

# Übungen zur Experimentalphysik III: Optik und Quantenmechanik

**Gruppe 13 – Phil 12 R107a, Do 9 c.t. (bis ca. 10:45)**

## **Vorlesung**

Prof. Dr. Selim Jochim

## **Übungsverwaltung**

Dr. Björn Malte-Schäfer

Elearning (“Moodle”):

<https://elearning2.uni-heidelberg.de/course/view.php?id=7388>

## **Übung 13**

Dr. Claude Krantz

Email: (nur diese verwenden!)

[claude.krantz@mpi-hd.mpg.de](mailto:claude.krantz@mpi-hd.mpg.de)

Zusatzmaterial:

<http://findus.homeunix.net/~puma/>

→ “*Teaching ...*”

## **Klausur, Bewertung etc.**

**Klausur:** 2. Feb. 2015 (Woche davor: kein Übungsblatt)

**Zulassung:** 60% der Punkte über alle Blätter

**Bestehen:** “maximal 50%” in Klausur

# Klausur, Bewertung etc.

**Klausur:** 2. Feb. 2015 (Woche davor: kein Übungsblatt)

**Zulassung:** 60% der Punkte über alle Blätter

**Bestehen:** “maximal 50%” in Klausur

## Zettelbewertung:

- \* Recht formlos, für Endnote irrelevant
- \* 60%-Schwelle ist nicht scharf. In Grenzfällen werden wir abwägen.
- \* Grundsätzlich ist ein richtiger/orgineller/genialer Lösungsweg wichtiger als das Endergebnis.
  - Im Ergebnis falsche Aufgaben können mit 100% bewertet werden.
  - Im Ergebnis richtige Aufgaben können mit 0% bewertet werden, wenn Lösungsweg nicht vorhanden, falsch oder nicht nachvollziehbar ist.
- \* Ausnahme: “Rechenaufgaben” (Einsetzen von Zahlen) *müssen* richtig sein.

# Literatur

**Skript zur Vorlesung reicht nicht!**

**Demtröder 2 und 3**

sind Referenz laut S. Jochim.

**Gerthsen Physik**

Aus dem Uni-Netz kostenlos als E-Book von Springer herunterzuladen  
Sehr gutes Nachschlagewerk für Schwingungen, Wellen, Optik  
(und Mechanik, E-Dynamik, ...) weniger für Quantenmechanik

*21. Ausgabe ist die letzte, die alle Übungen mit Lösungen enthält (legendär!)*  
*24. (neueste) Ausgabe wurde stark verändert, weniger Aufgaben etc.*

# Ablauf

- Mittwochs:** Übungszettel auf Elearning.
- ... eine Woche Zeit:** Bearbeiten in Gruppen bis 3 ist empfohlen.
- Donnerstags:** Abgabe neues Blatt in der Übung.  
Rückgabe korrigiertes vorheriges Blatt.
- Vorrechnen:** Hoffentlich genug Freiwillige ...

