

(d) Betrieb: Bias-Spannung, Signalverstärkung, Temperatureffekte, Strahlungsschäden

6. Prinzipien von Szintillations-Detektoren:

(a) Szintillationsmechanismus

(b) Organische, anorganische Szintillatoren: Lichtausbeute, Wellenlängenschieber

(c) Nachweiseffizienz für Strahlung: schwere Ionen, Elektronen, Gammastrahlung, Neutronen

(d) Photomultiplier, Avalanche-Photodioden: Konstruktionsprinzipien, Einsatzgebiete, Limitierungen

7. Ionisationmessung:

(a) Gasdetektoren: Ionisationskammern, Proportionalzähler, Auslösezähler

(b) Flüssigkeitszähler

(c) Halbleiterzähler

(d) Alterung von Detektoren: Strahlungsschäden, chemische Reaktionen durch Bestrahlung

8. elektr. Signale und Signalverarbeitung: (Intermezzo)

(a) typ. Signalform

(b) Pulsformung

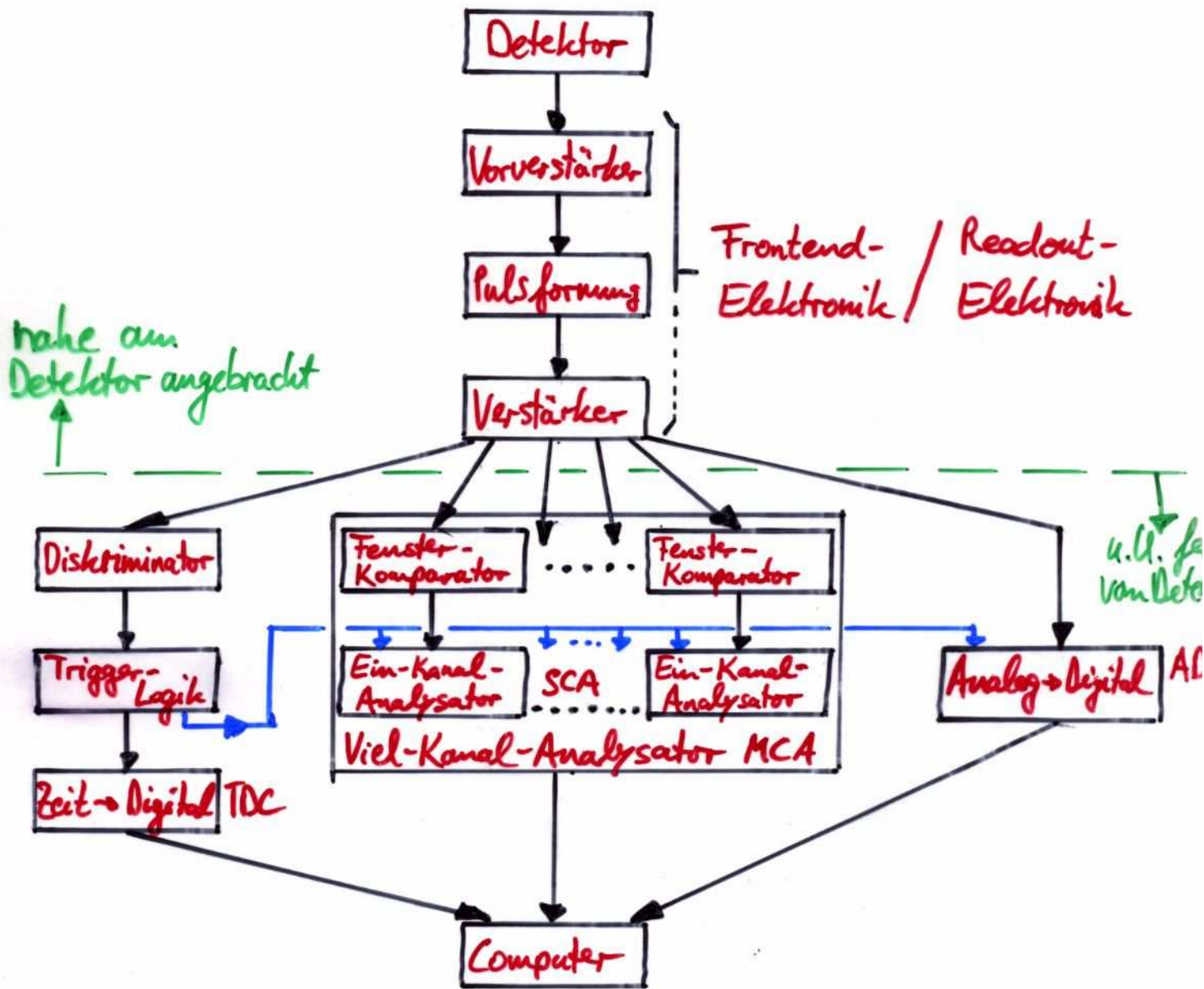
(c) Pulsdiskriminierung und Zeitmessung: Zeit-Digital-Wandler (TDC)

