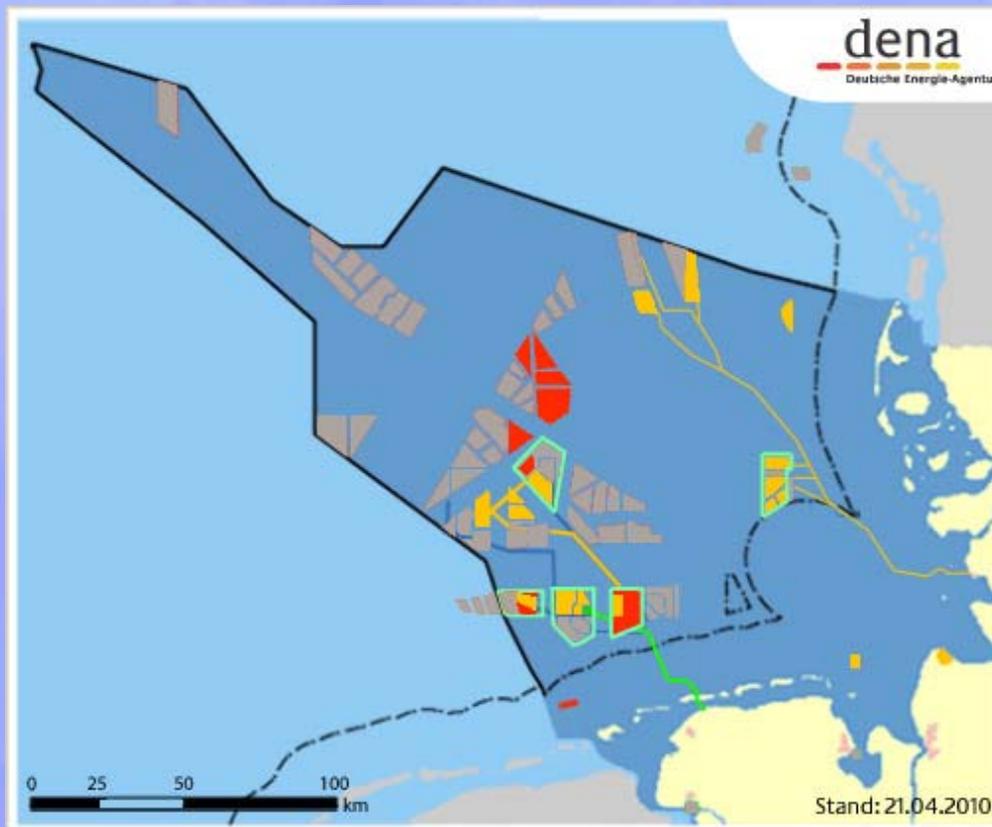
Für die Anbindung der Offshore-Windparks bis 2020 werden Seekabel mit einer Länge von insgesamt 1.550 km benötigt. Dafür fallen jährliche Kosten in Höhe von 340 Millionen Euro an.



- Netze - Netzanschluss der Offshore-Windenergie

dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

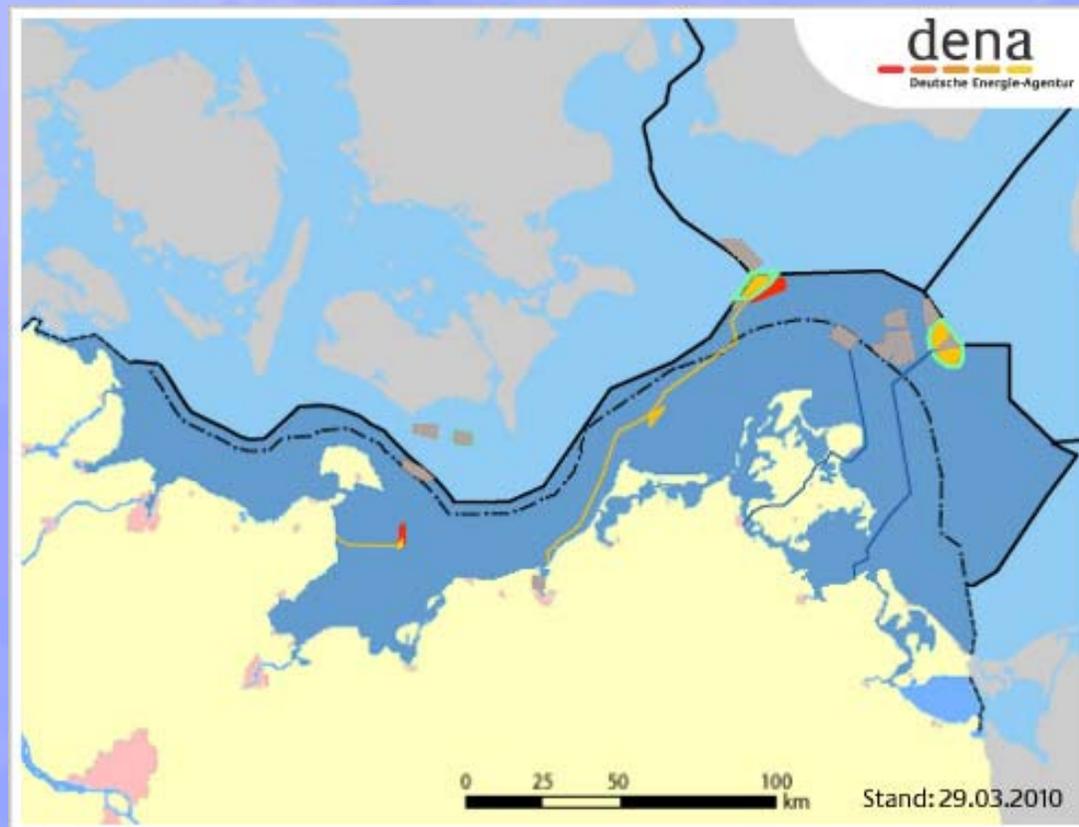
Offshore-Windparks – Nordsee



- Netze - Netzanschluss der Offshore-Windenergie

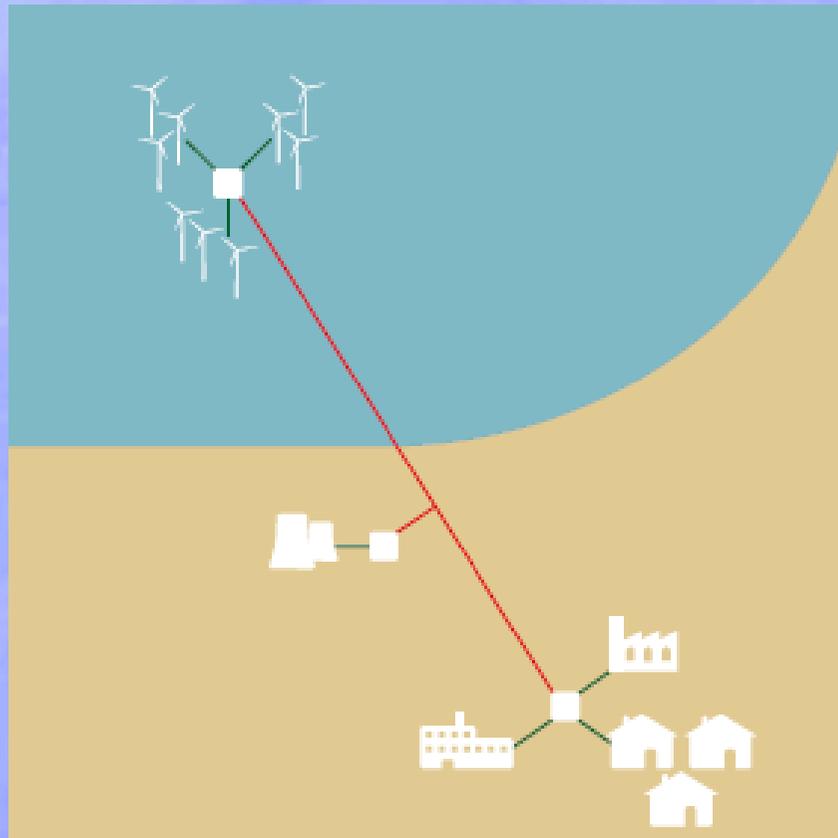
dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

