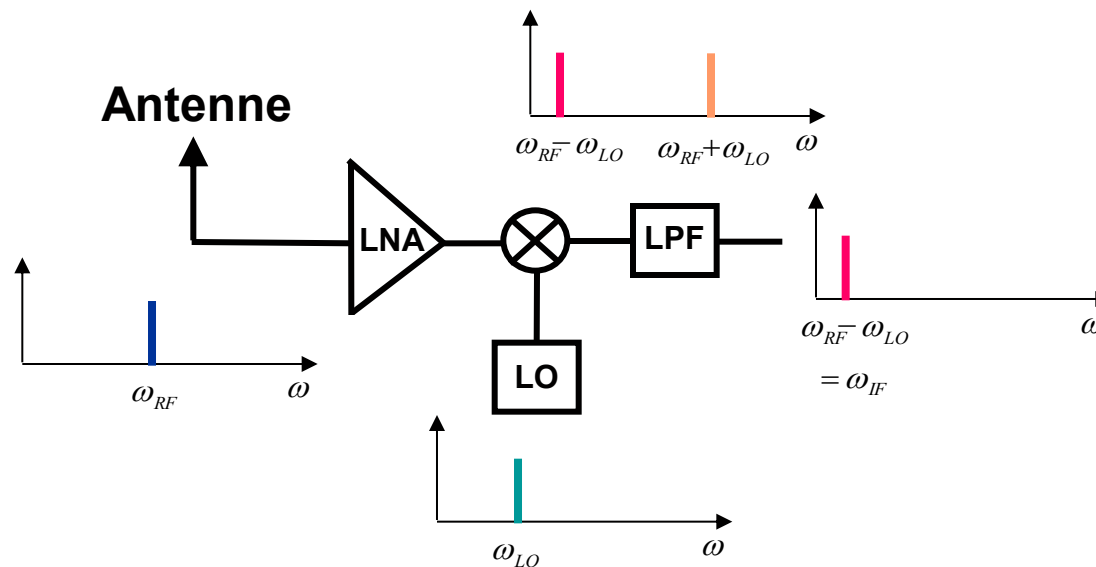


# Überblick über Empfängerschaltungen



Roland Pfeiffer  
6. Vorlesung

# Auswahl einer Empfängerschaltung

Ihr Chef stellt Ihnen die Aufgabe, eine optimale Empfängerschaltung für ein „Single-Chip-Handy“ auszusuchen.

## Ihre Aufgaben:

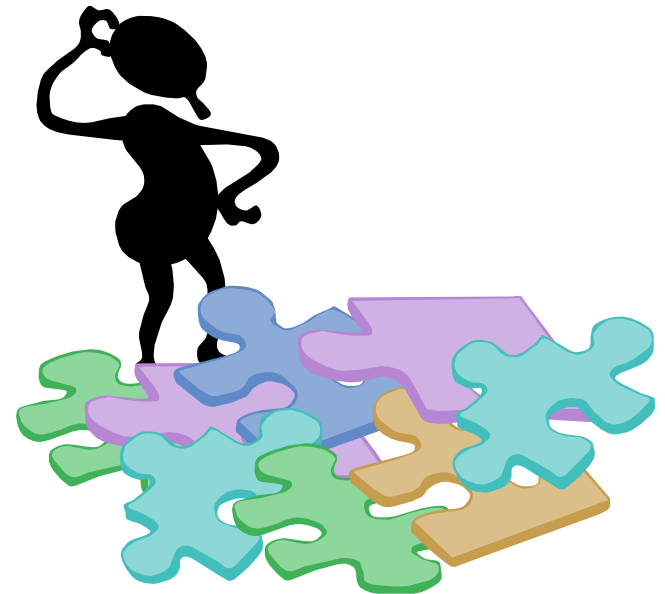
-Problemstellung

-verschiedene Empfängerschaltungen:

-Vorteile, Nachteile

-Integrierbarkeit

⇒ Auswahl einer Empfängerschaltung

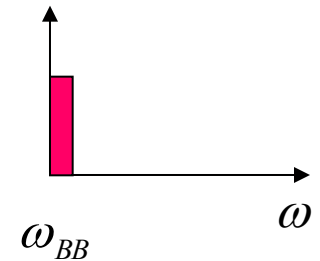
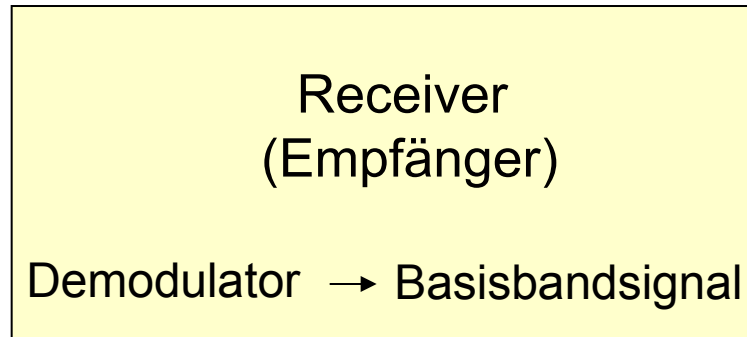
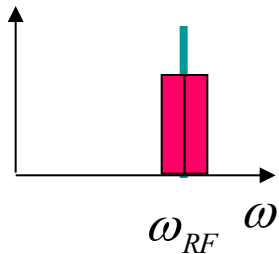


# Gliederung

- Problemstellung
- Empfängerschaltungen(die wichtigsten!)
  - (Super-)Heterodyne-Empfänger
  - Homodyne-Empfänger
  - Tuned-Radio-Frequency-Empfänger, Neutrodyne-Empfänger
  - Reflex-Schaltungs-Empfänger
  - (Super-)Regenerativ-Empfänger
- Zusammenfassung
- Literaturhinweise

# Problemstellung

Aufgabe eines („Handy“-)Empfängers:



Eingang:  
modulierten  
Hochfrequenz-Signal  
(engl. RadioFrequency)

Ausgang:  
Signal in Basisband  
(engl. BaseBand)

# (Super-)Heterodyne-Empfänger

-klassische und am weitest verbreitete Empfängerschaltung

-Name: hetero=verschieden, dyne=mischen

-Prinzip:

Mischung zweier *verschiedener* Sinus-Frequenzen (einmal RF-Eingangssignal, einmal vom lokalem Oszillator intern erzeugte

LO-Frequenz (engl. LocalOscillator)  $\Rightarrow$

Summe und Differenz dieser Frequenzen am Ausgang

Summe durch ein Tiefpaßfilter ausgeblendet

Differenz Zwischenfrequenz (englisch IntermediateFrequency IF)

$$\begin{aligned} (A_{RF} \cdot \cos \omega_{RF} t) \cdot (A_{LO} \cdot \cos \omega_{LO} t) &= \text{wegen Tiefpaß!} \\ &= \frac{A_{RF} \cdot A_{LO}}{2} \cdot [\cos(\omega_{RF} - \omega_{LO}) t \\ &\quad \quad \quad \omega_{IF} \end{aligned}$$

# (Super-)Heterodyne-Empfänger

$$\begin{aligned} (A_{RF} \cdot \cos \omega_{RF} t) \cdot (A_{LO} \cdot \cos \omega_{LO} t) &= \text{wegen Tiefpaß!} \\ &= \frac{A_{RF} \cdot A_{LO}}{2} \cdot [\cos(\omega_{RF} - \omega_{LO}) t \cdot \\ &= \frac{A_{RF} \cdot A_{LO}}{2} \cdot \cos \omega_{IF} t \end{aligned}$$

Wenn  $A_{LO} \cdot \cos \omega_{LO} = \text{konstant}$  und  $A_{RF} \cdot \cos \omega_{RF} = \text{moduliert}$ :  
Modulation auf die Zwischenfrequenz übertragen!



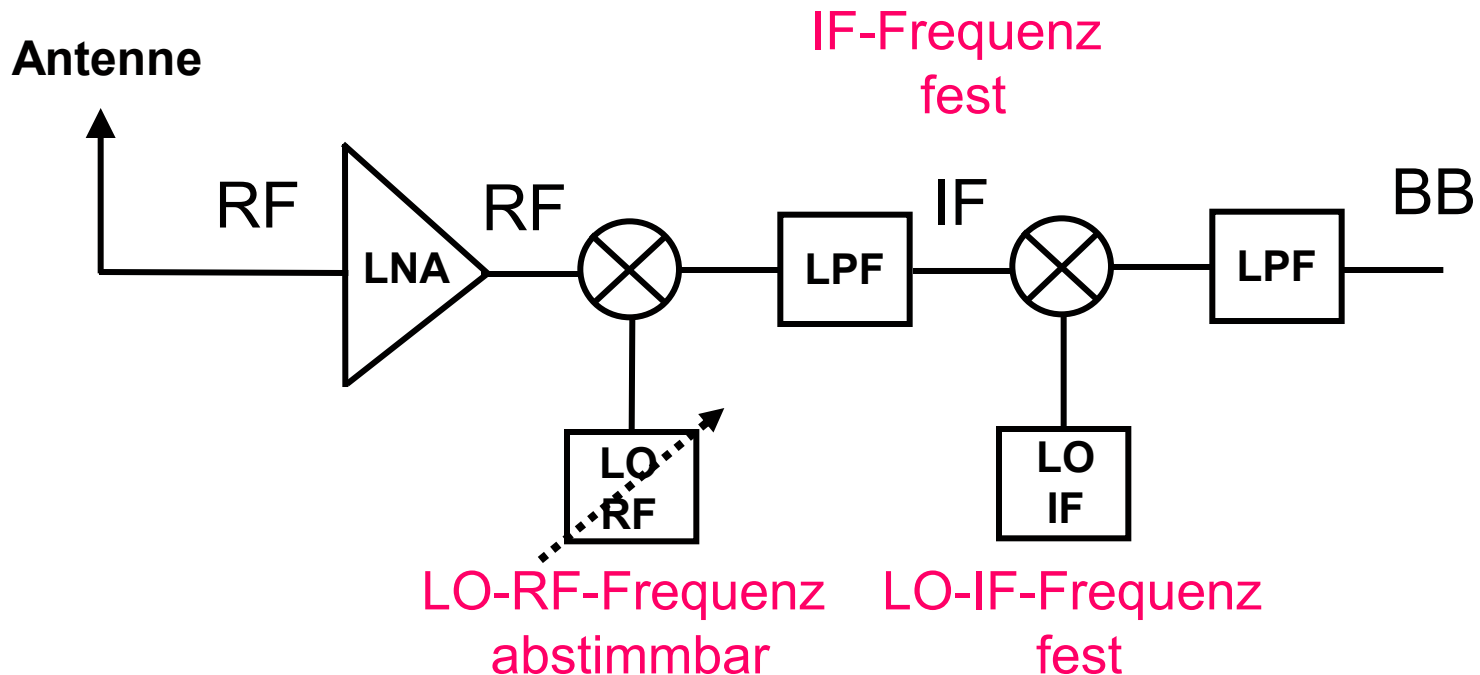
# (Super-)Heterodyne-Empfänger

Übergang Zwischenfrequenz-Basisband: weitere Frequenzmischung

Unterschied:

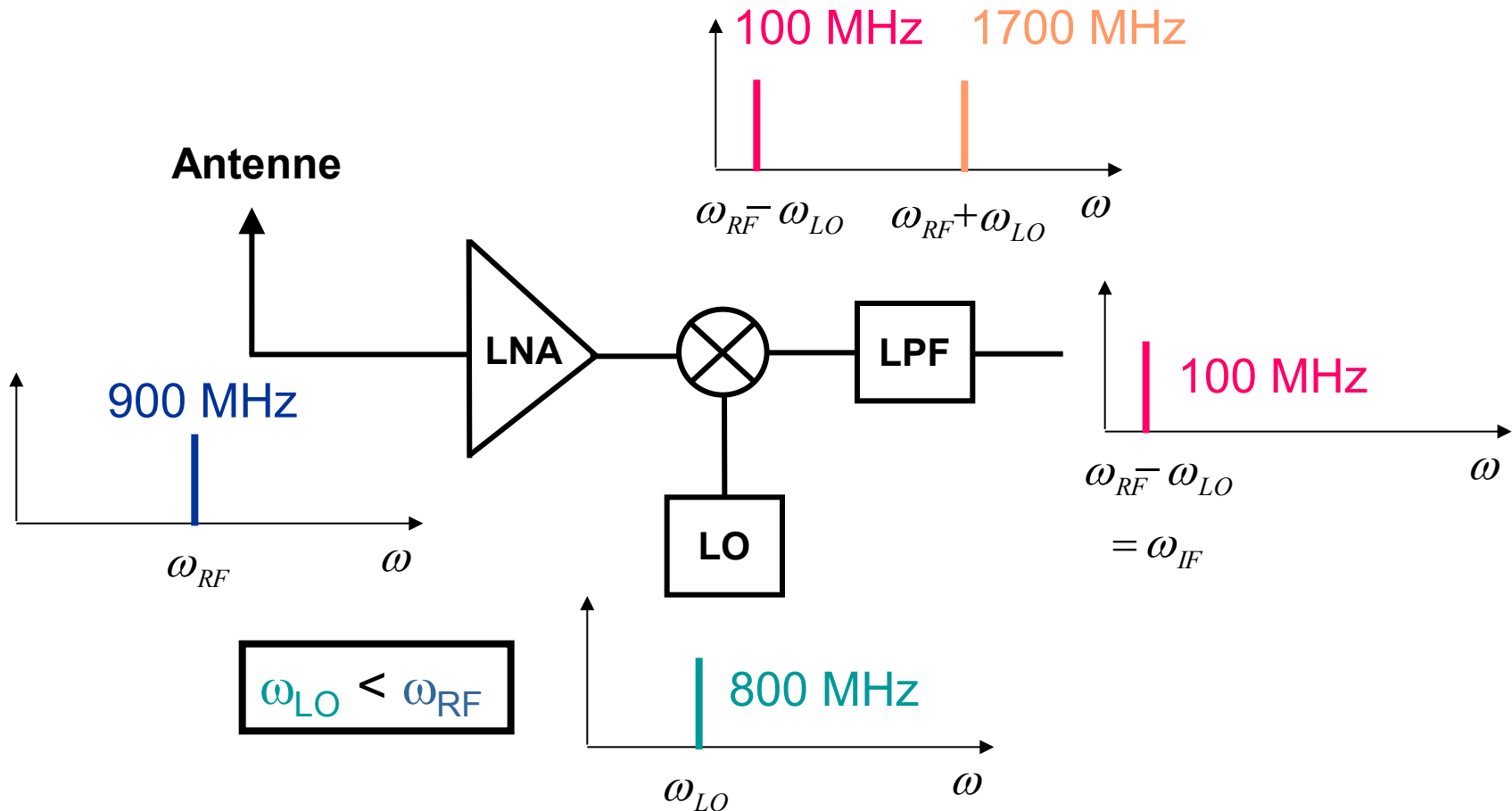
ersten Frequenzmischung (RF-IF): abstimmbar zur Kanalwahl

zweiten Frequenzmischung (IF-BB): feste Frequenz



# (Super-)Heterodyne-Empfänger

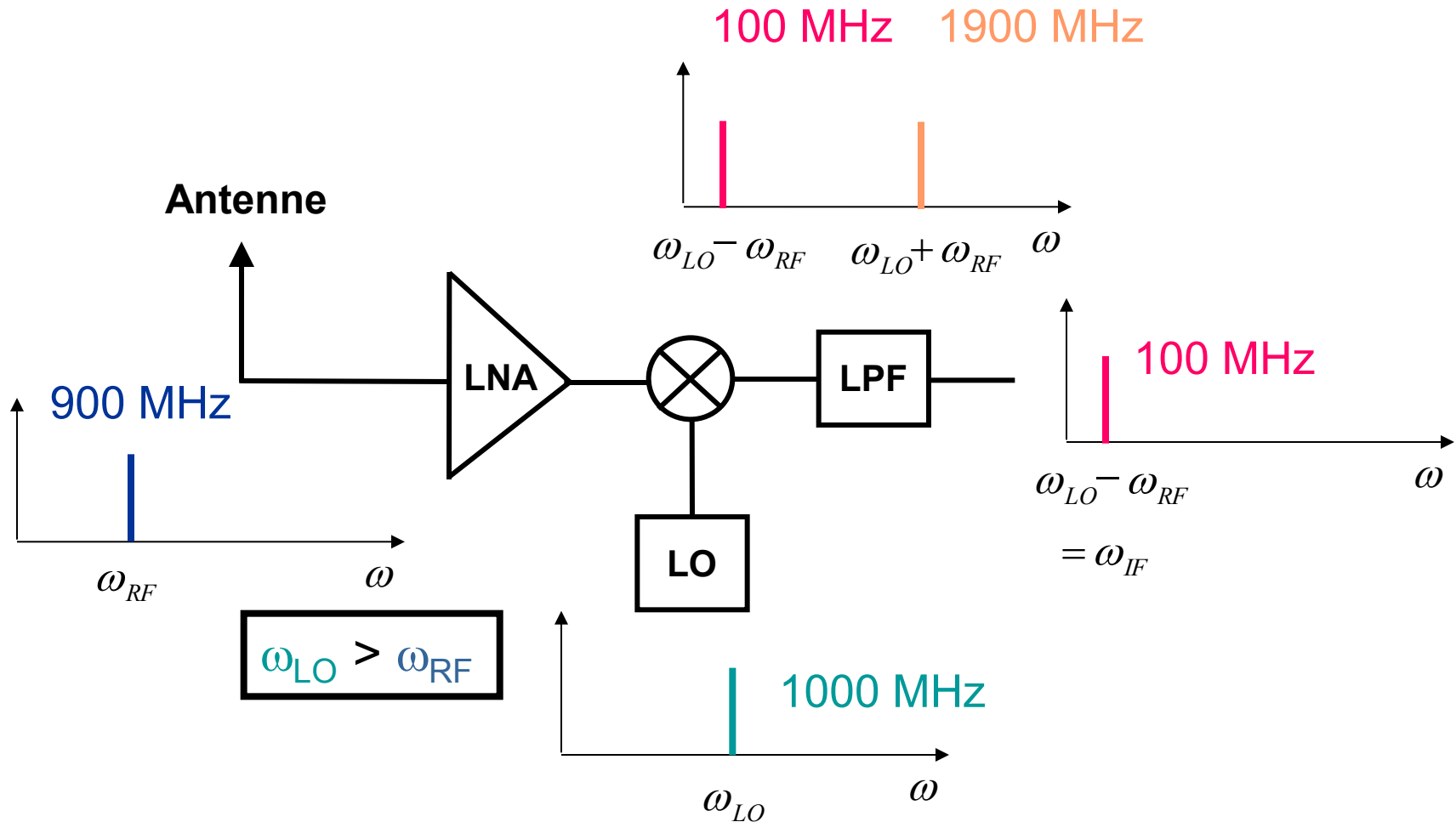
Prinzipschaltung „infradyne“ ( $\omega_{LO} < \omega_{RF}$ ) Empfänger  
auch „low-side injection“ Empfänger:





# (Super-)Heterodyne-Empfänger

Prinzipschaltung „supradyne“ ( $\omega_{LO} > \omega_{RF}$ ) Empfänger:  
auch „high-side injection“ Empfänger:



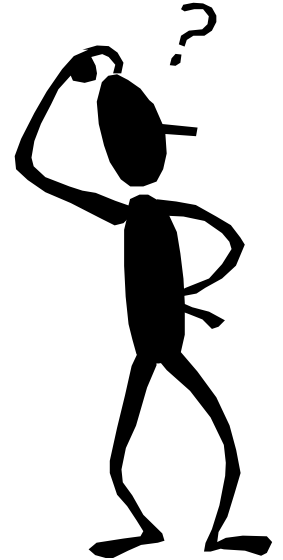
# (Super-)Heterodyne-Empfänger

Wahl der Zwischenfrequenz  $\omega_{IF}$  („low-IF“, „high-IF“) ?

