

## *Strahlungs- und Hochnebel; heimtückische Ursachen für Flugunfälle, vor allem im Herbst und Winter von Dr. Manfred Reiber*

### 1. Einleitung

Auch im unmittelbar bevorstehenden Herbst und Winter wird die Anzahl der Tage mit Nebel und Hochnebel wieder deutlich zunehmen. Leider führen die damit verbundenen Gefahren immer wieder zu tragischen Flugunfällen. Erinnern wir uns an einige Unfälle aus dem Jahre 2004 (Quelle: Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung):

#### 10. Januar 2004

Drei Minuten nach dem Start erhielt das Flugzeug Piper 28R201 in dichtem Nebel Bodenberührung in bergigem Gelände ( Lucca [Italien]). Der Pilot und sein Fluggast fanden den Tod.

#### 05. September 2004

Der Flugzeugführer einer Piper 34220T verlor beim Anflug auf Juist (Weser-Ems [NI]) in einer Nebelbank die Orientierung. Kurz darauf bekam das Flugzeug mit einem Tragflügel Wasserberührung. Das Flugzeug wurde zerstört, Personen wurden nicht verletzt.

#### 18. September 2004

Bei tief stehender Sonne kam es in Schönhagen (Brandenburg) mit einer Socata TB9 zu einer harten Landung. Personen wurden nicht verletzt, das Flugzeug schwer beschädigt.

#### 15. November 2004

Nach dem Start zu einem Flug nach Sichtflugregeln (VFR) auf dem Verkehrslandeplatz Egelsbach geriet das Flugzeug Cessna 152 nach Verlassen der Kontrollzone in ein örtliches Nebelfeld. Beim Versuch einer Umkehrkurve kam es zu einer Baumberührung. Der Pilot wurde tödlich verletzt, das Flugzeug zerstört.

Diese Beispiele mahnen uns, sich immer wieder mit dem Wetterphänomen *Nebel* zu beschäftigen, um rechtzeitig die richtige Entscheidung treffen zu können. Von besonderer Bedeutung ist das für die Vorbereitung auf die Herbst- und Winterflugsaison,

### 2. Was verstehen wir überhaupt unter Nebel?

**Nebel ist eine der Erdoberfläche aufliegende Wolke, bei der definitionsgemäß die Sichtweite kleiner als 1000m ist.**

Von Nebel im meteorologischen Sinn spricht man also nicht, wenn die Sichtweite etwa infolge von Niederschlag (z.B. Schnee, Regen, Sprühregen) oder aufgewirbelten Schnee oder Staub bzw. Sand unter 1000m zurückgeht. Nebel besteht aus kleinsten Wassertröpfchen (etwa 10 bis 40µm im Durchmesser), die in der Luft schweben und dadurch den extrem starken Sichtrückgang verursachen.

Möchte man im Nebel oder auch schon bei starkem Dunst durch das Einschalten von Scheinwerfern die Sichtweite verbessern, muss man eine Blendwirkung durch die Rückstreuung des Lichtes an den Nebeltröpfchen einkalkulieren. Nebeltröpfchen streuen das Licht nicht gleichmäßig nach allen Seiten. Der größte Teil des Lichtes wird nach vorn gestreut, ein kleinerer Teil zurück, aber genau dieser ruft eine starke Blendwirkung hervor. Wir kennen alle diese Erscheinung, wenn man beim Autofahren im Nebel die Scheinwerfer aufblendet. Oft ist das rückgestreute Licht so grell, dass man sofort wieder abblenden muss (siehe Abbildung 1). Auch beim Flug gegen die tief stehende Sonne kommt es durch die Vorwärtsstreuung zu extremer Sichtverschlechterung.

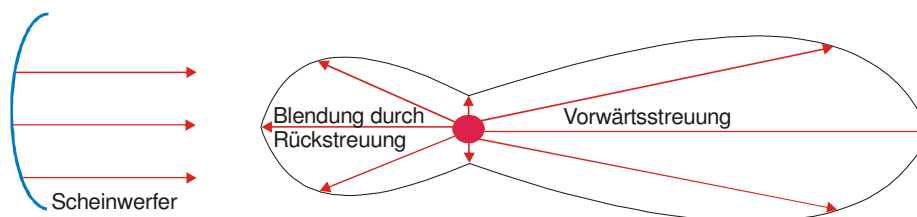


Abb.: 1 Streuung des Lichtes an Nebeltröpfchen (schematische Darstellung). Aus der Rückstreuung des Lichtes an den Nebeltröpfchen ergibt sich bei eingeschaltetem Scheinwerfer eine Blendwirkung. Bei tief stehender Sonne bewirken die Dunstpartikel eine starke Vorwärtsstreuung und können so zu extrem schlechter Sicht führen.

