

Die THERMIK SICHTBAR gemacht

Neue Einsichten in
die Struktur der Aufwinde

In den letzten 20 Jahren gelang es in der Meteorologie, durch neue Messtechniken eine Reihe neuer Erkenntnisse zu gewinnen.

Leider ist festzustellen, dass der Wissenstransfer aus der Forschung in die Breite des Segelflugs nicht so richtig passiert ist. So entstand die Idee, Neues zur Thermik aus Forschungsarbeiten herauszuarbeiten und in loser Folge im [magazin segelfliegen](#) darzustellen. Die Artikelserie behandelt die Vorgänge in der sogenannten konvektiven Grenzschicht, in der sich das motorlose Fliegen meistens abspielt.

AUTOREN: CHRISTOPH KOTTMEIER UND DETLEF MÜLLER, BILD: JAN GEORGI



Fliegen im gleichen Aufwind beim Wettbewerb Wetzlarer Woche

Thermikauslösung in der bodennahen Schicht – wird dabei die Rechnung ohne den Wind gemacht? Die Ursache für Thermik, also ausfliegbare Aufwinde, liegt bekanntlich im Auftrieb, den „Luftpakete“ erfahren. Wichtig ist dabei – nach dem Archimedischen Prinzip –, dass sie eine geringere Dichte als die seitlich umgebende Luft haben. Neben Temperaturunterschieden sind auch Wasserdampf-Unterschiede mit Dichteunterschieden verbunden. Am Boden ist es an Strahlungstagen in

der Regel eine höhere Temperatur, die die Dichteunterschiede verursacht. Mit der Höhe nimmt – aufgrund des abnehmenden Luftdrucks – grundsätzlich die Dichte ab. Nur bei einer sehr starken Temperaturabnahme mit der Höhe von mehr als 3,4 Grad Celsius/100 m befindet sich leichtere Luft unter schwererer. Dass dieses gelegentlich auftreten kann, ist an Luftspiegelungen, etwa über überhitzten Asphaltflächen, zu beobachten. Bei dieser sehr instabilen Schichtung genügen sehr kleine Störungen, um einen Austausch der leichteren bodennahen Luft mit der

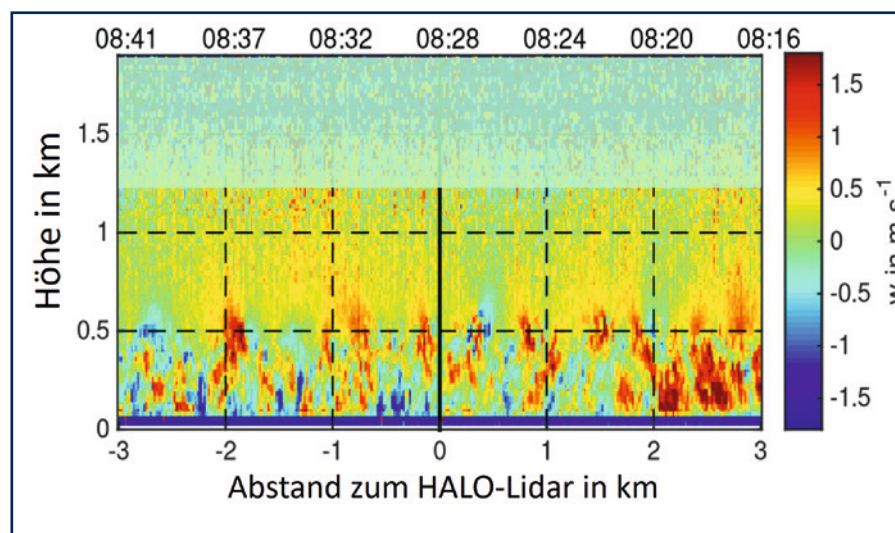
schwereren darüber auszulösen. Das können, wie manchmal berichtet wird, bewegende Fahrzeuge oder auch ein Windenstart selbst sein.

Auch rein thermische Auslösung ist möglich, wenn in Bodennähe eine trockenlabile Schichtung vorliegt, d. h. die Umgebungstemperatur um 1 Grad Celsius/100 m oder mehr mit der Höhe abnimmt. Ein stärker erwärmtes Luftpaket, das durch seinen Auftrieb etwas angehoben wurde, erfährt durch seine trockenadiabatische Abkühlung zunächst weiteren Auftrieb. Leichtere Luft neben schwererer entsteht vor allem durch eine

räumlich unterschiedliche Erwärmung des Bodens, und damit der bodennahen Luft Da die Luft von der Erdoberfläche – mit Unterschieden in Bewuchs, Bodenfeuchtigkeit, mit Wasserflächen und Bebauung – sehr unterschiedlich mit Wärme und Wasser versorgt wird, werden sich kleinräumig auch im Flachland immer unterschiedlich warme und feuchte Luftmassen nebeneinander entwickeln. Die leichteren werden nach oben beschleunigt, solange sie nicht in eine Umgebung mit Luft gleicher Dichte vorstoßen. Ab dann trägt sie ihr Schwung noch etwas höher, aber bei stabiler Schichtung – spätestens an Inversionen – werden sie aktiv gebremst.

Durch Feuchtezufuhr vom Boden oder Wasserflächen in die Luft durch Verdunstung wird Strahlungsenergie umgewandelt und weggeführt, die Erwärmung der Erdoberfläche und der bodennahen Luft fällt geringer aus. Dies dämpft die Thermikauslösung über feuchten Flächen. Der Auftriebsbeitrag des höheren Wasserdampfgehalts kann das nicht verhindern. Die Bedeutung dieser Aussage wird klar, wenn man die Dichteänderung durch Erwärmung bzw. Feuchtezufuhr grob vergleicht: Bei Normaldruck am Boden (1013 hPa) entspricht die Dichteabnahme bei einer Erhöhung der relativen Feuchte um 40 % der bei einer Temperaturerhöhung um 1 Grad Celsius. Messungen an meteorologischen Masten über Landflächen zeigen, dass horizontale Lufttemperaturunterschiede am Boden von mehr als einem Grad Celsius eher angetroffen werden als Feuchteunterschiede von mehr als 40 %. Für die Aufwindbildung am Boden ist in der Regel die Temperatur also der entscheidende Faktor.

