

(Weihnachts-)Vorlesung

# Elektrische Maschinen

Fachhochschule Dortmund  
FB 3

(Grundlagen, Gleichstrommaschine,  
Synchronmaschine, Asynchronmaschine,  
Linearmotoren, Schwebesysteme)

Prof. Dr. Bernd Aschendorf

WS 13/14

# Maxwell'sche Gleichungen in Integralschreibweise

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \iint \vec{j} d\vec{A} + \iint \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{A}$$

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint \vec{B} d\vec{A}$$

$$\oiint \vec{B} d\vec{A} = 0$$

$$\oiint \vec{D} d\vec{A} = \rho$$

# Kontinuitätsgleichungen, Konstanten



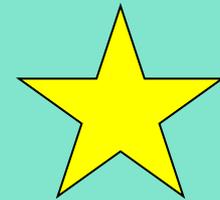
$$\vec{B} = \mu_0 \mu_v \vec{H}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_v \vec{E}$$

$$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$



# Maxwell'sche Gleichungen in Differentialform

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

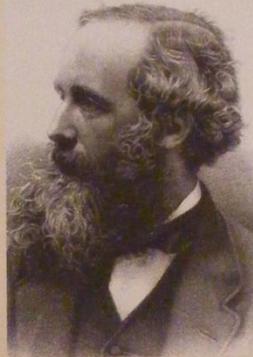
$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

## Nicola Tesla

\* 1856 Similjan (Kroatien)  
† 1943 New York

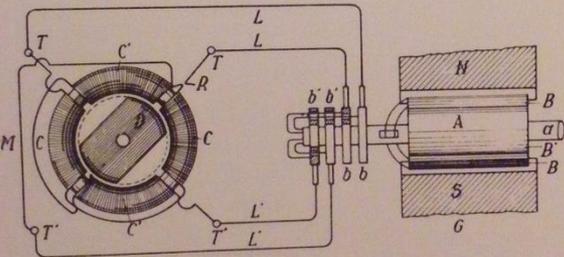
Amerikanischer Physiker und Elektrotechniker. Entwickelt 1887 die Technik der Mehrphasenströme, lässt 1887 den Drehstrommotor patentieren und konstruiert 1891 den Tesla-Transformator.



## James Clerk Maxwell

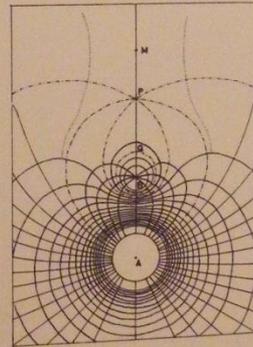
\* 1831 Edinburg  
† 1879 Cambridge

Physiker. Entwickelt eine Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen (Feldgesetze).



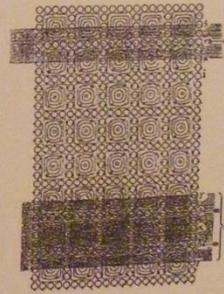
### Tesla-Transformator (nach Teslas Patentschrift):

ein Transformator für die Erzeugung hochfrequenter Wechselströme von hoher Spannung. Er besteht aus einer Kombination von Transformator, Schwingkreis und Funkenstrecke.



### Ein System von Feldlinien und Kurven gleichen Potentials (geschlossene Linien), gezeichnet von J.C. Maxwell.

Die Kugeloberfläche trägt die Ladung +20 Einheiten, der Punkt die Ladung -5. Die beiden Liniengruppen durchkreuzen sich unter rechten Winkeln.



### Maxwells mechanische Deutung der elektromagnetischen Induktion:

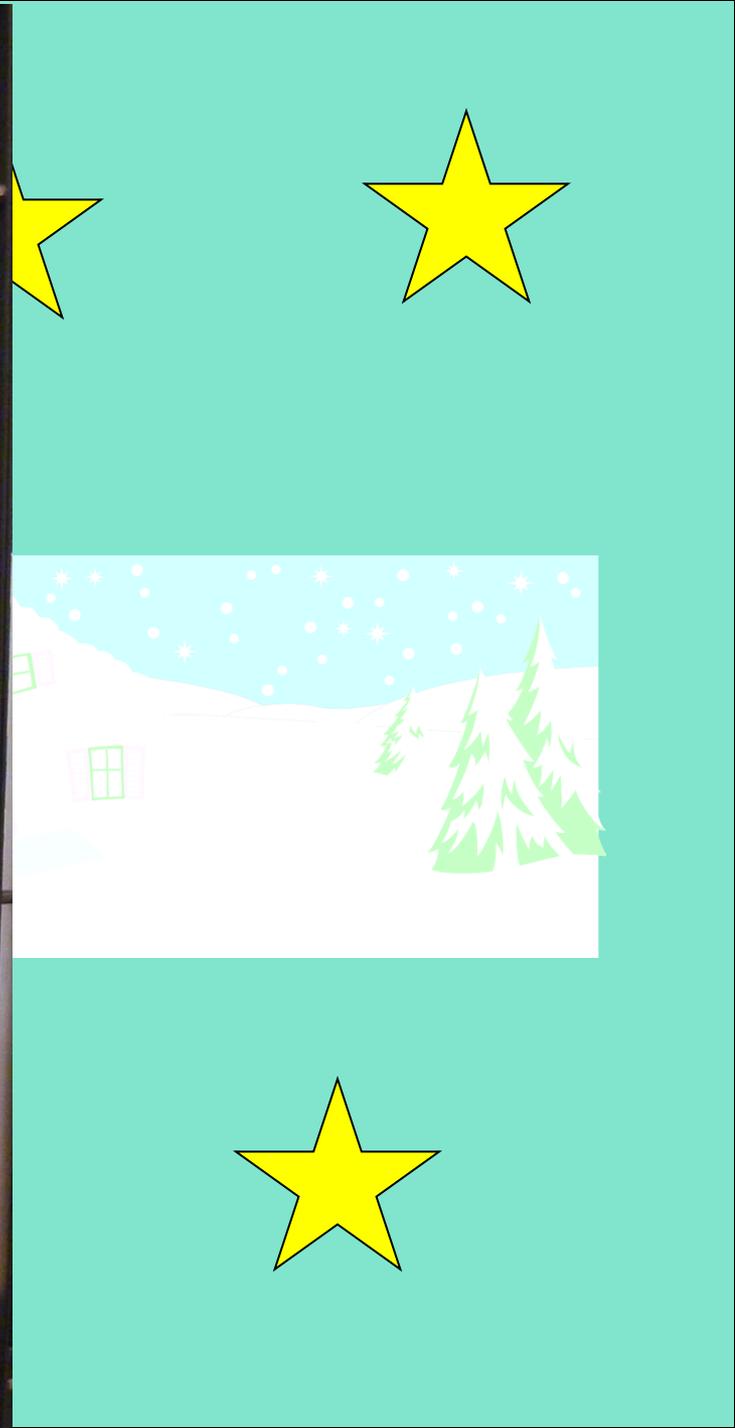
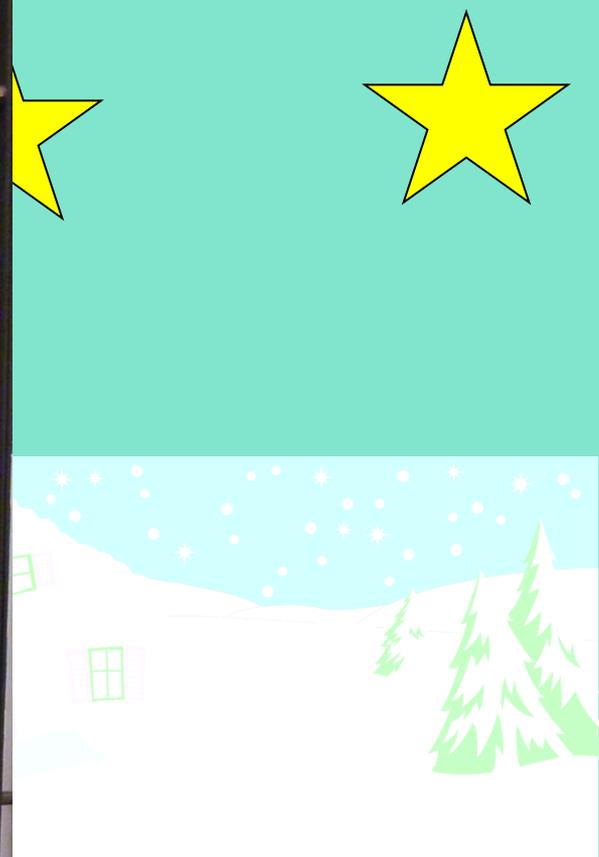
Bei den viktorianischen Physikern herrscht noch weitgehend die Meinung vor, dass sich alle physikalischen Vorgänge letztlich mit Hilfe von Vorstellungen aus der Mechanik deuten lassen. Maxwell versucht zum Beispiel, den Vorgang der elektromagnetischen Induktion zwischen dem primären Leiter (dunkel unterlegt, oben) und dem sekundären Leiter (dunkel unterlegt, unten) mit Hilfe von Wirbelschichten, die sich im Äther bilden, und dazwischen rotierenden »Frikionstelchen« zu erklären.

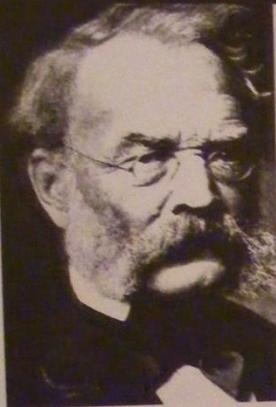
»Meine Methode ist durchweg die von Faraday in seinen Untersuchungen befolgte, welche man häufig für unbestimmter und unmathematischer hält als die der Mathematiker vom Fach. Es wird, wie ich hoffe, aus meiner Darstellung ersichtlich sein, dass ich nicht eine physikalische Theorie einer Wissenschaft aufzustellen suche, in welcher ich kaum ein einziges Experiment gemacht habe, sondern dass sich mein Vorhaben darauf beschränkt, zu zeigen, wie gerade durch die Verwendung der Begriffe und Methoden Faradays die Wechselbeziehungen der verschiedenen Klassen der von ihm entdeckten Erscheinungen am besten klargemacht werden kann.«

- 3 - magnetische Induktion
- 4 - Elektrisches Potential
- 5 - elektrische Wirbel
- 6 - Fernwirkung, mit deren Hilfe Kraft wirkt
- 7 - elektrostatisches Potential
- 8 - elektromagnetische Strahlung
- 9 - magnetische Induktion
- 10 - magnetische Wirbel
- 11 - magnetische Induktion
- 12 - magnetische Induktion
- 13 - magnetische Induktion
- 14 - magnetische Induktion
- 15 - magnetische Induktion
- 16 - magnetische Induktion
- 17 - magnetische Induktion
- 18 - magnetische Induktion
- 19 - magnetische Induktion
- 20 - magnetische Induktion

James Clerk Maxwell: »On Faraday's Lines of Force, 1855

Maxwells Feldgleichungen nach seinem Lehrbuch »A Treatise on Electricity and Magnetism«. Die Schreibweise der Gleichungen ist leicht modernisiert.

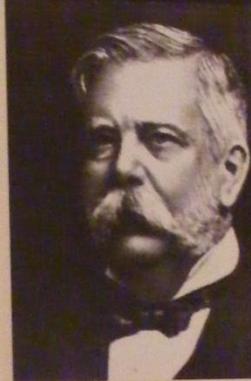




### Ernst Werner von Siemens

\* 1816 Lenthe bei Hannover  
† 1892 Berlin

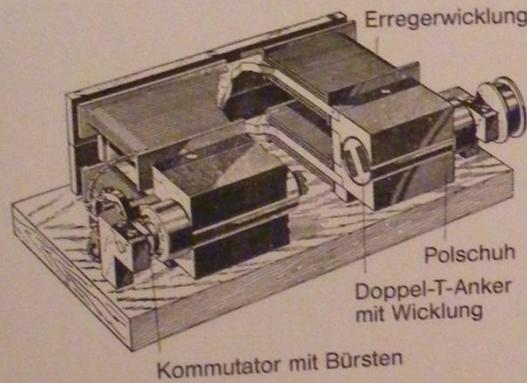
Industrieller.  
Begründer der industriellen Elektrotechnik. Baut im großen Rahmen Motoren und Generatoren (»Dynamomaschinen«).  
1879 elektrische Lokomotive,  
1880 elektrischer Aufzug,  
1881 elektrische Strassenbahn.



### George Westinghouse

\* 1846 Central Bridge (N.Y.)  
† 1914 New York

Industrieller, baut in den USA eine leistungsfähige elektrotechnische Industrie auf (Westinghouse Electric Company).



#### Die Dynamo-Maschine von Werner v. Siemens.

In den ursprünglichen Generatoren wird der elektrische Strom durch permanente Magnete induziert (z.B. in der Maschine von Pixii). Grosse Leistungen hätten nur mit einem riesigen Aufwand an permanenten Magneten erzeugt werden können, die zudem im Laufe der Benutzung schwächer werden. Werner von Siemens benützt als erster einen Elektromagneten, der von der Maschine selbst gespeist wird (Erregerwicklung), und öffnet damit den Weg zur Konstruktion leistungsfähiger elektrischer Generatoren.

»Wenn man früher einem Elektrotechniker eine Aufgabe stellte, bei welcher die Elektrizität grössere Arbeit auszuüben hatte, dann pflegte er wohl zu sagen: Die Elektrizität tut keine Hausknechtsarbeit, sie ist für die feine Arbeit bestimmt! Das hat sich nun in der neueren Zeit vollständig geändert. Die dynamo-elektrische Maschine befähigt uns jetzt, elektrische Ströme von jeder gewünschten Stärke billig zu erzeugen: Die Elektrizität kann mithin jetzt auch in die Reihe der schwerarbeitenden Mächte eintreten.«

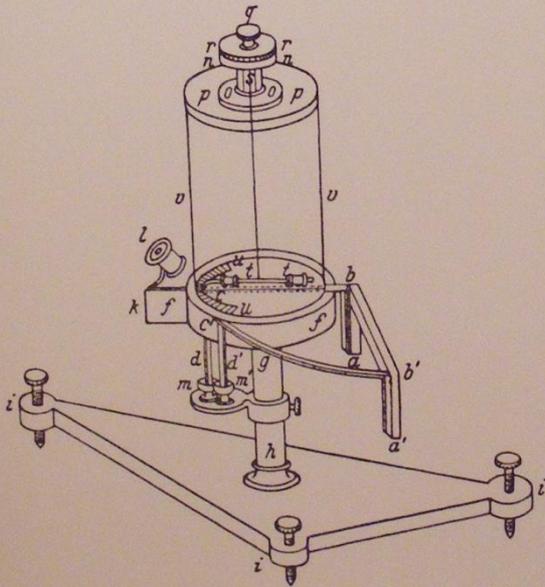
Werner von Siemens (1880)



### Georg Simon Ohm

\* 1789 Erlangen  
† 1854 München

Physiker. Erforscht den Zusammenhang von Strom und Spannung im Widerstand (Ohm'sches Gesetz).



Ohm's Drehwaage (Torsions-  
amperemeter) mit angebautem  
Thermoelement.

Mit diesem Gerät entdeckt Ohm 1826 das  
Ohm'sche Gesetz.

### Ohm'sches Gesetz:

Die Stärke I eines durch einen Leiter von konstantem Widerstand R fließenden Stroms ist proportional der angelegten Spannung U.

$$I = \frac{U}{R}$$



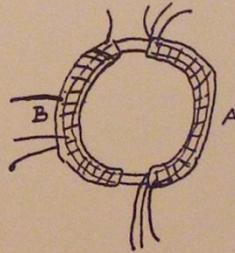
### Michael Faraday

\* 1791 Newington Butts bei London  
† 1867 Hampton Court bei London

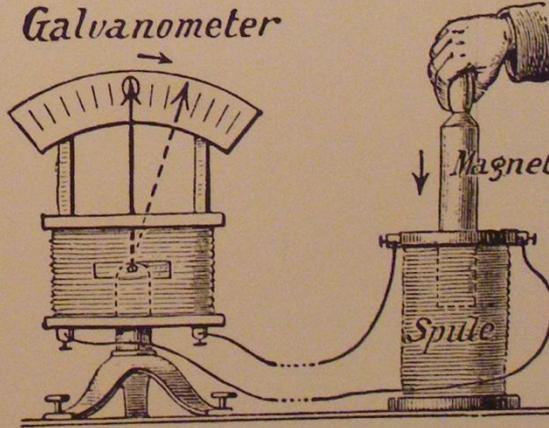
Physiker und Chemiker.  
Formuliert die Zahlengesetze zur  
Elektrolyse (Faraday'sche Gesetze),  
führt den Begriff des elektrischen und  
magnetischen Feldes ein, entdeckt die  
elektrische Induktion. Bereitet damit  
den Weg zum Generator und dem  
elektrischen Licht vor.

Zeichnung von M. Faraday: eine Spule,  
mit Eisenkern, deren beide Hälften  
jeweils mit Kupferdrähten umwickelt  
sind.

Er entdeckt, dass durch die Änderung des elektro-  
magnetischen Flusses in der Hälfte A eine  
Stromspannung in der Hälfte B entsteht.



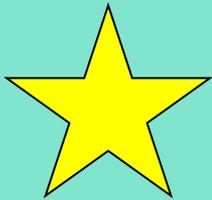
### Galvanometer



### Nachweis der Induktion:

Man steckt einen Magnetstab in eine draht-  
umwickelte Spule, deren Enden mit einem  
Galvanometer verbunden sind. Die Kraftlinien  
des Magnetstabs durchschneiden die einzelnen  
Windungen des Leiters (Draht) und erzeugen  
einen Induktionsstrom. Dieser wird am Galvano-  
meter angezeigt.





### Johann Wilhelm Ritter

\* 1776 Samitz (Schlesien)  
† 1810 München

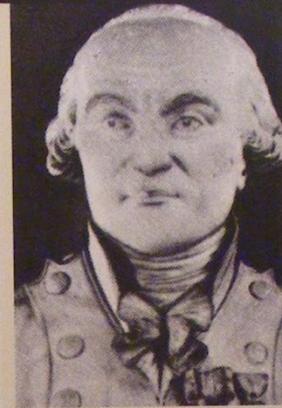
Physiker. Findet den Zusammenhang zwischen galvanischen und chemischen Prozessen und begründet damit die Elektrochemie. Ahnt das Ohm'sche Gesetz voraus.

*Handwritten text in German script, likely a letter or report.*

**Ritters Handschrift:**  
Er berichtet über seinen Besuch bei Alessandro Volta.

Bei Verzweigungen verhalten sich die Ströme umgekehrt wie die Widerstände.  
J.W. Ritter formuliert das 1805 so:

*»Die Action theilt sich in beyde, ja sie thut es noch, wenn selbst die Leitung des längeren eine schlechtere ist, sie theilt sich nach dem Verhältnis beyderseitiger Leitung in sie.«*

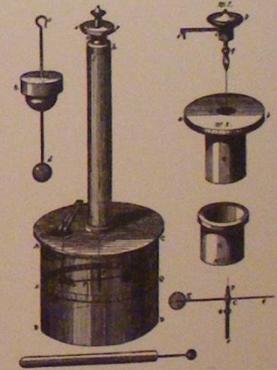


### Charles Augustin Coulomb

\* 1736 Angoulême  
† 1806 Paris

Physiker und Ingenieuroffizier. Erforscht die Anziehungskraft geladener Körper (Coulomb'sches Gesetz).

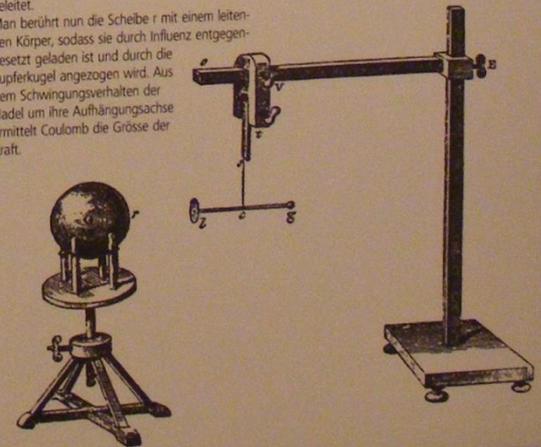
Coulombs elektrische Waage.



#### Coulombs Versuchsanordnung zur Bestimmung der Kraftgesetze für die elektrische Anziehung (1785):

Eine Schellacknadel mit einer Goldpapierscheibe am einen Ende hängt an einem Seidenfaden. Eine Kupferkugel auf vier Glasstäben wird auf der Höhe der Nadel justiert. Mit einer Verstärkerflasche wird ein elektrischer Funke auf die Kugel geleitet.

Man berührt nun die Scheibe *r* mit einem leichten Körper, sodass sie durch Influenz entgegengesetzt geladen ist und durch die Kupferkugel angezogen wird. Aus dem Schwingungsverhalten der Nadel um ihre Aufhängungsachse ermittelt Coulomb die Größe der Kraft.



# Die Batterie

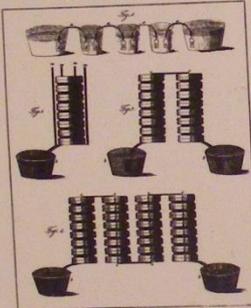


## Alessandro Volta

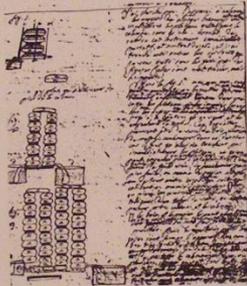
\* 1745 Como  
† 1827 Como

Physiker. Erforscht die Elektrizität, konstruiert 1800 die Volta'sche Säule, die erste Batterie.

Volta führt die Arbeit von Luigi Galvani fort und macht bahnbrechende Entdeckungen auf dem Gebiet der Elektrizität. Er stellt die Spannungsreihe der Metalle auf und von ihm stammt der Begriff des elektrischen Stromes.



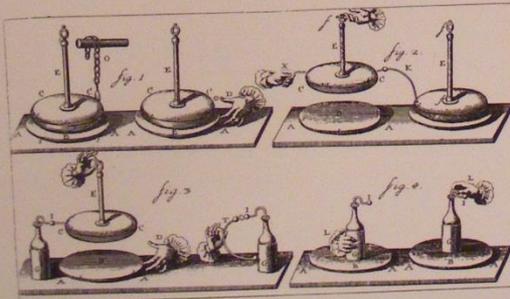
Volta'sche Säule und »Tassenkrone«  
(um 1800).



In diesem Brief gibt Alessandro Volta die Erfindung der Batterie bekannt: mit einer Reihe von Schalen, die mit einer Salzlösung gefüllt sind, und einem Draht, dessen Enden aus Kupfer bzw. Zink bestehen, lässt sich Strom erzeugen. Später entwickelt er die »Volta'sche Säule«: ungleichartige Metallplättchen zwischen salzwassergetränkten Pappscheiben geben Strom ab.

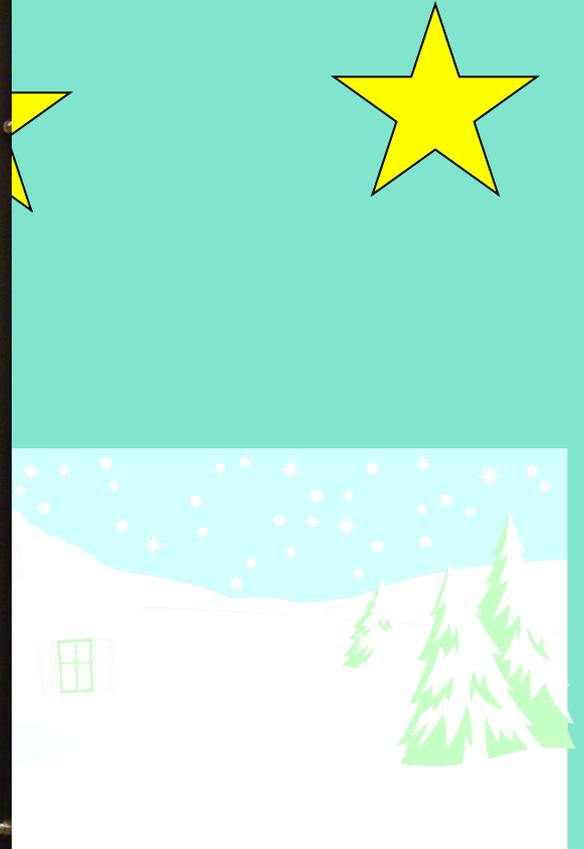
»Diese Versuche beschäftigen sich mit derjenigen Art von Elektrizität, welche durch bloss wechselseitige Berührung verschiedenartiger Metalle, ja selbst anderer Leiter erregt wird, die gleichfalls unter sich verschieden sein müssen und flüssig oder mit Flüssigkeit durchtränkt sein können, welchem Umstand sie dann eigentlich ihr Leitungsvermögen verdanken. Das Hauptergebnis meiner Versuche ist die Herstellung eines Apparates, welcher in Anbetracht der Erschütterungen, die er in den Gliedmassen hervorzurufen vermag, an eine Leydener Flasche erinnert oder vielmehr an schwach geladene Batterien, die indessen ohne Unterbrechung wirken würden, oder deren Ladung sich nach jeder Entladung von selbst wiederherstellen würde – mit einem Wort: Batterien mit unzerstörbarer Ladung. Im Übrigen weicht jener Apparat aber von einer Batterie wesentlich ab, und zwar nicht nur darin, dass er eine beständige Wirkung äußert. Während nämlich die elektrischen Flaschen und Batterien aus einer oder aus mehreren isolierenden Platten oder aus dünnen Schichten derartiger Stoffe bestehen, welche allein als Sitz der Elektrizität gelten und mit Leitern oder so genannten anelektrischen Stoffen belegt sind, besteht dieser Apparat einzig und allein aus mehreren dieser letzteren Stoffe.«

Alessandro Volta



**Volta'sche Elektrophor (Elektrizitätsträger):** In einen Zinnteller gießt er eine erhitzte Mischung von Harz, Terpentin, Kolophonium und Wachs und lässt sie erkalten. Den oberen Teil bildet eine vergoldete Holzscheibe, in der er einen Stiel aus Glas oder Siegellack befestigt. Das Ganze steht auf einer Holzplatte.

Fig. 1: Das Aufladen des Geräts und der Ladungsausgleich zwischen Daumen und Zeigefinger.  
Fig. 2: Ein zweiter Elektrophor wird durch den ersten nach Abheben des Deckels durch Funken Schlag aufgeladen.  
Fig. 3: Aufladung mit einer Verstärkungsflasche.  
Fig. 4: Wenn Ladungsverluste auftreten (Luftfeuchtigkeit) lässt sich der Elektrophor durch Reiben des Harzkuchens mit einer geladenen Verstärkungsflasche regenerieren.



# Frosch-Versuche



## Luigi Galvani

\* 1737 Bologna  
† 1798 Bologna

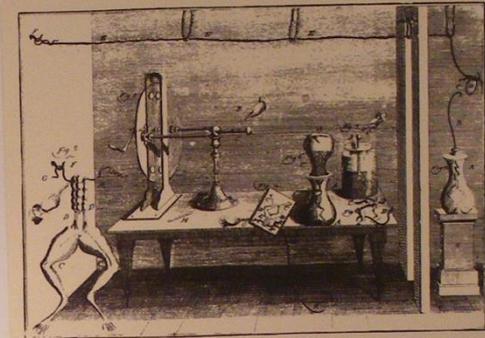
Arzt und Naturforscher. Entdeckt 1789 in seinen Froschschenkelversuchen Erscheinungen, die er (irrtümlicherweise) auf elektrische Entladungen im tierischen Körper zurückführt. Seine Arbeit setzt wichtige Impulse und regt verschiedene Geister zum Studium der elektrischen Impulse an Nerven und Muskeln an. Galvani betreibt zunächst Studien über die Harngefäße und Gehörorgane der Vögel. Berühmt wird er durch seine Reizversuche an Froschschenkeln, deren Zuckungen nach Metallkontakten er als »tierische Elektrizität« beschreibt, aber falsch interpretiert. Erst Alessandro Volta erklärt die Erscheinungen akkurat, was zur Erfindung der galvanischen Elemente und zum Aufkommen des Galvanismus (Voltaismus) führt, und in der Begründung der Elektrochemie mündet. Galvanis Arbeiten setzen wichtige Impulse und regen verschiedene Geister zum Studium der elektrischen Nerven und Muskeln an.



Galvani als Zeichner

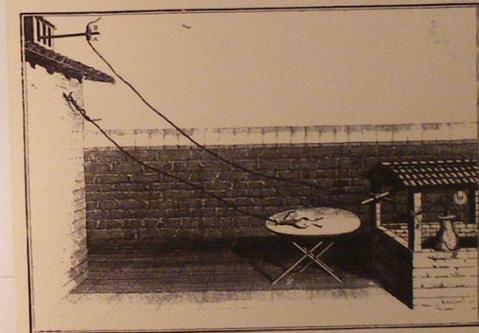
»Ich zerlegte einen Frosch, präparierte ihn und legte ihn auf einen Tisch, auf dem eine Elektrisiermaschine stand. Als nun die eine von den Personen, die mir zur Hand gingen, mit der Spitze eines Messers die Schenkelnerven des Frosches zufällig ganz leicht berührte, zogen sich alle Muskeln an den Gelenken wiederholt derartig zusammen, als wären sie von heftigen Krämpfen befallen. Der andere aber, welcher mir bei den Elektrizitätsversuchen behilflich war, glaubte bemerkt zu haben, dass sich dies ereignet habe, während dem Konduktor der Maschine ein Funke entlockt wurde. Verwundert über diese neue Erscheinung machte er mich, der ich etwas ganz anderes vor hatte und in Gedanken versunken war, darauf aufmerksam. Ich berührte daher selbst mit der Messerspitze den einen oder den anderen Schenkelnerve, und gleichzeitig entlockte einer der Anwesenden dem Konduktor einen Funken. Unfehlbar traten heftige Zuckungen in dem Augenblicke ein, in dem der Funke übersprang.«

Luigi Galvani



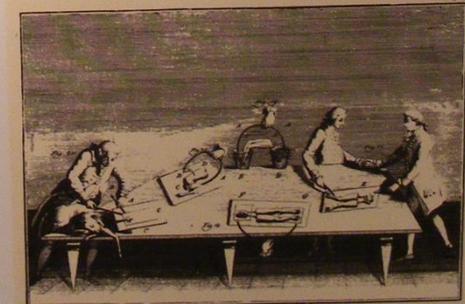
### Galvanis erster Versuch:

Reizung der Froschmuskeln durch künstliche Elektrizität (Elektrisiermaschine).



### Galvanis zweiter Versuch:

Reizung der Froschmuskeln durch natürliche Elektrizität – auch die Wolkenelektrizität bringt die Froschschenkel zum Zucken.



### Galvanis dritter Versuch:

Metalbögen an Nerv und Muskel bringen die Froschschenkel zum Zucken.

# Die Elektrizität wird praktisch

S 4 / 14

## Ein Längsschnitt durch das 19. Jahrhundert

Bis gegen Ende des 18. Jh. wird nur mit ruhenden elektrischen Ladungen experimentiert. Praktische Anwendungen folgen erst um 1800: Alessandro Volta findet einen Weg, durch chemische Vorgänge ständig fließende elektrische Ströme zu erzeugen. Die »Volta'sche Säule« ist die erste Batterie – es wird möglich, die chemische, die magnetische und die thermische Wirkung elektrischer Ströme zu untersuchen.

Michael Faraday schafft mit dem anschaulichen Begriff des elektrischen und magnetischen Feldes die gedankliche Voraussetzung für weitere Theorien. 1831 entdeckt er die Induktion, d.h. die Erzeugung von elektrischem Strom durch Magnete und Bewegung. Damit schafft er die Grundlagen für die praktische Anwendung, für Generator und Elektromotor, wie sie Siemens, Tesla und Westinghouse im größeren Masstab entwickeln und herstellen.

Mit Telegraf und Telefon beginnt die elektrische Nachrichtentechnik, Edisons Glühlampe setzt sich als Lichtquelle durch.

Dem genialen Theoretiker James Clark Maxwell gelingt es, Faradays anschauliche Vorstellungen in einem System von Gleichungen mathematisch auszudrücken. Beim Versuch, die Maxwell'sche Theorie zu beweisen, erkennt Heinrich Hertz, dass sie die Existenz elektromagnetischer Wellen voraussagt. 1886 schafft er es, solche Wellen zu erzeugen und zu empfangen.

Gegen 1900 erkennt man den Zusammenhang elektrochemischer und elektromagnetischer Erscheinungen mit geladenen Teilchen: Das Elektron wird entdeckt.

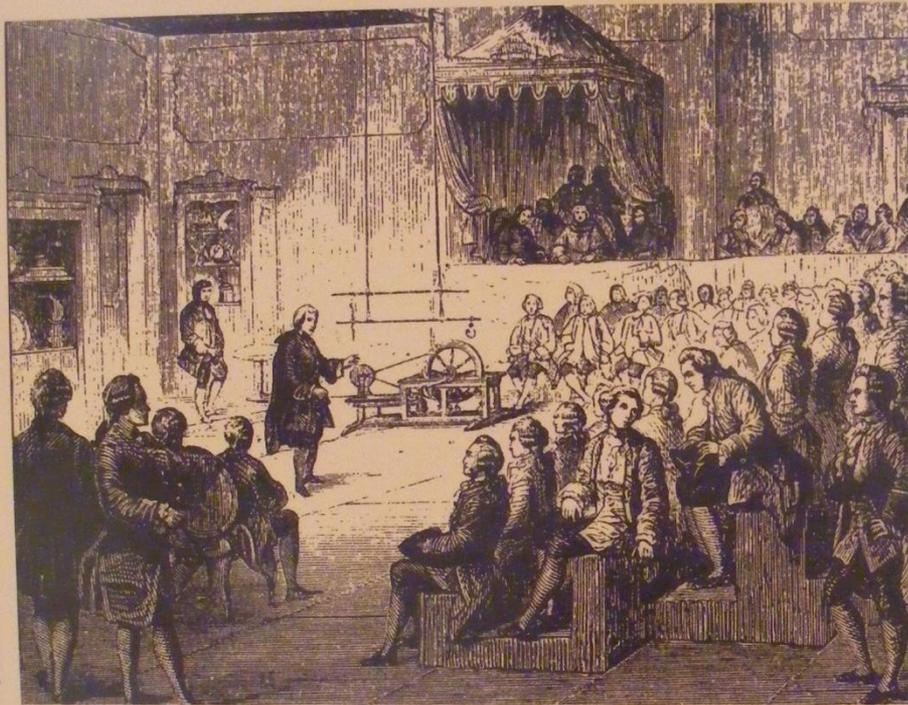
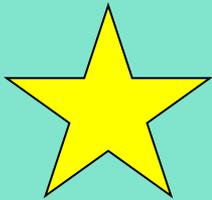


Alessandro Volta führt 1801 dem Ersten Konsul Napoleon Bonaparte und verschiedenen französischen Wissenschaftlern seinen Elektrophor und seine Säule vor.  
(Lithographie, 19. Jh. Foto: Deutsches Museum München).

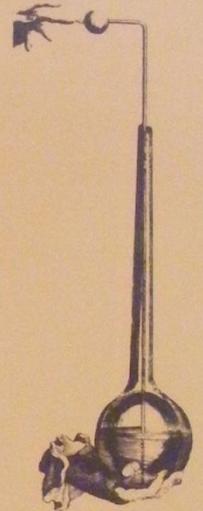
*»Ich habe das Vergnügen, Ihnen einige Staunen erregende Ergebnisse mitzuteilen, zu welchen ich im Verfolg meiner Versuche gelangt bin.«*

Alessandro Volta





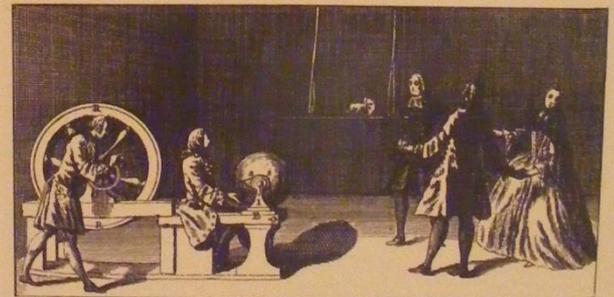
**Öffentliche Veranstaltung in Frankreich (um 1750):**  
Ein »experimenteller Philosoph« führt elektrische Experimente mit einer Elektriziermaschine vor.



**Verstärkungs- oder Erschütterungs-  
flasche als Kondensator:**  
Das Gefäß ist mit Wasser gefüllt, dem ein Metall-  
rohr elektrische Ladung zuführt. Außen- und  
Innenseite der Flasche lassen sich entgegense-  
tzt aufladen. Dieses Verstärkungsprinzip führt  
bei Entladungen zu heftigen Erschütterungen des  
menschlichen Körpers  
(18. Jh.).



**Charakteristische Experimente um 1750:**  
Gerichtete Fortleitung. Von der Elektriziermaschine  
wird die elektrische Kraft durch den Konduktor zu  
der isoliert stehenden Person mit Degen weiter-  
geführt, um den Alkohol zu entzünden.



**Entladung im Kreis (Kupferstich, um  
1750):**  
»Experimentelle Philosophen« demonstrieren  
ihre Macht über die Kräfte der Natur und die  
Menschen: Sie lassen Menschen zucken, ja sogar  
einen Kreis von 180 Soldaten oder 700 Mönchen  
durch Entladungen in die Luft hüpfen. Durch der-  
artige Experimente gewinnt die Elektrizität immer  
größere Beachtung.

# Magnetismus und Anfänge der Elektrizität

S3/46

## Elektrische Experimente: Ein neues Gesellschaftsspiel

Lange bevor man sich in Europa damit beschäftigt, benutzen die Chinesen ihr Wissen über natürlich vorkommende Magnete für die Erfindung des Kompasses. Er kommt im Hochmittelalter nach Europa, wo seltsame Sagen um die Magnetberge kursieren. Aber erst im 17. Jahrhundert macht William Gilbert den Magneten zum Forschungsthema. Sein Buch »De magnet« beschreibt Beobachtungen rund um den Magnetismus und erwähnt auch erstmals das Wort »Elektrizität«.

Die Elektrizität durch Reibung ist altbekannt: allerdings sieht man in der Reibungselektrizität und anderen elektrischen Phänomenen, wie etwa dem Blitz, nicht dieselbe Naturkraft wirken. Otto von Guericke erforscht als Erster die elektrischen Phänomene und zeigt, wie man gezielt Reibungselektrizität erzeugen kann.

Elektrizität und Magnetismus finden im 17. Jahrhundert noch keine technische Nutzung – sie schmücken die »Naturalienkabinette« reicher Dilettanten, die damit Abwechslung in ihre Gesellschaftsabende bringen.

An eine tiefere Verbindung der beiden Bereiche denkt noch niemand.



Katastrophe am Magnetberg  
(Holzschnitt aus »Herzog Ernst«, um 1450).

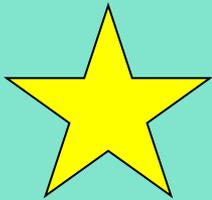


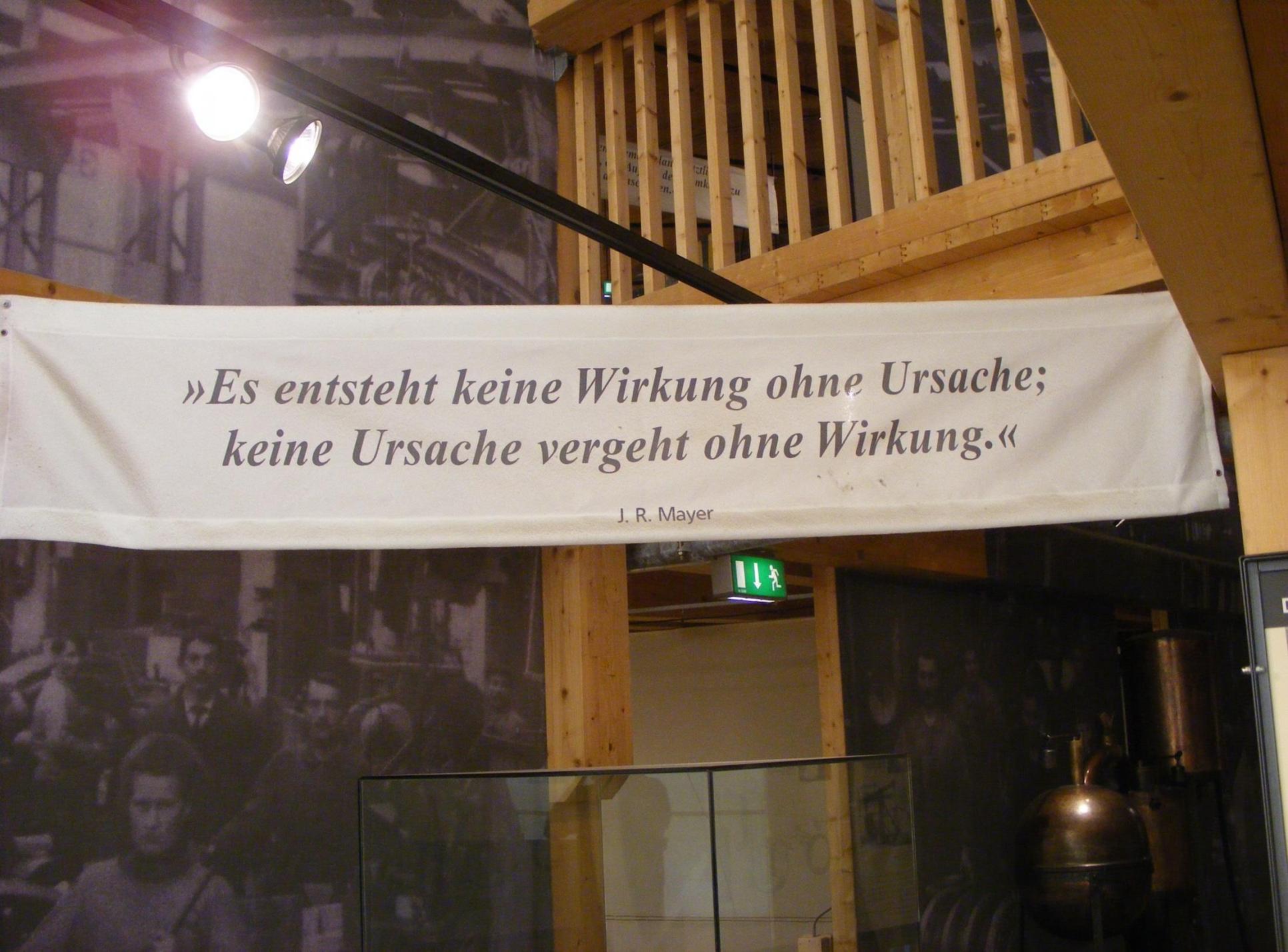
LAPIS FOLARIS MAGNET.  
Lapis reclusus iſte Flauto abſtinet.  
Pis. juan hanc anorem, at ipse nauat.

Die Chinesen kennen schon sehr früh die richtungsweisende Eigenschaft des Magnetsteins. Im 12./13. Jahrhundert gelangt er über die Araber nach Europa und erhält im 13. Jahrhundert von italienischen Seefahrern seine endgültige Form als Magnetkompaß. Allerdings ist dieser für die Ortsbestimmung sehr ungenau, für die Navigation ist man weiterhin auf astronomische Instrumente angewiesen.

Bild: links vorne ein Magnetstein, der auf einem Brett in einem wassergefüllten Gefäß liegt. Dahinter, auf dem Tisch, Kompaß mit Windrose und Winkel, Klappsammlung, Sextant (Sechstelmößkreis) und eine Armillarsphäre mit den Hauptkreisen des Himmels. In der Mitte ein Forscher bei der Arbeit.  
(Kupferstich, um 1580; Foto: Deutsches Museum München).