Problem „Image Frequenz“  $\omega_{IM}$  :

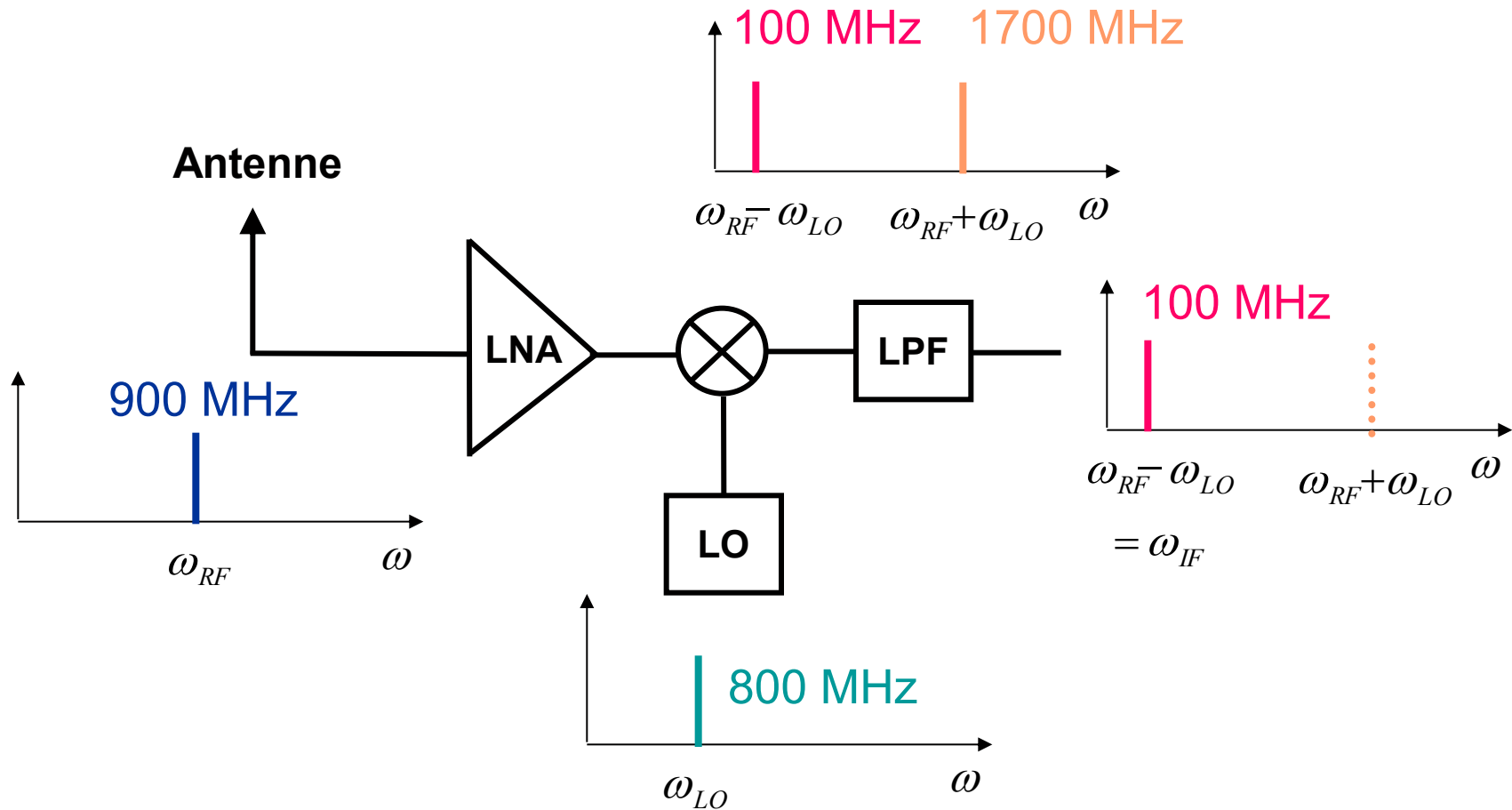
Überlagerung von „infradyne“ und „supradyne“ Empfang liefert diesselbe Zwischenfrequenz!!

Darstellung am Beispiel des „infradyne“ Empfänger



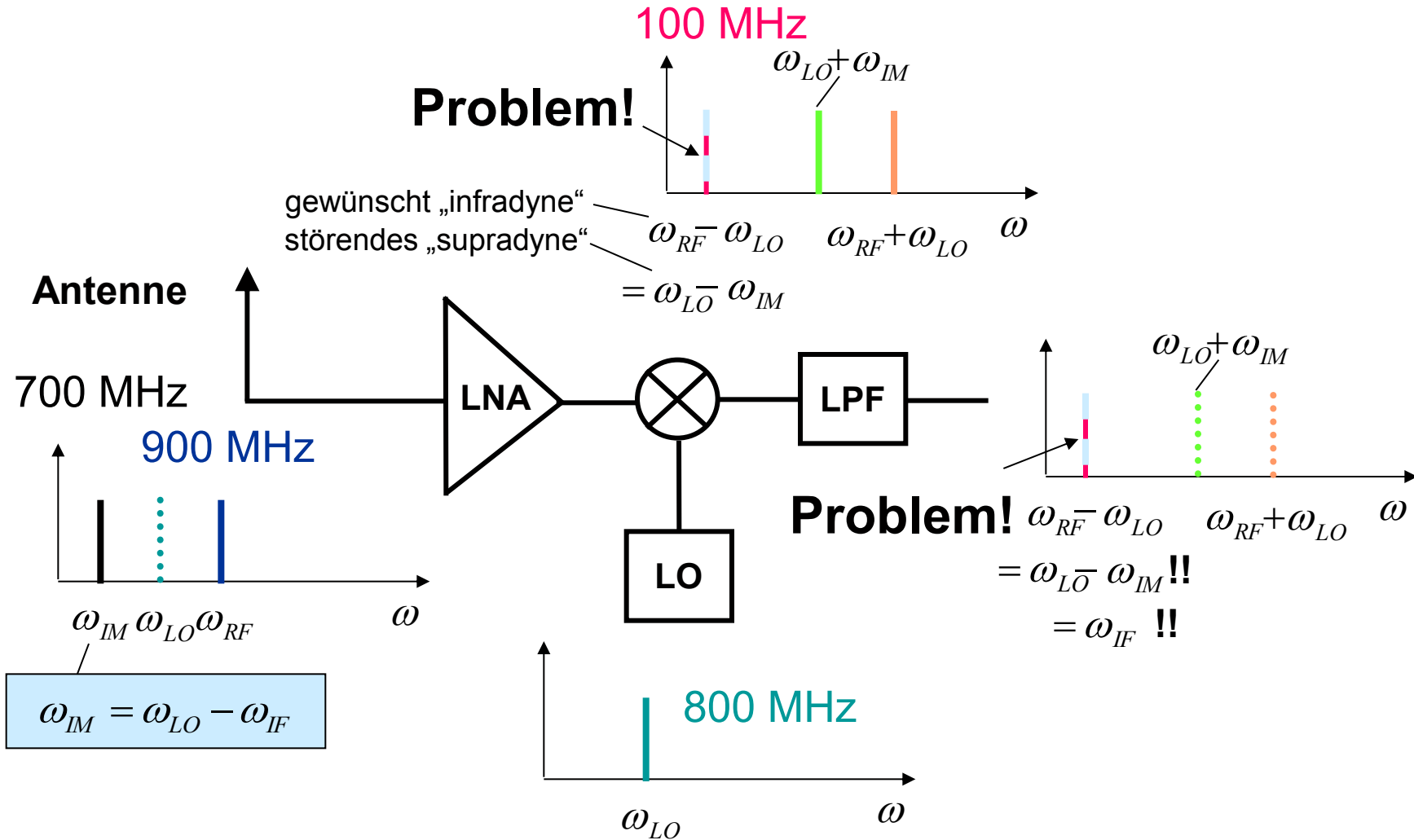
# (Super-)Heterodyne-Empfänger

Wunsch für infradyne Empfänger:



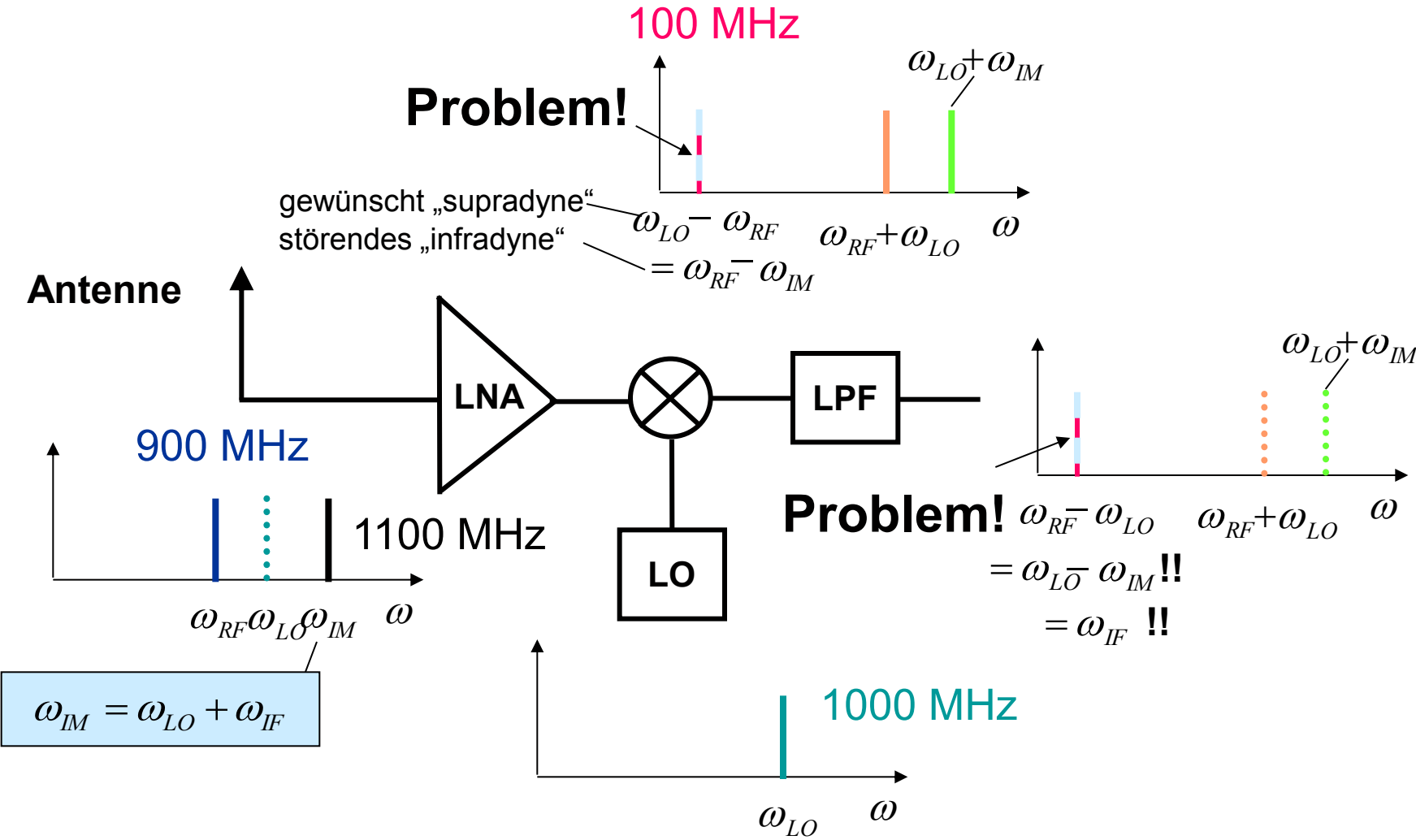
# (Super-)Heterodyne-Empfänger

Realität für infradyne Empfänger:



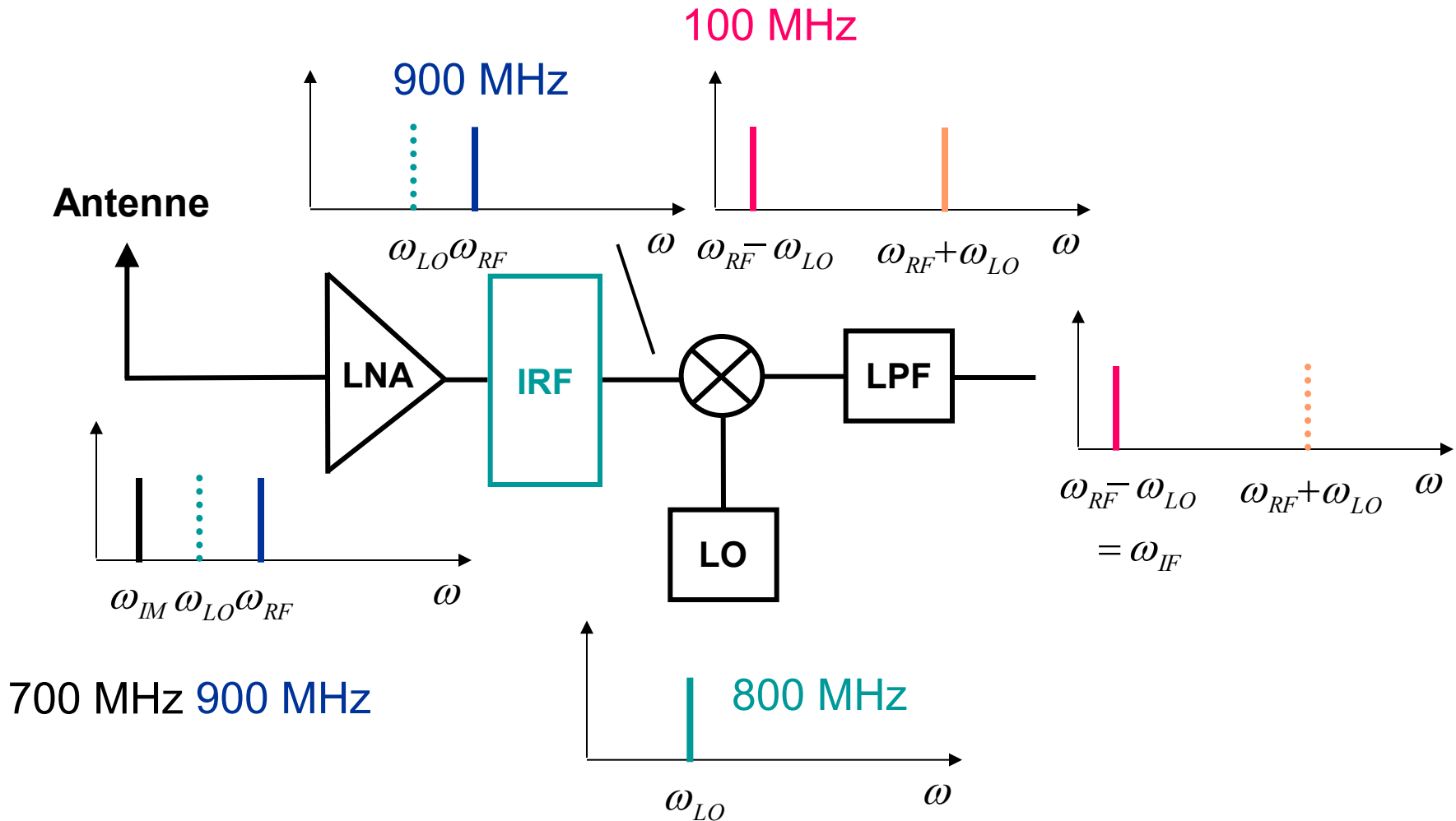
# (Super-)Heterodyne-Empfänger

Realität für supradyne Empfänger:



# (Super-)Heterodyne-Empfänger

Lösung: Einbau eines „Image Reject Filters“ (700 MHz bei infradyne Empfang)



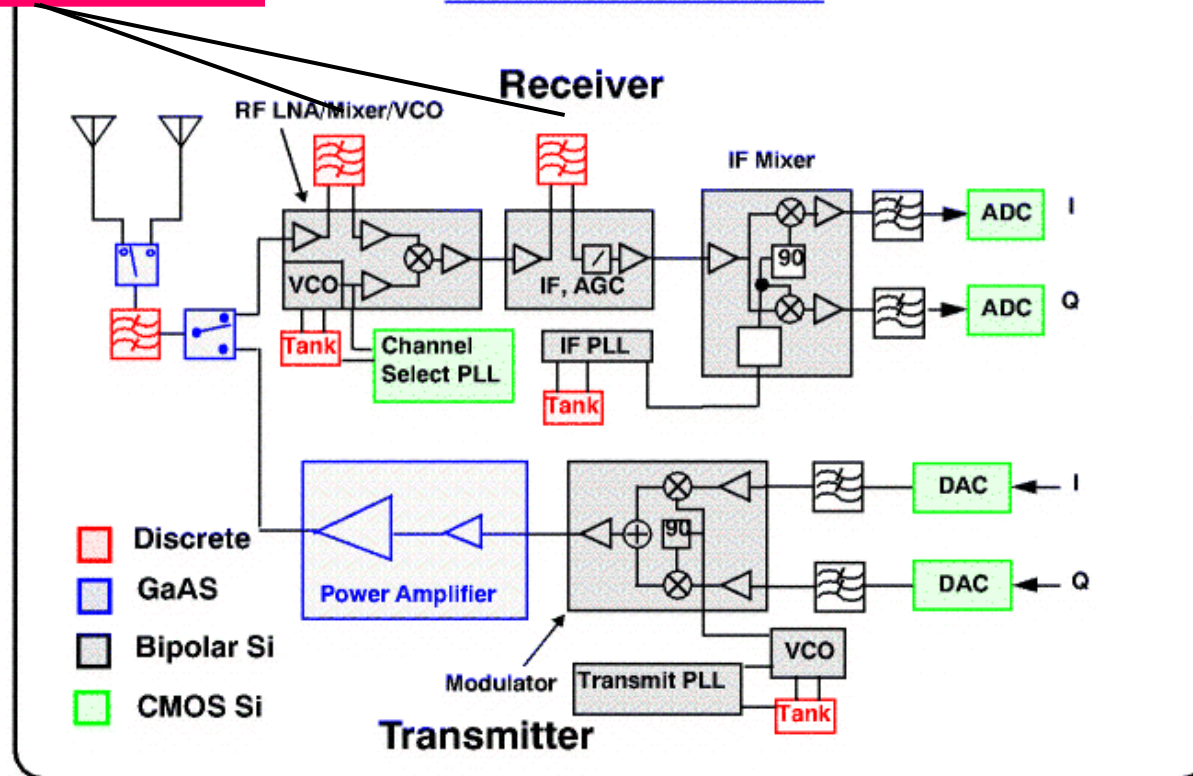
# (Super-)Heterodyne-Empfänger

**Lösung:** Einbau eines „Image Reject Filters“

meist: diskrete „Surface Acoustic Wave“-Filter, 50Ω-Problematik !!