## Laborführung:



### **MPI für Kernphysik** **– Abteilung gespeicherte und gekühlte Ionen**

#### **Schwerionen-Speicherring CSR**

Atom-, Molekül- und Astrophysik  
mit geladenen Teilchen

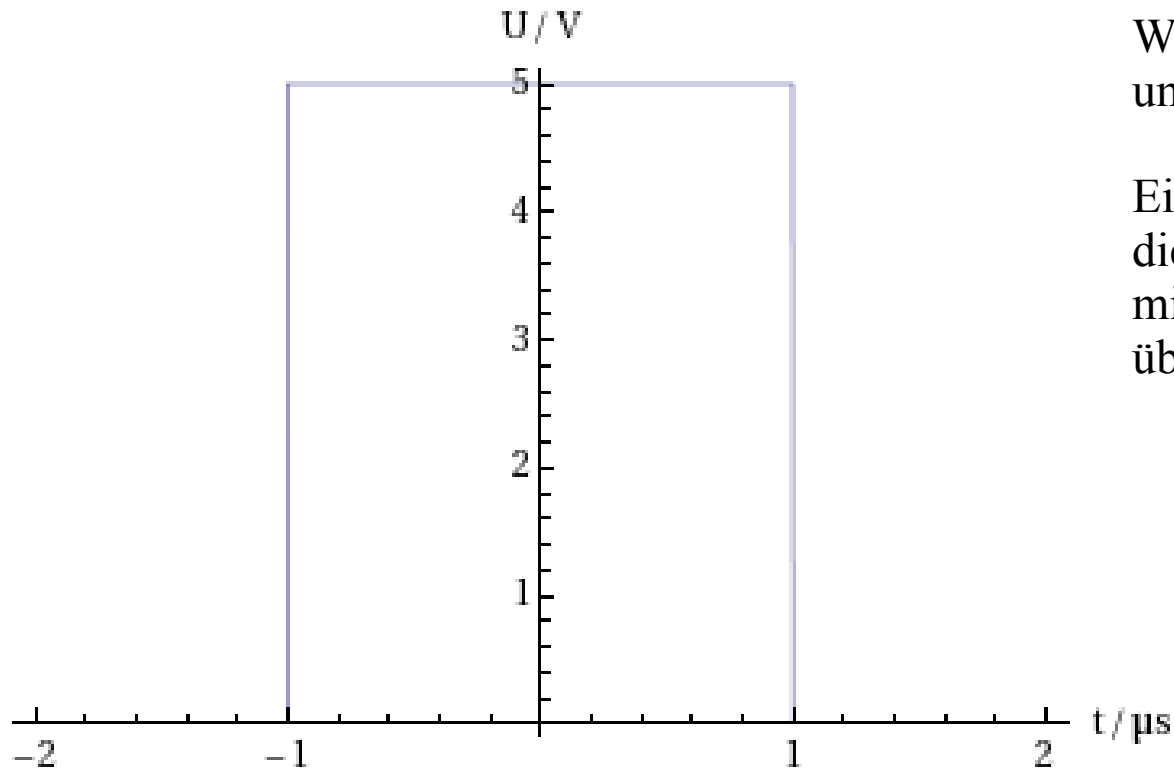
*Wann? Vor Weihnachten?*





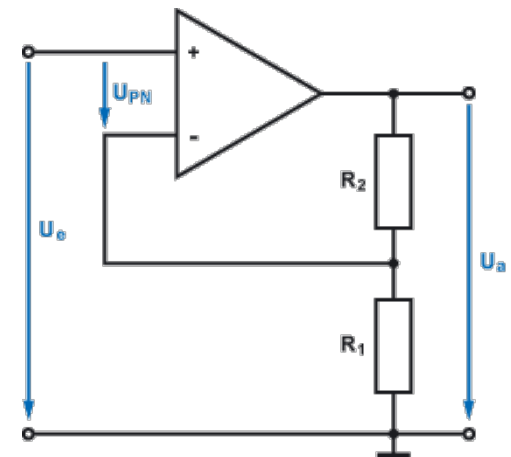
# Fouriertransformation – Rechteckpuls

z.B. TTL Puls:  $5 \text{ V} \cdot 2 \mu\text{s}$   
eine Standard-Signalform der Digitalelektronik



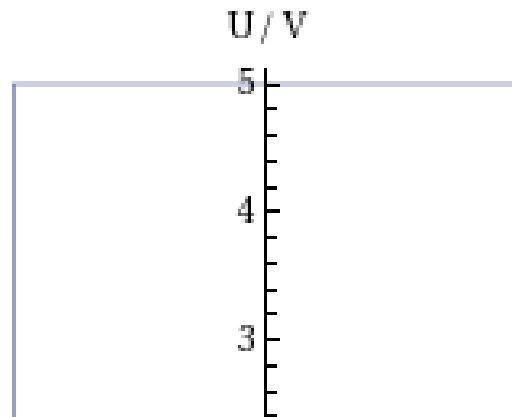
Wir wollen diesen Puls  
um den **Faktor 10 verstärken**.

Ein **Verstärker** ist eine Schaltung,  
die auf ein bestimmtes Eingangssignal  
mit einem um den Verstärkungsfaktor  
überhöhten Ausgangssignal reagiert.



# Fouriertransformation – Rechteckpuls

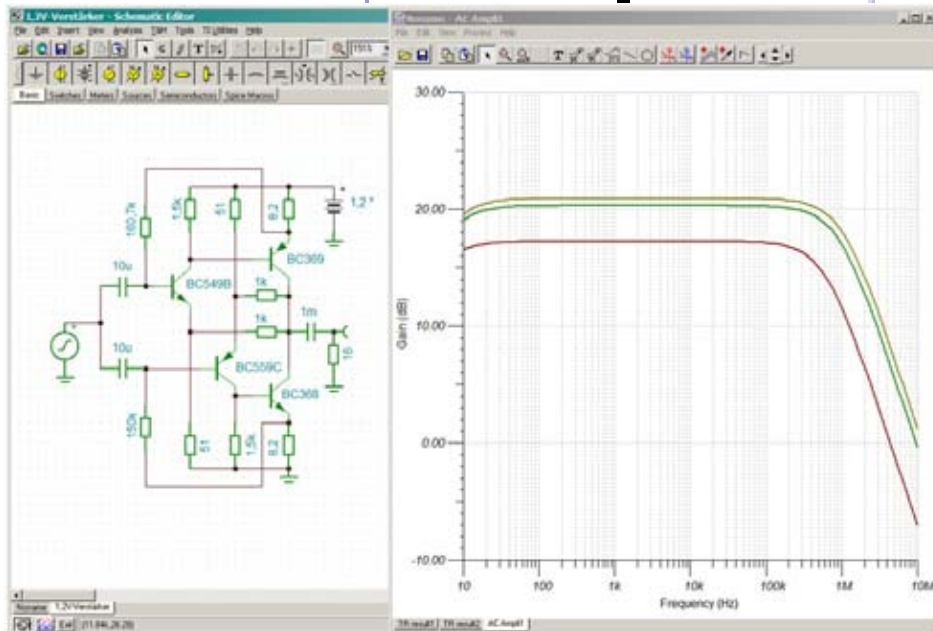
z.B. TTL Puls:  $5\text{ V} \cdot 2\ \mu\text{s}$   
eine Standard-Signalform der Digitalelektronik



Wir wollen diesen Puls  
um den **Faktor 10 verstärken**.

Ein **Verstärker** ist eine Schaltung,  
die auf ein bestimmtes Eingangssignal  
mit einem um den Verstärkungsfaktor  
überhöhten Ausgangssignal reagiert.

Der Verstärker enthält selbst  $R$ ,  $L$  und  
 $C$  Glieder. Er hat **interne Schwingkreise**,  
die eigene Resonanzfrequenzen haben.