**Merke:** *Dunstpartikel und Niederschlagsteilchen streuen das meiste Licht nach vorn und nach hinten (kaum zur Seite). Dadurch kommt es bei Dunst, Nebel oder Niederschlag zu einer starken Blendwirkung, wenn man den eigenen Scheinwerfer einschaltet oder gegen die tief stehende Sonne fliegt. Im Landeanflug kann das zur Gefahr werden.*

### 3. Nebelhäufigkeit im Jahres- und Tagesgang

Nebel hat einen ausgeprägten Tages- und Jahresgang. Er kommt signifikant häufiger im Herbst und Winter vor, als im Frühjahr und Sommer (siehe Abbildung 2). Im Herbst und Winter halten Nebelperioden außerdem deutlich länger an.

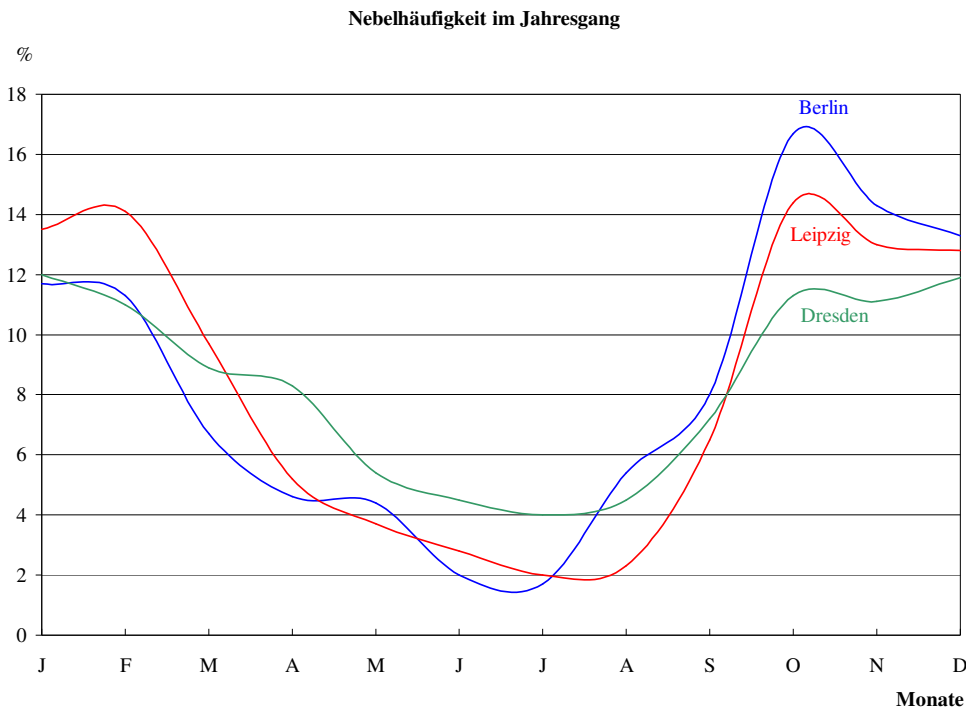


Abb.: 2 Das Diagramm zeigt den typischen Jahresgang der Nebelhäufigkeit für drei ausgewählte Städte. Die mittlere absolute Anzahl der Tage mit Nebel ist in Berlin 54, in Leipzig 60 und in Dresden 71. Etwa 50 bis 70 Nebeltage pro Jahr sind für Deutschland normal, Unterschiede ergeben sich in erster Linie aus der Orografie.

Nebel entsteht oder verdichtet sich in der Regel abends und nachts. Sein Häufigkeitsmaximum liegt in der 2. Nachthälfte bis etwa zum Sonnenaufgang. Tagsüber löst sich Nebel auf oder schwächt sich wenigstens ab. Der Unterschied der Tagesgänge zwischen Sommer und Winter sind markant ausgeprägt (siehe Abbildung 3).

