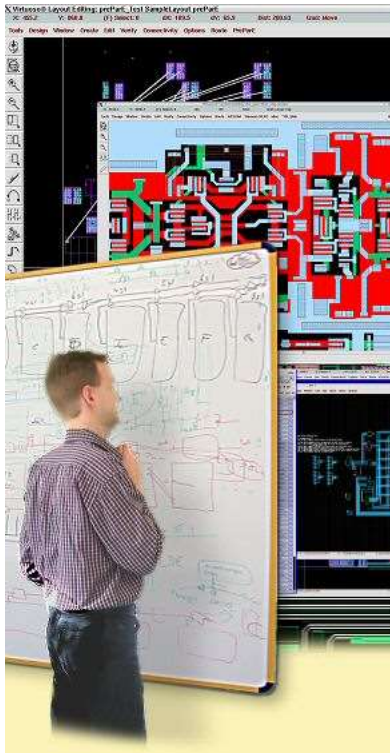
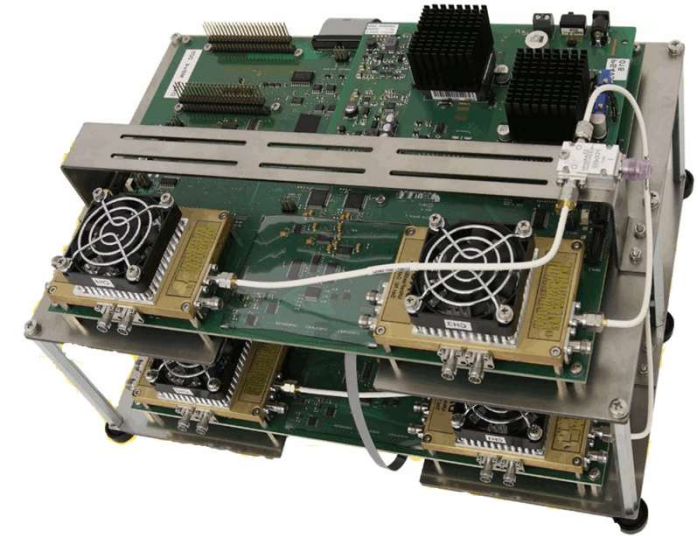
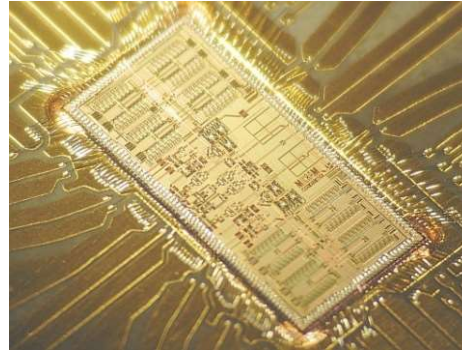
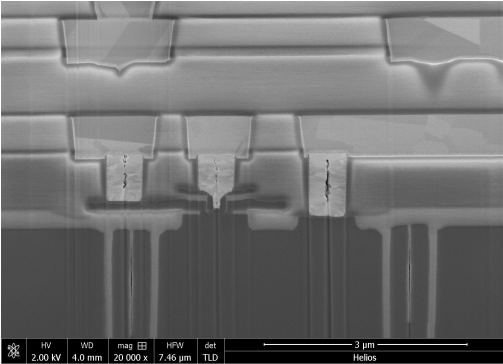


Datentransport, die verborgene Herausforderung

Prof. Dr.-Ing. Michael Möller
Lehrstuhl für Elektronik und
Schaltungstechnik



„Was forscht der Möller eigentlich so?“

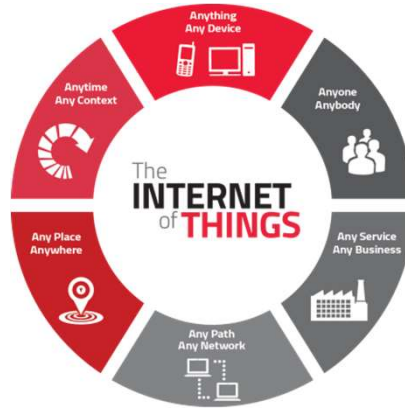


Erforschen der **Geschwindigkeitsgrenzen** elektronischer Schaltungen.

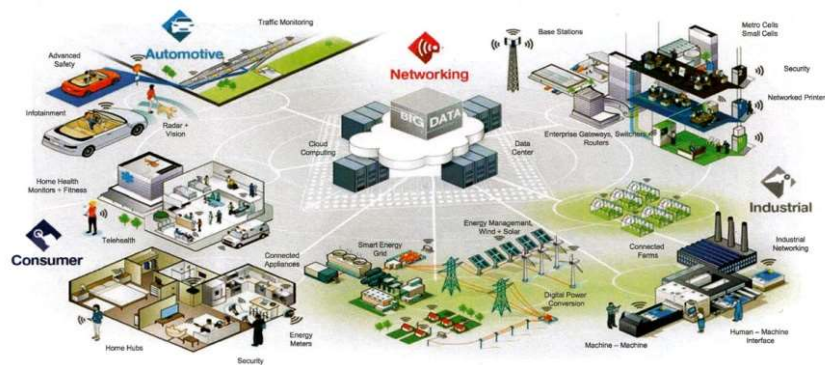
Erforschen von Methoden um die Grenzen zu **verschieben** oder zu **umgehen**.

Eine Anwendung: **Elektronik für das Internet der Zukunft**

„IoT“ Suche bei Google (1000+ Bilder)

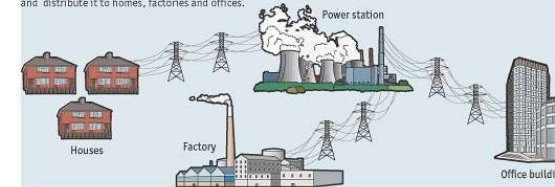


The Internet of Things



Conventional electrical grid

Centralised power stations generate electricity and distribute it to homes, factories and offices.

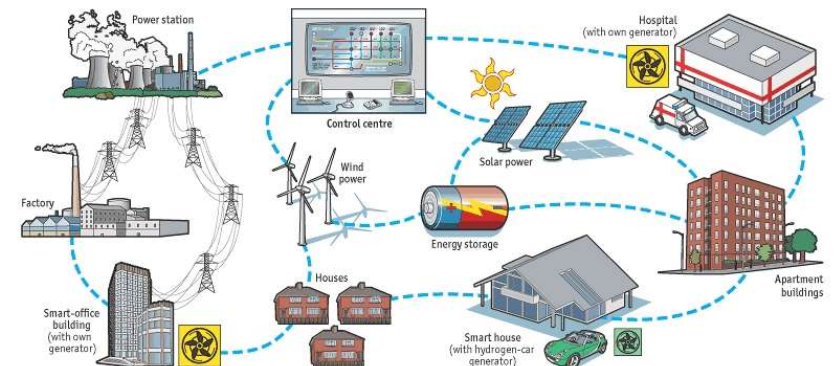


Energy internet

Many small generating facilities, including those based on alternative energy sources such as wind and solar power, are orchestrated using real-time monitoring and control systems.

Offices or hospitals generate their own power and sell the excess back to the grid. Hydrogen-powered cars can act as generators when not in use. Energy-storage technologies smooth out fluctuations in supply from wind and solar power.

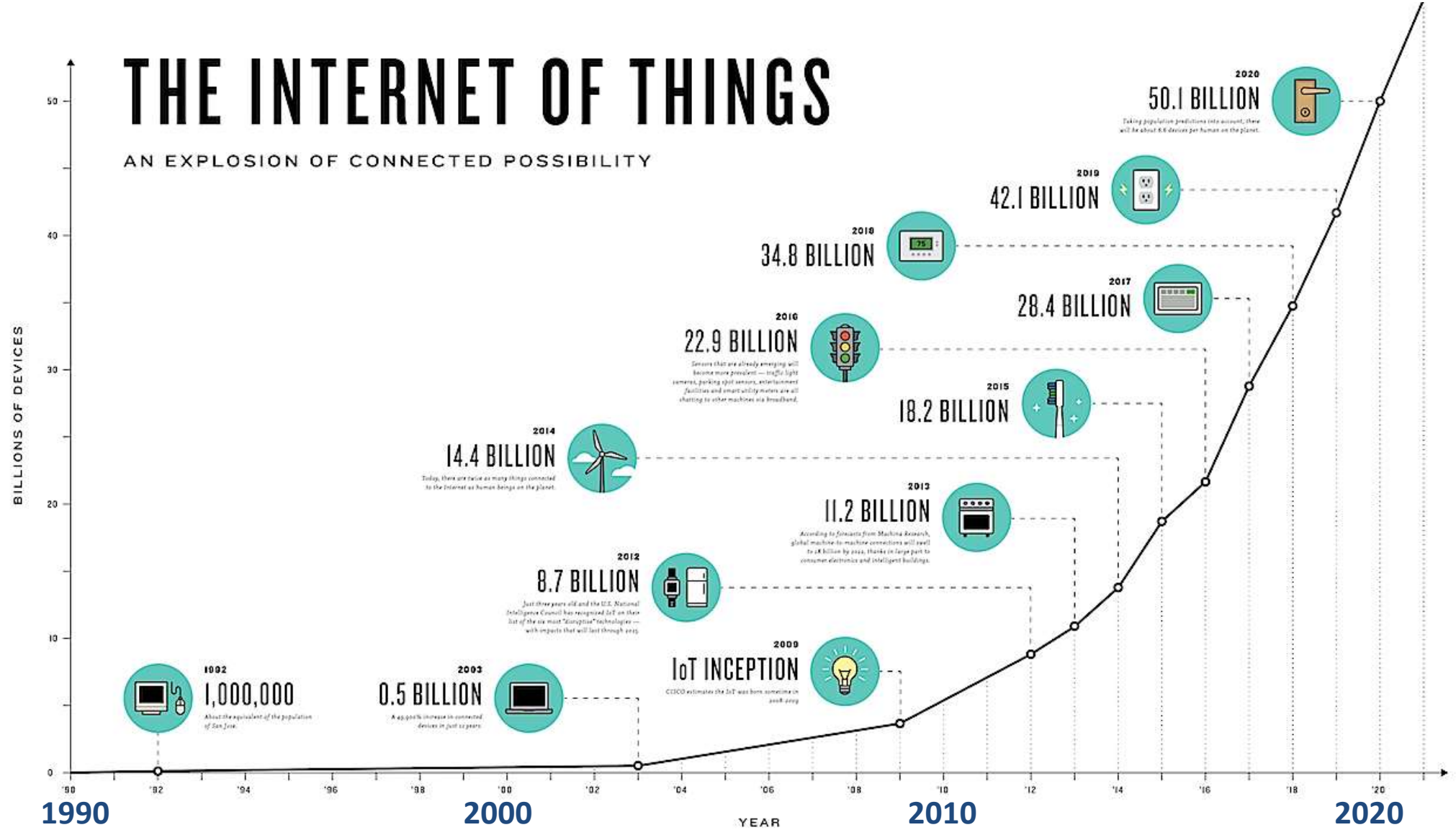
Distributing power generation in this way reduces transmission losses, operating costs and the environmental impact of overhead power lines.