**ImageReject  
Filters**

## Diagram, Typical Multi-Technology RF Transceiver



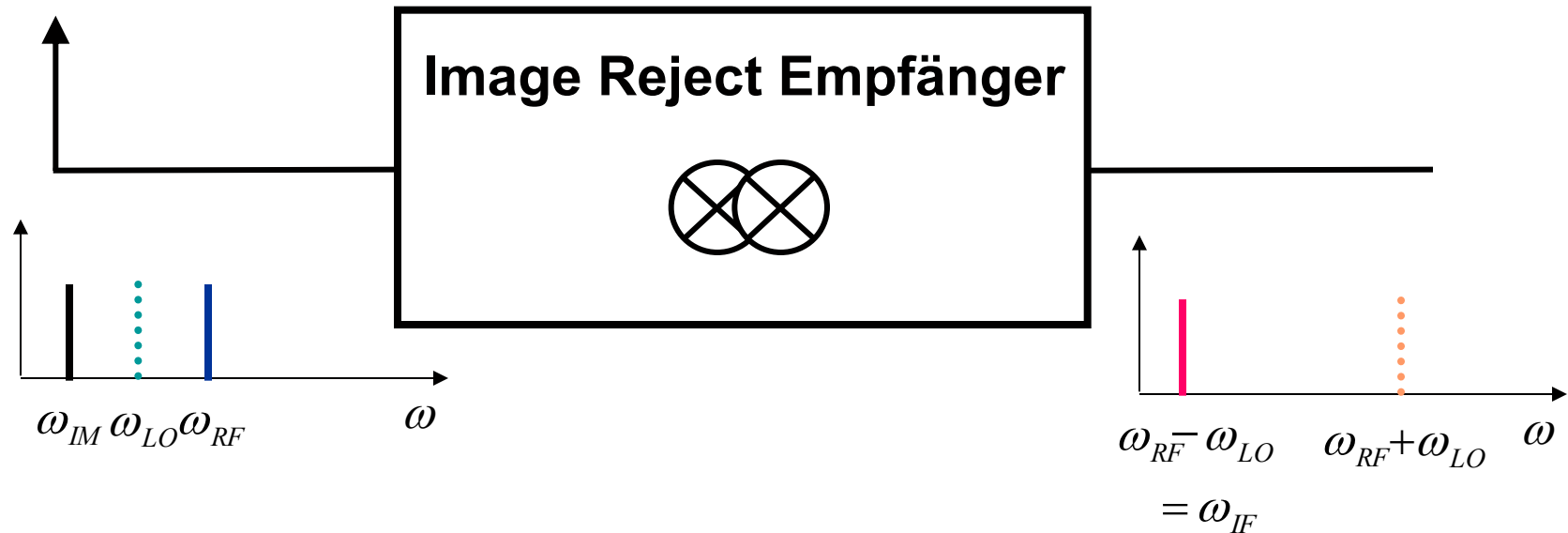
# (Super-)Heterodyne-Empfänger

optimale Empfängerschaltung für ein „Single-Chip-Handy“ ??

andere Lösungen: „Image Reject Empfänger“

(„Image Reject Mixer“)

Antenne



„Image Reject Empfänger“ Näheres in Mixer-Vorlesung !!



# (Super-)Heterodyne-Empfänger

Fazit:

(Super-)Heterodyne-Empfänger  
haben ein Problem  
bei der Überlagerung von  
infra- und supradyne Empfang  
mit der „Image Frequenz“ !!



# (Super-)Heterodyne-Empfänger

Idee:

$$\omega_{\text{LO}} = \omega_{\text{RF}} !!$$



# Homodyne-Empfänger



Idee:  $\omega_{LO} = \omega_{RF}$  !

$$\begin{aligned} (A_{RF} \cdot \cos \omega_{RF} t) \cdot (A_{LO} \cdot \cos \omega_{LO} t) &= \text{wegen Tiefpaß!} \\ &= \frac{A_{RF} \cdot A_{LO}}{2} \cdot [\cos(\omega_{RF} - \omega_{LO})t] \end{aligned}$$

$$\omega_{IF} = 0 \text{ Hz!}$$

-Name: homo=gleich,dyne=mischen

-Vorteile gegenüber (Super-)Heterodyne-Empfänger:

direkt in Basisband gemischt (direct conversion, zero-IF)

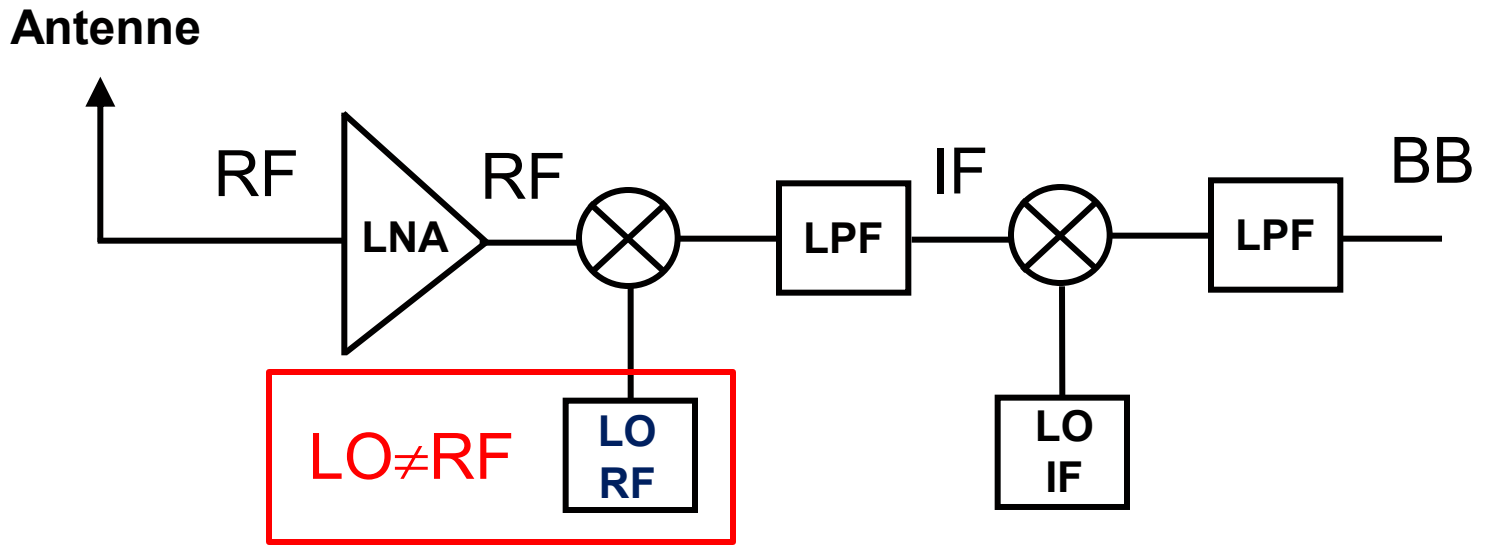
keine „Image Frequenz“ und dadurch kein „Image Reject Filter“,  
da  $\omega_{IM} = 0 \text{ Hz} !!$

-Nachteile gegenüber (Super-)Heterodyne-Empfänger:

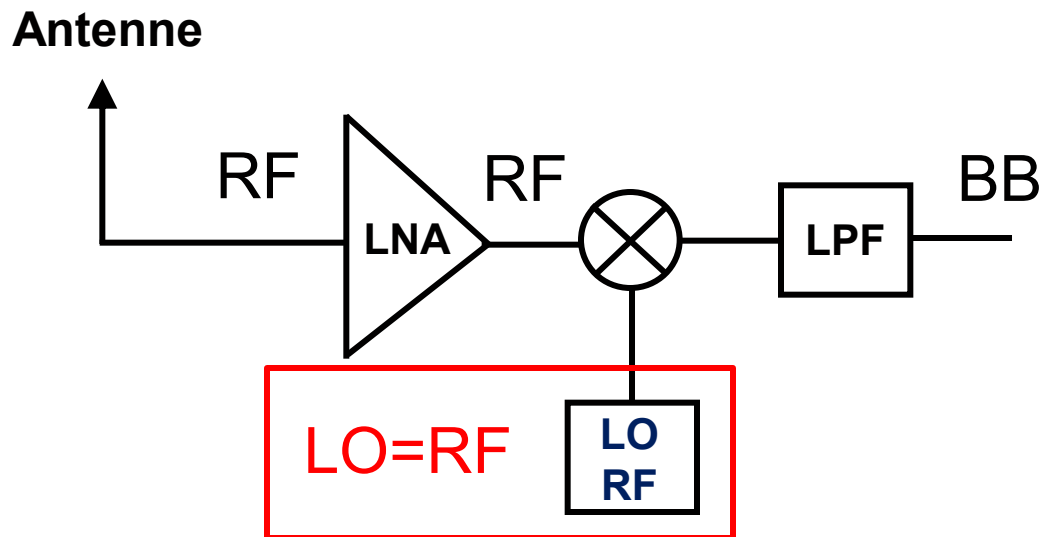
„Mismatch“-Probleme, die beim (Super-)Heterodyne-Empfänger  
gar nicht oder im weit geringem Maß auftreten (s. betreffende Folie)