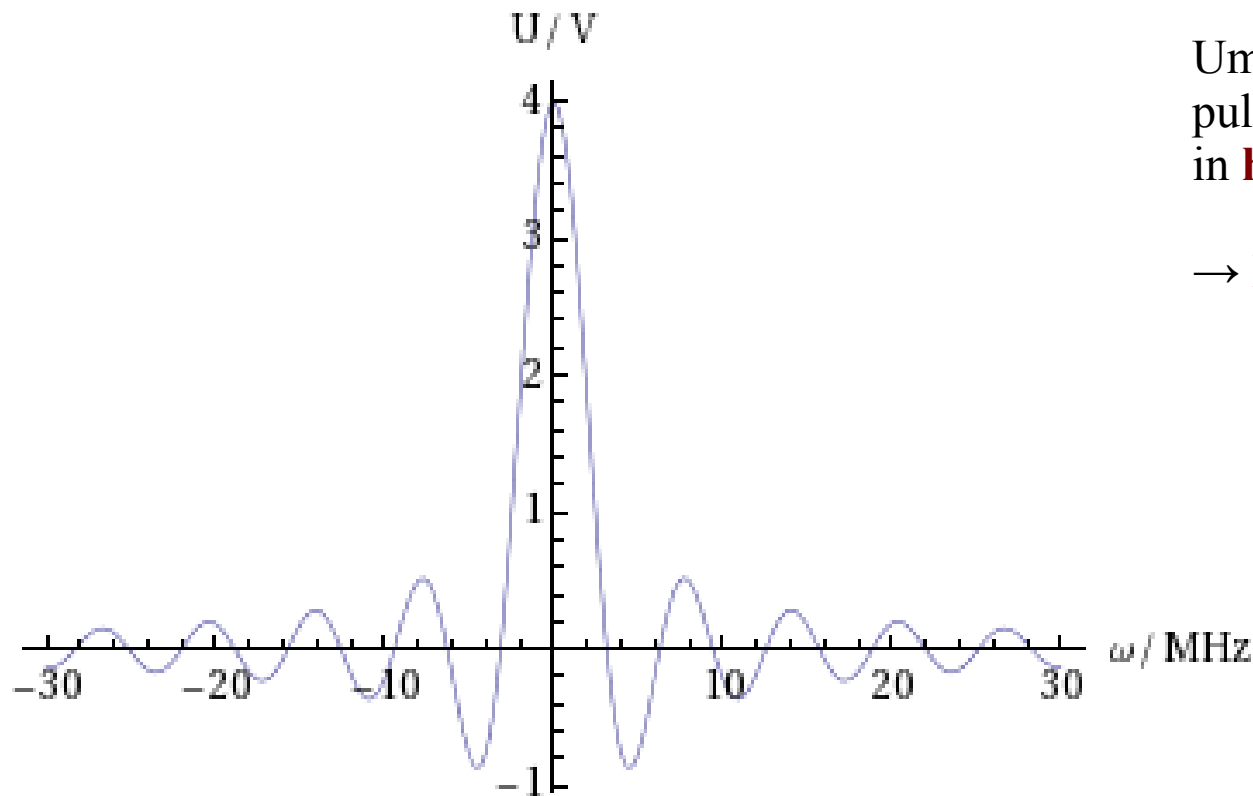
**Der Verstärkungsfaktor hängt  
daher von der Frequenz des  
Eingangssignals ab.**  
→ **“Frequenzgang”**

Insbesondere können Signale, die höher-  
frequent sind als die **“Grenzfrequenz”**  
den Verstärker nicht passieren!



# Fouriertransformation – Rechteckpuls

z.B. TTL Puls:  $5 \text{ V} \cdot 2 \mu\text{s}$   
eine Standard-Signalform der Digitalelektronik



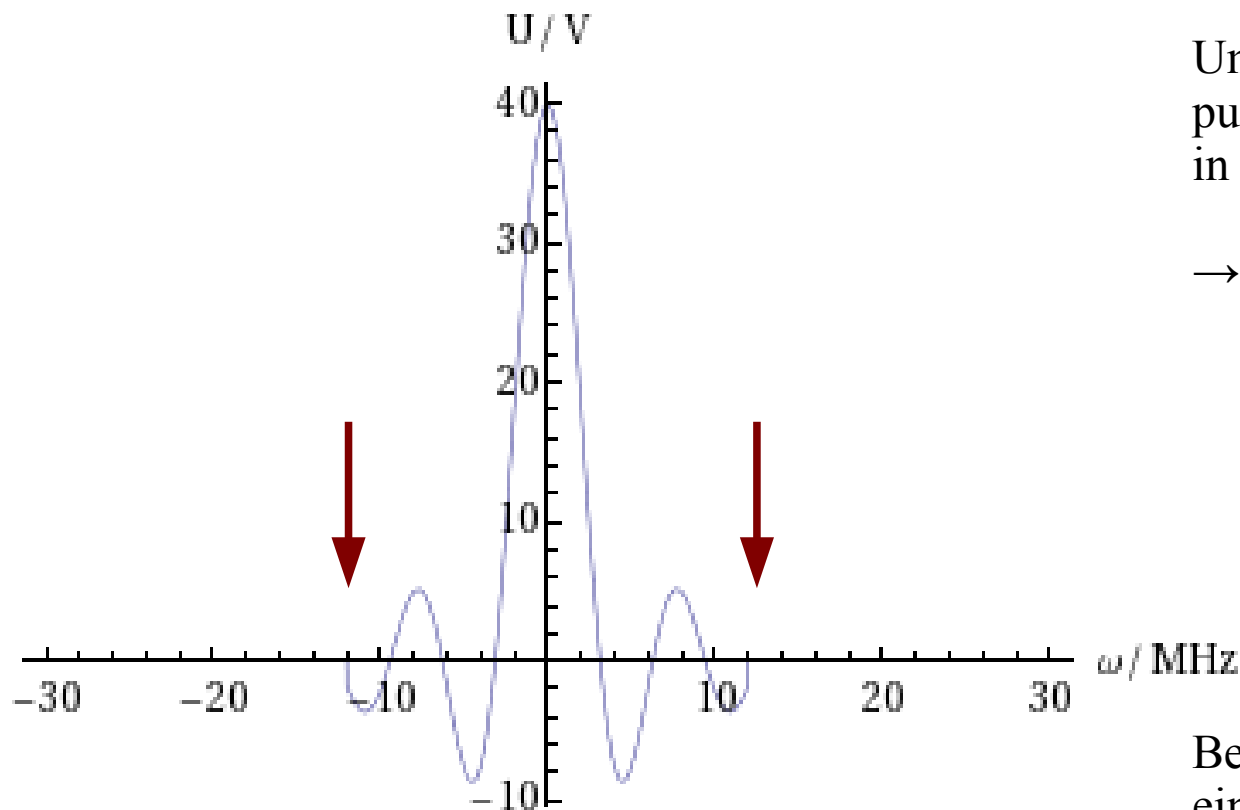
Um zu simulieren, wie unser Rechteckpuls verstärkt wird, müssen wir ihn in **harmonische Schwingungen** zerlegen.

