

DIN ISO 28902-2

Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Band 5.

ICS 13.040.99; 07.060

Einsprüche bis 2015-04-20

Entwurf**Luftqualität –****Umweltmeteorologie –****Teil 2: Bodengebundene Fernmessung des Windes mittels gepulstem, mit Überlagerungsempfang arbeitendem Doppler-Lidar (ISO/DIS 28902-2:2015)**

Air quality –

Environmental meteorology –

Part 2: Ground-based remote sensing of wind by heterodyne pulsed Doppler lidar (ISO/DIS 28902-2:2015)

Qualité de l'air –

Météorologie de l'environnement –

Partie 2: Télédétection du vent par lidar Doppler pulsé hétérodyne basée sur le sol (ISO/DIS 28902-2:2015)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-02-20 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an krdl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, 40002 Düsseldorf, Postfach 10 11 39 (Hausanschrift: VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 40 Seiten

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Begriffe	7
3 Grundlagen von gepulsten, mit Überlagerungsempfang arbeitenden Doppler-Lidarsystemen	9
3.1 Übersicht	9
3.2 Überlagerungsempfang	10
3.3 Spektralanalyse	13
3.4 Zielgrößen	15
3.5 Quellen für Rauschen und Unsicherheiten	15
3.5.1 Empfängerrauschen	15
3.5.2 Speckle	16
3.5.3 Laserfrequenz	16
3.6 Entfernungsbestimmung	16
4 Systemspezifikationen und Prüfungen	16
4.1 Systemspezifikationen	16
4.1.1 Sendercharakteristiken	16
4.1.2 Teleskopcharakteristiken	17
4.1.3 Signalabtastungsparameter	18
4.1.4 Ausrichtungscharakteristiken des Systems	19
4.2 Zusammenhang zwischen Charakteristiken und Leistung des Systems	20
4.2.1 Leistungsmerkmal	20
4.2.2 Zeit-Bandbreiten-Abstimmung	20
4.3 Präzision und Verfügbarkeit von Messungen	21
4.3.1 Messgenauigkeit der Radialgeschwindigkeit	21
4.3.2 Datenverfügbarkeit	21
4.3.3 Maximale Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit	21
4.4 Prüfverfahren	22
4.4.1 Validierung der Radialgeschwindigkeitsmessung	22
4.4.2 Vergleichsversuche mit anderen Geräten	24
4.4.3 Validierung der maximalen Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit	25
5 Festlegung von Genauigkeitsklassen	27
6 Messplanung und Installationsanweisungen	27
6.1 Anforderungen an den Einsatzort	27
6.2 Störungen	27
6.3 Wartung und Funktionsprüfung	28
6.3.1 Allgemeines	28
6.3.2 Wartung	28
6.3.3 Funktionsprüfung	28
6.3.4 Unsicherheit	28
Anhang A (informativ) Typische Anwendungsbereiche und entsprechende Anforderungen	30
Anhang B (informativ) Erfassen des Windvektors	31
B.1 Allgemeines	31
B.2 Das Koordinatensystem	31
B.3 Horizontaler Windvektor	32
B.4 Radialgeschwindigkeit	32
B.5 Erfassen des Windvektors	33

Anhang C (informativ) Anwendungen	35
C.1 Windenergie	35
C.2 Überwachung von Windgefahren bei der Wetterprognose für die Luftfahrt	36
C.2.1 Scherwind.....	36
C.2.2 Anforderungen an die Abtastung von Wirbelschleppen hinter Flugzeugen.....	37
C.2.3 Hemmnisse zum Standort	38
Literaturhinweise	39

Nationales Vorwort

ISO 28902-2 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 146 „Air quality“, Unterkomitee SC 5 „Meteorology“, in der Arbeitsgruppe WG 6 „Lidar“ erarbeitet. Die Obmannschaft liegt bei Frankreich und das Sekretariat liegt 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 (KRdL) im VDI und DIN — Normenausschuss maßgeblich beteiligt.

Das in der vorliegenden Norm beschriebene Verfahren basiert auf der Richtlinie VDI 3786 Blatt 14 (siehe auch Literaturhinweise im Nationalen Anhang).