Offshore-Windparks – Ostsee



- Netze - Netzanschluss der Offshore-Windenergie

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

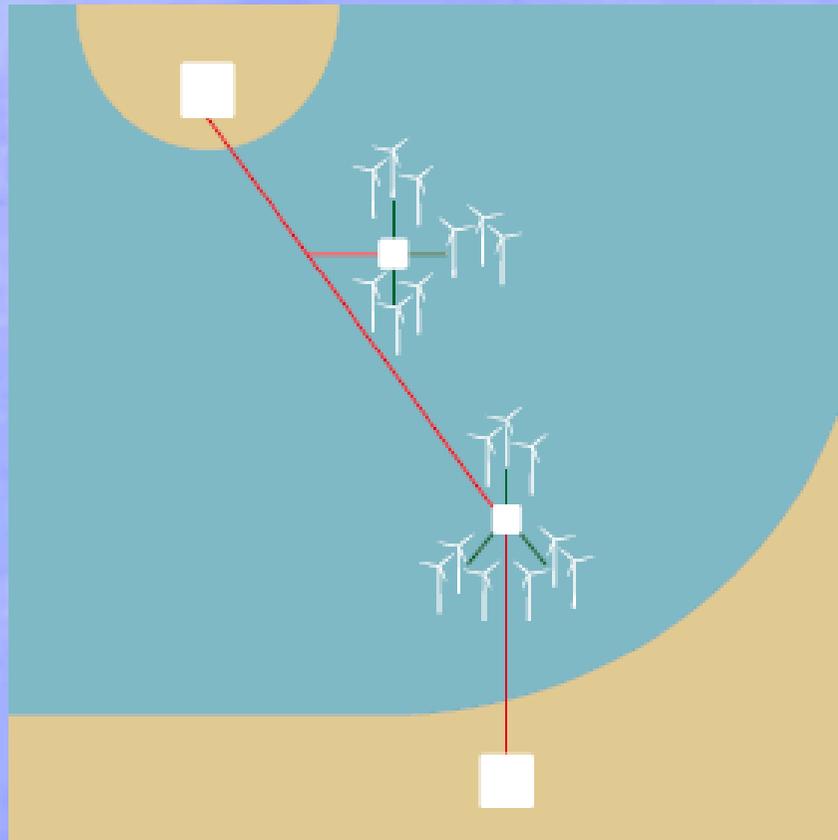


Clusteranbindung



- Netze - Netzanschluss der Offshore-Windenergie

dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

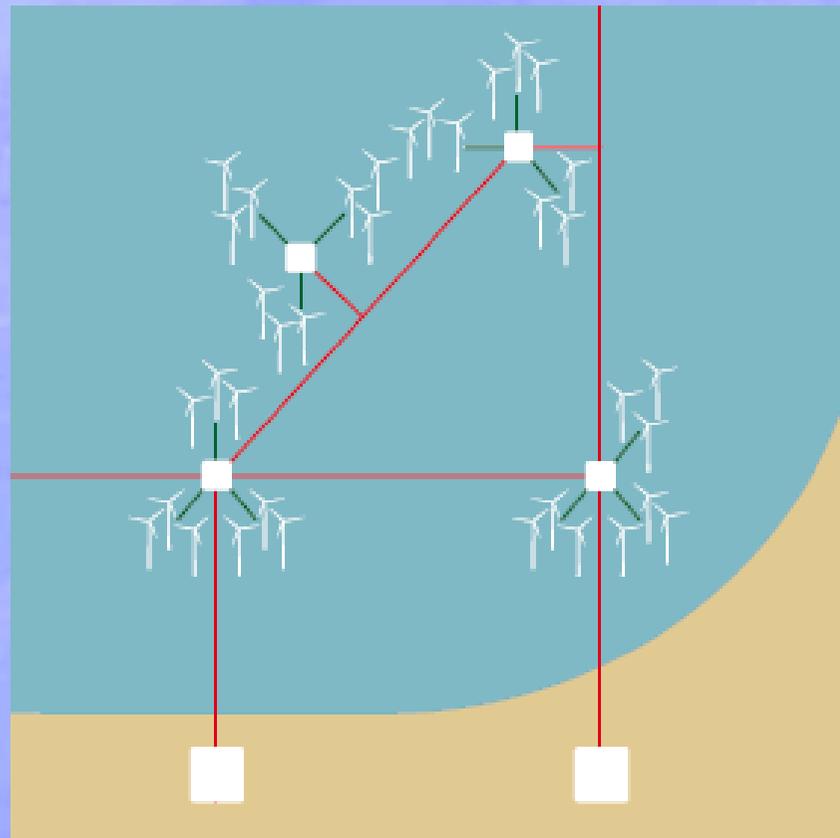


Aufbau von Transitleitungen



- Netze - Netzanschluss der Offshore-Windenergie

## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020



Nutzung von Synergien bei der Netzanbindung



- Netze - Ausblick und Empfehlungen

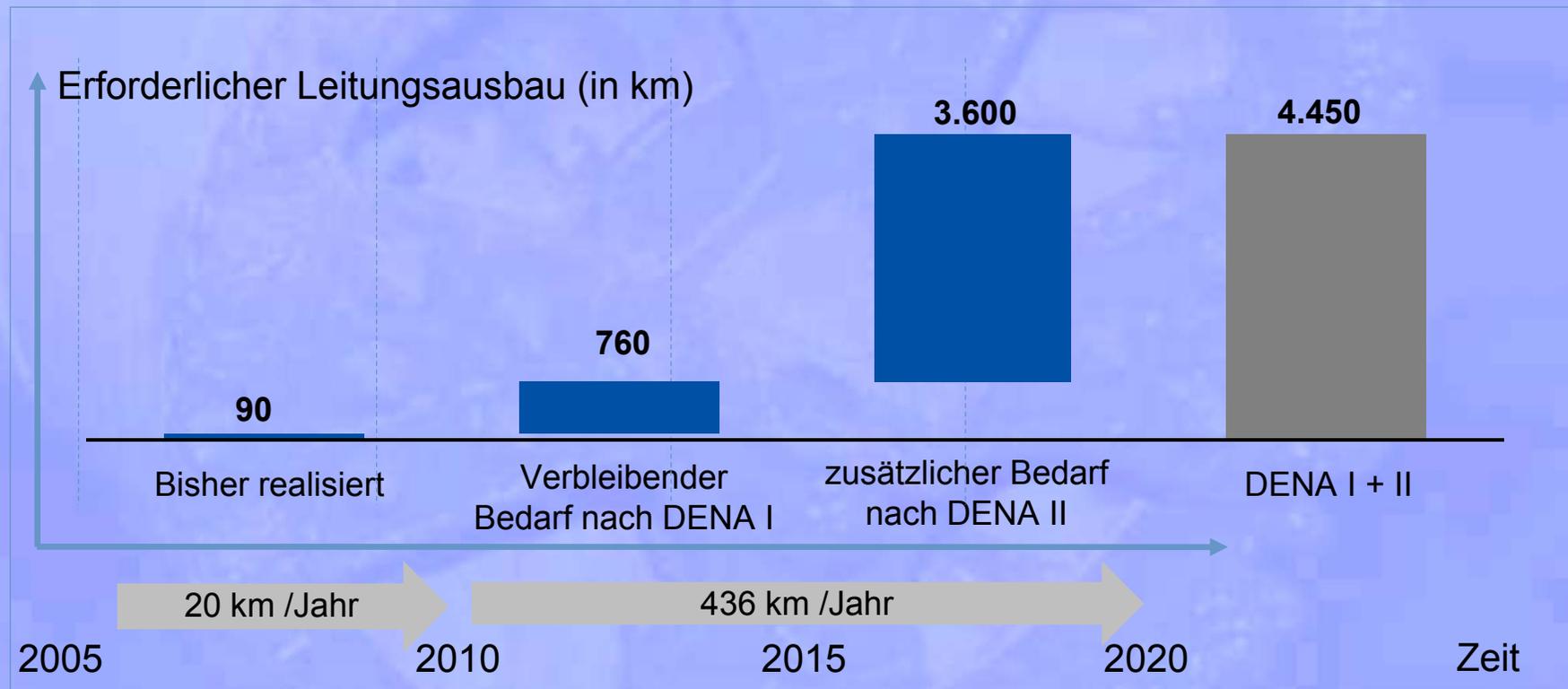
## dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung bis 2020

In der dena-Netzstudie II wird ein Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf 39 Prozent bis zum Jahr 2020 untersucht. Dies stellt jedoch lediglich eine Zwischenmarke dar.

Bereits zum Jahr 2030 plant die Bundesregierung einen Anteil der regenerativen Stromerzeugung in Höhe von 50 Prozent. Dies zeigt, dass auch nach 2020 noch eine weitere Anpassung der Netzinfrastruktur notwendig sein wird.

- Netze

## Netzausbaubedarf Höchstspannung 220 / 380 kV gemäß dena I und II



Quelle: RWE Power

# Energiewende in Deutschland

- Allgemeines
- **Netze**
- Technik Freileitungen und Kabel
- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel
- Fazit

- **Technik Freileitungen und Kabel**

- Allgemeines
- Netze
- **Technik Freileitungen und Kabel**
- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel
- Fazit

- Technik Freileitungen und Kabel



- Technik Freileitungen und Kabel

## Ausbau- und Entwicklungsbedarf auf verschiedenen Stromnetzebenen

### Spannungsebene

– Höchstspannung  
220 / 380 kV

#### Übertragungsnetz

#### Hauptaufgaben:

- Transport großer Leistungen über weite Entfernungen
- Nutzung von Ausgleichseffekten

– Hochspannung  
> 60 kV u. < 220 kV

– Mittelspannung  
6 kV ≤ 60 kV

#### Stromverteilnetze

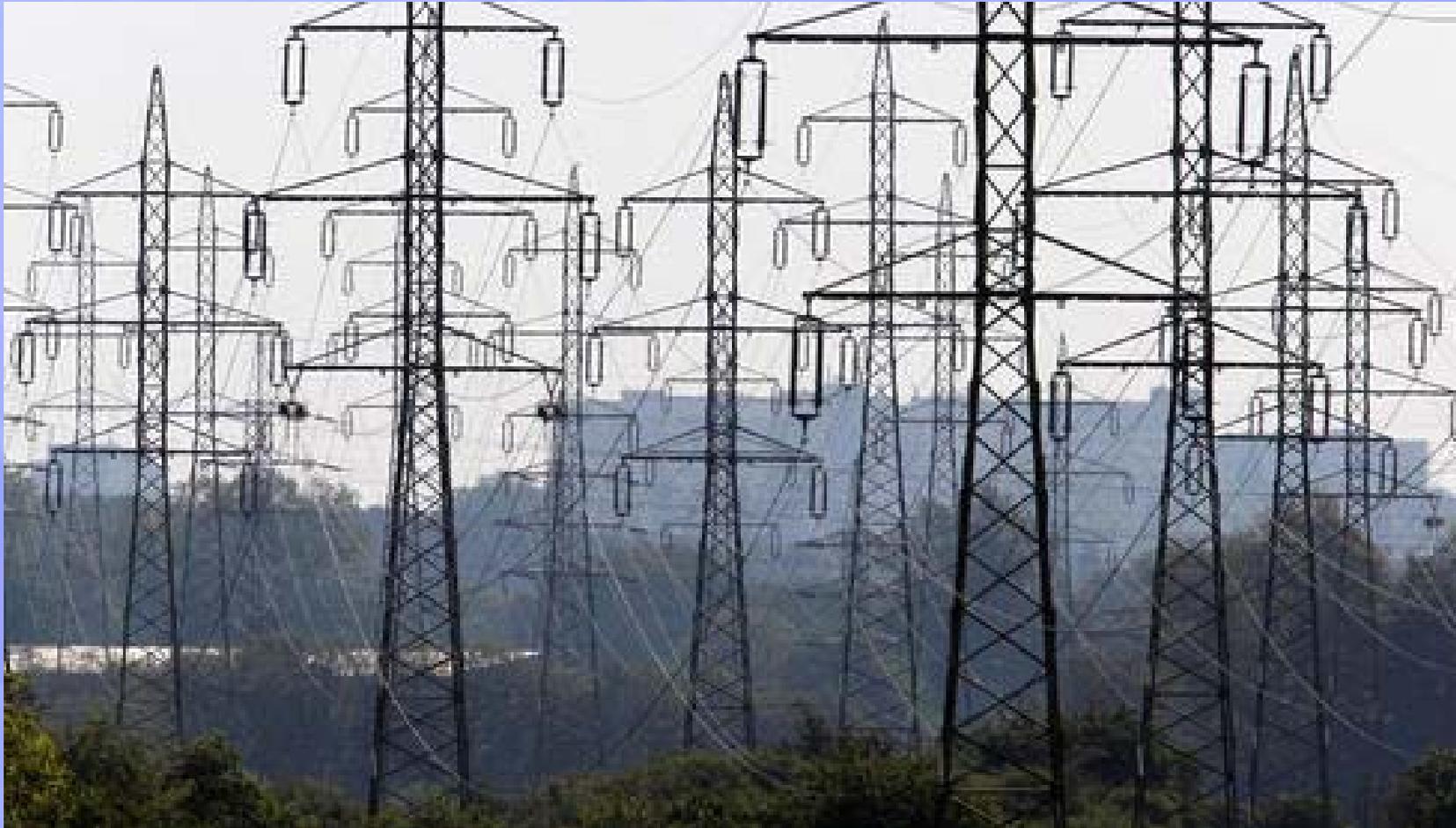
#### Hauptaufgaben:

- Verteilung des elektrischen Stroms in der Fläche
- neu: Transport der EE-Erzeugung