(d) Pulsformanalyse und Ladungsmessung: Single-/Multi-Channel-Analyzer (SCA/MCA).
Analog-Digital-Wandler (ADC)

(e) "Walk" und "Jitter" bei Zeitmessung: Constant-Fraction-Triggering (CFT), Amplituden&Anstiegszeit kompensiertes Triggering (ARC)

Elektronische Signalverarbeitung

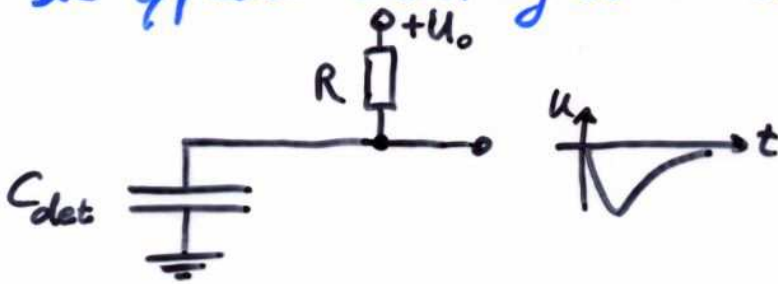
Die Signale, welche im Detektor registriert werden, müssen anschließend elektronisch weiterverarbeitet und ausgewertet werden. Ein typ. Blockschaltbild ist:



NB. Dies ist ein vereinfachtes Blockdiagramm. Nicht alle Komponenten müssen gleichzeitig vorhanden sein (z.B. entweder MCA oder ADC). Es können aber noch zusätzliche Komponenten eingesetzt werden.

Elektronische Signalverarbeitung

Die typische Schaltung eines Detektors ist (Ersatzschaltbild)



Zur weiteren Verarbeitung der Signale müssen diese verstärkt werden. Solche **Vorverstärker** können:

- **spannungsensitiv**
- **stromsensitiv**
- **ladungsensitiv**

$$U = \frac{Q_{det}}{C_{det} + C_{Leitung} + \dots}$$
$$I = \dot{Q}_{det}$$
$$Q_{det}$$

sein, wobei stromsensitive Vorverstärker geringe Eingangswiderstände aufweisen und daher für Teilchendetektoren nicht sinnvoll einsetzbar sind.

Spannungssensitive Vorverstärker nutzen die Kapazität von Detektor, Zuleitungen, etc. zur Wandlung der detektierten Ladung in ein Spannungssignal. Dies ist nutzbar für Photomultiplikatoren, Proportional- und Geiger-Zähler, jedoch nicht für Halbleiter, da dort die Sperrschichtkapazität temperaturabhängig ist. Für Halbleiterdetektoren sind ladungssensitive Vorverstärker besser. Sie entkoppeln das Spannungssignal von der Detektorkapazität.