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

ISO 5725-1 siehe DIN ISO 5725-1

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

- Teil 1: *Bodengebundene Fernmessung der Sichtweite mit Lidar*
- Teil 2: *Bodengebundene Fernmessung des Windes mittels gepulstem, mit Überlagerungsempfang arbeitendem Doppler-Lidar*

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

Folgende DIN-Normen und VDI-Richtlinien zu Fernmessverfahren für die Überwachung der Luftqualität sind bereits erschienen:

DIN ISO 28902-1, *Luftqualität — Umweltmeteorologie — Teil 1: Bodengebundene Fernmessung der Sichtweite mit Lidar*

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

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

DIN ISO 5725-1, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Meßverfahren und Meßergebnissen — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe*

VDI 3786 Blatt 11, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung des Windvektors und der Vertikalstruktur der Grenzschicht — Dopplersodar*

VDI 3786 Blatt 14, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung des Windvektors — Doppler-Wind-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 3786 Blatt 20, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags — Wetterradar*

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

Folgende VDI-Richtlinien sind in Vorbereitung:

VDI 3786 Blatt 1.1, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung von meteorologischen Parametern — Grundlagen*

VDI 3786 Blatt 19, *Umweltmeteorologie — Bodengebundene Fernmessung von meteorologischen Parametern — Partikelrückstreu-Lidar*

Luftqualität — Umweltmeteorologie — Teil 2: Bodengebundene Fernmessung des Windes mittels gepulstem, mit Überlagerungsempfang arbeitendem Doppler-Lidar

Einleitung

Lidarsysteme (engl.: “Light Detection And Ranging”) – steht im Anwendungsbereich dieses Dokuments für Lidarsysteme in der Atmosphäre – haben sich in der Praxis für folgende Bereiche bewährt: die Fernmessung von Luftverunreinigungen, die Messung verschiedener meteorologischer Parameter, wie z.B. Wind, Verteilung und Zusammensetzung von Wolken und Aerosolen, Partikelform und Gaskonzentration, sowie von optischen Eigenschaften der Atmosphäre, wie z.B. Sichtweite, Extinktion und Rückstreuung. Eine Besonderheit der Lidarverfahren besteht darin, dass sie orts aufgelöste Fernmessungen ermöglichen. Da elektromagnetische Strahlung zur Sondierung benutzt wird, sind die Messungen berührungslos und in beliebige Richtungen möglich. Lidarsysteme 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

Es gibt mehrere Verfahren, um zur Bestimmung des atmosphärischen Windes Lidarsysteme zu verwenden. Die drei üblicherweise eingesetzten Verfahren arbeiten mit kohärenten Doppler-Windlidarsystemen, Direkttempfang-Doppler-Windlidarsystemen oder Resonanz-Doppler-Windlidarsystemen (häufig bei Messungen mit mesosphärischen Natrium-Lasern verwendet).

Dieser Teil der ISO 28902 beschreibt die Verwendung von gepulsten, mit Überlagerungsempfang arbeitenden Doppler-Lidarsystemen.

1 Anwendungsbereich

In diesem Teil der ISO 28902 werden Anforderungen und Leistungsprüfverfahren an die gepulste, mit Überlagerungsempfang arbeitende Doppler-Lidartechnik festgelegt und die Vorteile und Grenzen des Verfahrens vorgestellt. Die Nutzung des Begriffs "Doppler-Lidar" erfolgt in diesem Dokument nur für die Verwendung gepulster, mit Überlagerungsempfang arbeitender Doppler-Lidarsysteme zur Windmessung in der freien Atmosphäre. Die Beschreibung der Leistungsfähigkeit und Grenzen erfolgt auf Basis von atmosphärischen Normalbedingungen.

In diesem Teil der ISO 28902 wird die Bestimmung der Strahlachsen-Windgeschwindigkeit (Radialwindgeschwindigkeit) beschrieben.

Dieser Teil der ISO 28902 behandelt nicht die Ermittlung des Windvektors.