Eine Hebung kann auch durch Hinderisüberströmung oder durch Konvergenz des horizontalen Windes verursacht werden. Da die aufsteigenden Luftpakete aus der überhitzten bodennahen Luftschicht („überadiabatischen Schicht“) stammen, haben sie im Falle



1 Vertikalgeschwindigkeiten, gemessen mit einem dritten Lidar am Standort o (Bild 2). Auf Basis der bekannten horizontalen Windgeschwindigkeit wurde aus der zeitlichen Abfolge zwischen 08:16 Uhr bis 08:41 Uhr GMT die räumliche Verteilung bestimmt. Messungen oberhalb von 1,3 km sind durch zu geringes Rückstreusignal nicht auswertbar

der trockenlabilen Schichtung zunächst gute Chancen aufzusteigen. Gleichzeitig muss benachbart kältere/trockenere Luft absinken, da die Gesamtmasse erhalten bleibt. Die aufsteigenden und absinkenden „Luftpakete“ können als Bestandteile von Wirbeln verstanden werden. Diese Wirbel sind räumlich und zeitlich nicht konstant, sondern überlagert und ständigem Zerfall unterworfen, was auch als Turbulenz bezeichnet wird. Insgesamt entwickelt sich auf diese Weise bodennah ein buntes Turbulenztreiben mit vielen kleinen Wirbeln verschiedener Größe. Diese Wirbel werden in ihrer Größe vor allem auch durch die nahe Erdoberfläche begrenzt, mit Wirbeldurchmessern nicht größer als der Abstand zum Boden. Da die kleinen Wirbel besonders durch Einmischung von Umgebungsluft in ihrem Randbereich beeinflusst werden, können viele nicht „überleben“.

Jeder Thermikflieger weiß, dass ausfliegere Aufwinde eine gewisse Mindestgröße von einigen hundert Metern

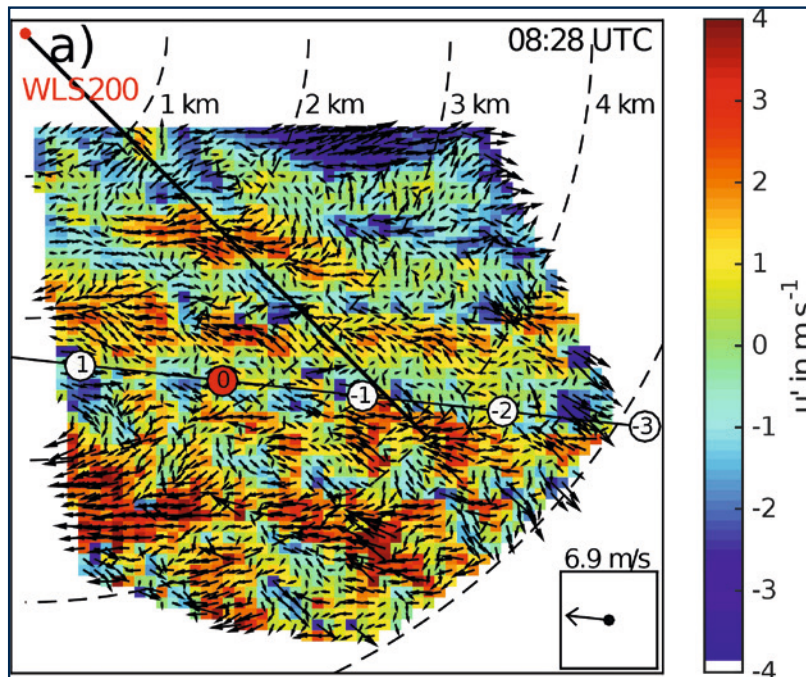
Durchmesser besitzen müssen. Für die thermische Auslösung von Aufwinden ist deshalb am Boden ein Nebeneinander von größeren Flächen, die sich homogen aufheizen oder abkühlen – also z. B. Wasserflächen, trockene Äcker oder Wälder – förderlich.

Außer dieser Heterogenität der Erdoberfläche ist auch das Zusammenwachsen kleinerer Aufwinde zu wenigen größeren ein entscheidender Prozess, der auch noch Gegenstand aktueller Forschung ist.

Jetzt wollen wir aber auf die abseits der Forschung weniger bekannten besonderen Windstrukturen in Bodennähe eingehen, also auf „geordnete Turbulenzstrukturen“, die bei mäßigem und stärkerem Wind ähnlich wichtig wie die Dichteunterschiede für die Thermikauslösung sein können.

Kohärente Strukturen im Windfeld, mit Lidar sichtbar gemacht

Mit Messungen eines Windlidars senkrecht nach oben an einem festen Ort lassen sich zeitgleich in allen Höhen die



2 Beispiel für Streifenstrukturen im bodennahen Wind, bestimmt aus zwei Windlidargeräten mit überlappendem Messgebiet. Dargestellt sind Windvektoren (als Abweichung vom mittleren Wind, Referenzpfeil rechts unten) in ca. 20 m Höhe am 08. April 2013 in einem etwa 4,5 x 4,5 km² großen Gebiet bei Jülich. Die Farben geben die Geschwindigkeitsabweichungen, die Pfeile ihren Betrag und Richtung an

Vertikalwinde messen. Die Daten (als Beispiel **Bild 1**) machen die Auf- und Abwinde sichtbar, die mit dem Wind über den Messort geführt werden. Sie reichen bei diesen Messungen am Vormittag bis ca. 1200 m Höhe, in schwacher Form bis über 1500 m Höhe. Die Aufwinde erreichen bis zu +1,5 m/s und Abwinde bis zu -1,5 m/s. Ihre Form ist sehr variabel und unterschiedlich. Ebenfalls durch Windlidarmessungen, aber auch numerische Strömungssimulationen wurden in den letzten Jahrzehnten neue Einsichten in „kohärente“ Turbulenz-Strukturen im bodennahen Wind gewonnen. Man nennt sie kohärent, wenn sich die Luft nicht nur ganz zufällig turbulent bewegt, sondern in einer gewissen Ordnung und mit wiederkehrenden ähnlichen Mustern der drei Windkomponenten (Vertikalwind und die zwei horizontalen Komponenten in Nord-Süd- und Ost-West-Richtung).