Elektronische Signalverarbeitung

- Spannungs-/Ladungssensitive Vorverstärker
(hier auf Basis von Operationsverstärkern, häufig jedoch diskret aufgebaut)

Verstärkung $A \approx -R_2/R_1$

$A \gg (C_d + C_f)/C_f$
 $A \gg (C_d + C_f)/C_f$

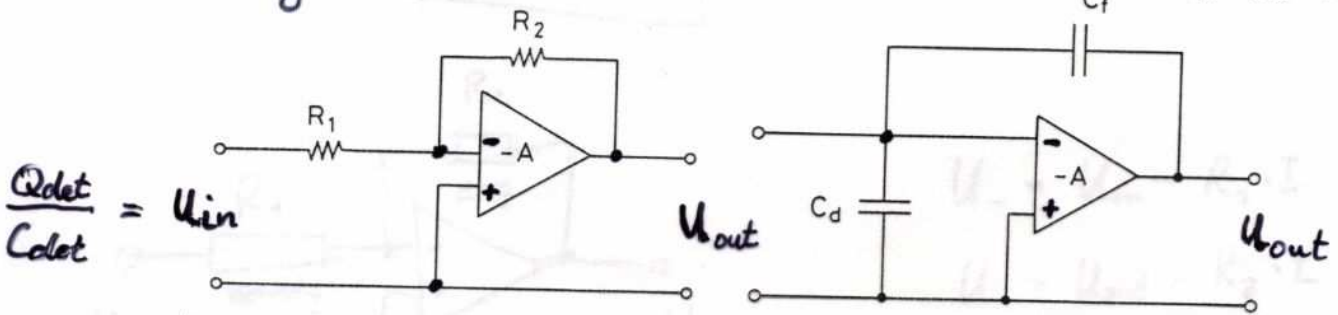


Fig. 14.1. Schematic diagram of a voltage-sensitive preamplifier

Fig. 14.2. Schematic diagram of a charge-sensitive preamplifier. To discharge the capacitor C_f , a resistor is also usually placed in parallel with C_f . This results in the exponential tail pulse

NB.: Eigenschaften des idealen Op-Verstärkers:

Differenzverstärkung $V_0 = U_{out}/(U_+ - U_-) \rightarrow \infty$

Eingangswiderstand $R_{i+}, R_{i-} \rightarrow \infty$

Ausgangswiderstand $R_{out} \rightarrow 0$

- Pulsüberlagerung (pileup) \rightarrow Pulsformung (z.B. Verkürzung des exponentiellen Abfalls, Filtern von Rauschsignalen, ...)

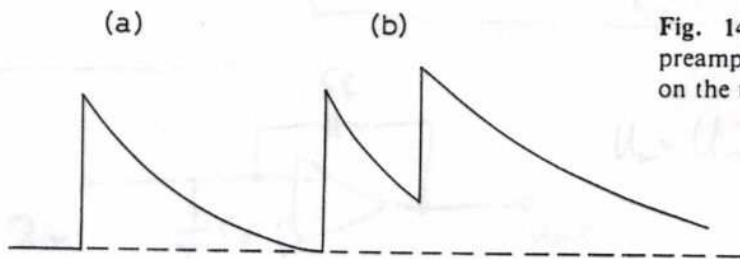


Fig. 14.3. (a) Exponential tail pulse from a preamplifier, (b) pulse pileup: a second pulse rides on the tail of the first

Elektronische Signalverarbeitung

- **Pulsformung** z.B. zur Pulsverhärfung, zum Herausfiltern von Rauschanteilen, Symmetrisierung von unsymmetrischen Pulsen

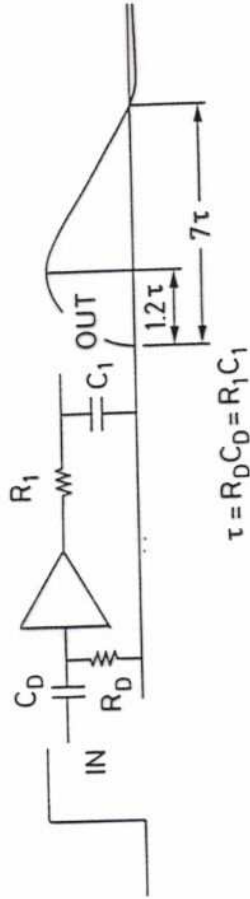


Fig. 14.5. CR-RC pulse shaping network. Because of residual differentiations in the preamplifier, the width and cross-over point of the resultant signal are not those calculated theoretically (from *Ortec* catalog [14.1])