Sources: The Economist; ABB

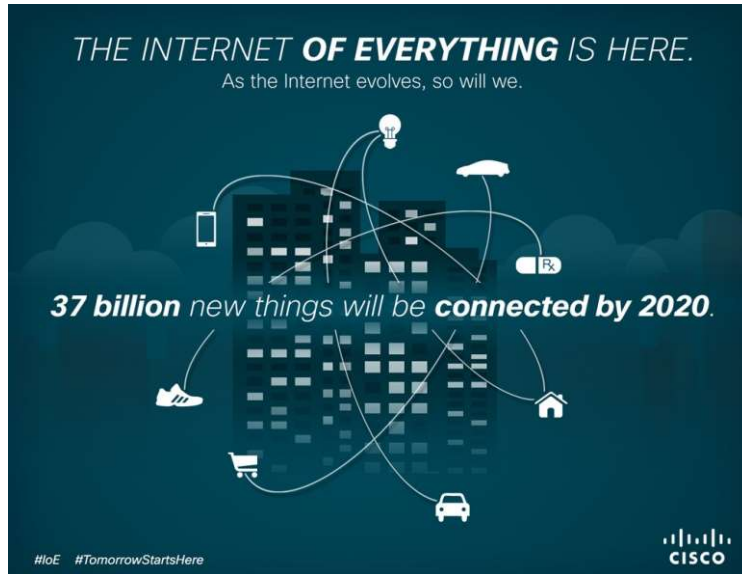
THE INTERNET OF THINGS

AN EXPLOSION OF CONNECTED POSSIBILITY

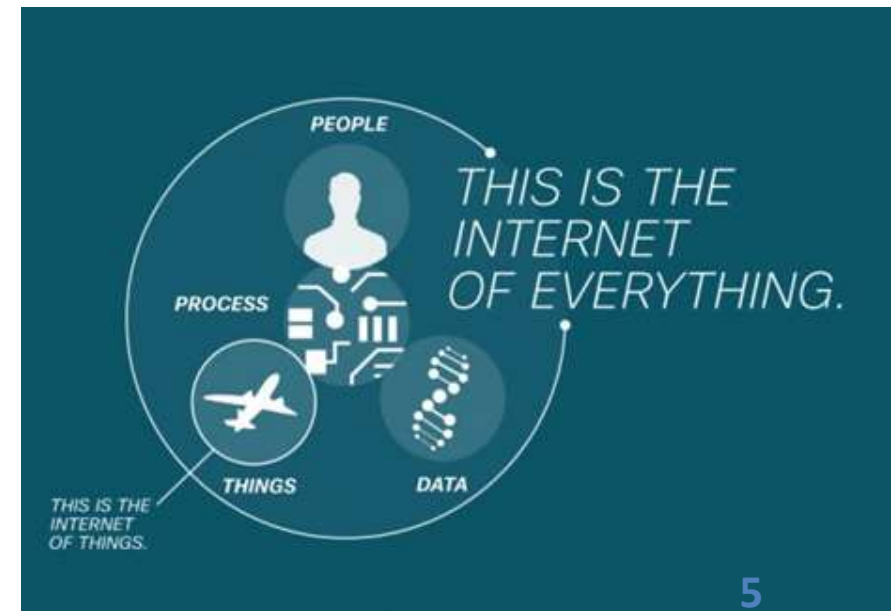


From „opentechdiary.wordpress.com,,

„IoE“ coined by Cisco

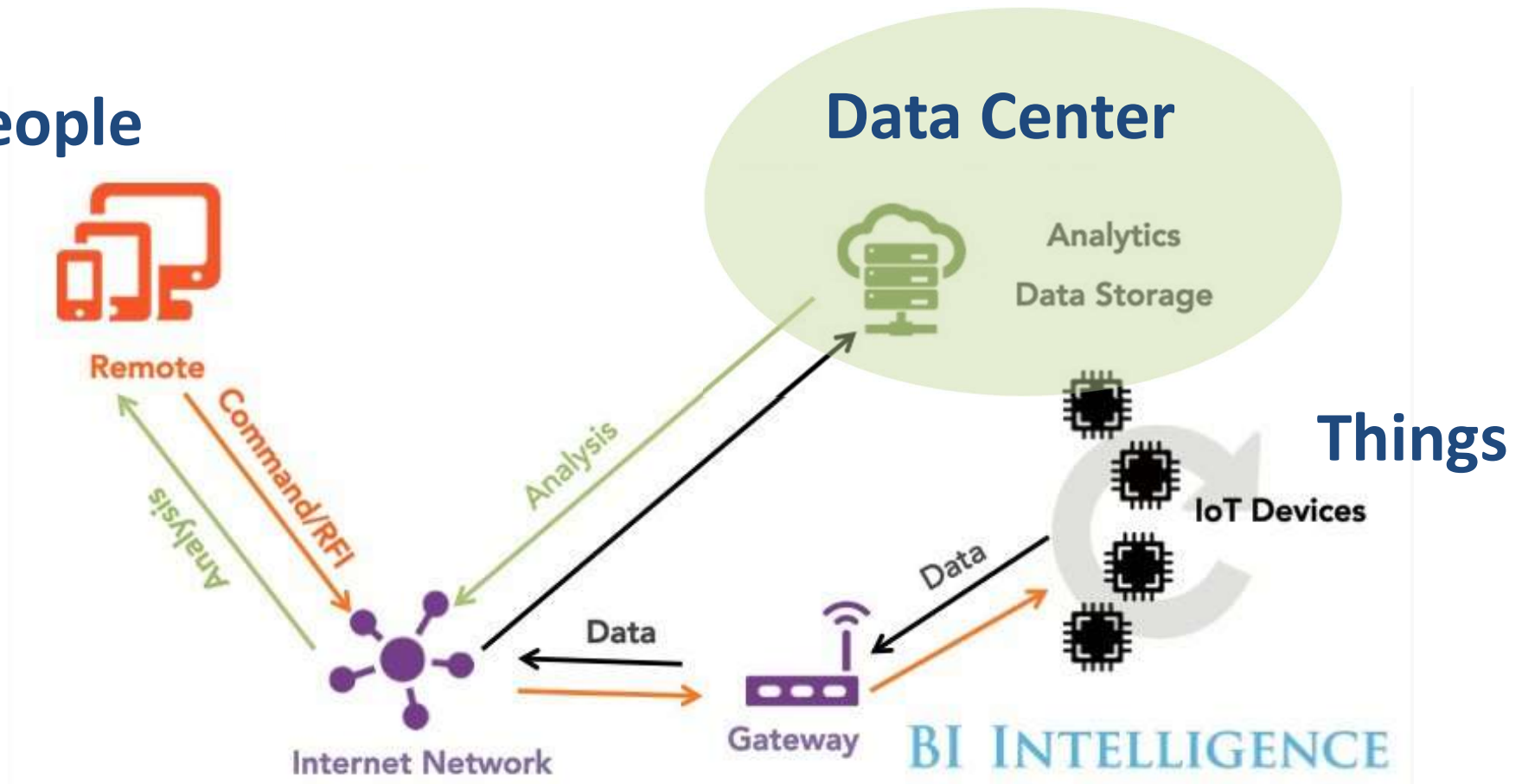


... connect everything,
process and store data
... how?

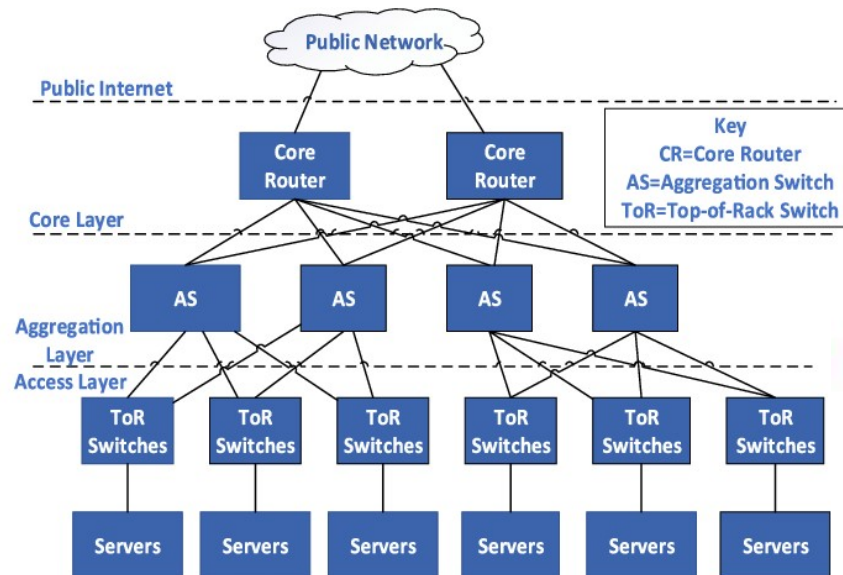


The Logistics behind IOT, IOE: process, store and access data

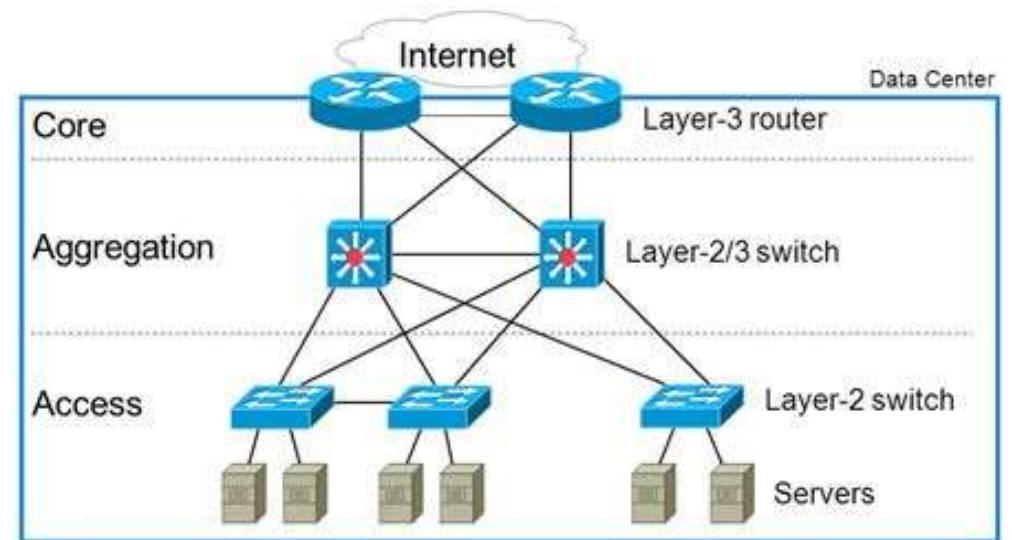
People



What is a Data Center?



Common Data Center Topology



Google Bildsuche zu Data Center



Hyperscale Data Center (HDC)

2018

24 Betreiber von HDCs, 17 davon mit Sitz in USA
400 hyperscale datencenter weltweit

2018-> 2021

HDCs werden einen Anteil haben von

27 -> 53% aller Datacenter Server,
41 -> 69% aller Datacenter Rechenleistungen,
51 -> 65% aller in Datacentern gespeicherten Daten,
39 -> 55% des gesamten Datacenter Verkehrs,
von dem 95% Cloud-basiert sein wird.

Quelle: Cisco Global Cloud Index, 2016-2021

Amazon 1,8
Google 1,2
Microsoft 2
Facebook 4
eBay 8
Alibaba 8
Apple 4
Yahoo 4
Salesforce 2
Rackspace 1
APD 2
. . .

Hyperscale Data center: Betreiber hat einen Umsatz von > 1 Mrd\$ hosting, or > 2 Mrd\$ Software, > 4 Mrd\$ Internet Search & Social Networking, > 8 Mrd\$ in E-commerce

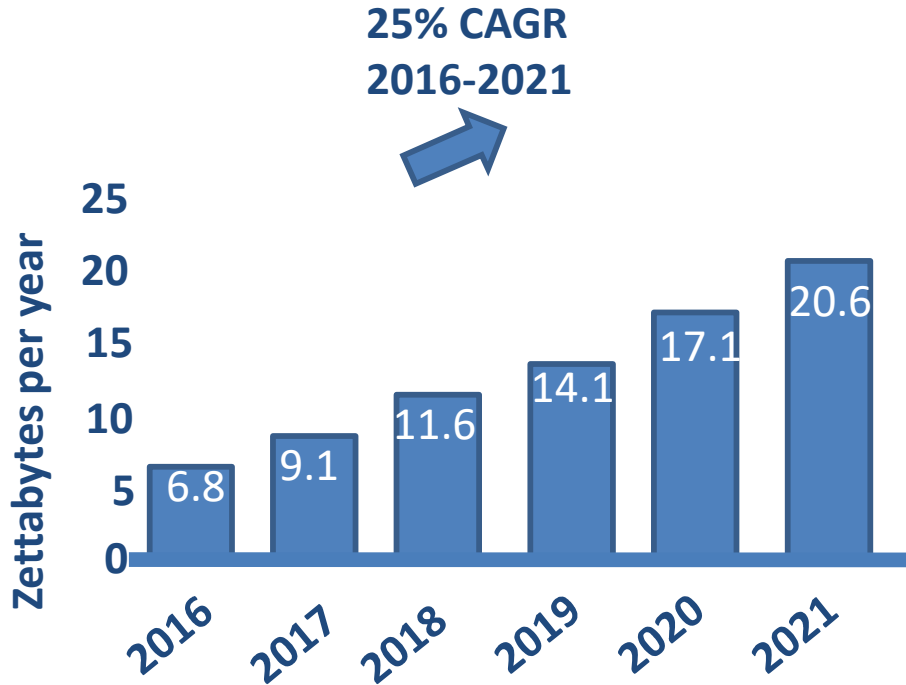
Data Center traffic growth

Global data center IP traffic growth

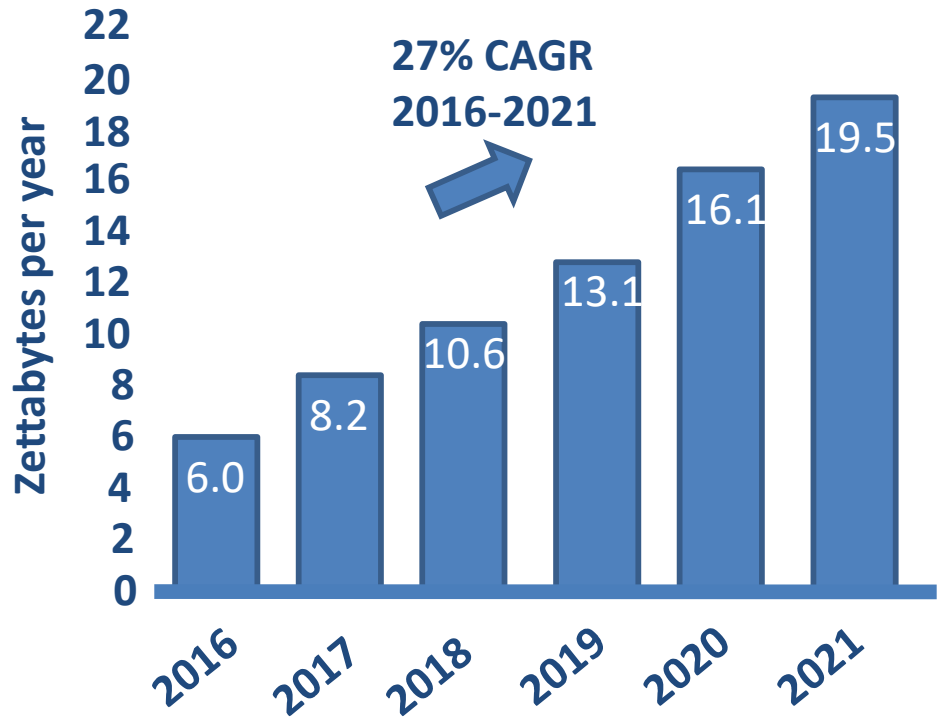
thereof



Cloud data center traffic growth



Source: Cisco Global Cloud Index, 2016-2021



Source: Cisco Global Cloud Index, 2016-2021

1 Zettabyte (1 ZB) = 2^{70} Byte $\sim 10^{21}$ Byte $\sim 10^{22}$ Bit

Global Data Center Traffic

ZB per year	2018	2021
Traditional data center	0,9	1,0
Cloud data center	10,6	19,5
<hr/>		
Data center to user	1,6	3,0
Data center to data center	1,3	2,8
Within data center	8,6	14,7*¹
Local server rack traffic	17,0	30,0

Bottleneck!



Source: Cisco Global Cloud Index, 2016-2021

*¹ Estimate of even 29 ZB according to KPN Integrated Annual report 2015

Was bedeutet „Data Center traffic“ in Bezug auf Energie?

