

DIN ISO 28902-1

Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Band 1b und Band 5.
ICS 13.040.99; 07.060

**Luftqualität –
Umweltmeteorologie –
Teil 1: Bodengebundene Fernmessung der Sichtweite mit Lidar
(ISO 28902-1:2012)**

Air quality –
Environmental meteorology –
Part 1: Ground-based remote sensing of visual range by lidar (ISO 28902-1:2012)

Qualité de l'air –
Météorologie de l'environnement –
Partie 1: Télédétection de la portée visuelle par lidar basée sur le sol (ISO 28902-1:2012)

Gesamtumfang 37 Seiten

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise.....	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	10
4.1 Symbole	10
4.2 Abkürzungen	11
5 Grundlagen des Sichtweiten-Lidar	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Konzept der Sichtweiten-Lidar-Messungen	15
6 Anforderungen	18
6.1 Messgrößen	18
6.2 Zielgrößen	18
6.3 Festlegungen und Mindestanforderungen an die Verfahrenskenngrößen	18
7 Messplanung und Anforderungen an den Messstandort	24
8 Durchführung der Messung.....	24
8.1 Allgemeines	24
8.2 Wartung und Funktionsprüfung	24
8.3 Anwendungen und Durchführung der Messung	25
9 Signalauswertung	27
9.1 Klett-Fernald-Algorithmus	27
9.2 Auswertebereich	28
9.3 Unsicherheit	28
10 Störeinflüsse	29
Anhang A (informativ) Alternative Auswertung der Daten.....	30
Anhang B (informativ) Kalibrierung durch den Hersteller	33
Anhang C (informativ) Weitere Anwendungsmöglichkeiten.....	35
Literaturhinweise	36

Nationales Vorwort

Internationale Technische Regelsetzung zur Fernmessung

ISO 28902-1 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 146 „Air quality“, Unterkomitee SC 5 „Meteorology“, in der Arbeitsgruppe WG 6 „Lidar“ in Zusammenarbeit mit der World Meteorological Organization (WMO) erarbeitet. Obmannschaft und Sekretariat liegen bei Deutschland. An der Erstellung dieser Norm waren die deutschen Experten der Arbeitsgruppe „Bodengebundene Fernmessung meteorologischer Größen“ des Fachbereiches II „Umweltmeteorologie“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN — Normenausschuss KRdL maßgeblich beteiligt.

Das in der vorliegenden Norm beschriebene Fernmessverfahren zur Messung der Sichtweite basiert auf der Richtlinie VDI 3786 Blatt 15 (siehe auch Literaturhinweise im Nationalen Anhang).

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

IEC 60825-1 siehe DIN EN 60825-1

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nationale Technische Regelsetzung zur Fernmessung

DIN ISO 28902 mit dem allgemeinen Titel *Luftqualität — Umweltmeteorologie* besteht aus dem folgenden Teil:

— *Teil 1: Bodengebundene Fernmessung der Sichtweite mit Lidar*

Der folgende Teil ist in Vorbereitung:

— *Teil 2: Bodengebundene Fernmessung des Windes mit Doppler-Lidar*

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 15483, *Luftqualität — Messungen in der bodennahen Atmosphäre mit FTIR-Spektroskopie*

DIN EN 16253, *Luftqualität — Messungen in der bodennahen Atmosphäre mit der Differentiellen Optischen Absorptionsspektroskopie (DOAS) — Immissionsmessungen und Messungen von diffusen Emissionen*

DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1), *Sicherheit von Lasereinrichtungen — Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen*

VDI 3786 Blatt 11, *Umweltmeteorologie — Bestimmung des vertikalen Windprofils mit Doppler-SODAR-Messgeräten*

VDI 3786 Blatt 14, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung des Windvektors — Doppler-Wind-LIDAR*

VDI 3786 Blatt 15, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung der Sichtweite — Sichtweiten-Lidar*

VDI 3786 Blatt 17, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung des Windvektors — Wind-Profil-Radar*

VDI 3786 Blatt 18, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung der Temperatur — Radioakustische Sondierungssysteme (RASS)*