Unterschwingen (undershoot) durch Pulsformung und Nullpol-Unterdrückung

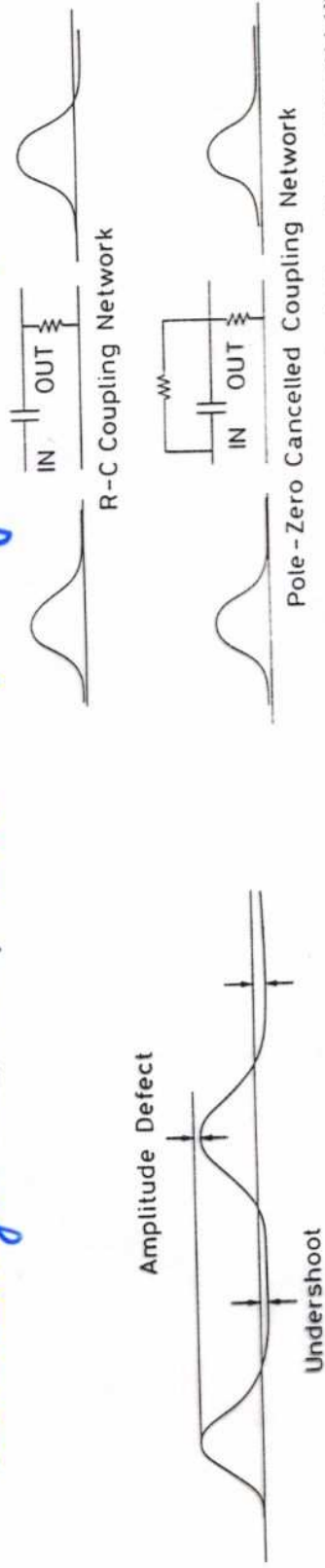


Fig. 14.7. Pole-zero cancellation circuit (from *Ortec* catalog [14.1])

Fig. 14.6. Amplitude defect arising from undershoot in CR-RC pulse shaping

Elektron. Signalverarbeitung: Diskriminatoren

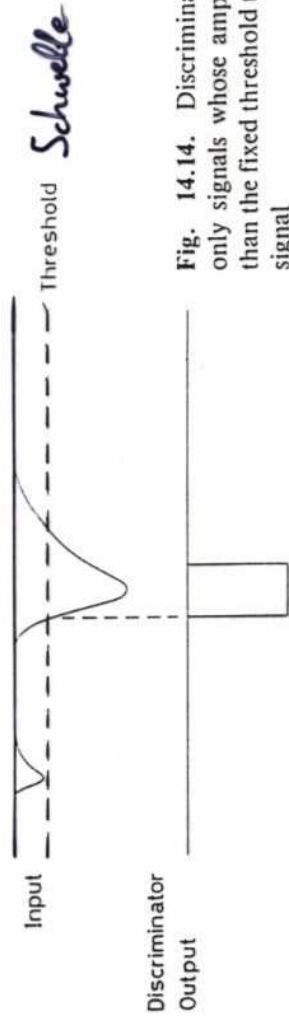


Fig. 14.14. Discriminator operation: only signals whose amplitude is greater than the fixed threshold trigger an output signal