In der Vergangenheit wurden mit mehreren Messmasten bereits solche kohärenten Windstrukturen festgestellt. Instrumentierte Masten liefern aller-

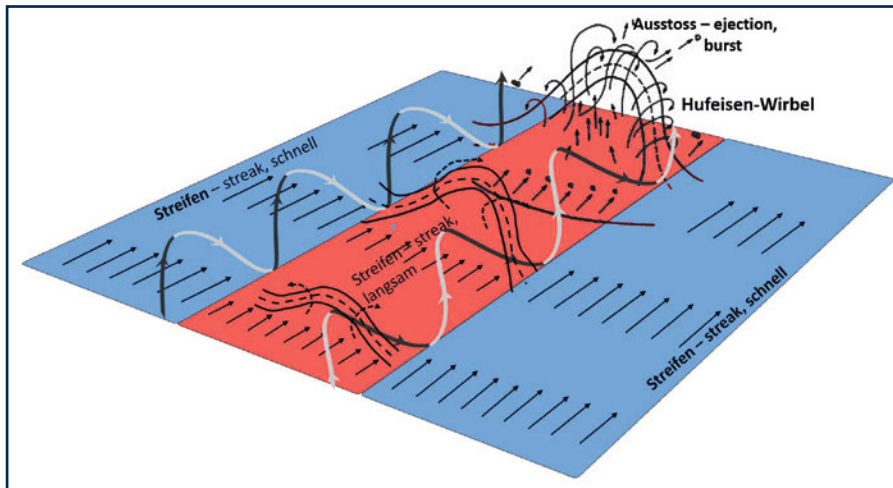
dings immer nur Daten an einem Ort, allenfalls noch Unterschiede in der aktuellen Richtung des Windes, da die Luft ja „vorbeischwimmt“.

Frühere Messungen zeigten bereits, dass das Lösen der Aufwinde aus der überadiabatischen Schicht häufig in sogenannten „Auswürfen“ (englisch „ejections“) erfolgt: in einer besonderen Wirbelstruktur mit Haarnadel- oder Hufeisen-ähnlichen Wirbeln („hairpin“ oder „horse-shoe“), mit einem Kopfbereich, der mit dem Wind nach vorn geneigt ist. Stromauf davon wird in einem Mitnahme- oder Wischeffekt („sweeps“) Luft von oberhalb in Bodennähe geführt.

Jüngere umfangreiche Messungen konnten auch alternierende Streifen (englisch „streaks“) höherer und geringerer Windgeschwindigkeit belegen. Träumner und Damian führten mit drei Windlidargeräten Messungen zu Streifenstrukturen in der Nähe von Jülich durch. Hierbei deckten die Lidarstrahlen in den untersten 20 m ein gemeinsames Überlappungsgebiet ab. Aus den Daten konnten beide horizon-

tale Komponenten des Windes mit einem Messpunktabstand von 80 m kontinuierlich über 12 komplette Tage im April 2013 aufgenommen werden. Deutlich erkennbar sind die abwechselnden Streifen höherer und geringerer Windgeschwindigkeit (**Bild 2**). Aneinandergrenzende Windstreifen dieser Art sind in Verbindung mit rollenähnlichen Zirkulationen zu erklären, wobei die Rollen in Windrichtung ausgerichtet und die Zirkulationen quer zum Wind. Durch die – allerdings schwachen – Abwinde wird Luft höherer Geschwindigkeit in Bodennähe geführt und führt dort zu einem Streifen mit vergrößerter Windgeschwindigkeit.

Die Streifen geringerer Geschwindigkeit liegen dagegen im Bereich der Aufwinde der Rollen. In solchen Situationen würden dann die größeren Konvektionsrollen der thermisch durchmischten Schicht oberhalb – die bei Cumulusbewölkung als Wolkenstraßen sichtbar werden – bereits in der bodennahen Schicht angestoßen. Die Streifen mit geringerer Windgeschwin-



3 Konzeptionelles Bild zu den im Artikel dargestellten kohärenten Strukturen im bodennahen Windfeld, Entwurf aus einer Reihe von Publikationen zu Hufeisen- und Haarnadelwirbeln, „ejections“ und „sweeps“ sowie den in Windrichtung nebeneinander liegenden Streifen („streaks“) im Horizontalwind

digkeit stehen offensichtlich in Verbindung mit den genannten Hufeisenwirbeln, von denen die stärksten direkt mit dem Ablösen eines Aufwindes („ejections“) aus der überhitzten Schicht verbunden sind (**Bild 3**).

Ein plausibles, vereinfachtes Bild all dieser Windstrukturen ist in **Bild 3** skizziert. Es verdeutlicht, wie die mit Lidar beobachteten Streifenstruktur im Wind durch die schwache Rollenstruktur erklärt werden kann und wie sich in dem Streifen geringerer Geschwindigkeit hufeisenförmige Wirbel aufbauen, die zu den Ablösungen („ejections“ bzw. „bursts“) der Aufwinde führen.