VDI 4202 Blatt 2, *Mindestanforderungen an automatische Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung — Optische Fernmesseinrichtungen zur Messung von gasförmigen Immissionen*

VDI 4210 Blatt 1, *Fernmessverfahren — Messungen in der Atmosphäre nach dem LIDAR-Prinzip — Messen gasförmiger Luftverunreinigungen mit dem DAS-LIDAR*

VDI 4212 Blatt 1, *Fernmessverfahren — Messungen in der bodennahen Atmosphäre nach dem DOAS-Prinzip — Messen gasförmiger Emissionen und Immissionen — Grundlagen*

Folgende DIN-Normen und VDI-Richtlinien sind in Vorbereitung:

VDI 3786 Blatt 19, *Bodengebundene Fernmessung meteorologischer Größen — Rückstreu-Lidar*

VDI 3786 Blatt 20, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags — Wetter-Radar*

Luftqualität — Umweltmeteorologie —

Teil 1: Bodengebundene Fernmessung der Sichtweite mit Lidar

Einleitung

In diesem Teil der ISO 28902 wird die Bestimmung der Sichtweite mit dem Rückstreu-Atmosphären-Lidar (en: „Light Detection And Ranging“) beschrieben. Lidar-Systeme haben sich bewährt bei der Fernmessung von Luftverunreinigungen, von verschiedenen meteorologischen Parametern, wie z. B. Windgeschwindigkeit und -richtung, Verteilung und Zusammensetzung von Wolken und Aerosolen, Partikelform und Gaskonzentration, sowie von optischen Eigenschaften der Atmosphäre, wie z. B. Extinktion und Rückstreuung. Eine Besonderheit der Lidar-Verfahren besteht darin, dass sie orts aufgelöste Fernmessungen ermöglichen. Da elektromagnetische Strahlung zur Sondierung benutzt wird, sind die Messungen berührungslos und in jede beliebige Richtung möglich. Lidar-Systeme ergänzen somit die konventionelle Messtechnik. Sie sind für eine große Anzahl von Aufgaben geeignet, die mit In-situ-Verfahren oder punktförmig messenden Verfahren nicht angemessen gelöst werden können.

1 Anwendungsbereich

In diesem Teil der ISO 28902 werden hauptsächlich die Anforderungen an die Durchführung von Sichtweiten-Lidar-Messungen zur Bestimmung der richtungsabhängigen meteorologischen Sichtweite (MOR) festgelegt. Der in diesem Teil der ISO 28902 verwendete Begriff „Sichtweiten-Lidar“ bezieht sich auf die Lidar-Systeme, mit denen Sichtweiten-Messungen durchgeführt werden. Aufgrund physikalischer Näherungen ist die quantitative Bestimmung auf eine meteorologische Sichtweite zwischen 30 m und 2 000 m begrenzt. Für diesen Bereich legt dieser Teil der ISO 28902 die Leistungsfähigkeit von Sichtweiten-Lidar-Systemen bei Einsatz des Verfahrens der entfernungsintegrierten Sichtweiten-Messungen auf der Grundlage der Lichtextinktion fest. Beruhend auf der richtungsabhängigen meteorologischen Sichtweite können die folgenden Parameter berechnet werden:

- a) Horizontalsichtweite;
- b) Vertikalsichtweite;
- c) Schräge Landebahnsichtweite.

ANMERKUNG Die Maßangaben für die Sicht stehen in engem Zusammenhang mit den historischen Definitionen der Sicht, die wiederum auf menschliche Beobachter bezogen sind. Das Lidar-Verfahren erweitert die Definitionen auf verschiedene Bedingungen wie z. B. Tageslicht- und Nachtzeitbedingungen.

Darüber hinaus ist dem Anwender mithilfe dieses Verfahrens möglich, Informationen über die Wolkenuntergrenze, die Dicke der Grenzschicht, Nebelbänke sowie aufgrund der Signalabschwächung durch Wasserdampf und/oder Aerosole hervorgerufene Aerosolprofile zu erhalten. Beispiele für diese Anwendungen sind im Anhang C angegeben.