– Niederspannung  
bis 0,4 kV

- Technik Freileitungen und Kabel

## Hochspannungsfreileitungen

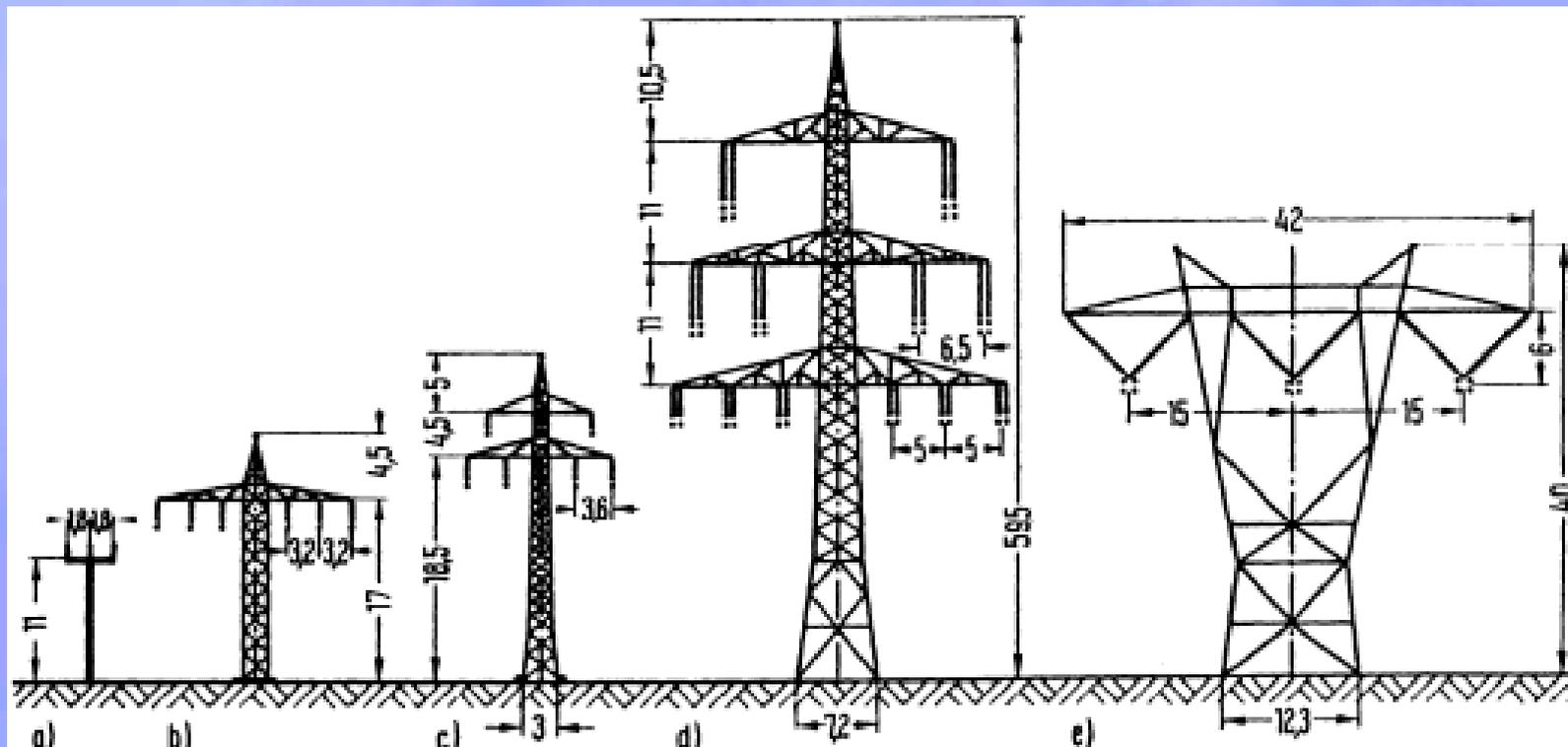


in der Nähe eines Umspannwerkes bei Schwerin

QUELLE: dpa

- Technik Freileitungen und Kabel

## Hochspannungsfreileitungen – Größenvergleich von Freileitungstragmasten



20 kV  
h=11 m

110 kV  
Einebene  
h=21,5 m

110 kV  
Zweiebene  
h=28 m

2 x 220 kV  
2 x 380 kV  
h=59,5

735 kV  
Kanada

QUELLE: Hofmann

- Technik Freileitungen und Kabel

Hochspannungsfreileitungen – Trassenbreite 70 - 100 m



QUELLE: RWE

- Technik Freileitungen und Kabel

## Hochspannungsfreileitungen – Abstände – 380 kV Freileitungstragmast mit sechs Stromkreisen



**Stahlseele**  
bestehend aus  
7 Einzeldrähten

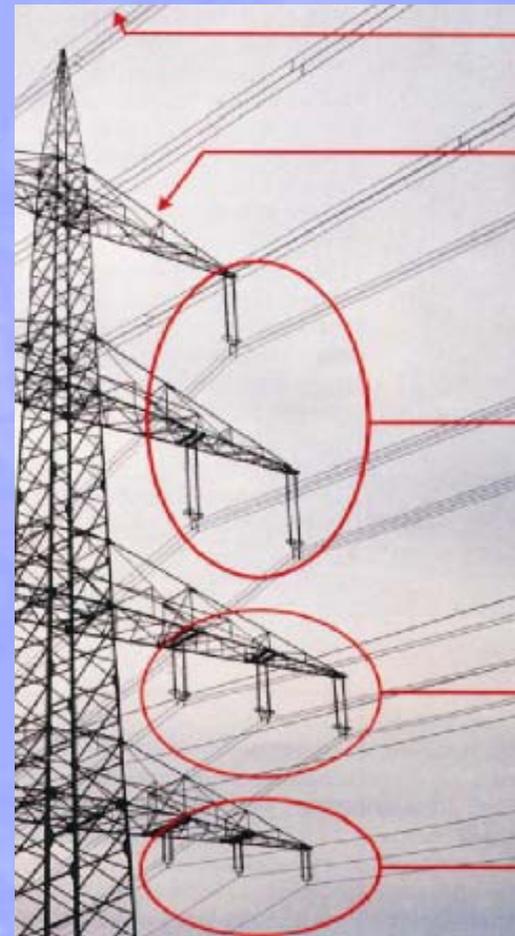
QUELLE: Witthinrich

**24 Aluminiumdrähte**  
in 2 Lagen gegenläufig  
geschlagen

Isolationsabstände

380 kV: 5000 mm

110 kV: 2000 mm



Erdseil

Traverse

Stromkreis  
380 kV

Stromkreis  
220 kV

Stromkreis  
110 kV

QUELLE: Hofmann

- Technik Freileitungen und Kabel

## Der Widerstand in der Bevölkerung wächst gegen Hochspannungsfreileitungen



### 400 Demonstranten fordern: „380 KV ab in die Erde“

Den Besuch eines Fernsehteams nutzte die Bürgerinitiative „Vorsicht, Hochspannung“ für eine Demonstration ihrer Schlagkraft und Stärke: Rund 400 Menschen demonstrierten gestern in Eydelstedt gegen „Energie ohne Nachdenken“ und forderten:

„380 KV ab in die Erde“. Die Initiative wehrt sich seit fast sieben Jahren gegen die Hochspannungsleitung mit ihren etwa 60 Meter hohen Strommasten, die von Ganderkesee bis St. Hülfe verlaufen soll. Mit aller Kraft kämpft die Initiative für die Erd-

verkabelung – und wollte gestern vor Ort am Beispiel der Niedersächsischen Erdgasleitung (NEL) nach Rehden zeigen, dass Fernleitungen auch bürgerfreundlich verlegt werden können. Ein Kamerateam des Hessischen Rundfunks drehte einen

Beitrag für die ARD-Sendung „Plusminus“, der am 3. Mai um 21.50 Uhr gesendet werden soll. Jürgen Hellmann, direkter Anlieger der Stromtrasse, bekam Gelegenheit, die Problematik in einem Interview aufzuzeigen.

• Foto: Brauns-Bömermann

- Technik Freileitungen und Kabel

## Übertragungsmittel – Kabel

Schon 1884 hatte der Magistrat von Berlin die unterirdische Verlegung von Stromleitungen angeordnet.

Dadurch wurde die Entwicklung leistungsfähiger Energiekabel gefördert.



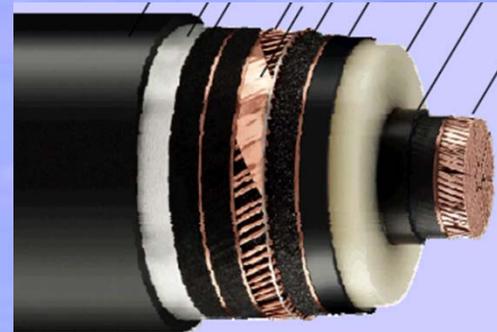
- Technik Freileitungen und Kabel

## Übertragungsmittel – Kabel

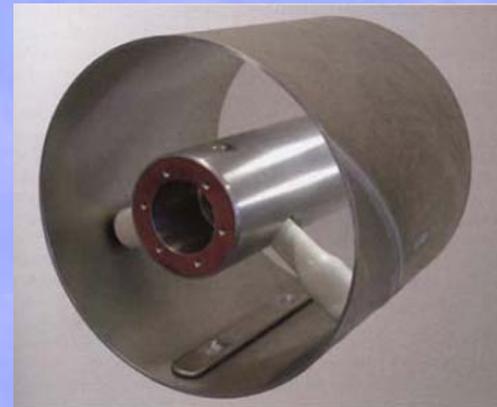
- VPE\*      Kabellösung  
(Drehstrom)
- GIL      gasisierte  
Rohrleitungen
- HGÜ  
(HVDC)\*\*      Hochspannungs-  
gleichstrom-  
übertragung

\* Vernetzte Polyethylen-Isolierung

\*\* High Voltage Direct Current



QUELLE: Nexans



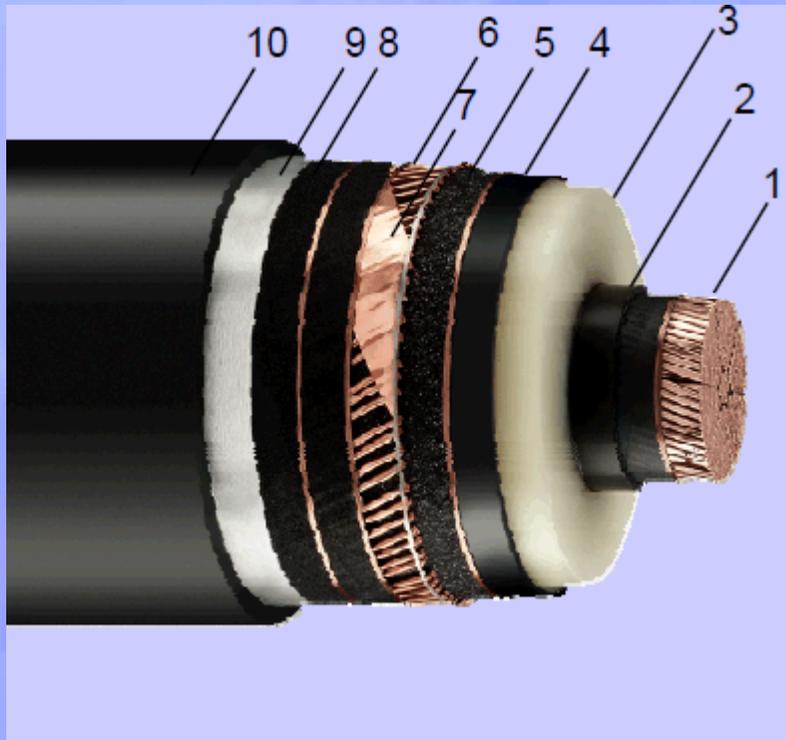
QUELLE: Siemens



QUELLE: ABB

- Technik Freileitungen und Kabel

## Übertragungsmittel – Kabel VPE \*



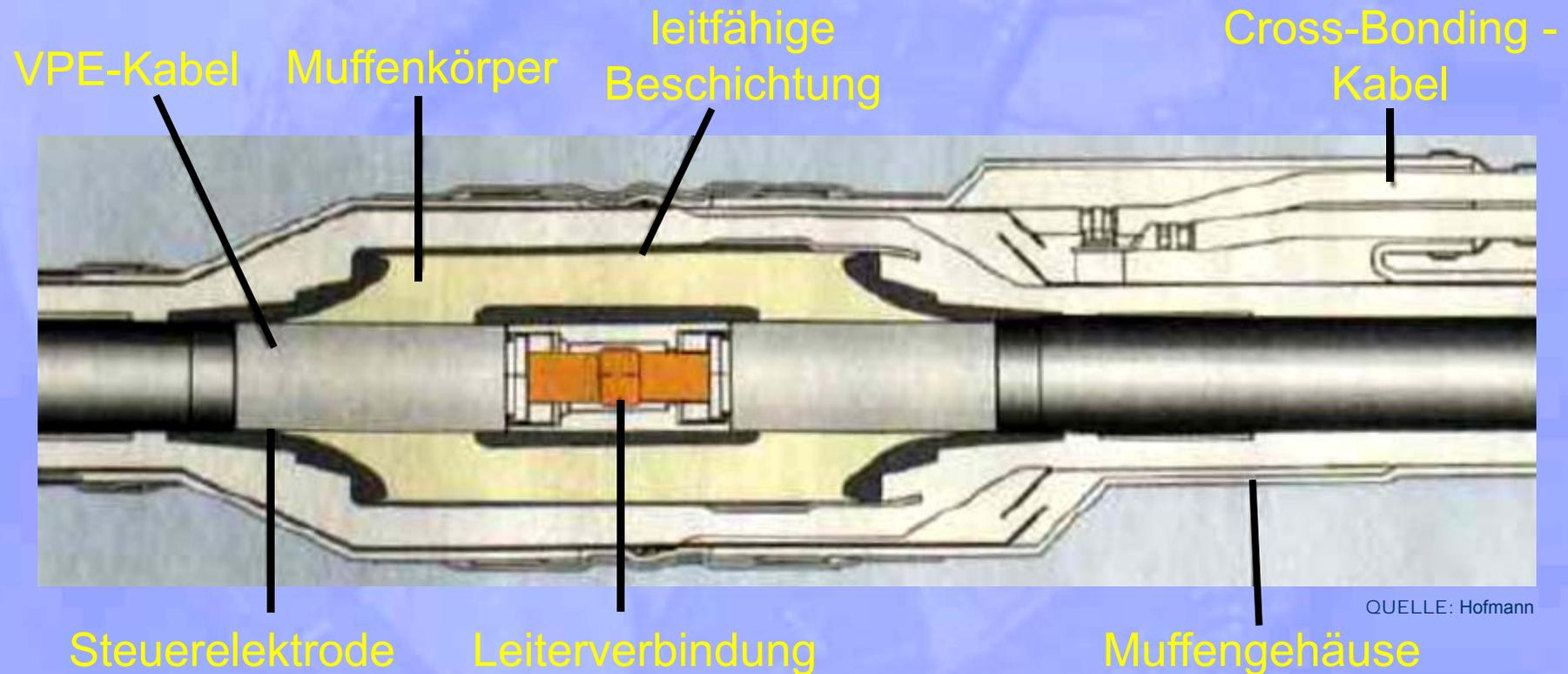
QUELLE: Nexans

\* Vernetzte Polyethylen-Isolierung

1. mehrdrähtiger Leiter Cu  
(bei 380 kV =  $2500 \text{ mm}^2 \cong \text{Ø } 5,6 \text{ cm}$ ,  
bei  $l = 900 \text{ m}$  Gewicht = 40 t)
2. innere Leitschicht
3. VPE-Isolierung
4. äußere Leitschicht
5. leitfähige Polsterung
6. Schirm aus Kupfer
7. Querleitwendel aus Kupfer
8. Trennschicht
9. Stahlbandbewehrung
10. PE-Außenmantel