- Beispiel: GOOGLE verbessert seit 2012 die PUE (power usage effectiveness) von 2 auf 1.1.
- Dennoch Anstieg des Energiebedarfs durch wachsende Anzahl von Teilnehmern

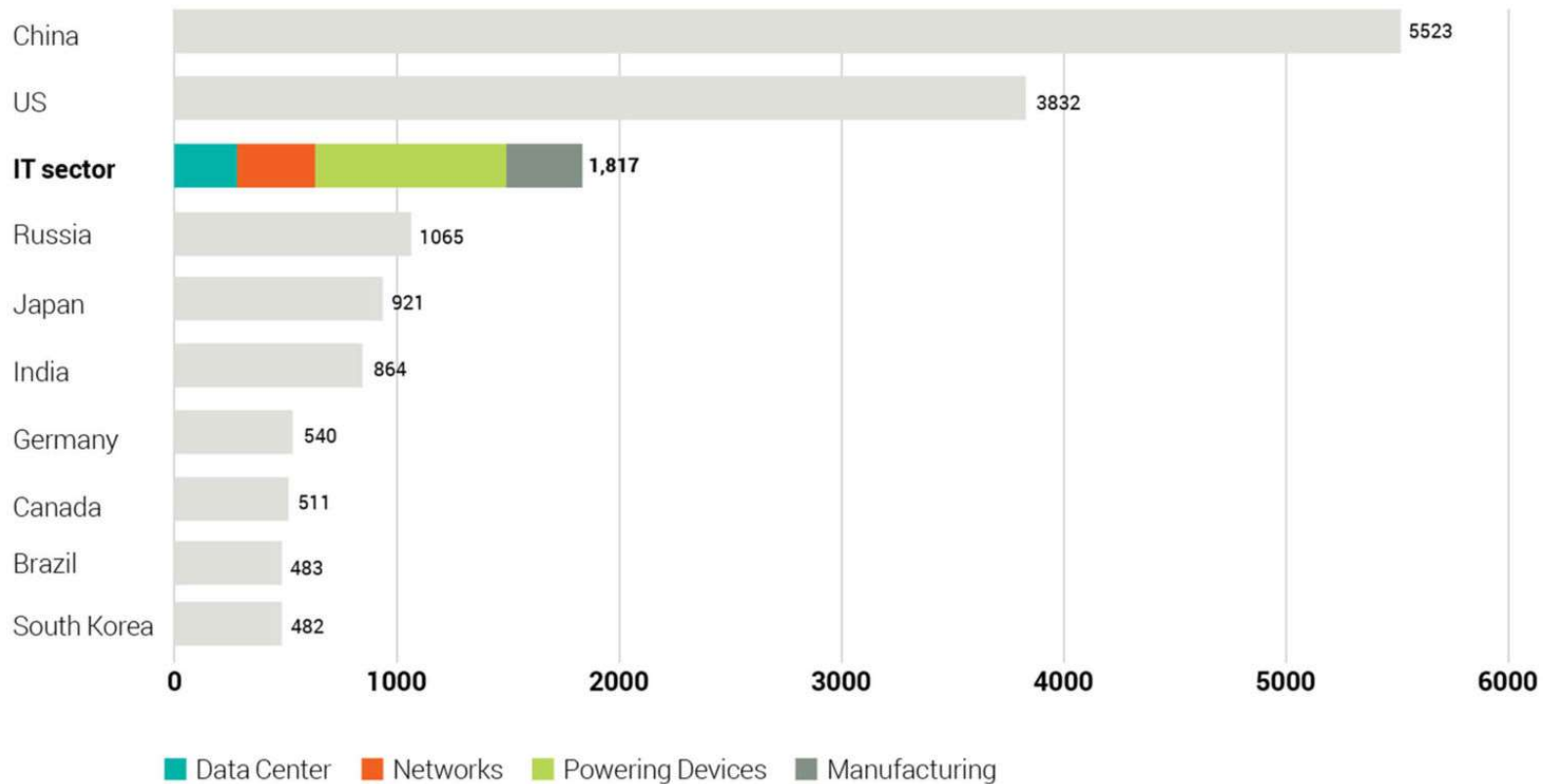


1 TWh = 1 Milliarde kWh

*¹Anders Andrae, „Total Consumer Power Consumption Forecast, Oct.“, Nordic Digital Business Summit, 2017

Electricity consumption IT sector vs. countries

Energy consumption, billion kWh (TWh) in 2012



Source: Clicking Green: Who is Winning the Race to Build a Green Internet, Greenpeace Report 2017

Since 2012 number of users has more than doubled.

Die Haustechnik eines Data Centers



Quelle:Google

Die Haustechnik außerhalb des Data Centers



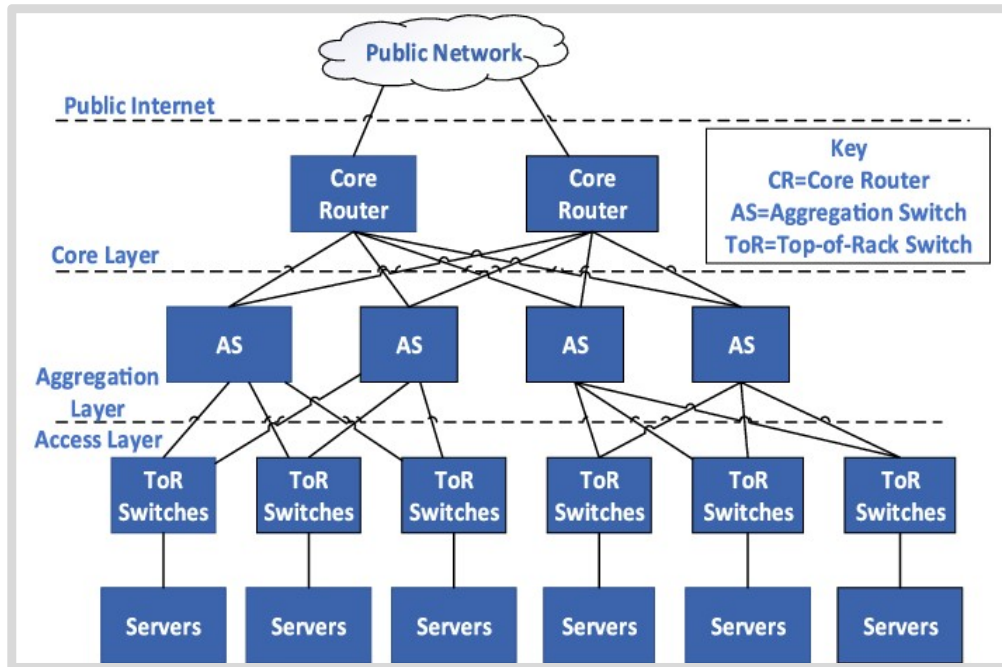
GOOGLE Data Center St. Ghislain, Belgien

- Eines von 5 europäischen der weltweit 19 Google Datencentern
- 1,6 Milliarden EUR Gesamtinvestment



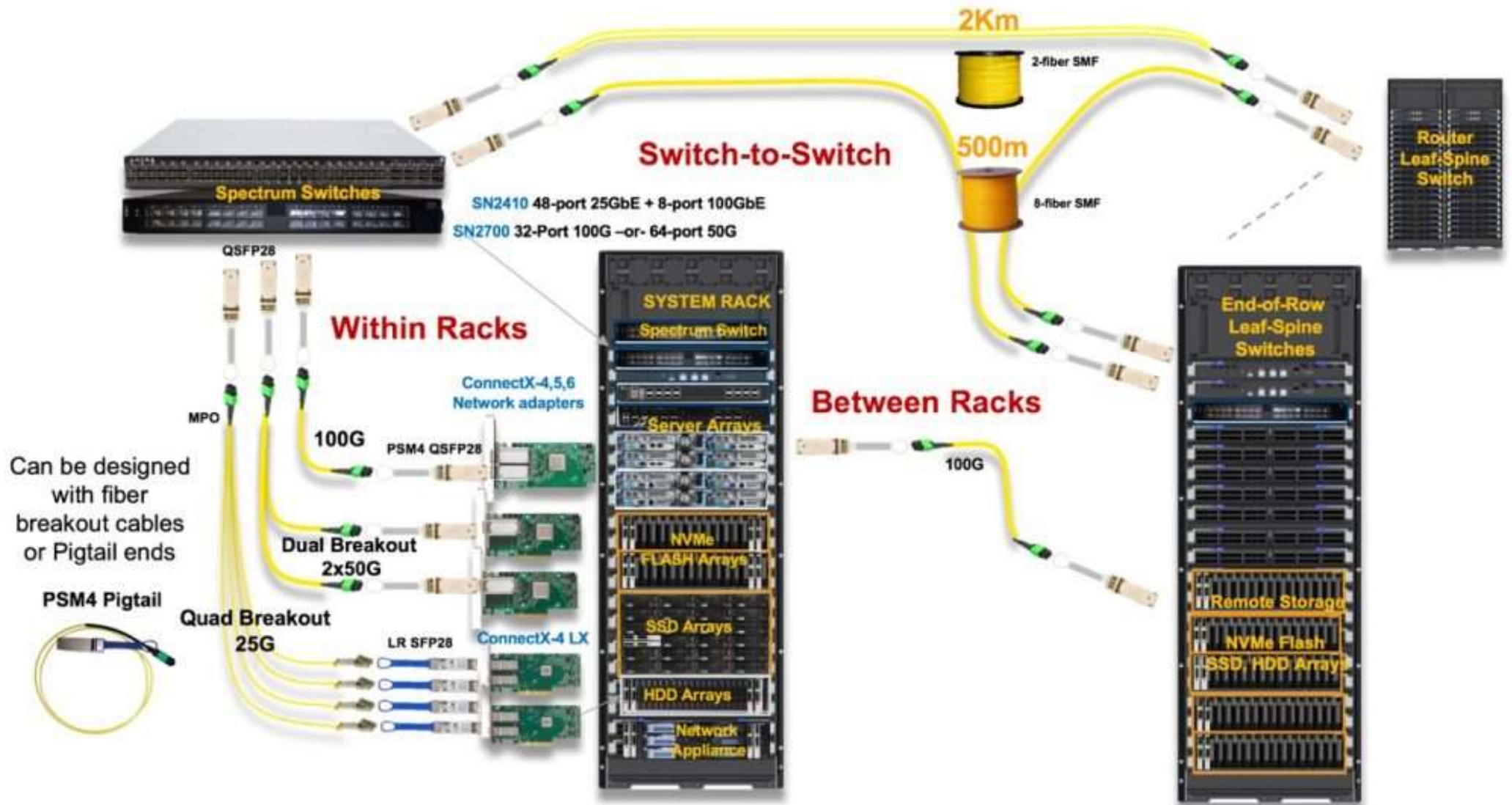
Quelle: Google

Woher kommt der Energiebedarf?



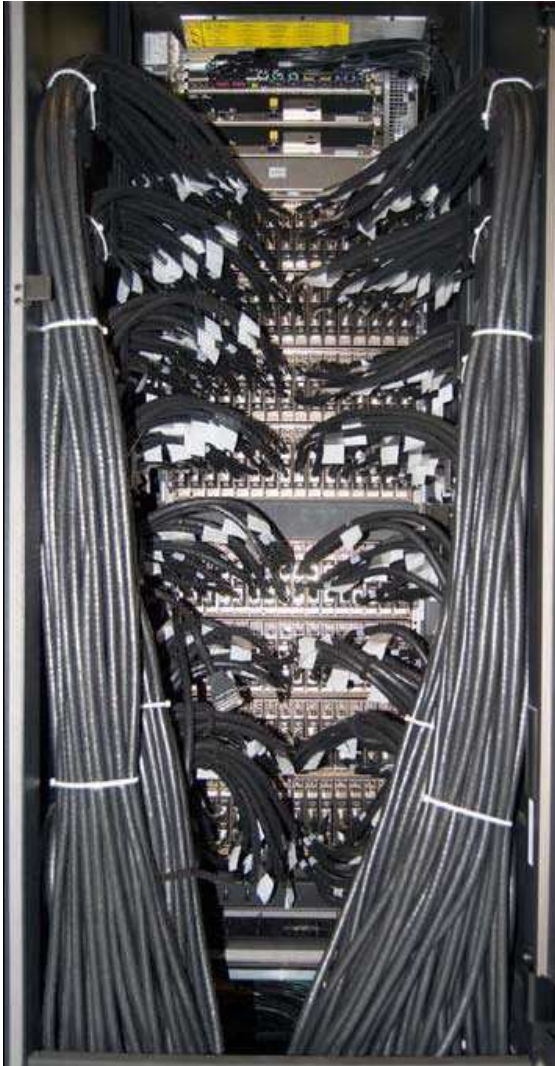
Daten Transport innerhalb eines Data Centers

25 - 50 - 100 - ... Gbit/s



Datentransport über optische Kabel

Kupfer-Kabel



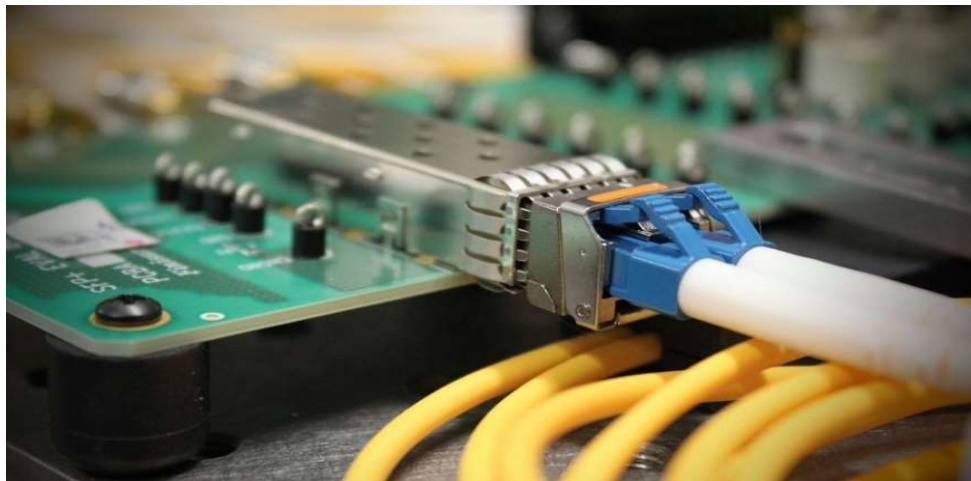
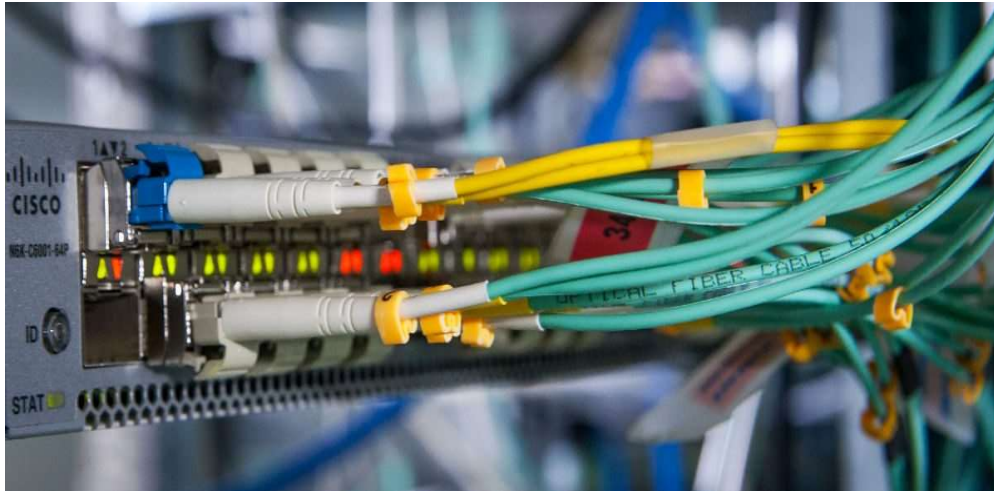
- **Aktive optische Kabel**
- 4 ...10 km Reichweite
- **Viel schneller, kleiner, und leichter als Kupfer**