Dieser Teil der ISO 28902 kann für die folgenden Einsatzgebiete verwendet werden:

- Wetterstationen;
- Flughäfen;
- Häfen;
- Wasserstraßen;
- Straßen und Autobahnen;
- Kraftfahrzeuge;
- Bohrinseln.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60825-1:2007, *Safety of laser products — Part 1: Equipment classification and requirements*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Sichtweiten-Lidar

auf der Lasertechnik beruhendes Gerät, bei dem zur Messung der Sichtweite die Partikelrückstreuung und -extinktion angewendet werden

3.2

Sicht

meteorologische Sicht

größte Entfernung, aus der ein (auf dem Boden befindliches) schwarzes Objekt geeigneter Größe sichtbar und erkennbar ist, wenn es bei Tageslicht gegen den Horizont Himmel betrachtet wird, oder das bei Nacht sichtbar und erkennbar ist, wenn das Umgebungslicht auf das Niveau des normalen Tageslichts angehoben wurde

[WMO, 1992 [1]; WMO, 2003 [2]]

ANMERKUNG 1 ICAO (en: International Civil Aviation Organization, Internationale Zivilluftfahrtorganisation) gibt eine abweichende Definition für Luftfahrtzwecke und trifft eine klare Unterscheidung hinsichtlich des Kontrasts bei Tage und des Kontrasts bei Nacht (siehe ICAO, 2007 [3]):

Im aeronautischen Kontext handelt es sich bei der Sicht um den größeren der folgenden Werte:

- größte Entfernung, aus der ein nahe dem Boden befindliches schwarzes Objekt geeigneter Größe sichtbar und erkennbar ist, wenn es gegen einen hellen Hintergrund betrachtet wird;
- größte Entfernung, aus der Lichter mit einer Stärke von etwa 1 000 Candela gegen einen unbeleuchteten Hintergrund sichtbar und identifizierbar sind.

ANMERKUNG 2 In diesem Teil der ISO 28902 wird die allgemeinere Definition der WMO verwendet. Bei der ICAO-Definition für den Zustand bei Nacht findet die Lichtstärke der Landebahnfeuer Anwendung, die für allgemeine Fälle nicht verfügbar ist.

3.3

Sichtweite

größte Entfernung, aus der ein gegebenes Objekt unter beliebigen Bedingungen erkennbar ist, wobei lediglich die atmosphärische Transmissivität und der Schwellenkontrast als begrenzende Faktoren wirken

[IEC 60050-845 [4] und IEC ELECTROPEDIA 845-11-23 [5]]

3.4

meteorologische Sichtweite

MOR

(en: Meteorological Optical Range)

V_{MOR}

Weglänge in der Atmosphäre, die erforderlich ist, um den Lichtstrom in einem kollimierten Strahlenbündel einer Glühlampe bei einer Farbtemperatur von 2 700 K auf einen Wert von 5 % des Ausgangswertes zu verringern

[WMO, 1992 [1]; WMO, 2008 [6]]

ANMERKUNG 1 Der Zusammenhang zwischen der MOR und dem Extinktionskoeffizienten (bei einer Kontrastschwelle von $\alpha = 0,05$) beträgt bei Anwendung des Gesetzes von Koschmieder: $V_{\text{MOR}} = -\ln(0,05)/\alpha$ [6].

ANMERKUNG 2 Beträgt die Kontrastschwelle 2 %, wird die Messgröße als Normsichtweite V_N bezeichnet, wobei dieser Begriff erstmalig durch Koschmieder [7] verwendet wurde.

ANMERKUNG 3 In diesem Teil der ISO 28902 wird die MOR als Variable für horizontale Messungen der Sichtweite verwendet; für Schrägmessungen wird die Schrägsichtweite (3.7) verwendet.