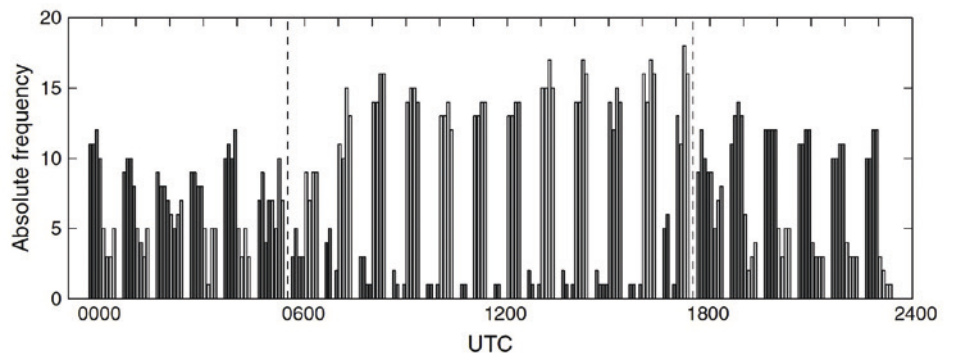
Die Häufigkeit der Streifen im Windfeld wurde mit Hilfe der Lidar-Daten gezählt (**Bild 4**). Demnach treten sie auch nachts bei stabiler und bei indifferenter Schicht auf, sind aber bei labiler Schichtung in der bodennahen Luftschicht am häufigsten. Das deutet darauf hin, dass sie dynamisch durch den Wind, seine Reibung an der Erdoberfläche und Scherung – also über eine dynamische Instabilität – verursacht werden. Wenn vorhanden, beeinflussen sie dann ihrer-

seits die Aufwindauslösung. Durch die in Windrichtung langgezogene Struktur wird dann viel Luft aus dem Nachlauf und der Umgebung einbezogen, was die Thermikauslösung verstärken oder abschwächen kann.

Obwohl die Bewegungsvorgänge in den untersten 20 m äußerst komplex und keineswegs ganz verstanden sind, können dennoch auch praktische Aussagen für das thermische Segelfliegen abgeleitet werden:

- Bei schwachem Wind sind die bekannten Erwärmungsunterschiede am Boden und die Kontraste unterschiedlicher warmer Flächen entscheidend. Störungen von „außen“ können die Auslösung beeinflussen.
- Im Flachland bilden sich unter Windeinfluss oft bodennah die genannten kohärenten Strukturen aus und beeinflussen auch Ort und Zeitpunkt der Auslösung der Thermik. Hierbei werden die lokalen Erwärmungsunterschiede überdeckt. In Windrichtung orientierte Windleitbahnen und wärmere Flächen dürften die Lage der Strukturen beeinflussen.
- Die bekannten Strömungshindernisse wie Waldkanten, Siedlungen und Hügel bleiben für beide Arten von Thermikauslösung wichtig.

Mit den neuen bodennahen Lidardaten lässt sich aber noch nicht die Frage beantworten, wie genau sich die größeren Aufwinde oberhalb der bodennahen überadiabatischen Schicht entwickeln. Die beschriebenen Thermikauslösungen in den untersten 20 bis 30 m sind häufig zu schwach, dass weitere Vorgänge benötigt werden, um ihr Zusammenwachsen mit der Höhe zu starken nutzbaren Aufwinden zu erklären. Auf diese Frage wird in einem folgenden Artikel eingegangen. ♦

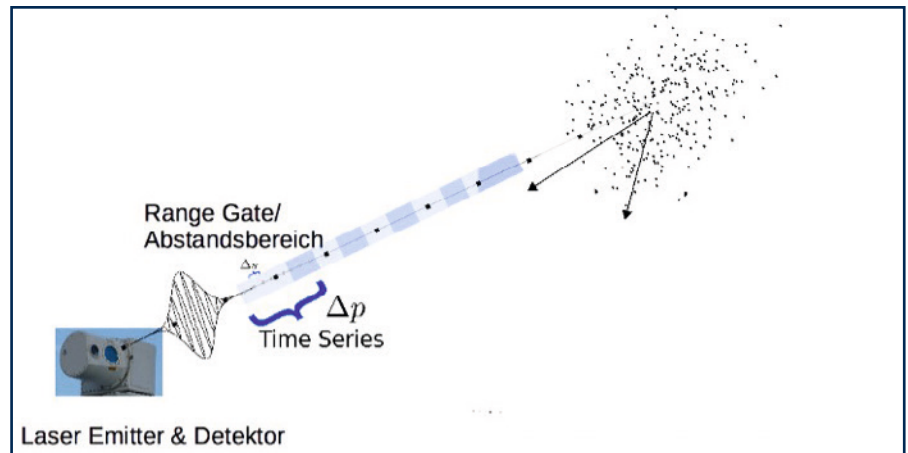


4 Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit beobachteter (graue Balken) und fehlender (schwarze Balken) kohärenter Strukturen. Daten vom 04 April bis 23. Mai 2013

Hintergrund der Wind-Lidarmessung

AUTOR: CHRISTOPH KOTTMEIER

1 Schema der Windmessung mit Lidar. Das Lidar sendet einen Laserpuls der Länge Δp aus, welcher an Aerosolen entlang des Strahls teilweise zurückgestreut wird. Die zeitabhängige Analyse der Frequenzverschiebung zwischen aus- und eingehendem Signal liefert eine räumliche aufgelöste Windmessung entlang des Strahls (nur Windkomponente in Strahlrichtung)



Die Messung des Winds mittels Wind-Lidar beruht auf Fortschritten in der Entwicklung von LASER-Geräten und Detektoren. Beim Wind-Lidar (LIDAR = Light Detection And Ranging) werden von einem Festkörper-Laser winzige intensive „Lichtblitze“, sogenannte Pulse, erzeugt. Die für diesen Artikel verwendeten Lidare haben Wellenlängen von 1,5 oder 2 Mikrometern und sind somit etwas langwelliger als sichtbares Licht und für das menschliche Auge ungefährlich. Diese Pulse elektromagnetischer Strahlung haben eine Dauer von ca. 300 Nanosekunden, was bei ihrer Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit einer Länge von ca. 80 m entspricht. Der gepulste Lichtstrahl ist stark fokussiert und wird über ein schwenkbares Spiegelsystem (Scanner), auf ca. 15 cm Strahlbreite aufgeweitet.