# (Super-)Heterodyne- vs. Homodyne-Empfänger

(Super-)  
Heterodyne-Empfänger

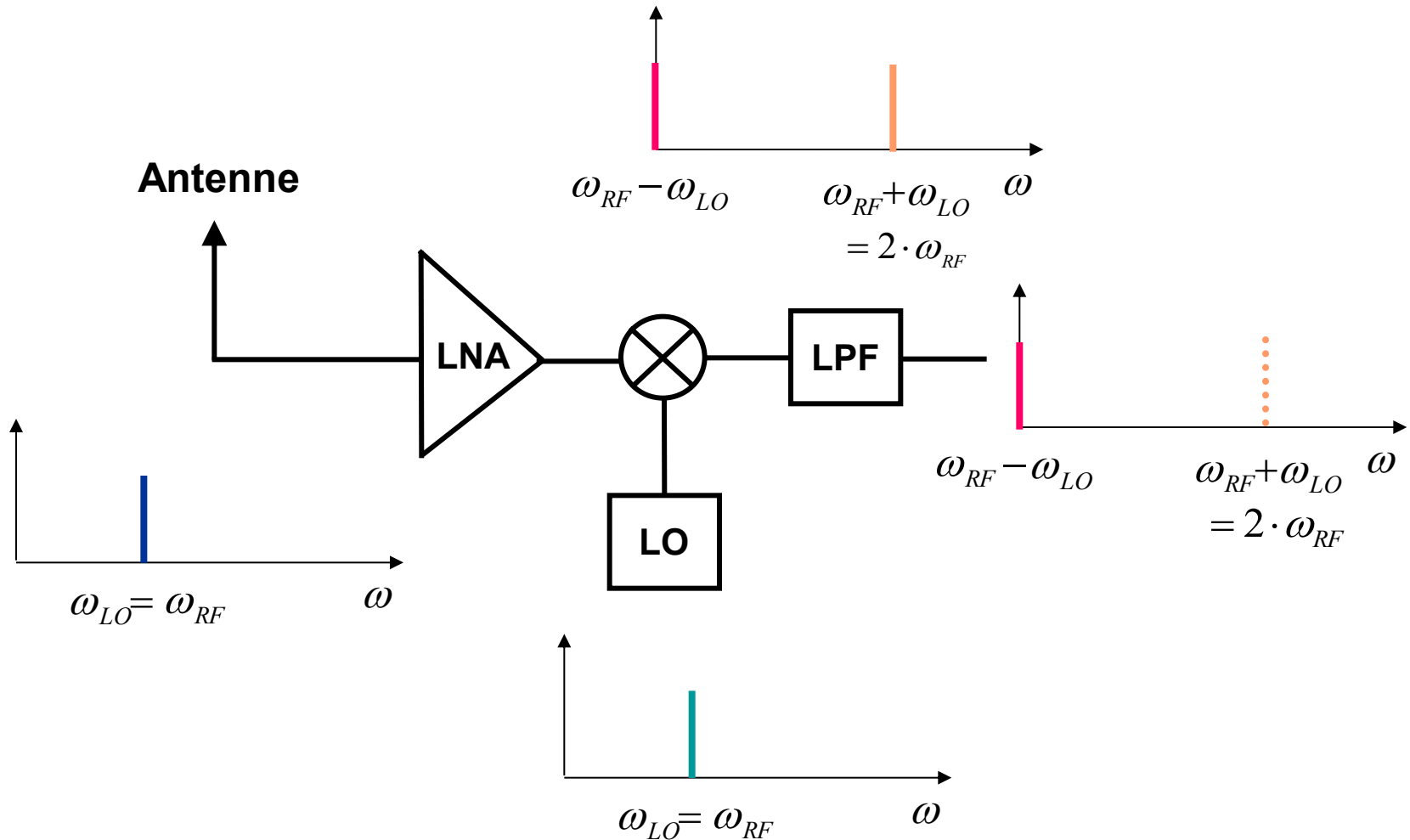


Homodyne-Empfänger



# Homodyne-Empfänger

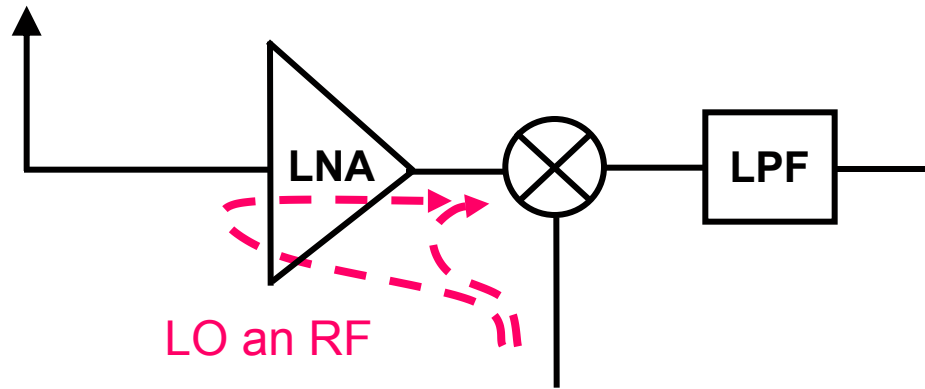
Prinzipschaltung Homodyne ( $\omega_{LO} = \omega_{RF}$ ) Empfänger:



# Homodyne-Empfänger

Probleme Homodyne ( $\omega_{LO} = \omega_{RF}$ ) Empfänger:

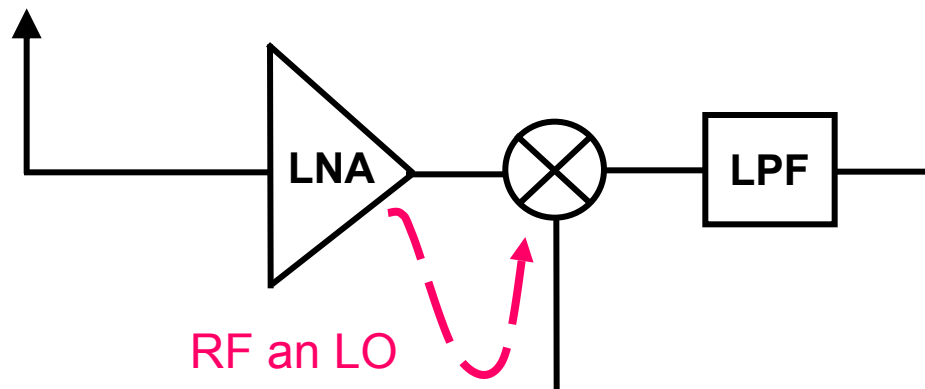
Antenne



$\cos \omega_{LO} t$

„self-mixing“  $\Rightarrow$  DC-Offset

Antenne

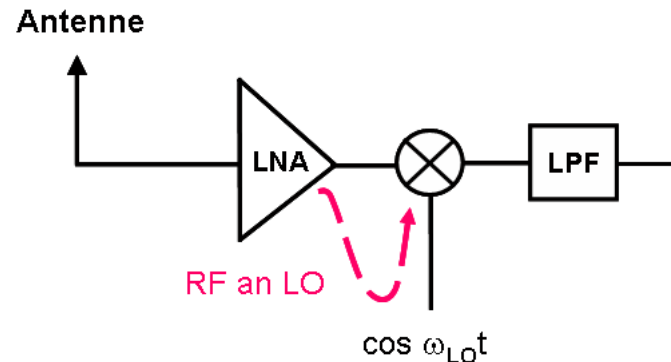
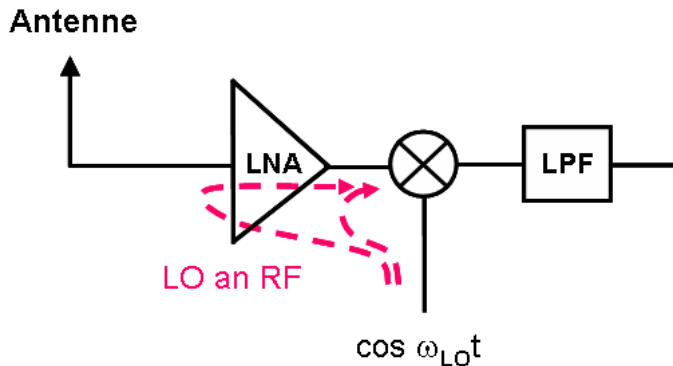


$\cos \omega_{LO} t$



# Homodyne-Empfänger

Probleme Homodyne ( $\omega_{LO} = \omega_{RF}$ ) Empfänger:



„self-mixing“  
⇒ DC-Offset

Gegenmaßnahmen gegen DC-Offset:

- Vermeidung des DC-Offset durch Hochpaß: schlecht für Bit error rate (Maß für Güte der Übertragung)
- Offset cancellation-Schaltungen nur bei „Time-division multiple access“ möglich

# Überblick über Empfängerschaltungen

zwei Prinzipien der Empfängerschaltung kennengelernt:

Nachteil: hohe Zahl von Bauelementen

früher (diskreter Aufbau): hohe Kosten der Röhren und Transistoren!

jetzt (on-chip): Stromverbrauch bei batteriegetriebenen Geräten!

⇒ Empfängerschaltung mit weniger Bauelementen möglich??:

- Geradeaus-Empfänger (Tuned-Radio-Frequency-Empfänger)
- Reflex-Schaltungs-Empfänger
- (Super-)Regenerativ-Empfänger

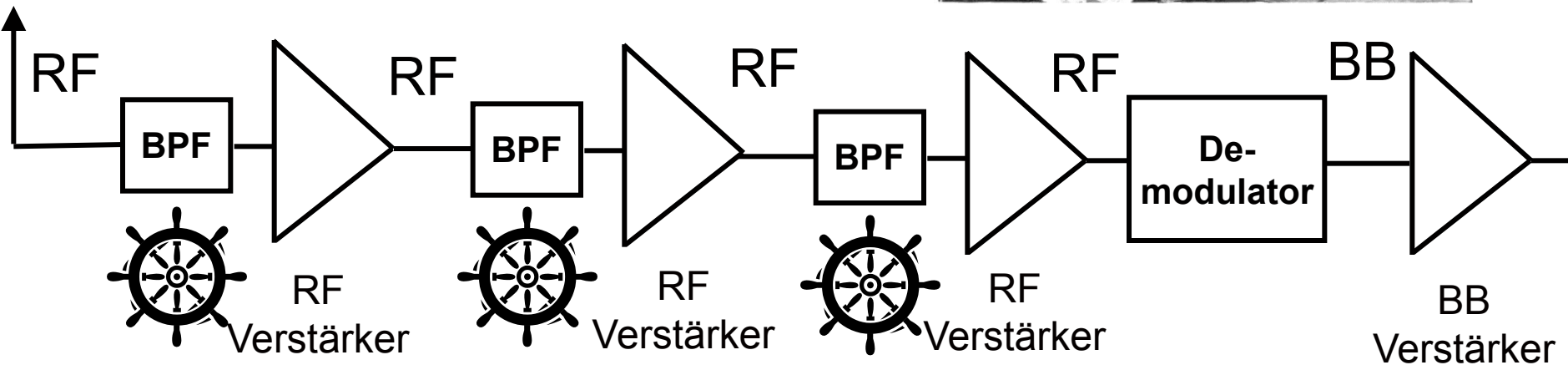


# Geradeaus-Empfänger (Tuned-Radio-Frequency-Empfänger)

Typische Ausführung „Drei-Kreiser“



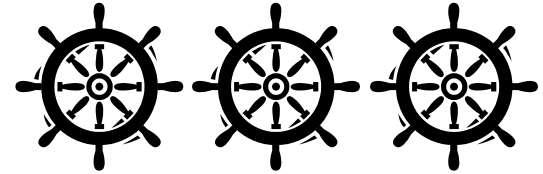
Antenne



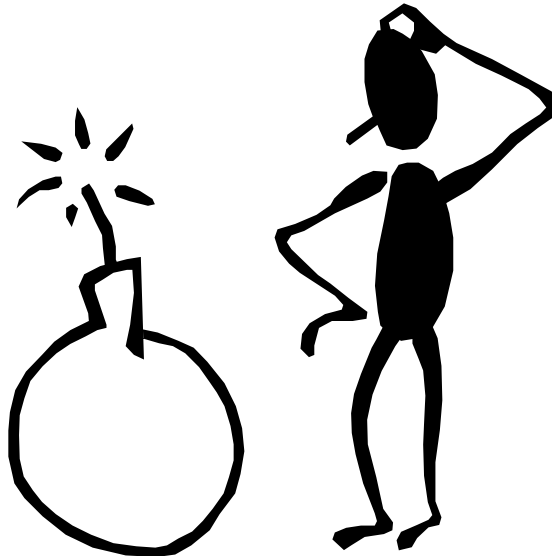
# Geradeaus-Empfänger (Tuned-Radio-Frequency-Empfänger)

Nachteil: typische Ausführung drei Hochfrequenz-Bandpässe

⇒ dreifache Abstimmung auf den Sender!!!