- Technik Freileitungen und Kabel

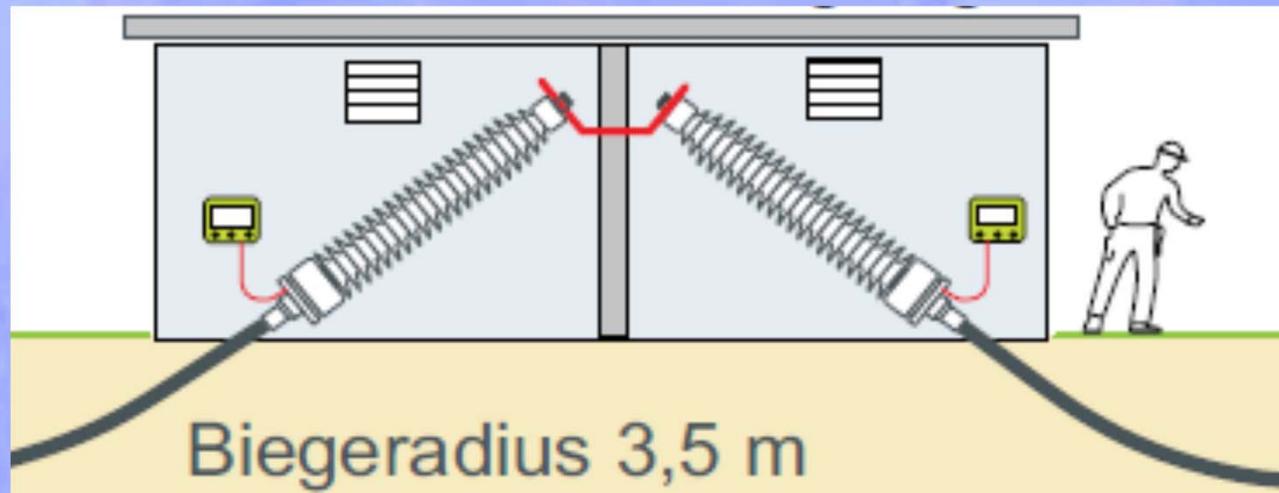
Muffengruben oder -bauwerke aus Beton in einem Abstand von 900 m (max. Transportlänge Kabel)



380-kV -Aufschiebemuffe (ca. 3 m lang) aus EPDM (Ethylen-Propylen-Dien Kautschuk)

- Technik Freileitungen und Kabel

Muffengruben oder -bauwerke aus Beton in einem Abstand von ca. 900 m (max. Transportlänge Kabel bei 40 t Transportgewicht) oder ca. 1,5 km (max. Transportlänge Kabel bei 63 t Transportgewicht)



Infranet Kabelmodul als vormontierte Endverschlüsse mit Transportschutzkappe (ca. 3 m lang reinraumgefertigt, elektrisch abgeschlossen, vorgeprüft für HGÜ-Kabel)

QUELLE: Infranet Rennert

- Technik Freileitungen und Kabel

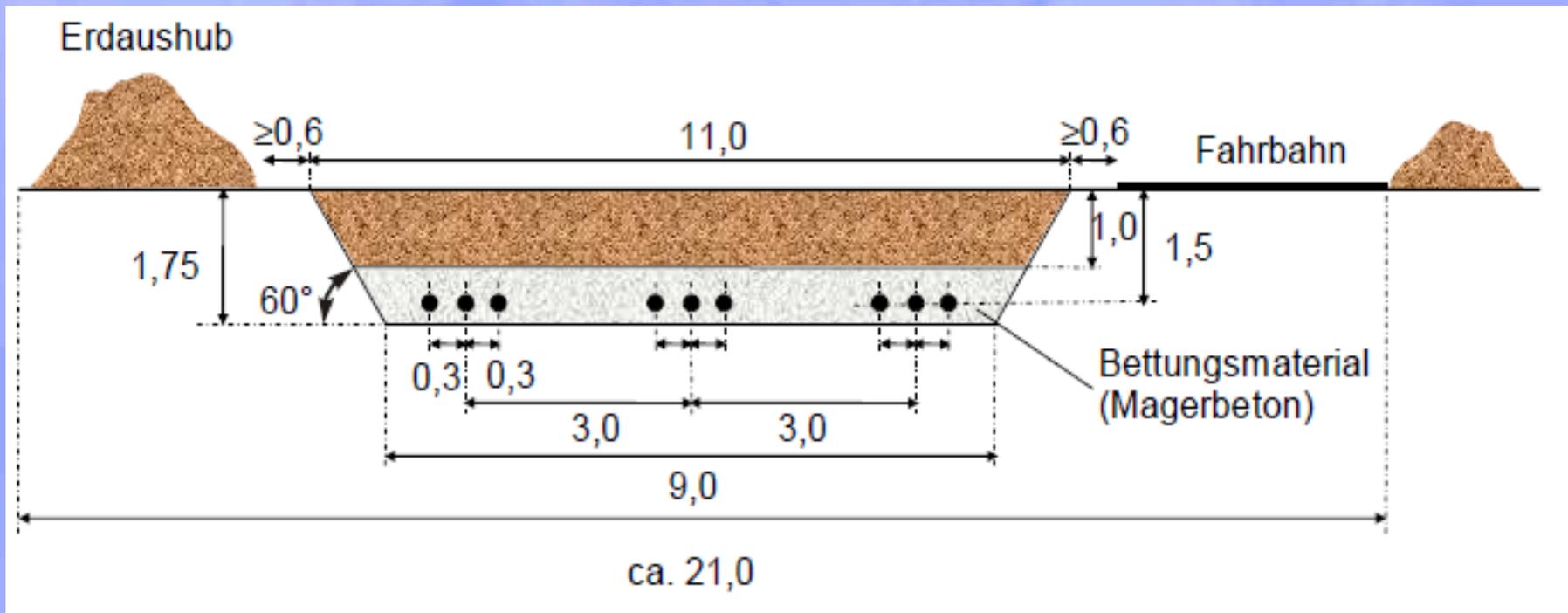
## 380-kV-Kabelanlage in Berlin



QUELLE: Oswald

- Technik Freileitungen und Kabel

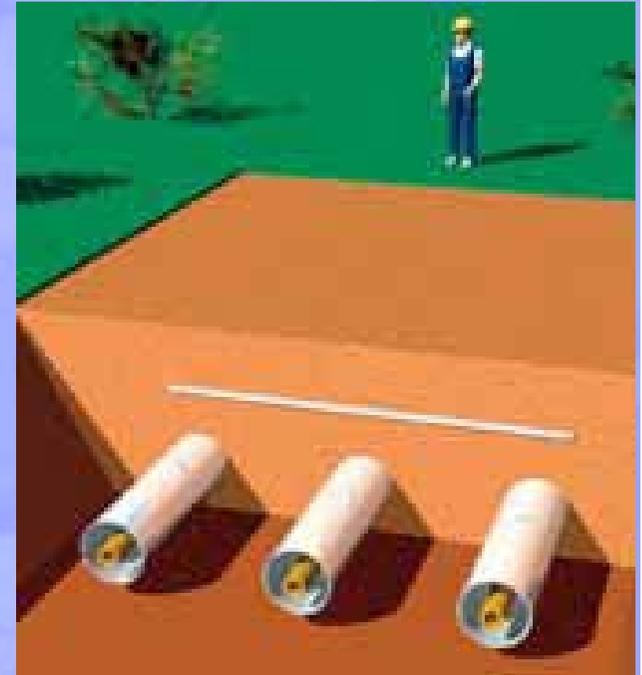
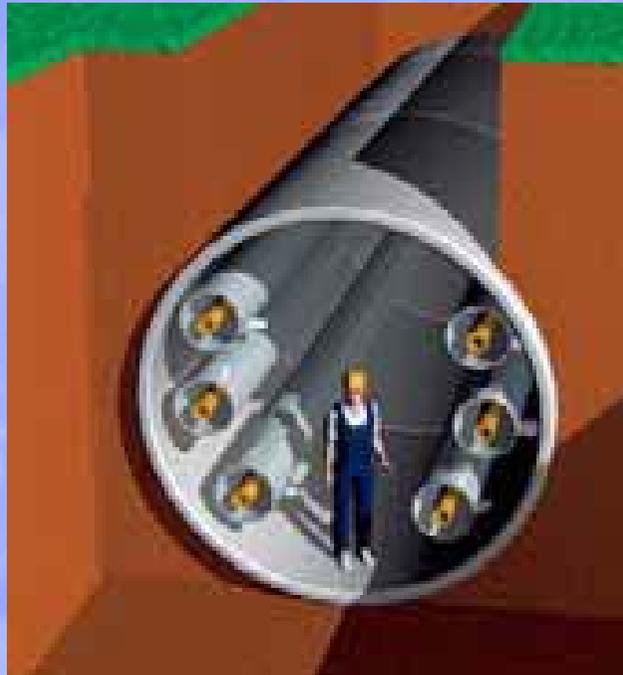
Kabelgrabenprofil für drei Systeme –  
konventionelle Bauweise (Bauphase Maße in m)



QUELLE: Hofmann

- Technik Freileitungen und Kabel

GIL – Anordnung im Tunnel und erdverlegt



QUELLE: Siemens

- Technik Freileitungen und Kabel

Erste HGÜ-Leitungen sind in Norddeutschland umgesetzt worden



QUELLE: ABB

- Technik Freileitungen und Kabel

Kabelverlegung – grabenlose Bauweise (z.B. HDD)

- Alle Erdkabel von 1 kV bis 220 kV sind grabenlos einbaubar (*380 kV-Kabel sind nicht erprobt und wurden bislang unterirdisch nur im Leitungstunnel (Microtunnelbau) oder im speziellen Kabelkanal (Betonelemente) verlegt.*)
- 1 kV, 5 kV, 10 kV, 20 kV, 30 kV lassen sich mit Pilotbohrungen verlegen (3er-Bündel)
- 60 kV, 110 kV und 125 kV (3er-Bündel) bedürfen Pilot- und Aufweitbohrungen (direkt oder im Schutzrohr; 110 kV oft als Einzelader-Verlegung = 3 x bohren)
- 220 kV sind nur als Einzeladern verlegbar (Abstand beachten), d.h. 3 x bohren (Verlegung im perforierten Leerrohr oder direkt im Erdreich)

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Bodenverdrängungshammer (Erdrakete – für Hausanschlüsse)
- Grabenlose Verlegung mit Kabelflug / -fräse
- Steuerbare HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling)
- Microtunnelling
- Pipe Express (bisher Prototyp)

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Bodenverdrängungshammer (Erdrakete – für Hausanschlüsse)

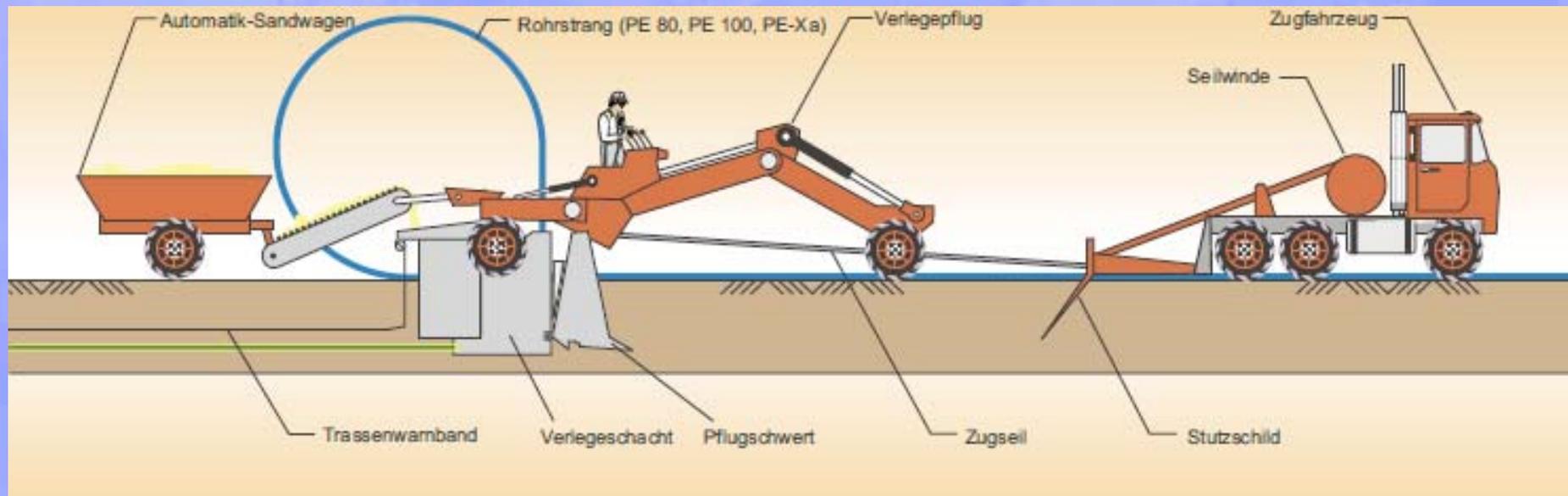


QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Grabenlose Verlegung mit Kabelflug / -fräse



QUELLE: Föckersberger

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Grabenlose Verlegung mit Kabelflug / -fräse