Optische Kabel



Aktive Optische Kabel



Photograph Christophe.Finot, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50571220>



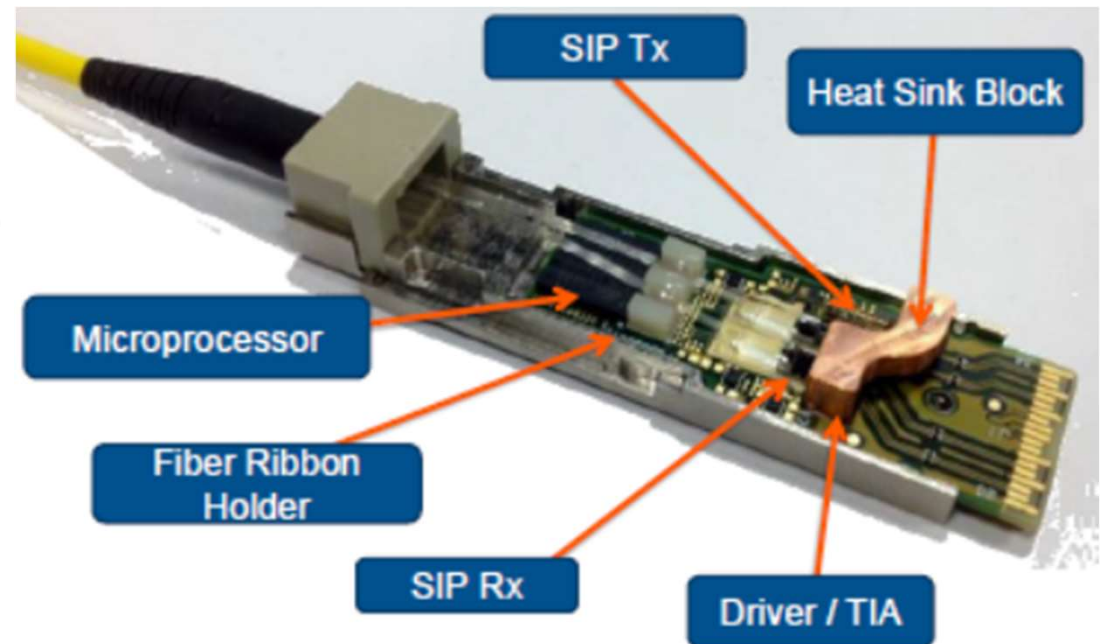
Glasfaser

**Steckverbinder
mit Elektronik**

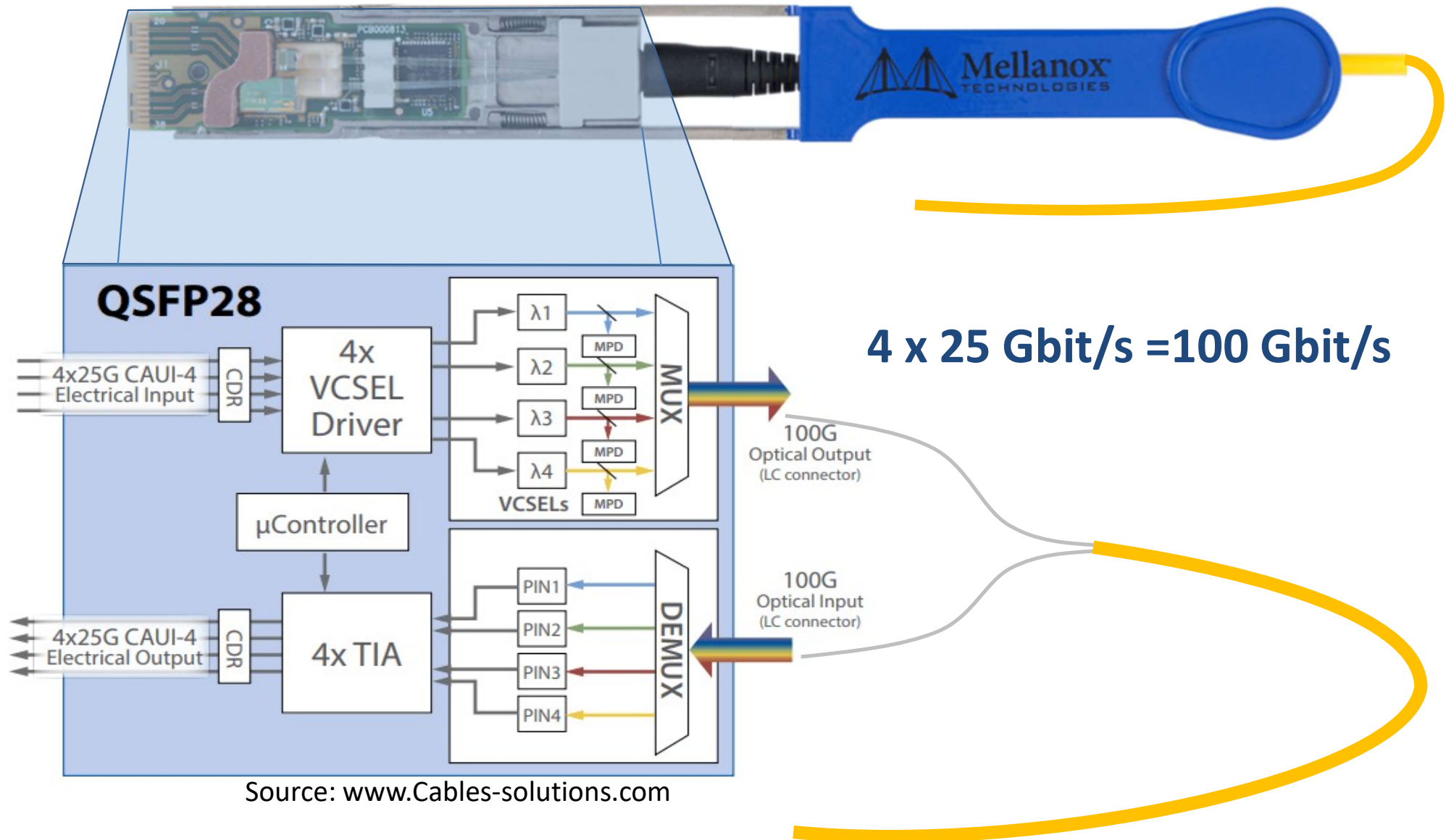
Das Innenleben des Kabels



Glasfaser-Kabel



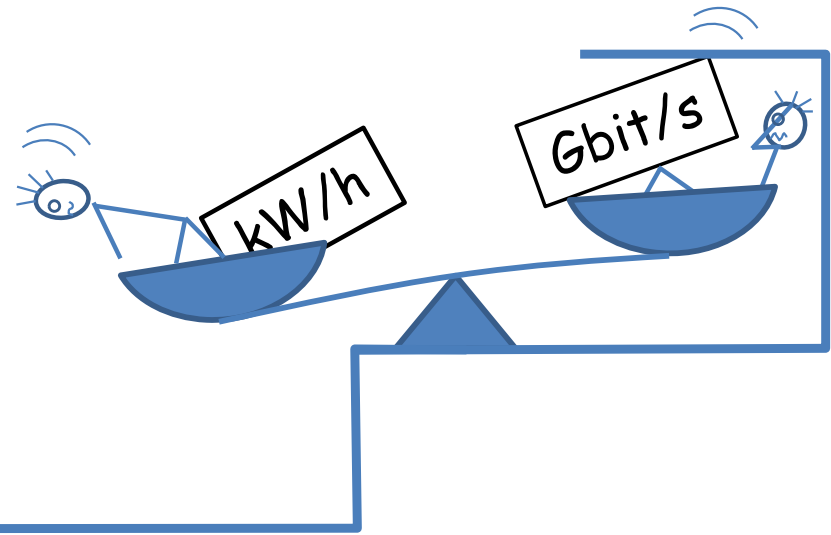
Stand der Technik (100 Gbit Ethernet)



Zukünftiger Datentransport für IoT/IoE

Stand der Technik

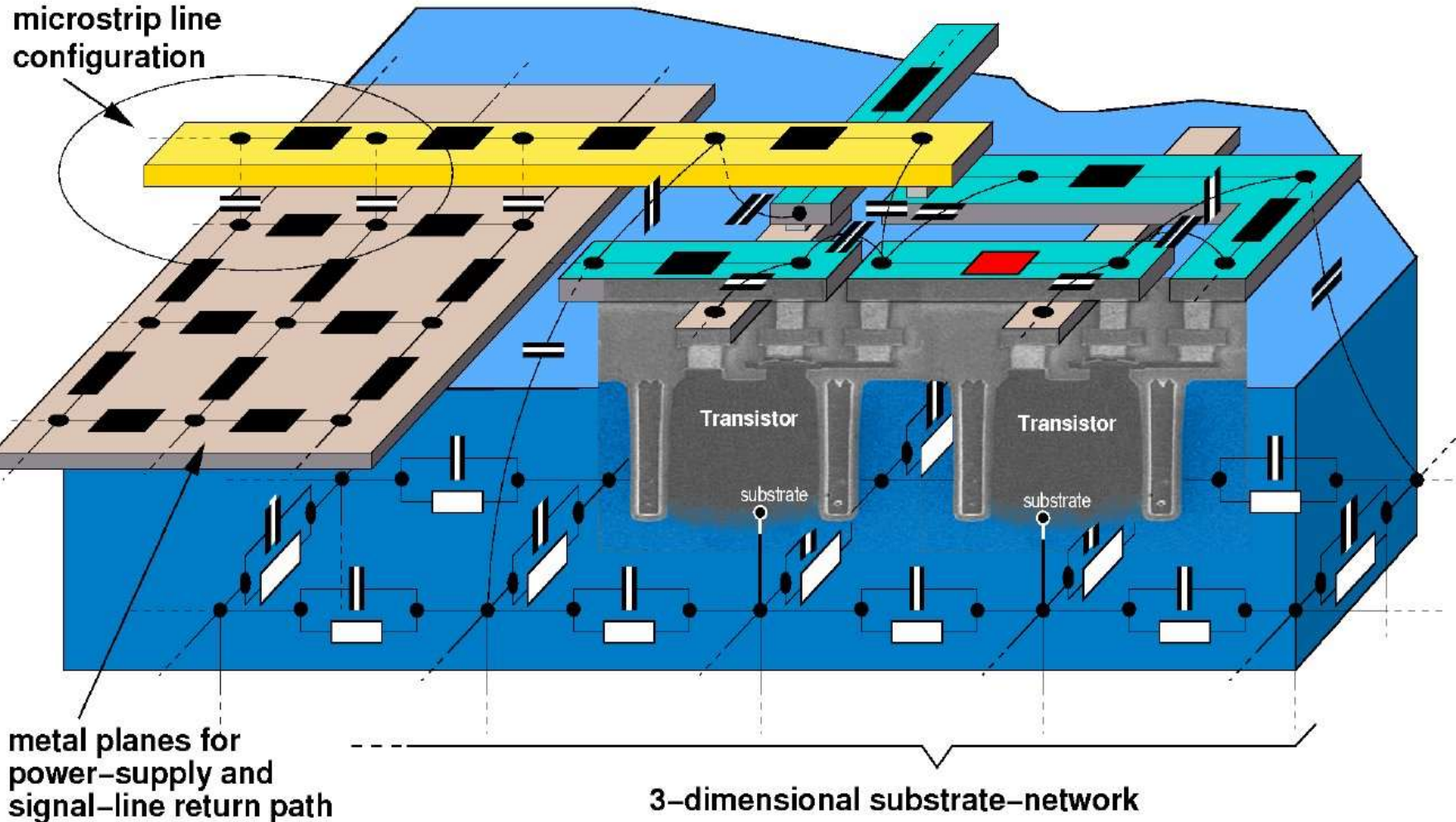
- 100 Gbit/s pro Faser zu wenig
- hoher Energiebedarf



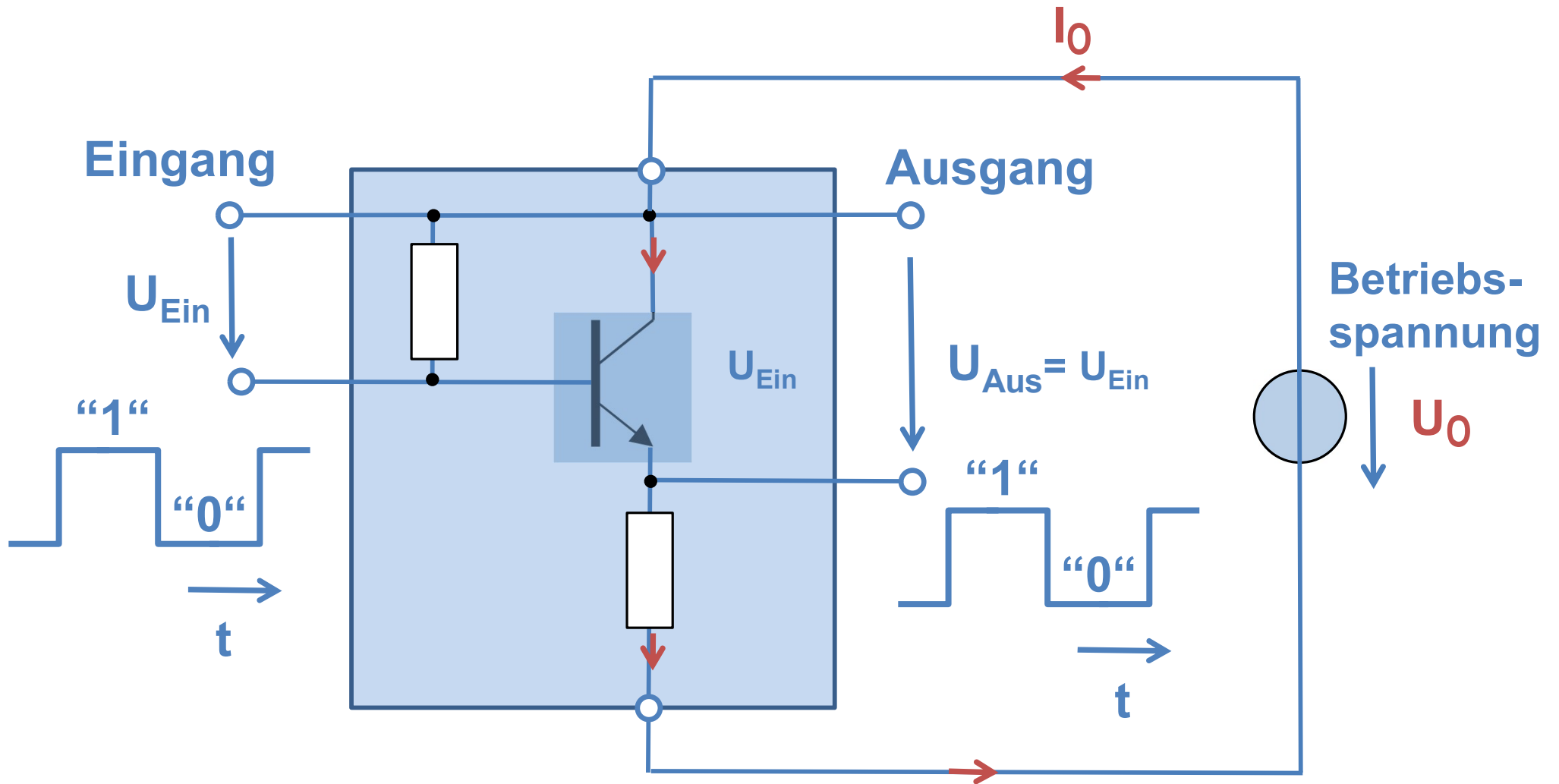
Forschung

- Wofür wird die Energie benötigt?
- Was begrenzt die Geschwindigkeit?
- Wie kann man die Grenzen verschieben?