Dieser Teil der ISO 28902 kann für folgende Anwendungsbereiche eingesetzt werden:

- Wetterberatung, z. B. für Flüge, Flughafensicherheit, Marineeinsätze, Ölplattformen;
- Windkraftausbeute, z. B. Anlagenbewertung, Bestimmung der Leistungskennlinien;
- Routinemessungen von Windprofilen an meteorologischen Stationen;
- Überwachung der Luftverschmutzungsausbreitung;
- industrielles Risikomanagement (direkte Datenüberwachung oder durch Aufnahme in die mikroskaligen Strömungsmodelle);
- Austauschprozesse (Treibhausgasemissionen).

Dieser Teil der ISO 28902 wendet sich an Hersteller von gepulsten, mit Überlagerungsempfang arbeitenden Doppler-Lidarsystemen sowie an Institute, die die Konformität der Systeme prüfen und zertifizieren. In diesem Dokument werden auch Empfehlungen für den adäquaten Einsatz dieser Geräte durch den Anwender gegeben.

2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

2.1

Datenverfügbarkeit

Verhältnis der aktuell betrachteten Messdaten mit einer vorher festgelegten Datenqualität dividiert durch die Zahl der erwarteten Messdaten während einer vorgegebenen Messdauer

2.2

angezeigte Entfernungsauflösung

konstantes Intervall zwischen den Zentren von zwei aufeinanderfolgenden Entfernungsintervallen

Anmerkung zum Begriff: Die angezeigte Entfernungsauflösung ist ebenfalls die Größe eines Entfernungsintervalls auf dem Display. Sie ist durch die Breite des Entfernungsintervalls und die Überlappung von aufeinanderfolgenden Intervallen festgelegt.

2.3

effektive Entfernungsauflösung

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

2.4

effektive zeitliche Auflösung

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

2.5**Extinktionskoeffizient** α

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

2.6**Integrationszeit**

benötigte Zeit, um die Strahlachsen-Windgeschwindigkeit abzuleiten

2.7**maximal Erfassungsreichweite** R_{MaxA}

maximale Reichweite bis zu der das Lidarsignal aufgenommen und verarbeitet wird

Anmerkung zum Begriff: Sie hängt von der Anzahl der Erfassungspunkte und der Abtastfrequenz ab.

2.8**geringste Erfassungsreichweite** R_{MinA}

geringste Reichweite bis zu der das Lidarsignal aufgenommen und verarbeitet wird

Anmerkung zum Begriff: Falls die geringste Erfassungsreichweite nicht angegeben ist, wird sie mit Null angenommen. Sie kann sich von Null unterscheiden, wenn der Empfang während der Pulsaussendung „blind“ ist.

2.9**maximale Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit** R_{MaxO}

maximale Reichweite, bei der eine gesicherte Windgeschwindigkeit von dem Lidarsignal abgeleitet werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die maximale Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit ist kleiner oder gleich der maximalen Erfassungsreichweite.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die maximale Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit ist entlang einer für die Anwendung definierten Achse festgelegt. Sie wird vertikal für vertikal ausgerichtete Wind-Profiler gemessen. Sie wird horizontal für abtastende Lidargeräte gemessen, die in der Lage sind, in der gesamten Hemisphäre zu messen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die maximale Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit kann durch Anhebung der Messdauer und/oder Verkleinerung der Entfernungsauflösung vergrößert werden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Die maximale Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit hängt von den Lidarparametern aber auch von den atmosphärischen Bedingungen ab.

2.10**Messdauer**

Zeitintervall zwischen der ersten und der letzten Messung

2.11**kleinste Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit** R_{MinO}

kleinste Reichweite, bei der eine gesicherte Windgeschwindigkeit von dem Lidarsignal abgeleitet werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die kleinste Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit wird auch als „Blindreichweite“ bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei gepulsten Lidarsystemen wird die kleinste Reichweite zur Ableitung der Windgeschwindigkeit durch das Streulicht im Lidarsystem während der Pulsaussendung durch die Tiefenschärfe oder durch die Schaltzeit des Detektors beim Senden/Empfangen eingeschränkt. Dies kann von der Pulsdauer (T_p) und der Breite des Entfernungsintervalls (RGW; engl.: range gate width) abhängen.