QUELLE: Busch

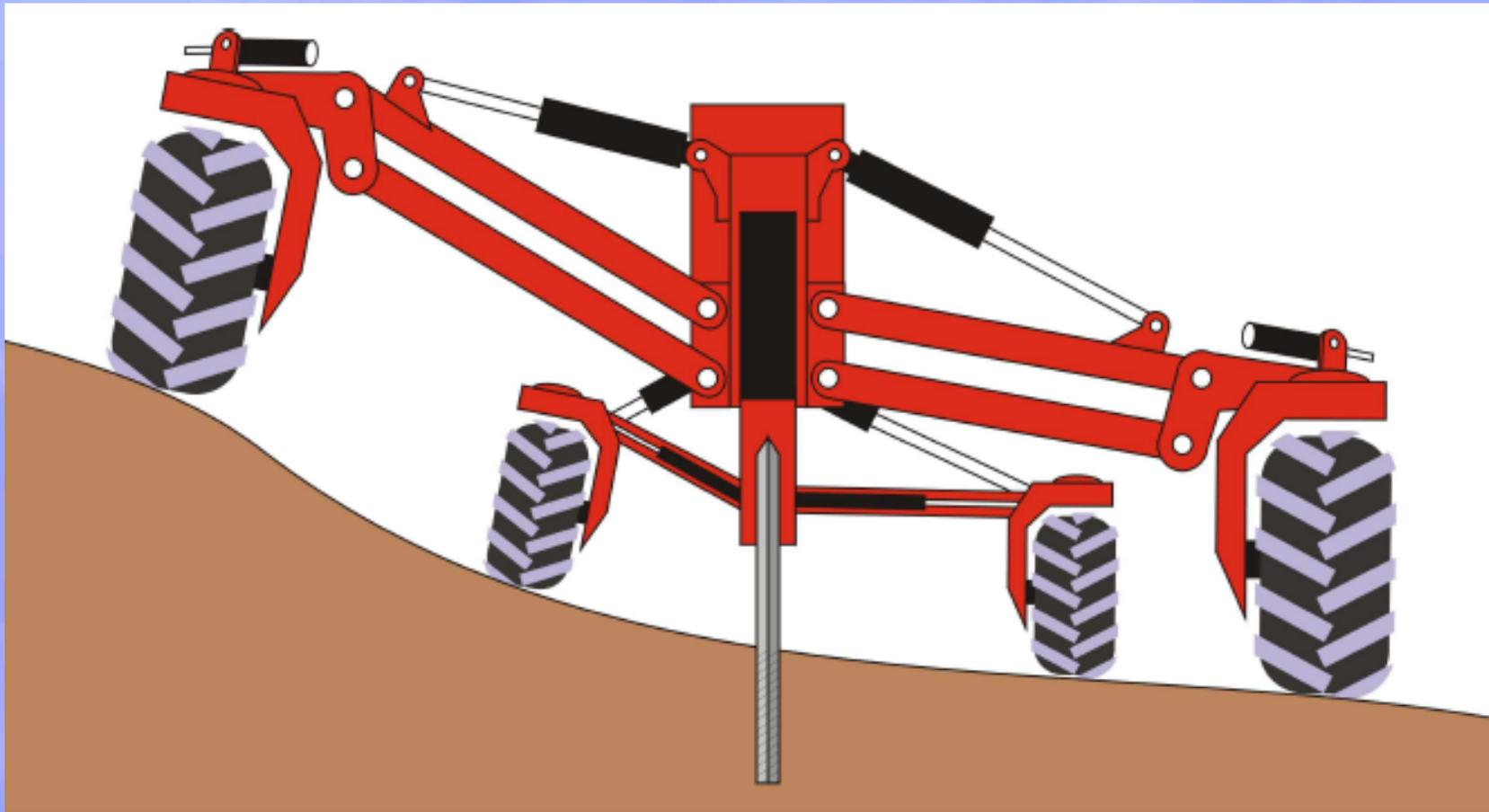


QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Grabenlose Verlegung mit Kabelflug / -fräse

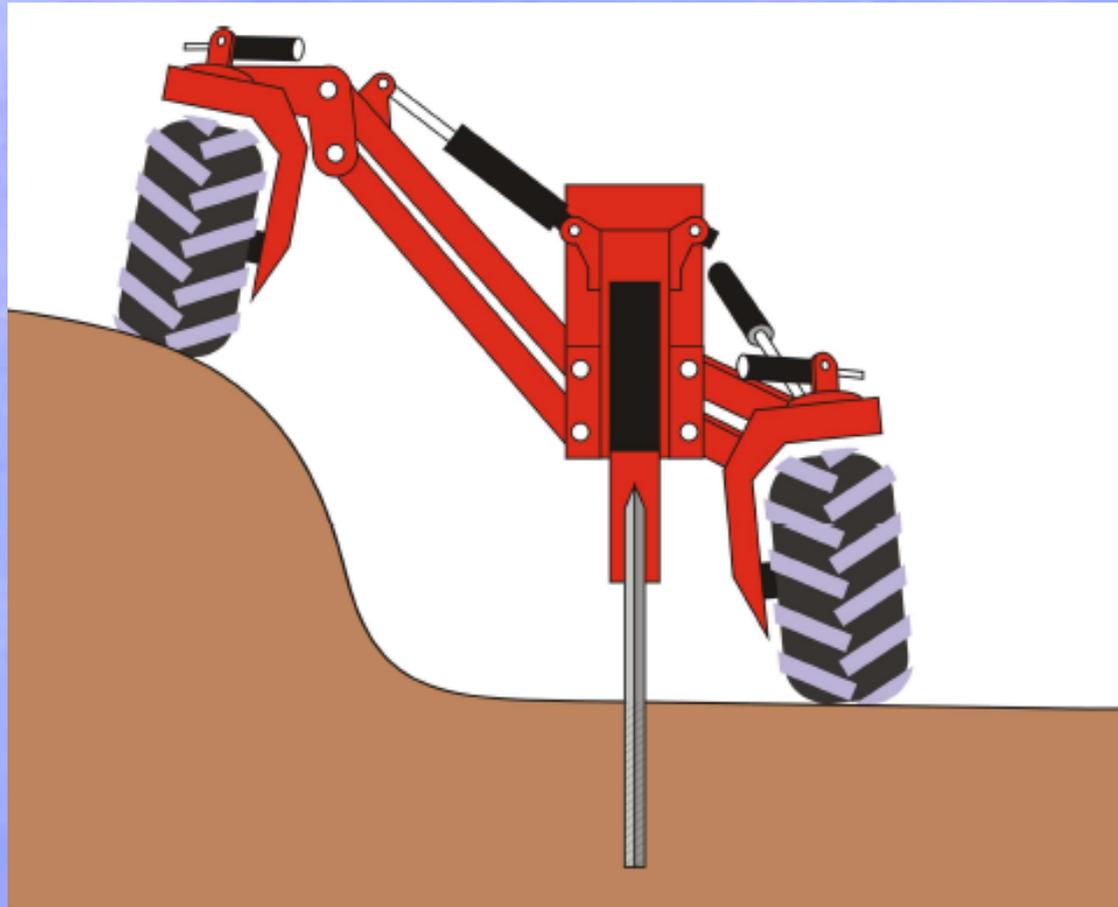


QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Grabenlose Verlegung mit Kabelflug / -fräse

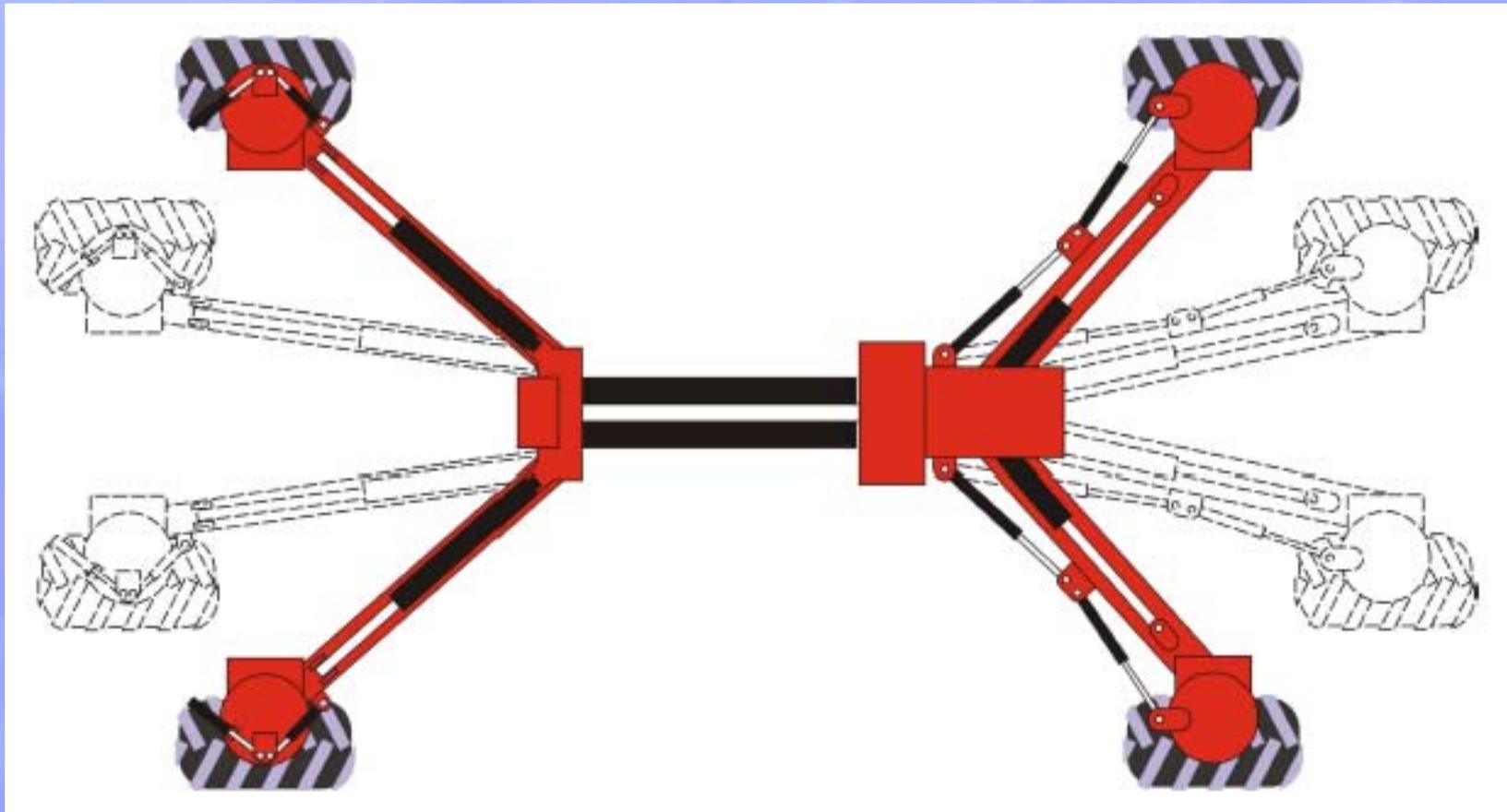


QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Grabenlose Verlegung mit Kabelflug / -fräse



QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Grabenlose Verlegung mit Kabelflug / -fräse

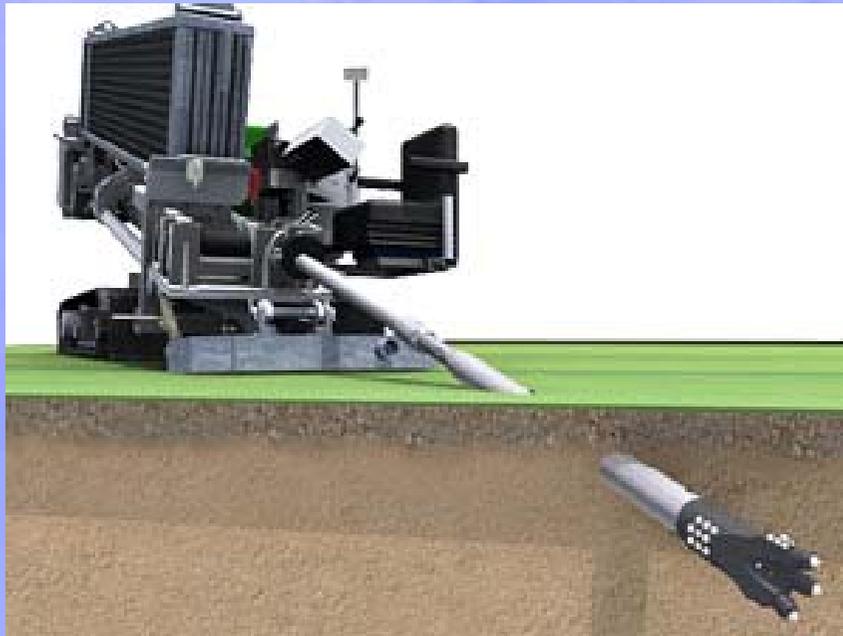


QUELLE: Busch

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Steuerbare HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling)