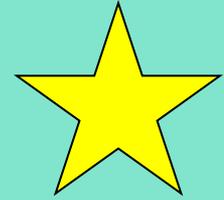
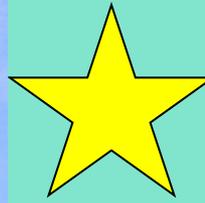






*»Es entsteht keine Wirkung ohne Ursache;  
keine Ursache vergeht ohne Wirkung.«*

J. R. Mayer



Elbauenpark in Magdeburg, ehemalige BUGA  
Ausstellung im Jahrhundertturm

# Herleitung der Laplace-Gleichung für das elektrische Feld

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$$

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} V$$

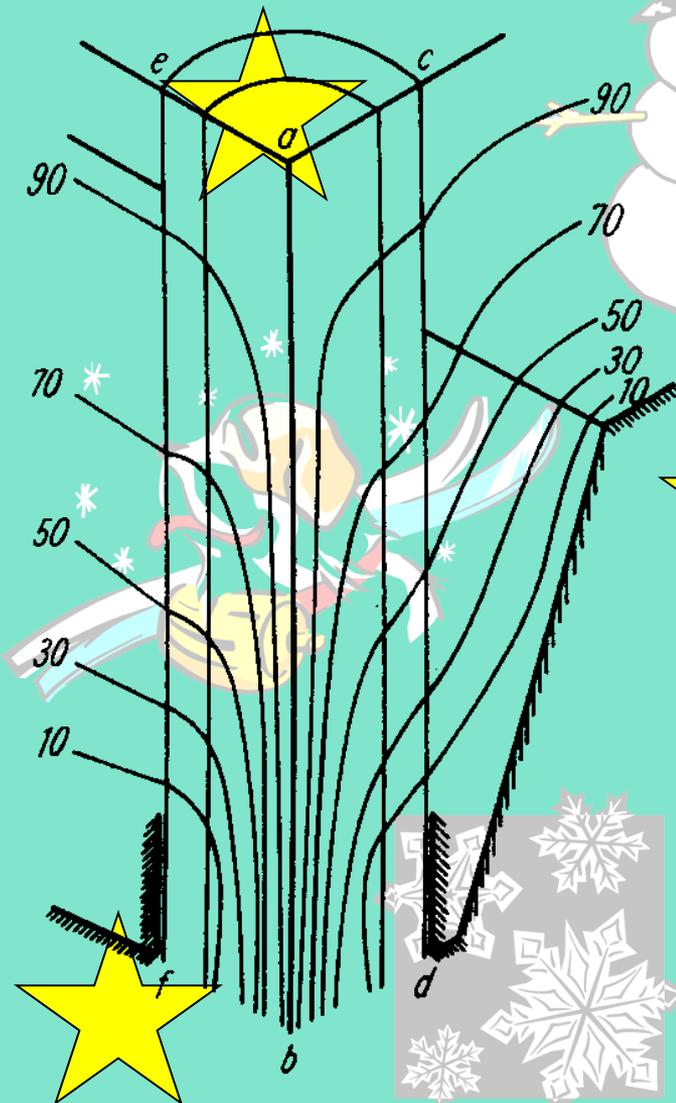
$$- \operatorname{div} \epsilon \cdot \operatorname{grad} V = \rho$$

$$\operatorname{div} \operatorname{grad} V = -\frac{\rho}{\epsilon}$$

und somit bei  $\rho=0$

$$\Delta V = 0$$

# Beispiel für Elektrisches-Feld-Berechnung



Verteilung des elektrostatischen Potentials in der Umgebung eines in einem geerdeten Trog stehenden Porzellanisolators

# Herleitung der Feldgleichungen für das magnetische Feld

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j}$$
$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

$$\vec{B} \stackrel{!}{=} \text{rot } \vec{A}$$

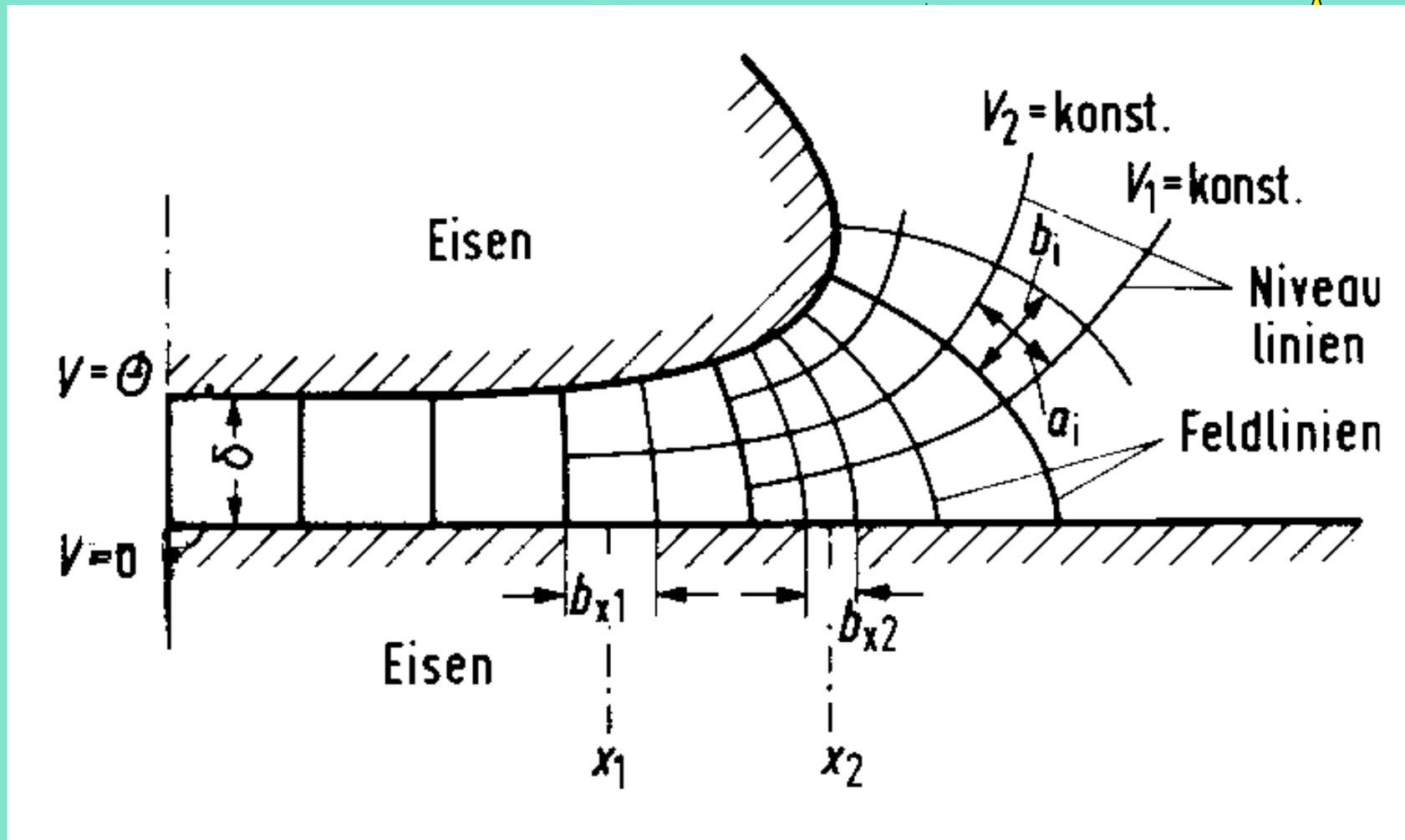
$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \cdot \text{rot } \vec{A}$$

$$\text{rot rot } \vec{A} = \mu \cdot \vec{j}$$

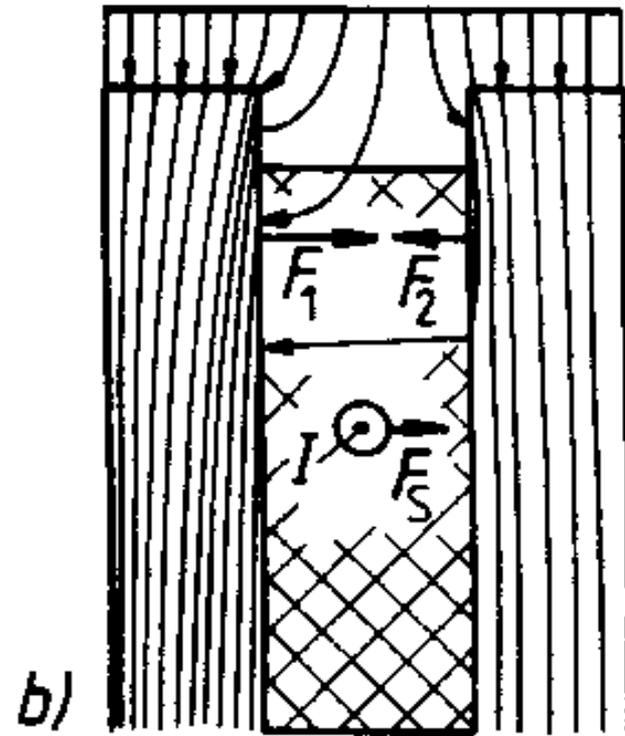
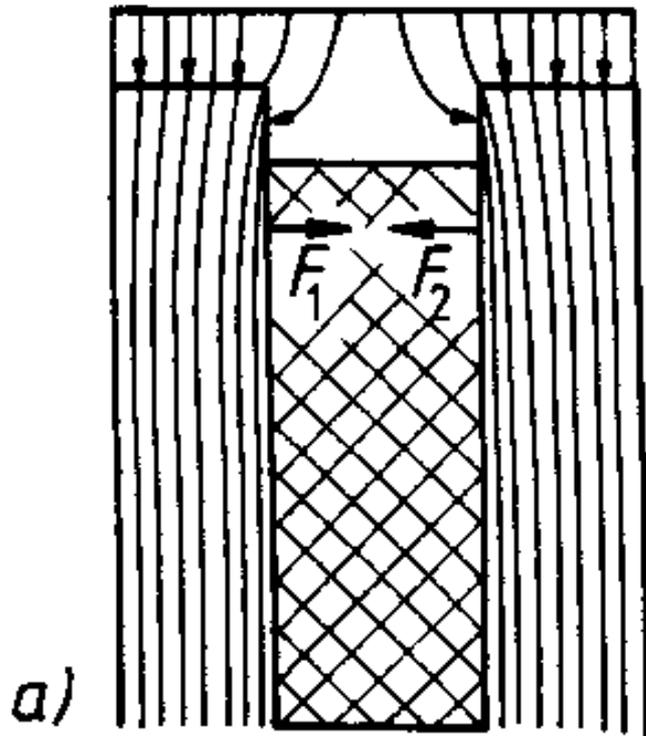
$$\text{rot rot } \vec{A} = \text{grad div } \vec{A} - \Delta \vec{A} = \mu \vec{j}$$

und da  $\text{div } \vec{A} = 0$

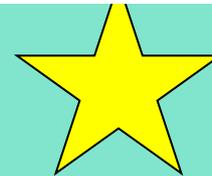
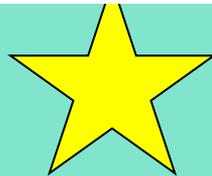
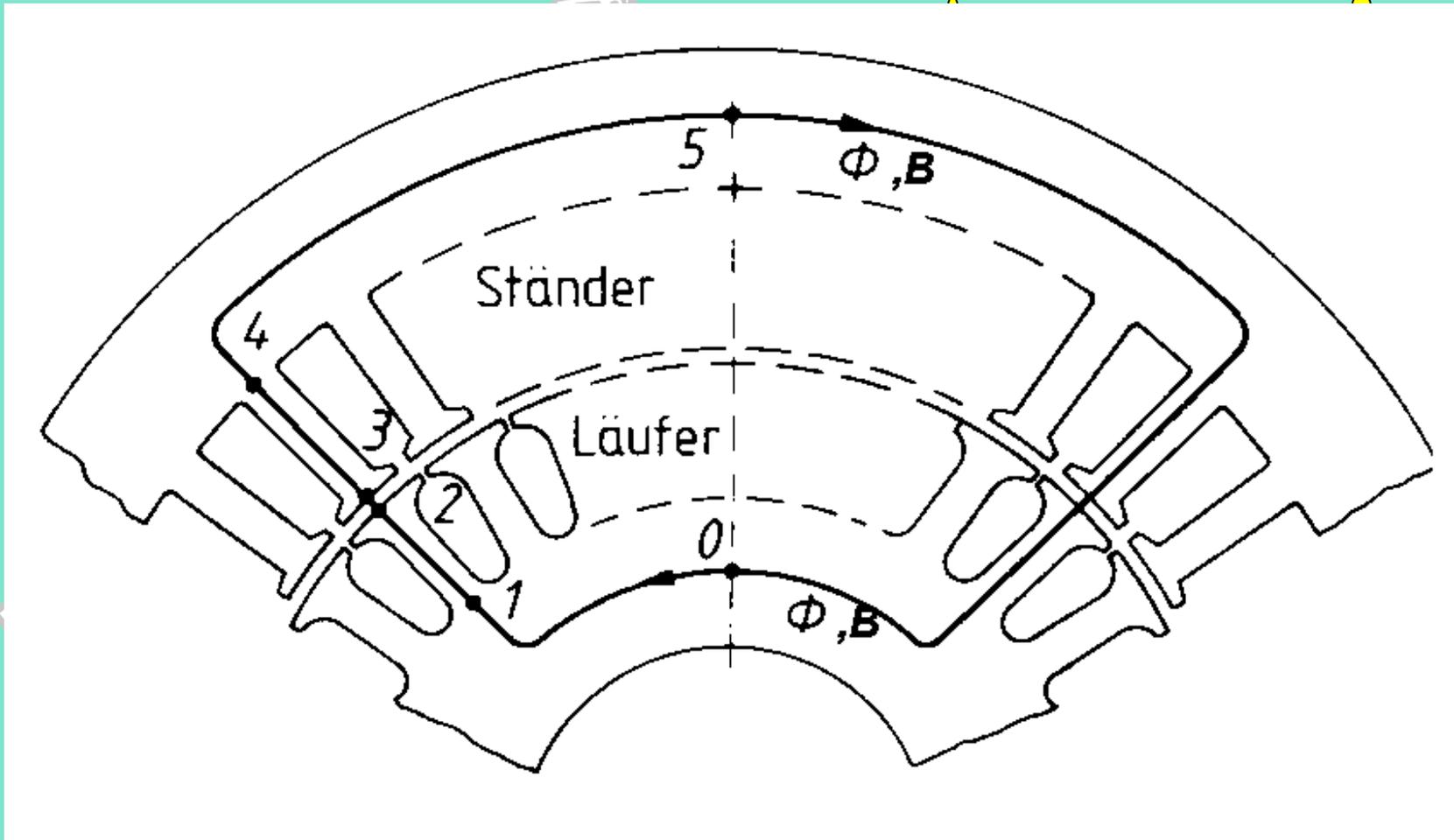
$$\Delta \vec{A} = -\mu \vec{j}$$



**Graphische Feldbestimmung des magnetischen Feldes zwischen Schenkelpol und Eisenoberfläche**

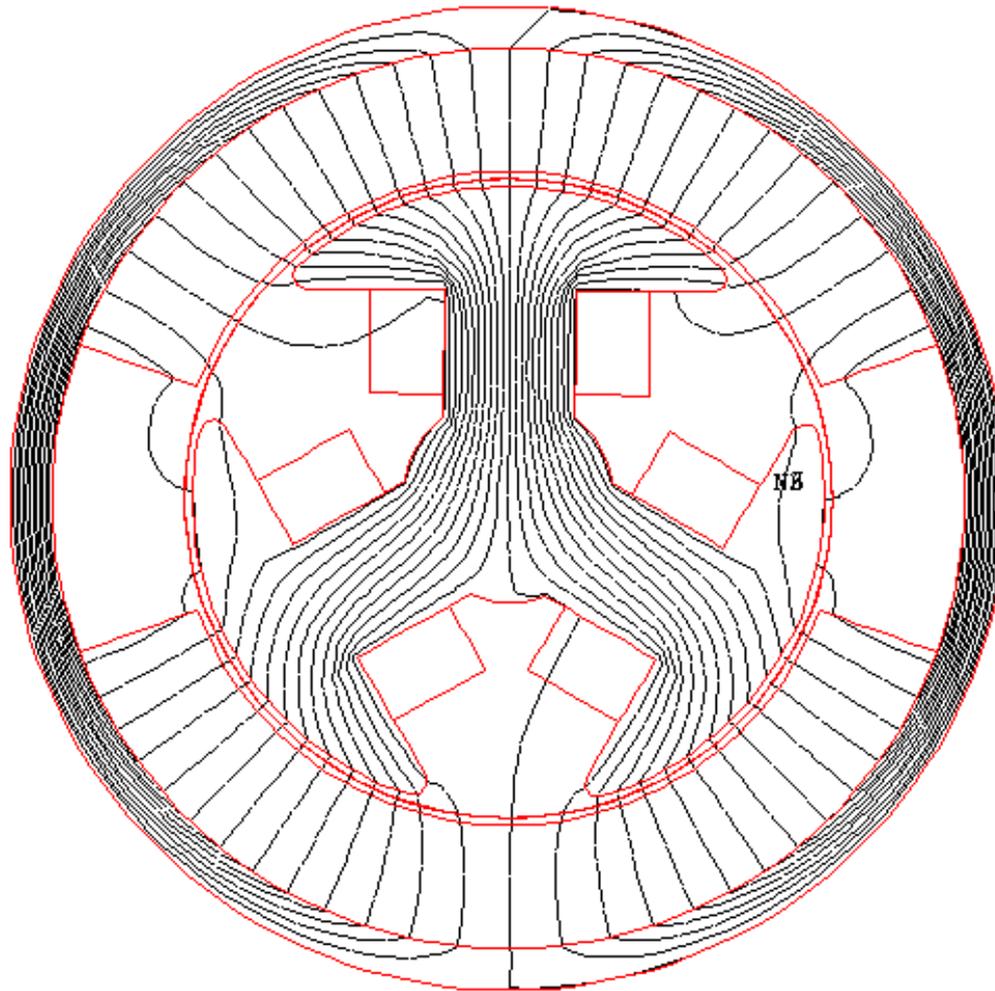


**Kraftwirkung im homogenen Magnetfeld bei Anwesenheit eines Stromes**



**Magnetischer Kreis am Beispiel einer Asynchronmaschine**

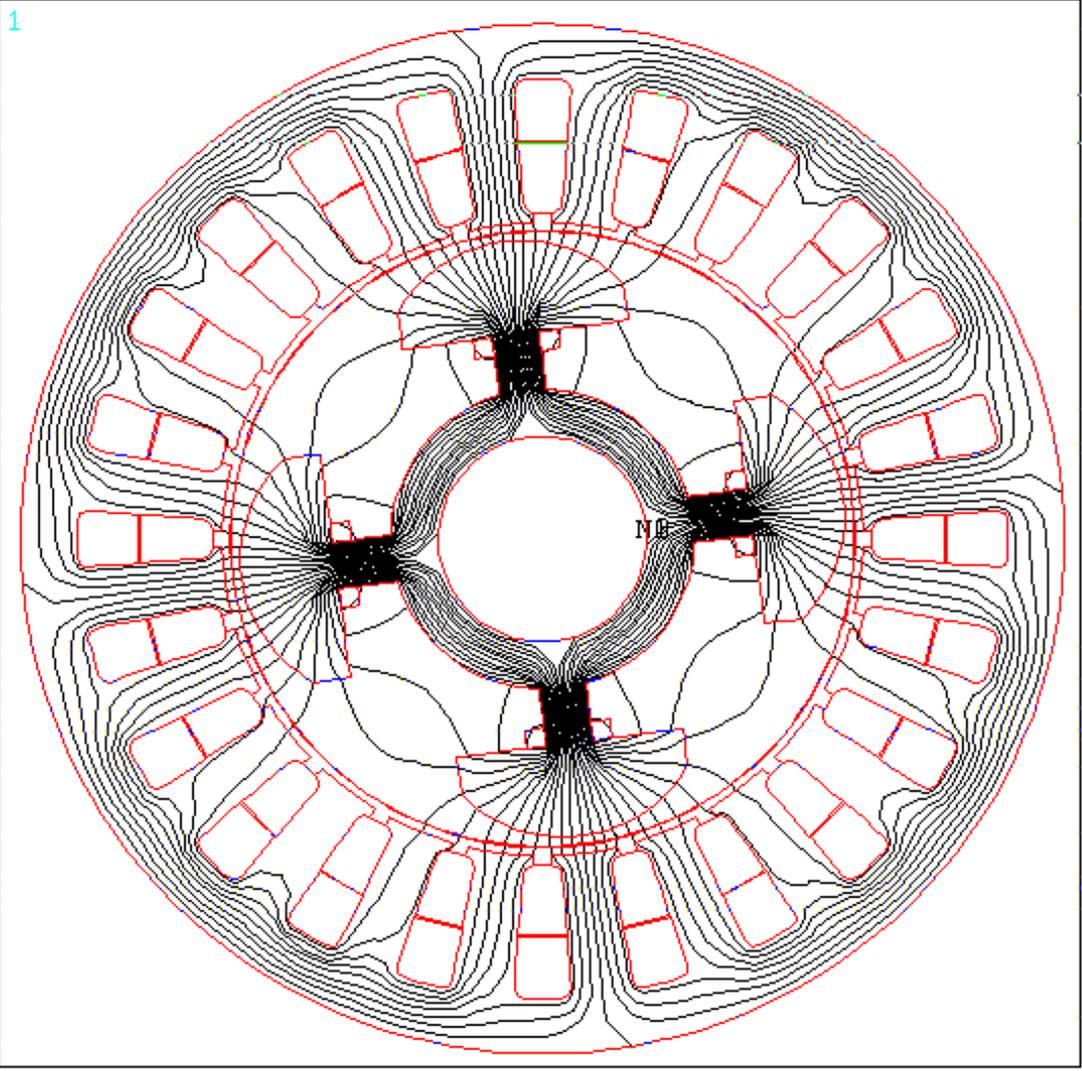
1



```
ANSYS 5.5.3
JAN 12 2000
10:16:47
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
AZ
RSYS=0
SMN =-.003878
SMX =.003885
-.003734
-.003447
-.003159
-.002584
-.002297
-.001722
-.001434
-.859E-03
-.572E-03
.335E-05
.291E-03
.578E-03
.001153
.001441
.002016
.002304
.002879
.003166
.003741
```

**Magnetischer Kreis am Beispiel einer Gleichstrommaschine**

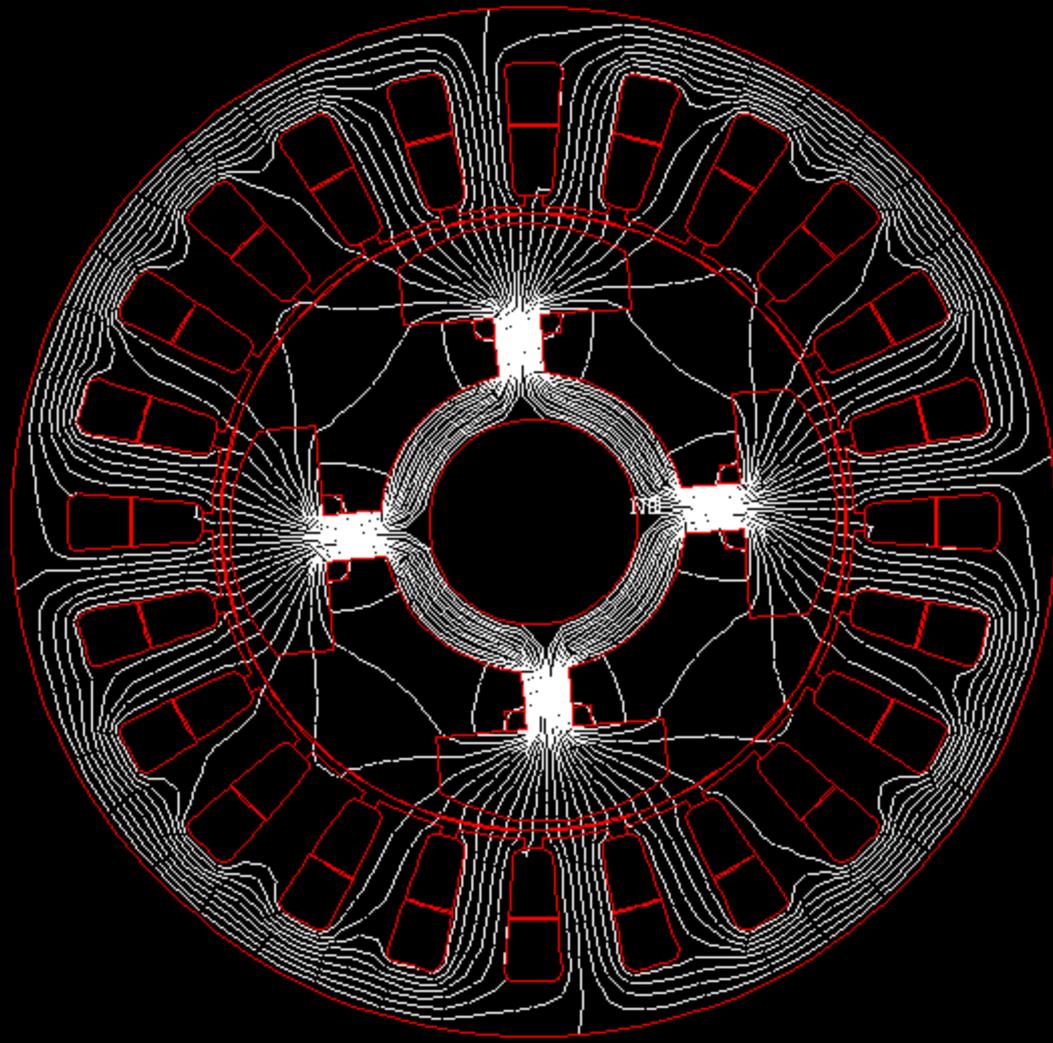
1



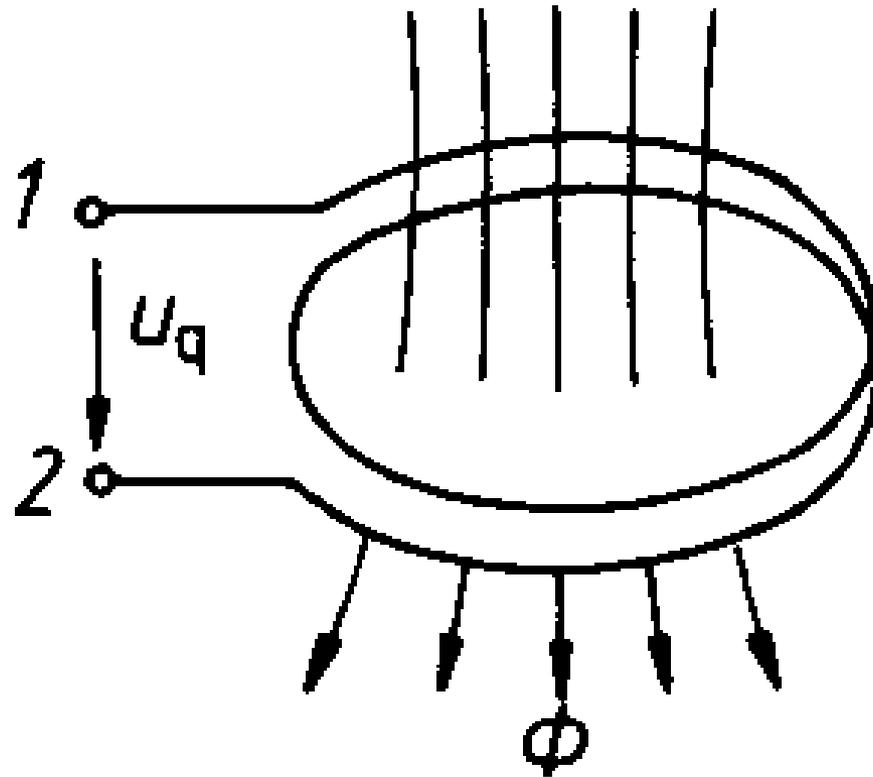
```
ANSYS 5.5.3  
JAN 10 2000  
16:24:42  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
AZ  
RSYS=0  
SMN =-.002031  
SMX =.002031  
-.001955  
-.001805  
-.001655  
-.001504  
-.001354  
-.001053  
-.903E-03  
-.752E-03  
-.602E-03  
-.301E-03  
-.150E-03  
-.218E-10  
.150E-03  
.451E-03  
.602E-03  
.752E-03  
.903E-03  
.001203  
.001354  
.001504  
.001655  
.001955
```

**Magnetischer Kreis am Beispiel einer Synchronmaschine**

1



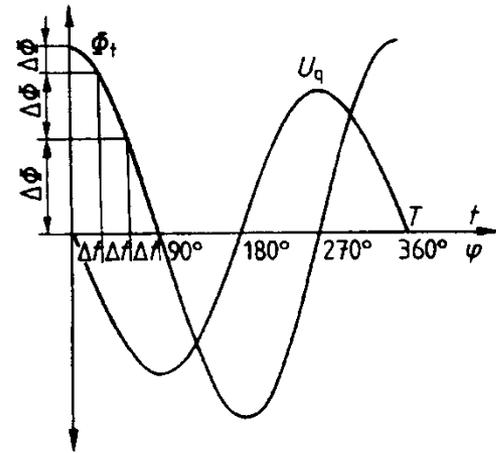
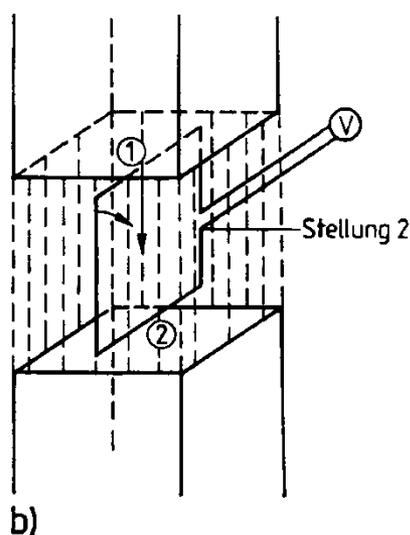
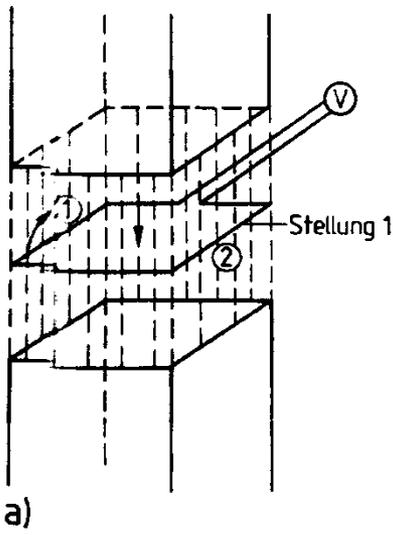
```
ANSYS 5.5.3
JAN 12 2000
16:46:19
PLOT NO. 146
NODAL SOLUTION
STEP=31
SUB =1
TIME=.001
AZ
RSYS=0
SMN =-.002224
SMX =.002224
      -.002141
      -.001977
      -.001812
      -.001647
      -.001318
      -.001153
      -.988E-03
      -.659E-03
      -.494E-03
      -.329E-03
      .158E-06
      .165E-03
      .330E-03
      .494E-03
      .824E-03
      .989E-03
      .001153
      .001483
      .001647
      .001812
      .002142
```



$$U_q = N \cdot \frac{d\phi(t)}{dt}$$

## Transformatorische Spannung:

Induzierte Spannung in einer Leiterschleife mit N Windungen bei sich zeitlich änderndem Fluß



- \* 1.1: Änderung des von einer Spule umfaßten magnetischen Flusses
- a) Fluß durchsetzt die ganze Spule
  - b) Fluß durchsetzt die Spule nicht

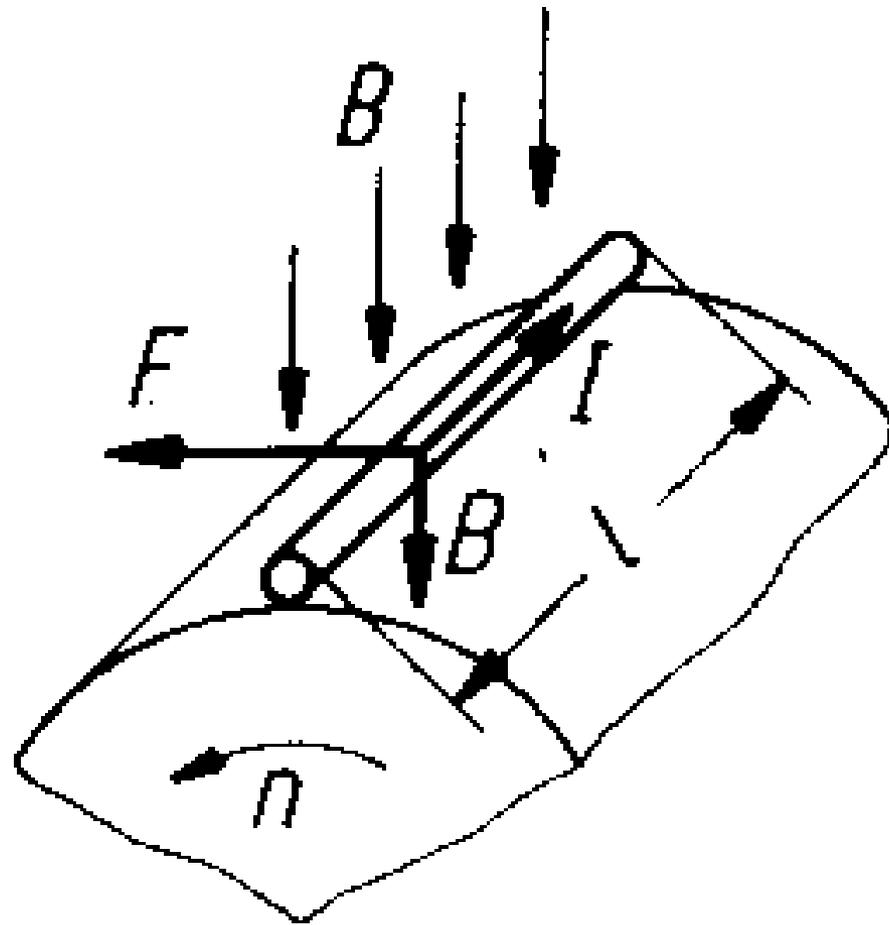
1.14 Flußänderung und Quellen-  
spannung

$$\Phi = l \cdot \int_{-x}^x B_x dx$$

$$U_B = N \cdot \frac{d\Phi_{xt}}{dt} = N \cdot \frac{d\Phi}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

## Bewegungsspannung:

Induzierte Spannung in einer Leiterschleife aufgrund von Bewegung am Beispiel einer rotierenden Leiterschleife

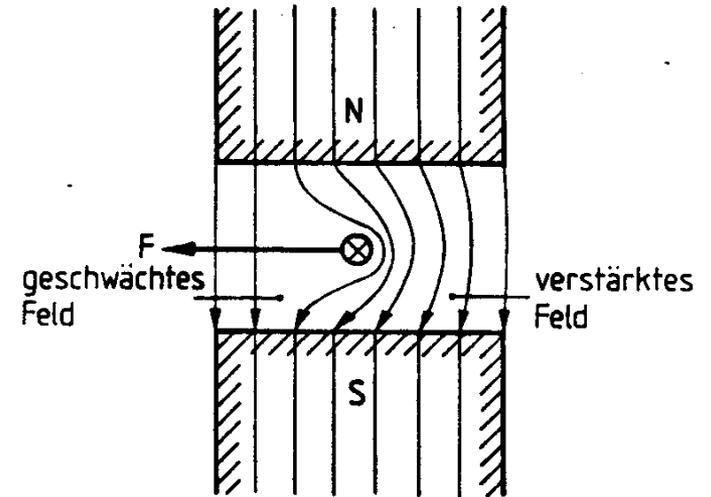
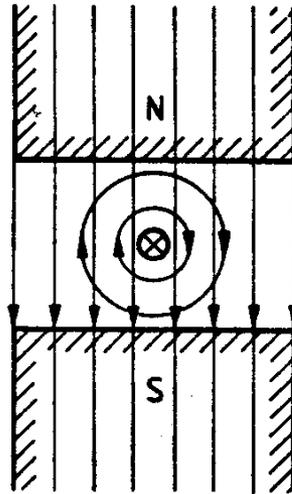


## Lorentzkraft:

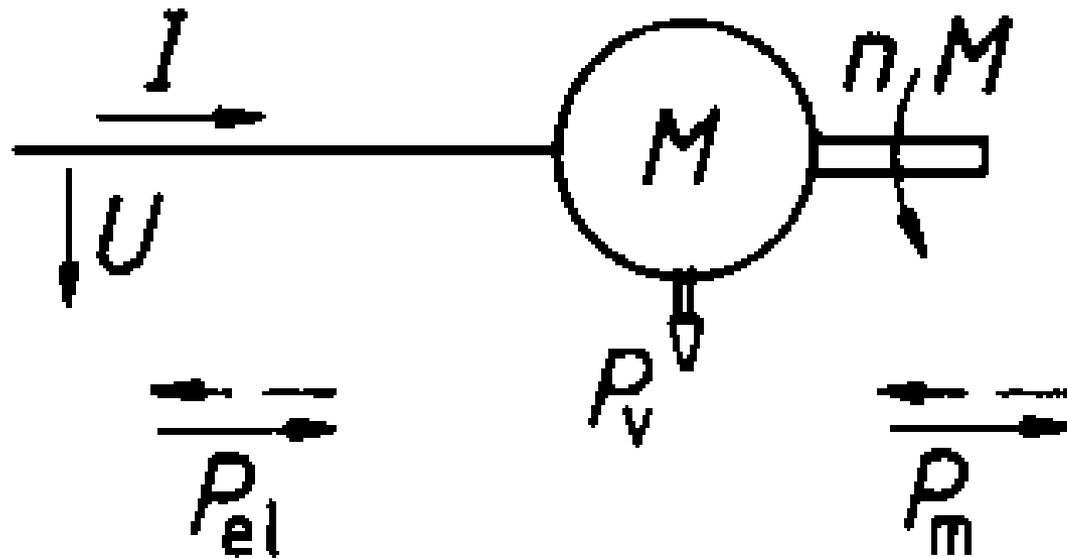
Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter aufgrund eines senkrecht zum Leiter stehenden magnetischen Feldes



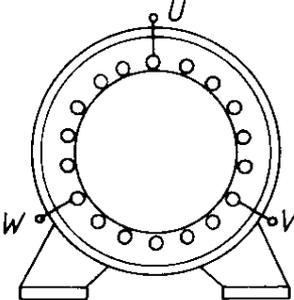
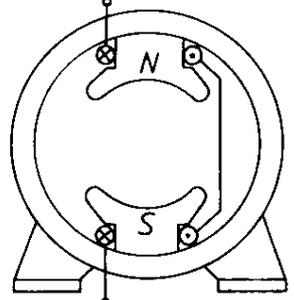
1.19  
Stromdurchflossene  
Leiterschleife  
im Magnetfeld



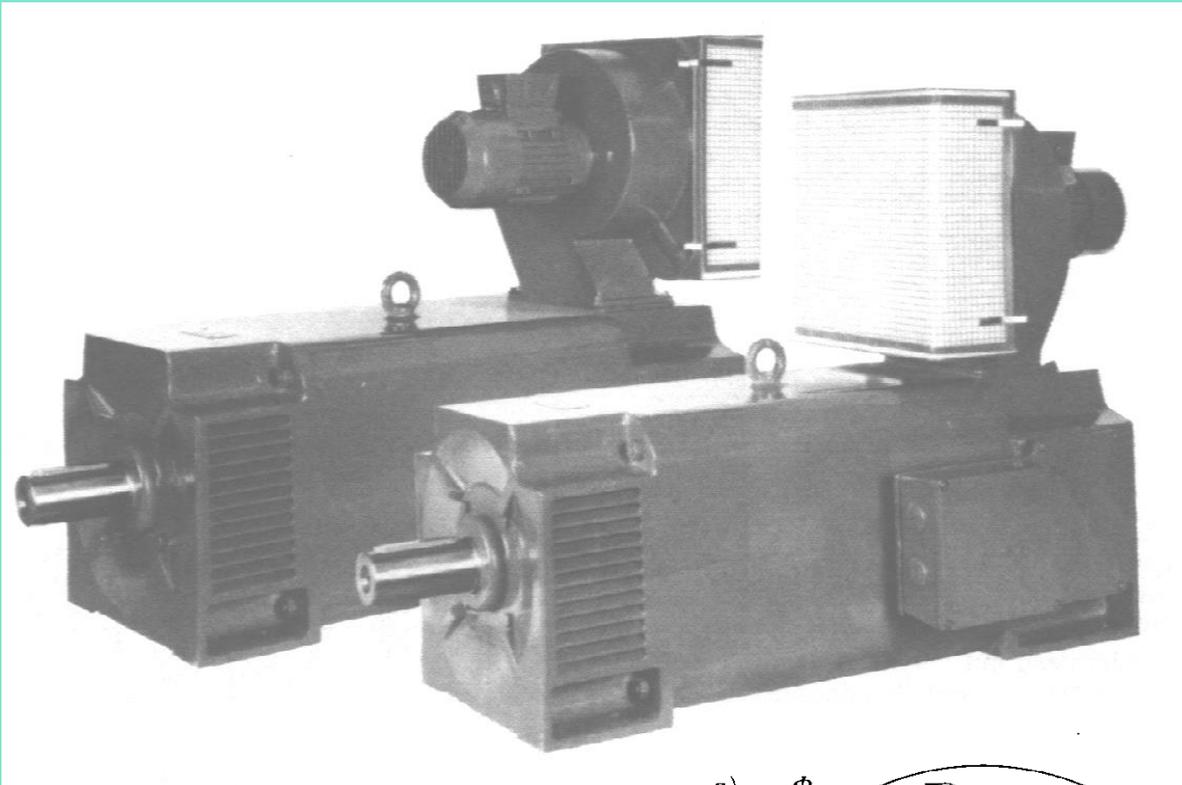
**Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter  
im homogenen Magnetfeld**



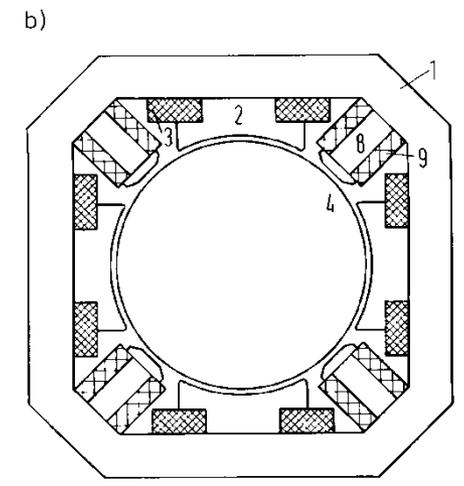
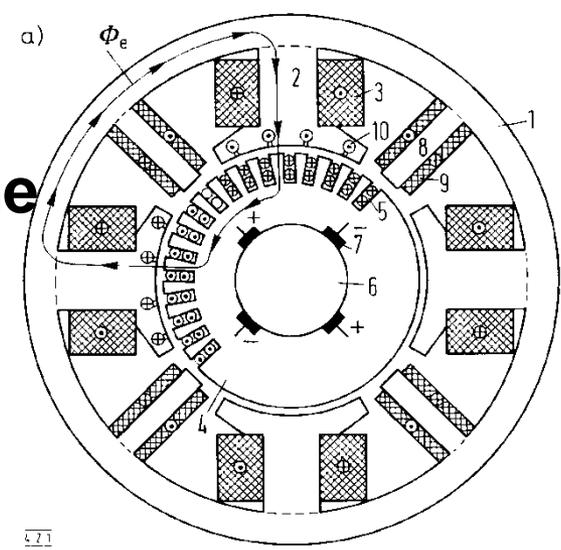
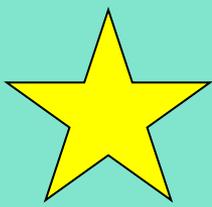
**Zusammenhang zwischen elektrischer und mechanischer Leistung bei rotierenden Maschinen**

Läufer mit Ständer mit	Käfigwicklung	Drehstrom- wicklung mit Schleifringen	Einzelpolen (auch Dauer- magnete)	Stromwender- wicklung
Drehstromwicklung 	Asynchron- Käfigläufer- Motor	Asynchron- Schleifring- läufer-Motor	Innenpol-Syn- chronmaschine	Drehstrom- Kommutator- Maschine
Einzelpolen 	Spaltpolmotor	Außenpol-Syn- chronmaschine	Schrittmotor	Gleichstrom- Maschine





# Die Gleichstrommaschine



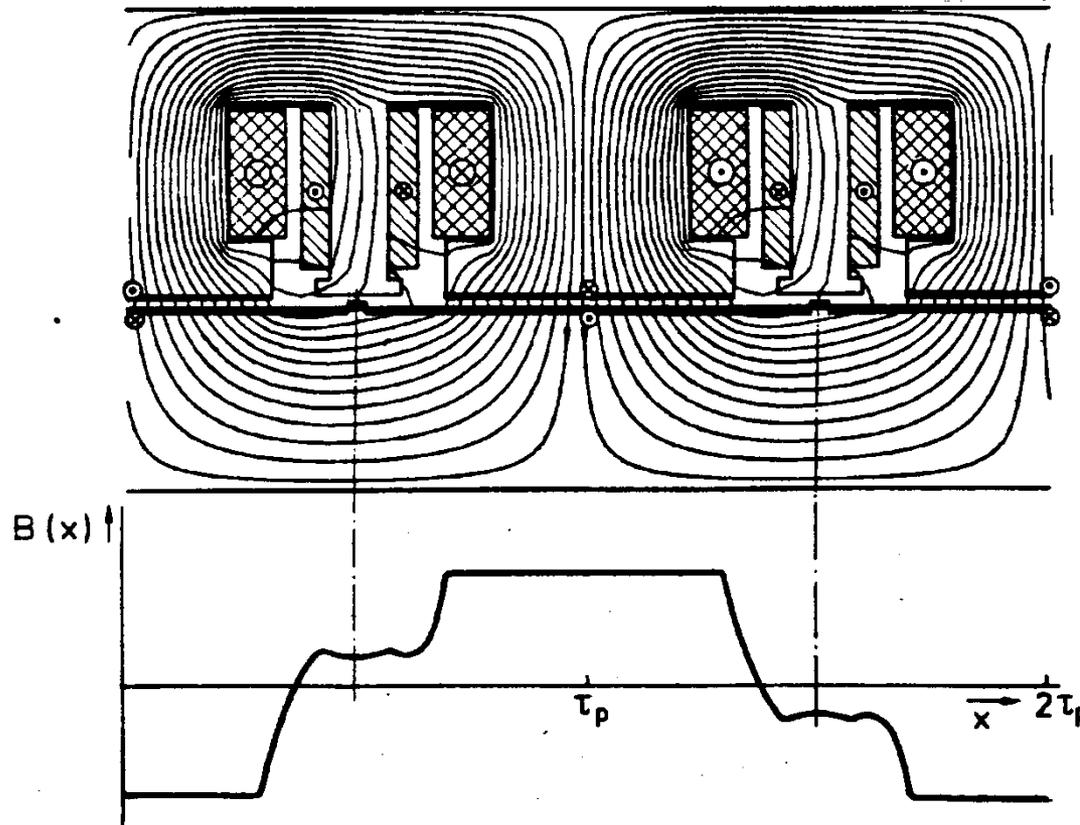
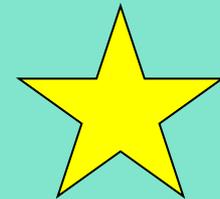