→ **Fouriertransformation**

$$f(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

# Fouriertransformation – Rechteckpuls

z.B. TTL Puls:  $5 \text{ V} \cdot 2 \mu\text{s}$   
eine Standard-Signalform der Digitalelektronik



Um zu simulieren, wie unser Rechteckpuls verstärkt wird, müssen wir ihn in **harmonische Schwingungen** zerlegen.

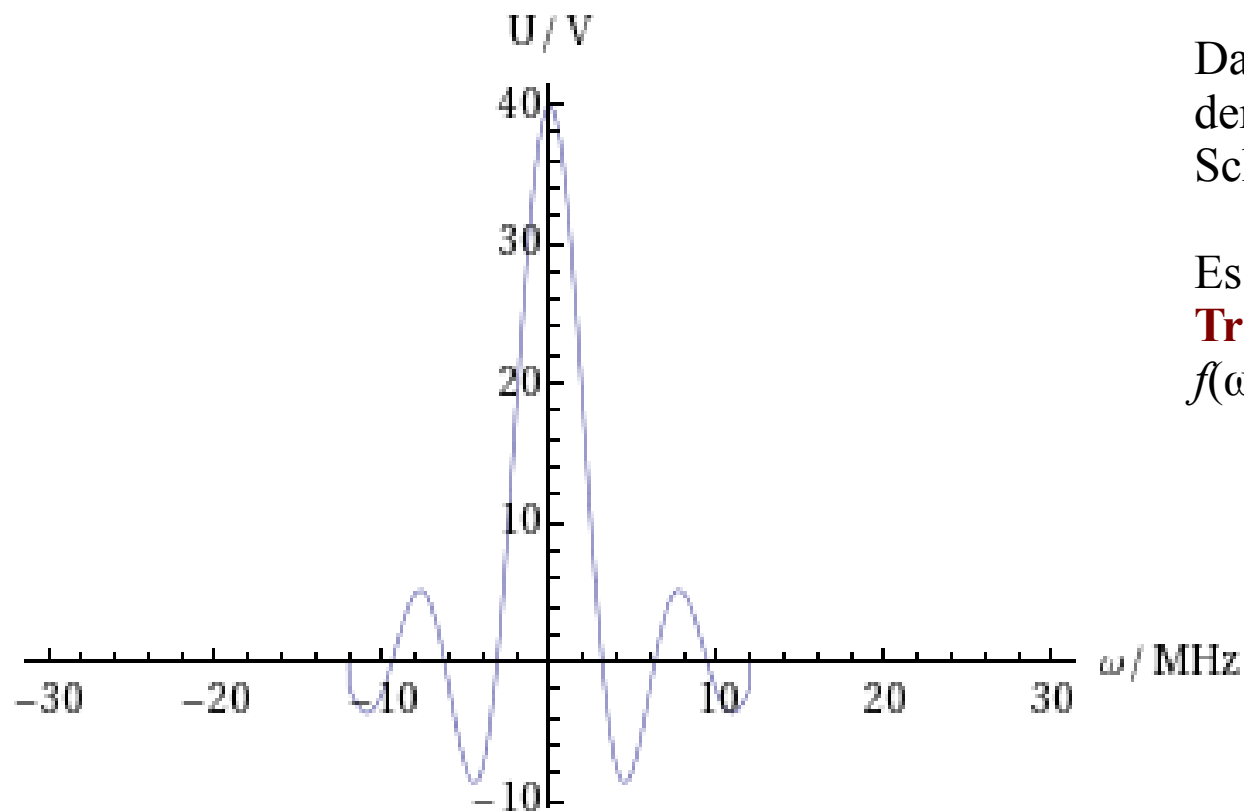
→ **Fouriertransformation**

$$f(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

Betrachten wir der Einfachheit halber einen Verstärker mit **kastenartigem Frequenzgang**  $g(\omega)$ :

Ab der **Grenzfrequenz** wird das Spektrum  $f(\omega)$  unseres Signals abgeschnitten.

# Fouriertransformation – Rechteckpuls

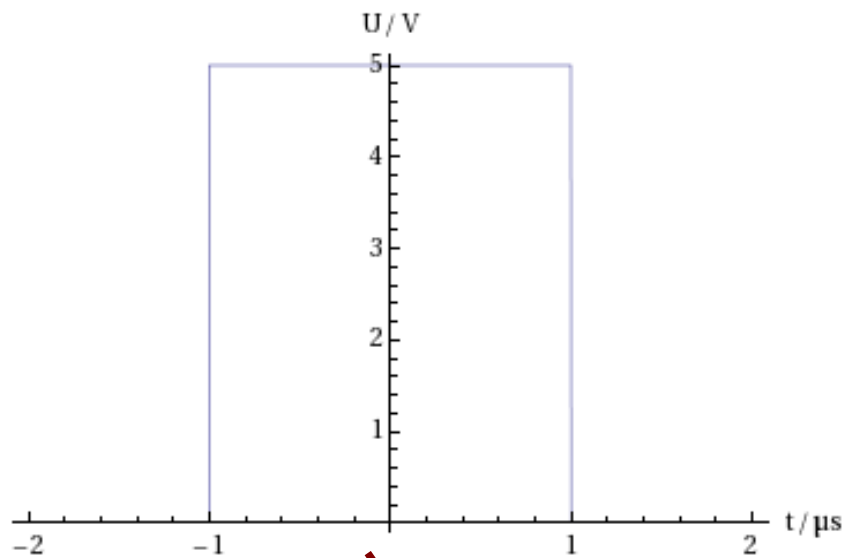


Das Ausgangssignal ist die **Superposition** der verstärkten harmonischen Schwingungen.

