

### 3 Messprinzipien der elektronischen Entfernungsmessung

Der Benutzer der modernen Entfernungsmessgeräte und Tachymeter ist sich der komplexen inneren Abläufe dieser hochwertigen Geräte kaum bewusst. Da die Handhabung dieser Instrumente heute auch für den Nichtfachmann äußerst einfach ist, sind oft auch kaum Kenntnisse über die bei diesen Geräten angewandten Messprinzipien vorhanden.

Andererseits sind trotz aller technischer Reife auch die modernen Geräte nicht frei von zufälligen und systematischen Fehlern. Ohne Kenntnis der Messprinzipien kann jedoch auch keine sinnvolle Vorkehrung zur Ausschaltung bzw. Einschränkung dieser Fehler getroffen werden.

Erfreulicherweise sind die angewandten Messprinzipien in ihren Grundzügen leicht zu verstehen.

Bei den meisten Messprinzipien wird eine elektromagnetische Welle von einem Sender erzeugt, über die zu messende Distanz zu einem Reflektor gesandt, dort reflektiert, von einem Empfänger empfangen und dann ausgewertet. Überwiegend wurde hierbei aus dem elektromagnetischen Spektrum der Bereich von  $0,5\ \mu\text{m}$  bis  $1,5\ \mu\text{m}$ , also der Bereich des sichtbaren Lichtes und des nahen Infrarots, verwendet.

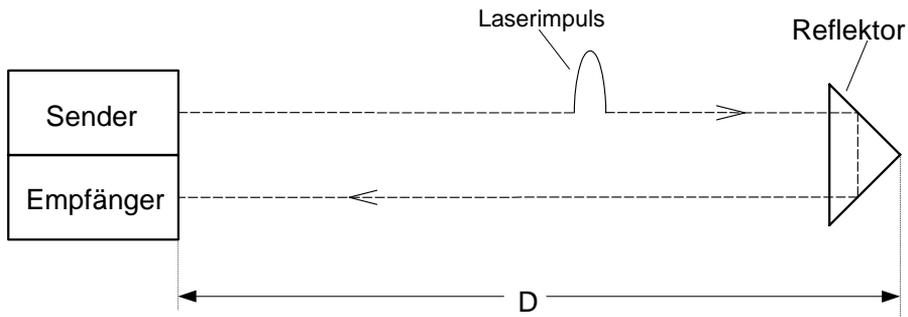
Bei zwei Messprinzipien dient die vom Sender ausgesandte Welle direkt als Messsignal und bei einem weiteren Messprinzip wird dieser ausgesandten Welle ein periodisches Messsignal aufmoduliert. Man unterscheidet folgende Verfahren:

- Impulsmessverfahren:  
Der Sender sendet nur während sehr kurzer Zeit und das ausgesandte Wellenpaket (Puls) dient als Messsignal.
- Entfernungsmessung mittels Dopplereffekt:  
Aus der Relativbewegung zwischen Sender und Empfänger wird eine Entfernungänderung abgeleitet.
- Entfernungsmessung durch Interferenzen:  
Die vom Sender kontinuierlich abgestrahlte Welle dient direkt als Messsignal.
- Phasenvergleichsverfahren:  
Der vom Sender kontinuierlich abgestrahlten Welle wird ein periodisches Messsignal aufmoduliert.
- Distanzmessung durch Lasertriangulation:  
Aus der Änderung eines Triangulationswinkels bei vorgegebener Basis wird eine Distanz abgeleitet.

Diese Verfahren werden im Folgenden kurz vorgestellt. Das derzeit noch am häufigsten eingesetzte Verfahren, das Phasenvergleichsverfahren, wird darüber hinaus in Abschnitt 4 ausführlich besprochen.

### 3.1 Impulsmessverfahren

Grundlage des Impulsmessverfahrens ist die Messung der Laufzeit eines Laserimpulses (Bild 3-1).



**Bild 3-1:** Impulsmessverfahren

Misst man die Laufzeit  $t$  eines Impulses, der vom Sender zum Reflektor und wieder zurück zum Empfänger läuft, so kann man die gesuchte Distanz  $D$  direkt aus der Laufzeit  $t$  ableiten:

$$D = \frac{c_0}{2n} \cdot t \quad (3-1)$$

mit  $c_0$  = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum,  
 = 299 792 458 m/s,  
 $n$  = Brechzahl der Atmosphäre

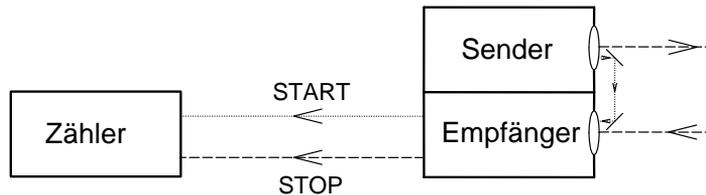
oder mit der Signalgeschwindigkeit  $c$

$$c = \frac{c_0}{n} \quad (3-2)$$

folgt

$$D = \frac{c \cdot t}{2} \quad (3-3)$$

Die Impulse werden hierbei von einem durch die Sendediode fließenden Stromstoß von ca. 10 ns ( $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ) Dauer erzeugt. Die Impulslänge von 10 ns entspricht einem „Lichtbalken“ von 3 m Länge. Die Laufzeitmessung erfolgt mit Hilfe eines elektronischen Zählers (Bild 3-2).