Abb. 19 Feldbild und Feldkurve des resultierenden Feldes, erzeugt von Erreger-, Anker-, Wendepol- und Kompensationsdurchflutung

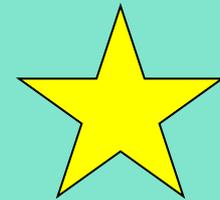


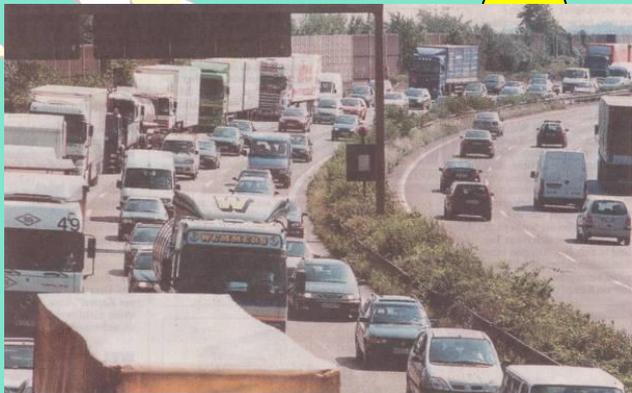
# Verkehrstechnik und Eisenbahnen

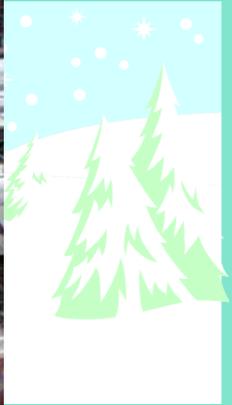
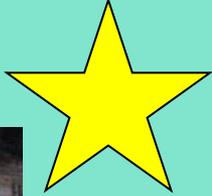


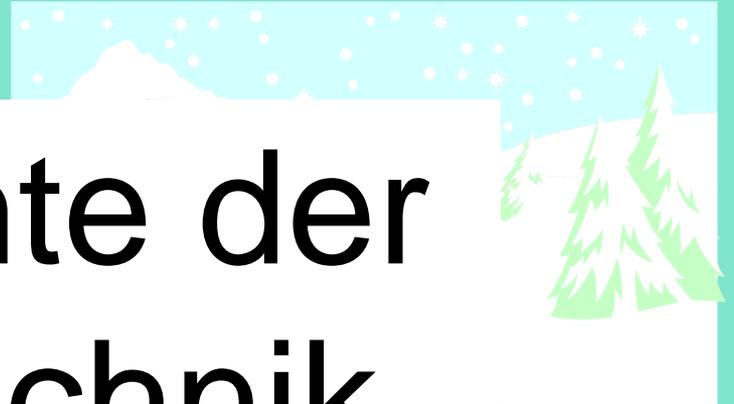


# Aktuelle Situation

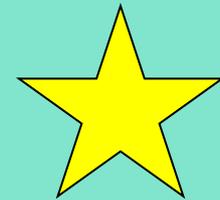
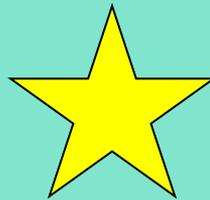








# Geschichte der Bahntechnik





1829: Rocket und Adler

Ära der Dampflokomotiven

Erste Hochgeschwindigkeitszüge  
mit 200 km/h

Echte Hochgeschwindigkeitszüge  
mit über 200 km/h

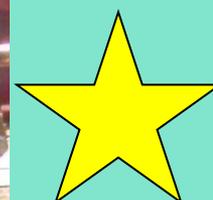
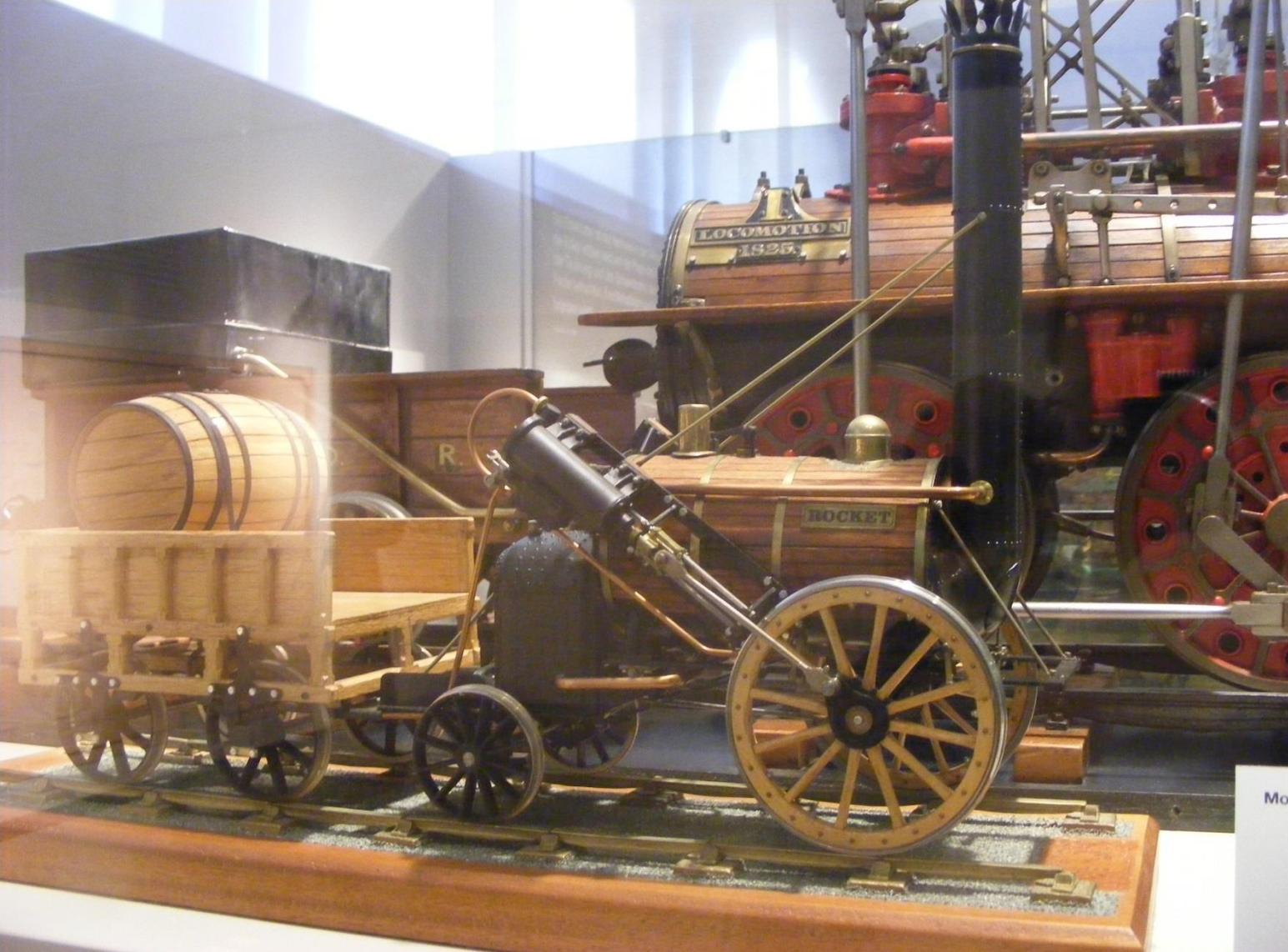
Bis zu diesem Zeitpunkt sind etwa  
175 Jahre Bahngeschichte  
vergangen:

*Zeit für eine neue Innovation ?*

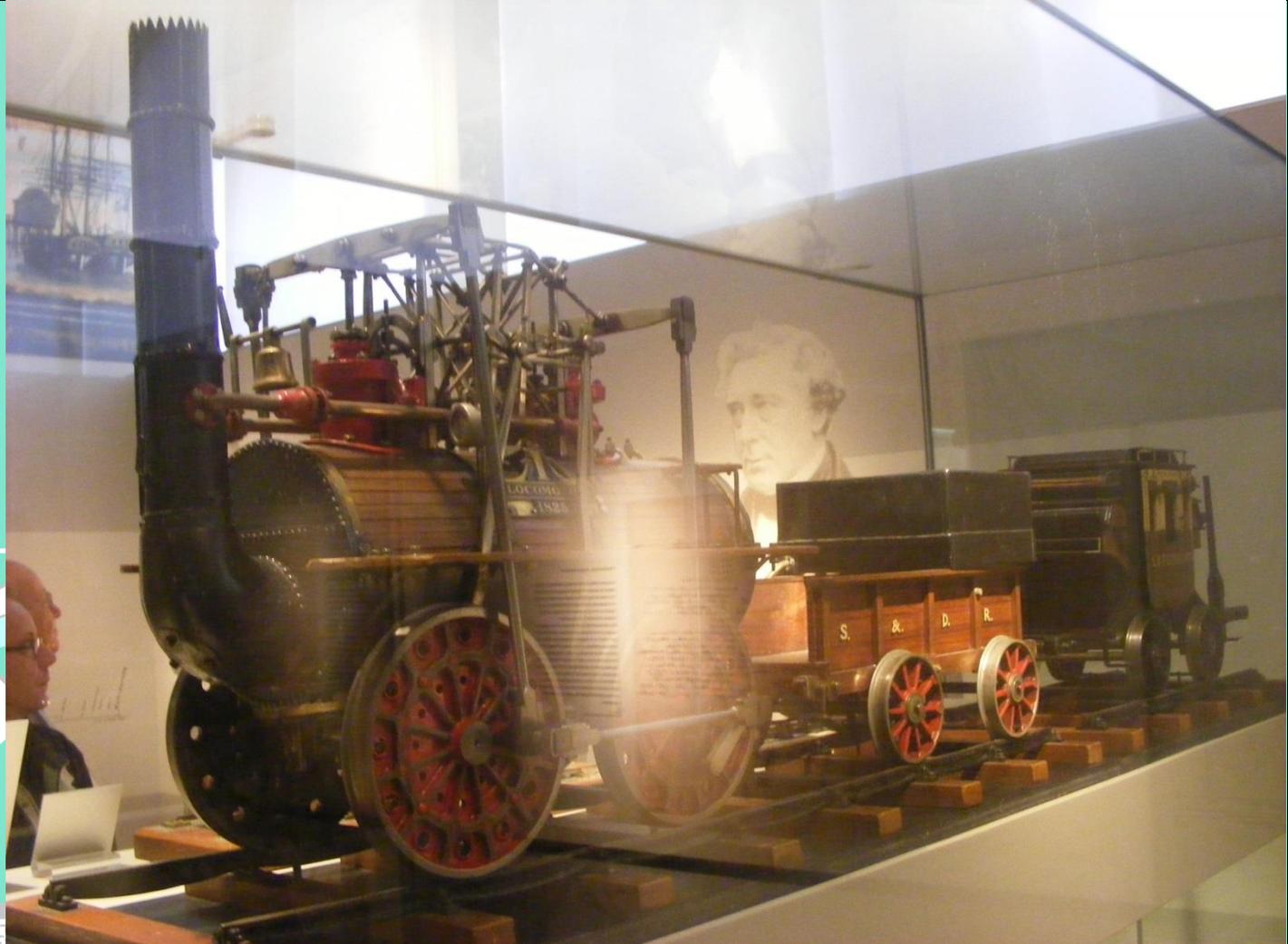


Eisenbahnen, noch  
nicht elektrisch

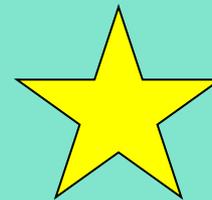
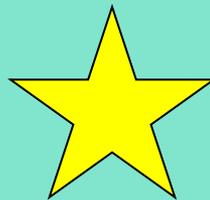


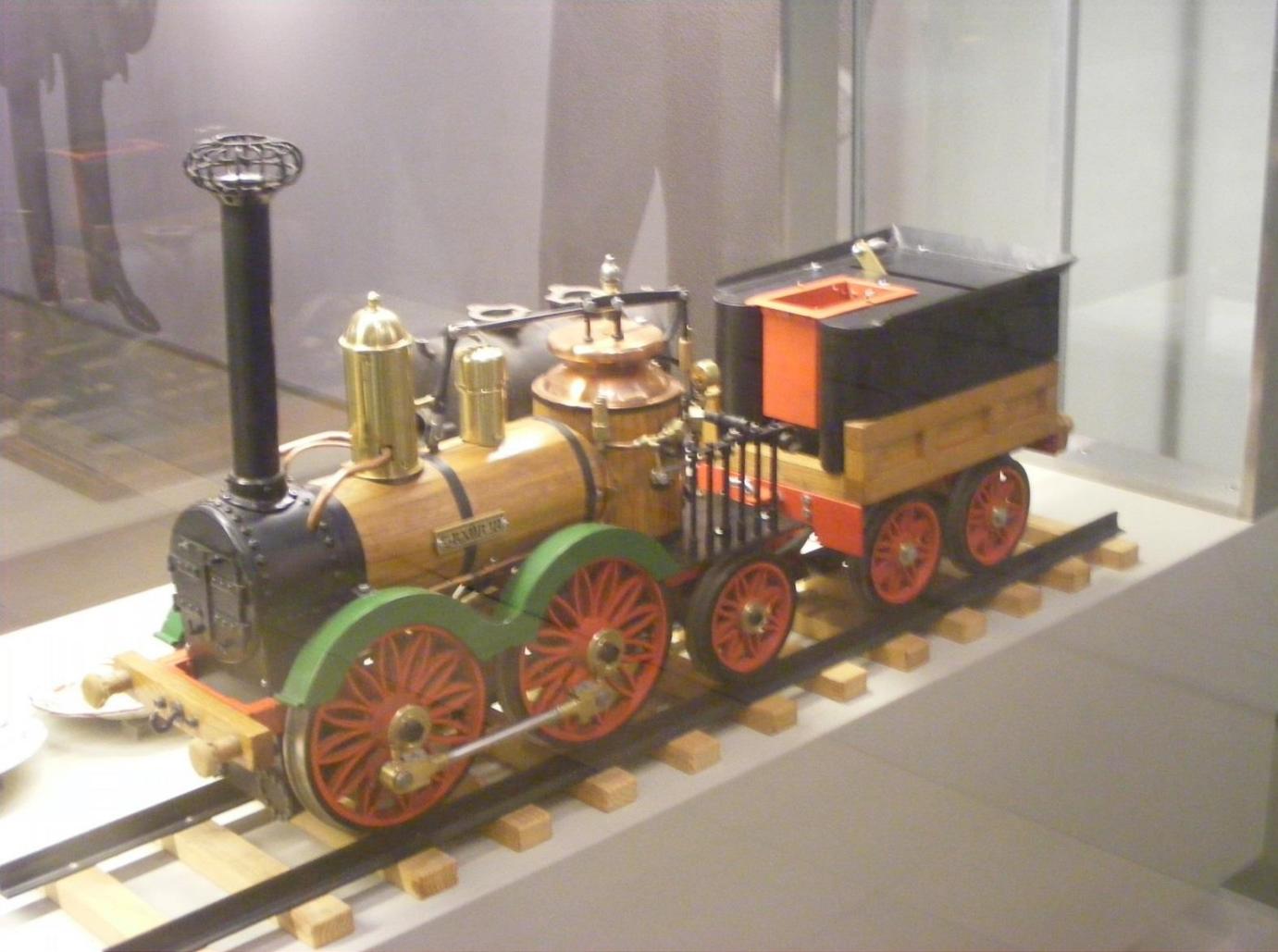


Rocket  
Eisenbahnmuseum  
Nürnberg



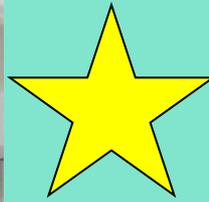
Eisenbahnmuseum  
Nürnberg



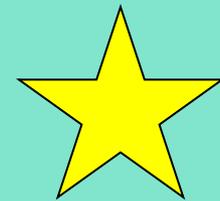


Eisenbahnmuseum  
Nürnberg



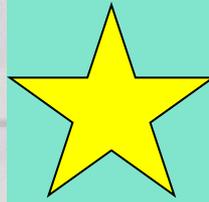
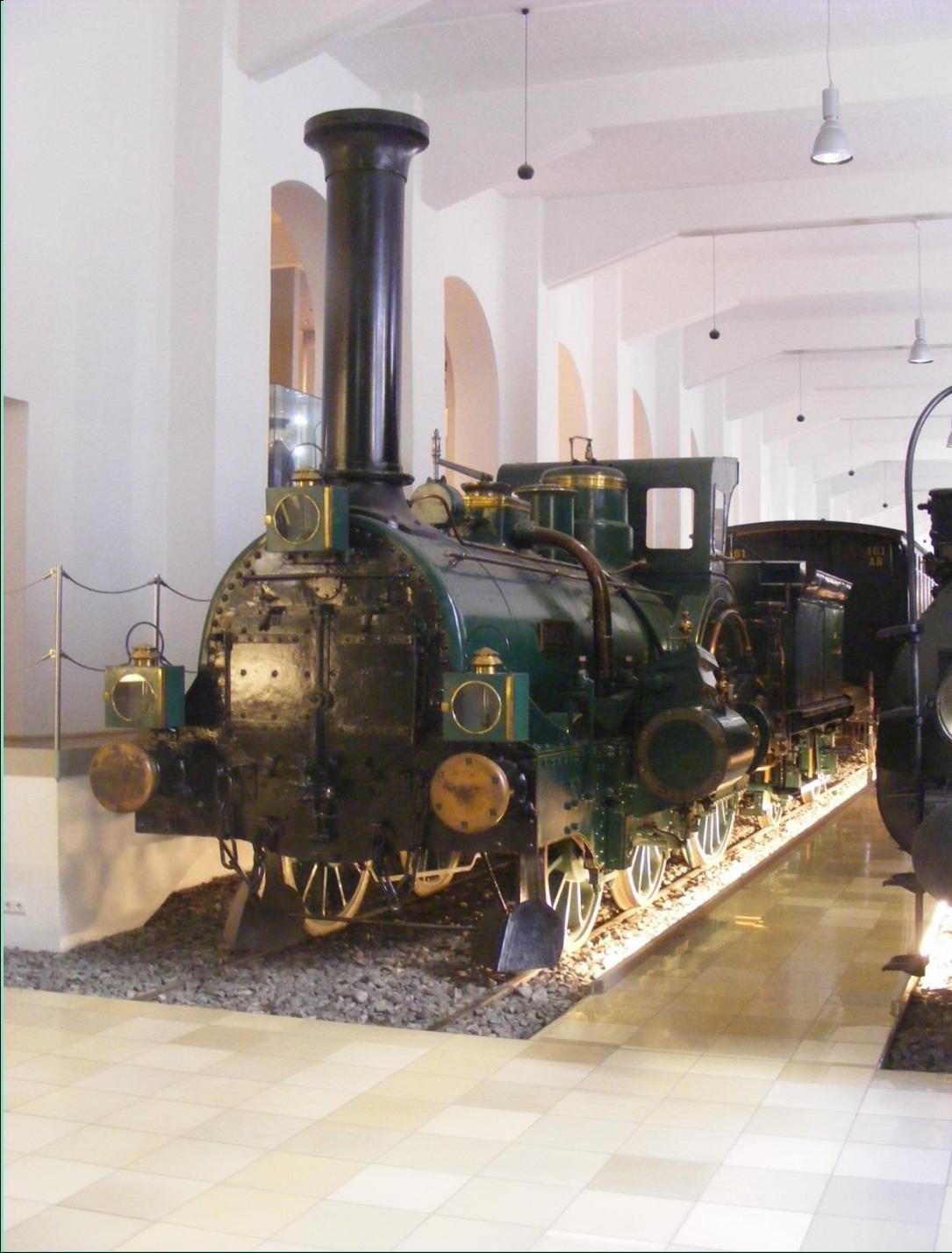


Adler  
Eisenbahnmuseum  
Nürnberg

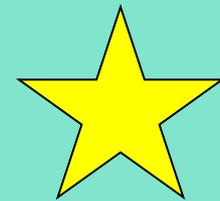


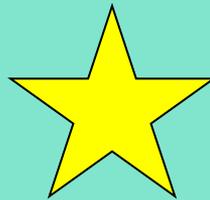
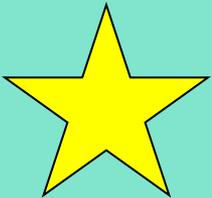
Adler  
Eisenbahnmuseum  
Nürnberg





Moderne Güterzuglokomotive  
Eisenbahnmuseum  
Nürnberg

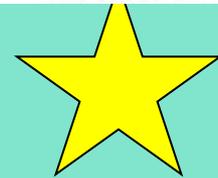




Deutsches Museum  
München



ANSYS-Konferenz in  
Kassel, 2012  
Thyssen Henschel-Museum





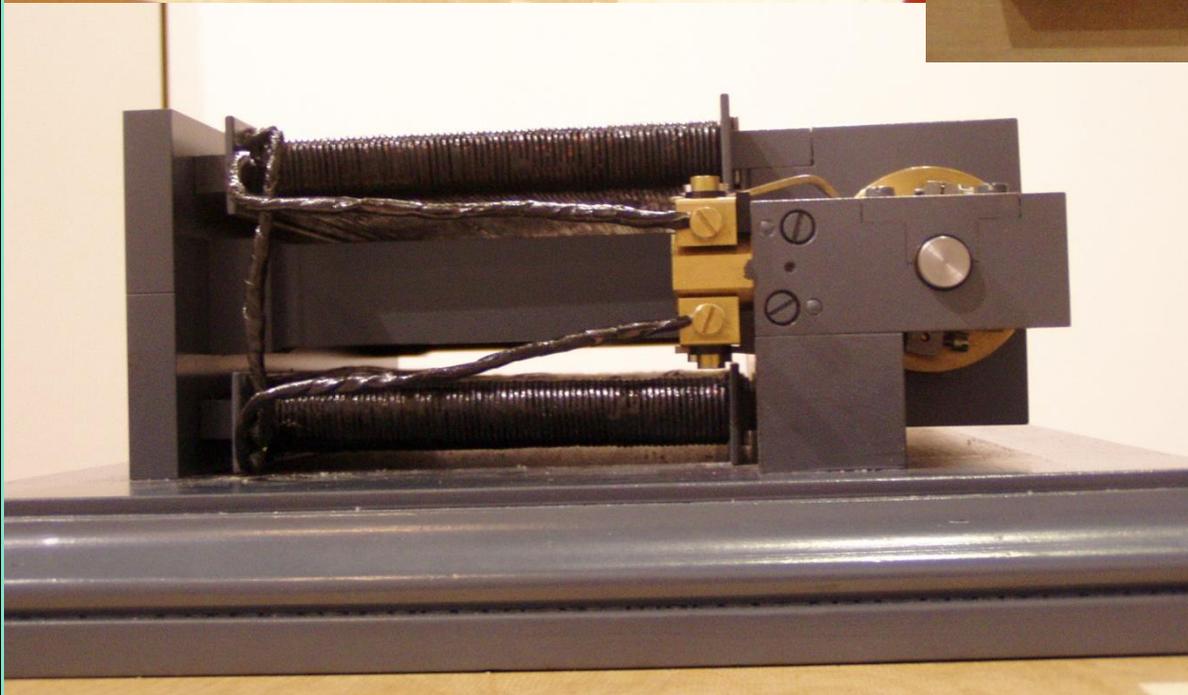
## Dynamomaschine

von Werner von Siemens, 1866 (Nachbau)

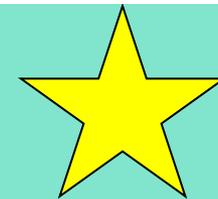
1866 arbeitet Siemens an der Verbesserung eines Minenzündgeräts. Für seine Versuche benutzt er einen umgebauten Kurbelgenerator mit Doppel-T-Anker aus dem Jahre 1856. Anstelle der ursprünglich verwendeten Dauermagnete verfügt der Generator über Elektromagnete und einen Eisenjoch.

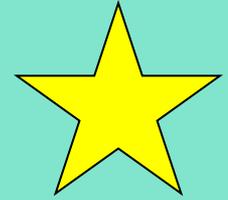
Die Dynamomaschine ist der erste Generator, der nach dem von Werner von Siemens entdeckten dynamo-elektrischen Prinzip Strom erzeugt.

Leihgabe des Siemens-Archivs, München

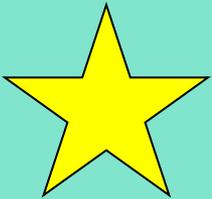


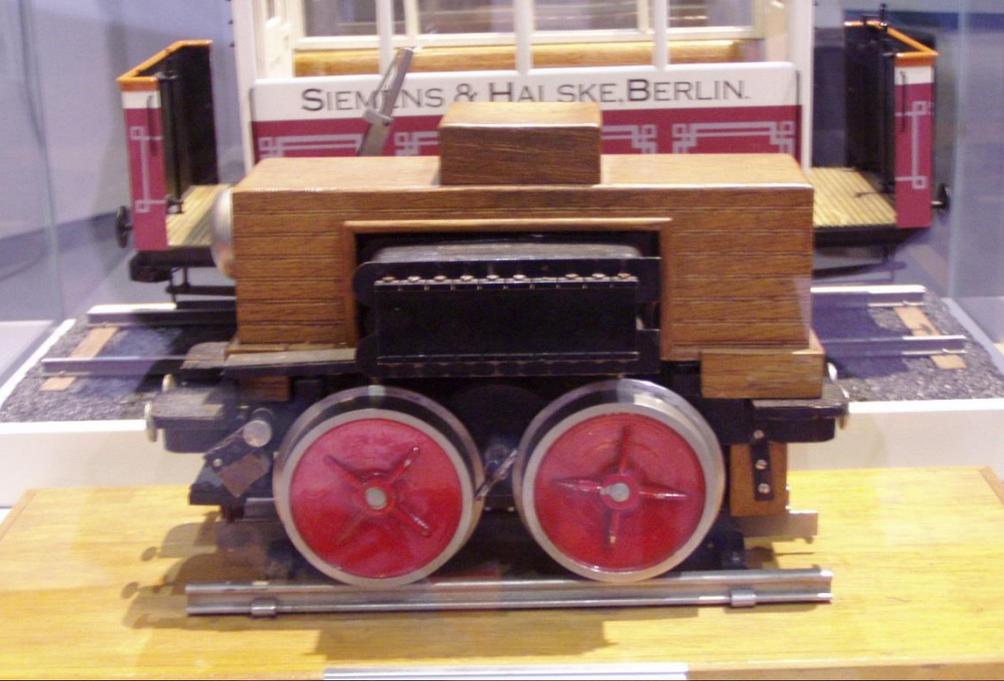
Deutsches Museum  
Abteilung Bonn





*In vier Monaten fuhr Werner von Siemens' erste Elektrolokomotive 90 000 Fahrgäste auf einem 300 Meter langen Rundkurs spazieren (rechts). Das war 1879 auf der Gewerbeausstellung in Berlin. Bei Regen ruhte der Bahnverkehr.*





Werner von Siemens

## ElektroLok

Der Markt für elektrotechnische Anwendungen wächst in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts kontinuierlich. Werner von Siemens entwickelt in dieser Zeit zukunftsweisende Produkte.

1879 präsentiert Siemens auf der Berliner Gewerbeausstellung die erste funktionstüchtige elektrische Lokomotive. Die Lokomotive verfügt über einen leistungsfähigen Elektromotor, dem über eine isolierte Schiene Strom aus einem Generator zufließt. Der zweipolige Gleichstrommotor mit Trommelanker leistet ungefähr 3 PS und liegt in einem eisernen Rahmengestell in Längsrichtung. Die Laufräder der beiden Radsätze haben einen Durchmesser von 40 cm. Als Fahrersitz dient die hölzerne Umkleidung des Motors.

In vier Monaten transportiert die Bahn etwa 86.000 Fahrgäste. Die ursprünglich als Grubenbahn konstruierte Lok weist die prinzipielle Alltagstauglichkeit elektrischer Bahnen als Transportmittel nach.

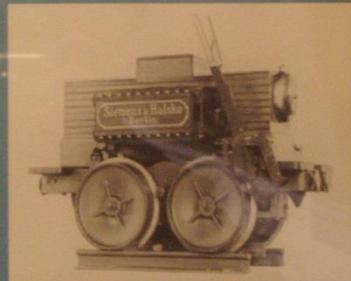
Werner von Siemens

## ElektroLok

Der Markt für elektrotechnische Anwendungen wächst in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts kontinuierlich. Werner von Siemens entwickelt in dieser Zeit zukunftsweisende Produkte.

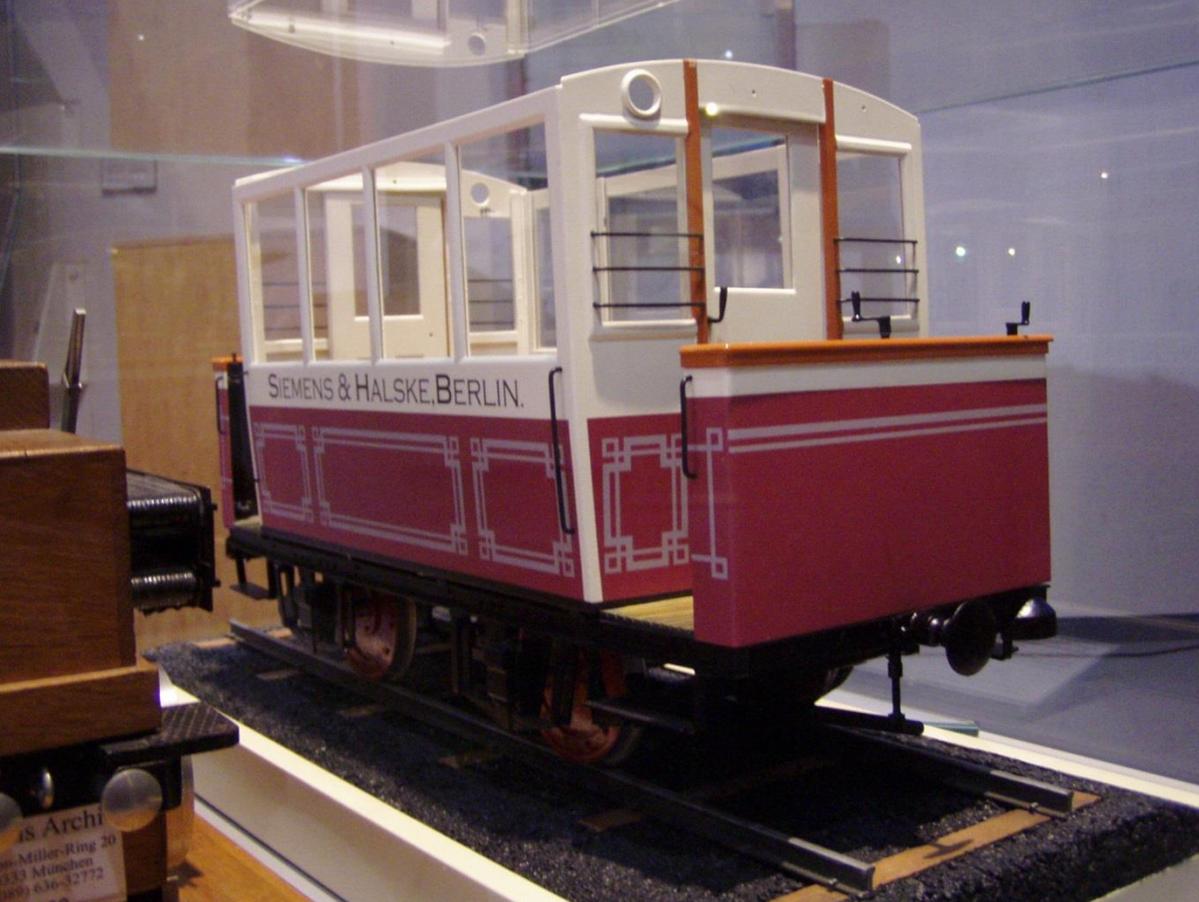
1879 präsentiert Siemens auf der Berliner Gewerbeausstellung die erste funktionstüchtige elektrische Lokomotive. Die Lokomotive verfügt über einen leistungsfähigen Elektromotor, dem über eine isolierte Schiene Strom aus einem Generator zufließt. Der zweipolige Gleichstrommotor mit Trommelanker leistet ungefähr 3 PS und liegt in einem eisernen Rahmengestell in Längsrichtung. Die Laufräder der beiden Radsätze haben einen Durchmesser von 40 cm. Als Fahrersitz dient die hölzerne Umkleidung des Motors.

In vier Monaten transportiert die Bahn etwa 86.000 Fahrgäste. Die ursprünglich als Grubenbahn konstruierte Lok weist die prinzipielle Alltagstauglichkeit elektrischer Bahnen als Transportmittel nach.



Die erste elektrische Lokomotive der Welt von Siemens.

Deutsches Museum  
Abteilung Bonn



Werner von Siemens

## Die »Elektrische«

Die elektrische Lokomotive kommt zuerst im Nahverkehr zum Einsatz. 1881 baut Siemens & Halske die erste öffentliche elektrische Straßenbahn, die in einem Außenbezirk Berlins den Linienbetrieb aufnimmt. 180 Volt Spannung treiben den 5 PS starken Elektromotor an. Die Stromzufuhr erfolgt über die Schienen und Räder zum Motor. Vollbesetzt erreicht die Bahn auf horizontaler Strecke eine Geschwindigkeit von bis zu 40 km/h.

In der Folgezeit rüsten die städtischen Straßenbahnen auf den Elektroantrieb um. Anfangs bereitet die Elektrifizierung der Strecken noch Schwierigkeiten. Isolationsprobleme bei feuchtem Wetter und Sicherheitsbedenken der Behörden führen zur Entwicklung von Alternativen zur Stromzuführung durch die Schienen. Oberleitungssystemen fehlt aber anfänglich eine zuverlässige Technik für den Stromtransport von der Leitung zum Elektromotor. Der Ingenieur Walter Reichel von Siemens & Halske erfindet 1889 den bis heute gebräuchlichen Bügelstromabnehmer. Kilometerlange Fahrleitungen und unzählige Masten verändern bald die Stadtbilder.

is Archi  
Miller-Ring 20  
10333 München  
089 636-32772

Werner von Siemens

## Die »Elektrische«

Die elektrische Lokomotive kommt zuerst im Nahverkehr zum Einsatz. 1881 baut Siemens & Halske die erste öffentliche elektrische Straßenbahn, die in einem Außenbezirk Berlins den Linienbetrieb aufnimmt. 180 Volt Spannung treiben den 5 PS starken Elektromotor an. Die Stromzufuhr erfolgt über die Schienen und Räder zum Motor. Vollbesetzt erreicht die Bahn auf horizontaler Strecke eine Geschwindigkeit von bis zu 40 km/h.

In der Folgezeit rüsten die städtischen Straßenbahnen auf den Elektroantrieb um. Anfangs bereitet die Elektrifizierung der Strecken noch Schwierigkeiten. Isolationsprobleme bei feuchtem Wetter und Sicherheitsbedenken der Behörden führen zur Entwicklung von Alternativen zur Stromzuführung durch die Schienen. Oberleitungssystemen fehlt aber anfänglich eine zuverlässige Technik für den Stromtransport von der Leitung zum Elektromotor. Der Ingenieur Walter Reichel von Siemens & Halske erfindet 1889 den bis heute gebräuchlichen Bügelstromabnehmer. Kilometerlange Fahrleitungen und unzählige Masten verändern bald die Stadtbilder.



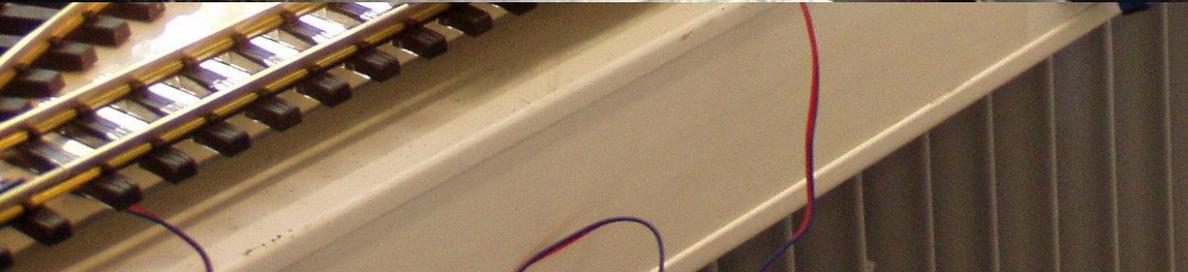
Zwangsweise Einbau eines Bügelstromabnehmers an einer öffentlichen Straßenbahn in Berlin. Die Bahn besitzt die Schiene, die den Strom überträgt. Der Bügelstromabnehmer ist ein Vorläufer des heute üblichen Stromabnehmers.

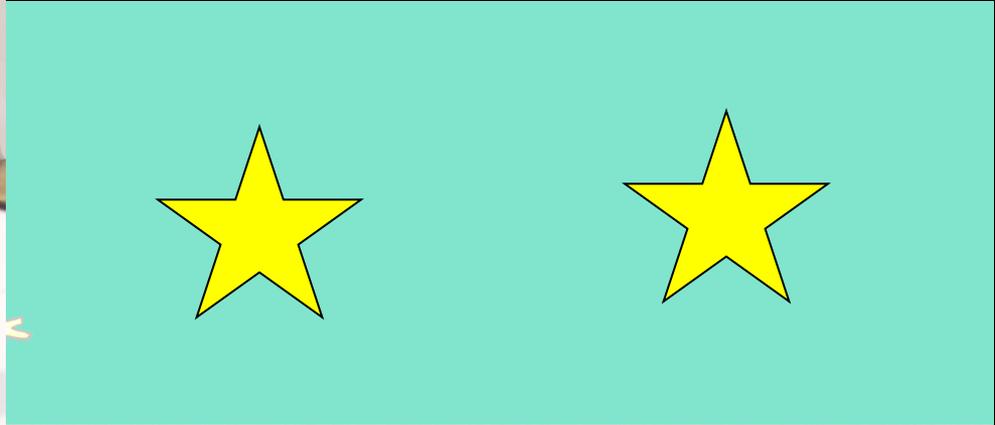
Deutsches Museum  
Abteilung Bonn



Ehemaliges Lehmann Patentwerk  
„LGB“ in Nürnberg



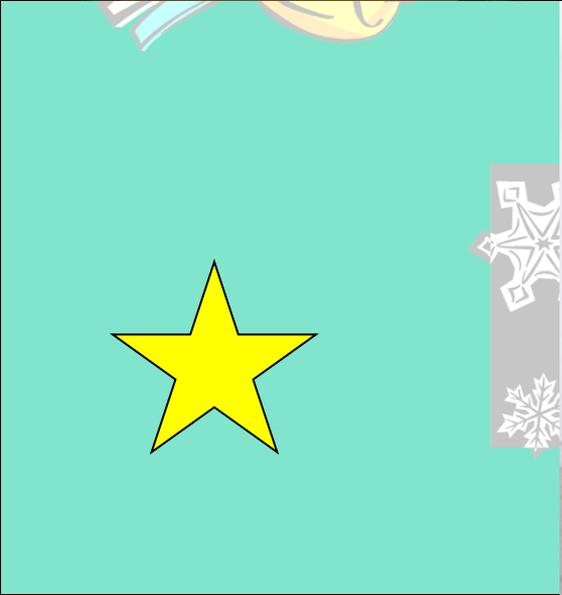




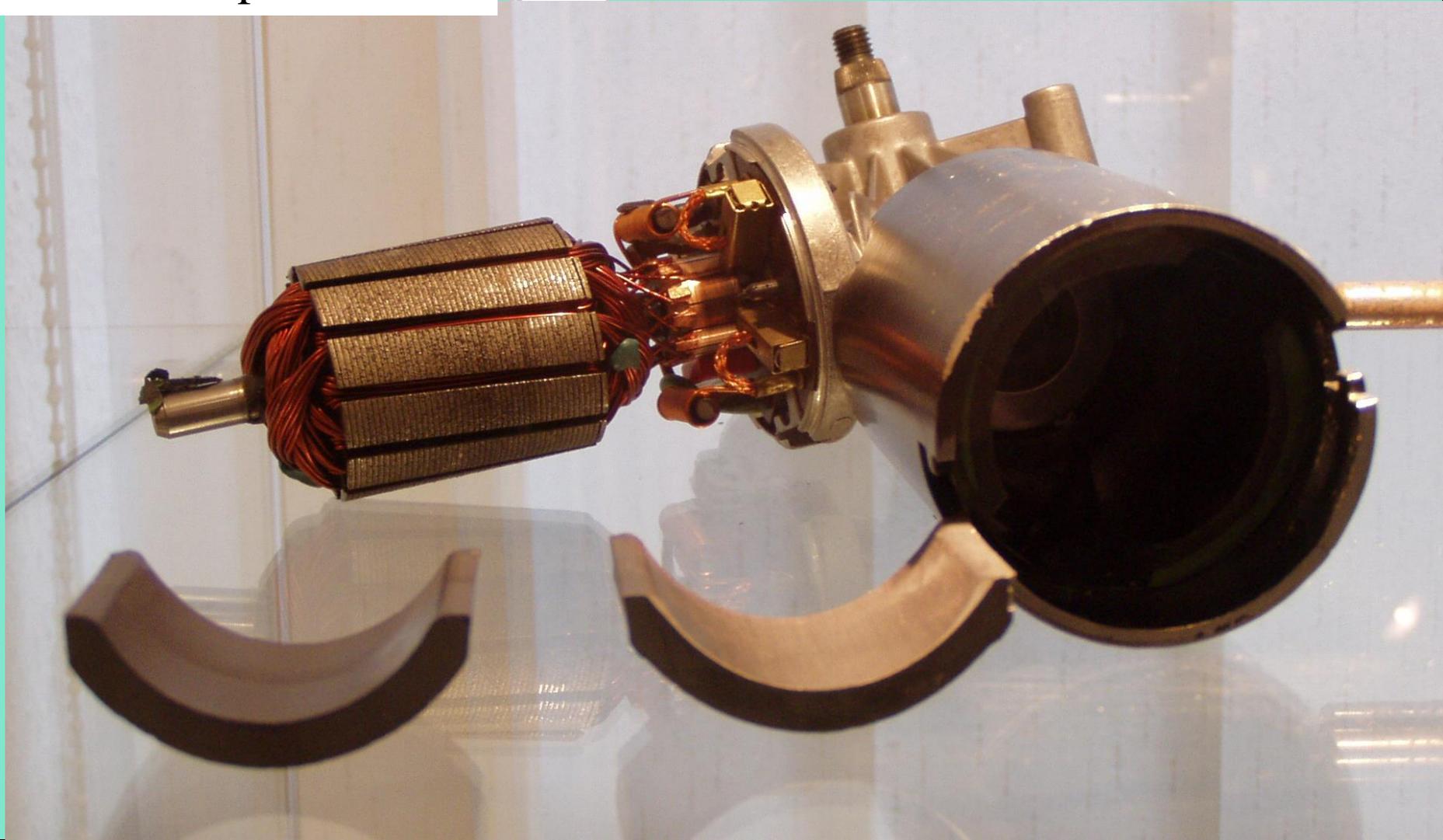
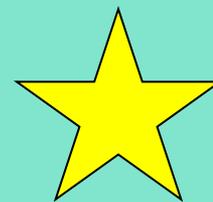
Magnetisierungseinrichtung  
für Permanentmagnetläufer  
Tridelta Magnetmuseum  
Dortmund Aplerbeck