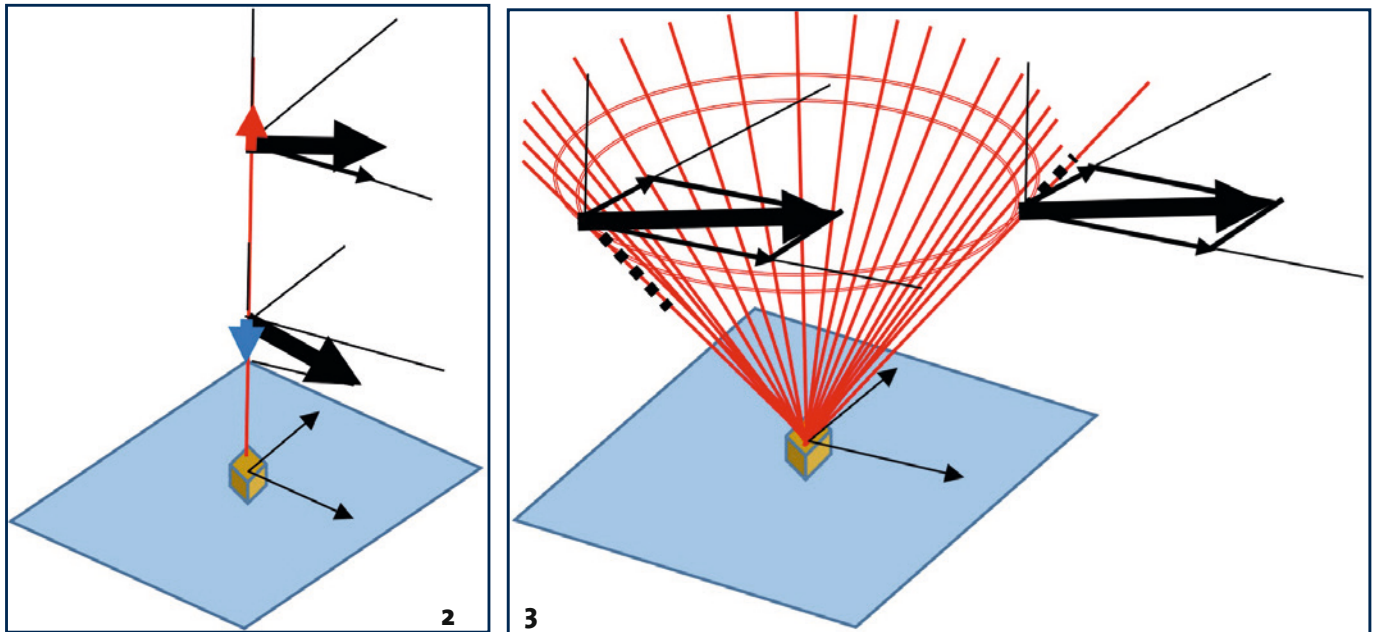
Im Unterschied zum „normalen“ Licht

einer Taschenlampe vergrößert sich die Breite des Laserstrahls mit steigender Entfernung nur sehr wenig. In die Atmosphäre ausgestrahlt trifft die Laserstrahlung auf unsichtbare Schwebeteilchen (Aerosole) in der Luft (**Bild 1**). An diesen Aerosolen wird das Laserlicht in alle Richtungen gestreut, ein kleiner Teil auch zurück zum Sender. Dieses schwache zurückgestreute Licht wird über den Spiegel wieder zurück ins Gerät geführt, dort detektiert und hinsichtlich der Amplitude und Frequenz analysiert.

Von den inzwischen sehr vielen unterschiedlichen Größen, die mit Lidar gemessen werden, interessiert bei Doppler-Lidaren die Windmessung. Sie erfolgt wie bei der Geschwindigkeitskontrolle mit Radar: Die Bewegung des Aerosols in Richtung des Lidars oder von dem Gerät weg bewirkt eine sehr kleine Frequenzverschiebung zwischen

ausgesendeter und rückgestreuter Strahlung. Eine Auswertung dieser sehr kleinen Frequenzverschiebung erlaubt somit eine Messung der Windgeschwindigkeit, da das Aerosol mit dem Wind transportiert wird. Das Streulicht kommt selbst aus 10 km Entfernung innerhalb von 66 Mikrosekunden zurück. Der Ort der Streuung (Abstand vom Lidar) ist durch die gemessene Laufzeit des Lichts über die Lichtgeschwindigkeit berechenbar. Durch eine zeitliche Abtastung des Messsignals erhält man somit eine räumlich aufgelöste Windmessung entlang des Lidarstrahls.

Typischerweise werden Messwerte für ca. 80 m lange und 15 cm breite Luftzylinder längs des Strahls bis zur maximalen Reichweite von ca. 10 km aufgenommen. Da immer nur die Bewegungskomponente des Windes (der Aerosole) in Richtung des Lidar-



2 Ein vertikal abstrahlendes Lidar zur Messung des Vertikalwindes (der Auf- und Abwinde) in verschiedenen Höhen. Es wird jeweils der im Beispiel gezeigte blaue bzw. rote Anteil an Auf-/Abwind des Windvektors gemessen. **3** Ein Lidar schwenkt den Strahl auf einem Kreiskegel und misst dabei in verschiedenen Blickrichtungen die Komponente des Horizontalwindes in Strahlrichtung (gestrichelte Abschnitte). Bei schnellem Scan und konstantem Wind ergibt sich daraus der horizontale Windvektor in verschiedenen Höhen

strahls gemessen werden kann, ist es mit nur einem Lidargerät nicht möglich, den ganzen Windvektor mit seinen drei Komponenten zu messen. Es handelt sich also bei einem Lidargerät um eine eindimensionale Messung entlang einer vorgegebenen Raumrichtung, im Gegensatz zu einer nulldimensionalen (Punkt-)Messung mit einem klassischen Anemometer.