3.5

Landebahnsichtweite

RVR

(en: Runway Visual Range)

Entfernung, über die der Pilot eines Luftfahrzeuges auf der Landebahnmittellinie die Markierungen auf der Oberfläche der Landebahn oder die Feuer sehen kann, die die Landebahn begrenzen oder ihre Mittellinie kennzeichnen

[ICAO, 2005 [8]]

3.6

Vertikalsichtweite

VOR

(en: Vertical Optical Range)

V_{VOR}

meteorologische Sichtweite in vertikaler Richtung

3.7

Schrägsichtweite

SOR

(en: Slant Optical Range)

V_{SOR}

horizontale Projektion der maximalen Entfernung, über die ein schwarzes Ziel in einer Ebene durch einen Beobachter erkennbar ist, der sich in einer Höhe h über der Ebene befindet, wobei der Kontrast 5 % beträgt

ANMERKUNG 1 Die Kontrastschwelle für die Schrägsichtweite beträgt 5 % und ist mit der Schwelle für die meteorologische Sichtweite (MOR) identisch.

ANMERKUNG 2 Diese Definition beruht auf der Normdefinition der meteorologischen Sichtweite (MOR) [siehe Gleichungen (5) und (8)], um so ein allgemein anwendbares mathematisches Auswerteverfahren zu ermöglichen.

3.8

Schräge Landebahnsichtweite

Schrägsicht

SVR

(en: Slant Visual Range)

Sichtweite für ein festgelegtes Objekt oder Licht entlang einer Sichtlinie, die signifikant von der Horizontalen abweicht; beispielsweise die Sichtweite auf Objekte oder Lichter am Boden, gesehen von einem im Anflug befindlichen Luftfahrzeug

[ICAO, 2005 [8]]

3.9

Konventions-Reichweite

unter festgelegten Bedingungen gemessene maximale Reichweite zum Vergleich verschiedener Systeme

3.10

Extinktionskoeffizient

α

Maß für die Lufttrübung, ausgedrückt als natürlicher Logarithmus des Verhältnisses von einfallender Lichtintensität zu transmittierter Lichtintensität, pro Einheitslänge

3.11

zeitliche Auflösung

gerätebezogene Größe zur Beschreibung des kürzesten Zeitintervalls, über das unabhängige Signalinformationen erhalten werden können

3.12**effektive zeitliche Auflösung** Δx_{eff}

anwendungsbezogene Größe zur Beschreibung eines integrierten Zeitintervalls, für das die Zielgröße mit einer definierten Unsicherheit bereitgestellt wird.

BEISPIEL Die zeitliche Auflösung von aufeinanderfolgenden Extinktionskoeffizientenprofilen oder von berechneten Werten der meteorologische Sichtweite (MOR) bzw. der Vertikalsichtweite (VOR).

3.13**Entfernungsauflösung**

gerätebezogene Größe zur Beschreibung des kürzesten Entfernungintervalls, über das unabhängige Signalinformationen empfangen werden können

3.14**effektive Entfernungsauflösung**

anwendungsbezogene Größe zur Beschreibung eines integrierten Entfernungintervalls, für das die Extinktion mit einer definierten Unsicherheit bereitgestellt wird.

BEISPIEL Die Entfernungsauflösung von aufeinanderfolgenden Extinktionskoeffizientenprofilen oder von berechneten Werten der meteorologische Sichtweite (MOR) bzw. der Vertikalsichtweite (VOR)

3.15**Nebel**

durch Hydrometeore bei einer meteorologischen Sichtweite $V_{\text{MOR}} < 1$ km und einer relativen Luftfeuchte von annähernd 100 % verursachte Verringerung der Sicht

3.16**feuchter Dunst**

durch Hydrometeore bei einer relativen Luftfeuchte von ≥ 80 % oder Taupunktunterschieden von ≤ 3 K bei einer meteorologischen Sichtweite $V_{\text{MOR}} \geq 1$ km verursachte Verringerung der Sicht

[WMO, 1992 [1]; WMO, 2003 [2]; WMO, 2008 [6]]

ANMERKUNG 1 Die Definition einer Obergrenze von 5 km wird durch die ICAO festgelegt [3].

ANMERKUNG 2 In nationalen Bestimmungen sind aufgrund anderer Definitionen eines klaren Himmels abweichende Obergrenzen festgelegt (z. B. Deutschland 8 km, Kanada 6 Meilen).