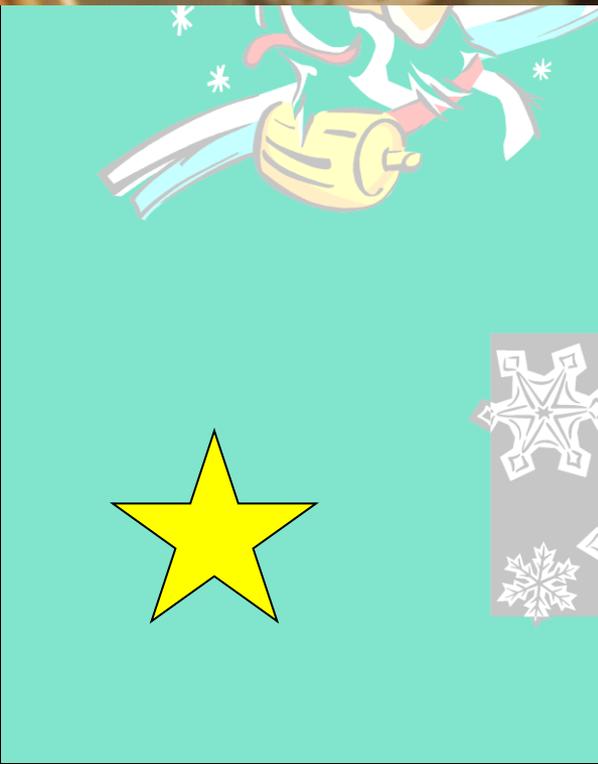
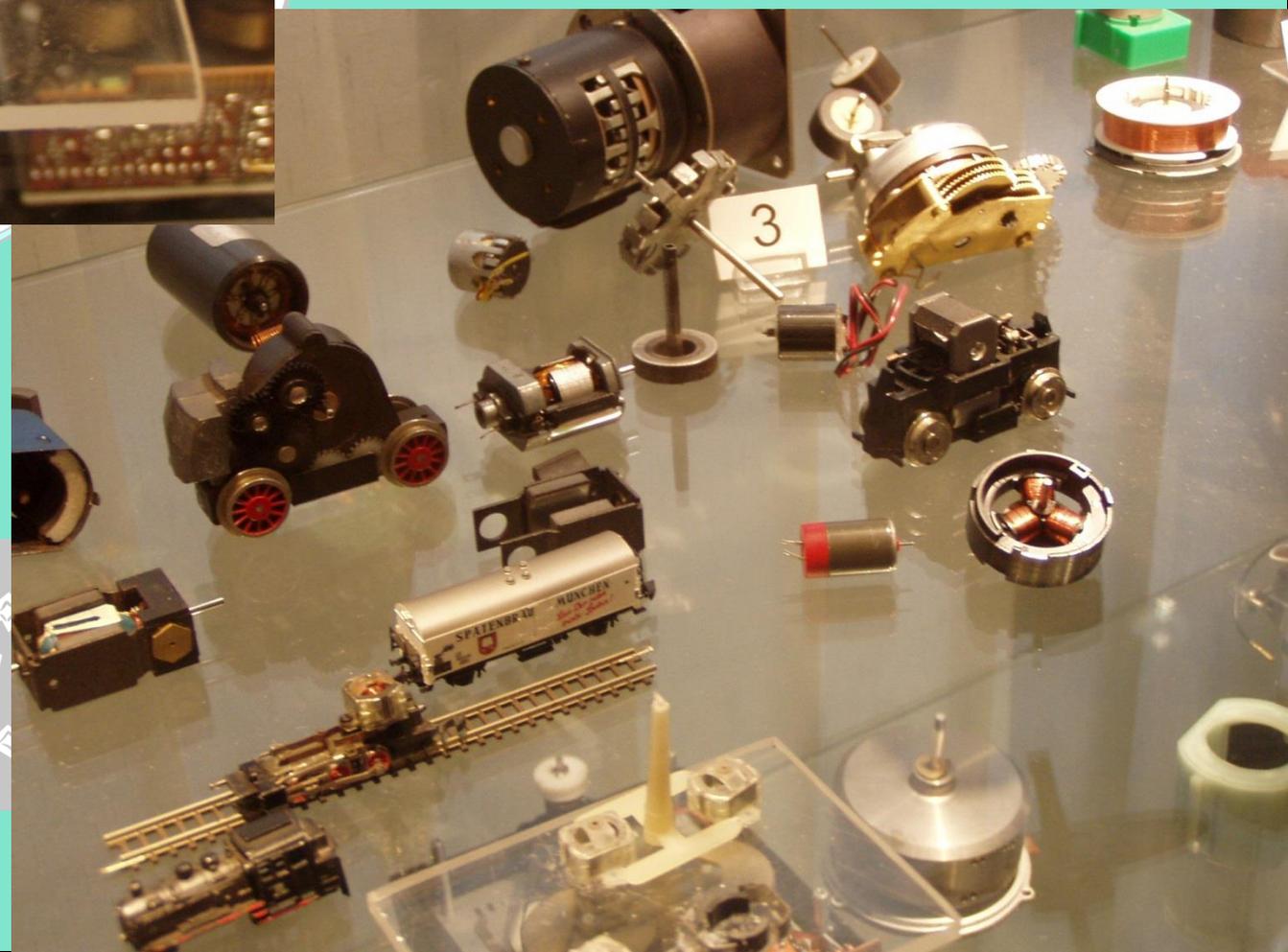
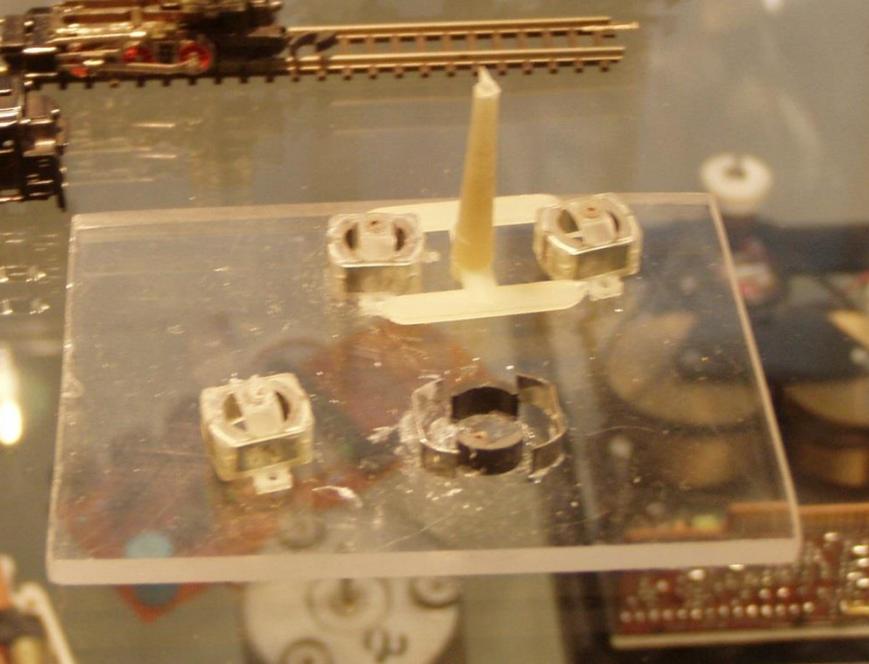
# Exkursion zum Tridelta Magnetmuseum Dortmund Aplerbeck



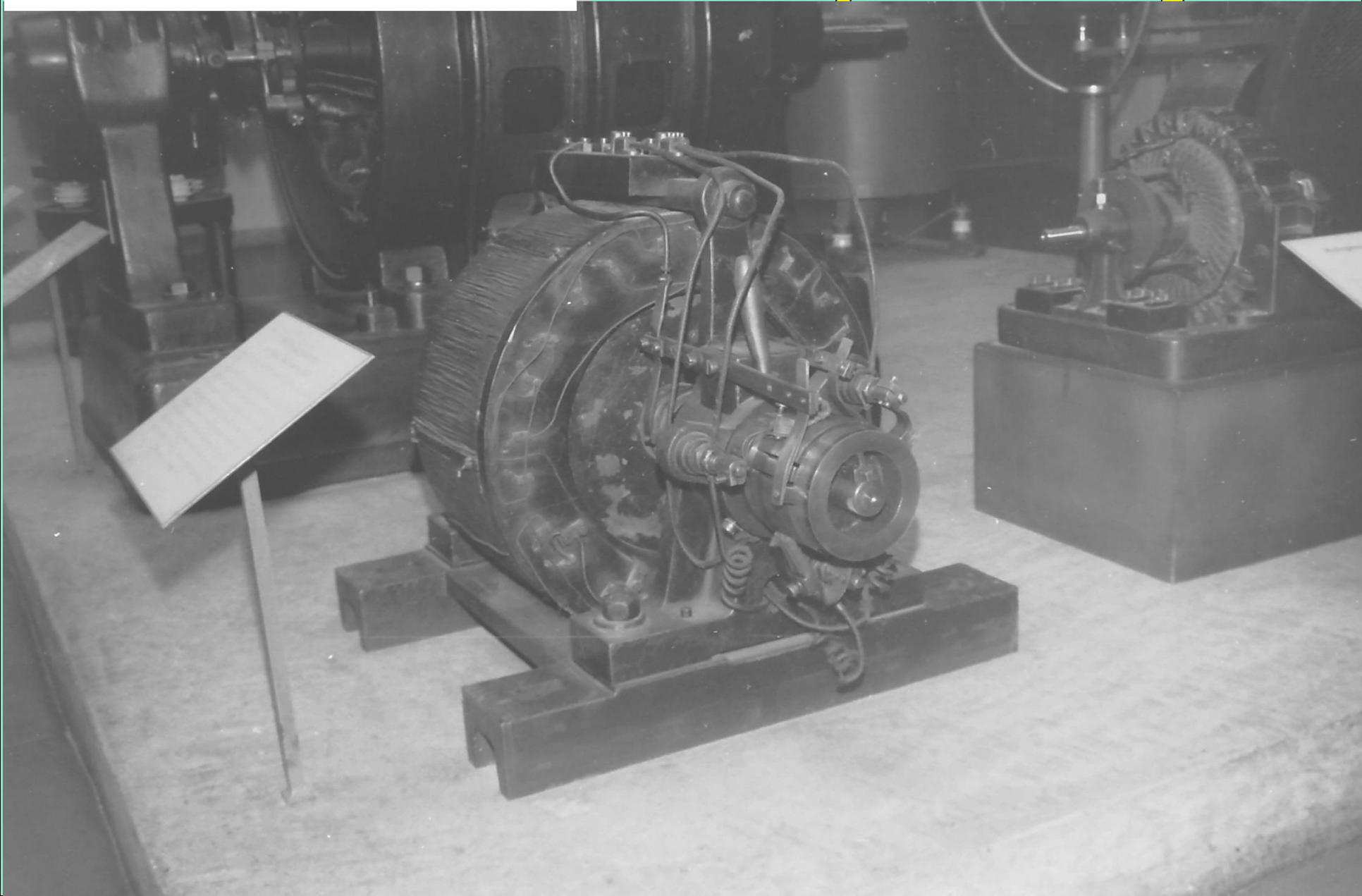
Gleichstrommaschine  
mit Permanentmagneten  
Tridelta Magnetmuseum  
Dortmund Aplerbeck

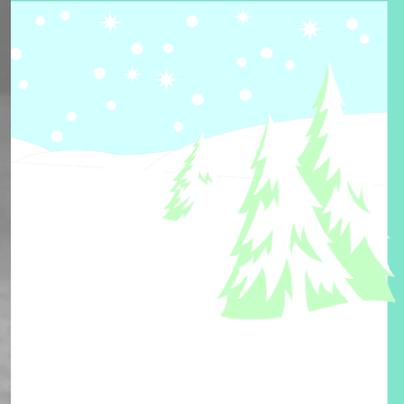
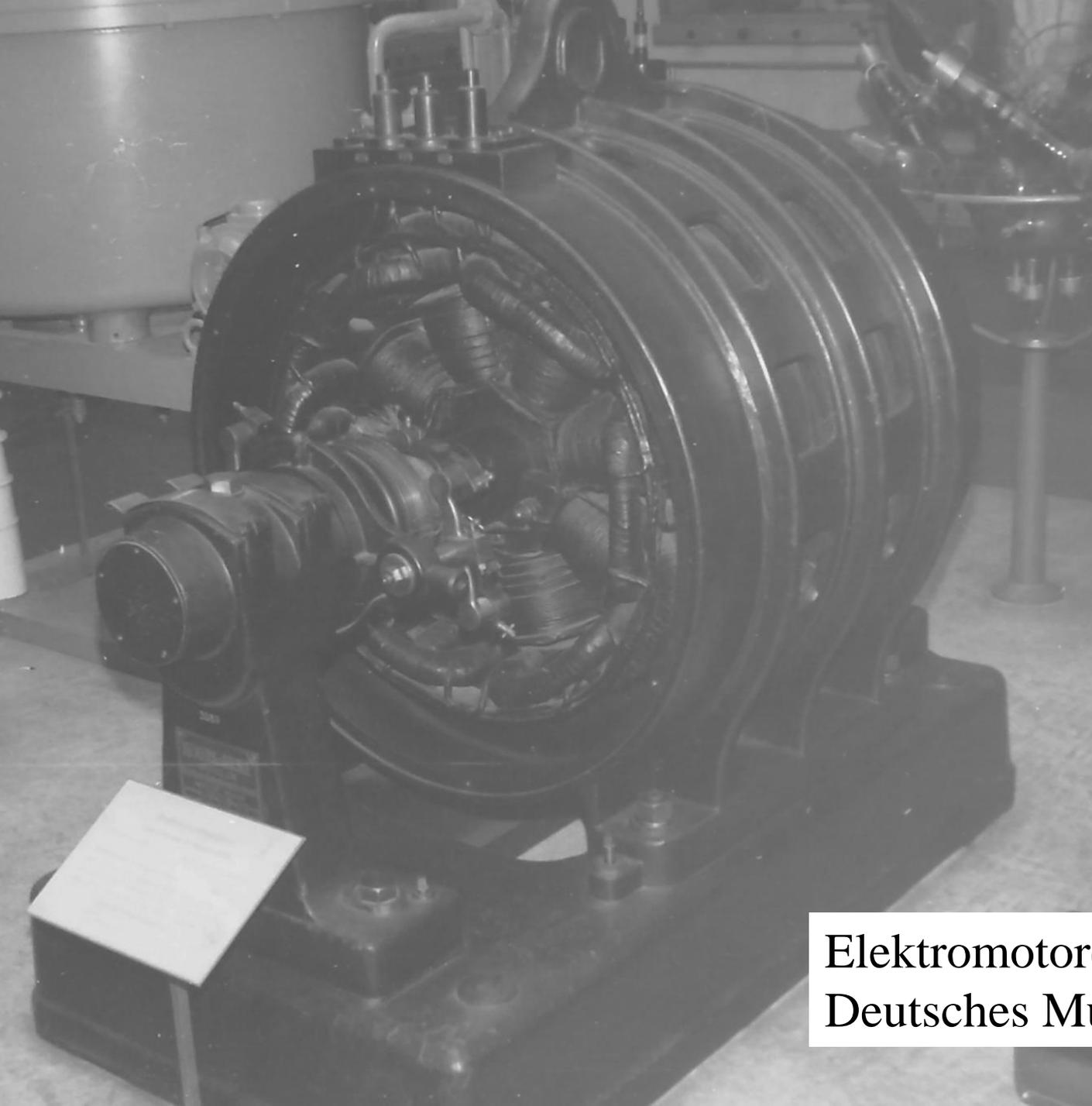


Elektromotoren für Eisenbahnen  
Tridelta Magnetmuseum  
Dortmund Aplerbeck



# Elektromotoren Deutsches Museum München





Elektromotoren für Antriebe  
Deutsches Museum München



Elektrolokomotive  
Deutsches Museum München



Diesellokomotive V200  
Eisenbahnmuseum Nürnberg





Diesellokomotive TEE  
Eisenbahnmuseum Nürnberg

Die Diesellokomotive für den Service TEE (Trans Europ Express) wurde im Jahr 1961 entwickelt und ist ein Paradebeispiel für die Entwicklung der Diesellokomotive in der Nachkriegszeit.

Technische Daten:

- Hersteller: Siemens
- Modell: VT 11.8004
- Leistung: 1.100 kW
- Maximale Geschwindigkeit: 160 km/h
- Wartungsweg: 100.000 km



Elektrolokomotive  
Eisenbahnmuseum Nürnberg



Elektrolokomotive  
Eisenbahnmuseum Nürnberg

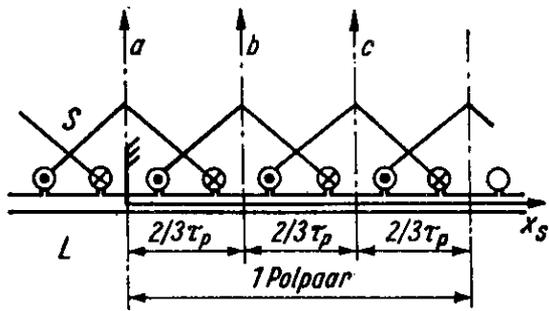


Elektrolokomotive  
Eisenbahnmuseum Nürnberg



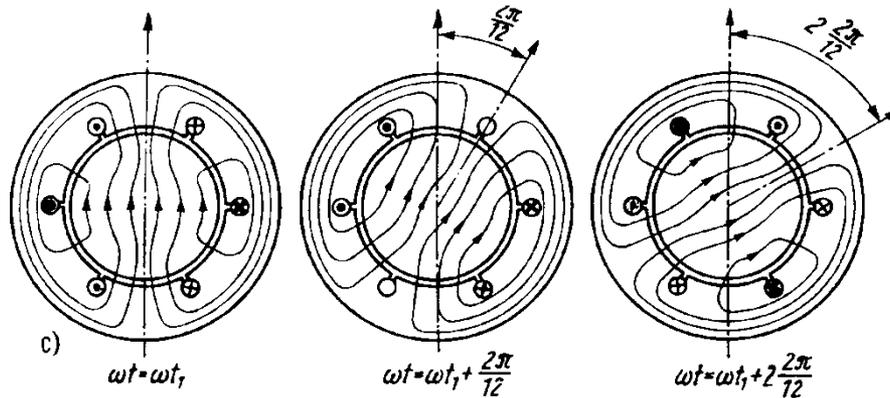
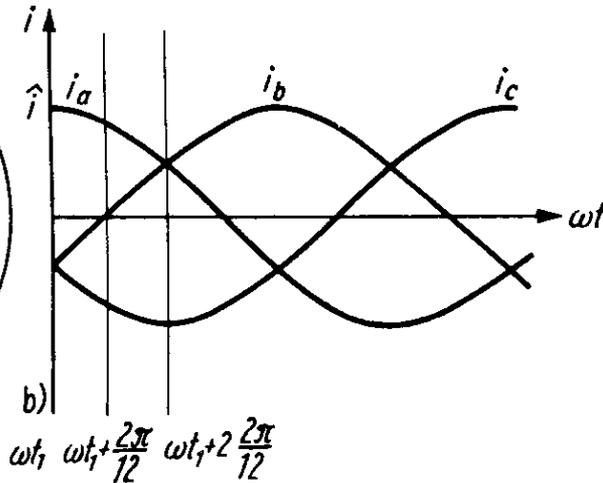
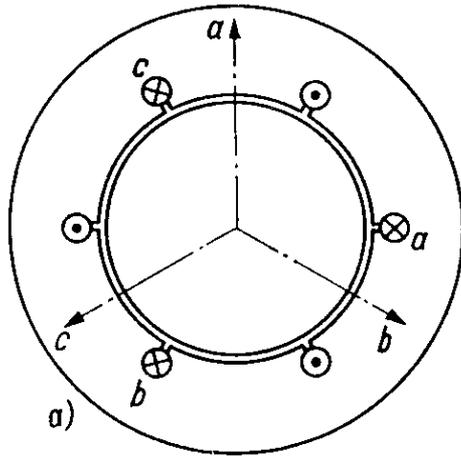
E03 001

DB



Ausführung einer dreisträngigen Wicklung im Bereich eines Polpaars mit einer Spule je Strang und Polpaar

S Ständer; L Läufer



Zur Erzeugung des Drehfeldes durch eine zweipolige, dreisträngige Ständerwicklung mit einer Spule je Strang

a) Anordnung mit positiven Zählrichtungen der Ströme; b) zeitlicher Verlauf der Strangströme  
c) prinzipieller Verlauf des Feldes für die Zeitpunkte mit  $\omega t_1$ ,  $\omega t_1 + 2\pi/12$  und  $\omega t_1 + 2(2\pi/12)$

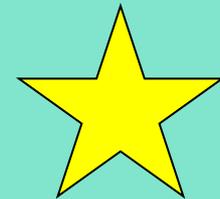
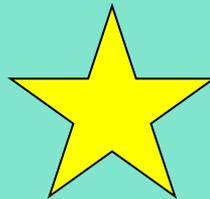


# Entstehung des Elektrischen Drehfeldes



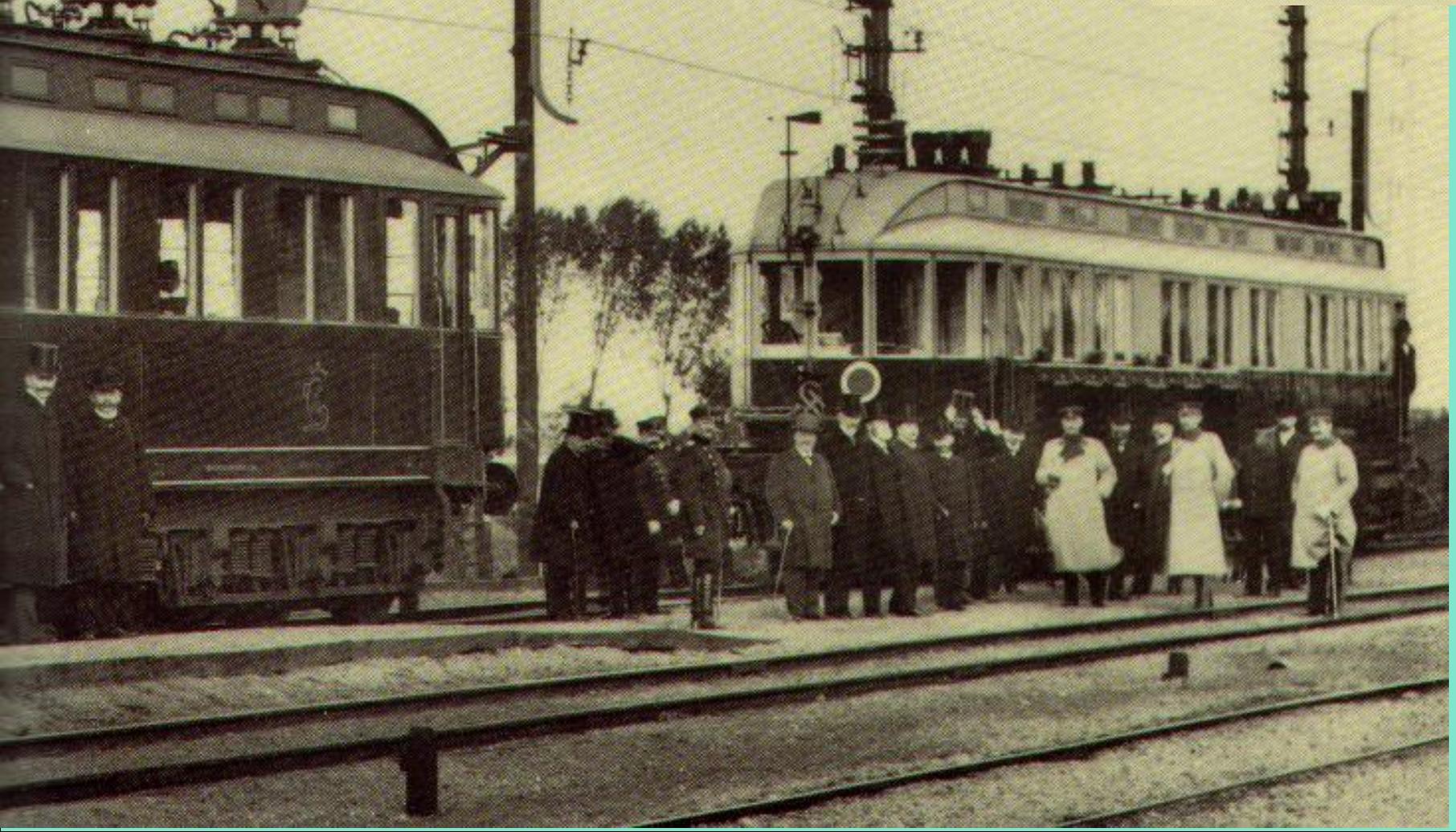


**Die Asynchronmaschine sparen wir  
uns die Herleitung und schauen uns  
Beispiele an.**



## 50 JAHRE HIELT DER REKORD

*Bereits 1903 erreichte dieser Drehstrom-Versuchstriebwagen der AEG auf der Strecke Berlin-Marienfelde nach Zossen 210 km/h (alle Bilder). Der Rekord wurde erst fünfzig Jahre später überboten. Leistung 2200 kW, Wagen-gewicht 93 Tonnen. St. E. S. ist die Abkürzung für „Studien-gesellschaft für elektrische Schnellbahnen“.*

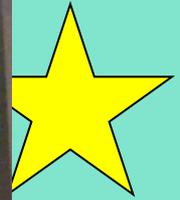
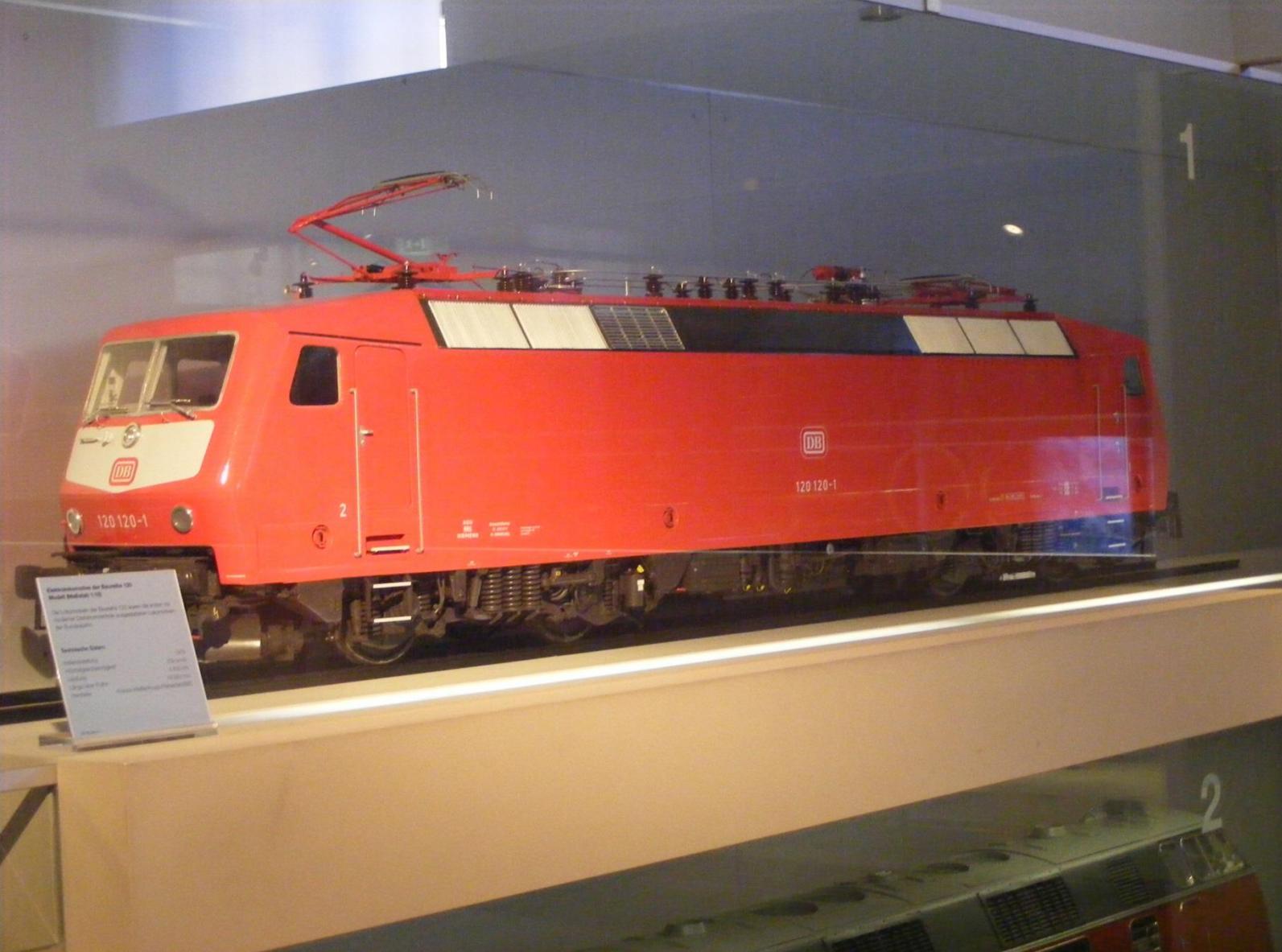




DB

120 102-9

15



**Klassifikation der Baureihe 120**  
Hauptbestandteil 120

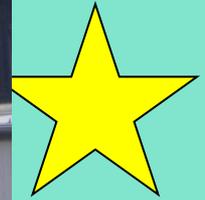
Die Baureihe 120 ist ein Modell der Lokomotiven der Baureihe 120.

**Technische Daten**

Leistung	1200 kW
Stromabnehmer	1200 A
Stromabnehmerhöhe	1200 mm
Stromabnehmerbreite	1200 mm
Stromabnehmerabstand	1200 mm



Drehstromlok  
Eisenbahnmuseum Nürnberg



DSCF5666.AVI



DSCF5667.AVI



Autoschleuse Mallnitz-Böckstein  
Tauerneisenbahn

*Nur mit neuen Gleisen und einem weitgehend automatisierten Signalsystem sind 250 km/h-Züge beherrschbar. Der Shinkansen wird vollautomatisch beschleunigt und abgebremst. Nach diesem System wurde auch die TGV entwickelt.*



*Nur mit neuen Gleisen und einem weitgehend automatisierten Signalsystem sind 250 km/h-Züge beherrschbar. Der Shinkansen wird vollautomatisch beschleunigt und abgebremst. Nach diesem System wurde auch die TGV entwickelt.*



## **BIS 1988 SIND 85 TGV IM EINSATZ**

*Mit hoher Zuverlässigkeit fährt Frankreichs Prestigezug. Seit 1983 wurde nur alle 1,5 Millionen Kilometer ein technischer Ausfall registriert.*

*Im Dezember 1966 wurde der Bau des TGV beschlossen. Am 25. Oktober 1983 fuhr der erste, 250 km/h schnelle, fahrplanmäßige TGV von Paris nach Lyon.*



Der Z-7001-Triebwagen arbeitet mit Kardantrieb und fährt im April 1974 308 km/h. Am 12. Februar 1976 wird der Auftrag für zwei TGV der Vorserie mit 25000 Volt 50 Hertz-Einphasen-Wechselstrommotoren vergeben mit 8770 PS oder 6450 kW.

Der TGV Nr. 16 geht in die französische Eisenbahngeschichte ein. In serienmäßiger Ausstattung fährt die Nr. 16 am 26. Februar 1981 in der Nähe der Stadt Tonnerre 381 km/h. Das ist ein neuer absoluter Weltrekord.

Am 25. Oktober 1983 wird der erste fahrplanmäßige Betrieb auf der 425 Kilometer langen TGV Neubautrecke von Paris nach Lyon aufgenommen. Der Zug hält den Fahrplan mühelos ein: 425 Kilometer in 120 Minuten. Zwischen Paris und Bordeaux werden 1988 Dauergeschwindigkeiten von 250 km/h gefahren werden, und selbst Tempo 300 ist Mitte der neunziger Jahre mit weiter verbesserten TGV-Zügen geplant.

Der TGV ist technisch und wirtschaftlich ein großer Erfolg für die SNCF. Nur alle 1,5 Millionen Kilometer gab es bisher einen außerplanmäßigen Stop. So zuverlässig fährt kein anderes Zugsystem der Welt.



Ehemaliges Lehmann Patentwerk  
„LGB“ in Nürnberg

LEHMANN



# ICE – DAS NON- PLUSULTRA

Mit der Technik aus dem Flugzeugbau  
soll der ICE den TGV bald überholen.



## NEUE GLEISE FÜR DEN INTERCITY

Fast 80 Prozent des deutschen Streckennetzes wurde vor 1900 verlegt. Heute sind 450 Kilometer Schnellfahrnetz im Betrieb. Im Jahr 2000 soll auf rund 1900 Kilometern mit Tempo 250 gefahren werden.

Mit drei bis vier Milliarden Mark jährlichem Verlust steckt die Bundesbahn tief in den roten Zahlen. Durch enormen Aufwand möchte das Mammutunternehmen jetzt einer besseren Zukunft entgegenfahren. Der neue Intercity-Experimentalzug, kurz ICE, könnte das Staatsunternehmen entweder noch schneller in die Pleite befördern oder ihm zu einem wirtschaftlichen Höhenflug verhelfen. Darüber streiten die Experten.

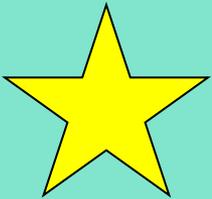
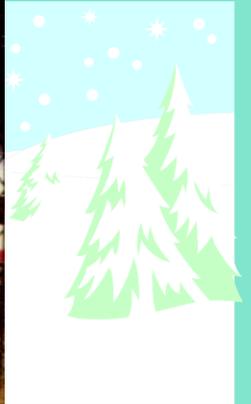
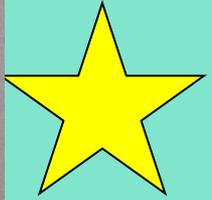
Das technische Konzept des ICE ist konkurrenzlos. Verglichen mit dem japanischen Bullet Train und dem französischen TGV, ist der ab 1991 einsatzbereite Intercity Express um eine Klasse besser.

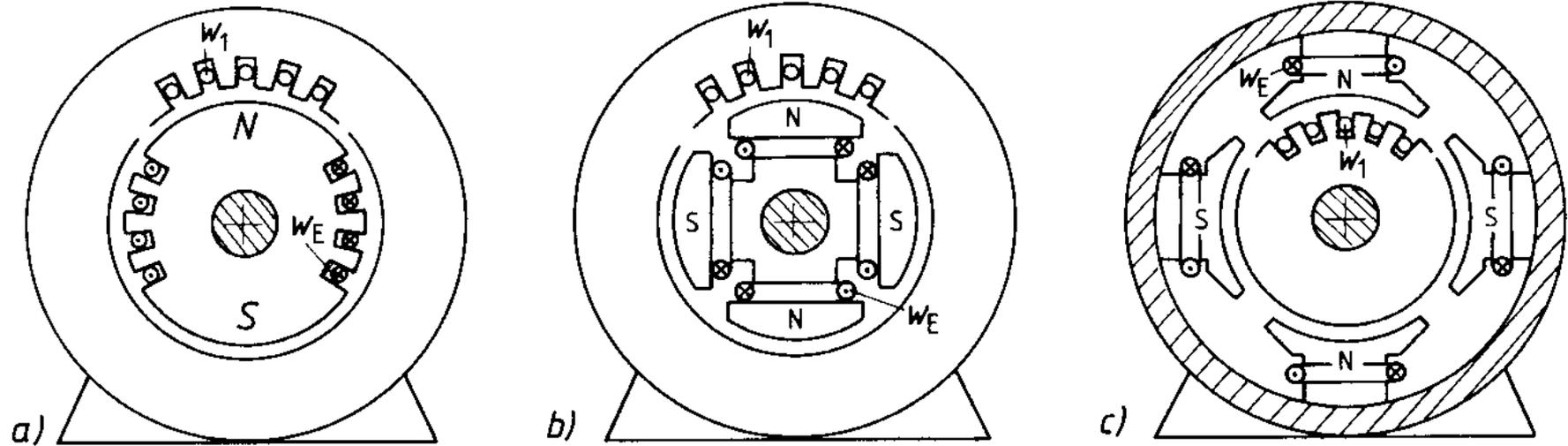
Bei geringerem Stromverbrauch erzielt der ICE die gleiche Geschwindigkeit wie der TGV. Ein wichtigeres Problem jedoch als die angepeilte Richtgeschwindigkeit von 200 bis 250 km/h stellt der Verschleiß an Rad und Schiene dar. Je stärker nämlich die Radsätze den Oberbau belasten, desto höher steigt der Unterhaltungsaufwand für die bis zum Jahr 2000 geplante, zweitausend Kilometer lange Neubaustrecke. Allein von 1985 bis 1995 werden 35 Milliarden Mark verbaut. Enorm viel Geld für etwas mehr Geschwindigkeit?

Neue Züge und neue Strecken sollen dem 250 km/h schnellen Intercity Express ab 1991 neue Kunden bringen. Beim französischen TGV ging diese Erfolgsformel auf. Dort fahren 50 Prozent mehr Reisende mit der Bahn.

Triebkopf aus dem Windkanal. Der ICE hat eine bessere Aerodynamik als der betagte TGV, sagen Experten (unten). Zudem ist der ICE durch viel Kunststoff leichter.

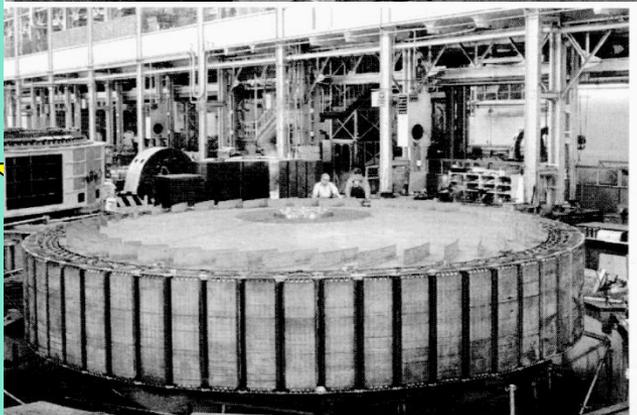
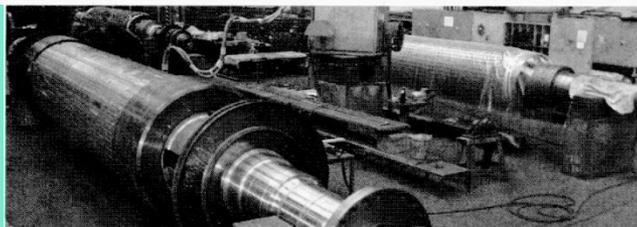
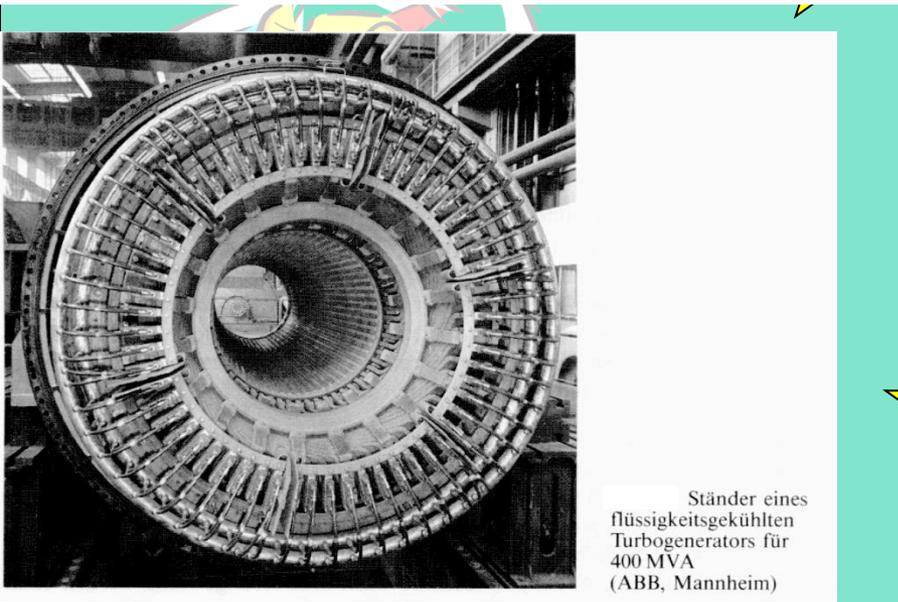




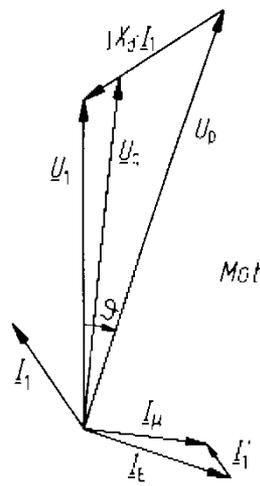


## Bauformen der Synchronmaschine

- a) Vollpolmaschine (Turbogenerator)   b) Schenkelpolmaschine (Innenpolmaschine)  
 c) Schenkelpolmaschine (Außenpolmaschine)

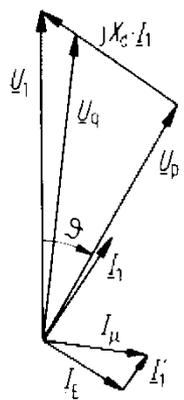


Polrad eines Wasserkraftgenerators für 61 MVA, 11 kV, 100 U/min (Siemens AG)

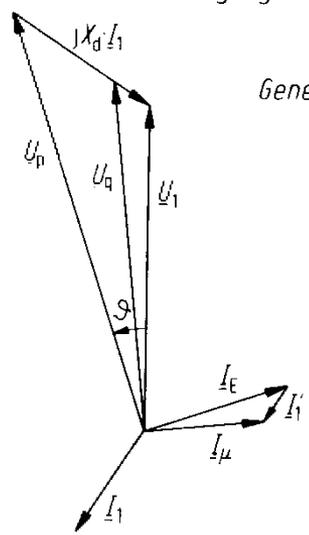


Motorbetrieb

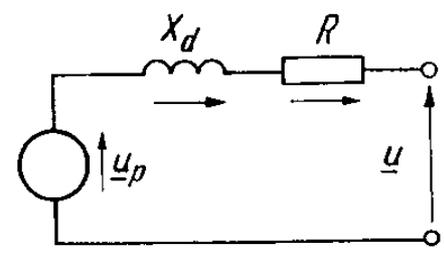
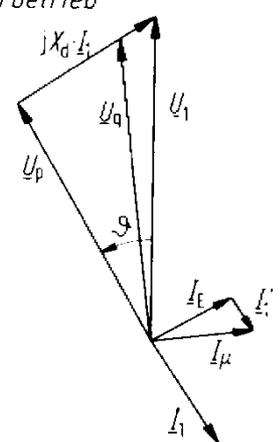
Übererregung



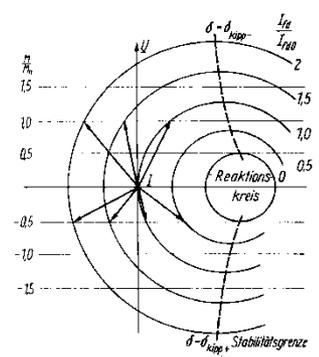
Untererregung



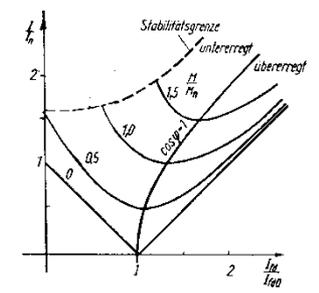
Generatorbetrieb



Ersatzschaltbild  
der Vollpolmaschine  
mit  $U_p \sim I_{fd}$ ,  $\varphi_{up} = \varphi_u + \delta$



Gemeinsame Darstellung  
der Ortskurven des Ankerstroms  
für  $M = \text{konst.}$   
und für  $I_{fa} = \text{konst.}$   
zur Ermittlung der V-Kurven



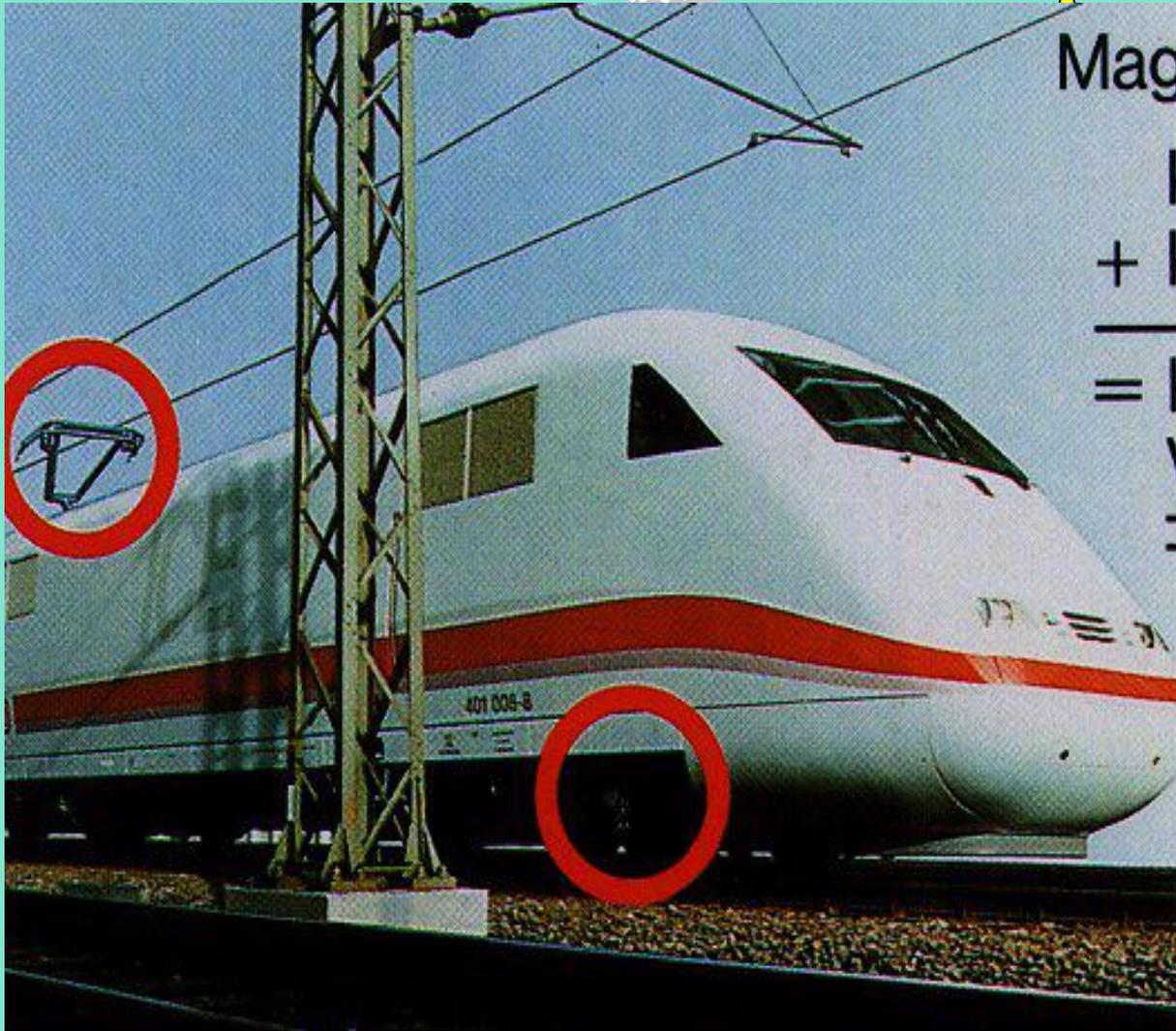
V-Kurven in bezogener Form  
 $\left(\frac{I}{I_n}\right) = f\left(\frac{I_{fa}}{I_{fa0}}\right)$  auf der Grundlage  
von Bild 35.11

Vierquadrantenbetrieb  
der Synchronmaschine am Netz



Picture: CNN/Reuters





Magnetschnellbahn:

keine Berührung  
+ keine Reibung

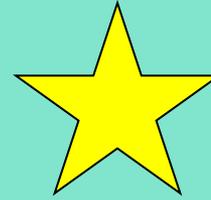
---

= kein  
Verschleiß

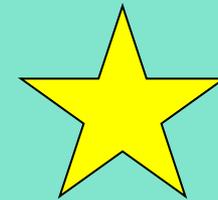
---

---





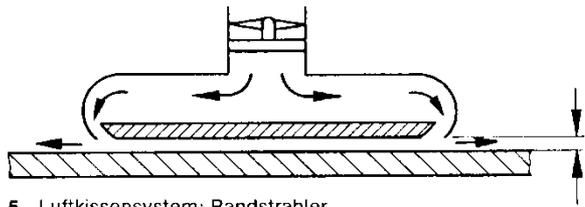
**Geschichte der  
Schwebetechnologien**



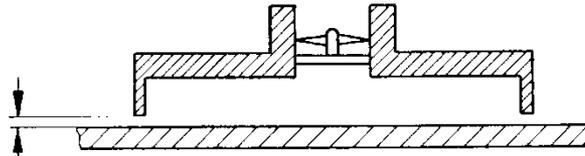


# Lineare Antriebstechnik





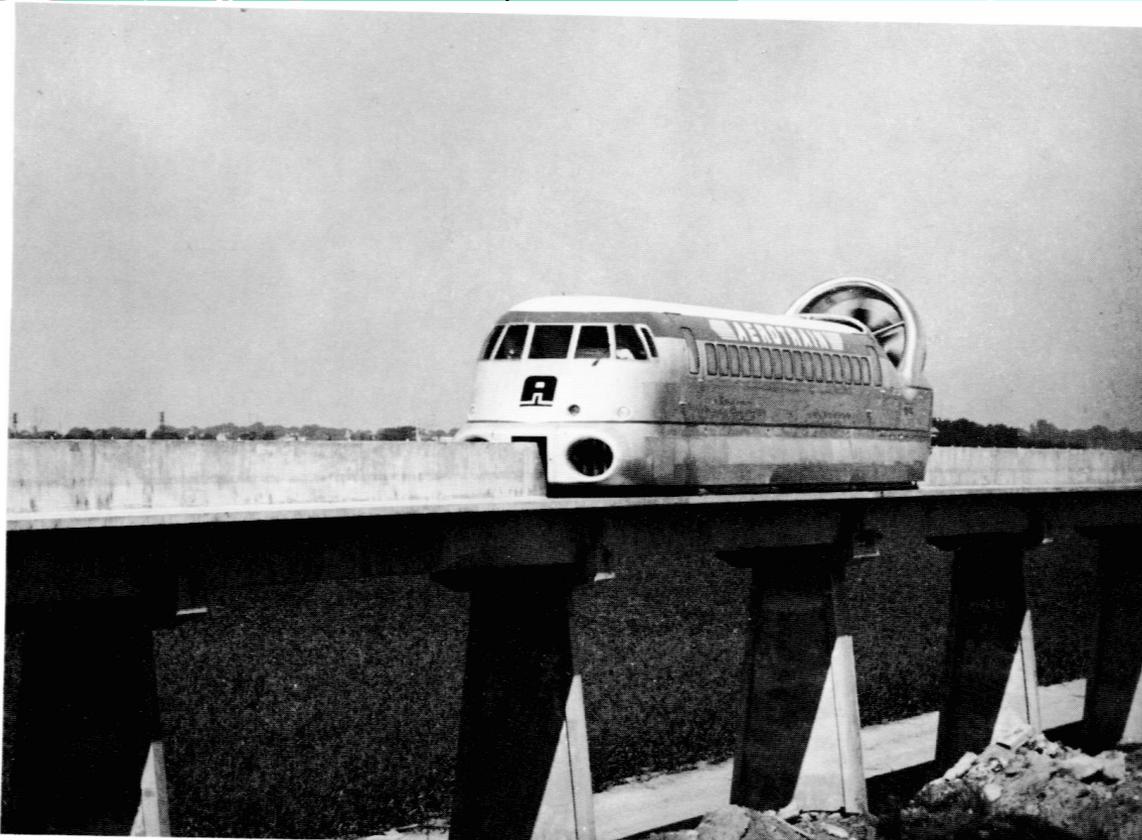
5 Luftkissensystem: Randstrahler.