Parasitäre Elemente der Verbindungstechnik

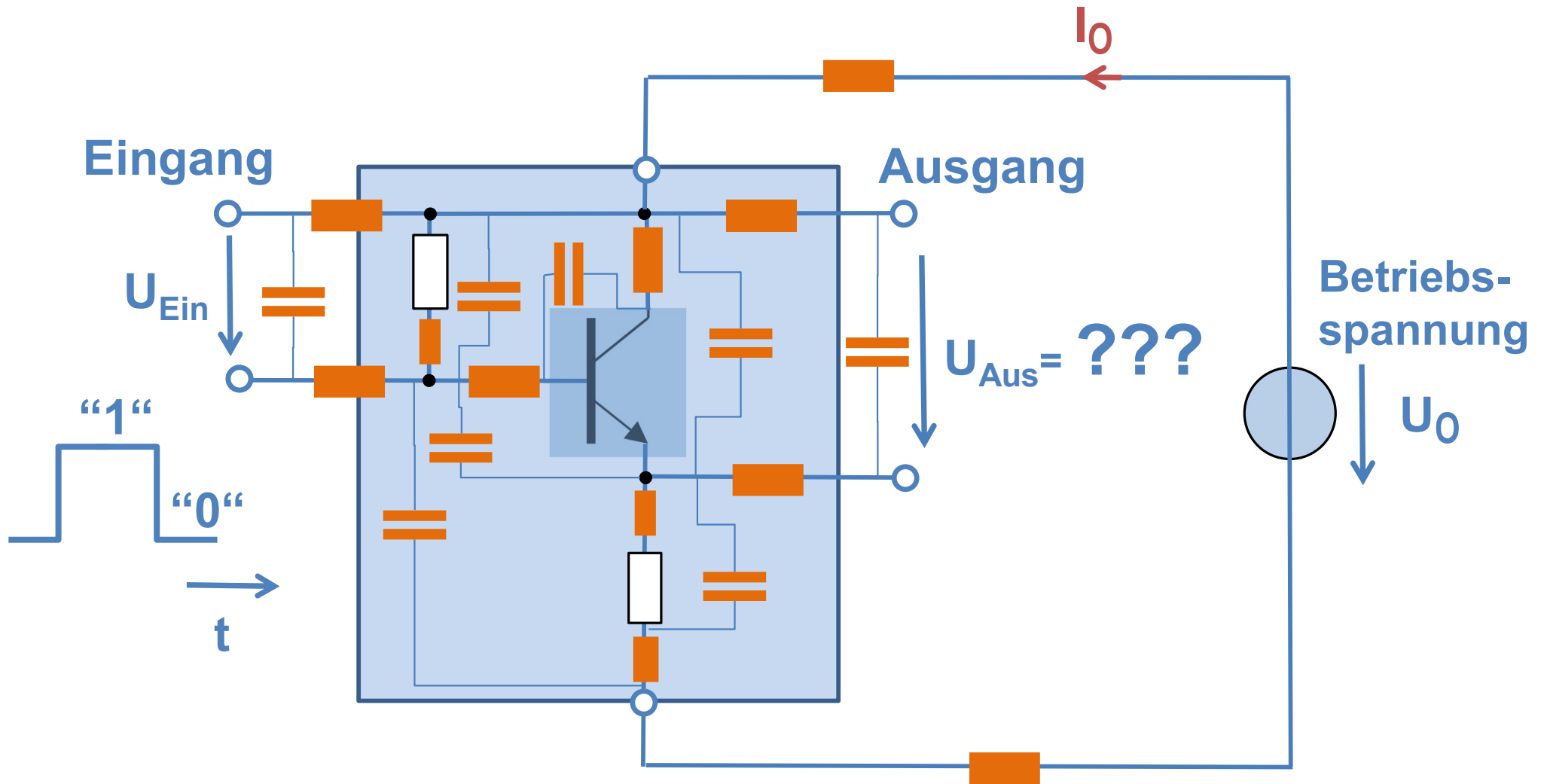


Transistor-Schaltung bei tiefen Frequenzen



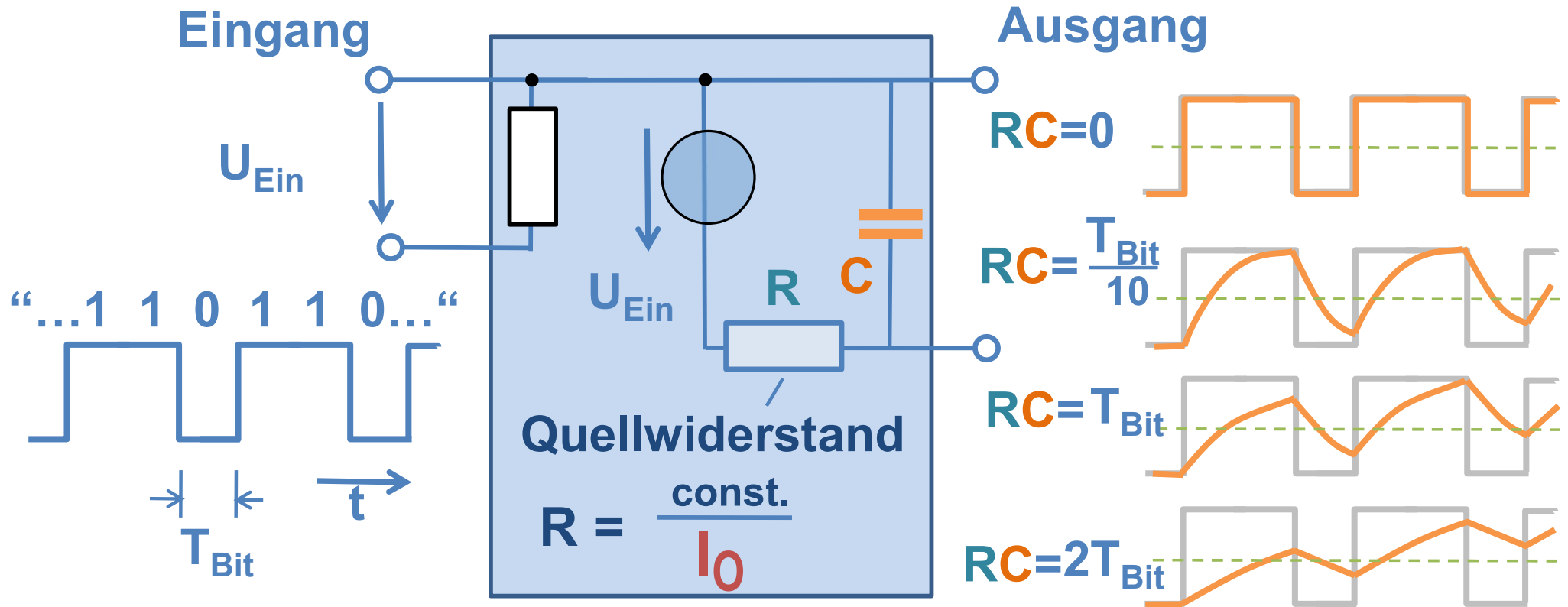
Leistungsaufnahme : $P = I_0 U_0$

Transistor-Schaltung bei hohen Frequenzen



Leistungsaufnahme immer noch : $P = I_0 U_0$

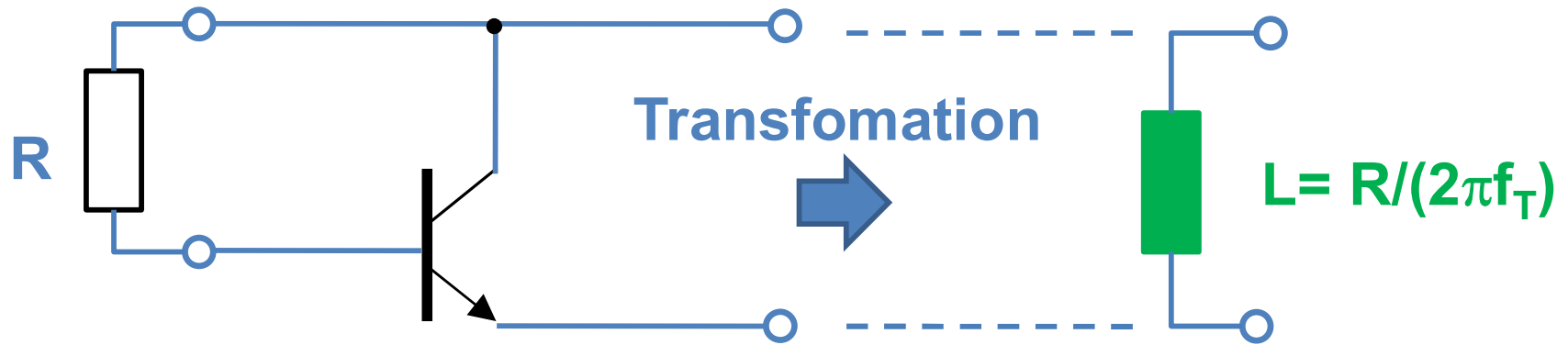
Modell für Transistor-Schaltung mit einfacher kapazitiver Last



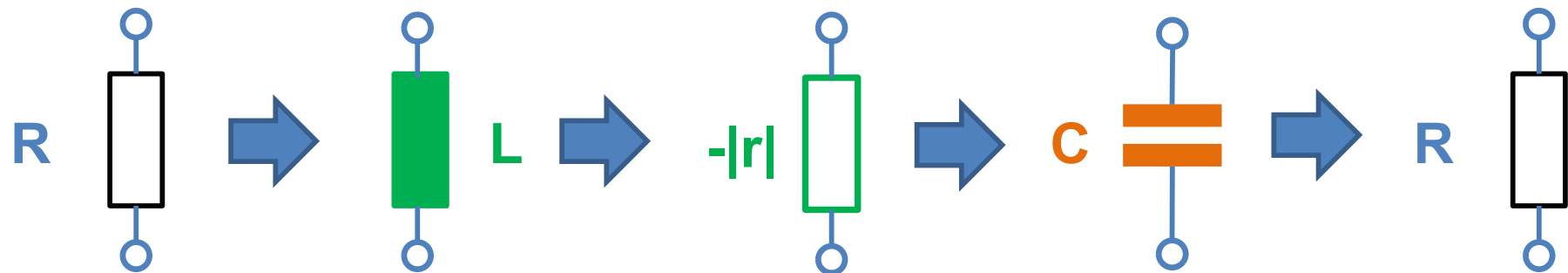
R möglichst klein d.h. I_0 möglichst groß für maximale Geschwindigkeit

ABER: Leistungsaufnahme steigt wegen $P = I_0 U_0$

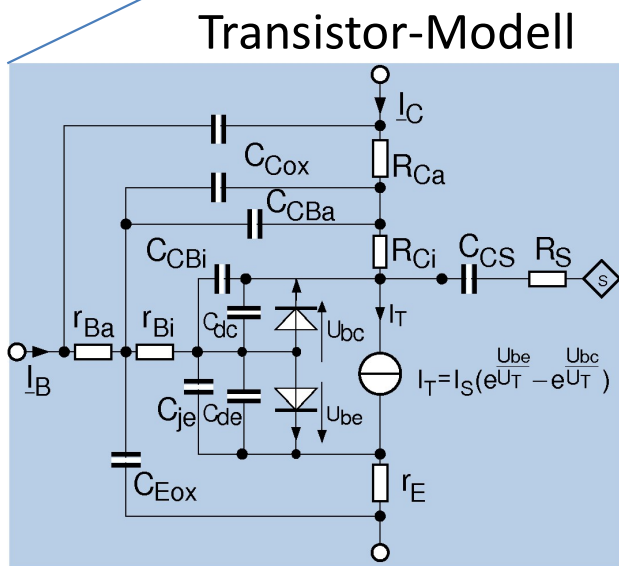
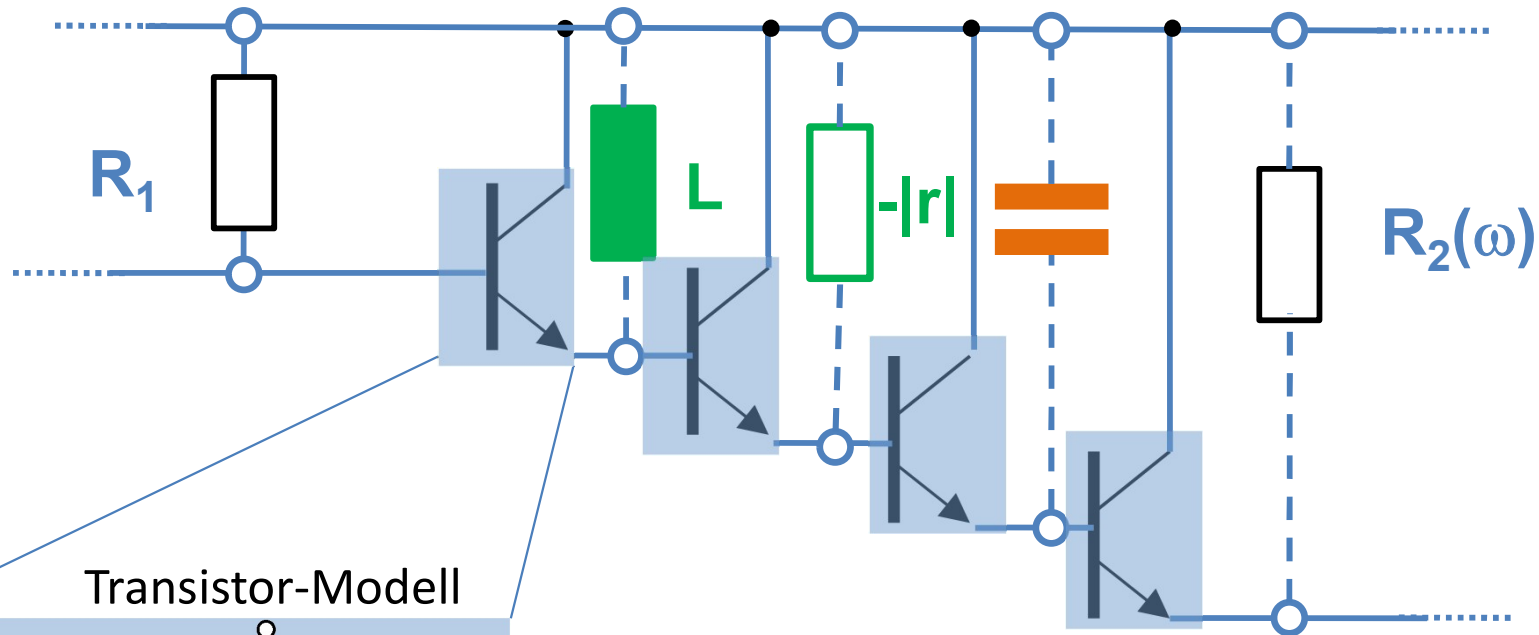
Erzeugen von Elementen für komplex-konjugierte Fehlanpassung