Es entsteht also durch **Fourier-Rück-Transformation** aus dem beschnittenen  $f(\omega)$ :

$$f_v(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) g(\omega) e^{i\omega t} dt$$

# Fouriertransformation – Rechteckpuls



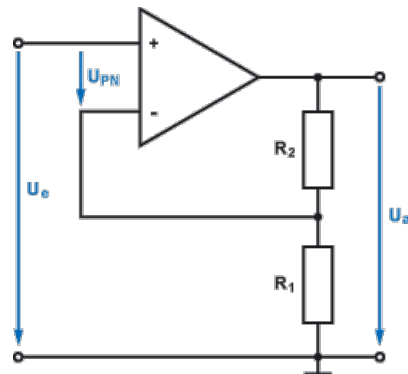
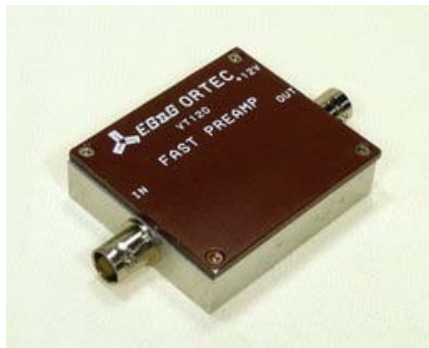
Die Grenzfrequenz bestimmt in diesem (einfachen) Fall die **“Bandbreite”** des Verstärkers.

$$f_v(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) g(\omega) e^{i\omega t} dt$$

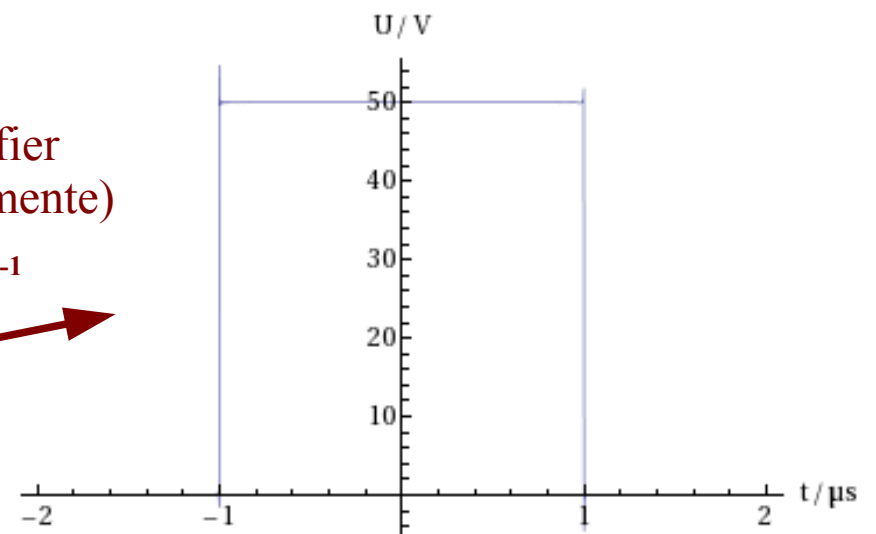
FT

**10 GHz**

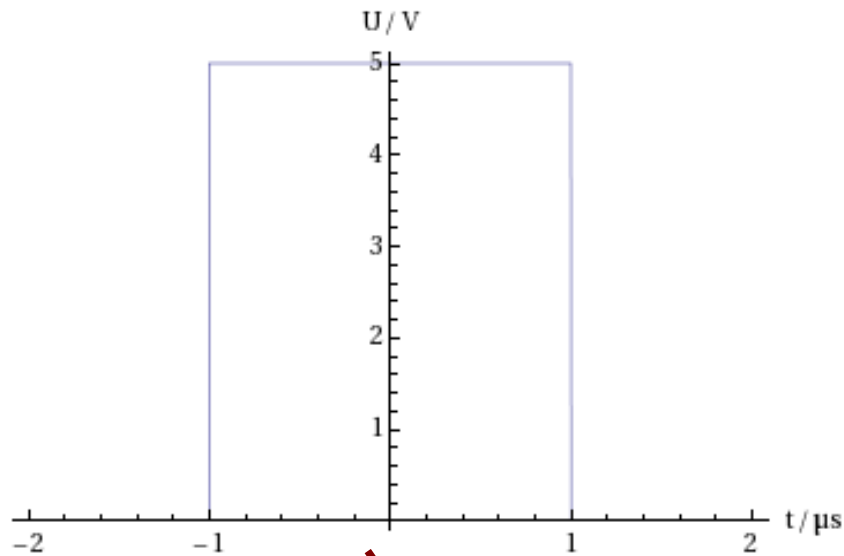
(z.B. Fast-Front-End Amplifier für sub-ns ToF-Experimente)



FT<sup>-1</sup>



# Fouriertransformation – Rechteckpuls

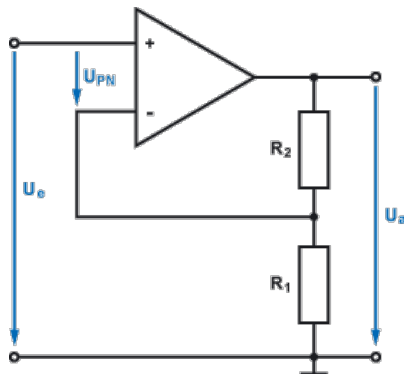


Die Grenzfrequenz bestimmt in diesem (einfachen) Fall die **“Bandbreite”** des Verstärkers.