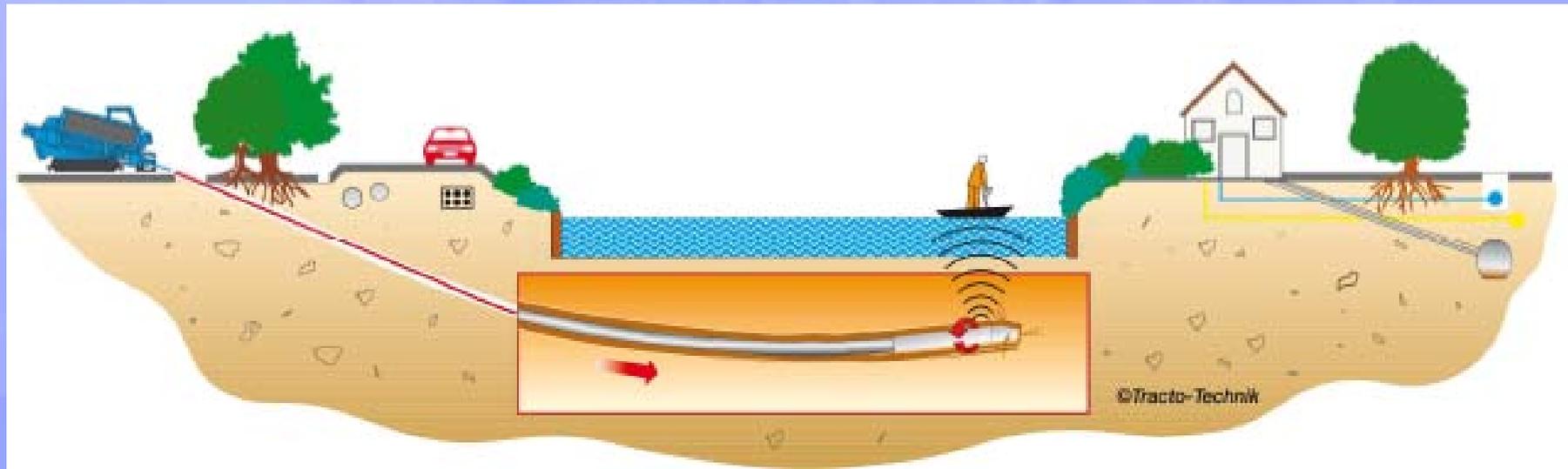


QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Steuerbare HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling)

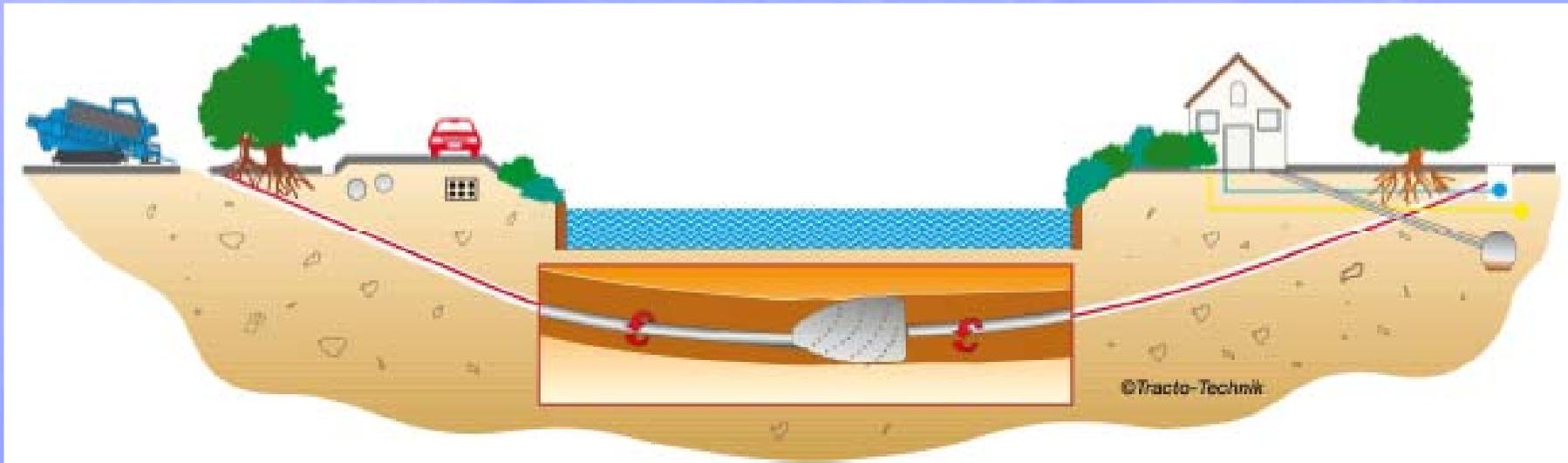


QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Steuerbare HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling)

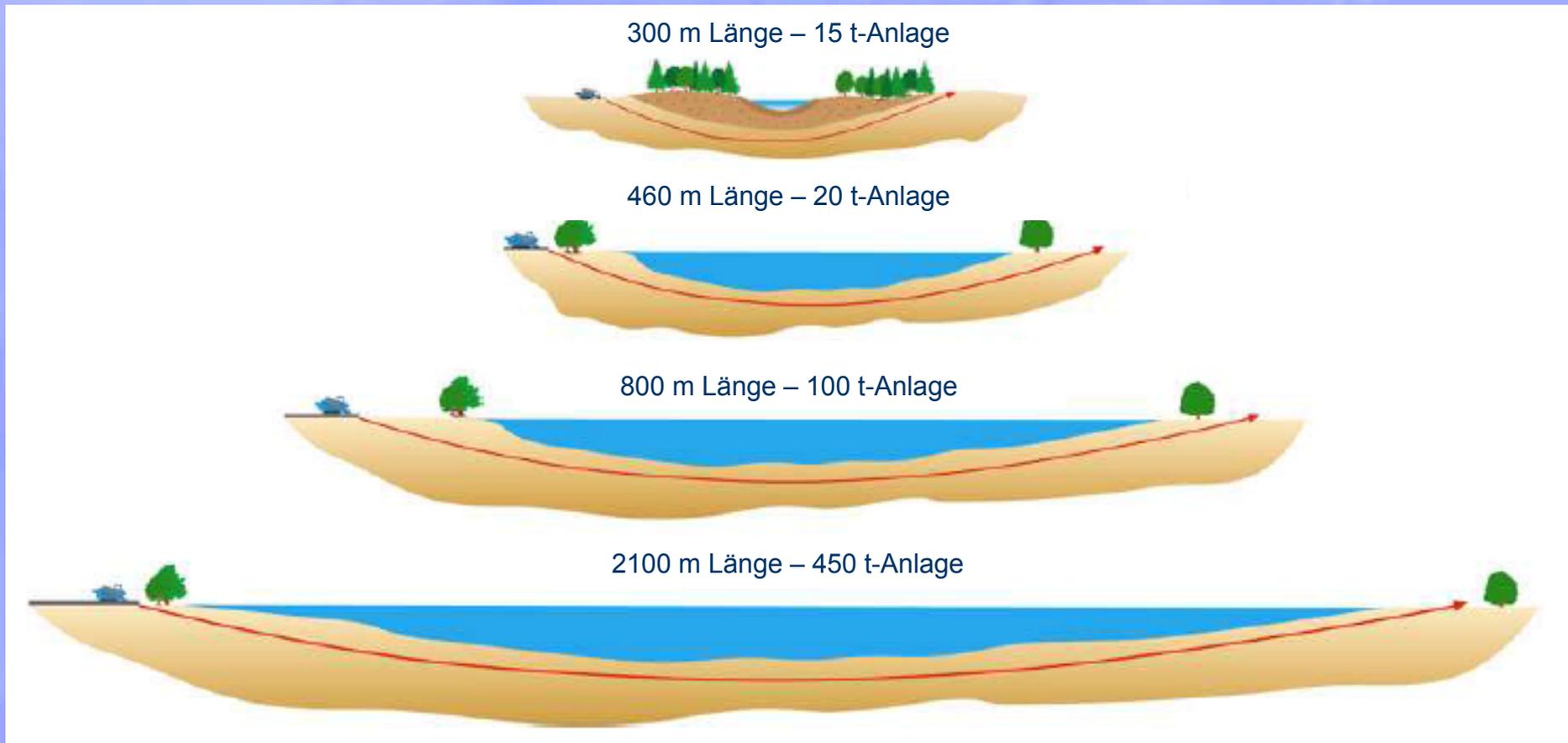


QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Steuerbare HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling)  
Reichweiten

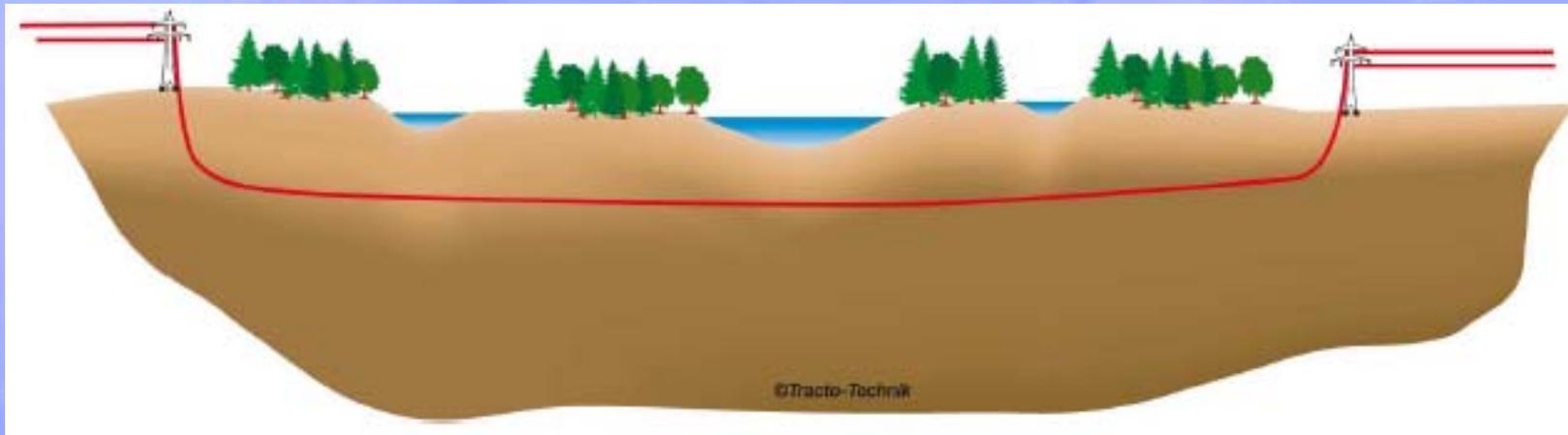


QUELLE: Tracto Technik

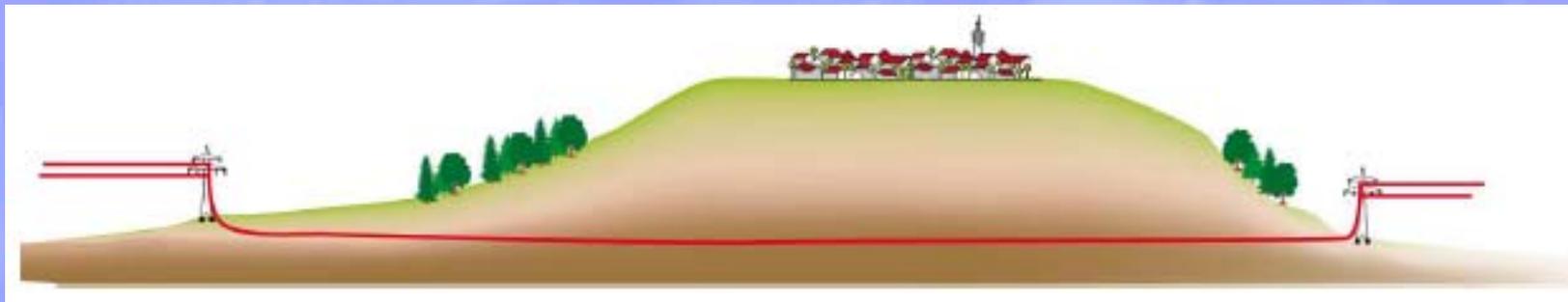
- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Steuerbare HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling) unter Naturschutzgebieten