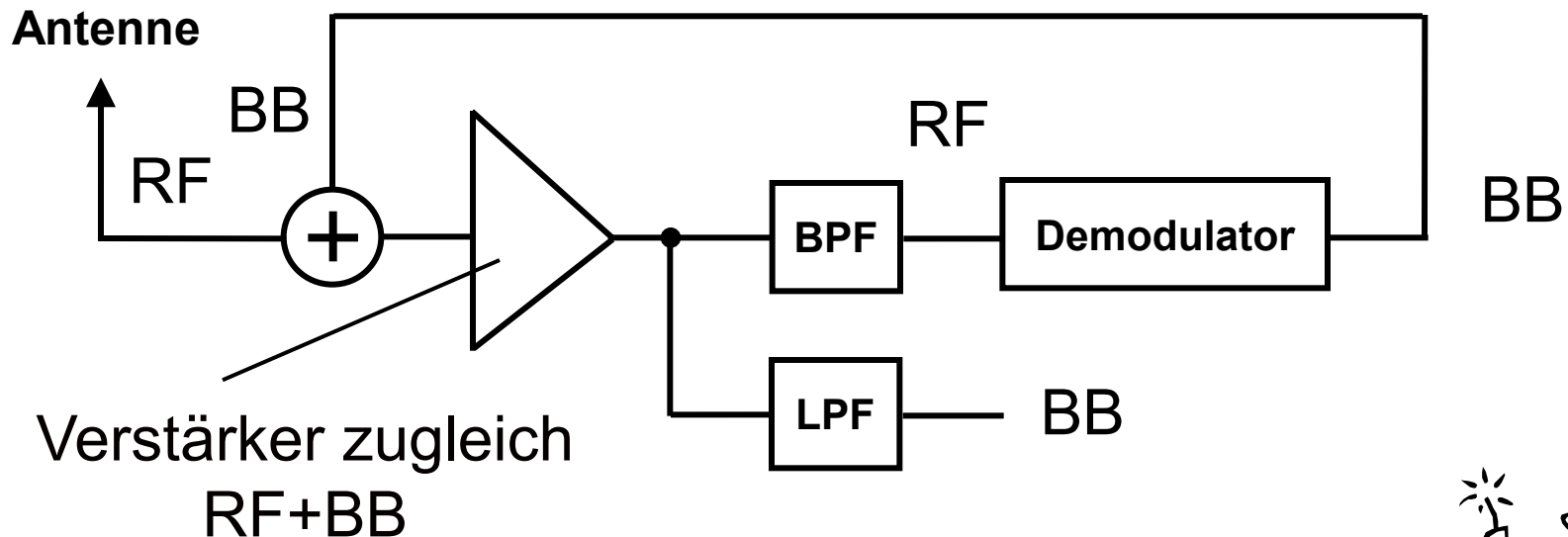
⇒ fragliche Realisierung „on-chip“ aus Matching-Gründen!



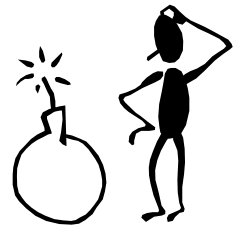
# Reflex-Schaltungs-Empfänger

Prinzip:

Eine und diesselbe Verstärkerstufe macht die Hochfrequenz- und die Basisband-(Niederfrequenz)-Verstärkung !!!



⇒ fragliche Realisierung „on-chip“ wegen unterschiedlicher Anforderungen an Hochfrequenz- und Niederfrequenz-Verstärker !



# (Super-)Regenerativ-Empfänger

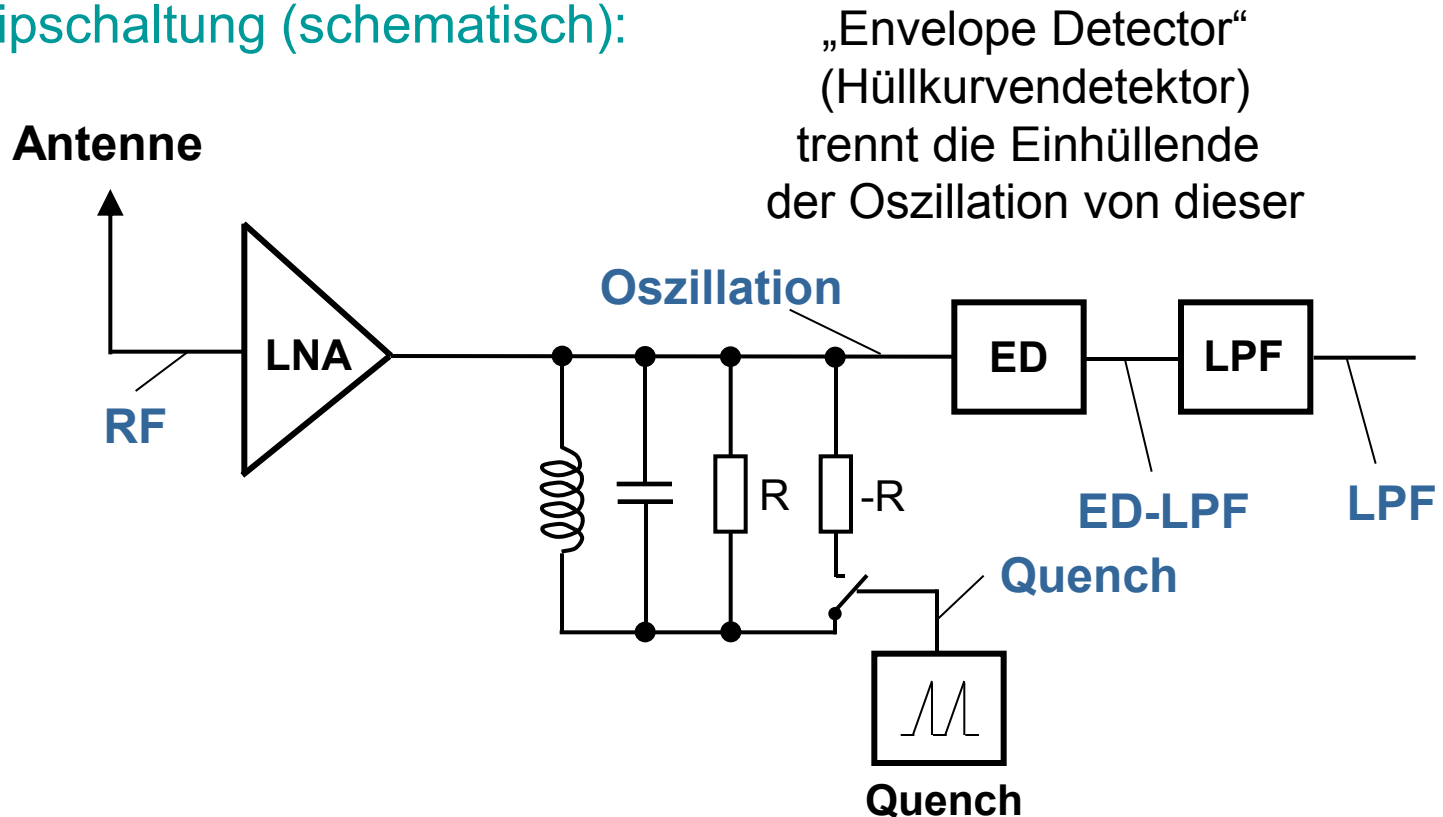
Prinzip:

- Variation des Einschwingverhalten einer Oszillator-Schaltung abhängig von den Anfangsbedingungen
- Anfangsbedingungen durch das Hochfrequenzsignal gegeben
- Starten des Oszillators durch ein meist sägezahnförmiges sog. „Quench“-Signal
- Ausblendung des „Quench“-Signals durch einen „Envelope Decoder“ und ein Tiefpaßfilter

<https://de.wikipedia.org/wiki/Superregenerativempfänger>

# (Super-)Regenerativ-Empfänger

Prinzipschaltung (schematisch):