3.17**trockener Dunst**

durch Lithometeore bei einer relativen Luftfeuchte von < 80 % oder Taupunktunterschieden von > 3 K bei einer meteorologischen Sichtweite $V_{\text{MOR}} \geq 1$ km verursachte Verringerung der Sicht

[WMO, 1992 [1]; WMO, 2003 [2]; WMO, 2008 [6]]

ANMERKUNG 1 Die Definition einer Obergrenze von 5 km wird durch die ICAO festgelegt [3].

ANMERKUNG 2 In nationalen Bestimmungen sind aufgrund anderer Definitionen eines klaren Himmels abweichende Obergrenzen festgelegt (z. B. Deutschland 8 km, Kanada 6 Meilen).

4 Symbole und Abkürzungen

4.1 Symbole

Größe	Einheit	Bedeutung
A	m^2	Fläche der Empfängeroptik
B	$\text{W m}^3 \text{ sr}$	geometrie- und entfernungsabhängiger Systemparameter
c	m s^{-1}	Lichtgeschwindigkeit
E_0	J	Energie des Laserpulses
h	m	Höhe
K'	1	Leuchtdichte-Kontrastschwelle des Auges
O	1	(entfernungsabhängige) Überlappungsfunktion von Sendestrahл und Empfänger- gesichtsfeld (vollständige Überlappung gegeben, wenn $O = 1$)
P	W	empfangene Detektorleistung
P_0	W	mittlere Leistung des Laserpulses
S	W m^2	Lidar-Signatur
T	K	Temperatur
t	s	Zeit
Δt	s	Laserpulsdauer
Δt_{eff}	s	effektive Zeitauflösung
x	m	Entfernung (Abstand zwischen Messsystem und Streuvolumen)
Δx_{eff}	m	effektive Entfernungsauflösung
x_{CR}	m	Konventions-Reichweite zur Sichtweiten-Bestimmung
x_{f}	m	Startentfernung für die Datenauswertung mit Rückwärtsintegration
x_{n}	m	Startentfernung für die Datenauswertung mit Vorwärtsintegration
x_{L}	m	Basislänge eines Transmissometers
V_{MOR}	m	meteorologische Sichtweite
V_{N}	m	Normsichtweite
V_{SOR}	m	Schrägsichtweite
V_{VOR}	m	Vertikalsichtweite

Größe	Einheit	Bedeutung
α	m^{-1}	Extinktionskoeffizient
$\alpha(x_f)$	m^{-1}	Startwert des Extinktionskoeffizienten für die Rückwärtsintegration
$\alpha(x_n)$	m^{-1}	Startwert des Extinktionskoeffizienten für die Vorwärtsintegration
$\Delta\alpha$	m^{-1}	Unsicherheit des Extinktionskoeffizienten
β	$\text{m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$	Rückstreukoeffizient
δ	rad	Laserdivergenz
γ	rad	Gesichtsfeld
η	1	Wirkungsgrad der Empfängeroptik
λ	m	Wellenlänge
$\Delta\lambda$	m	spektrale Breite
ξ	m	Integrationsvariable für die Entfernung
τ	1	Transmissionsgrad der Atmosphäre zwischen Lidar und Streuvolumen

4.2 Abkürzungen

ICAO	Internationale Zivilluftfahrtorganisation (en: International Civil Aviation Organization)
MOR	Meteorologische Sichtweite (en: Meteorological Optical Range)
RVR	Landebahnsichtweite (en: Runway Visual Range)
SOR	Schrägsichtweite (en: Slant Optical Range)
SVR	Schräge Landebahnsichtweite (en: Slant Visual Range)
VOR	Vertikalsichtweite (en: Vertical Optical Range)
WMO	World Meteorological Organization

5 Grundlagen des Sichtweiten-Lidar

5.1 Allgemeines

Lidar-Verfahren sind aktive Verfahren zur Messung ausgewählter physikalischer Größen der Atmosphäre [9]. Sie erfordern eine gepulste Lichtquelle und ein Empfangssystem mit guter zeitlicher Auflösung [10]. Das ausgesandte Licht tritt durch Streuung mit der Atmosphäre in Wechselwirkung [11; 12], und der rückgestreute Anteil wird gemessen. Aus den Rückstreusignalen werden die physikalischen Größen bestimmt, die den Atmosphärenzustand beschreiben. Je nachdem, welche physikalische Wechselwirkung des Lichts mit den Atomen, Molekülen oder Aerosolpartikeln in der Atmosphäre ausgenutzt wird, werden verschiedene Varianten des Lidar-Prinzips unterschieden.