2.12**physikalische Entfernungsauflösung**

Halbwertsbreite (FWHM; engl.: full width at half maximum) der Entfernungsgewichtungsfunktion

2.13**Entfernungsintervall**

Proportional zur Breite (FWHM) der Gewichtungsfunktion, bei der die Punkte in den Zeitfolgen für die spektrale Auswertung und Windgeschwindigkeitsberechnung ausgewählt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messdistanz bezieht sich auf die Mitte des Entfernungsintervalls.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Entfernungsintervall ist festgelegt durch die Zahl der diskreten Abschnitte oder äquivalenter Abstände bei dem Entfernungsintervall.

2.14

Entfernungsauflösung

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

2.15

Entfernungsgewichtungsfunktion

Gewichtungsfunktion der Radialwindgeschwindigkeit entlang der Strahlachse

2.16

zeitliche Auflösung

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

2.17

systematische Geschwindigkeitsabweichung

maximaler Geräte-Offset bei Geschwindigkeitsmessungen

Anmerkung zum Begriff: Die systematischen Geschwindigkeitsabweichungen sollten durch entsprechende Kalibrierung, z. B. an einem festen Ziel, minimiert werden.

2.18

Geschwindigkeitsbereich

Bereich, festgelegt durch die geringste messbare Windgeschwindigkeit, durch die maximal messbare Windgeschwindigkeit und durch die Bedingung, das Geschwindigkeitsvorzeichen eindeutig zu messen

Anmerkung zum Begriff: Abhängig von der Lidaranwendung kann der Geschwindigkeitsbereich anhand der Radialwindgeschwindigkeit (abtastendes Lidar) oder anhand der horizontalen Windgeschwindigkeiten (Wind-Profiler) festgelegt sein.

2.19

Geschwindigkeitsauflösung

gerätebezogene Standardabweichung der Geschwindigkeit

Anmerkung zum Begriff: Die Geschwindigkeitsauflösung hängt von der Pulsdauer, dem Träger-Rausch-Verhältnis und der Integrationszeit ab.

2.20

Scherwind

Änderung der Windgeschwindigkeit über einer Ebene senkrecht zur Windrichtung

3 Grundlagen von gepulsten, mit Überlagerungsempfang arbeitenden Doppler-Lidarsystemen

3.1 Übersicht

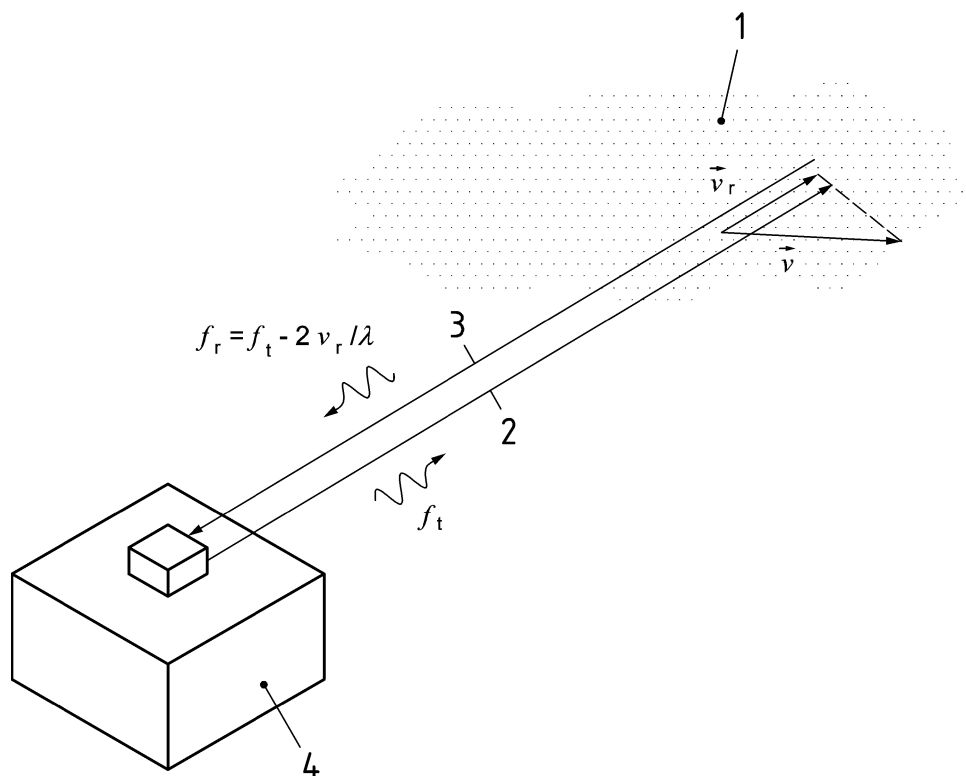
Ein gepulstes Doppler-Lidarsystem sendet einen schmalen Laserpulsstrahl aus (siehe Bild 1). Da sich dieser in der Atmosphäre ausbreitet, wird die Laserstrahlung an den Partikeln (Aerosolen), die vermeintlich mit dem Wind getragen werden, in alle Richtungen gestreut. Ein Teil dieser Streustrahlung wird zum Lidar zurückgestreut. Dieser Anteil wird vom Teleskop erfasst, detektiert und analysiert. Die Analyse zielt darauf ab, die Differenz Δf zwischen den Frequenzen f_t des ausgesandten Laserpulses und f_r des zurückgestreuten Lichts zu messen. Nach der Doppler-Gleichung (Gleichung (1)) ist diese Differenz proportional zu der Strahlachsen-Windkomponente:

$$\Delta f = f_r - f_t = -2v_r / \lambda \quad (1)$$

Dabei ist

λ die Laserwellenlänge;

v_r die Strahlachsen-Windkomponente (Komponente des Windvektors $\vec{v}$ entlang der Achse des Laserstrahls; mit positivem Vorzeichen, wenn der Wind vom Lidarsystem weg weht).



Legende

- 1 vom Wind getragene zurückstreuende Partikel
- 2 Optischer Strahlengang des ausgesandten Laserpulses (Laserstrahl)
- 3 Optische Achse des Empfängers
- 4 Lidar

Bild 1 — Schematische Darstellung zum Messverfahren eines gepulsten, mit Überlagerungsempfang arbeitenden Doppler-Lidarsystems: Ein Laserpuls wird ausgesandt und breitet sich in der Atmosphäre aus. Die Partikeln streuen das Laserlicht in alle Richtungen. Das zurückgestreute Licht wird durch eine Antenne erfasst, detektiert und analysiert. Die Analyse zielt darauf ab, die Doppler-Frequenzverschiebung vom ausgesandten zum empfangenen Licht zu messen. Die Doppler-Verschiebung ist proportional zu der Strahlachsen-Windkomponente.

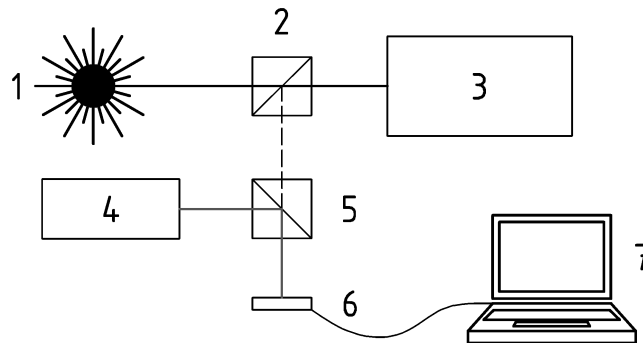
Die Messung ist entfernungs aufgelöst, da die zur Zeit t empfangene zurückgestreute Strahlung nach der Aussendung des Laserpulses vom Lidar zu den Aerosolen (in der Entfernung x) und zurück zum Lidar mit Lichtgeschwindigkeit c gelaufen ist. Gleichung (2) zeigt, dass die Entfernung proportional zur Zeit ist.

$$x = c \cdot \frac{t}{2} \quad (2)$$

3.2 Überlagerungsempfang

In einem gepulsten, mit Überlagerungsempfang arbeitenden Lidar erfolgt der Empfang der Strahlung über die Antenne (bei der Frequenz $f_r = f_t + \Delta f$) nach dem in Bild 2 vorgestellten Schema. Das empfangene Licht wird mit dem Strahl eines äußerst frequenzstabilen, kontinuierlich emittierenden Lasers, eines sogenannten „lokalen Oszillators“ überlagert. Die Summe der beiden elektromagnetischen Wellen – zurückgestreute und die vom lokalen Oszillator – wird mithilfe eines Quadratur-Detektors in ein elektrisches Signal konvertiert; hierbei wird eine elektrische Signalstromstärke erzeugt, die proportional zur Leistung der elektromagnetischen

Welle ist, die die aktive Oberfläche des Detektors beleuchtet. Ein analoger Hochpass-Filter eliminiert anschließend die Signalanteile mit niedrigen Frequenzen.