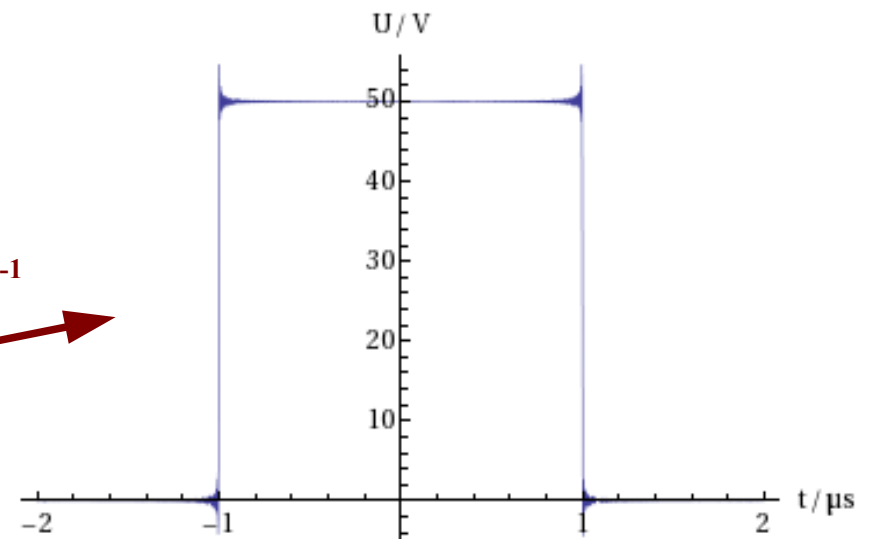
$$f_v(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) g(\omega) e^{i\omega t} dt$$

FT

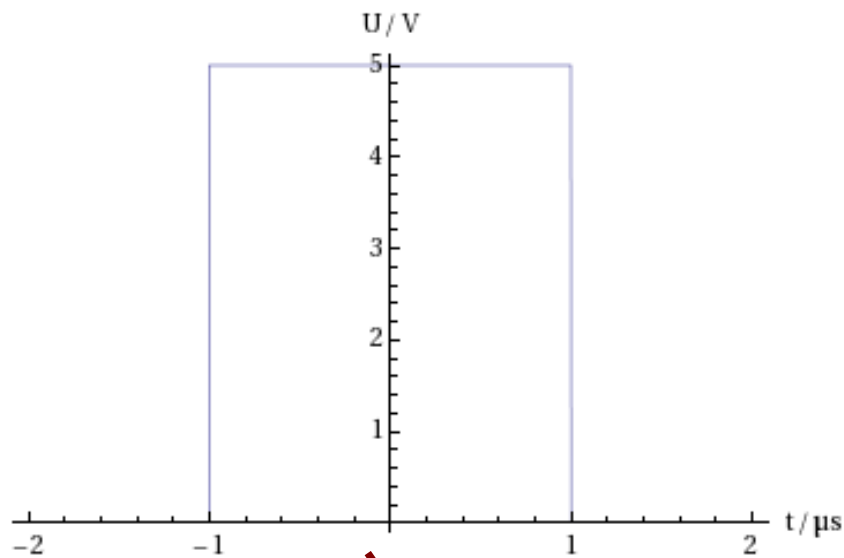
**1 GHz**  
(Sehr gutes Oszilloskop  
10000-€-Klasse)



FT<sup>-1</sup>



# Fouriertransformation – Rechteckpuls

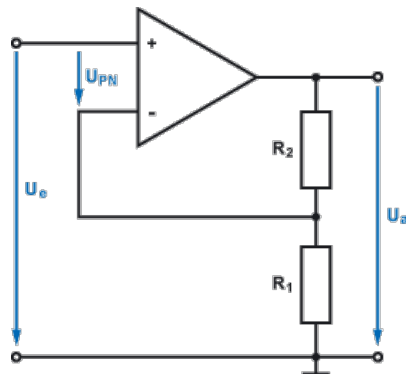


Die Grenzfrequenz bestimmt in diesem (einfachen) Fall die **“Bandbreite”** des Verstärkers.

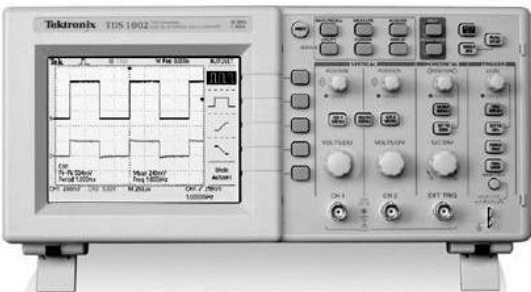
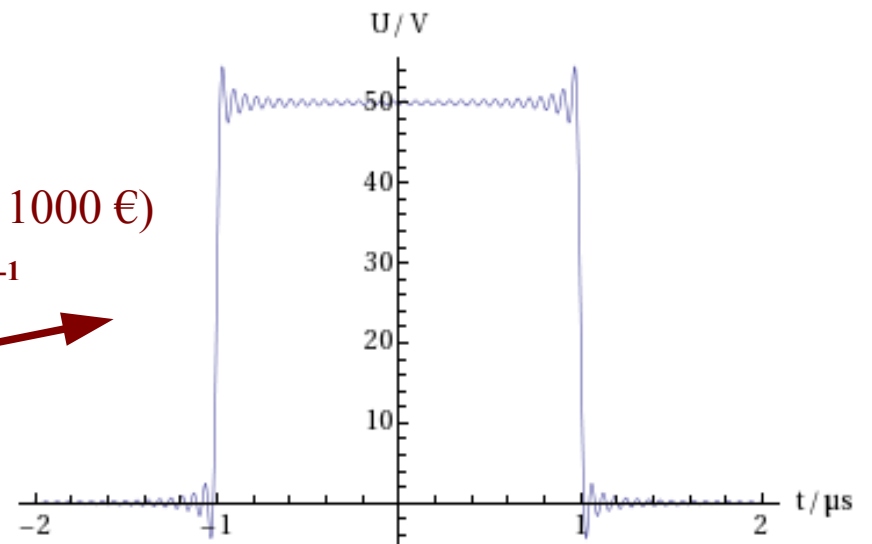
$$f_v(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) g(\omega) e^{i\omega t} dt$$