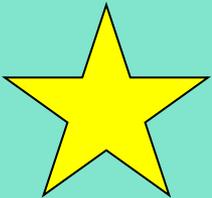
6 Luftkissensystem: Flächenstrahler.

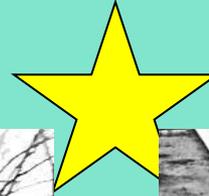


# Schwebe- und Schnell- fahrssysteme um 1965 in Frankreich



10 Aerotrain 250-80  
«Orléans» auf der 18,5 Kilo-  
meter langen Versuchsstrecke.

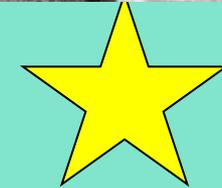




Aerotrain Experimental 01 / 02  
Gometz la Ville (Nähe Paris)

ca. 400 km/h

System: Hubsystem Druckluft / Antrieb Luftschraube





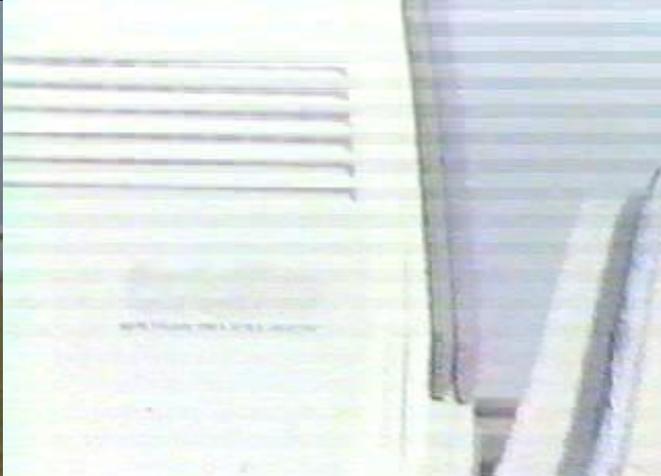
Aerotrain I80-250

Chevilly (Nähe Orleans)

System: Hubsystem Druckluft

Antrieb Luftschraube (ca. 250 km/h)

später Strahltriebwerk (über 400 km/h)





# Projekt: Aerotrain

Ziel: Entwicklung eines High-Speed-Personen-Transport-Systems

Strecke: Paris – Lyon (Test: Gometz la Ville und Orleans)

Projektpräsentation: 1963

Prototypentests: 1965

Projektende: 1974

mit Beschluß des Baus der Strecke

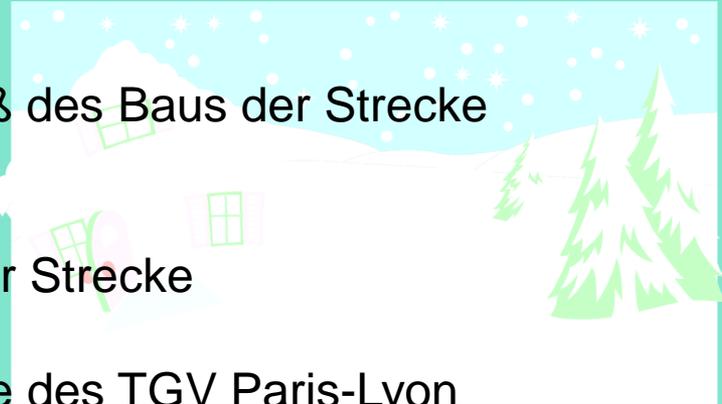
Mitte 1974: Präsidentschaftswahlen

Ende 1974: Beschluß gegen Bau der Strecke

Mitte 1975: Tod des Projektleiters

Ende 1975: Bau und Inbetriebnahme des TGV Paris-Lyon

Situation 2002: Fahrzeuge durch Vandalismus zerstört, eine Strecke wegen Straßenbau abgerissen, zweite Strecke nach wie vor vorhanden (Beton überdauert Jahrzehnte !!!), kein Betrieb

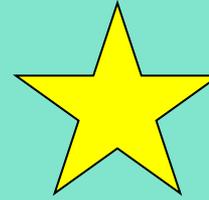
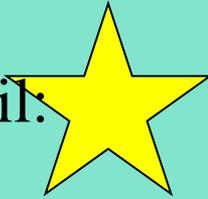


## Das Ende des Aerotrain:

- Fahrbahn im Kartoffelfeld
- allmählicher Rückbau
- Fahrzeuge teilweise verbrannt nach Brandstiftung

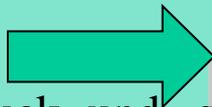


Urteil:

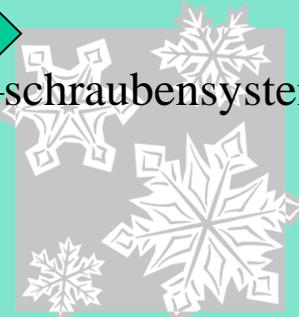


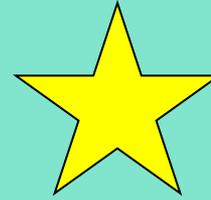
- Teure Technologie
- Hubsystem Luftdruck ist extrem energiezehrend und laut
- Hubsystem Luftdruck ist sehr stabil und benötigt kaum Regelung
- Luftschaubenantriebssystem ist extrem energiezehrend und laut
- Strahltriebwerksantriebssystem ist sehr schnell, jedoch extrem energiezehrend und laut
- Fahrbahn auf Stelzen benötigt extrem wenig Platz
- Spurgeführte Systeme sind sicher
- Luftdrucksysteme bieten zu wenige Vorteile gegenüber schnellen Eisenbahnen

TGV war die richtige Entscheidung



- Luftdruck- und -schraubensysteme machen Sinn beim Hovercraft





# Geschichte und Ziele der Linearmotor- und Magnetschwebeentwicklung





- Obwohl der Transrapid die Verkehrstechnik der Zukunft sein könnte (oder ist?), haben die ersten Ideen zur Magnetschwebentwicklung in Deutschland im Jahre 1922 angefangen
- Der Ingenieur Hermann Kemper führte zu seiner Zeit viele Experimente zur Magnetschwebetechnik durch
- Im Jahre 1934 wurde ihm das grundlegende Patent zur Magnetschwebetechnik erteilt.

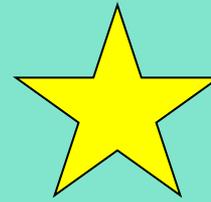
Schwebende Verfahren

## Patentierete Utopie

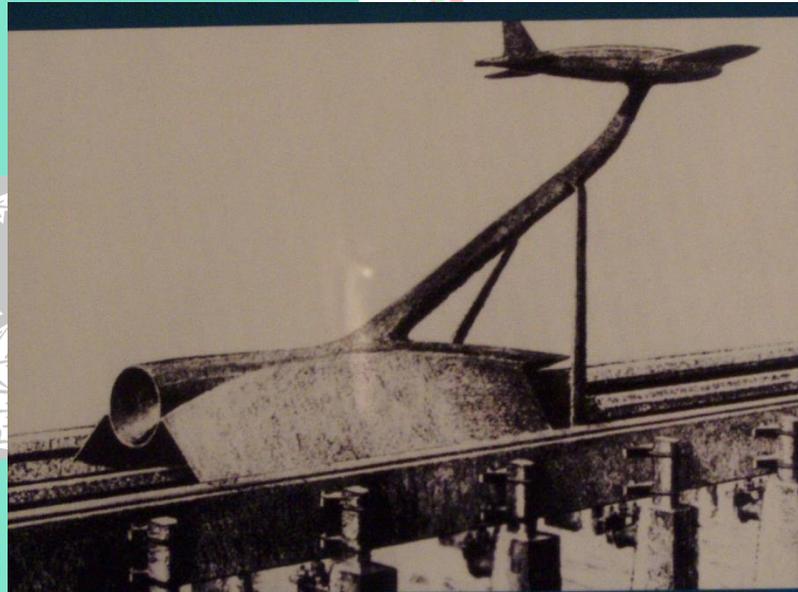
Www

Mit dem Prüfstand gelingt es Hermann Kemper (1892 – 1977), den schwebenden Zustand einer Last zu stabilisieren. Bereits seit 1922 beschäftigen ihn Überlegungen, das elektromagnetische Schweben für eine Schwebebahn zu nutzen. 1933 entwickelt er erste konkrete Entwürfe und erhält 1935 ein Patent für eine »Schwebebahn mit räderlosen Fahrzeugen«.

Das Schwebeverfahren ermöglicht hohe Geschwindigkeiten, wobei das Überwinden des Luftwiderstandes sehr energieaufwendig ist. Kemper schlägt als visionäre, aber technisch komplizierte Lösung eine Magnetschwebebahn in einem luftleeren Röhrensystem vor. Geschwindigkeiten bis zu 3000km/h sollen damit erreicht werden. 1938 wird ihm auch für diese Idee ein Patent erteilt. Die Umsetzung seiner Idee scheitert an technischen Problemen, der Bevorzugung des Autobahnbaus und dem folgenden Krieg.



# Schwebe- und Linearmotortechnik Deutsches Museum Abteilung Bonn



Vision einer Schwebebahn:  
Zur Ergänzung von Windkanal-Messergebnissen wurde von der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen eine Messbahn mit magnetischer Schwebeführung projektiert. Damit sollte es möglich sein, Modelle mit Geschwindigkeiten bis zu der des Schalls und darüber hinaus durch die freie Atmosphäre schleppen zu können (1942).

# Schwebende Verfahren

«Auf die Vergötzung des Fortschritts antwortete man mit der Vergötzung der Verdammung des Fortschritts; das war alles und ergab zwei Gemeinplätze.»

*Paul Valéry*

Eine Sache ist nicht deswegen unbedingt zu realisieren, weil sie sich als wissenschaftlicher oder technischer Fortschritt darstellt. Umgekehrt ist aber dieselbe Sache nicht deswegen zu verwerfen, gerade weil sie sich als ein solcher Fortschritt präsentiert.

Die Magnetschwebetechnik ist am Anfang ihrer Geschichte gekennzeichnet von euphorischen Erwartungen. Seitdem sich jedoch gesellschaftlicher Widerstand gegen Großprojekte regt, muß sie sich unbequemen Fragen stellen.

Zu dieser Episode gehören: Kemperscher Prüfstand, Tranerapid 06, Berührunglose Magnetlager,

## Kemper'scher Prüfstand

Nachbau des Original-Prüfstandes von MBB und der Krauss-Maffei AG, 1970

Hermann Kemper gelingt es erstmals, die elektromagnetische Kraft mittels Magnetspulen so zu regeln, daß ein angehängtes Gewicht (unten) stabil im Schweben gehalten werden kann.

Inventarnummer 1977 – 1019.000  
Stiftung von Hermann Kemper

## Schwebende Verfahren

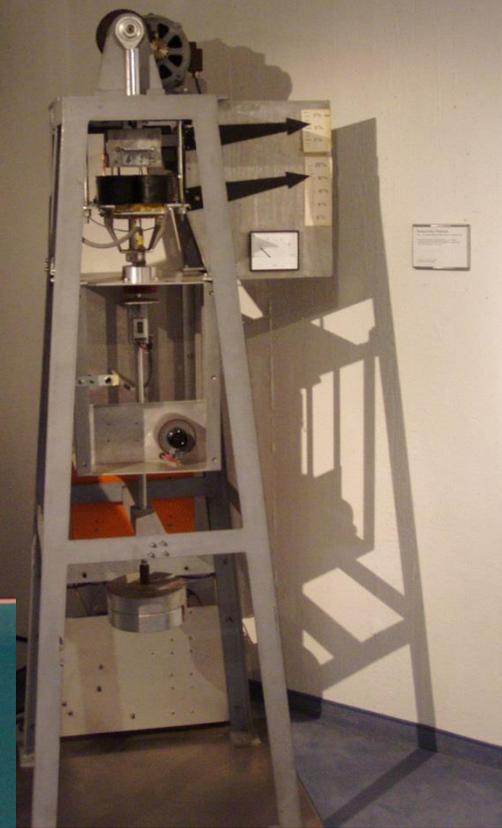
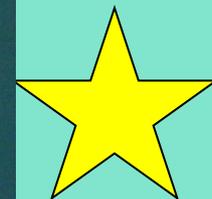
### Kemperscher Prüfstand

www

Der von Hermann Kemper gebaute Prüfstand untersucht Wirkungen von magnetischen Kräften. Die elektromagnetische Anziehung soll so geregelt werden, dass sie ein angehängtes Gewicht zum Schweben bringt.

Die Anziehungskräfte zwischen Elektromagnet und Traganker können eine Traglast von maximal 42 kg in der Schwebelage halten. Ein Problem ist es jedoch, ihren schwebenden Zustand zu stabilisieren. Zur Lösung wird nicht nur der Abstand des Magnets vom Traganker, sondern auch seine Geschwindigkeit und Beschleunigung gemessen. Alle drei Messwerte werden schnell erfasst und mit Hilfe einer komplexen Steuerungs- und Regelungstechnik bearbeitet.

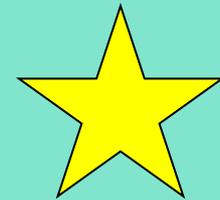
Der Nachbau von Krauss-Maffei unterscheidet sich vom Original hauptsächlich durch die Technik der Steuerung und Regelung. Zudem sind die Röhren durch eine kompakte Transistortechnik ersetzt.



Deutsches Museum  
Abteilung Bonn



Die „elektrische“ Idee !



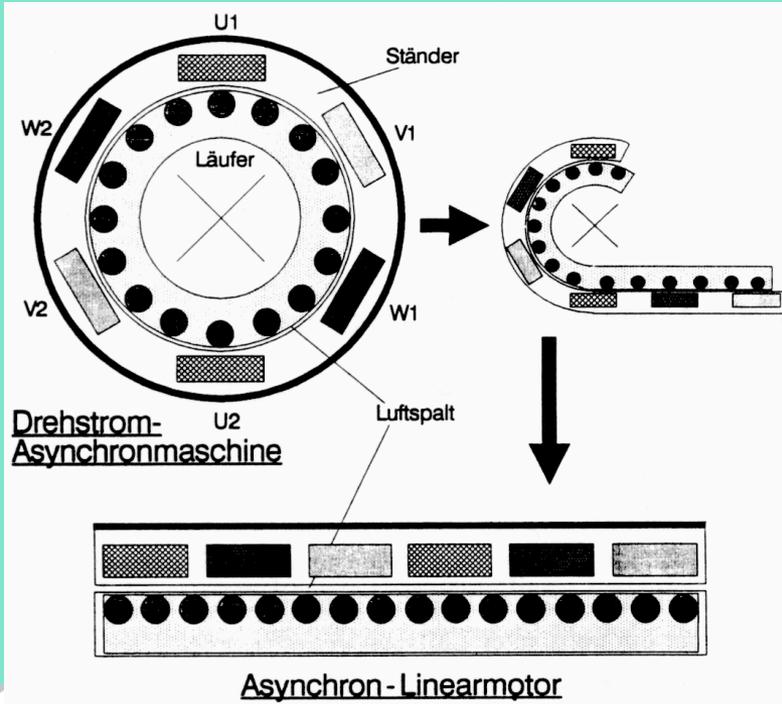


Bild 4-1. Prinzip des Linear motors

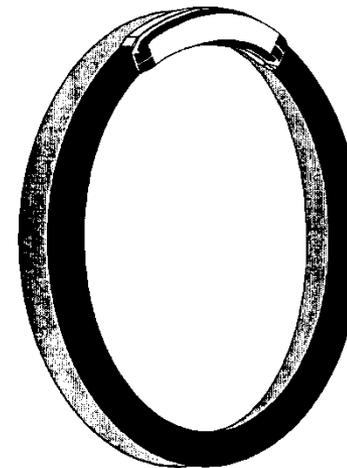
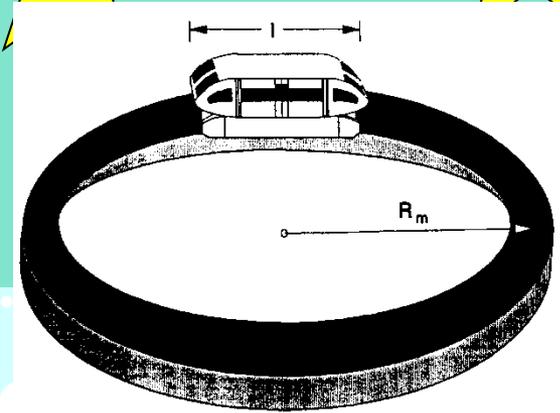


Bild 4-4. Gekrümmte Linear kurzstatormaschine

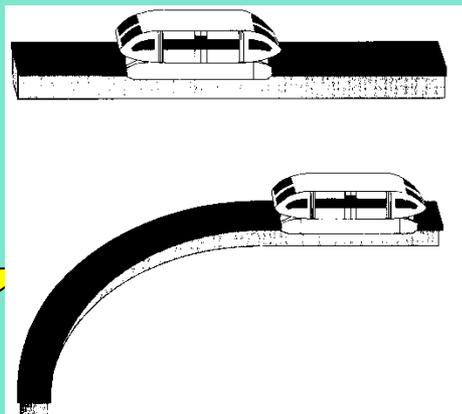
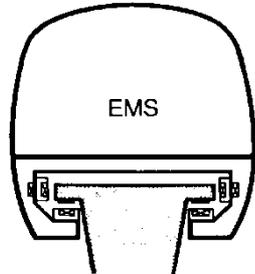
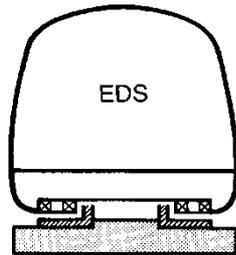
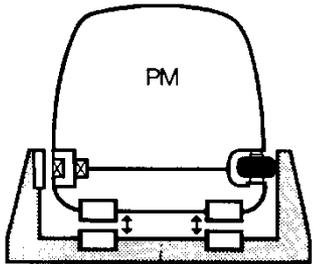


Bild 4-3. Lineares Elektrofahrzeug auf Schienen



7 Prinzip des Schwebens mit Permanentmagneten; Tragfunktion durch abstoßende Dauermagnete, Seitenführung durch geregelte Magnete und Rollen; Tragen und Führen ist mit Dauermagneten allein nicht möglich.

8 Prinzip des elektrodynamischen Schwebens mit abstoßenden Elektromagneten.

9 Prinzip des elektromagnetischen Schwebens mit geregelten anziehenden Elektromagneten.

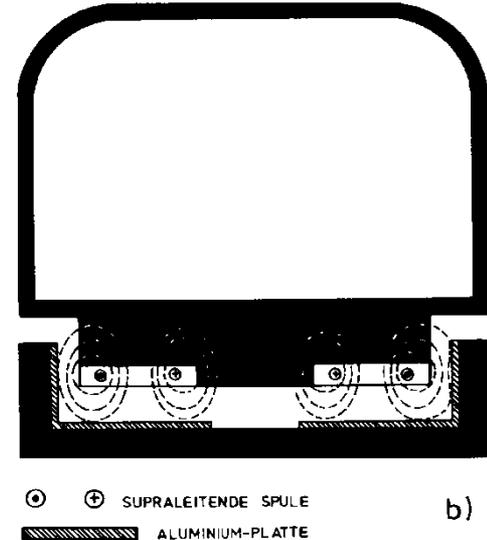
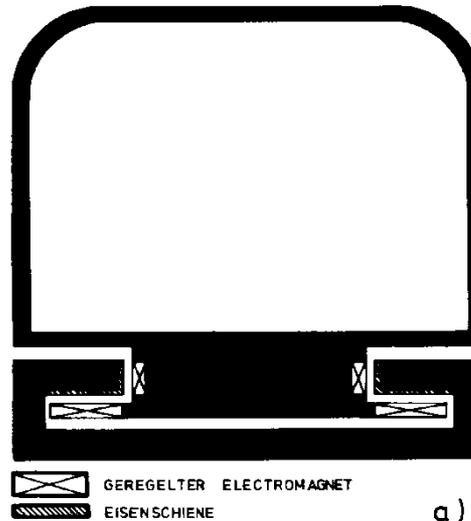


Abb. 9

Elektromagnetisches Trag- und Führungssystem (EMS) b) Elektrodynamisches Trag- und Führungssystem (EDS)

# Schwebe- system um 1975 in Deutschland

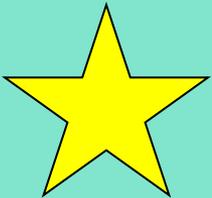


Linearantrieb  
Deutsches Museum  
Abteilung Bonn





# Historie



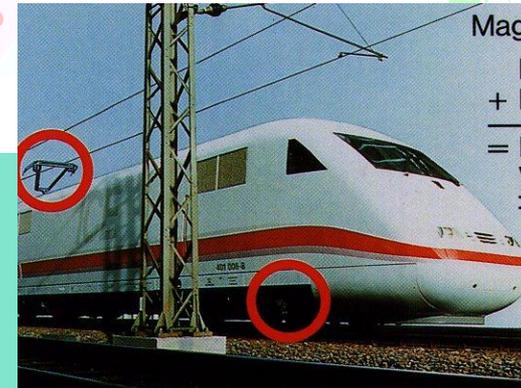


Ziele:



Vollkommen berührungsfreies, wirtschaftlich einsatzfähiges Schnellverkehrssystem

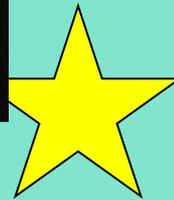
- Magnetische Kräfte übernehmen die Arbeit von Rädern, Motoren, Achsen und Getriebe, so dass die Funktionen Tragen, Führen, Antreiben, Bremsen ohne Kontakt zwischen Fahrzeug und Fahrweg erfolgen



Magnetschnellbahn:

keine Berührung  
+ keine Reibung

= kein  
Verschleiß

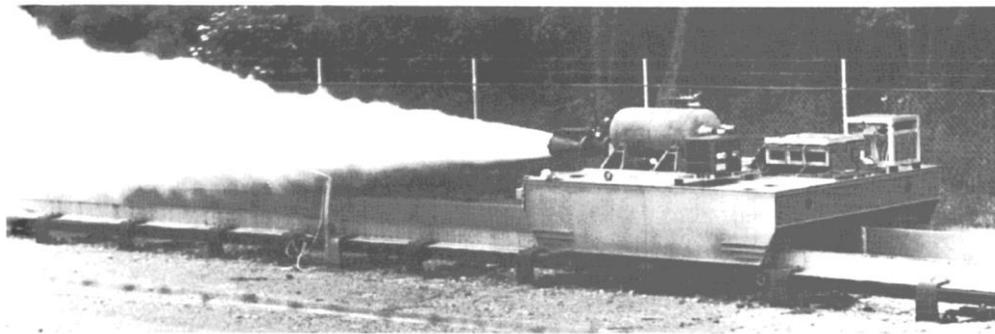




1922 – 1977 von der Idee zum Systementscheid:

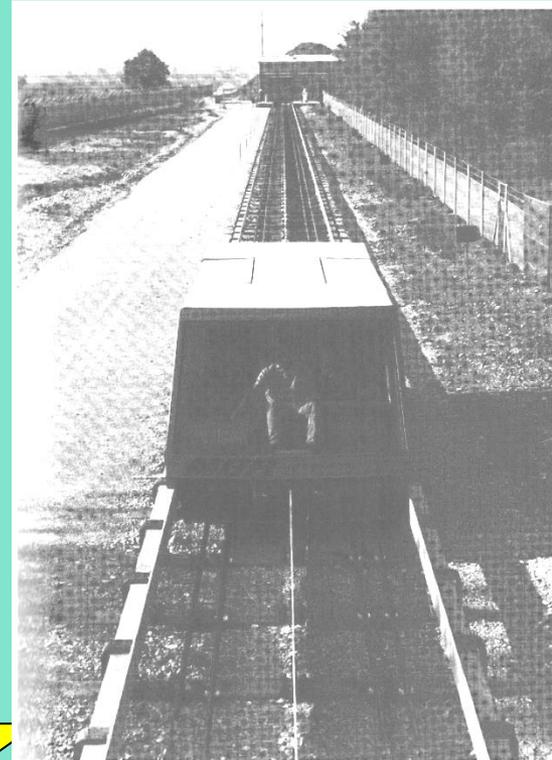


1971: Prinzipfahrzeug von Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB) auf einer 660 m langen Versuchsstrecke in Ottobrunn



Unbemannter Meßschlitten mit Räderfahrwerk zur Weiterentwicklung der Magnetsysteme; eine Heißwasserrakete sorgte für die nötige hohe Beschleunigung

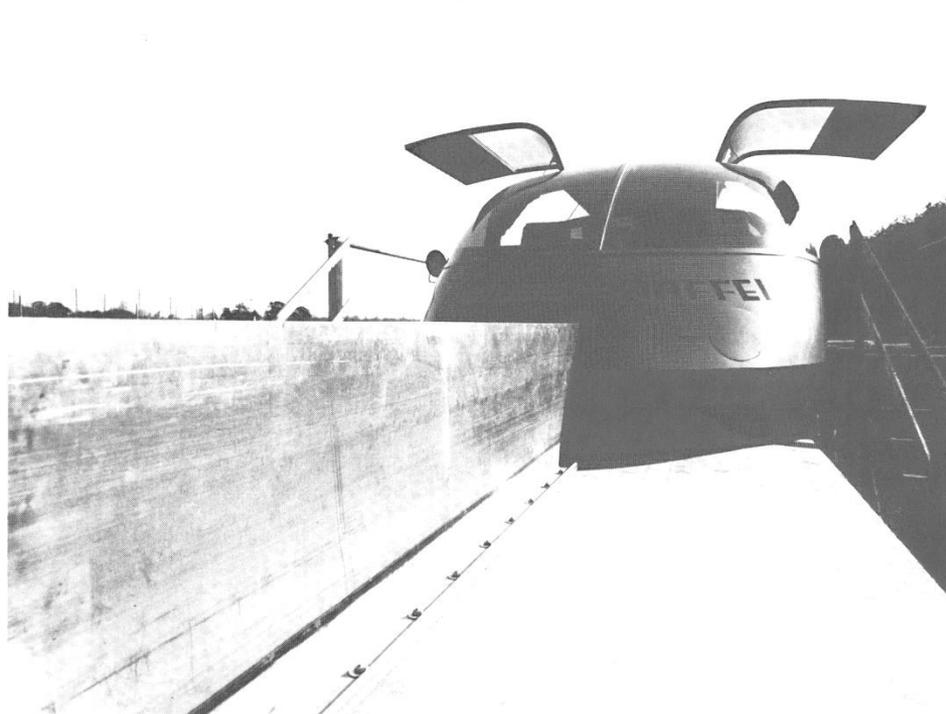
auf der nur kurzen Versuchsstrecke in Ottobrunn bei München, so wurden auf 660 Metern bis zu 225 km/h erreicht.



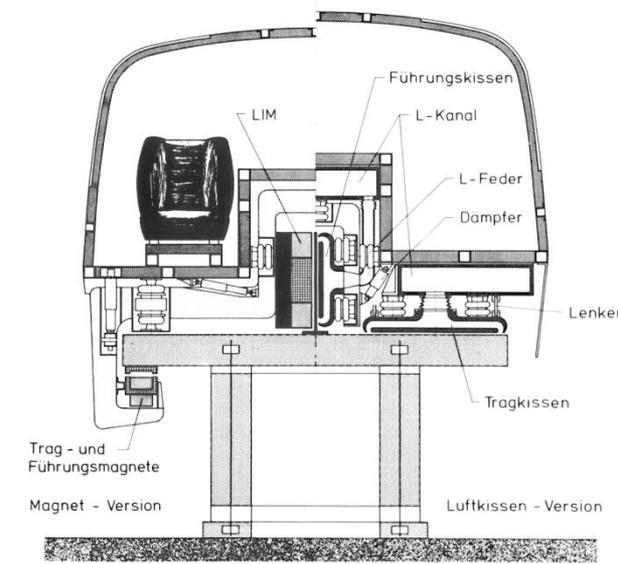
Das «Prinzipfahrzeug» von Messerschmitt-Bölkow-Blohm auf der ersten Versuchsanlage in Ottobrunn bei München; seitlich sind die Reaktionsbahnen für die Trag- und Führungsmagnete, in der Mitte – nur als Linie erkennbar – die senkrecht stehende Reaktionsbahnen des Kurzstator-Linearantriebs sowie beiderseits dazwischen die Strombahnen für die Energieübertragung zu sehen.



1971: Transrapid 02 von Krauss Maffei wird in Betrieb genommen (8 Sitzplätze, 164 km/h Spitzengeschwindigkeit, Asynchron-Kurzstator-Lineararmotor)

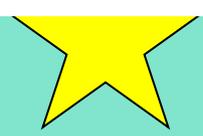


Das Reaktionsteil für den asynchronen Kurzstator-Lineararmotor bildete beim «Transrapid 02» eine in der Mitte der Betonfahrbahn senkrecht angeordnete Aluminiumplatte.

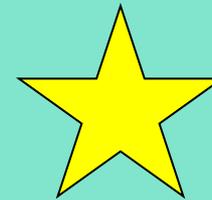
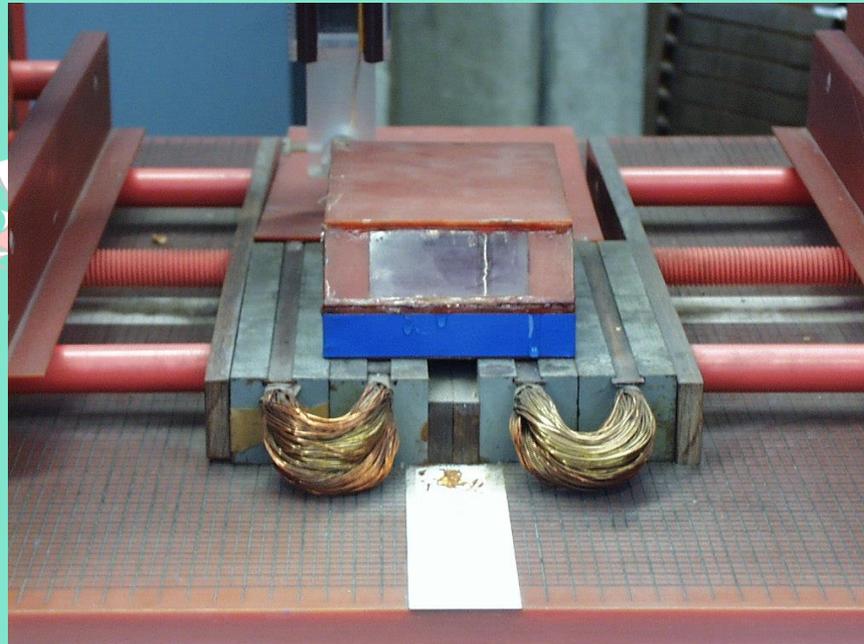
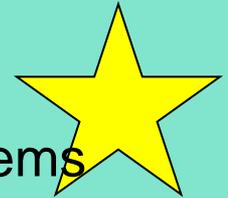


Vergleich des Magnetschwebefahrzeugs Transrapid 02 (links) mit der Luftkissen-

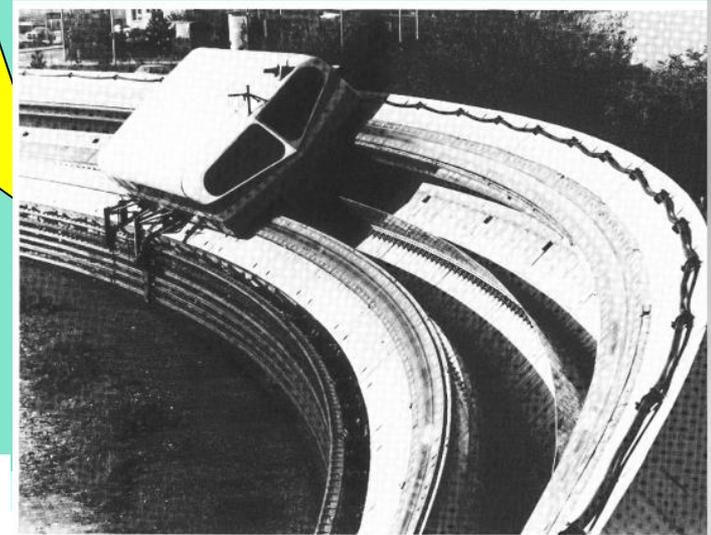
Version Transrapid 03 auf derselben «bivalenten» Fahrbahn.



1972: Anwendung des Elektrodynamischen Schwebesystems (EDS – abstoßendes Prinzip) einer Projektgruppe von AEG – Telefunken, BBC und Siemens wird getestet (supraleitende Spulen)



1972 MAN installiert eine 900 m lange Erprobungsstrecke als Rundkurs in Erlangen und den „Erlangener Erprobungsträger“ (EET 01)



Erlangener Erprobungsträger EET 01 auf der kreisförmigen Teststrecke. Links die Stromabnehmer, in Fahrbahnmitte die Reaktionschiene für den Kurzstator-Linearmotor.

Der etwa 900 Meter lange Erlanger Rundkurs nach Fertigstellung.



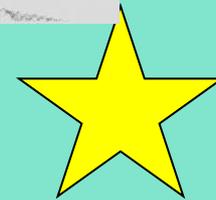
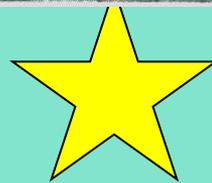
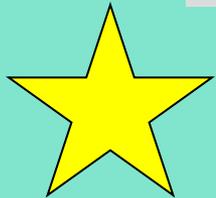
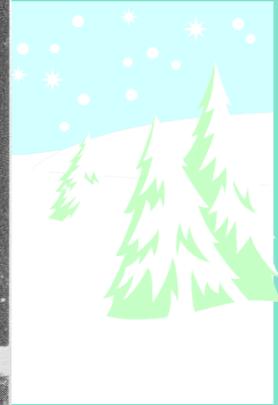
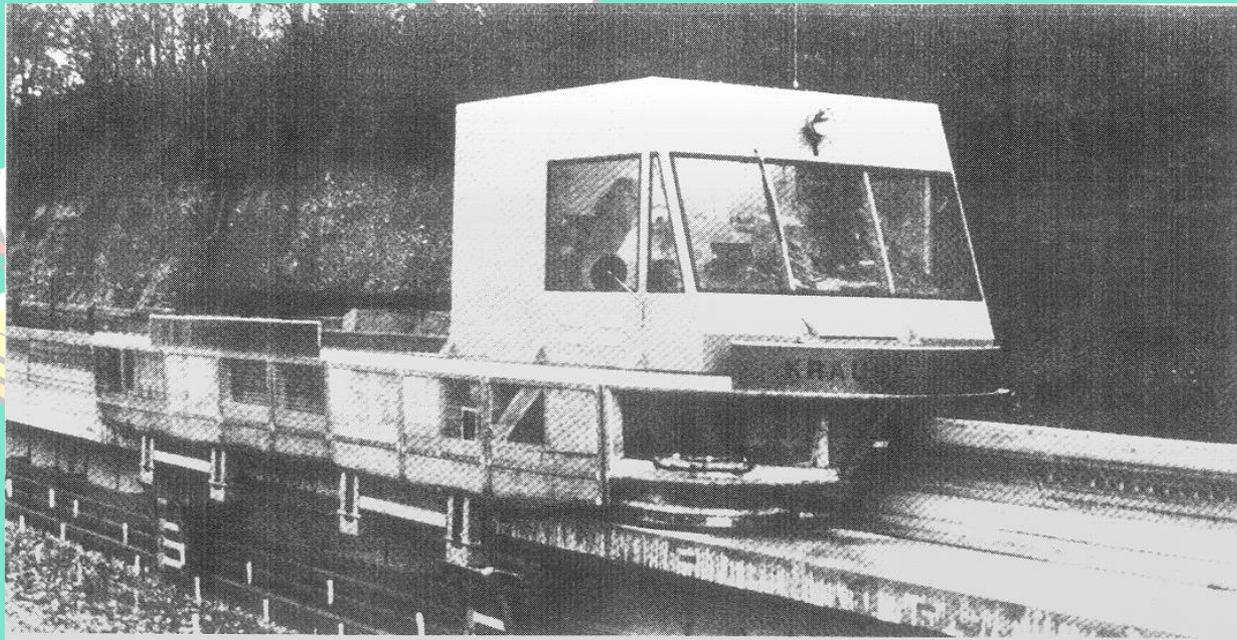
Erlanger Rundkurs nach Umrüstung auf Langstator-Linearmotor mit den Wicklungen in der Trasse.



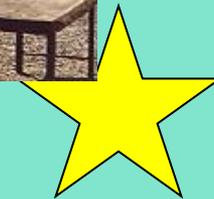
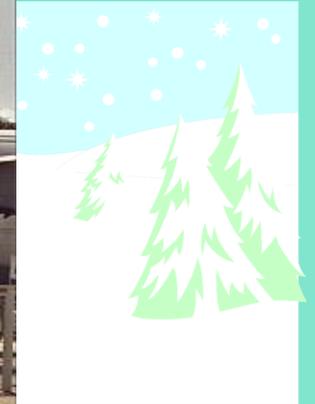


Asynchroner  
Linearmotor  
(Kurzstator) mit  
Wirbelstrom-  
schiene für  
Schnellverkehrs-  
system

➤ 1972 Inbetriebnahme des Transrapid 03 von Krauss Maffei (4 Sitzplätze, 140 km/h, Asynchron-Kurzstator-Lineararmotor)



➤ 1973: Inbetriebnahme des Transrapid 04 von Krauss Maffei/AEG-Telefunken (20 Sitzplätze, 253.2 km/h, Asynchron-Kurzstator-Linearmotor)



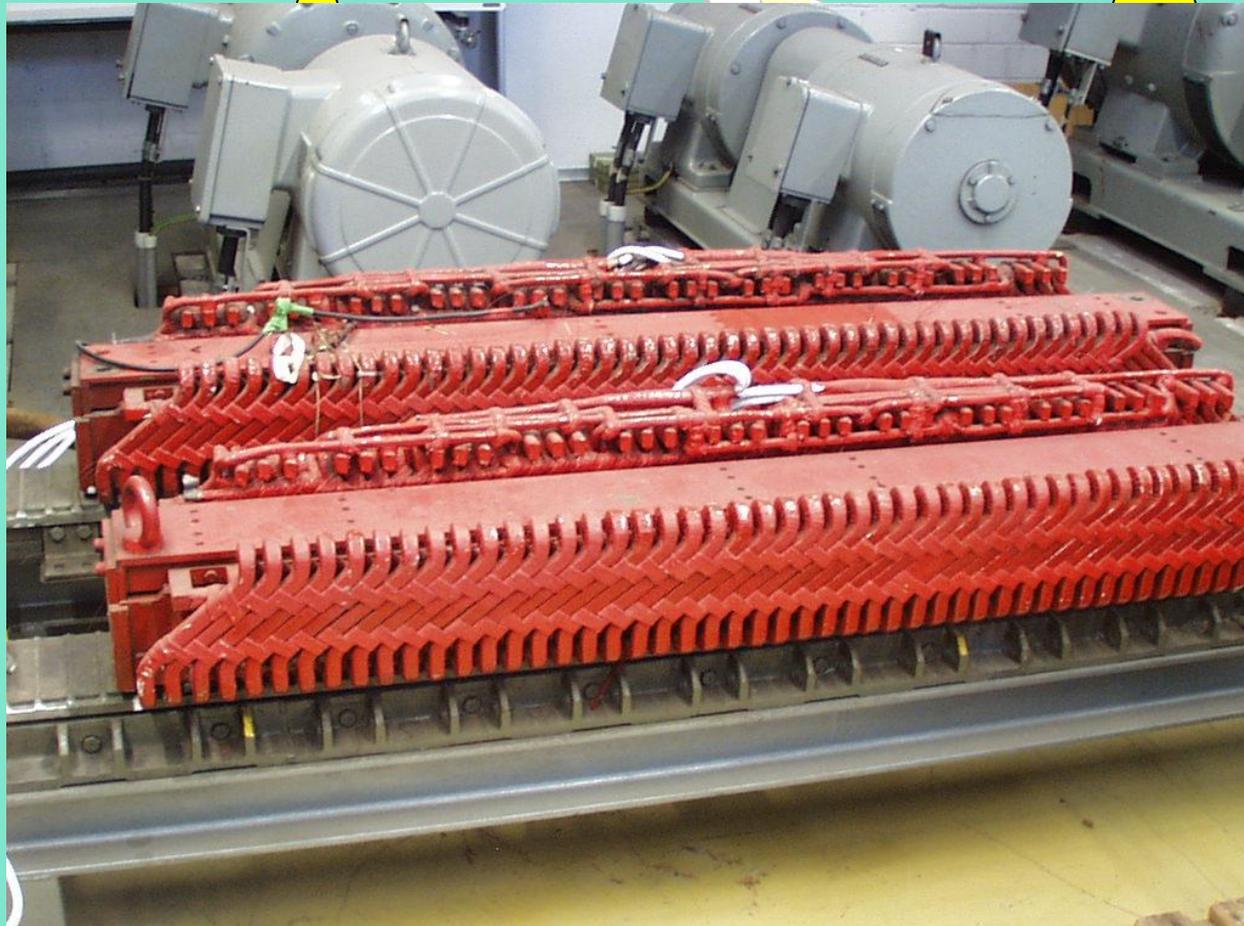
Trasse der Magnetbahn-Versuchsanlage am Militärflugplatz Manching bei Ingolstadt. Hier wurde der Komponentenmeßträger -Komet- zur Weiterentwicklung der Magnetsysteme eingesetzt.