Walk und Jitter bei Diskriminatoren

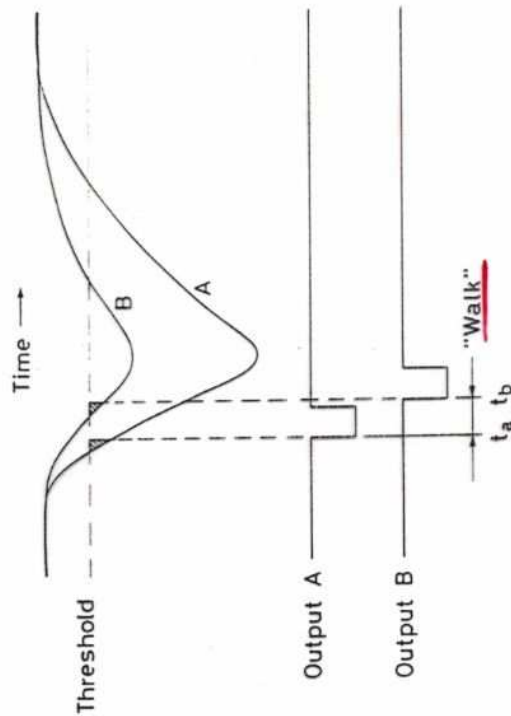


Fig. 17.1. Walk in a discriminator or SCA. Coincident signals with different amplitudes cross the threshold at different times. An additional walk effect occurs because of the finite charge which must be integrated on a capacitor to trigger the discriminator or SCA

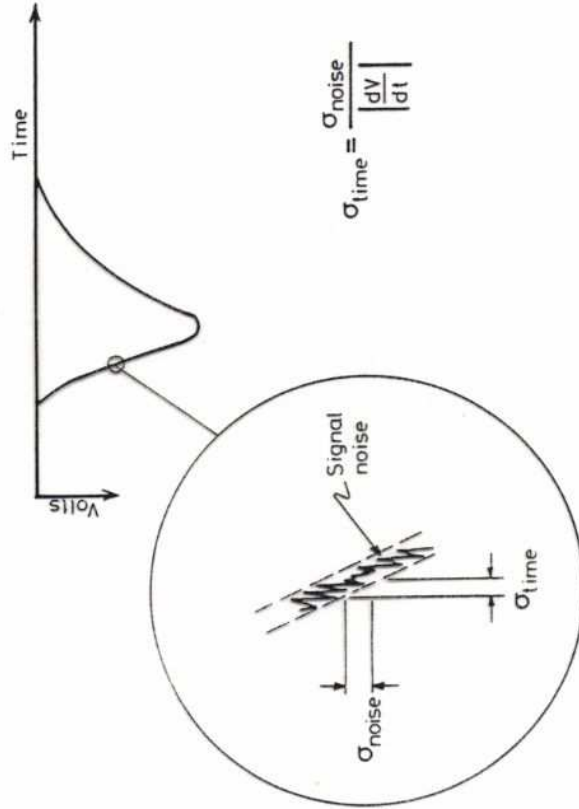


Fig. 17.2. Timing jitter. The timing error caused by jitter depends on the slope of the signal at the triggering point

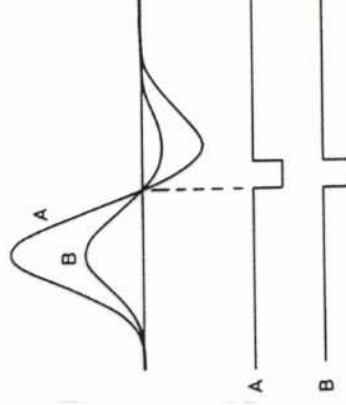


Fig. 17.3. Zero-crossing timing variations in the cross-over point are known as zero-crossing walk

Elektron. Signalverarbeitung: Constant Fraction Discriminator

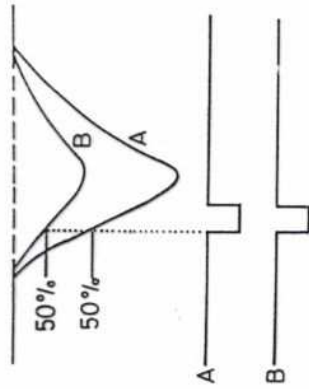


Fig. 17.4. Constant fraction discrimination

- kompensiert den "Walk"
- setzt gleiche Anstiegsflanken voraus
→ Anstiegszeit-Jitter
- Kompensation des Anstiegszeit-Jitters durch Zero-Crossover-Trigger