Erzeugen und Umwandeln von Bauelementen



Transistor-Kaskaden zur Impedanztransformation

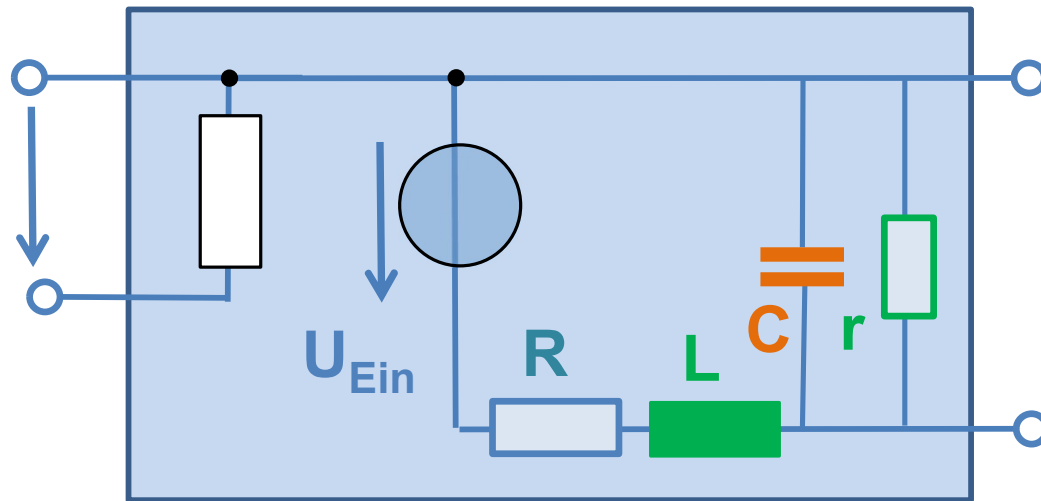


Kaskade erzeugt und wandelt sehr viele komplexe Bauelemente um

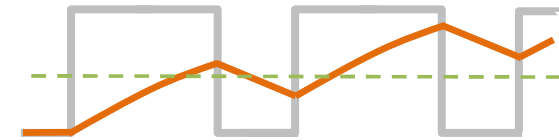
Jeder zusätzliche Transistor benötigt zusätzlichen Strom I_0

Entwicklungsmethoden hierzu sind Gegenstand laufender Forschung

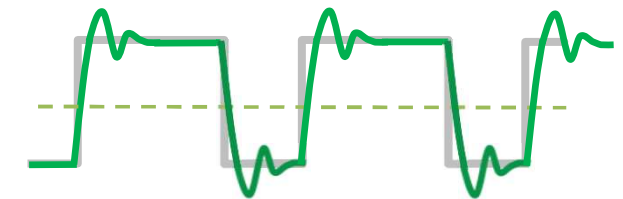
Transistor-Schaltung mit komplex konjugierter Fehlanpassung



$$RC = 2T_{\text{Bit}} \quad L, r = 0$$



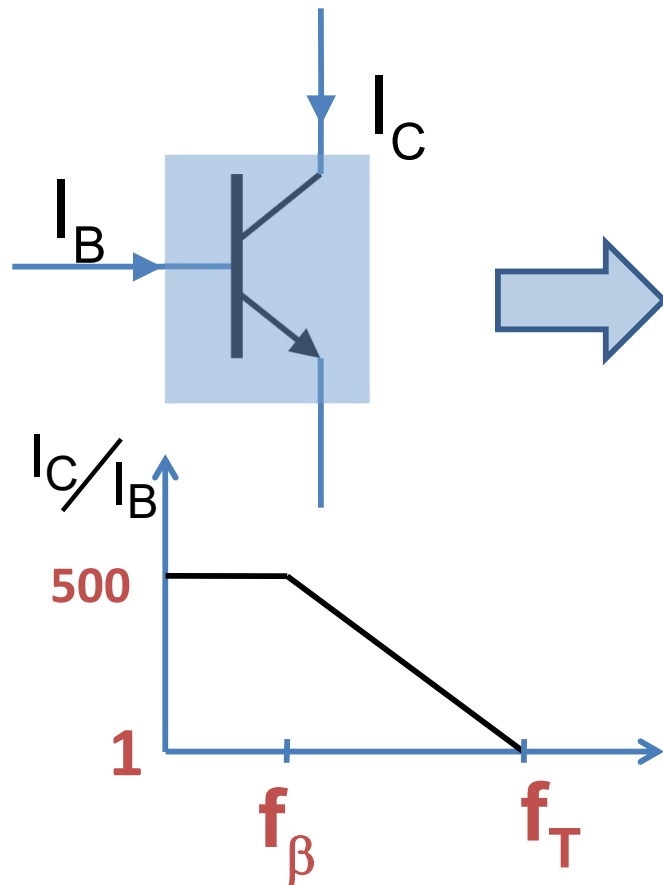
$$RC = 2T_{\text{Bit}} \quad L > 0, r < 0$$



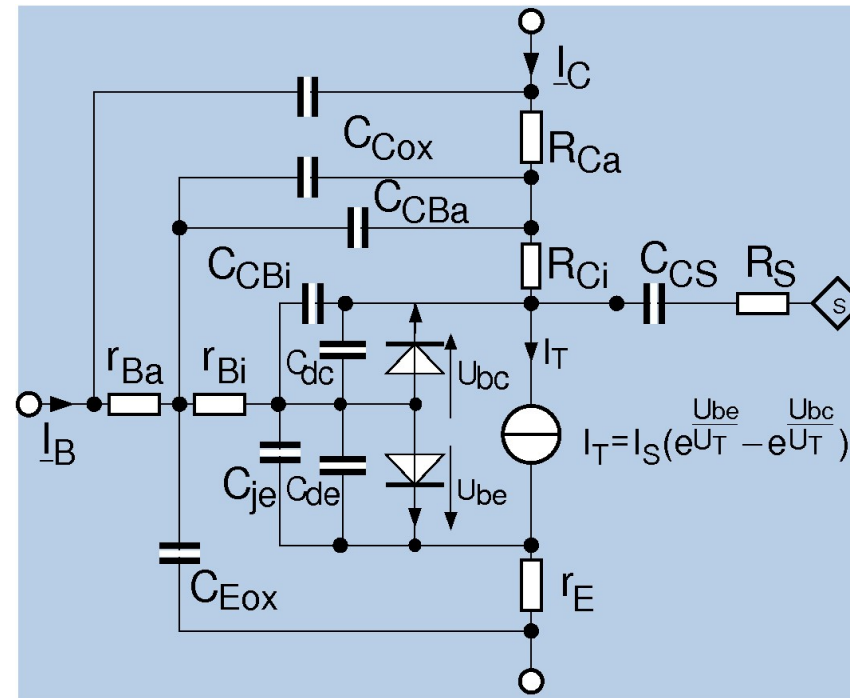
Einbringen von erzeugten L, r - Elementen ermöglicht höhere Geschwindigkeit im Datentransport

Aber weiterhin muss R möglichst klein sein, d.h. I_0 und damit $P = I_0 U_0$ ist hoch und vervielfacht mit der Anzahl der Transistoren in der Kaskade!

Geschwindigkeit des Transistors



Transistor-Modell

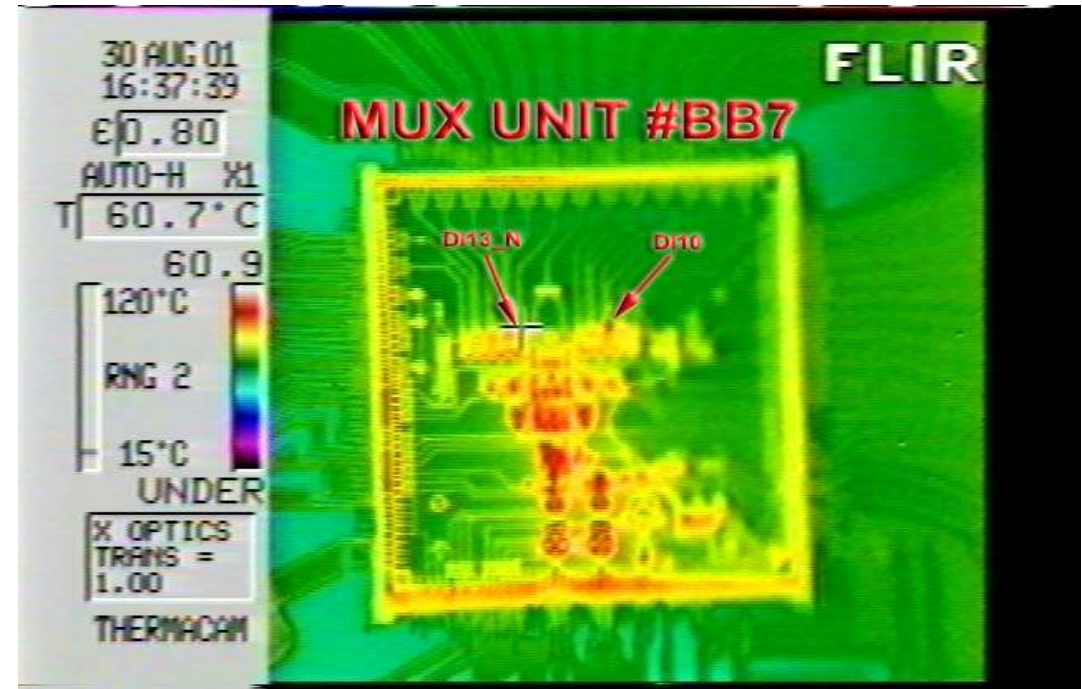


$$f_T \approx \frac{I_C}{2 \pi (C_{be} + C_{cb}) u_T}$$

Transitfrequenz f_T des Transistors proportional zu Betriebsstrom I_C

Aber auch Leistungsaufnahme $P = I_C U_0$

Besser kochen mit Halbleiter-Chips

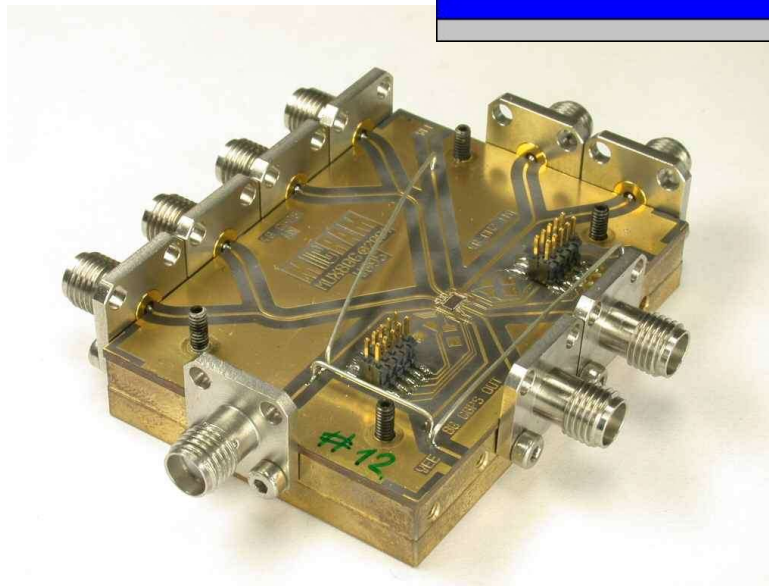
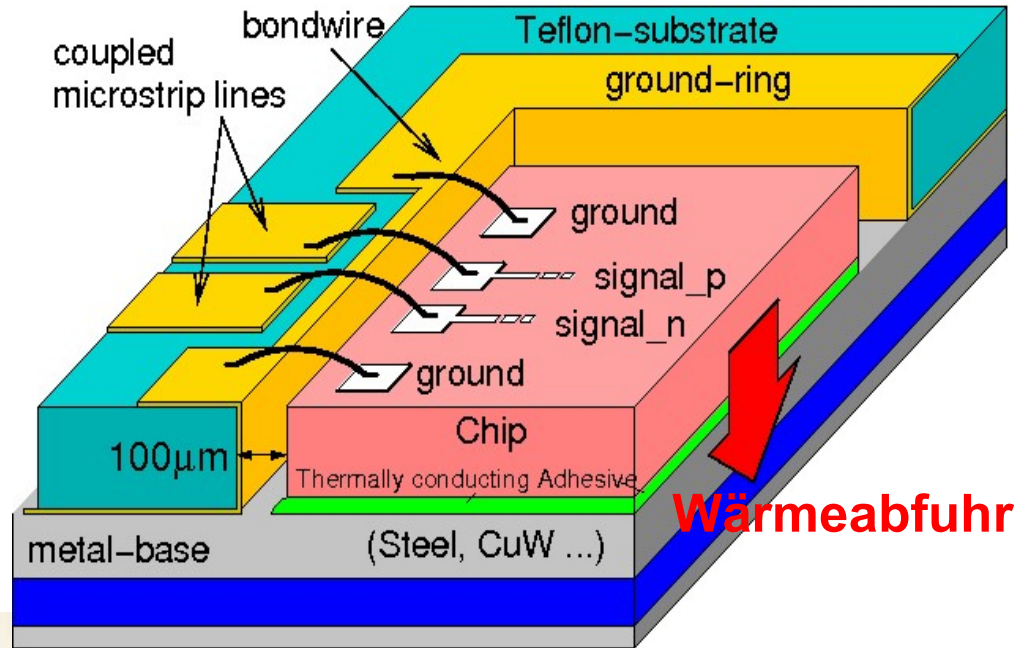
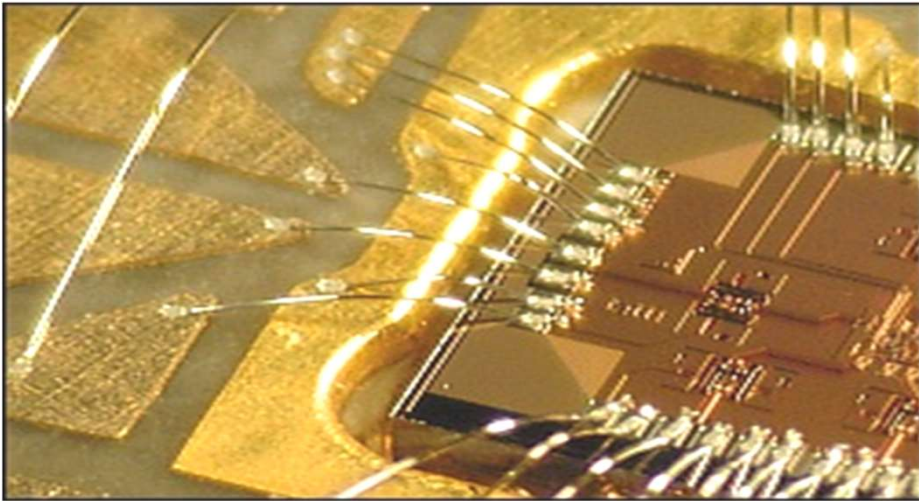