Legende

- Optischer Weg des ausgesandten Laserpulses (Strahlung bei der Frequenz f_t)
- - - - - Optischer Weg des empfangenen Lichts (Strahlung bei der Frequenz $f_t + \Delta f$)
- Laserstrahl des lokalen Oszillators (Strahlung bei der Frequenz f_{lo})
- 1 Laser
- 2 Optisches Element, das das empfangene und ausgesandte Licht trennt
- 3 Teleskop (benötigt für Aussendung und Empfang)
- 4 Laser als lokaler Oszillator (kontinuierlich emittierender Laser)
- 5 Optisches Element zur Ausrichtung des Strahls des lokalen Oszillators entlang der optischen Achse des empfangenen Lichts
- 6 Quadratur-Detektor
- 7 Analog-digital-Wandler und Verarbeitungseinheit für die digitalen Signale

Bild 2 — Schematische Darstellung des Überlagerungsempfangs

Daraus resultiert ein Strom $i(t)$ bei der Radiofrequenz $f_t + \Delta f - f_{lo}$

$$i(t) = 2 \cdot \underbrace{\frac{\eta \cdot e}{h \cdot f_t} \cdot K \cdot \xi(t) \cdot \sqrt{\gamma(t) \cdot P_r(t) \cdot P_{lo}} \cdot \cos(2\pi(\Delta f + f_t - f_{lo}) \cdot t + \phi(t))}_{i_{het}(t)} + n(t) \quad (3)$$

Dabei ist

- t die Zeit;
- η die Quantenausbeute des Detektors;
- e die elektrische Ladung eines Elektrons;
- h das Planck'sche Wirkungsquantum;
- K die Gerätekonstante, die die Übertragungsverluste durch den Empfänger berücksichtigt;
- $\xi(t)$ die zufallsbedingte Modulation der Signalamplitude durch den "Speckle Effekt" (siehe 3.5.2);
- $\gamma(t)$ der Überlagerungswirkungsgrad;
- $P_r(t)$ die Leistung des zurückgestreuten Lichts;
- P_{lo} die Leistung des lokalen Oszillators;
- f_{lo} die Frequenz des lokalen Oszillators;
- $\phi(t)$ die zufallsbedingte Phase;
- $n(t)$ das weiße Empfangsrauschen;
- $i_{het}(t)$ das Überlagerungssignal.

Der Überlagerungswirkungsgrad $\gamma(t)$ ist ein Maß für die Qualität der optischen Überlagerung des zurückgestreuten Lichts und der Wellenfelder des lokalen Oszillators auf der Empfängeroberfläche. Er kann den Wert 1 nicht übersteigen. Für einen guten Überlagerungswirkungsgrad werden eine sorgfältige Bemessung und eine Ausrichtung des lokalen Oszillators auf die zurückgestreuten Wellen benötigt. Optimale Überlagerungsbedingungen werden im Literaturhinweis [1] behandelt. Der Überlagerungswirkungsgrad ist nicht eine reine Gerätefunktion sondern hängt auch von der turbulenten Änderung des Brechungsindex (Cn^2) entlang des Laserstrahls ab (siehe Literaturhinweis [2]). Eine starke turbulente Änderung des Brechungsindex erniedrigt den Überlagerungswirkungsgrad.

In Gleichung (4) wird $P_r(t)$ als momentane Leistung des zurückgestreuten Lichts wiedergegeben. Dies resultiert aus der Lidargleichung (siehe Literaturhinweis [1])

$$P_r(t) = A \cdot \int_0^{+\infty} x^{-2} \cdot O(x) \cdot g\left(t - \frac{2x}{c}\right) \cdot \beta(x) \cdot \tau^2(x) dx \quad (4)$$

mit

$$\tau(x) = \exp\left(-\int_0^x \alpha(\zeta) d\zeta\right)$$