➤ 1974/75: Inbetriebnahme des Komponentenmeßträgers KOMET von MBB (keine Sitzplätze, 401.3 km/h, Asynchron-Kurzstator-Linearmotor)

**Schnell-  
fahrssystem  
um 1975 in  
Deutschland**

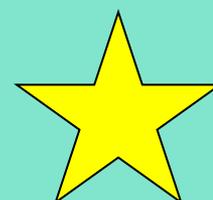




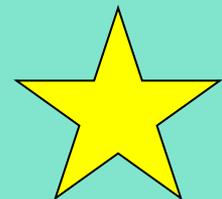
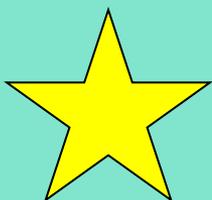
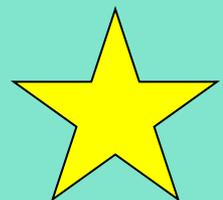
Asynchroner  
Linearmotor  
(Kurzstator) für  
Schnellverkehrs-  
system:

KOMET





1975: Erste Funktionsanlage für Langstator-Magnetfahrtechnik mit  
Versuchsplattform HMB 1, von Thyssen Henschel in Kassel entwickelt und auch in  
Betrieb genommen

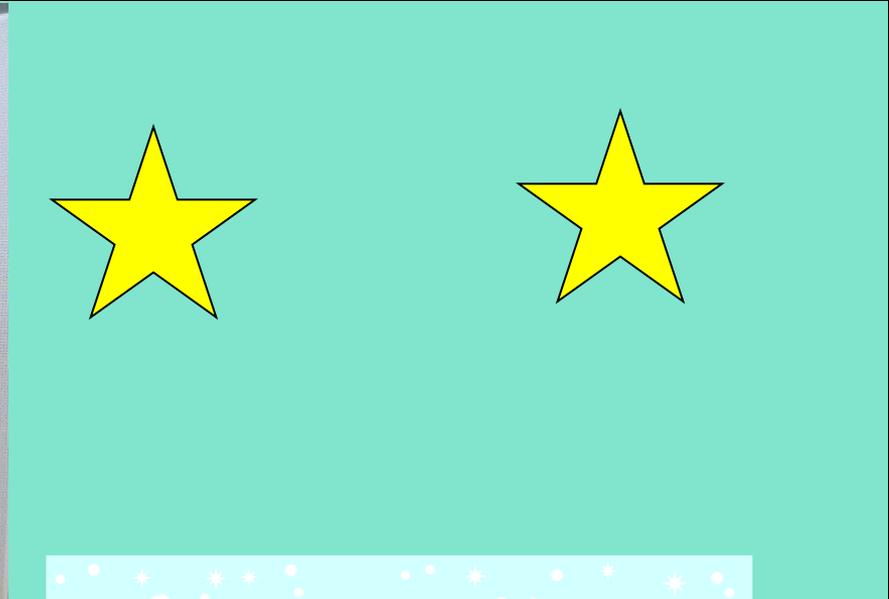




1976: Inbetriebnahme des ersten Langstator – Versuchsfahrzeuges HMB 2 bei Thyssen Henschel (4 Sitzplätze, 36 km/h, elektromagnetisches Trag- und Führsystem mit synchronem Langstator-Linearmotor)

Versuchsfahrzeug HMB 2 von Thyssen-Henschel auf der ersten Erprobungsstrecke für Langstator-Linearmotoren in Kassel.



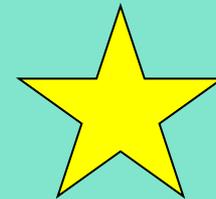


ANSYS-Konferenz in  
Kassel, 2012  
Thyssen Henschel-Museum



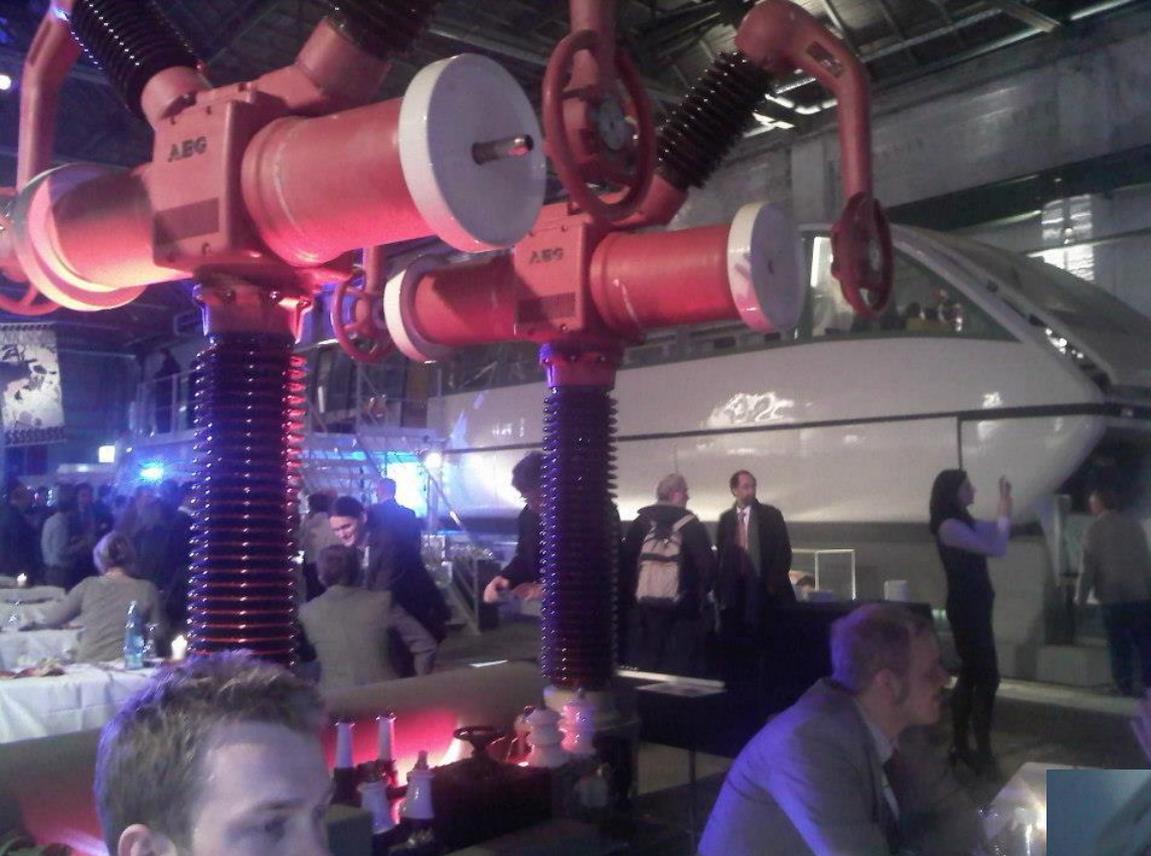


1977: Systementscheid des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) zugunsten des Langstator-Antriebs und des elektromagnetischen Schwebesystems (EMS). Die Entwicklung des elektrodynamischen Schwebesystems (EDS/"Erlangener Erprobungsträger") wird eingestellt.



1979: Transrapid 05, die erste für den Personenverkehr zugelassene Magnetbahn mit Langstatorantrieb auf der Internationalen Verkehrsausstellung (IVA 79) in Hamburg in Betrieb genommen (68 Sitzplätze, 75 km/h, Synchron-Langstator-Lineararmotor)

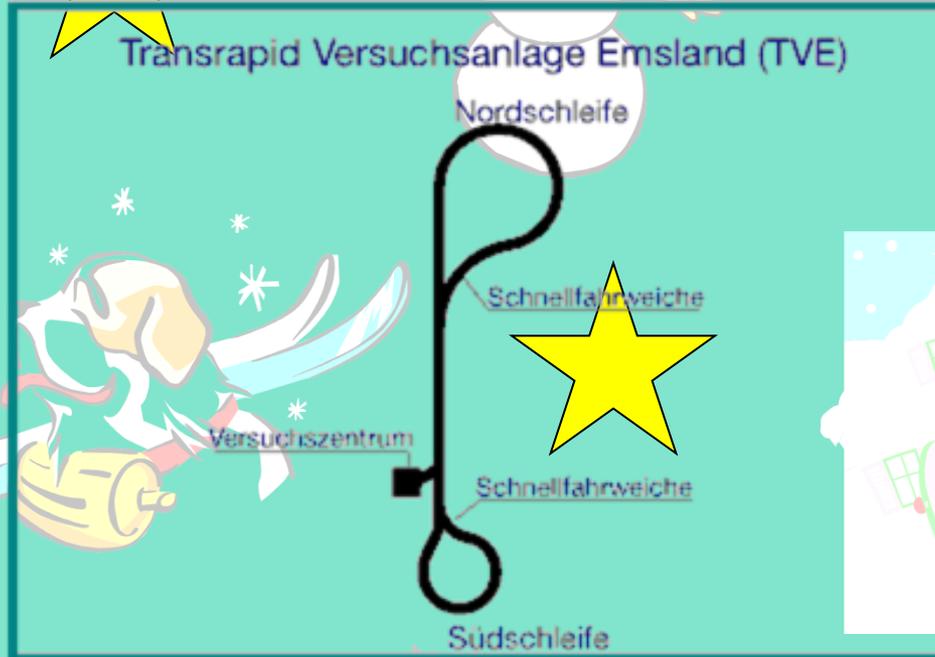




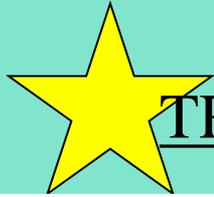
ANSYS-Konferenz in  
Kassel, 2012  
Thyssen Henschel-Museum



1980: Bau der Transrapid Versuchsanlage im Emsland (TVE)



1983: Versuchsfahrzeug Transrapid 06 wird in Betrieb genommen. Das erste Magnetschwebefahrzeug fährt auf der TVE (192 Sitzplätze, 400 km/h, Synchron-Langstator-Lineararmotor)



# TRANSRAPID 06

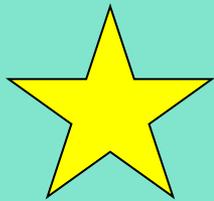


Heutiger Verbleib: Deutsches Museum Bonn  
und: Museum in den Niederlanden

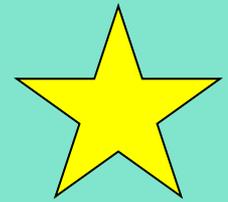


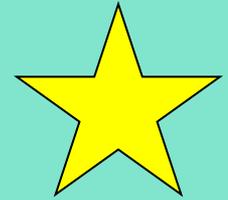
1988: Transrapid 07 wurde während der Internationalen Verkehrsausstellung (IVA 88) in Hamburg der Öffentlichkeit vorgestellt.



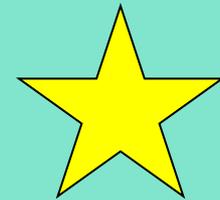


TRANSRAPID 08

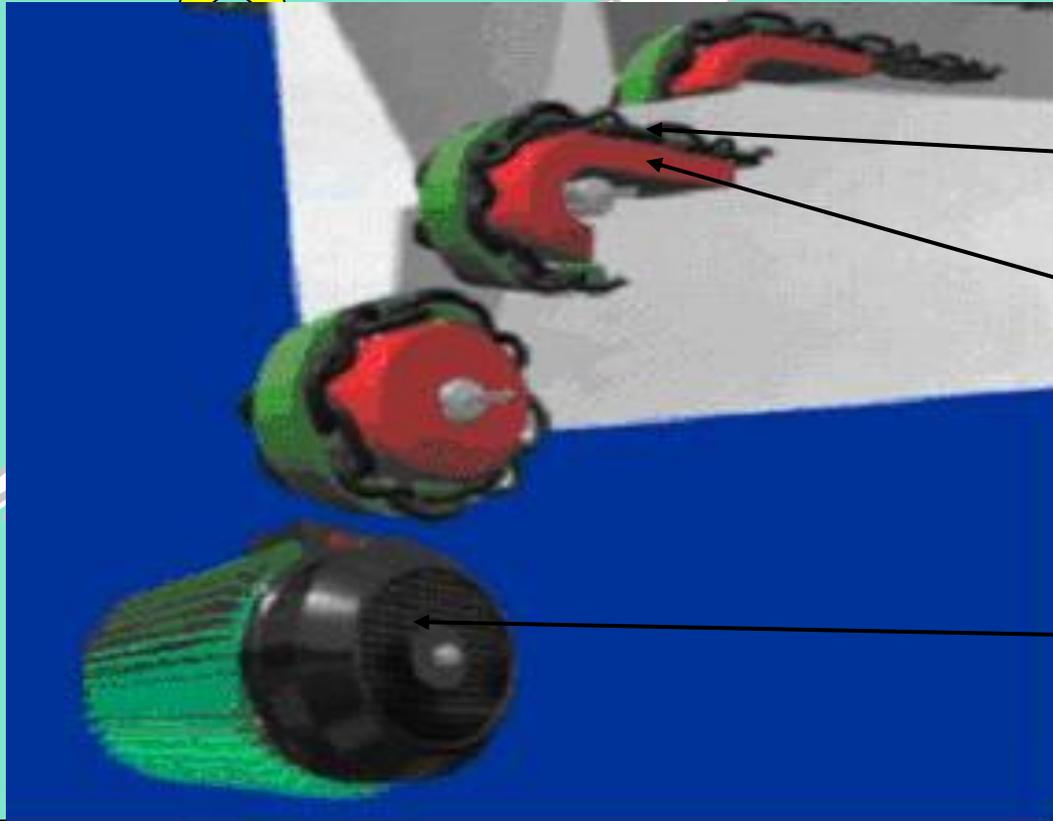




# Linearmotortechnologie



# Aufbau eines Linearmotors

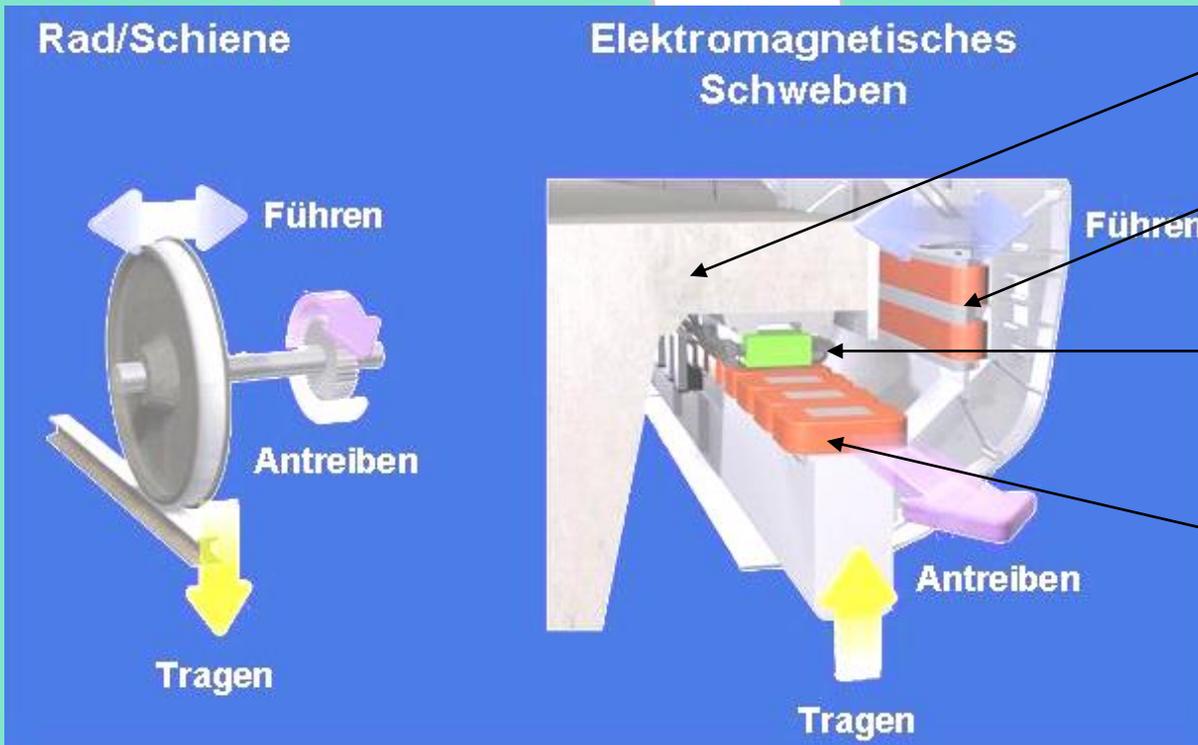
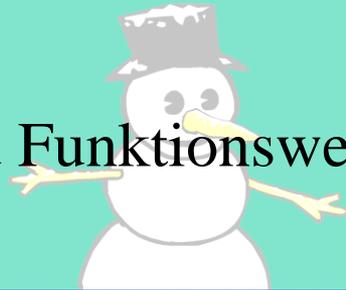


Stator

Rotor ( Erregerwicklung )

Konventioneller  
Elektromotor

# Aufbau und Funktionsweise eines Transrapid



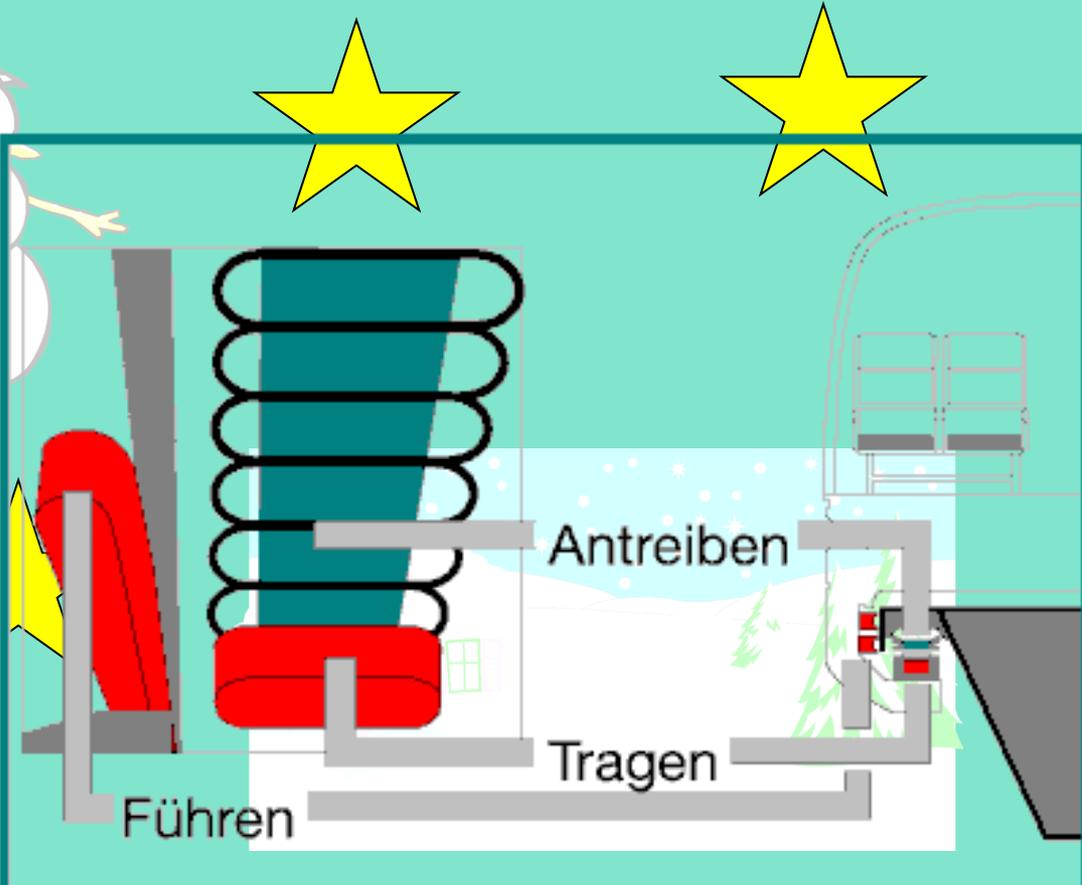
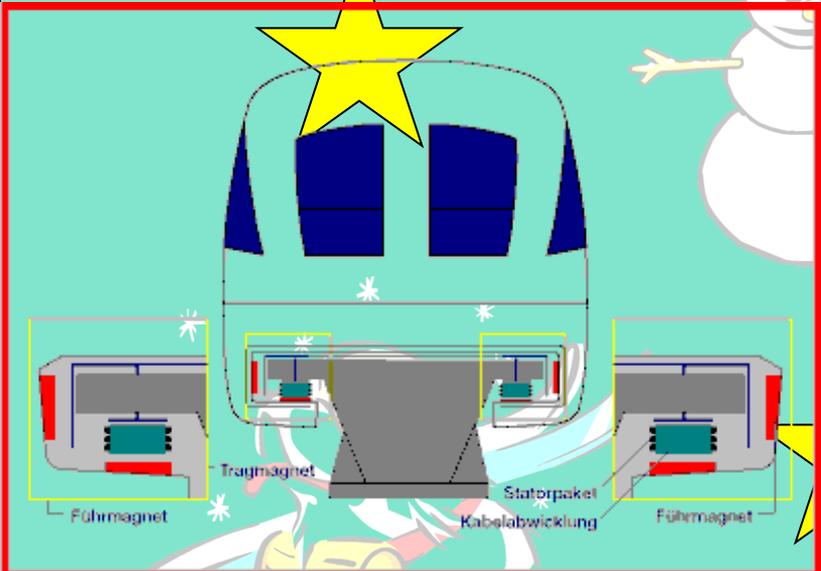
Träger

Führungsmagnete

Schiene (Stator)

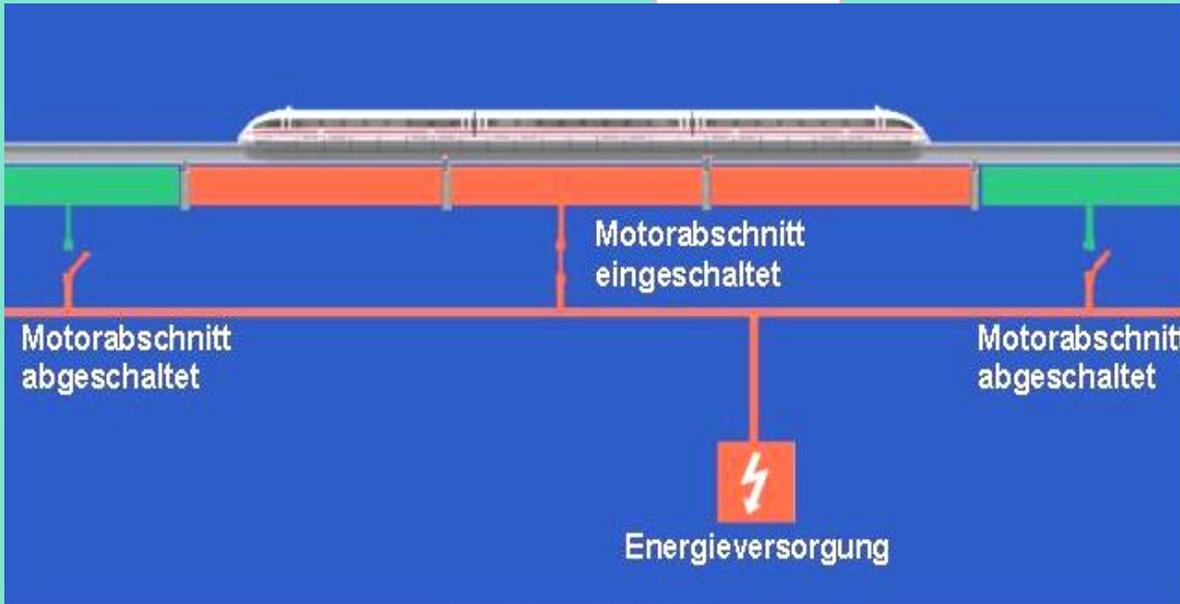
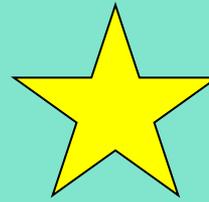
Erregerwicklung





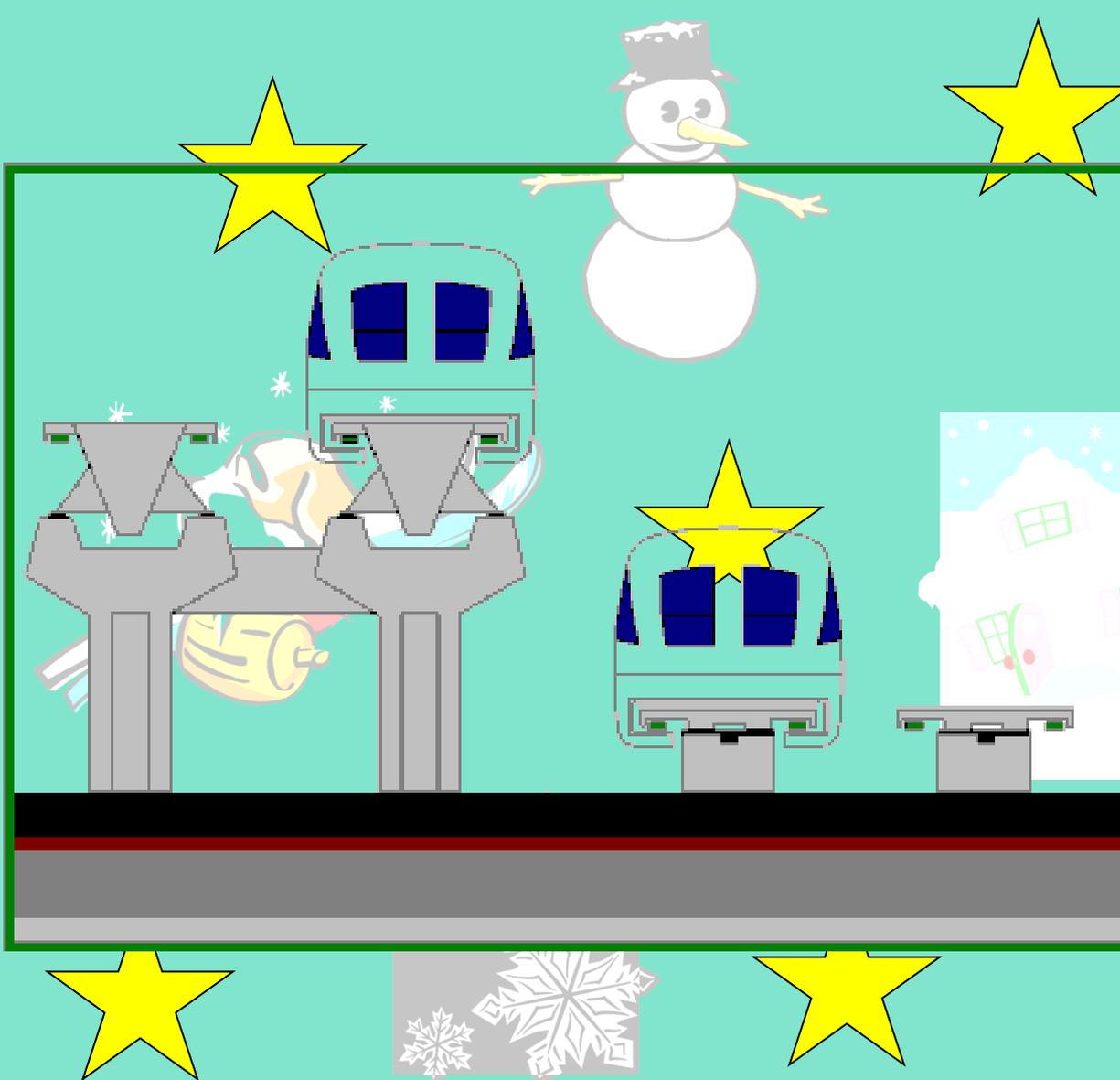
Die Elektromagnetwicklung im Fahrzeug ist gleichzeitig Hub- und Antriebseinheit:  
Die Hubkraft ist gratis !

Antrieb



-Stromversorgung des Statorsegments, auf dem sich das Fahrzeug befindet

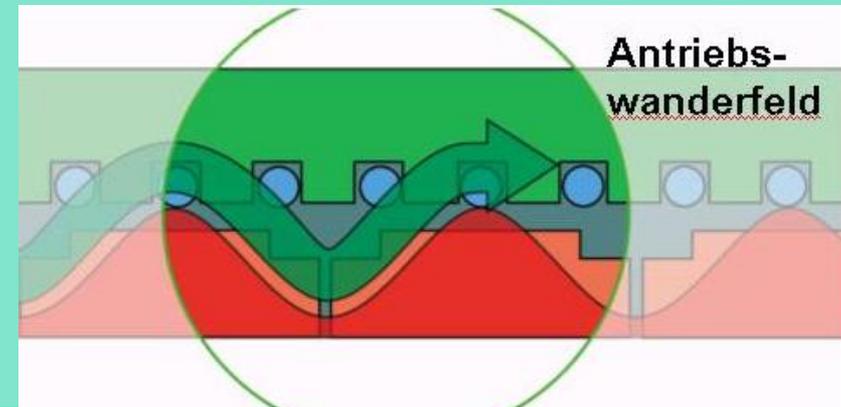
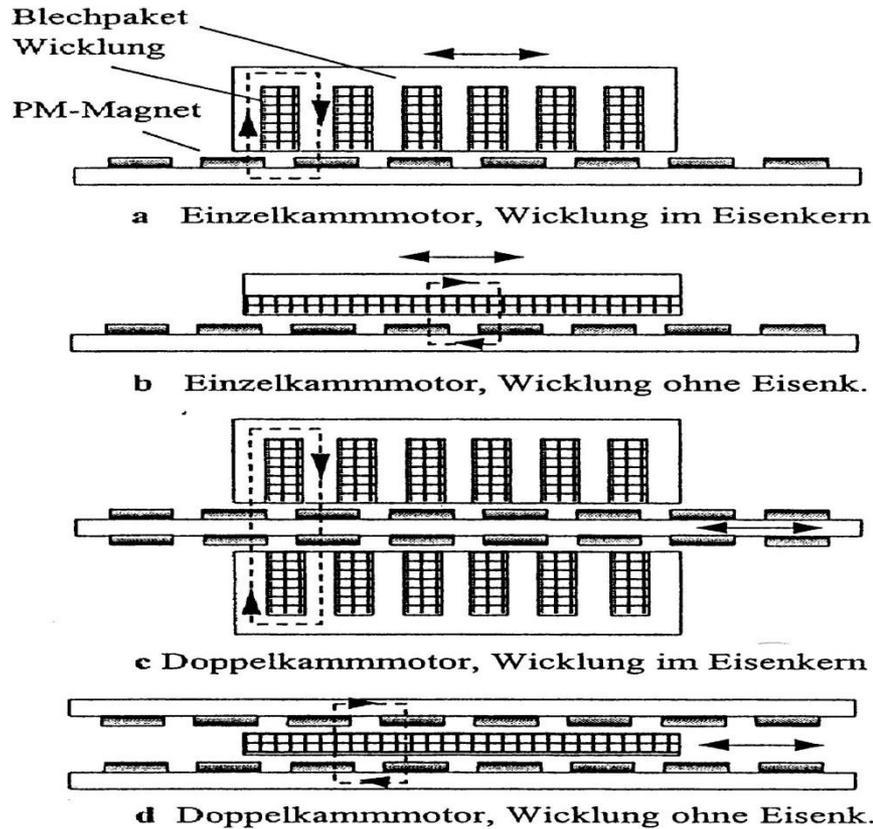




Trassenführung auf  
Stelzen oder in  
direkter Bodennähe

- Vorteile
- Brückenbauwerke
- Nutzflächen
- Brauchflächen
- Verkehrsanbindung

# Technik von Linearmotoren



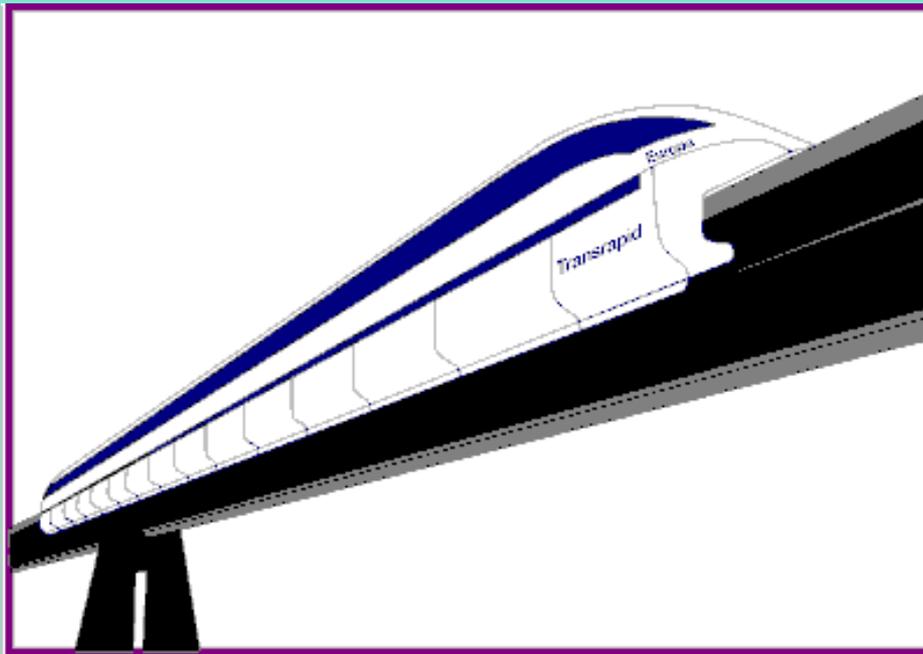
Drehstromwicklung mit der Windungszahl eins

$$v = \tau_p \cdot 2 \cdot f$$

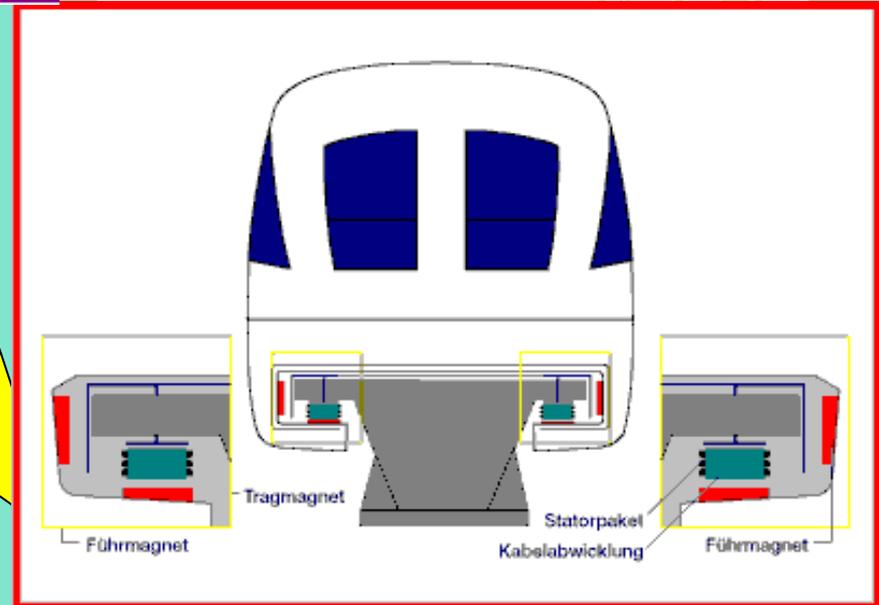




Exkursion zum Transrapid in Lathen 1998



# Schwebe- und Schnellfahrssystem Transrapid ab 1980 in Deutschland

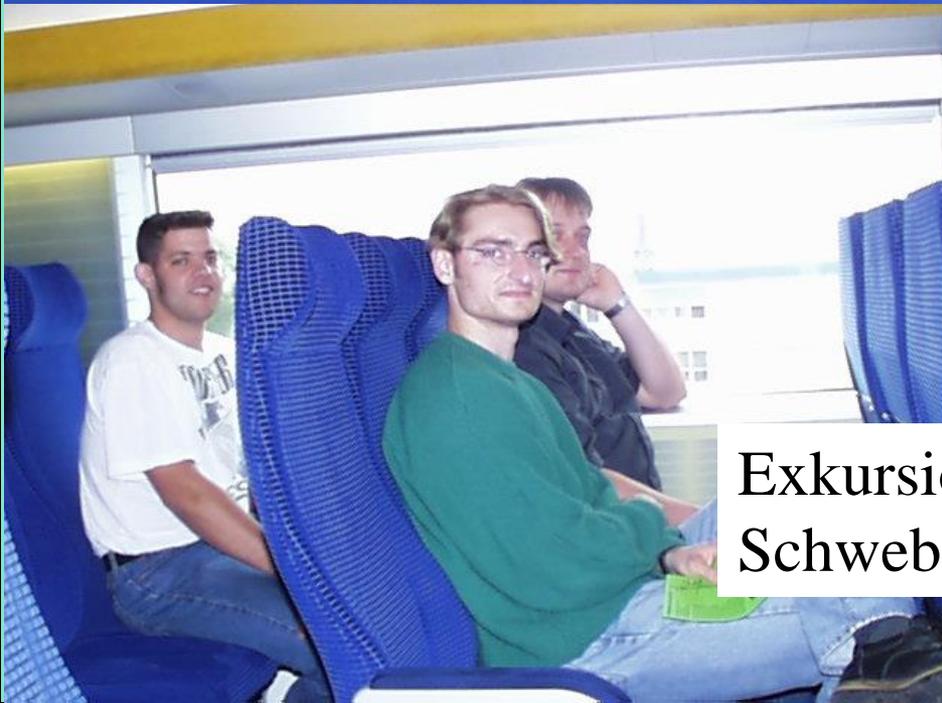




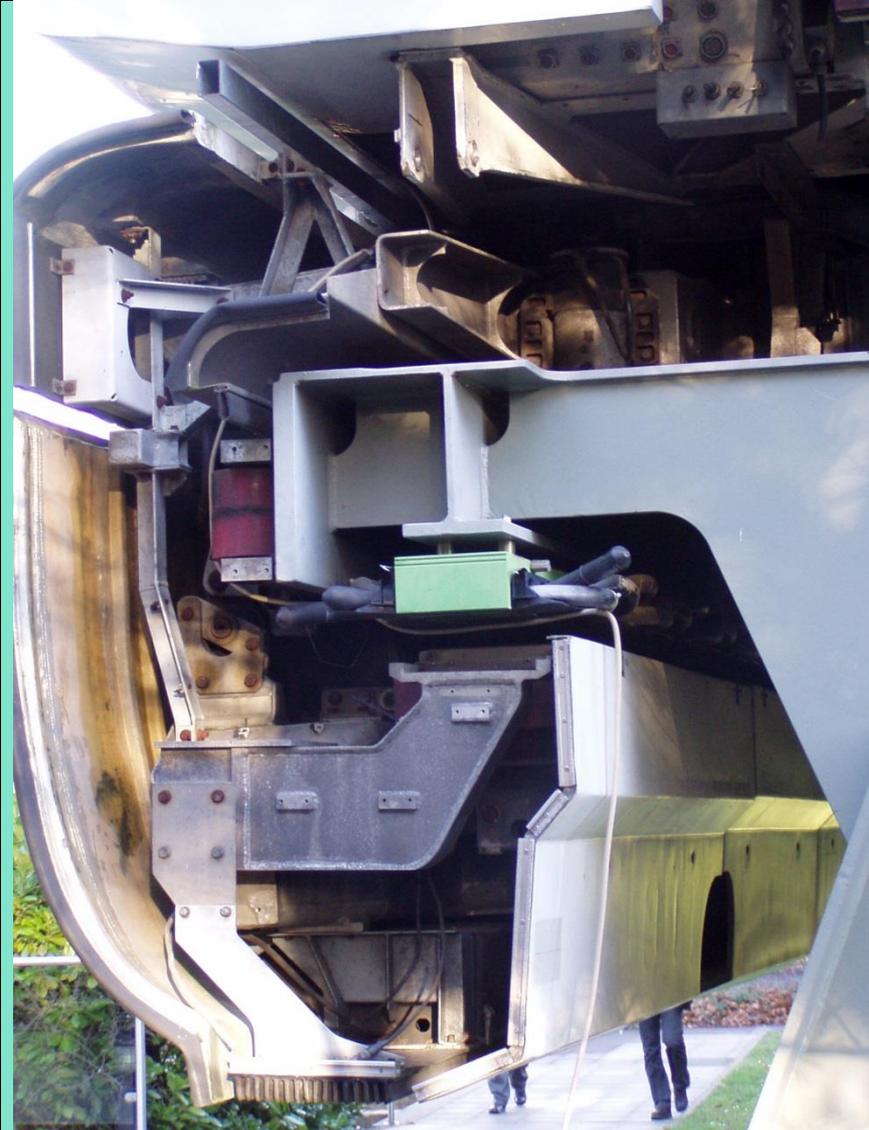
Exkursion zum Transrapid in Lathen 2000



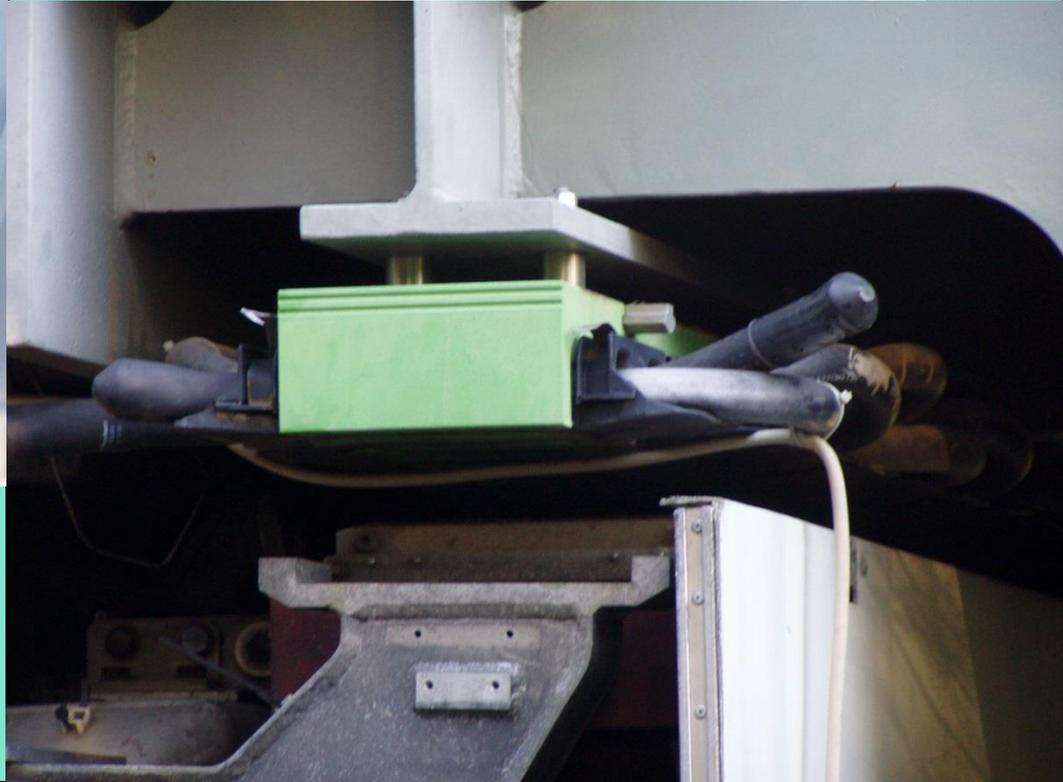
Exkursion zum Transrapid in Lathen 2000



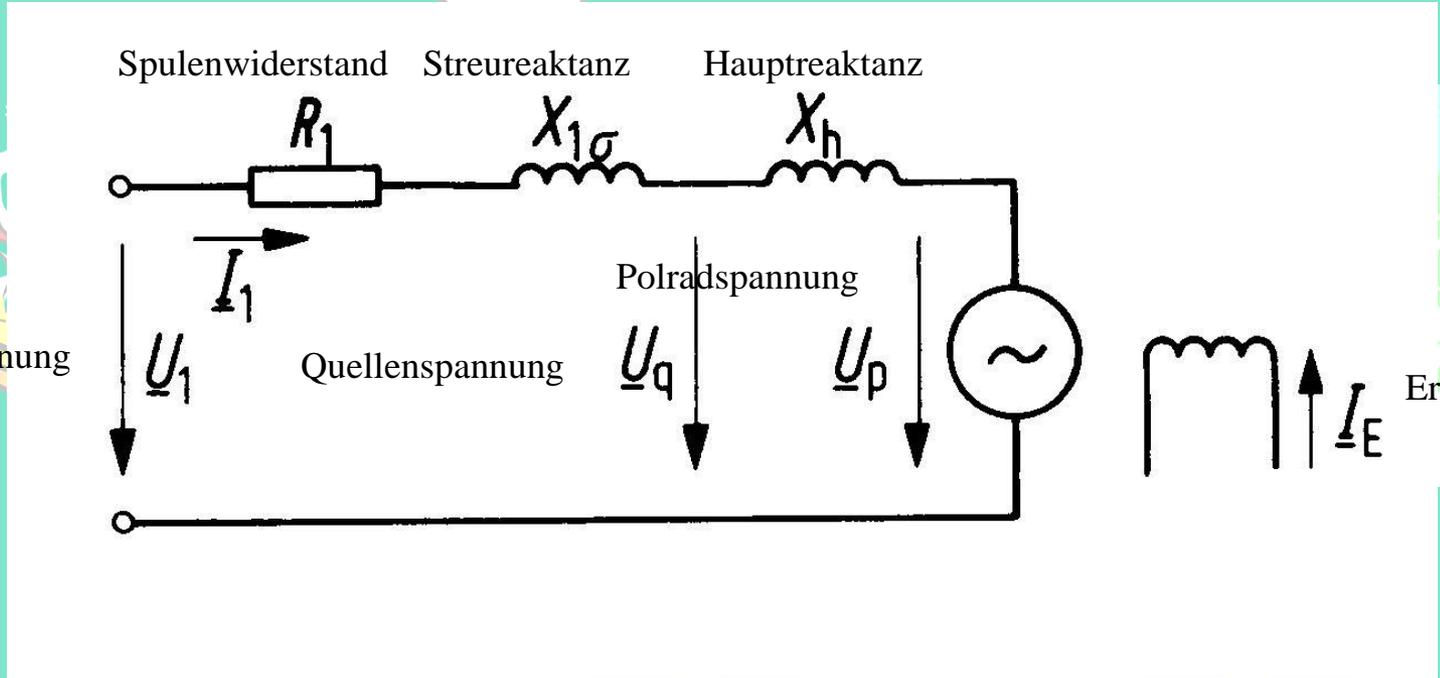
Exkursion zum Transrapid in Lathen, 2000  
Schweben mit mehr als 300 km/h auf Höhe 0