**Bild 3-2:** Prinzip der Laufzeitmessung

Beim Aussenden des Impulses wird ein Teil des Impulses direkt auf den Empfänger gelenkt und damit der Zähler gestartet. Der Zähler zählt dann so lange, bis der vom Reflektor zurückkommende Impuls den Zählvorgang beendet.

Da die Lichtgeschwindigkeit sehr groß ist, werden an die Laufzeitmessung sehr hohe Genauigkeitsanforderungen gestellt. Nach

$$D = \frac{c}{2} \cdot t \quad \text{und}$$

$$t = \frac{2}{c} \cdot D$$

folgt für die Genauigkeit der Zeitmessung  $s_t$  bei vorgegebener Streckenmessgenauigkeit  $s_D$

$$s_t = \frac{2}{c} \cdot s_D \quad .$$

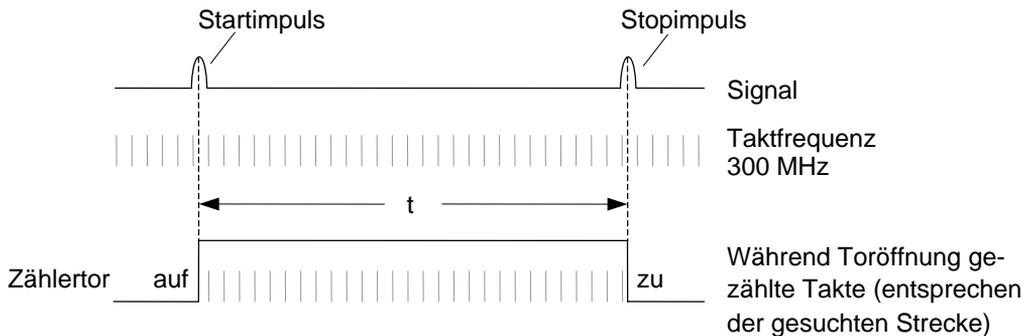
Soll die Streckenmessung auf  $\pm 0,5 \text{ cm}$  genau erfolgen, so folgt für die geforderte Genauigkeit der Laufzeitmessung

$$s_t = \frac{2 \cdot 0,005 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 0,33 \cdot 10^{-10} \text{ s} = 0,033 \text{ ns} \quad .$$

Bemerkenswert ist hierbei, dass diese hohe Genauigkeitsforderung unabhängig von der Länge der zu messenden Strecke ist und somit auch für Kurzstrecken gilt.

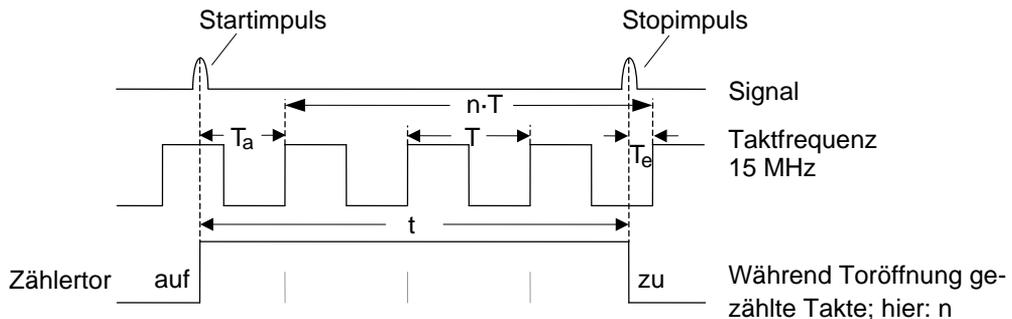
Um diese hohe Genauigkeitsanforderung zu erfüllen, werden zur Zeitmessung bei der geodätischen Streckenmessung zwei Verfahren, die digitale und die analog-digitale Zeitmessung, angewandt.

Bei der digitalen Zeitmessung wird die Laufzeitmessung nach HIPP 1983 mit Hilfe einer relativ hohen Oszillatortaktfrequenz von 300 MHz bestimmt (Bild 3-3).