**FT**

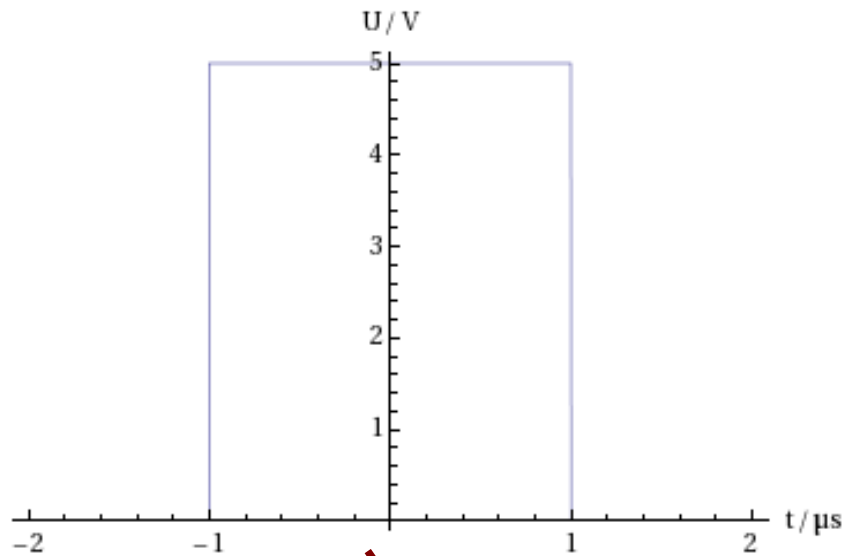
**100 MHz**  
(Normales Oszilloskop  
Modell “Praktikum”, 1000 €)



**FT<sup>-1</sup>**



# Fouriertransformation – Rechteckpuls



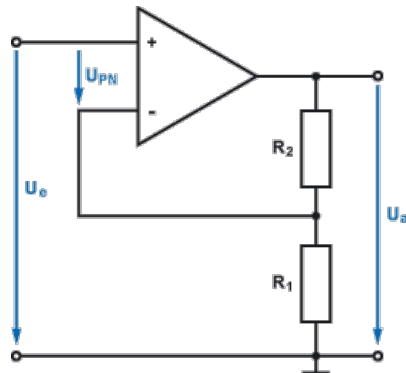
Die Grenzfrequenz bestimmt in diesem (einfachen) Fall die **“Bandbreite”** des Verstärkers.

$$f_v(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) g(\omega) e^{i\omega t} dt$$

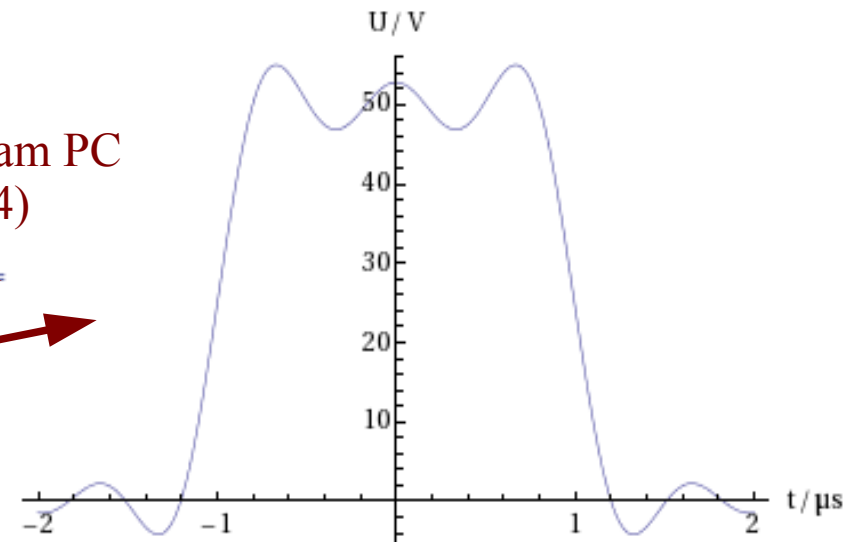
FT



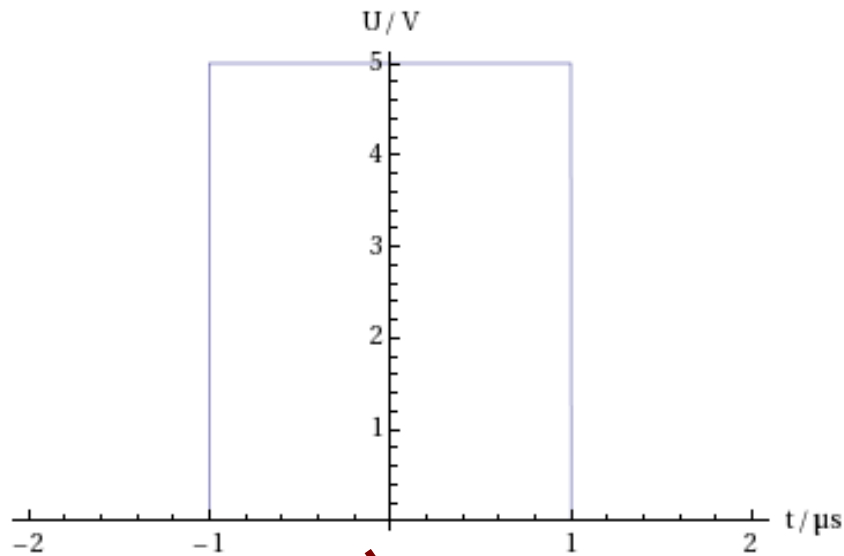
**10 MHz**  
(ältere Digitalschnittstellen am PC  
RS232, IEEE 1284)



FT<sup>-1</sup>



# Fouriertransformation – Rechteckpuls

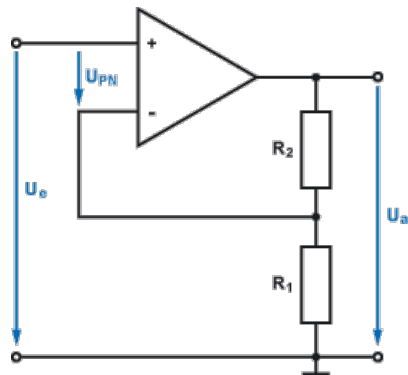


Die Grenzfrequenz bestimmt in diesem (einfachen) Fall die **“Bandbreite”** des Verstärkers.