Zur Ausrichtung des Laserstrahls in der Atmosphäre sind Lidarsysteme üblicherweise mit einem Scanner, einem System von Umlenkspiegeln, ausgestattet. Der Scanner lässt sich horizontal und vertikal schwenken, so dass in etwa 10 Minuten der ganze Halbraum über dem Gerät abgescannt werden kann. Innerhalb der ersten 100 bis 400 m (je nach Gerätetyp) können keine Winddaten gewonnen werden. Die erreichbaren Entfernungen für verwertbare Messungen liegen horizontal bei einigen bis zu 10 km, vertikal nur 1 bis 3 km, da

oft die Aerosole als Rückstreuer oberhalb davon fehlen. Wolken dämpfen die Strahlung bereits innerhalb von 100 m bis 200 m Eindringtiefe und verhindern tiefergehende Messungen im Inneren und „hinter“ Wolken.

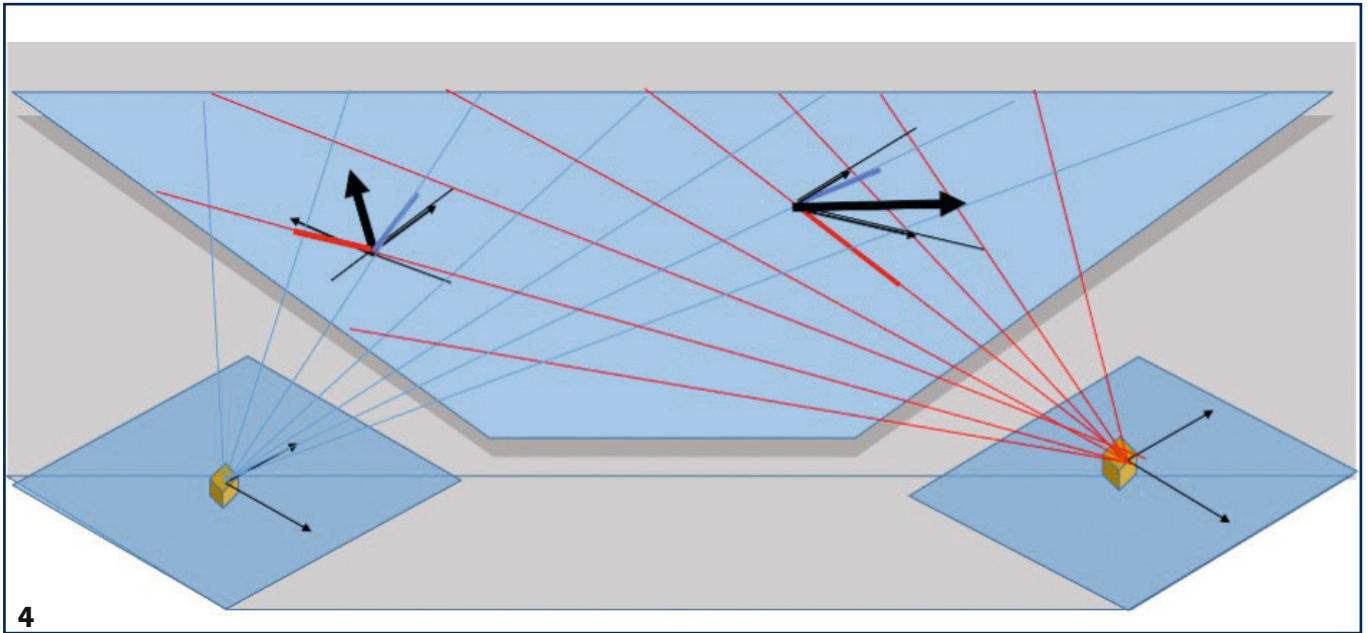
Messgeometrien

Am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-TRO) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) wurden in den letzten Jahren vielseitige Kombinationen von Lidargeräten mit aufwändiger synchroner Steuerung der Scannerbewegungen, Zusammenführung der Daten und Berechnungen des Windes realisiert. Damit können sehr unterschiedliche Fragestellungen der Grenzschichtmeteorologie untersucht werden, für die vorher keine Messmöglichkeit bestand, z. B. Hindernisüberströmungen, Berg-Talwind-Zirkulationen, Böenuntersuchungen bei Starkwind, Wind in Stadtgebieten und

andere. Für die Untersuchung der Konvektion (Thermik) sind die im folgenden vorgestellten Scanmuster besonders wichtig.

Vertikalprofil der Auf- und Abwinde an einem Ort

Hierbei werden die Pulse senkrecht nach oben abgestrahlt, somit liefert das zurückgestreute Signal eine Messung des Vertikalwindes (Auf- und Abwinde) direkt über dem Lidar. Typischerweise kann der Vertikalwind mit einer räumlichen Auflösung von 80 m entlang des Strahls und einer zeitlichen Auflösung von 0,1 s bis einigen Sekunden gemessen werden. Durch Wiederholung der Messungen in kurzen Abständen wird die Vertikalstruktur der Thermik so erfasst, wie sie mit dem mittleren Wind über das Gerät getragen wird (**Bild 2**). Eine Modifikation davon ist die Messung mit einem Lidar aus einem Flugzeug senkrecht nach unten. Hierbei



4 Zwei Lidare messen mit horizontaler Abstrahlrichtung die beiden strahlenparallelen Windkomponenten (dicke rote und blaue Abschnitte im Beispiel) in einem horizontalen räumlichen Überlappungsgebiet. Aus den Messwerten lässt sich der Horizontalwind an den Schnittpunkten berechnen

werden in Flugrichtung aufeinanderfolgende Vertikalprofile gemessen.