unter Geländeformen

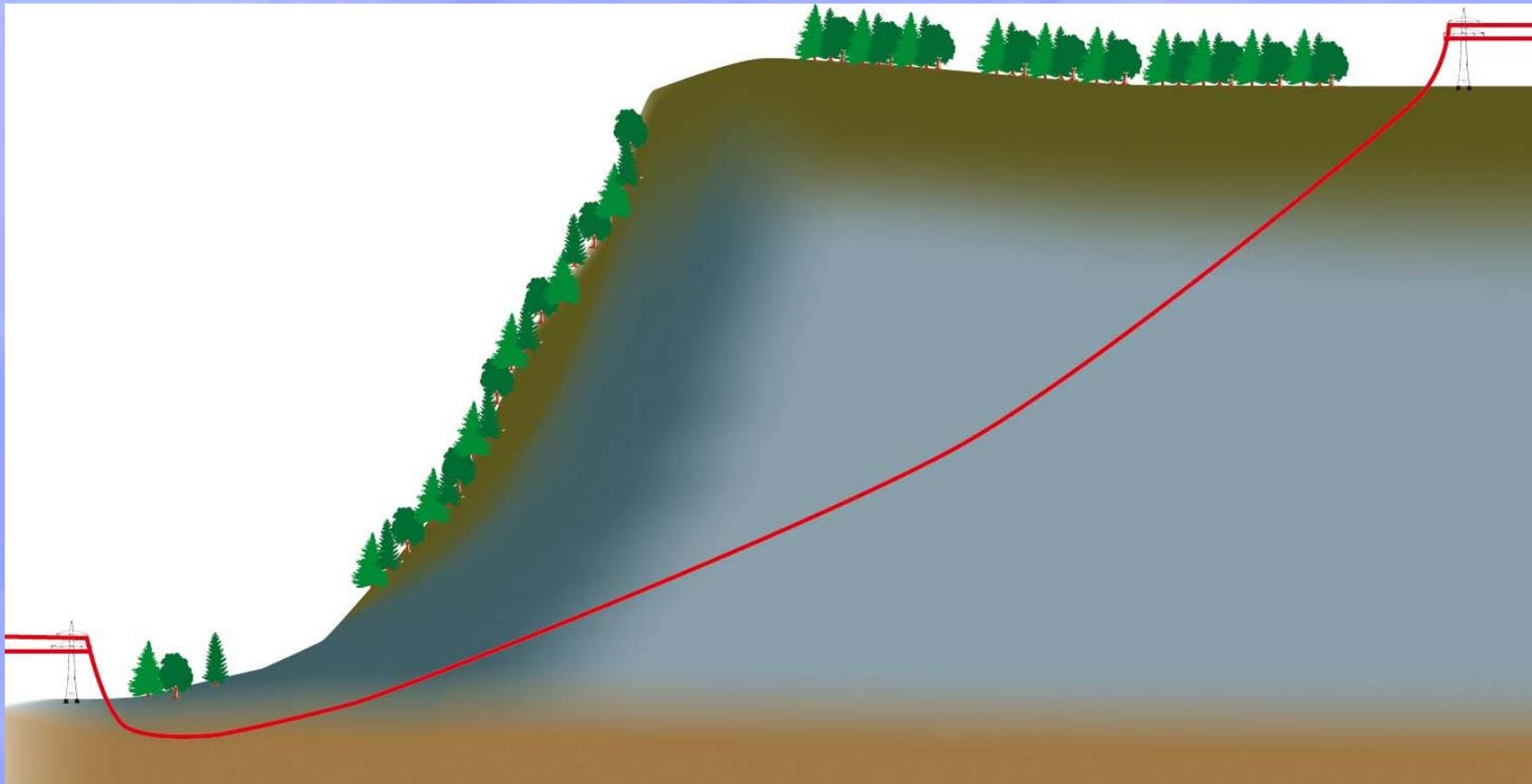


QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Steuerbare HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling) in Bergzonen

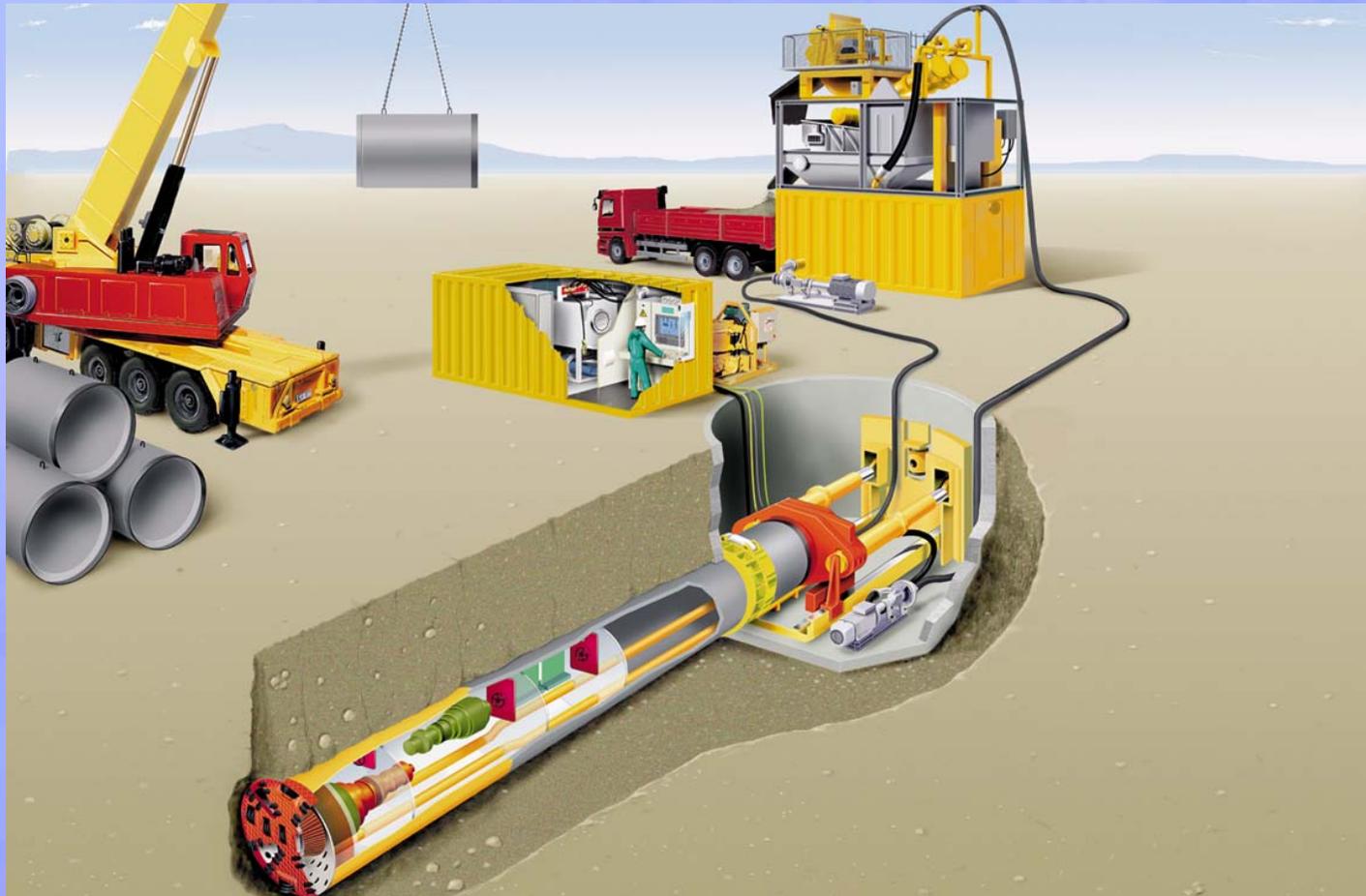


QUELLE: Tracto Technik

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Microtunnelling – 250 mm - 4200 mm



QUELLE: Herrenknecht

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Pipe Express (*bisher Prototyp*)

*zunächst:*

- *Überdeckung 0,5 m – 2,5 m,*
- *Durchmesser 800 mm – 1400 mm,*
- *Vortriebsleistung bis zu 0,8 m/min,*
- *Haltungslänge bis 1000 m.*



QUELLE: Herrenknecht

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Pipe Express (Oberflächenfahrzeug mit Fräseinheit und Bohrkopf)



QUELLE: Herrenknecht

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise

- Pipe Express (Pipe Thruster)



QUELLE: Herrenknecht

- Technik Freileitungen und Kabel

## Kabelverlegung – grabenlose Bauweise (Forschungsbereiche)

- Power Tunnel (Herrenknecht / HOCHTIEF)

- Power Tube (Brakelmann / Stein)

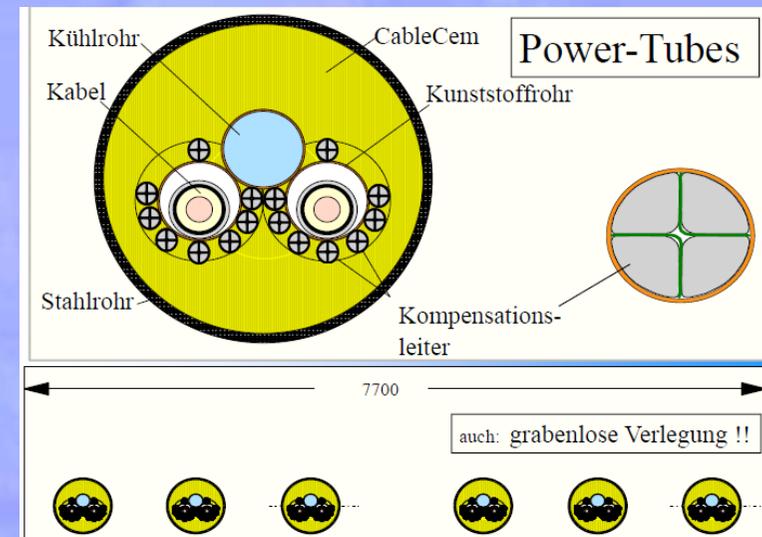
- *Verlegung im Mantelrohr - z.B. Stahlrohr-Kabelsystem z.B. DN 1200*

ideale magnetische Schirmung durch Wechselwirkung äußeres Stahlrohr mit Kompensationsleitern

- *Verlegung im Leitungskanal*

- *Verlegung im begehbaren Leitungsgang*

Reduzierung der Abstände  $< 50$  cm durch Kapselung der Kabel in Aluminiumrohren, in Abständen elektrisch miteinander verbunden, dadurch Induzierung von Gegenströmen  $\Rightarrow$  erhebliche Schwächung des magnetischen Feldes und außerhalb der AL-Rohre nahezu feldfrei



QUELLE: Brakelmann/Stein

- Technik Freileitungen und Kabel – 380 kV im Vergleich

## Freileitung

## VPE-Kabel

Wechsel-/Drehstrom

## HGÜ

Gleichstrom

### Vorteile

- |  |   |  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Investitionskosten</li> <li>• Abnahme von Strom für Einspeisung überall möglich</li> <li>• geringe Erdarbeiten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• in der Landschaft unsichtbar und kein Zerstören des Landschaftsbildes</li> <li>• Landwirtschaft uneingeschränkt möglich</li> <li>• keine elektromagnetischen Felder an der Erdoberfläche</li> <li>• geringe Betriebskosten</li> <li>• geringe Stromverluste</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie VPE-Kabel</li> <li>• wie VPE-Kabel</li> <li>• wie VPE-Kabel</li> <li>• kein Abschalten des Stromnetzes bei Rep. erforderlich</li> <li>• keine Erderwärmung</li> <li>• keine Übergangschächte und Muffen erforderlich</li> <li>• geringe Betriebskosten</li> <li>• geringe Stromverluste (unter 5%)</li> </ul> |
|--|---|--|

- Technik Freileitungen und Kabel – 380 kV im Vergleich

## Freileitung

## VPE-Kabel

Wechsel-/Drehstrom

## HGÜ

Gleichstrom

### Nachteile

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zerstörung des Landschaftsbildes</li> <li>• 50 Meter hohe und höhere Gittermaste mit einer Breite von 31 Metern</li> <li>• großer Flächenbedarf und Freihalten der Trasse (Breite von 70 Metern und mehr)</li> <li>• hohe Stromverluste</li> <li>• der Witterung ausgesetzt</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• höhere Investitionskosten</li> <li>• leichte Erderwärmung (1,5°C an der Erdoberfläche über dem Kabelgraben)</li> <li>• Übergangsschächte und Muffen erforderlich</li> <li>• Abschalten des Stroms bei Reparatur</li> <li>• Freihalten der Trasse von tiefwurzelndem Bewuchs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie VPE-Kabel</li> <li>• Umrichterstationen bei Übergangspunkten ins Wechselstromnetz erforderlich</li> <li>• Freihalten der Trasse von tiefwurzelndem Bewuchs</li> </ul> |
|---|---|--|

- Technik Freileitungen und Kabel – 380 kV im Vergleich

Freileitung

VPE-Kabel

HGÜ

Wechsel-/Drehstrom

Gleichstrom

### Nachteile

- Abschalten des Stroms bei Reparatur
- hohe Strahlung direkt unter den Masten (40 m von der Mitte = 1  $\mu$ T (Mikro-Tesla), Grenzwert = 100  $\mu$ T)
- gesundheitliche Risiken vermutet
- Die Leitungen können eine tödliche Unfallgefahr für Vögel vor allem in Brut-, Rast- und Zuggebieten darstellen.