20 cm Herdplatte mit 1000W:
 $1000 \text{ W} / (\pi (100 \text{ mm})^2) = \mathbf{0,03 \text{ W/mm}^2}$

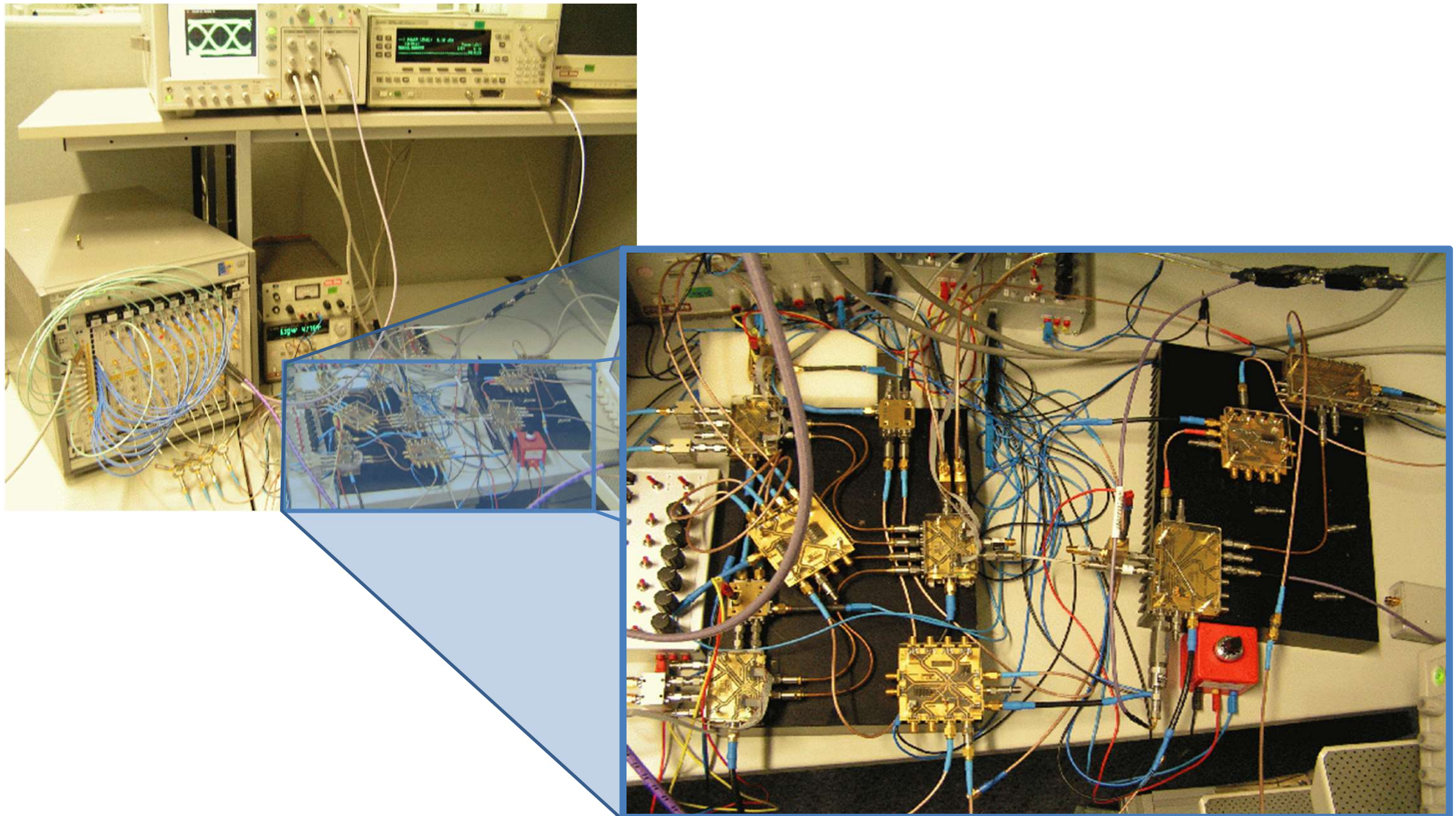
40 Gbit/s 16:1 Multiplexer - Chip
 $12 \text{ W} / (3 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}) = \mathbf{1 \text{ W/mm}^2}$