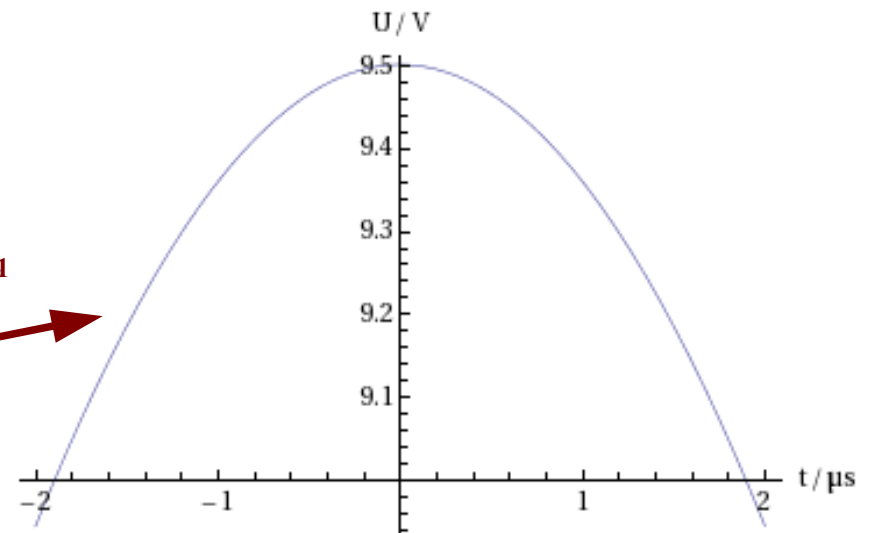
$$f_V(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) g(\omega) e^{i\omega t} dt$$

**FT**

**300 kHz**  
(HiFi Verstärker)



**FT<sup>-1</sup>**





# Fouriertransformation

## Andere Anwendung: JPEG-Kompressionsverfahren

Das (i.A. unperiodische) Bild wird mittels Fouriertransformation in ein (Orts-) Spektrum zerlegt.

Dann werden – je nach **Qualitätseinstellungen** – nur die “wichtigen” Frequenzen abgespeichert.

Dadurch wird wesentlich weniger Speicherplatz benötigt, als wenn der Grauwert jedes Pixels gespeichert wird.



(C)Disney

# Fouriertransformation

Andere Anwendung:  
JPEG-Kompressionsverfahren

Beim Laden des JPG wird die **Ortsdarstellung des Bilds** aus dem (reduzierten) Frequenzspektrum **per  $FT^{-1}$  rekonstruiert**.

Wie beim Rechteckpuls, wird aber ein **breites Frequenzspektrum** benötigt, um **scharfe Konturen** darzustellen.

Je stärker die Kompression, desto schlechter werden die scharfen Ränder wiedergegeben. (**“JPEG-Artefakte”**)



# Fouriertransformation

## Andere Anwendung: JPEG-Kompressionsverfahren

Beim Laden des JPG wird die **Ortsdarstellung des Bilds** aus dem (reduzierten) Frequenzspektrum **per  $FT^{-1}$  rekonstruiert**.

Wie beim Rechteckpuls, wird aber ein **breites Frequenzspektrum** benötigt, um **scharfe Konturen** darzustellen.

Je stärker die Kompression, desto schlechter werden die scharfen Ränder wiedergegeben. (**“JPEG-Artefakte”**)



# Fouriertransformation

Andere Anwendung:  
JPEG-Kompressionsverfahren

Beim Laden des JPG wird die **Ortsdarstellung des Bilds** aus dem (reduzierten) Frequenzspektrum **per  $FT^{-1}$  rekonstruiert**.

Wie beim Rechteckpuls, wird aber ein **breites Frequenzspektrum** benötigt, um **scharfe Konturen** darzustellen.

Je stärker die Kompression, desto schlechter werden die scharfen Ränder wiedergegeben. (**“JPEG-Artefakte”**)



# Fouriertransformation

## Andere Anwendung: JPEG-Kompressionsverfahren

Beim Laden des JPG wird die **Ortsdarstellung des Bilds** aus dem (reduzierten) Frequenzspektrum **per  $FT^{-1}$  rekonstruiert**.

Wie beim Rechteckpuls, wird aber ein **breites Frequenzspektrum** benötigt, um **scharfe Konturen** darzustellen.

Je stärker die Kompression, desto schlechter werden die scharfen Ränder wiedergegeben. (**“JPEG-Artefakte”**)



# Fouriertransformation

## Andere Anwendung: JPEG-Kompressionsverfahren

Beim Laden des JPG wird die **Ortsdarstellung des Bilds** aus dem (reduzierten) Frequenzspektrum **per  $FT^{-1}$  rekonstruiert**.

Wie beim Rechteckpuls, wird aber ein **breites Frequenzspektrum** benötigt, um **scharfe Konturen** darzustellen.

Je stärker die Kompression, desto schlechter werden die scharfen Ränder wiedergegeben. (**“JPEG-Artefakte”**)