- Technik Freileitungen und Kabel



QUELLE: Tracto Technik

# Energiewende in Deutschland

- Allgemeines
- Netze
- **Technik Freileitungen und Kabel**
- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel
- Fazit

# Energiewende in Deutschland

- Allgemeines
- Netze
- Technik Freileitungen und Kabel
- **Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel**
- Fazit

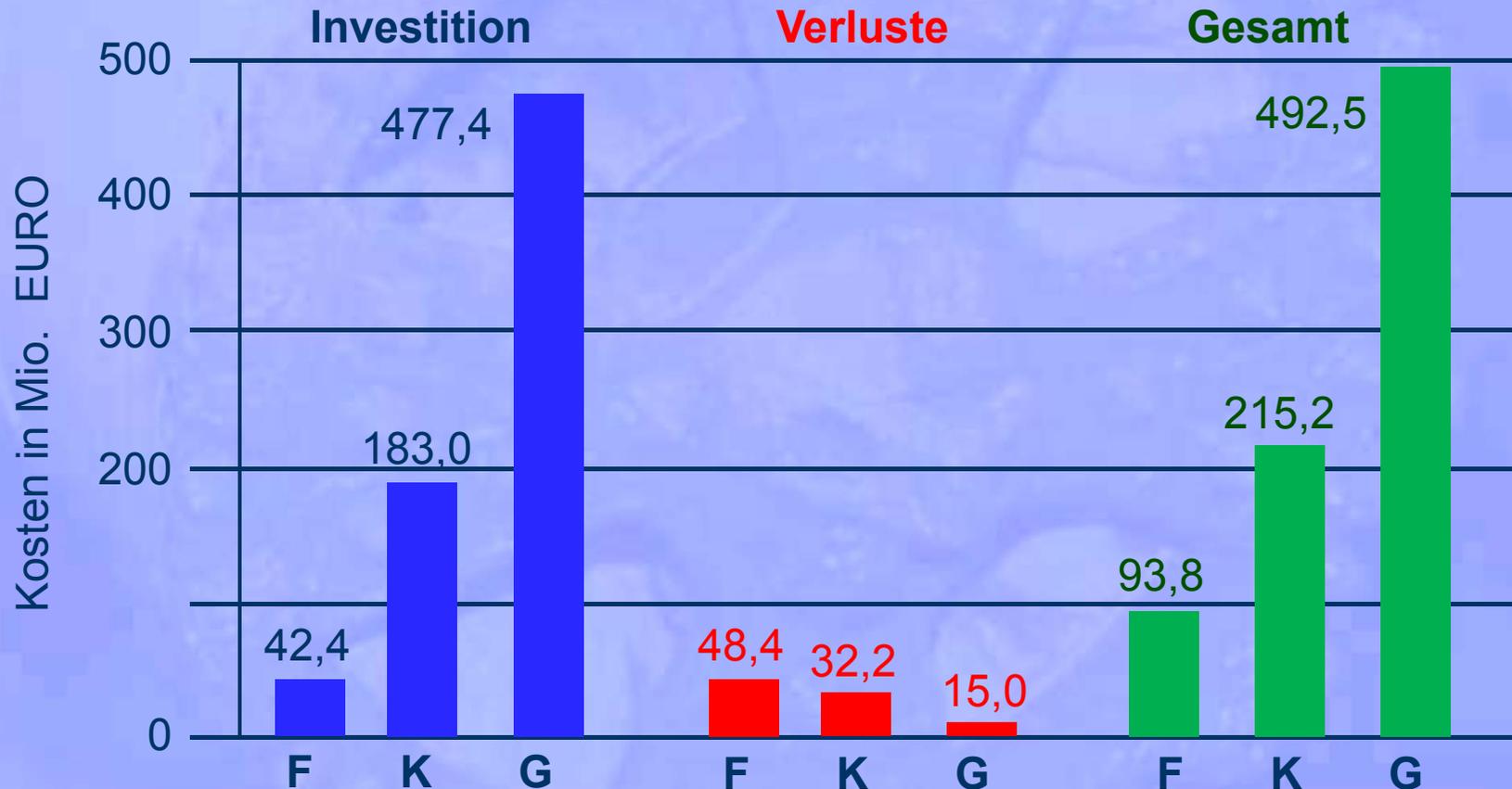
- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel

	Freileitung (380 kV)	Erdkabel (VPE 380 kV)
Investitionskosten	circa 0,8 Mio. €/km für eine 3.000-MW-Freileitung	3,2 bis 8 Mio. €/km für ein 3.000-MW-Erdkabel
Betriebskosten	3.000 €/km und Jahr	circa 1.000 €/km und Jahr
Kosten Stromverluste	bis zu 153.000 €/km und Jahr (abhängig von der tatsächlichen Übertragungsleistung)	bis zu 68.000 €/km und Jahr (abhängig von der tatsächlichen Übertragungsleistung)
Gesamtkosten		2 – 5 x mehr als Freileitungen, bei 110 kV teilweise sogar geringer

QUELLE: Forum Netzintegration

- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel

Beispiel\* für Wirtschaftlichkeitsvergleich (Bar- und Kapitalwerte Betrachtungszeit 40 Jahre) Freileitung (**F**), Kabel (**K**) und GIL (**G**)



\* 380-kV-Trasse Ganderkesee – St. Hülfe (F= 60 km, K / G = 54 km)

QUELLE: Oswald ForWind-Studie

- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel

### *Was bedeutet das für den Endkunden?*

Die „Oswald-Studie“\* errechnet Mehrkosten für das Erdkabel vom 1,6-fachen bis zum 5,4-fachen (nur betriebswirtschaftliche und keine volkswirtschaftlichen Aspekte wurden berücksichtigt).

Beim 2,4-fachen (angenommener Mittelwert) werden für 3600 km (DENA II – Basisvariante = 0,2 ct/kWh ) Netzausbau zusätzlich **0,025 Cent pro kWh\*\*** benötigt, d.h.  $(0,025 + 0,2) \cdot 2,4 = 0,54 \text{ ct/kWh}$ .

Die **Mehrkosten pro Jahr** (4-Personen-Haushalt, 3500 kWh/a) betragen somit ca. **19,00 Euro** (18,90 EUR).\*\*

\* Prof. Dr.-Ing. habil. B. R. Oswald Hannover,  
Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgung an der Universität Hannover  
380-kV-Trasse Ganderkesee – St. Hülfe, 2005

\*\* Initiativen Pro Erdkabel NRW, bestätigt Prof. Dr. Uwe Leprich, Hochschule für Technik und Wirtschaft, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Saarbrücken)

# Energiewende in Deutschland

- Allgemeines
- Netze
- Technik Freileitungen und Kabel
- **Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel**
- Fazit

# Energiewende in Deutschland

- Allgemeines
- Netze
- Technik Freileitungen und Kabel
- Wirtschaftlicher Vergleich Freileitungen – Kabel
- **Fazit**

- Fazit

- Die Energiewende wird **Veränderungen** in allen Bereichen des **Versorgungssystems** mit sich bringen.
- Es ist erforderlich, dass das **gesamte System** entsprechend **angepasst** wird.
- Dem **Netz** kommt eine entscheidende Bedeutung zu, da erst durch die unterschiedlichen Energieerzeuger es auch **intelligent** werden muss.
- Der **Umbau** muss als **regionale, nationale und europäische** Aufgabe gleichzeitig angegangen werden.
- Der Netzausbau muss stark **beschleunigt** werden.

- Fazit

- Der Einfluss von Umweltverbänden und Bürgern wird immer größer und darf nicht vernachlässigt werden.
- Im Sinne eines umweltverträglichen Netzausbaus sollten die berechtigten Forderungen durch verstärkten Erdkabelbau – und das auch grabenlos – berücksichtigt werden.
- Die Mehrkosten sind auch für den Endverbraucher zumutbar.
- Es wird ein großes Betätigungsfeld für die Baukonzerne werden. Aber eine große Zahl mittelständischer Unternehmen, speziell im Leitungsbau, wird benötigt.

- Fazit
- Bei einem Mix von Neubautechnologien kann jährlich mit einem **Volumen i. H. von ca. 1 Mrd. EUR** für den Leitungsbau gerechnet werden.
- **Ohne Nachwuchs** im Rohrleitungsbau sind die Aufgaben, die der Branche bevorstehen, nur **schwer zu verwirklichen**.

***Der Leitungsbau nimmt die Herausforderung an und steht bereit !***

# Danke für die Aufmerksamkeit

Dr.-Ing. Klaus Beyer

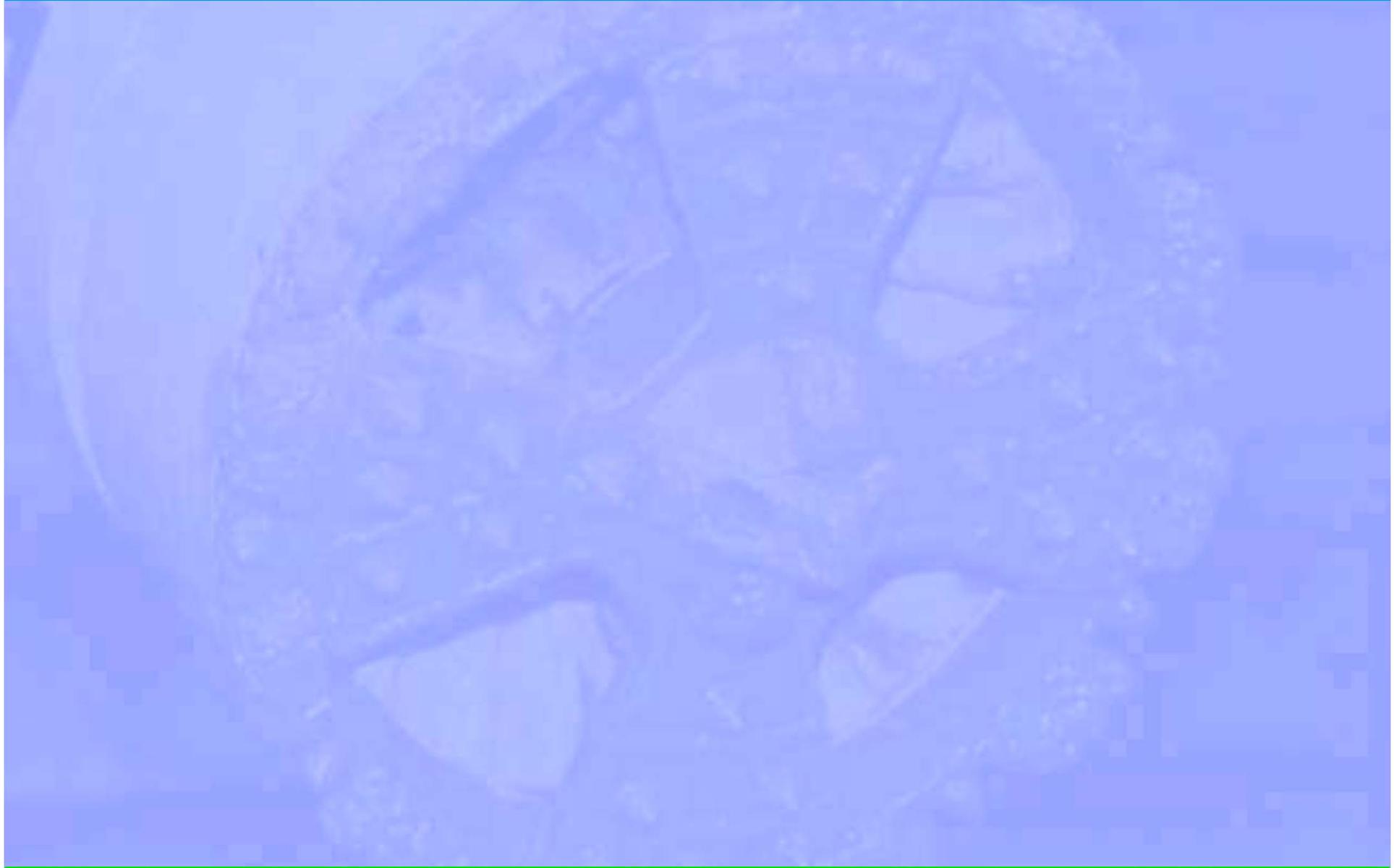
Geschäftsführer

German Society of Trenchless  
Technology E.V. (GSTT)



Messedamm 22  
D – 14055 Berlin  
Tel.: +49 30 3038-2143  
FAX: +49 30 3038-2079  
E-Mail: [info@gstt.de](mailto:info@gstt.de)  
Internet: [www.gstt.de](http://www.gstt.de)

# Energiewende in Deutschland



# Energiewende in Deutschland