Vertikales Profil des Horizontalwindes an einem Ort

Durch Schwenken des Strahls auf einem Kreiskegel-Mantel lässt sich aus allen Messpunkten in der gleichen Höhenschicht der horizontale Wind berechnen, und dann aus allen Höhenschichten ein Vertikalprofil des horizontalen Winds. Dieses Scanmuster benötigt einige Minuten, da für die Auswertung ein horizontal gleichmäßiges Windfeld ohne Turbulenz angenommen werden muss, was nur bei langen Mittelungsdauern ausreichend erfüllt ist (Bild 3).

Räumlich aufgelöster Horizontalwind auf einer Fläche

Durch zwei Lidargeräte in einem Abstand von einigen Kilometern können in einem Überlappungsgebiet

zwei Komponenten des jeweiligen Windvektors aus zwei Richtungen gleichzeitig gemessen werden. Daraus können die Komponenten in Ost-West- sowie Nord-Süd-Richtung berechnet werden. Hierbei schauen die synchronisierten Lidare im Idealfall horizontal und können bis zu ca. 50 km² abdecken (Bild 4).

Vertikale Profile des Horizontal- und Vertikalwindes an beliebigen Orten (virtuelle Masten)

Zwei oder mehr Lidare an verschiedenen Orten können so betrieben werden, dass sich die Laserstrahlen an vorgegebenen Orten und Höhen in einem Überlappungsgebiet kreuzen. Durch mathematische Berechnungen



D-1234

Flugzeugkennzeichen/
Designfolien

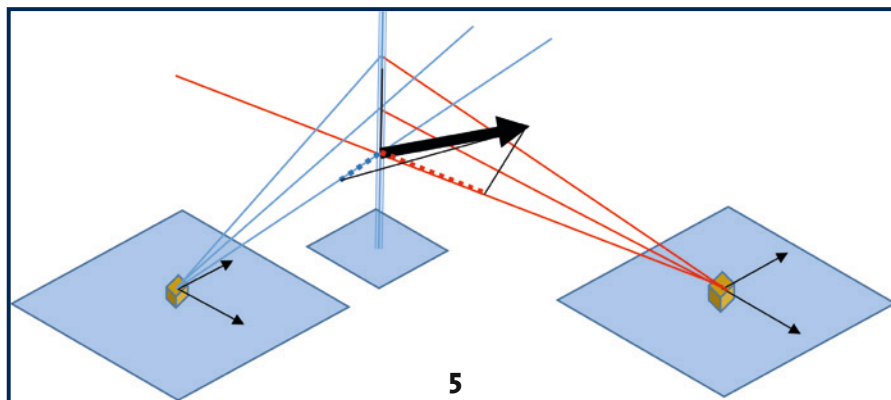
www.segelflug.name

können dann alle drei Komponenten des Windes an diesem Ort berechnet werden. Dann ist durch Kombination aller drei Messungen der Wind in allen drei Komponenten an diesem Ort bekannt. Schwenken die Scanner in einem gemeinsamen Schnittpunkt herauf und herunter, so liegen für diesen Ort vollständige Windvektoren für alle anvisierten Punkte vor (Bild 5). Über diese Grundmuster hinaus wurden viele weitere Scanmuster entwickelt und erprobt. Von Interesse sind nicht nur Messungen am Boden, Lidarmessungen mit ähnlichen Scanmustern können auch vom Flugzeug aus durchgeführt werden. Beispiele dafür werden in einem späteren Artikel gegeben.

Die Entwicklung der Ansteuerungs- und Auswerte-Software, die Auswertung mit Fehleranalysen sowie die Messungen sind sehr anspruchsvoll und konnten in der Vergangenheit nur in Forschungsprojekten der Meteorologie durchgeführt werden. Inzwischen gibt es besonders für die Messungen des vertikalen Profils des Horizontalwinds an einem Ort zahlreiche einfach zu betreibende Systeme, da diese Messungen z. B. für Fragestellungen in der Windenergie von großer Bedeutung sind.

Zusammengefasst

Mit einem vertikal-blickenden Lidar kann die mittlere Vertikalbewegung über dem Lidar in 80 m Höhenintervallen im Abstand einiger Sekunden gemessen werden. Zahlreiche andere Verfahren erlauben auch die Messung des horizontalen Windes, wobei jeweils Einschränkungen bezüglich der räumlichen Abdeckung und zeitlichen Wiederholrate der Messung existieren. Gegenüber konventionellen Windmessungen mit Anemometern ist der Informationsgewinn trotz dieser Beschränkungen jedoch sehr groß, da sowohl vertikal als auch horizontal aufgelöste Messungen erhalten werden. ♦



5 Virtuelle Masten. Zwei Lidare messen am Ort und in der Höhe der Schnittpunkte ihrer auf- und abwärts schwenkenden Strahlen die beiden strahlenparallelen Windkomponenten (rot und blau gepunktet im Beispiel). Bei flachem Strahl oder ohne Vertikalwind errechnet sich daraus der Horizontalwind. Eine Erweiterung auf drei Lidare ermöglicht die Messung aller drei Komponenten

Unsere Autoren

Vor 40 Jahren haben wir, Detlef Müller und Christoph Kottmeier, das Büchlein „Thermik von A-Z – Meteorologische Grundlagen des Streckensegelflugs“ verfasst (Müller und Kottmeier, 1985), das zu unserer Freude immer noch gelesen und zitiert wird. Jetzt sind wir als Ruheständler nach dem Berufsleben in einem deutschen Großkonzern (D. Müller) und als Professor für Meteorologie am Karlsruher Institut für Technologie KIT (Ch. Kottmeier) wieder zum Stand der Segelflugmeteorologie und aktuellen Forschung ins Gespräch gekommen. Viele Grundlagen stammen aus Messprogrammen und Doktorarbeiten des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung (IMK, Bereich Troposphäre) des KIT, oft in Kooperation mit anderen Einrichtungen wie dem Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) und Universitäten in Europa. Sie beruhen meistens auf Messungen mit der Messtechnologie der Windmessung mittels Lidar.