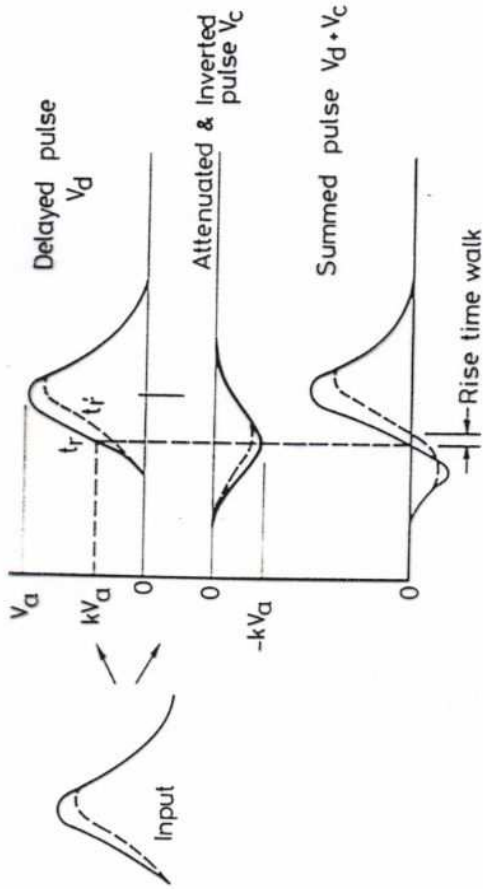


Fig. 17.5. Technique for constant fraction triggering. In order for this technique to work rise times of all signals must be the same. The dotted line shows the result with a different rise time signal

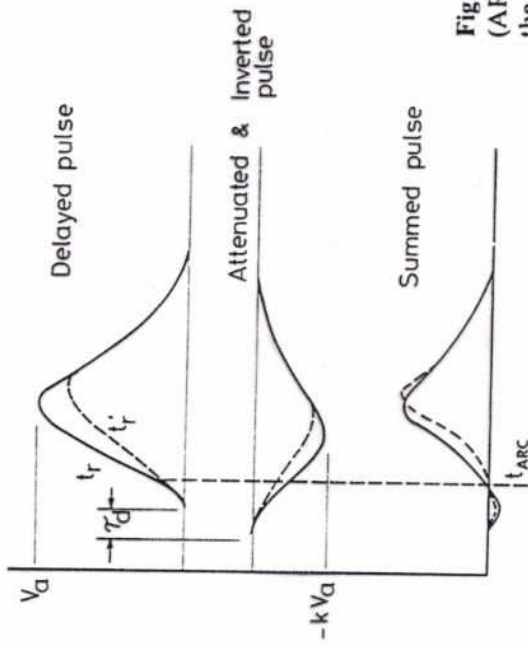


Fig. 17.6. Amplitude and risetime compensation (ARC) triggering. The zero-crossover occurs before the signal peak is reached

Elektron. Signalverarbeitung: Fensterkomparator/-diskriminator

Ein Fensterdiskriminator erzeugt nur dann ein Ausgangssignal, wenn das Eingangssignal zwischen einem unteren und einem oberen Spannungspiegel ($\hat{=}$ Fenster) liegt. Damit kann eine Pulshöhenanalyse vorgenommen werden \rightarrow Ein-Kanal-Analysator ^{SCA} histogrammiert die Häufigkeit von Pulshöhe. Ein Vielkanal-Analysator (MCA) kann diese Häufigkeitszählung für viele "Fenster" gleichzeitig vornehmen \rightarrow Pulshöhenspektrum (z.B. Energiespektrum von Compton-Elektronen)