Transrapid 06  
Deutsches Museum  
Abteilung Bonn



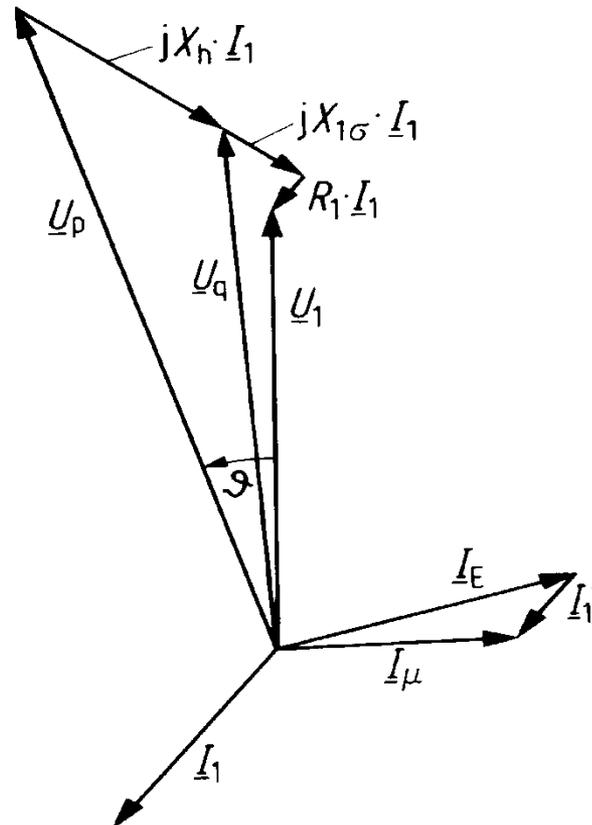
# Ersatzschaltbild der Synchronmaschine



Klemmenspannung

Erregerstrom

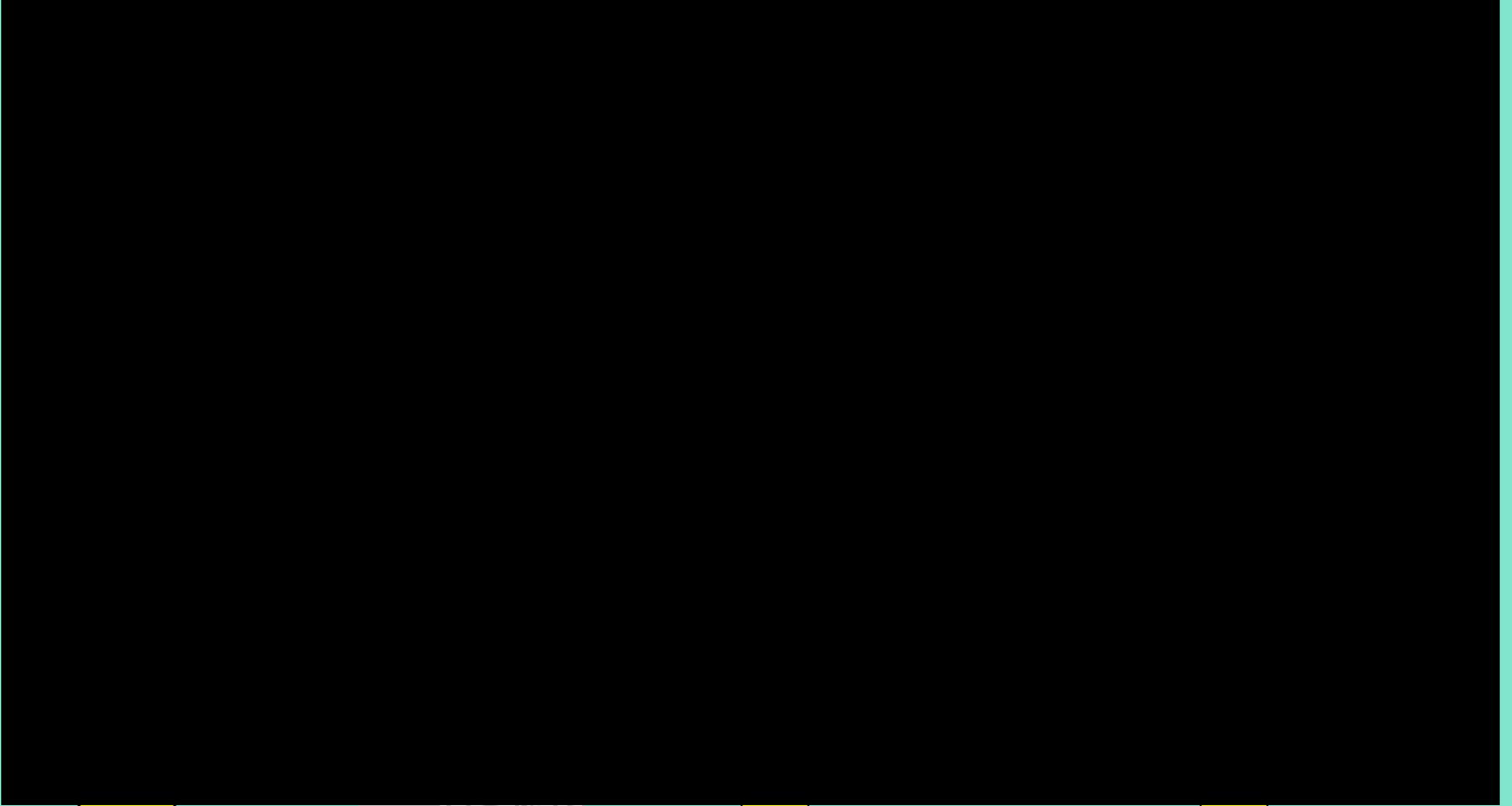
# Zeigerdiagramm der Synchronmaschine

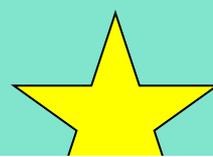



 $\underline{U}_{res}, \underline{I}_\mu = 90^\circ$


 $\underline{U}_p, \underline{I}_E = 90^\circ$

**Vollständiges  
 Zeigerdiagramm des  
 Synchrongenerators bei  
 ohmsch-induktiver  
 Belastung**

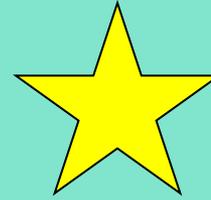




➤ 1992 - 2000 Planung der ersten Anwendung in Deutschland

- 1989: Ein neuer Geschwindigkeitsweltrekord des Transrapid 07 auf der TVE mit 450 km/h
- 1992: Die etwa 300 km lange Magnetschwebbahn-Verbindung zwischen Berlin-Hamburg soll realisiert werden
- 1999: Der 3-Sektionen- Vorserienfahrzeug Transrapid 08 mit dem modernisierten Antrieb und der Betriebsleittechnik auf der TVE in Betrieb genommen.





## Politik:

23. September 1994: Die Bundesregierung beschließt die Realisierung der Magnetschwebbahn-Verbindung Berlin-Hamburg auf Basis des vorgelegten Finanzierungskonzeptes. Bundestag und Bundesrat verabschieden das Magnetschwebbahn-Planungsgesetz und schaffen damit die rechtlichen Voraussetzungen für die Planung und Genehmigung von Magnetschwebbahn-Strecken in Deutschland.

13. Oktober 1994: Gründung der Magnetschnellbahn-Planungsgesellschaft mbH (MPG) in Schwerin. An der MPG sind der Bund und die Privatwirtschaft zu gleichen Teilen beteiligt. Sie plant die Magnetschnellbahn Berlin-Hamburg und bereitet die Genehmigungsverfahren vor.

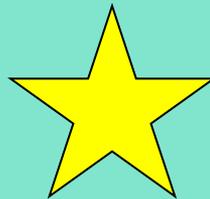




9. Mai / 14. Juni 1996: Bundestag und Bundesrat verabschieden das "Transrapid-Bedarfsgesetz".

10. Mai 1996: Die MPG legt als Grundlage für die Raumordnungsverfahren in den beteiligten Bundesländern ihre Pläne für eine sogenannte Präferenztrasse vor.

April 1997: Auf Grundlage der sogenannten Präferenztrasse und der veränderten wirtschaftlichen Entwicklung wird - wie im Finanzierungskonzept vorgesehen - die Wirtschaftlichkeit des Projektes eingehend untersucht und das Konzept optimiert. Die Deutsche Bahn AG (DB AG) beschließt, bei der Transrapid-Verbindung Berlin-Hamburg die Funktion des Bestellers und Betreibers zu übernehmen.





1998: Abschluss der Raumordnungsverfahren durch die MPG und Einleitung der Planfeststellungsverfahren der 292 Kilometer langen Transrapid-Strecke Berlin-Hamburg.

5. Mai 1998: Gründung der Transrapid International. Eine gemeinsame Gesellschaft der Systemhäuser Adtranz, Siemens und Thyssen, in der das komplette Transrapid-System-Knowhow gebündelt wird.

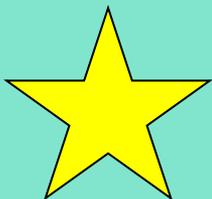
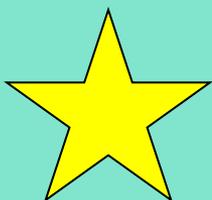




1999: Die Erörterungstermine der 20 Planfeststellungsverfahren sind überwiegend positiv abgeschlossen.

Januar 2000: Für die Strecke Berlin - Hamburg liegt der erste Planfeststellungsbeschluss vor.

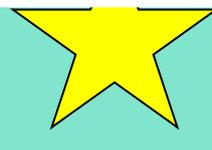
5. Februar 2000: Die Partner Bund, Deutsche Bahn AG (DB AG) und das Industriekonsortium stellen bei unterschiedlichen Auffassungen über die Gründe fest, dass der Bau der Strecke für den Transrapid zwischen Berlin und Hamburg weder auf der Basis des Eckpunktepapiers vom 25. April 1997 noch auf der Grundlage der danach erfolgten Prüfung alternativer Szenarien realisiert wird.





➤ ab 2000 Alternativstrecken im In- und Ausland

- Anbindung der beiden Großflughäfen München sowie Berlin-Schönefeld an das jeweilige Stadtzentrum
- Nahverkehrskonzept für Nordrhein-Westfalen (Metrorapid)
- Transrapid-Anbindung über Norddeutschland in die Niederlande (Groningen) oder Ruhrgebiet - Amsterdam
- Verbindungsstrecke zwischen den Flughäfen Frankfurt am Main und Hahn im Hunsrück



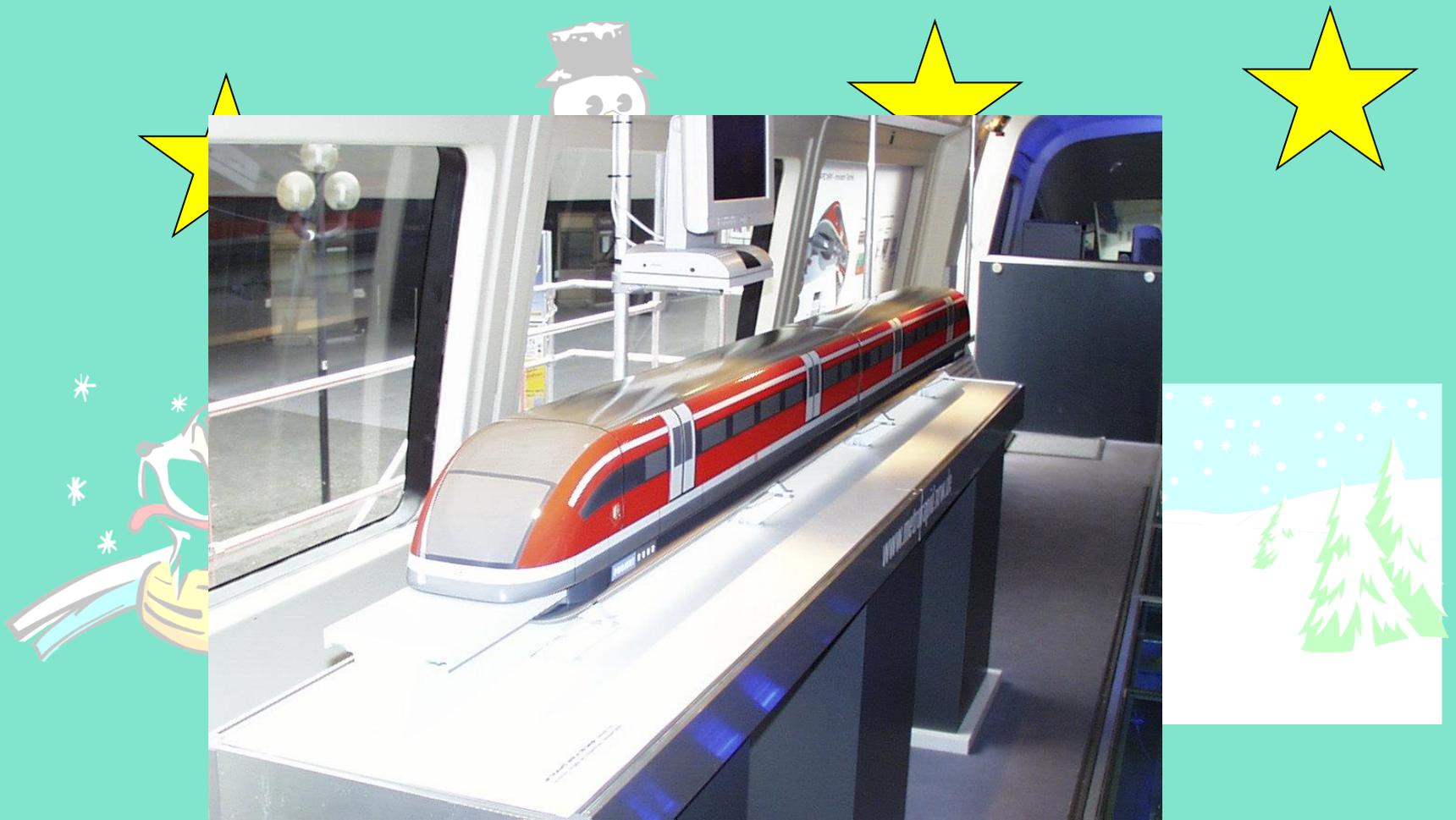
# DAS PROJEKT METRORAPID NRW

Metrorapid NRW

Transrapid International

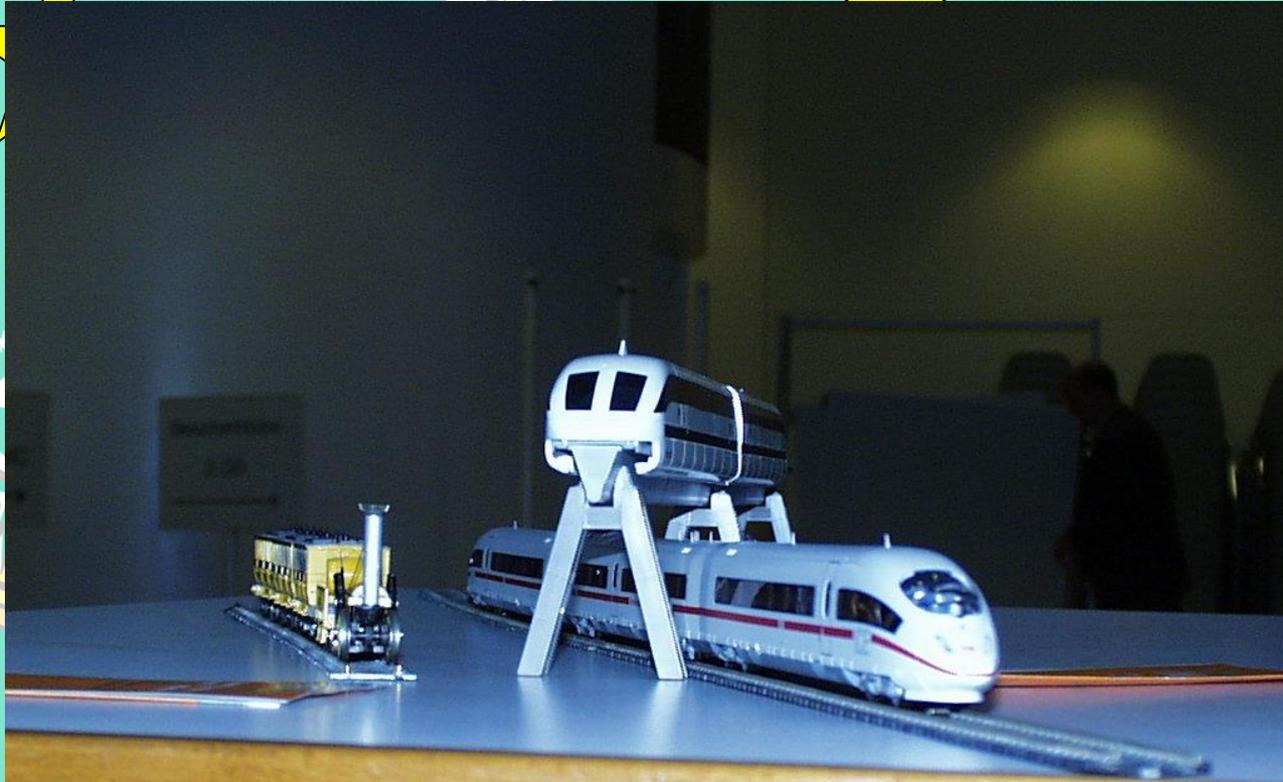


- Verbindung der Metropolen an Rhein und Ruhr
- Die Strecke des Basisnetzes Dortmund - Bochum - Essen - Mülheim - Duisburg - Airport Düsseldorf - Düsseldorf ist 79 km lang
- Eine Spitzen-Geschwindigkeit von 300 km/h und eine Gesamtfahrzeit von 37 Minuten

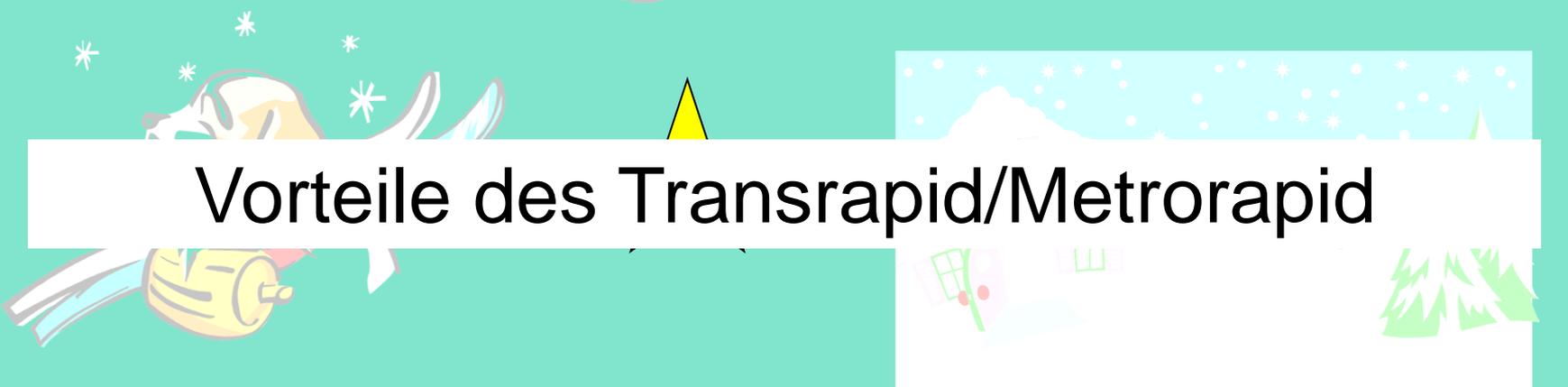


Anwendung des Transrapid als Metrorapid im Ruhrgebiet

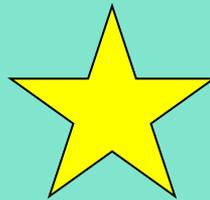




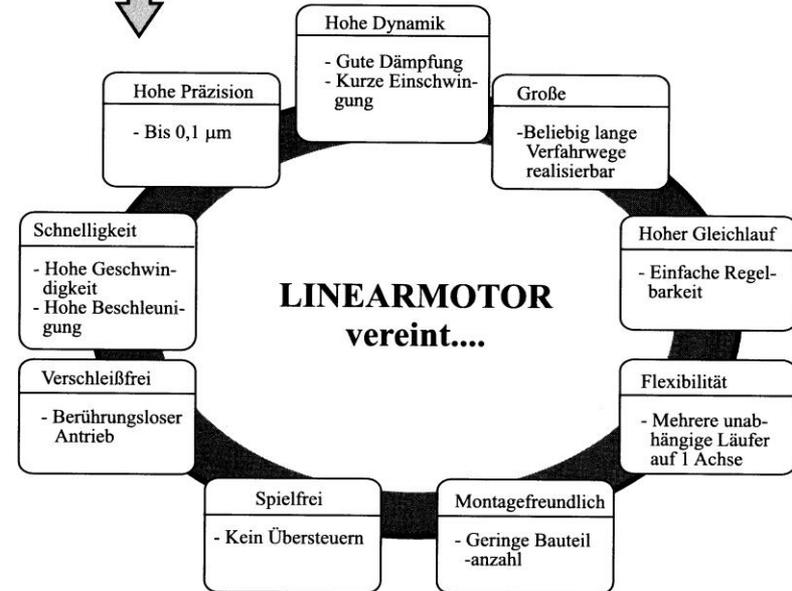
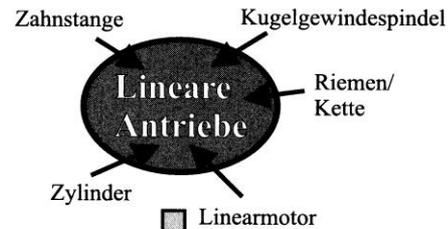
Präsentation zum Metrorapid im Dortmunder Rathaus,  
verhindert durch Korruptionsskandal in Köln.  
Erster Meter Transrapid war 2 Wochen im Dortmunder Rathaus.

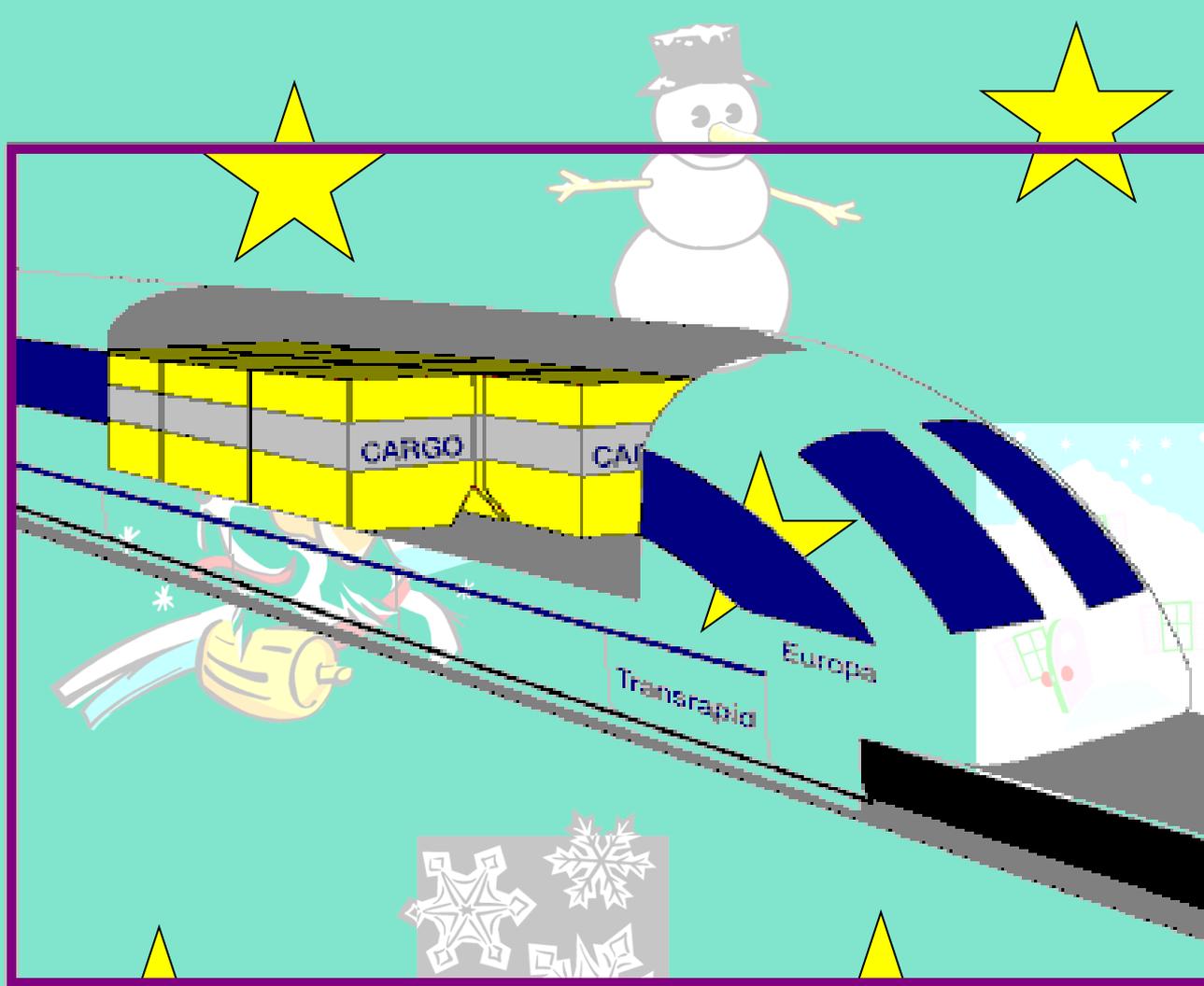
The background features a teal gradient with various winter-themed illustrations. On the left, there are snowflakes and a golden bell. In the center, a yellow cone is partially visible. On the right, there is a white rectangular area containing a winter scene with snow-covered mountains, a house, and trees. At the bottom, there are more snowflakes and a grey square containing several white snowflake patterns.

# Vorteile des Transrapid/Metrorapid



# Industrielle Anwendungs- möglichkeiten von Linearmotoren





Neben Schnellpersonenverkehr ist auch Schnelllastverkehr wie beim Cargo der Flugzeuge möglich



- Investitionskosten in Fahrzeuge (entwicklungsneutral)  
vergleichbar mit konventioneller Eisenbahn
- Investitionskosten in Fahrbahn vergleichbar mit Hochgeschwindigkeitsbahnen (Brücke, Tunnel, Betontrasse)
- Fehlende Reibung bedeutet Energieverbrauchsvorteil
- Direktantrieb und Schweben bedeutet Wartungsvorteil
- System ist sicher
- sehr große Beschleunigung gegenüber Bahnen
- hohe Geschwindigkeit
- große Steigfähigkeit gegenüber Bahnen (Reibung nicht notwendig)
- Bremsenergie wird zurückgespeist

## Sicherheitssystem

Die Magnetfelder des Transrapid beschleunigen den Zug auf über 450 km/h, trotzdem dringen sie kaum in den Fahrgastraum ein, da Fahrgastraum und alle Spulensysteme durch einen Stahlbeton- oder Stahlträger voneinander abgeschirmt werden.

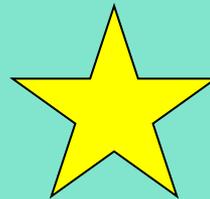
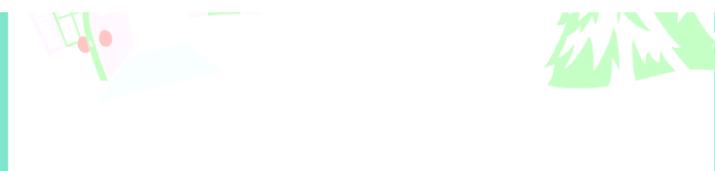
Eine Kollisionsgefahr besteht beim Transrapid auch nicht, da die Richtung des magnetischen Wanderfeldes von der Fahrtrichtung bestimmt wird. Somit ist es nicht möglich, dass zwei Züge auf der gleichen Schiene sich aufeinander zu bewegen.

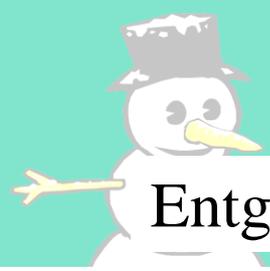
Der Abstand zwischen dem Fahrweg und der Unterseite des Fahrzeuges beträgt im Schwebezustand 15 cm. Somit ist es möglich Kollisionen mit Gegenständen und Hindernissen zu verhindern



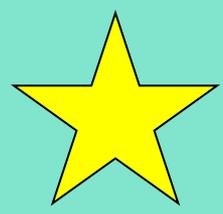
## Netzausfall

Sollte es zu einem Stromausfall der Ständerspulen kommen, kann der Transrapid bis zum Stillstand weiterschweben. Die Energie hierfür liefern die bordeigenen Batterien. Unter einer Geschwindigkeit von 20 km/h ist zusätzlich ein Weitergleiten auf Kufen möglich, er rutscht dann wie ein Schlitten weiter bis er zum Stehen kommt.

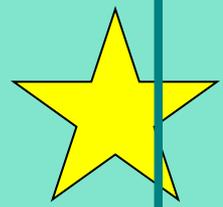




# Entgleisen



•Durch die Umschließung des Fahrweges ist eine Entgleisung prinzipiell unmöglich.

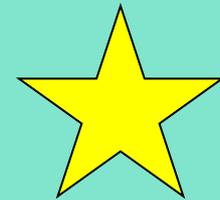
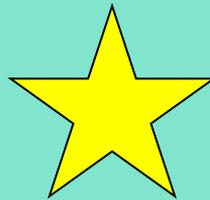


Zugunglück Eschede





# Nachteile des Transrapid/Metrorapid



- 
- 
- 
- 
- Sehr teuer aufgrund vorangegangener Entwicklungskosten
  - Sehr teuer aufgrund notwendigem stabilem Trassensystem
  - Sehr schlechte Kommunizierbarkeit der Vorteile
  - Kosten/Nutzen-Relation ist unklar wegen Anwendung von finanzieller Rechenricks und zu hoch angenommener Auslastung (Metrorapid)
  - System ist nur in sich kompatibel, Systementscheid bringt gleichbleibende Blechpaketbreite und Polteilung mit sich
  - Weiterentwicklung ist zwingend notwendig
  - Systementscheid Synchronmaschine bedingt hohen Regelaufwand und Systemstarrheit
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 



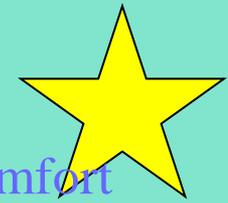
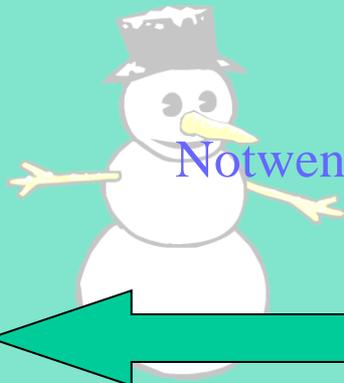
Der Transrapid/Metrorapid im Spannungsfeld von Politik, Industrie und Gesellschaft



Geschwindigkeit

Notwendigkeit

Komfort



Politik

Industrie/  
Wirtschaft



Nutzen

Investitions-  
Kosten

Betriebs-  
kosten



Mobilität



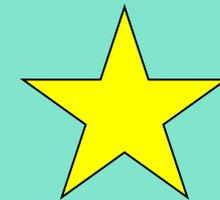
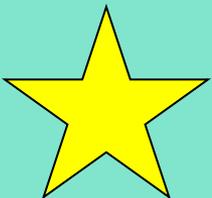
Gewinne

Gesellschaft

Arbeitsplätze

Fossile Rohstoffe

Technologiestandort Deutschland





## Fokus Industrie:

- Hohe Entwicklungskosten
- Hohe Weiterentwicklungskosten
- Verkauf ins Ausland aufgrund fehlender „echter“ Referenzstrecke nicht möglich
- Politische Entscheidungen (z.B. Ende Hamburg-Berlin) hemmen die technologische Weiterentwicklung (Ausverkauf der Entwickler)
- Image der Magnetbahntechnologie liegt hinter der eingepprägten Bahntechnologie
- Politische und gesellschaftliche Umstände behindern die Weiterentwicklung (im Ausland einfacher)
- Technologie könnte Arbeitsplätze schaffen
- Entwicklermangel durch Ausverkauf der Entwickler





## Fokus Wirtschaft:

- Hohe Investitionskosten
- Fragliche Refinanzierung
- Fragliches „schnelles“ Erreichen der Gewinnzone
- Fragliche Folgekosten aufgrund nicht ausgereifter Technik
- Imageproblem gegenüber Straße und Bahn





## Fokus Politik:

- Hohe Subventionskosten sind aufgrund leerer Kassen unmöglich
- Verkauf ins Ausland aufgrund fehlender „echter“ Referenzstrecke nicht möglich
- Politische Entscheidungen (z.B. Ende Hamburg-Berlin) hemmen die technologische Weiterentwicklung
- Technologie kann Arbeitsplätze schaffen
- Technologieverkauf ins Ausland zur Schaffung einer Referenzstrecke
- Andere Staaten sind pragmatischer und damit schneller
- Ökonomische und ökologische Vorteile werden nicht konkret erklärt
- Informationsstrategien sind mangelhaft
- Vorteile der Einbindung von Transport-Logistik wird kaum erwogen
- Vernetzbarkeit von Rad-Schiene-Magnetbahn wird nicht aufgezeigt

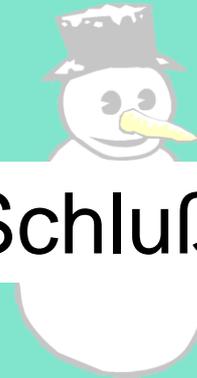




## Fokus Gesellschaft:

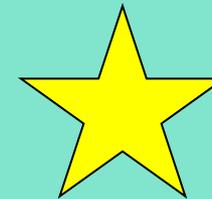
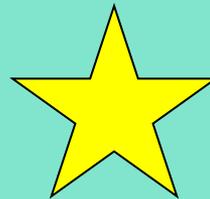
- Hohe Mobilitätsanforderungen aufgrund dezentraler Arbeitsplätze und globalisierter Wirtschaftsräume
- Fossile Rohstoffe werden Mangelware und zunehmend teurer (Problem wird ignoriert, Spritpreis wird hingenommen)
- Der Individualverkehr steht trotz aller Probleme im Vordergrund (Auto ist bequemer und schneller als ÖPNV)
- Der Flugverkehr ist aufgrund von Subventionierung (keine Flugbenzinsteuer, Billigtickets) billiger als Auto und Bahn
- Die Gesellschaft ist nicht ausreichend über Vorteile der Magnetschwebetechnologie informiert (Volksverdummung statt Information)
- Die ökologischen und ökologischen Vorteile werden nicht kommuniziert (Energieverbrauch, Wirkungsgrad, Stromlinienform, etc.)

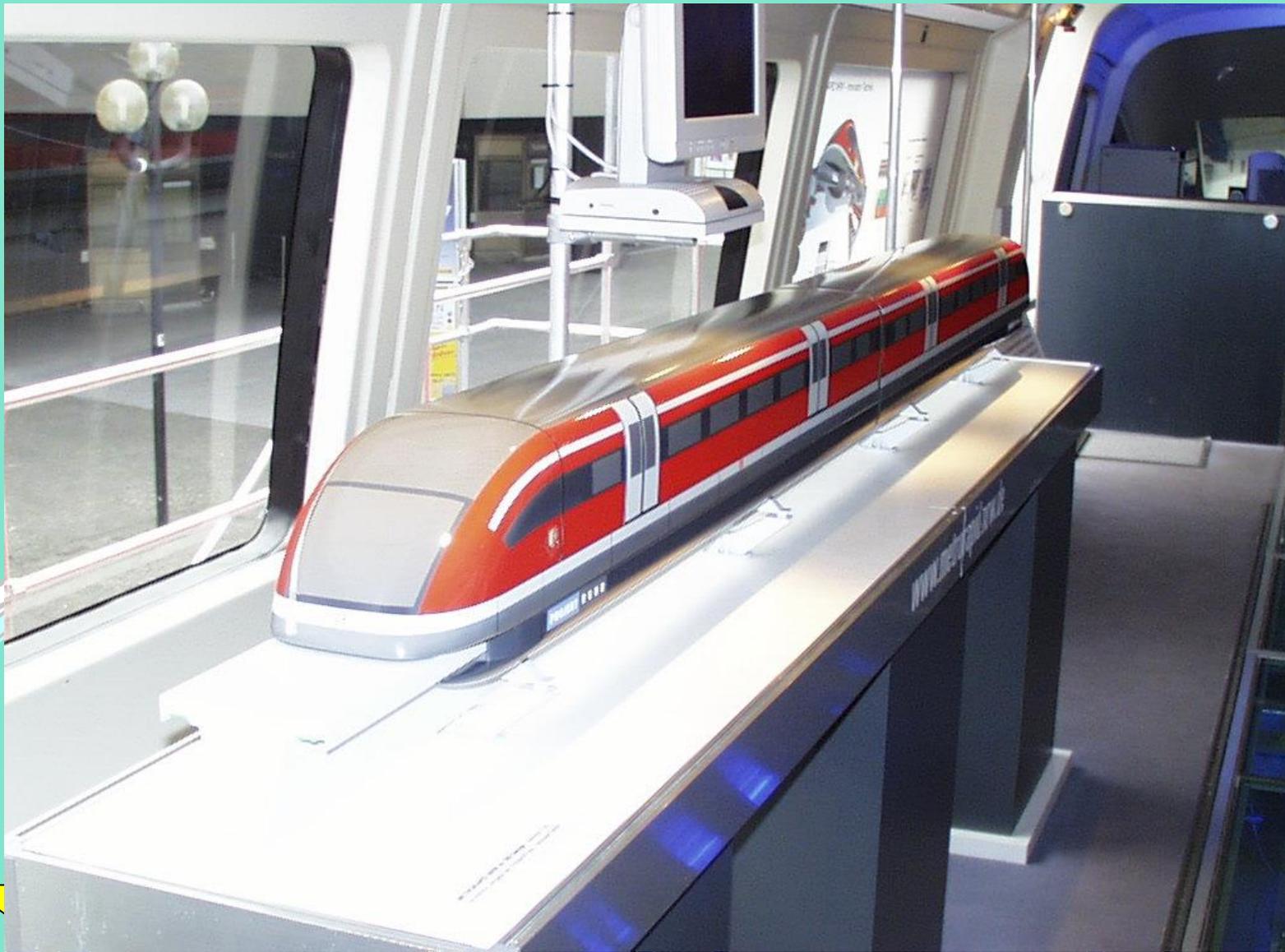




## Schlußfolgerung:

Trotz vieler Vorurteile und Nachteile sollte das in der vorhandenen Form ausführlich getestete Magnetschwebesystem Transrapid zur Wahrung deutscher Entwicklungspotentiale als Hochgeschwindigkeitsflughafenanbinder und leises Hochgeschwindigkeitsnahverkehrssystem schnellstmöglich gebaut werden. Weiterentwicklung ist zwingend notwendig, jedoch bei vorhandenem Testsystem im Emsland und echtem System einfacher möglich.