Literatur

- Müller, D., Kottmeier, Ch. (1985). Meteorologische Aspekte des Streckensegelflugs. Thermik von A-Z. Selbstverlag. www.imk-tro.kit.edu/download/Thermik_von_A_bis_Z.pdf
- Träumner, K., Damian, T., Stawiarski, C., and Wieser, A. (2015). Turbulent structures and coherence in the atmospheric surface layer. Bound.Lay. Meteorol., 154(1):1–25.
- Damian, T. (2016). Coherent Structures in the Atmospheric Boundary Layer Measured by Dual Doppler Lidar. Dissertation, KIT, KIT Publishing, 164 S
- Müller, D., Etling, D., Kottmeier, C., and Roth, R. (1985). On the occurrence of cloud streets over northern Germany. Q. J. R. Meteorol. Soc., 111(469):761–772
- Raasch, S. and Schröter, M. (2001). PALM—a large-eddy simulation model performing on massively parallel computers. Meteor. Z., 10(5):363–372
- Träumner, K., Damian, T., Stawiarski, C., and Wieser, A. (2015). Turbulent structures and coherence in the atmospheric surface layer. Bound.-Lay. Meteorol., 154(1):1–25.
- Young, G.S., Kristovich, D.A.R., Hjelmfeld, M.R., and Foster, R.C. (2002). Rolls, Streets, Waves, and more. A Review of Quasi-Two-Dimensional Structures in the Atmospheric Boundary Layer, Bull. Am. Met. Soc., ES 54-ES69

Segelflugbücher

Neu



Wolfgang Binz
Glasflügel
Eugen Hänle –
Der Pionier des GFK-Flugzeugbaus

Die Geschichte des genialen Pioniers Eugen Hänle, seiner Firma Glasflügel und den bis heute erfolgreichen und beliebten Segelflugzeugen.
 272 Seiten, 240 x 300 mm, Hardcover
 487 Abbildungen, inklusive großformatiger Dreiseitenansichten.
 ISBN 978-3-00-069412-7
59,00 €



Wolfgang Binz
Glasflügel Sailplanes
Eugen Hänle –
Pioneer in Fiberglass
Aircraft Design

Englische Ausgabe
 Übersetzung Bill Batesole
 272 Seiten, 240 x 300 mm,
 Hardcover
 487 Abbildungen, inklusive
 großformatiger Dreiseitenansichten.
 ISBN 978-3-00-070878-7
59,00 €

Martin Simons

Segelflugzeuge

Das Standardwerk zur Segelfluggeschichte

Fotografien, Fakten, Hintergründe und pro Band ca. 120 ganzseitige, detailgetreue und farbige Dreiseitenansichten, 240 x 297 mm, 256/272 Seiten, Hardcover



Band 1, 1920 bis 1945
 ISBN 978-3-9806773-6-2
54,00 €



Band 2, 1945 bis 1965
 ISBN 978-3-9807977-3-3
54,00 €



Band 3, 1965 bis 2000
 ISBN 978-3-9808838-0-1
54,00 €

Band 4 in Vorbereitung!

Martin Simons

Sailplanes

Die englischsprachige Ausgabe in gleicher Ausstattung

Band 1, 1920 bis 1945
 ISBN 978-3-9806773-4-6
54,00 €

Band 2, 1945 bis 1965
 ISBN 978-3-9807977-4-0
54,00 €

Band 3, 1965 bis 2000
 ISBN 978-3-9808838-1-8
54,00 €

Alle drei Bände
(deutsch oder englisch)
im Set – das Geschenk für
Segel- und Modellflieger!
nur 145,00 €



Mallinson/Woollard

Handbuch des Segelkunstflugs

Die hohe Schule des Segelflugs. Theorie und Praxis des Segelkunstflugs. Ein Lehrbuch und Nachschlagewerk mit vielen Fotos und Illustrationen.
 128 Seiten, 190 x 250 mm,
 Hardcover
 ISBN 978-3-9806773-5-6
25,00 €



Wolfgang Binz

LS-Segelflugzeuge

Die Geschichte der berühmten und erfolgreichen Flugzeuge von Rolladen-Schneider. Mit vielen bisher unveröffentlichten Dokumenten und Fotos, detail- und maßstabgetreuen Dreiseitenansichten.
 208 Seiten, 240 x 297 mm,
 Hardcover
 ISBN 978-3-9814977-9-3
45,00 €



Hans Jacobs

Workshop Practice

Englische Übersetzung des vergriffenen Standardwerkes „Werkstattpraxis für den Bau von Gleit- und Segelflugzeugen“. Unentbehrlich für alle, die Holzflugzeuge reparieren oder bauen. Mit vielen Skizzen und Fotografien.
 384 Seiten, 158 x 235 mm,
 Hardcover
 ISBN 978-0692703076
49,00 €

Auf Wunsch mit englischsprachiger Zusammenfassung

EQIP
 WERBUNG & VERLAG GMBH

Sprottauer Str. 52
53117 Bonn – Germany
Tel. +49.228.96699011
Fax +49.228.96699012
eqip@eqip.de
www.eqip.de



Alle Preise zzgl.
 Versandkosten