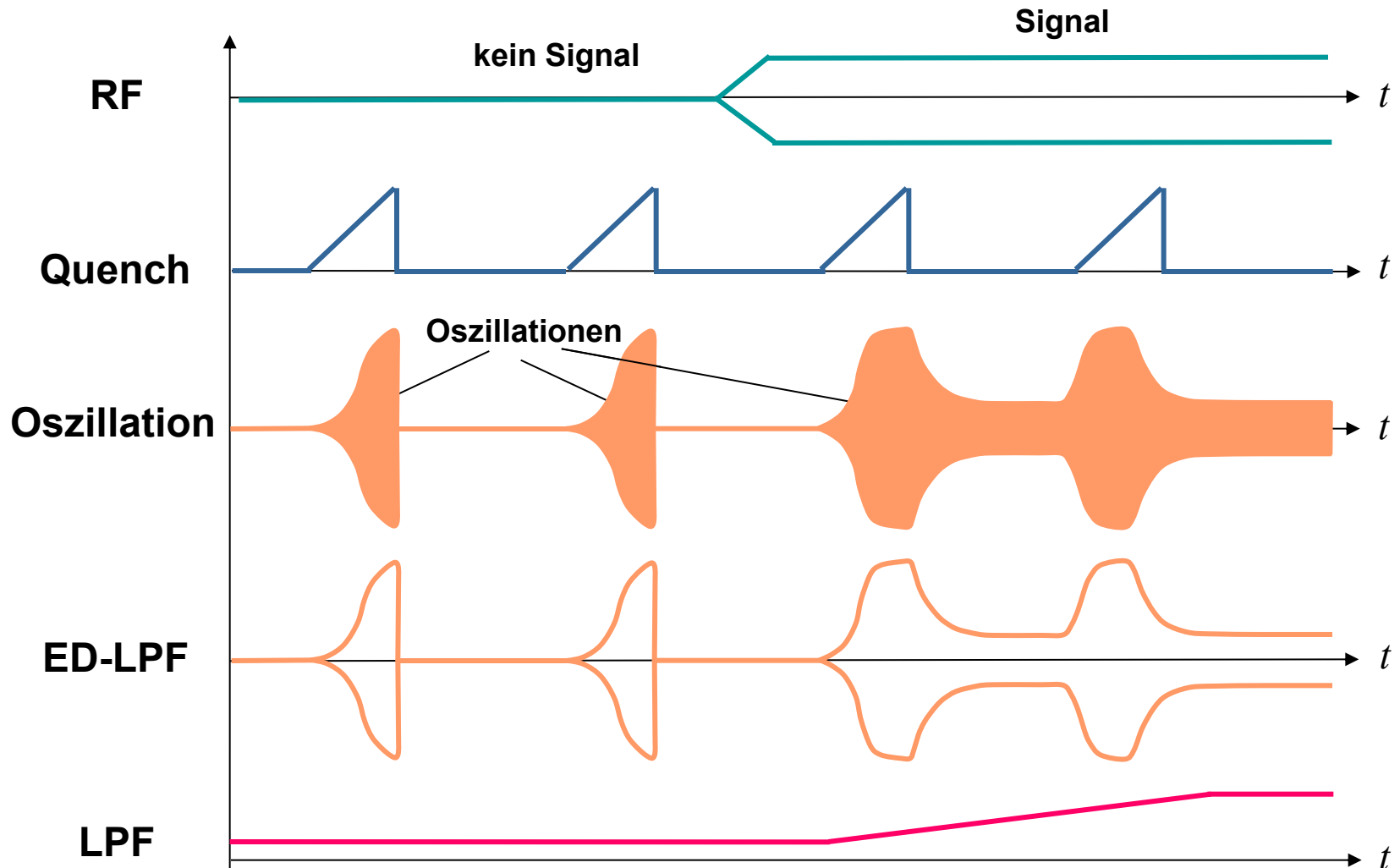
„Envelope Detector“  
(Hüllkurvendetektor)  
trennt die Einhüllende  
der Oszillation von dieser

Spannungsverläufe s. nächste Folie!

Quench-Signal:  
Starten und Stoppen  
des Oszillator

# (Super-)Regenerativ-Empfänger

Spannungsverläufe der Prinzipschaltung (schematisch):



# (Super-)Regenerativ-Empfänger

Nachteil:

- kein moduliertes Hochfrequenzsignal
- ⇒ erhöhtes Rauschen
- ⇒ ungeeignet für Sprachübertragung!



on-chip:

Einsatz zur Funkvermittlung über kurze Distanzen  
im „ISM“ (Industrial, Scientific, Medical) Band für

- kabellose Computermäuse/-tastaturen
- Spielzeug (z.Bsp. ferngesteuerte Autos, Schiffe)
- Industriefernsteuerungen (z.Bsp. Kransteuerung)

# Überblick über Empfängerschaltungen

zwei Prinzipien der Empfängerschaltung kennengelernt:

Nachteil: hohe Zahl von Bauelementen

früher (diskreter Aufbau): hohe Kosten der Röhren und Transistoren!

jetzt (on-chip): Stromverbrauch bei batteriegetriebenen Geräten!

⇒ Empfängerschaltung mit weniger Bauelementen möglich??:

- Geradeaus-Empfänger (Tuned-Radio-Frequency-Empfänger)
- Reflex-Schaltungs-Empfänger
- (Super-)Regenerativ-Empfänger

Nein, nicht möglich !!





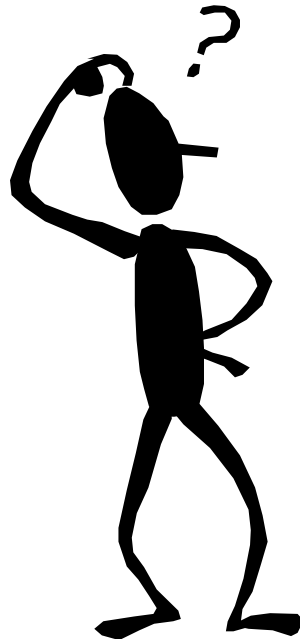
# Zusammenfassung



- Problemstellung
- Empfängerschaltungen
  - (Super-)Heterodyne-Empfänger:  
klassischer on-chip Empfänger, „Image-Frequenz-Problem“
  - Homodyne-Empfänger:  
am geeignetsten für Single-Chip Empfänger, aber „Mismatch“-Probleme
  - Geradeaus-Empfänger (Tuned-Radio-Frequency-Empfänger):  
nicht für on-chip Empfänger geeignet!
  - Reflex-Schaltungs-Empfänger:  
nicht für on-chip Empfänger geeignet!
  - (Super-)Regenerativ-Empfänger:  
nicht geeignet für Sprachübertragung!

# Aufgabe:

Wägen Sie Vor- und Nachteile des Heterodyne- und Homodyne-Empfängers für ein „Single-Chip-Handy“ ab und treffen Sie dann ein Vor-Entscheidung über die Empfänger-Architektur !!

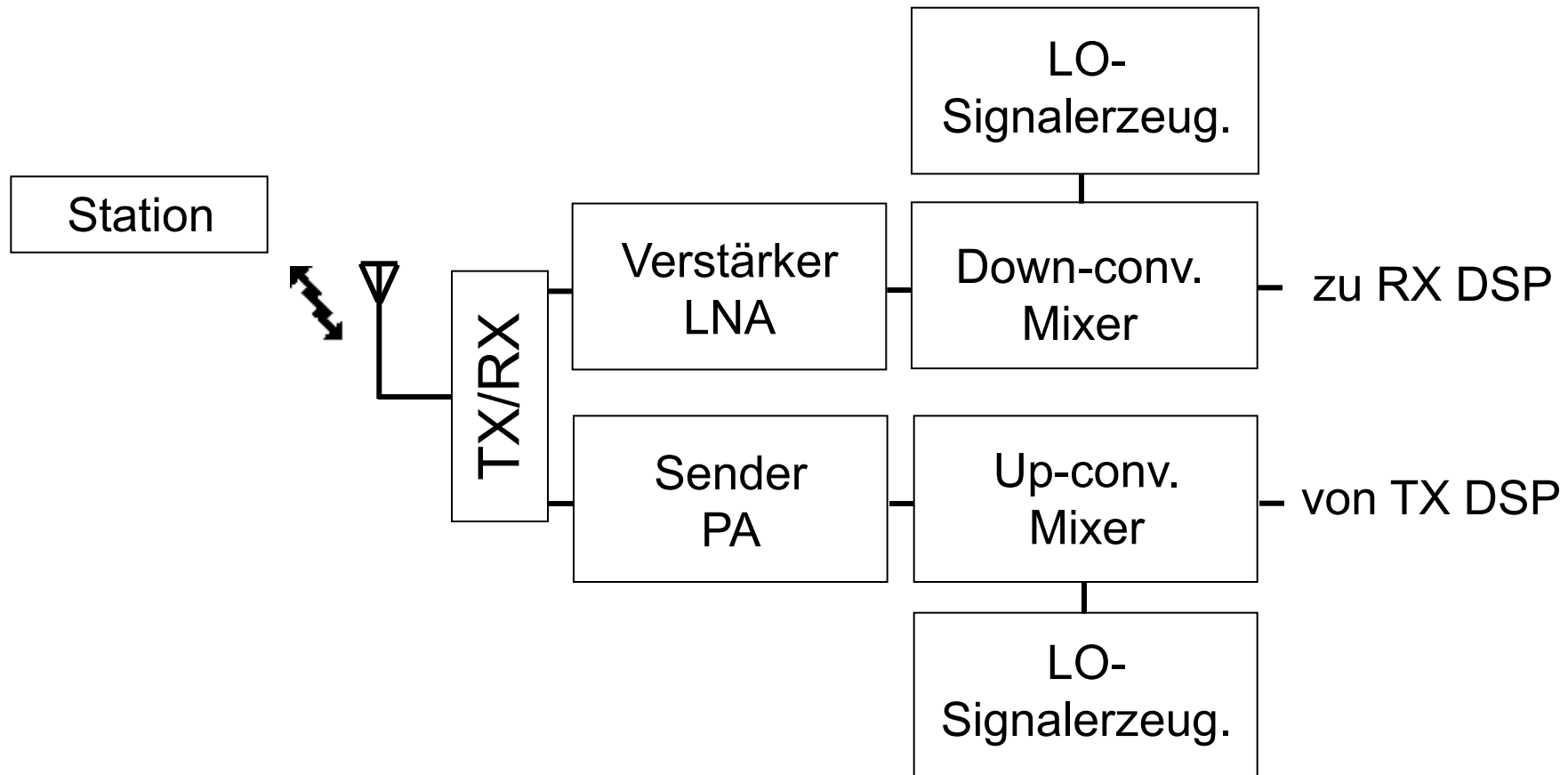


# Auswirkung auf Schaltungstechnik:

## Auswirkungen auf Schaltungstechnik eines Single-chip-Handys:

-heterodyne Empfänger: mit „Image-Reject-Mixer“

-homodyne Empfänger: keine Auswirkungen



# Literaturhinweise

## Bücher:

-B. Razavi, „RF Microelectronics“ ,Prentice Hall, 1998,  
ISBN 0-13-887571-5

-T.H.Lee, „The design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits“,  
Cambridge University Press, 1998, ISBN 0-521-63922