Bei der Messung mit dem Sichtweiten-Lidar wird die elastische Streuung der Partikeln ausgenutzt.

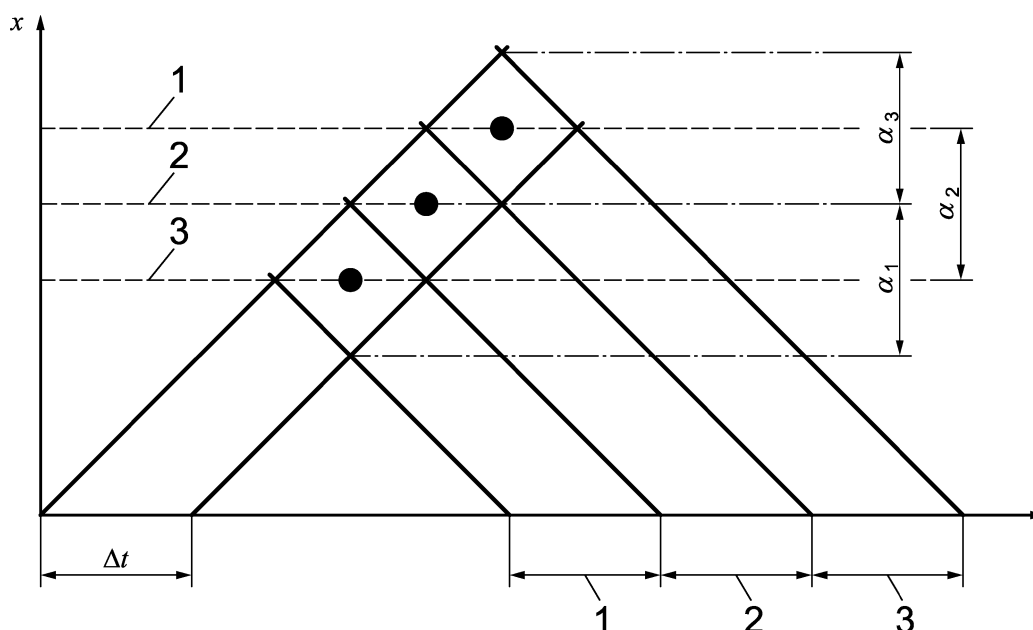
ANMERKUNG Die Wellenlänge wird während des Streuungsprozesses nicht geändert.

Beim Lidar wird die Laufzeit des Lichts von der Lichtquelle zum Objekt und zurück für die Entfernungsbestimmung genutzt. Aus der Zeit t nach Aussenden des Laserpulses wird mit der Lichtgeschwindigkeit c die Entfernung x zum Streuvolumen bestimmt:

$$x = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

Der Faktor 1/2 ist durch den doppelten Weg bedingt, den das ausgesandte Licht zurücklegt, bevor es wieder vom Lidar-System registriert wird.

Nach dem Aussenden jedes einzelnen Laserpulses wird das Rückstreusignal in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen erfasst. Jedes dieser Intervalle entspricht einem Höhen- bzw. Entfernungintervall und ist durch dessen Mittenhöhe oder -entfernung charakterisiert (siehe Bild 1).



Legende

1, 2, 3 Mitte des Entfernungs- bzw. Höhenintervalls und des zugehörigen Empfangsintervalls

x Entfernung, in m

α_i Extinktionskoeffizient, in m^{-1}

t Zeit, in s

Δt Laserpulsdauer, in s

Bild 1 — Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Laufzeit und Entfernung