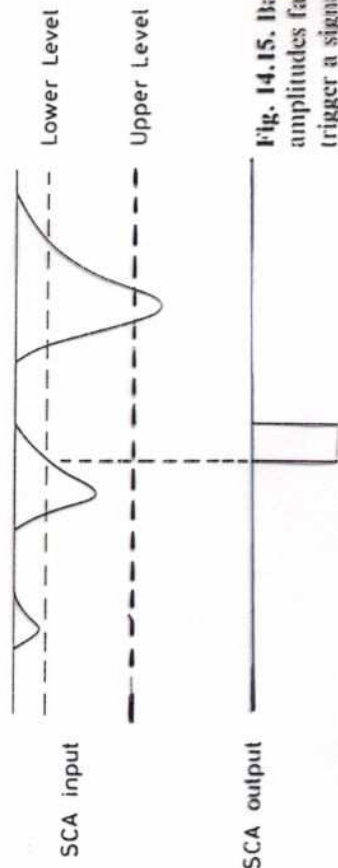
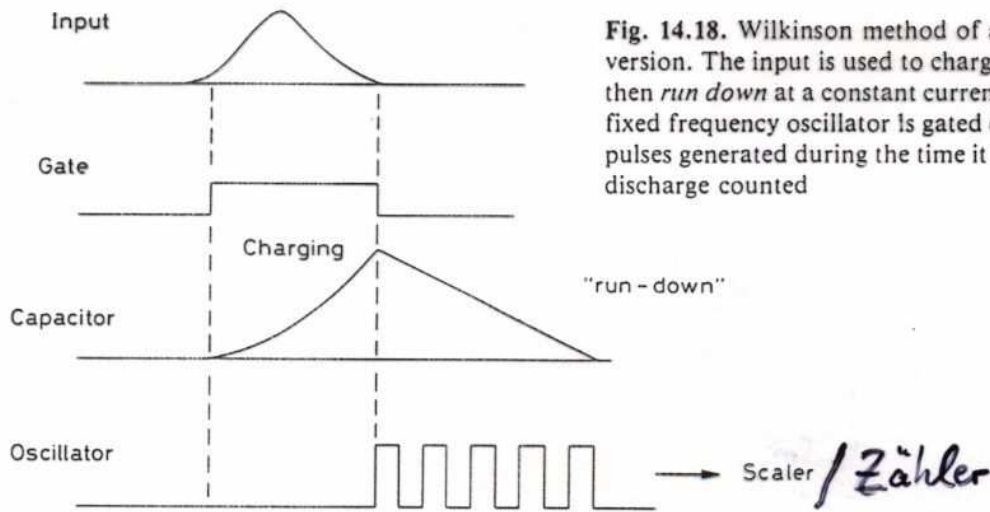


Fig. 14.15. Basic operation of a single channel analyzer (SCA): only signals whose amplitudes fall within the window defined by the upper and lower level threshold trigger a signal

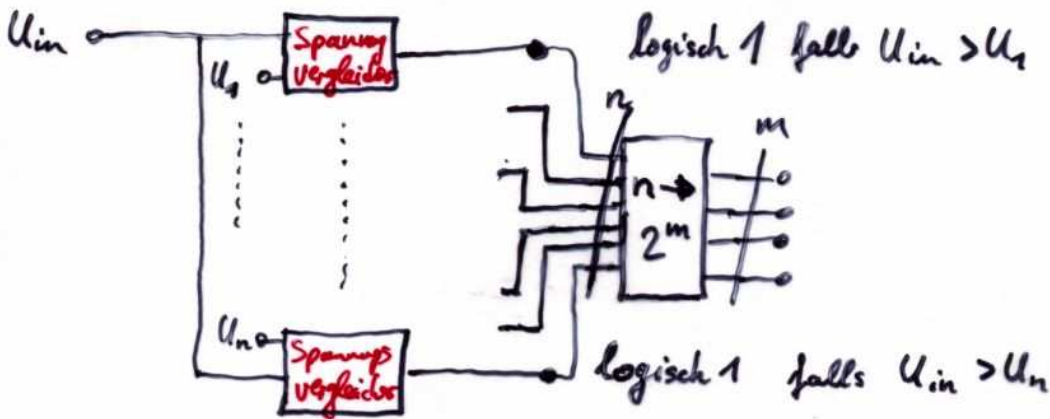
Elektron. Signalverarbeitung: Analog-Digital-Wandler ADC