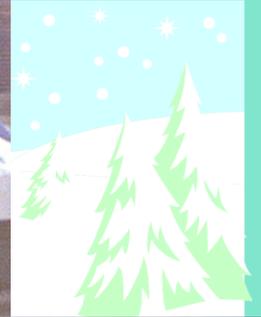
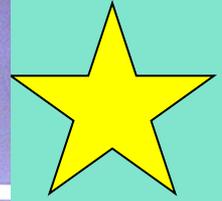
**Anwendung des Transrapid als Metrorapid im Ruhrgebiet**

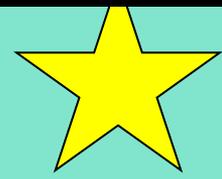
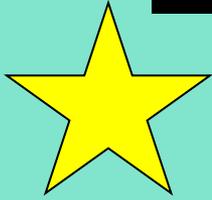
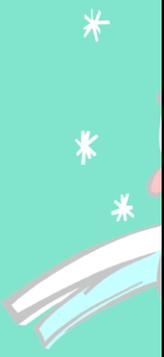
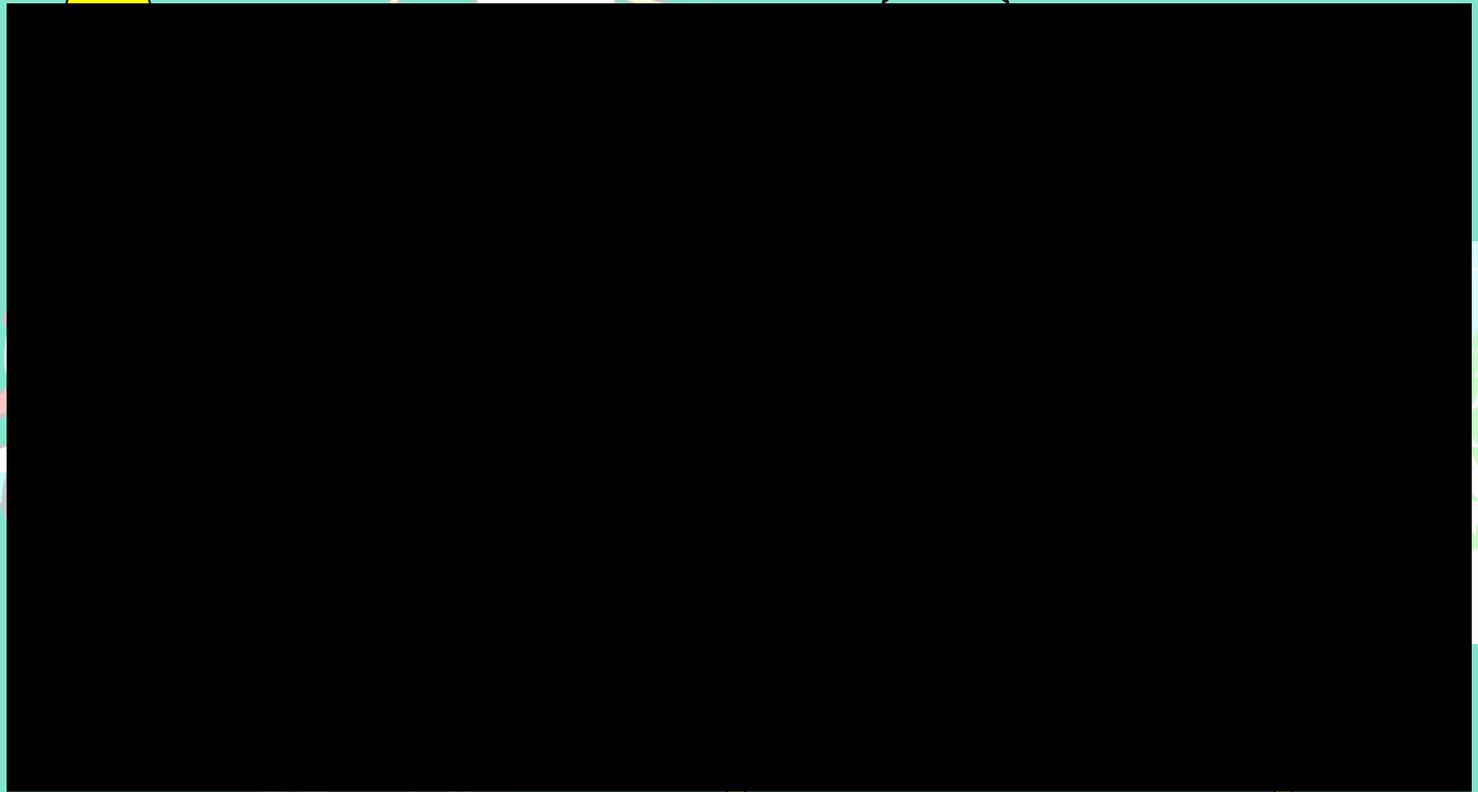
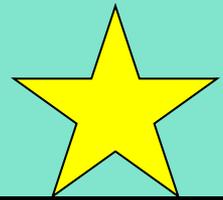


**Präsentation zum Metrorapid im Dortmunder Rathaus,  
verhindert durch Korruptionsskandal in Köln.  
Erster Meter Transrapid war 2 Wochen im Rathaus.**

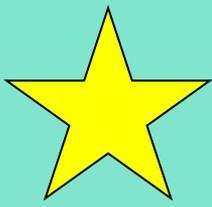
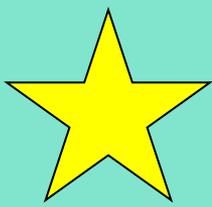
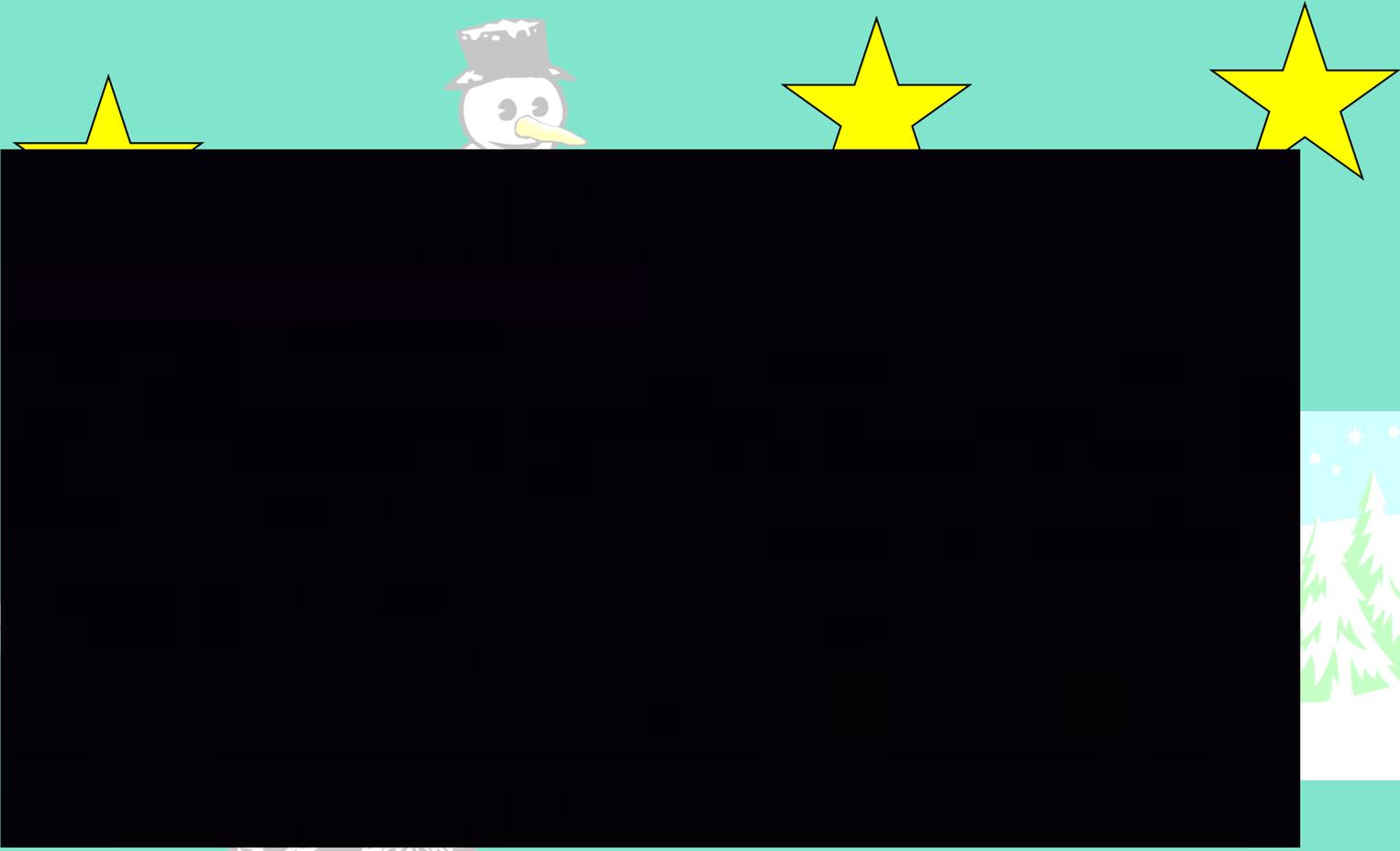
# 热烈祝贺 上海磁浮列车通车

WARM CONGRATULATIONS ON THE OPENING OF SHANGHAI MAGLEV LINE





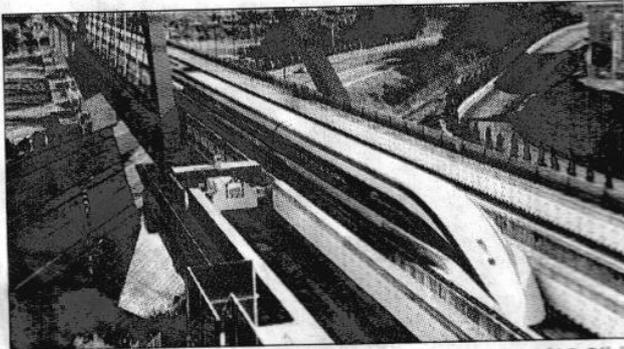
**Magnetschnellbahnprojekt Shanghai Flughafenzubringer**



**Magnetschnellbahnprojekt München Flughafenzubringer**

Japans Superzug bricht eigenen Rekord

# Transrapid fährt Maglev hinterher



Und wieder ein Rekord: Japans Maglev

(AP-Bild)

WR-Nachrichtendienste

**Kofu. Japans Magnetschnellbahn Maglev hat einen Tempo-Weltrekord aufgestellt.**

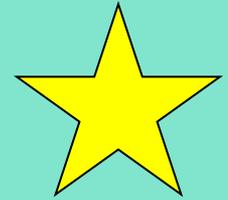
Auf der Teststrecke in der Nähe der Stadt Kofu erreichte die bemannte Bahn gestern 581 km/h. Der von der Bahngesellschaft Central Japan Railway (JR Tokai) und des staatlichen Railway Technical Research Instituts betriebene Maglev, Japans Antwort auf den Transrapid, brach damit seinen eigenen erst am 19. November aufgestellten Rekord.

Unbemannt und ferngesteuert hatte die Magnetbahn damals 579 km/h erzielt. Mit Technikern an Bord erreichte sie 570 km/h.

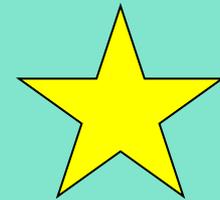
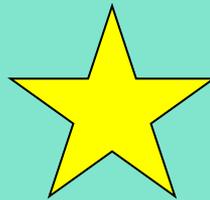
Bei dem Test gestern auf einer Versuchsstrecke zwischen den Städten Tsuru und Otsuki fuhren Techniker mit. Ziel sei es gewesen, die Stabilität und Beständigkeit des Maglev zu testen, sagte Noriyuki Shirakuni, Vize-Generaldirektor für die Maglev-Systementwicklung, im Anschluss zu Reportern. Die Bahn solle mit etwa 500 Kilometern pro Stunde fahren, sobald sie in Betrieb genommen werde.



chnellbahn  
ung

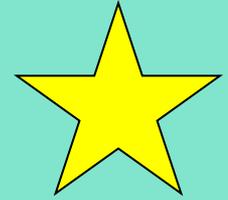


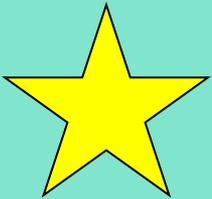
... und dann das !















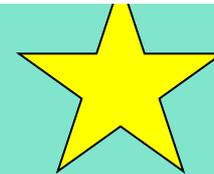
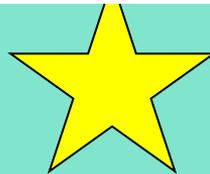
Und jetzt ?

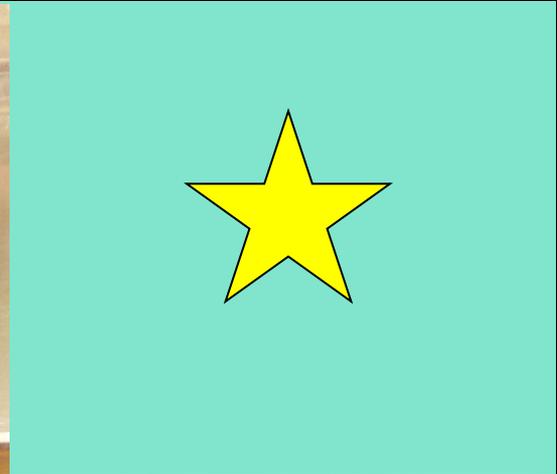
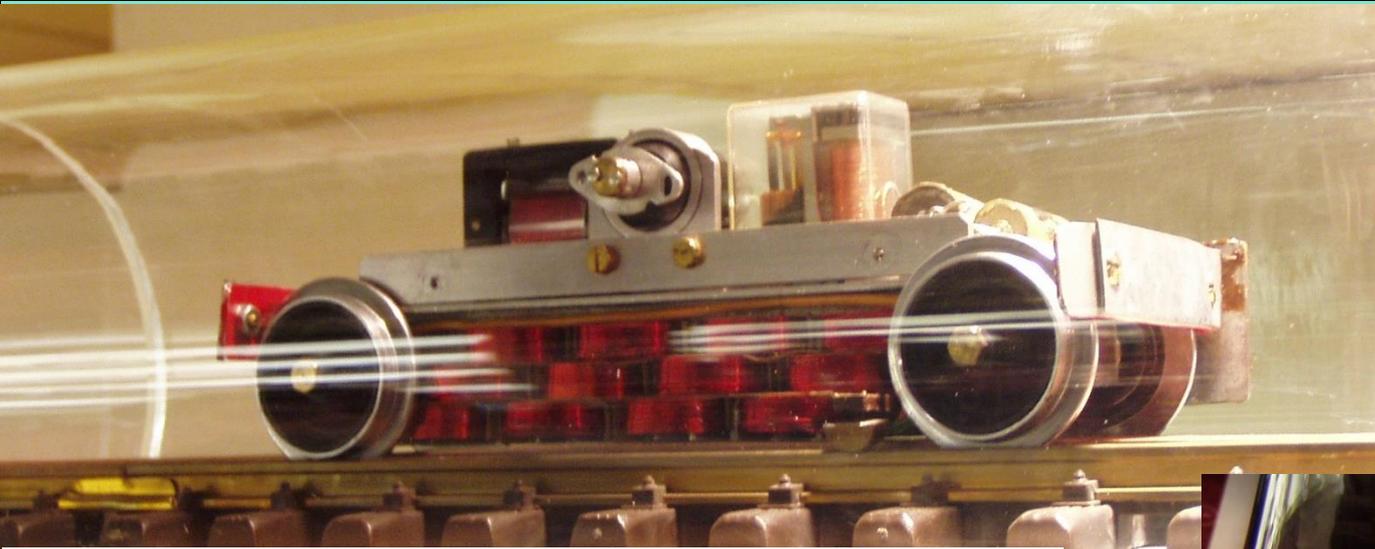
Der Betonbauer Max Bögl hat alle Rechte am Transrapid für 1 Euro erstanden, der Transrapid steht jetzt in Neumarkt/Bayern !

Der Transrapid ist grün/gelb gestrichen, war für Brasilien, Fußball-WM und Olympia vorgesehen – abgesagt !

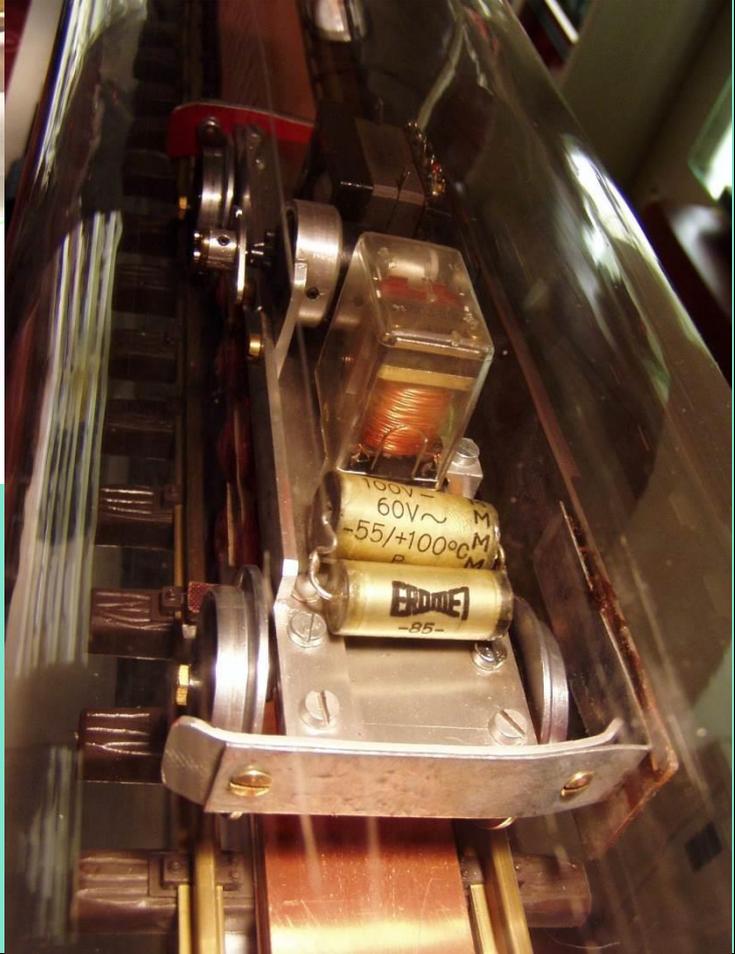
Weitere Anwendungen werden von Bögl gesucht ..... !

Bögl versucht neues Standbein mit People-Mover-Systemen.





Linearmotor mit Wirbelstromschiene  
Lehmann Patentwerk „LGB“ Nürnberg



Und was  
kommt in  
Deutschland  
?

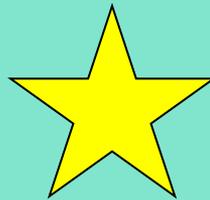


Radlos oder  
ratlos in die  
Zukunft ?



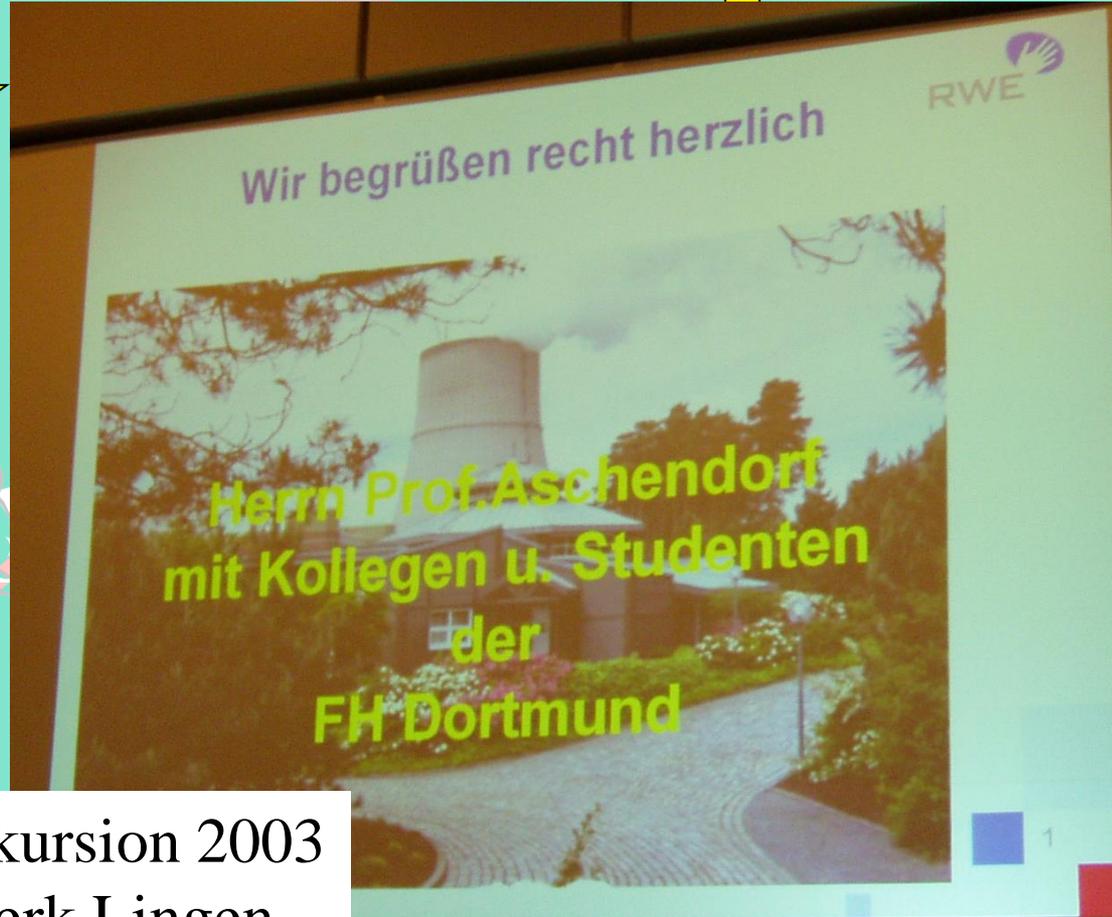


Und wo kommt  
die elektrische Energie her ?





Nordsee-Exkursion 2003  
Atomkraftwerk Lingen



# Nordsee-Exkursion 2003

## Atomkraftwerk Lingen



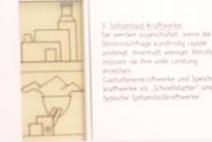
Deutsches Verbundnetz

Die Stromerzeugung

Die Stromerzeugung ist ein Prozess, bei dem Energie in elektrische Energie umgewandelt wird. Dies geschieht durch verschiedene Verfahren, wie z.B. die Verbrennung von Kohle, Gas oder Öl, die Nutzung von Wasserkraft, Windkraft oder Solarenergie.

Kraftwerke für drei Lastbereiche

Das Atomkraftwerk Lingen ist ein Beispiel für ein Kraftwerk, das für drei Lastbereiche ausgelegt ist: Grundlast, Mittellast und Spitzenlast.



Strom aus Muskelkraft

Auch Sie haben die Energie für elektrische Energie. Problem: Sie ist mit dem Stromerzeugen und -transport verbunden. Die Energie, die Sie selbst nutzen, ist in der Regel aus erneuerbaren Quellen wie Wind, Wasser und Biomasse.

# Kernkraftwerk Emsland

Generatorleistung

1422 MW

Stromerzeugung  
seit Jahresbeginn

1.670.704 MWh

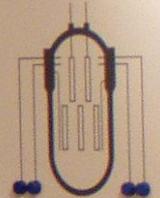
Stromerzeugung  
seit Inbetriebnahme

176.496.164 MWh

## Aktive Sicherheit

### Redundanz = mehrfache Sicherheit

Alle Sicherheitssysteme sind im  
Kernkraftwerk mehrfach installiert.  
Sie sind „redundant“ ausgelegt.



Das bedeutet:  
Eine Anzahl einzelner Komponenten übersteigt die Reaktions-  
anlage bei Funktion, Sicherheit ist durchgehend gewährleistet.  
Geräte mit ein- oder zweifacher Redundanz oder werden kein,  
sollten eine oder mehrere ausgefallen sind.  
Hinterhergehende unabhängige Redundanz erreichen in 99,9% die  
sicherheitsrelevanten Maßstäbe, so die Redundanzfähigkeit im  
Praktischen. Eine Identifizierung besteht aus Redundanzfähigkeit  
ausgewertet.

Das aktive Sicherheitssystem muß  
auf Vorkommnisse in der Anlage  
reagieren. Zuverlässig – ohne  
äußere Einflüsse. Eine elektronische  
Überwachung, die sich selbst  
kontrolliert, schließt menschliches  
Versagen aus und leitet automatisch  
die notwendigen Sicherheits-  
maßnahmen ein.

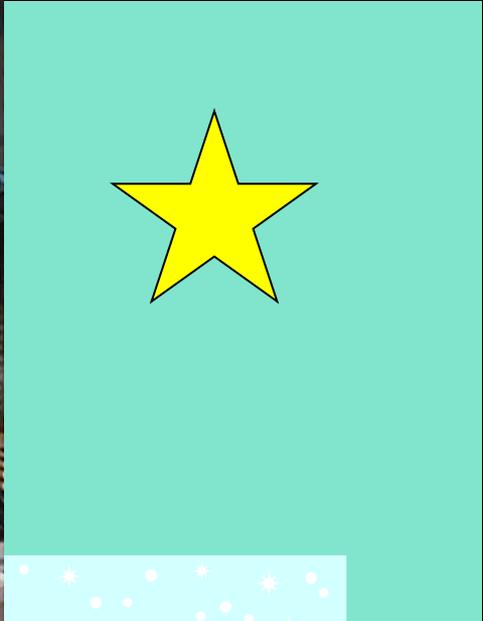
Nordsee-Exkursion 2003  
Atomkraftwerk Lingen



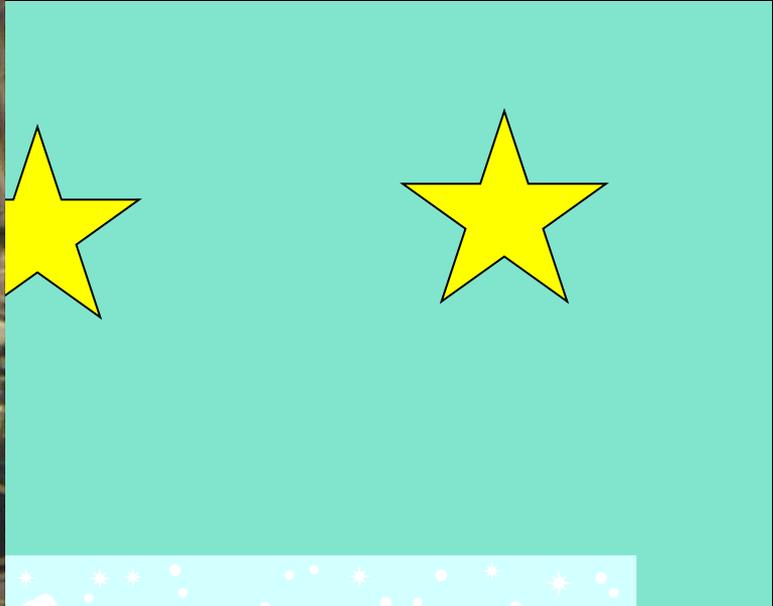
Nordsee-Exkursion 2003  
Transrapid-Versuchsanlage



Nordsee-Exkursion 2003  
Meyerwerft Papenburg

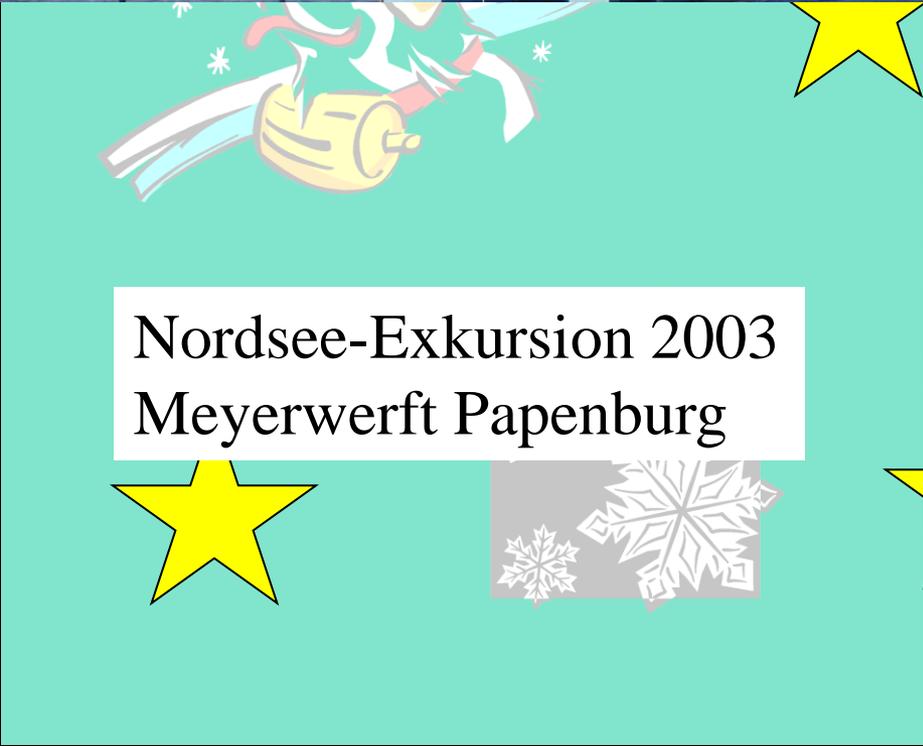
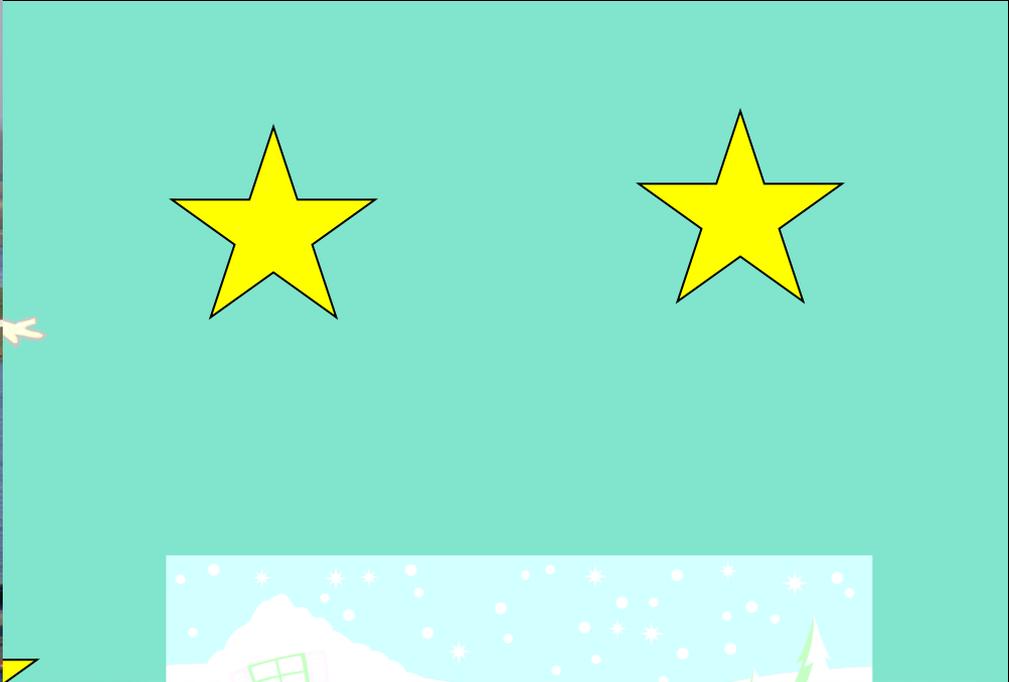


Nordsee-Exkursion 2003  
Meyerwerft Papenburg



Nordsee-Exkursion 2003  
Meyerwerft Papenburg





Nordsee-Exkursion 2003  
Meyerwerft Papenburg



# Das Kraftwerk Malta-Oberstufe



## Die Speicherkraftwerke Malta

Die Speicherkraftwerke Malta bilden eine der größten und leistungsstärksten Speicherkraftwerksgruppen Österreichs. Sie sind an der Südtiroler Hohen Tauern angedockt. In Summe verfügt diese Anlage über eine installierte Turbinenleistung von 691.000 kW und über eine Pumpsleistung von 406.000 kW, zusammen also über eine Leistungsspanne von fast 1,1 Millionen kW. Die Jahreserzeugung beträgt weit über eine Milliarde Kilowattstunden.

### Zu den Speicherkraftwerken Malta gehören:

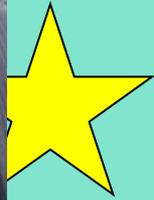
- Das Kraftwerk Malta-Oberstufe, bestehend aus dem Speicher Kölnbreinspeicher, Triebwasserweg und der Kraftstation Galgenbühl;
- das Kraftwerk Malta-Hauptstufe, bestehend aus dem Vorspeicher Galgenbühl, dem Ausgleichsbehälter Gölflak, Triebwasserweg und Kraftstation Rottau samt dem Ausgleichsbehälter;
- das Kraftwerk Malta-Unterstufe, bestehend aus der Wehranlage Rottau, Triebwasserweg und Kraftstation Müllbrücke.

### Das Kraftwerk Malta-Oberstufe

Das Kraftwerk Malta-Oberstufe ist so etwas wie eine in die Hochgebirgsnatur eingebaute Regelstation für die gesamte Speicherkraftwerksgruppe. Dazu gehören das Herzstück der Speicheranlage, der Kölnbreinspeicher mit der 200 m hohen Kölnbreinsperre sowie der Kölnbreinspeicher als Zuleitung, und schließlich die Kraftstation Galgenbühl selbst. Dort sind zwei Maschinensätze mit je 58.000 Kilowatt (kW) Pumpsleistung und 60.000 kW Turbinenleistung installiert. Das Wesen dieser Pumpenturbinen der Bauart Isogyre ist es, dass sie sowohl für die Pumparbeit als auch für die Stromerzeugung genutzt werden können. Die Maschinen können innerhalb kürzester Zeit vom Pump- zum Turbinenbetrieb umschalten werden und umgekehrt.

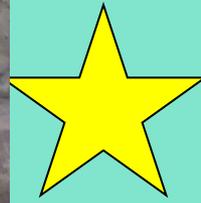
Der Kölnbreinspeicher bietet Raum für 200 Millionen Kubikmeter Wasser, das entspricht einem Energieinhalt von etwa 600 Millionen Kilowattstunden. Der Speicher wird durch seinen natürlichen Zufluss nur zur Hälfte gefüllt. Die zweite Hälfte wird vom 200 m tiefer gelegenen Niveau der Bachfassungen, aus dem Speicher Galgenbühl gefördert. Die Energieab- bzw. -zuleitung erfolgt über eine 110-kV-Freileitung zur Freileitungsanlage beim Kraftwerk Malta-Hauptstufe.

Die Kölnbreinsperre, ausgeführt als doppelt gekrümmte Gewölbemauer, ist mit 200 m eine der höchsten und interessantesten Talsperren Europas. Errichtet wurde die Sperre in den Jahren von 1974 bis 1977. Anfänglich führten die Verformungen der Sperre bei Vollstau zu Rissbildungen im Aufstansbereich. Erst durch den Anbau des luftseitigen Stützwölbes konnte die komplette Funktionssperre wieder voll belastbar, der Speicherraum kann energiewirtschaftlich optimal genutzt werden.



Energie aus Wasserkraft  
Kraftwerk Malta Kölnbreinsperre



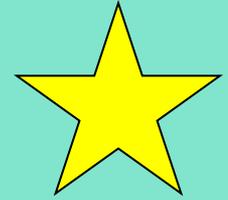
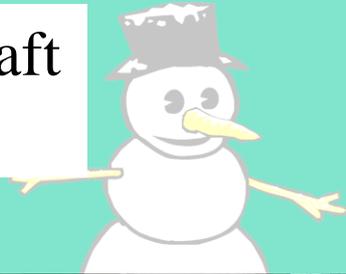


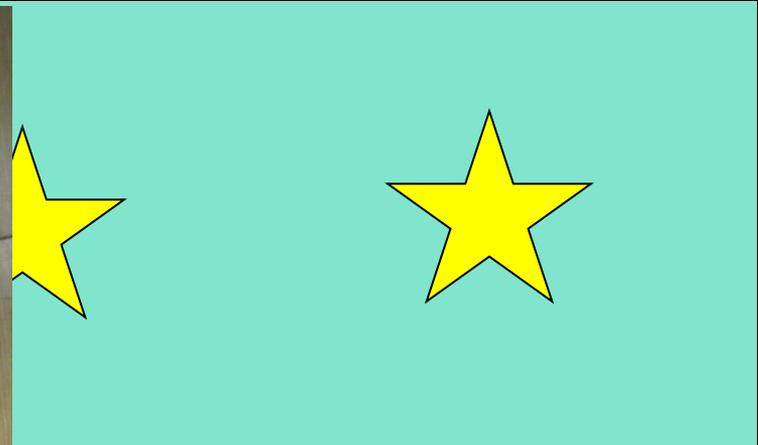
Energie aus Wasserkraft  
Verbund Österreich



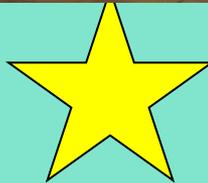
# Energie aus Wasserkraft

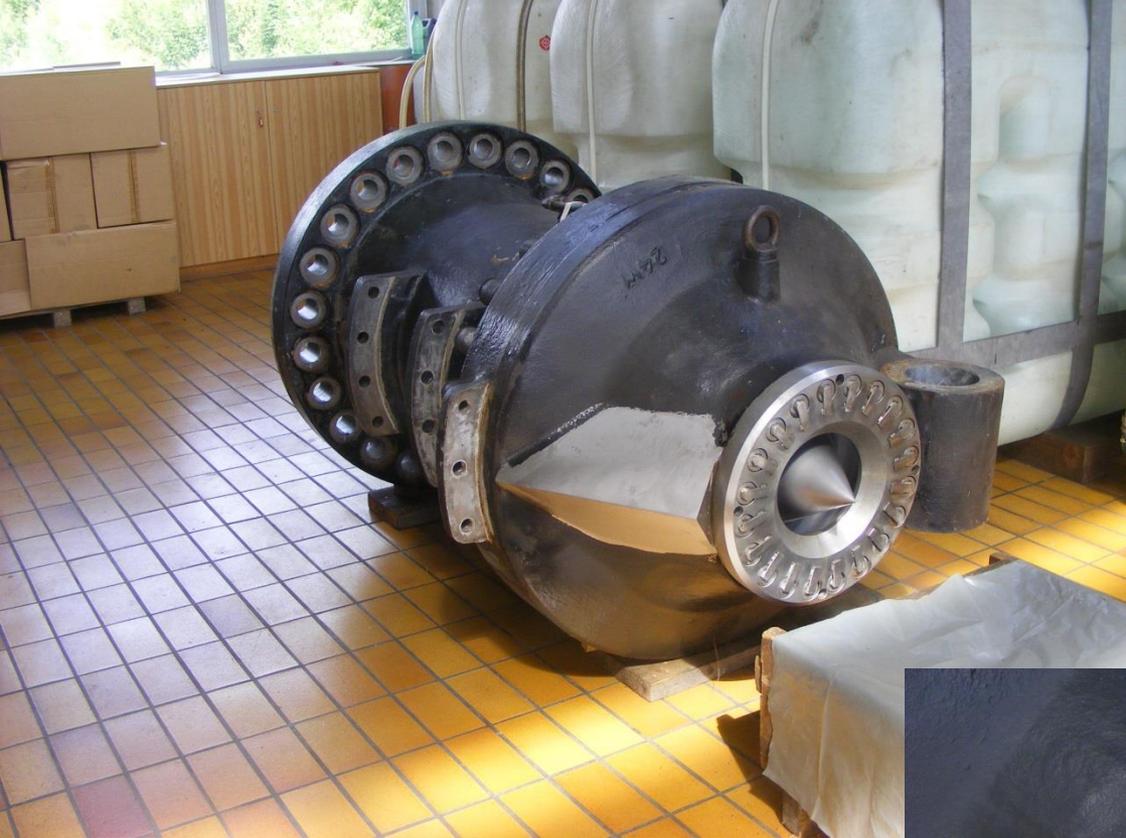
## Kraftwerk Rottau





Energie aus Wasserkraft  
Kraftwerk Rottau  
Pelton turbine





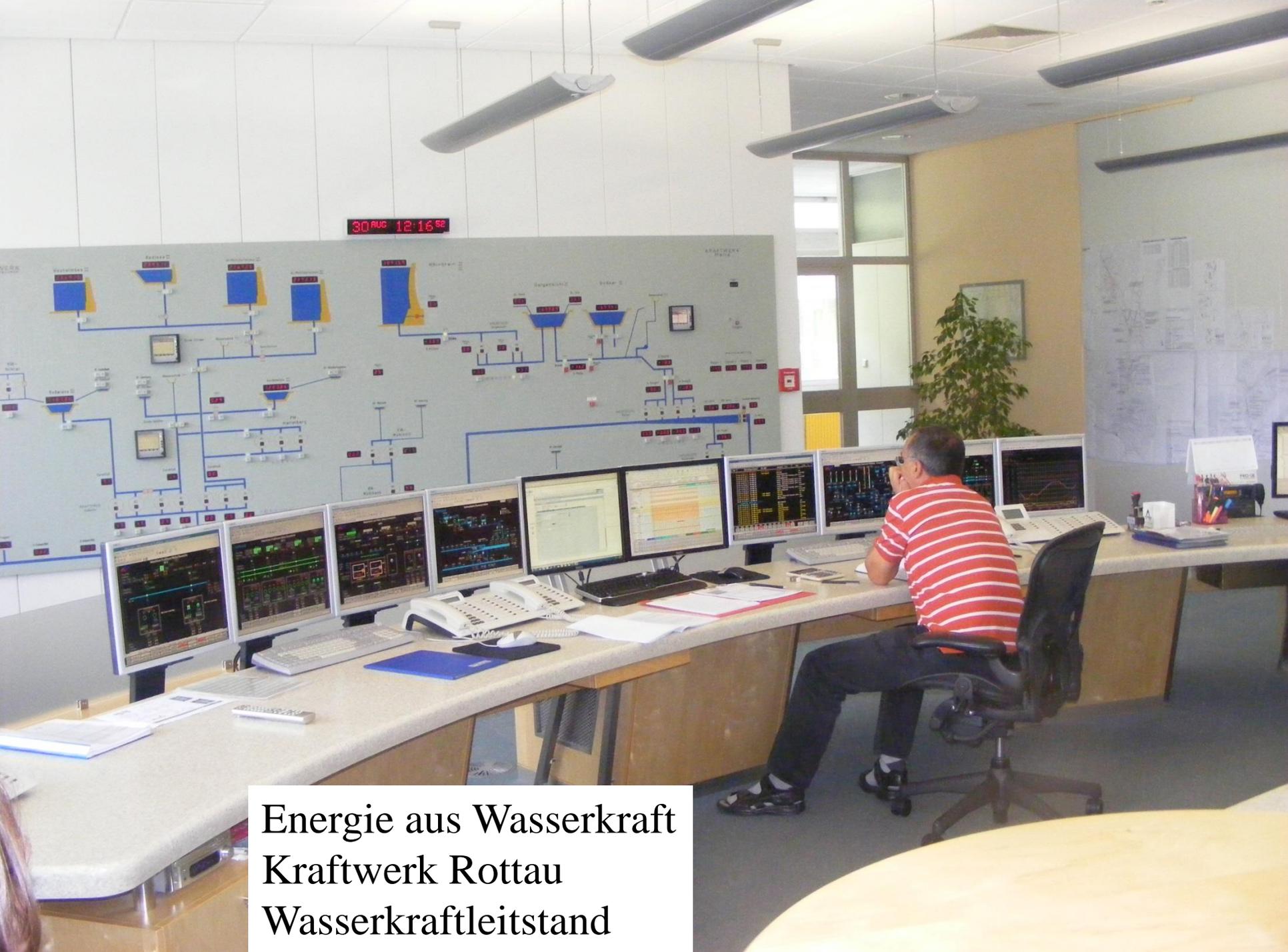
Energie aus Wasserkraft  
Kraftwerk Rottau  
Peltonturbine



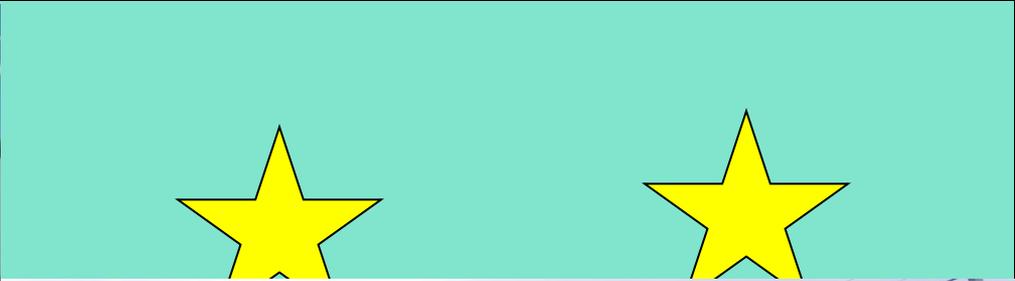
The logo consists of the word "ELIN" in a bold, sans-serif font. The letters are dark grey or black with a slight 3D effect, mounted on a light-colored, textured surface.The logo consists of the word "SIEMENS" in a bold, sans-serif font. The letters are dark grey or black with a slight 3D effect, mounted on a light-colored, textured surface.

Energie aus Wasserkraft  
Kraftwerk Rottau  
Pumpe für Pumpspeicher





Energie aus Wasserkraft  
Kraftwerk Rottau  
Wasserkraftleitstand



Energie aus Wasserkraft  
Mölltaler Gletscher

# Energie aus Wasserkraft

## Kraftwerk Kaprun

Kraftwerksgruppen	Einzugsgebiet in km <sup>2</sup>	Kraftwerksleistung in kW	Jahreserzeugung in Mio. kWh
Glockner Werk	1.260	250.000	1.150
Venediger Werk	640	240.000	1.120
Iselwerk	770	160.000	750
Möllwerk	320	55.000	182
Kreuzeck-Weißensee Werk	230	45.000	164
Summe Speicherwerke	3.220	750.000	3.366
Laufwerke an der Drau	9.450	250.000	1.520
ÖKA-Projekt gesamt	12.670	1.000.000	4.886

s AEG-Projekt



# Energie aus Wasserkraft Kraftwerk Kaprun

10



1. Die Turbinen wurden in der Schweiz gefertigt.

2. Die Turbinen wurden in der Schweiz gefertigt.



3. Die Turbinen wurden in der Schweiz gefertigt.



4. Die Turbinen wurden in der Schweiz gefertigt.



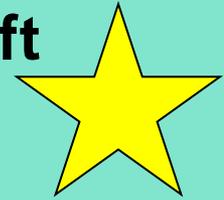
5. Die Turbinen wurden in der Schweiz gefertigt.



6. Die Turbinen wurden in der Schweiz gefertigt.



**Und nach Weihnachten wird an der Zukunft  
gebastelt !**

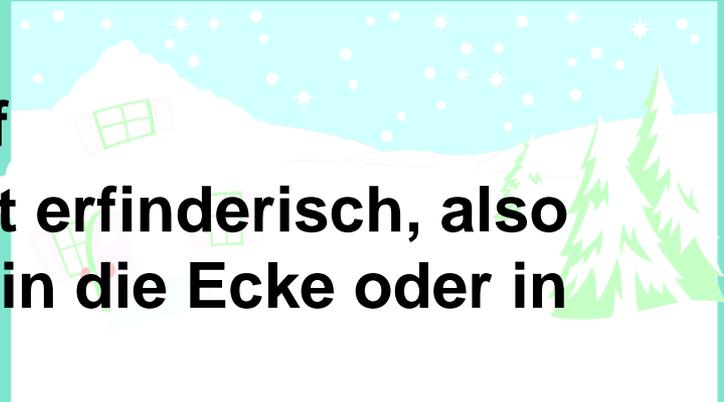


**Einverstanden ?**

**Frohe Weihnachten  
wünscht**

**Prof. Dr. Bernd Aschendorf**

**Eisenbahnspielen macht erfinderisch, also  
weg mit der Playstation in die Ecke oder in  
den Müll und ...**



**... raus mit der Eisenbahn aus dem Keller  
oder vom Boden in die gute Stube !**