ABER: hohe Temperatur verringert Lebensdauer und f_T

Spezielle Aufbautechnik zu Entwärmung des Chips

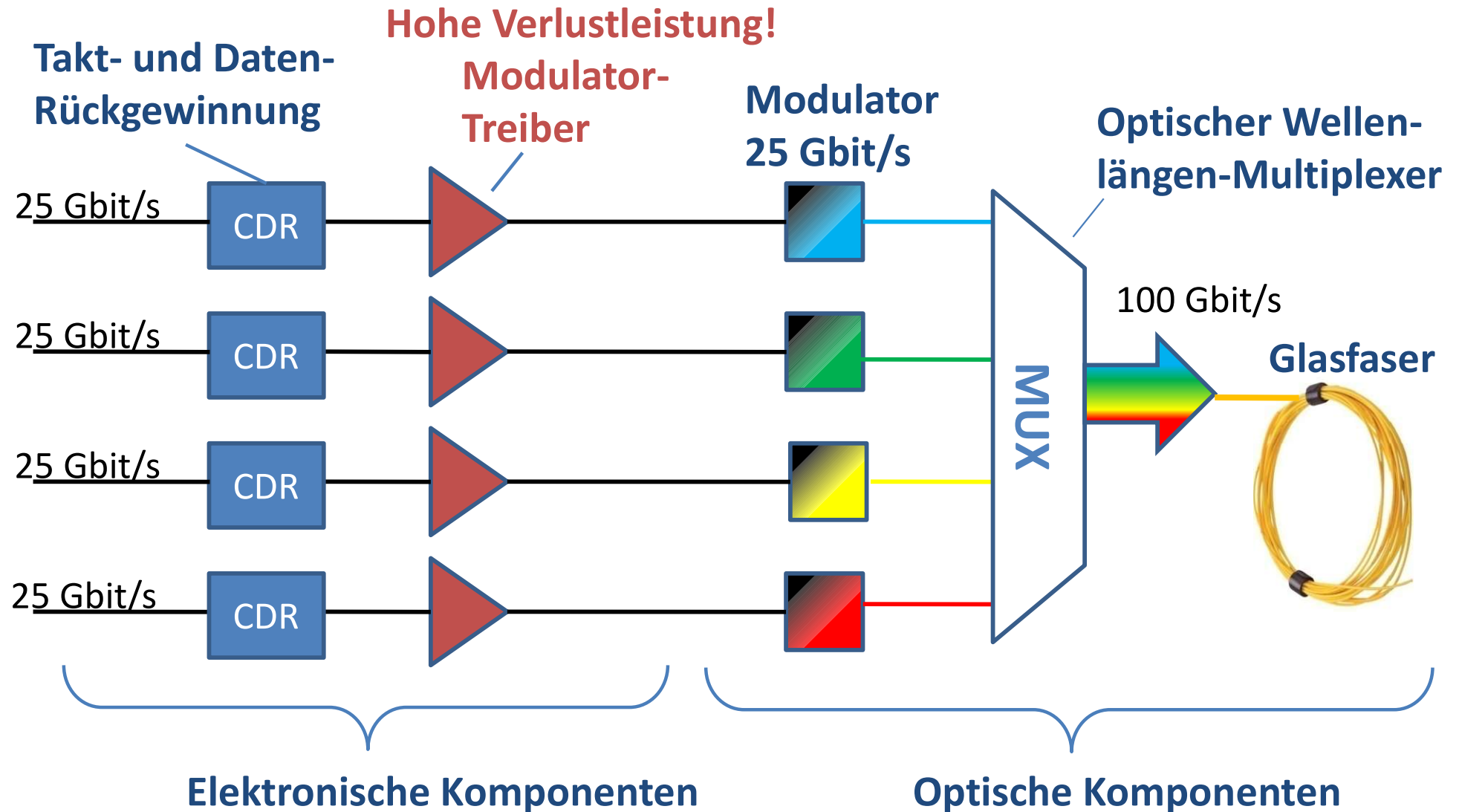


Messtechnik für Rekord-Geschwindigkeiten oder das „Henne-Ei“ Problem

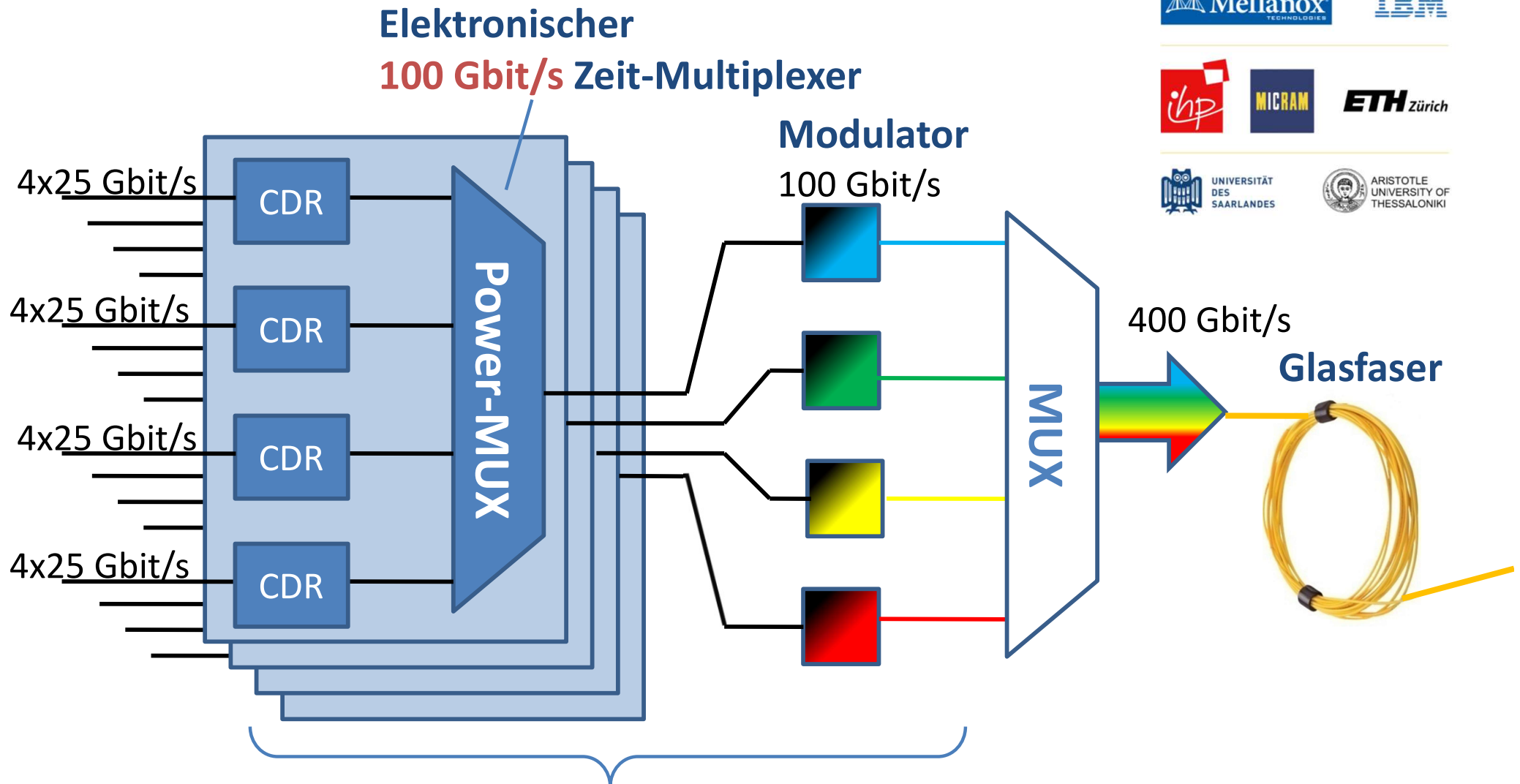


Aktuelle Forschungsaktivitäten

Stand der Technik bei Sende-Komponenten

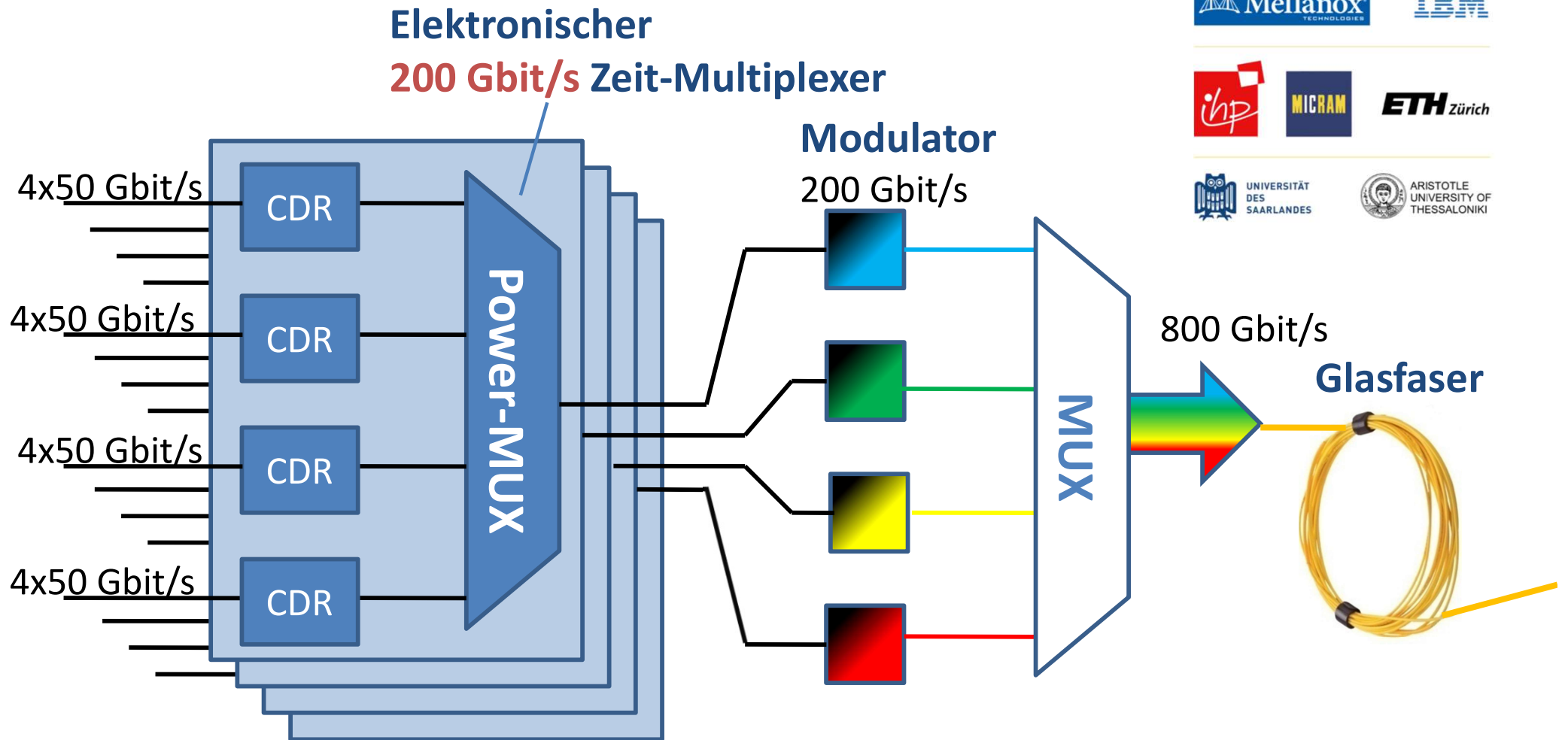


EU-Forschungsprojekt Plasmofab – 400 Gbit/s



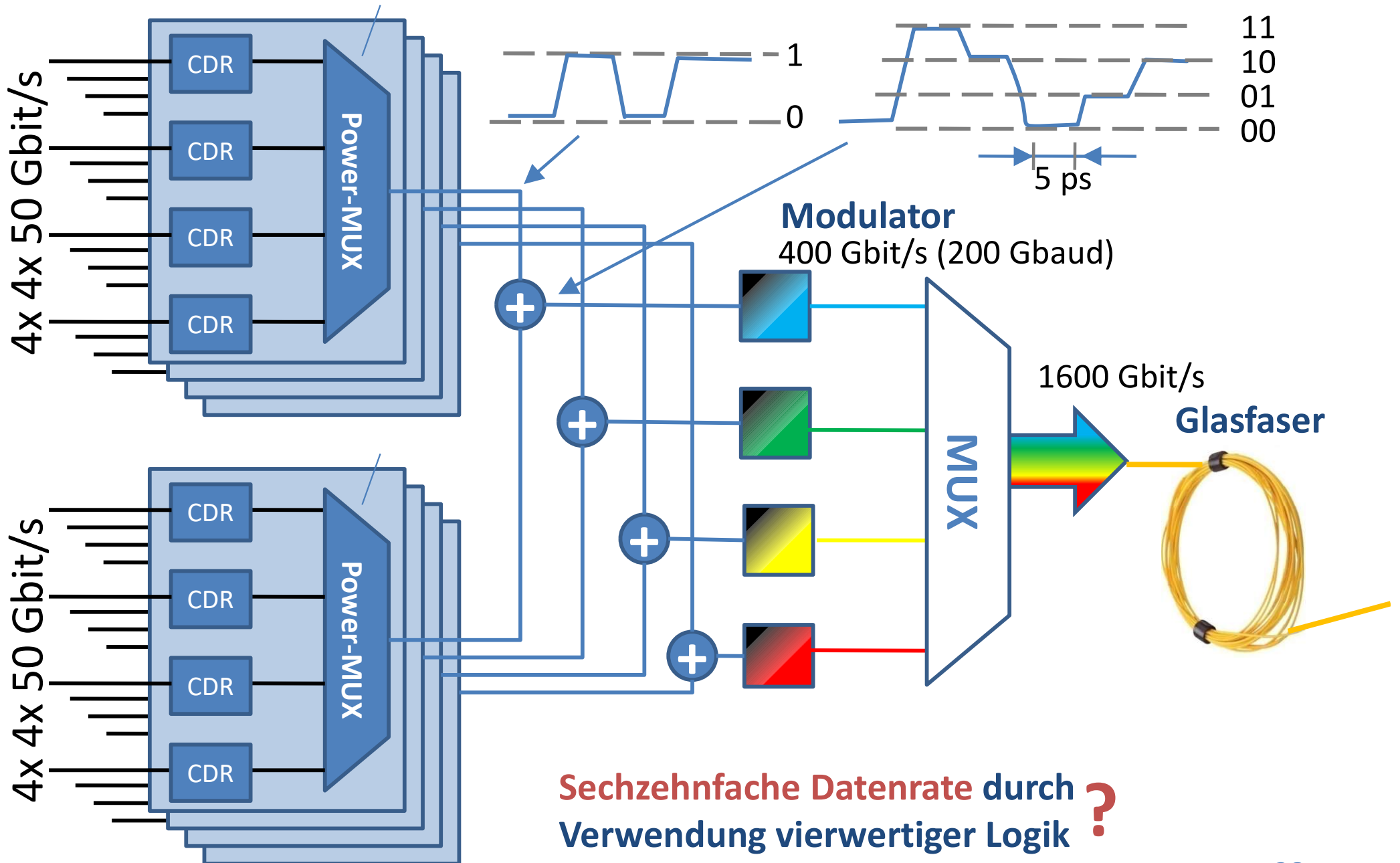
Elektronische und optische Komponenten auf EINEM Chip integriert
Vierfache Datenrate und Energie-Einsparung des Modulator-Treibers
durch Power-MUX

EU-Forschungsprojekt PlaCMOS - 800 Gbit/s

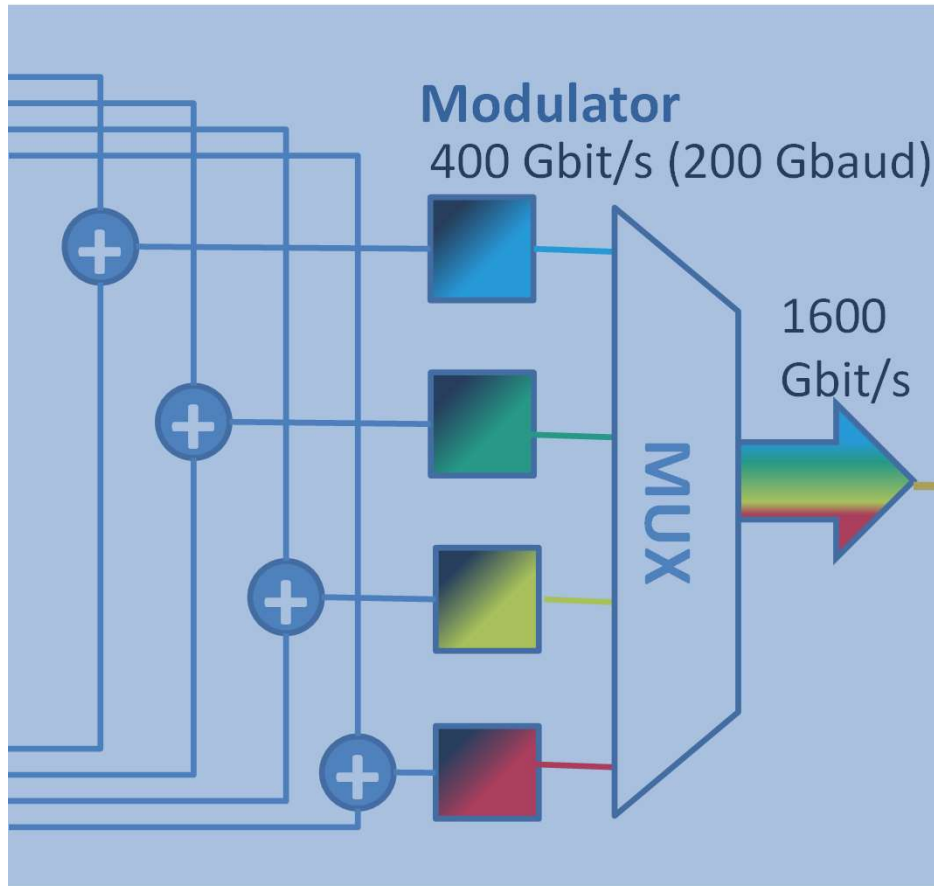


Achtfache Datenrate durch Erforschung von Methoden zur Erhöhung der Geschwindigkeit der elektrischen und optischen Komponenten

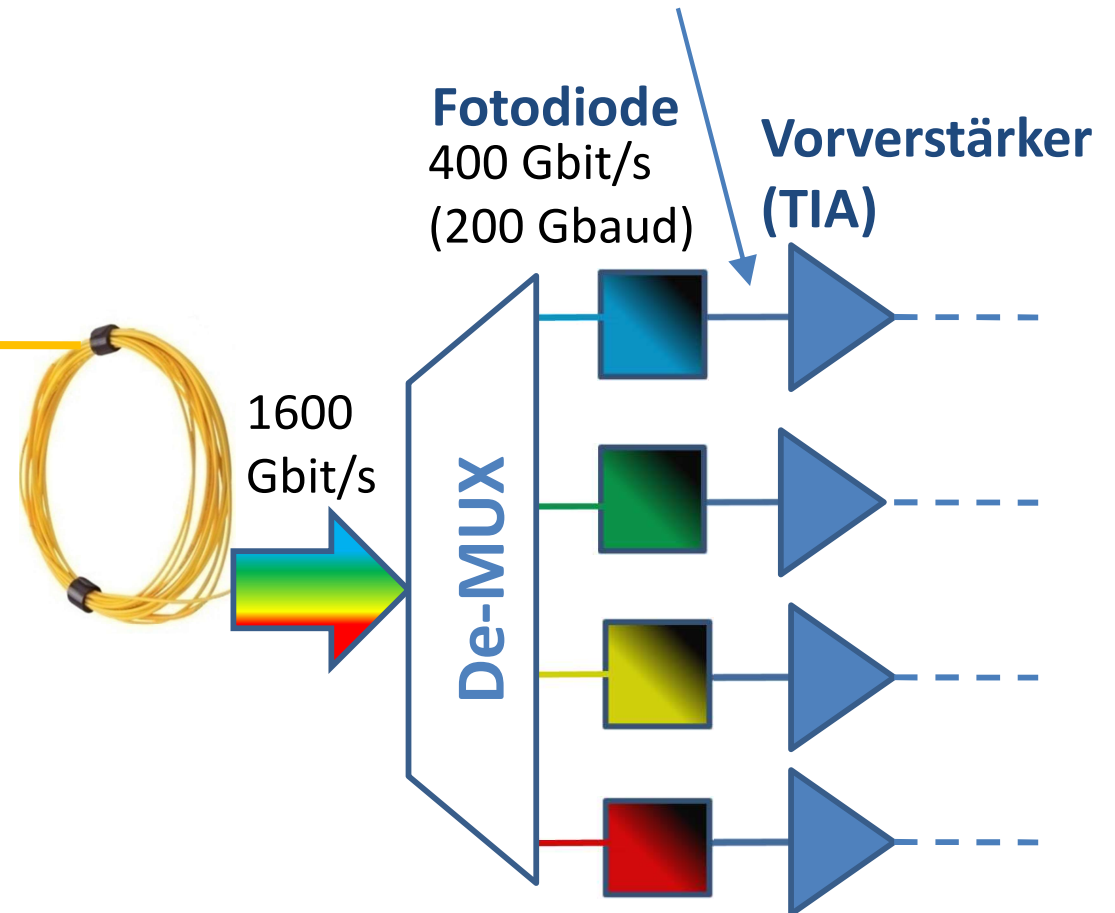
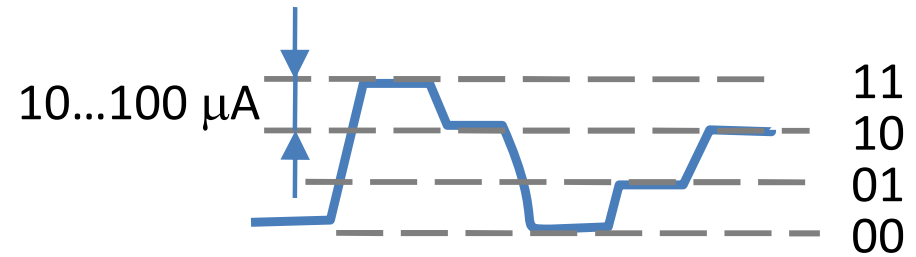
Weiterführende Forschung: Sender mit 1.6 Tbit/s



Weiterführende Forschung: 1.6 Tbit/s Empfänger?



Sender



Empfänger

...und das Fazit...