~~Rampen-~~ Wandler



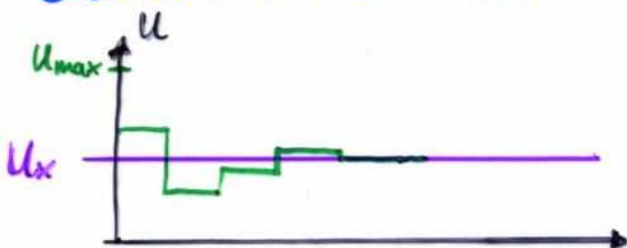
• schnelle Wandler FADC (Flash-ADC)

$$U_1 < U_2 < \dots < U_n ; n = 2^m$$



sehr schnell ($\geq 200 \text{ MHz}$), geringe Auflösung $m \approx 8-10$

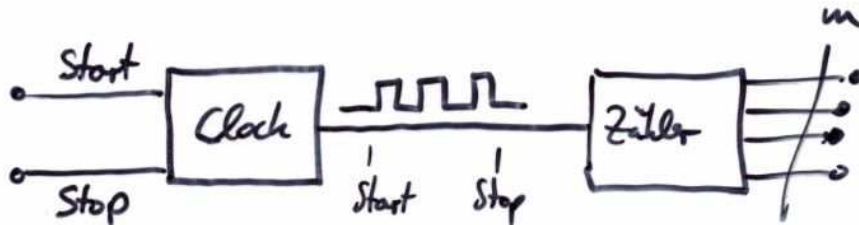
• sukzessive Wandler:



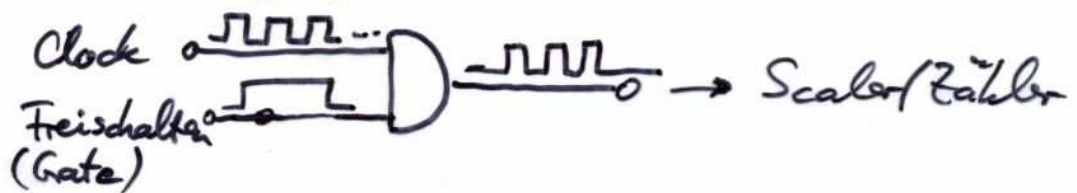
funktioniert wie binäre Suche einer Zahl in einer geordneten Liste von Zahlen: Zunächst Mitte der größten Intervalls, wähle als nächster Intervall dasjenige in dem die Zahl liegt, halbiere dieses neue Intervall und wiederhole bis Zahl gefunden

Elektron. Signalverarb.: Zeit-Digital-Wandler (TDC)

Blockdiagramm:



Start- und Stopp-Signal können von einfachen Flip-Flops zwischen gespeichert werden, sodass ein kurzes Startsignal genügt. Zudem läuft aus Stabilitätsgründen die Clock meist kontinuierlich. Die Weiterleitung der Signal an den Counter/Zähler geschieht über ein UND-Gatter, dessen zweiter Eingang als "Freischalter" dient



Elektronische Signalverarbeitung

Moderne digitale Elektronik erlaubt hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten. Daher wird in Detektoranwendungen immer früher (d.h. näher am Detektor) von analoge auf digitale Signale gewechselt. Zudem gestatten schnelle Digitalrechner eine (u.U. sogar synchrone, d.h. online-Signalverarbeitung und -analyse. Neben herkömmlichen Rechnern (à la PC) werden häufig auch spezialisierte Typen wie z.B. Latenzflussrechner, digitale Signalprozessoren (DSP), etc. eingesetzt, um noch höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten zu erreichen.