**Bild 3-3:** Digitale Laufzeitmessung

Der ausgesandte Impuls (Startimpuls) öffnet das Zählerfenster und der anschließend vom Reflektor zurücktreffende Impuls (Stopimpuls) schließt es wieder. Die während der Laufzeit gezählten Takte entsprechen dann der vom Impuls durchlaufenen Strecke. Mit dieser hohen Taktfrequenz erreichen diese Geräte eine Auflösung bei der Einzelmessung von einigen dm. Durch sehr viele Einzelmessungen mit anschließender Mittelbildung kann die Auflösung in den mm-Bereich gesteigert werden. Die analog-digitale Zeitmessung (GRIMM, FRANK & GIGER 1986) erfolgt mit einer wesentlich niedrigeren Taktfrequenz von 15 MHz (Bild 3-4).



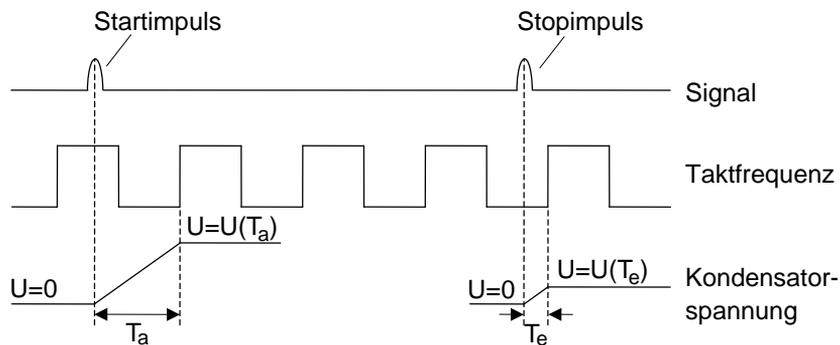
**Bild 3-4:** Grobwertermittlung bei der analog-digitalen Laufzeitmessung

Durch den Zähler werden während der Toröffnung die ansteigenden Flanken der Takte, also  $n$  Takte und damit das Zeitintervall  $n \cdot T$ , erfasst. Nicht erfasst sind dabei die Restintervalle  $T_a$  und  $T_e$ . Bei einer Taktfrequenz von 15 MHz ist außerdem nur eine Auflösung von 10 m erreicht. Das Zeitintervall  $n \cdot T$  ist somit erst ein Grobwert, der verfeinert werden muss.

Zur Messung des vollständigen Intervalls  $t$  müssen die Restintervalle  $T_a$  und  $T_e$  noch bestimmt werden und man erhält dann

$$t = T_a + n \cdot T - T_e \quad (3-4)$$

$T_a$  und  $T_e$  können mit Hilfe eines Zeit-Spannungswandlers mit sehr hoher Auflösung gemessen werden (Bild 3-5).



**Bild 3-5:** Feinmessung mit Zeit-Spannungswandler (nach GRIMM, FRANK & GIGER 1986)

Ein Zeit-Spannungswandler ist im Prinzip ein Kondensator, der durch einen während der Zeit  $T_a$  bzw.  $T_e$  konstant fließenden Strom aufgeladen wird. Die am Kondensator anliegenden Spannungen  $U(T_a)$  und  $U(T_e)$  sind dann ein Maß für die Zeitintervalle  $T_a$  und  $T_e$ . Dieses analog-digitale Verfahren ermöglicht eine Auflösung bei der Einzelmessung schon im mm-Bereich. Zur weiteren Steigerung der Auflösung wird auch hier innerhalb kurzer Zeit eine große Zahl von Impulsen ausgewertet. Die Impulsrepetitionsfrequenz ist allerdings nicht beliebig steigerbar. Um ein eindeutiges Streckenmessergebnis zu erhalten, muss vor Aussenden eines neuen Impulses der vorhergehende Impuls schon in den Empfänger gelangt sein.

Soll ein Gerät für eine maximale Reichweite von 50 km ausgelegt werden, so müsste der Impuls eine maximale Strecke von 100 km zurücklegen und wäre dann  $0,33\bar{3}$  ms ( $1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$ ) unterwegs. Es wären hier also theoretisch rund 3000 Einzelmessungen pro Sekunde möglich.

Beim DI 3000 beträgt der Impulsabstand 0,5 ms. Es sind also 2000 Einzelmessungen pro Sekunde möglich und der eindeutige Entfernungsbereich geht hier bis 75 km. Die erreichte Auflösung liegt bei diesem Gerät dann im 0,1 mm-Bereich.

Eine weitere Steigerung der Auflösung vor allem für die Messung mittlerer und größerer Entfernungen ( $>1 \text{ km}$ ) ist nicht mehr sinnvoll, da dann z.B. die unsichere Erfassung atmosphärischer Parameter Streckenfehler verursachen kann, die weit über der erreichten Auflösung liegen.