[%]

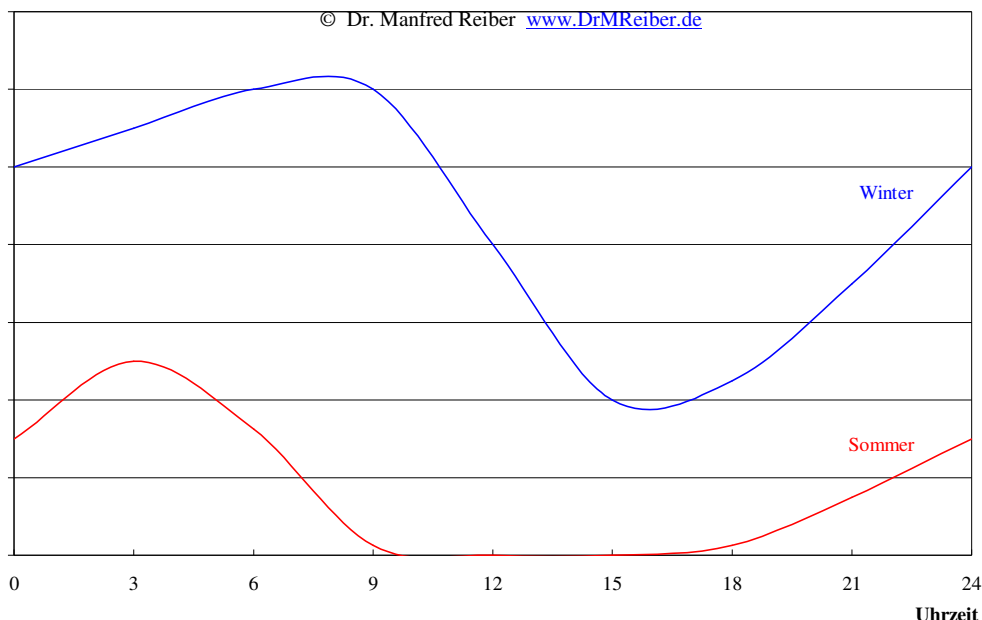


Abb.: 3 Nebelhäufigkeit im Tagesgang (schematische Darstellung). Im Herbst und Winter bildet sich Nebel eher und löst sich später auf als im Sommer. Aus dem Diagramm wird auch die Erfahrung deutlich, dass sich Nebel, der sich bis gegen 14.00 Uhr nicht aufgelöst hat, wieder verdichtet.

**Merke:** In Deutschland sind 50 bis 70 Nebeltage im Jahr normal. Die Nebelhäufigkeit ist im Herbst (Max. im Oktober/November) und im Winter (Januar/Februar) am Größten. Es gilt die Regel: Nebel, der sich 14 Uhr nicht aufgelöst hat, verdichtet sich wieder (siehe auch Abbildung 3).

#### 4. Welche Ursachen führen zum Sichtrückgang?

Komplizierte Sichtflugbedingungen können sehr verschiedene Ursachen haben. Die wesentlichsten sind:

**Niederschlag;** vor allem Schnee und Sprühregen führen zu markantem Sichtrückgang, meist gekoppelt mit absinkenden (tiefen) Wolkenuntergrenzen und im Spätherbst und Winter mit der zusätzlichen Gefahr von Flugzeugvereisung.

**Aufgewirbelter Schnee, Staub oder Sand;** das kann vor allem in Landeanflug kritisch werden, weil die Abfanghöhe visuell schlecht bestimmt werden kann (die Grenze zwischen Boden und Luftraum verschwimmt), häufig starke Turbulenz hinzukommt und außerdem die Gefahr besteht, dass Beschädigungen (bei Sand) an Triebwerk, Propeller und Flugzeugzelle entstehen können.

**Zunahme der Luftfeuchtigkeit;** das führt zunächst zum Aufquellen der Dunstpartikel in der Luft und bei Kondensation zur Ausbildung von Nebeltröpfchen, dann geht die Sichtweite rasch zurück, ggf. auch unter 1000m. Das ist die Ursache für die Entstehung von Nebel.

Obwohl alle drei genannten Ursachen für das Fliegen, insbesondere für Start und Landung, eine große Gefahr darstellen können, wollen wir uns in diesem Beitrag etwas genauer mit dem Strahlungs- und Hochnebel, den wohl häufigsten Nebelarten, befassen. Ist man mit den physikalischen Vorgängen dieser Phänomene gut vertraut, dann wird man auch klügere und fundiertere Entscheidungen für oder gegen einen Start bzw. für oder gegen eine Landung auf einem Ausweichflugplatz treffen können. Die Erfahrung zeigt, wenn man ein Risiko kennt, richtig kalkuliert und psychisch darauf eingestellt ist, dann wird die damit verbundene Gefahrensituation deutlich besser beherrscht.

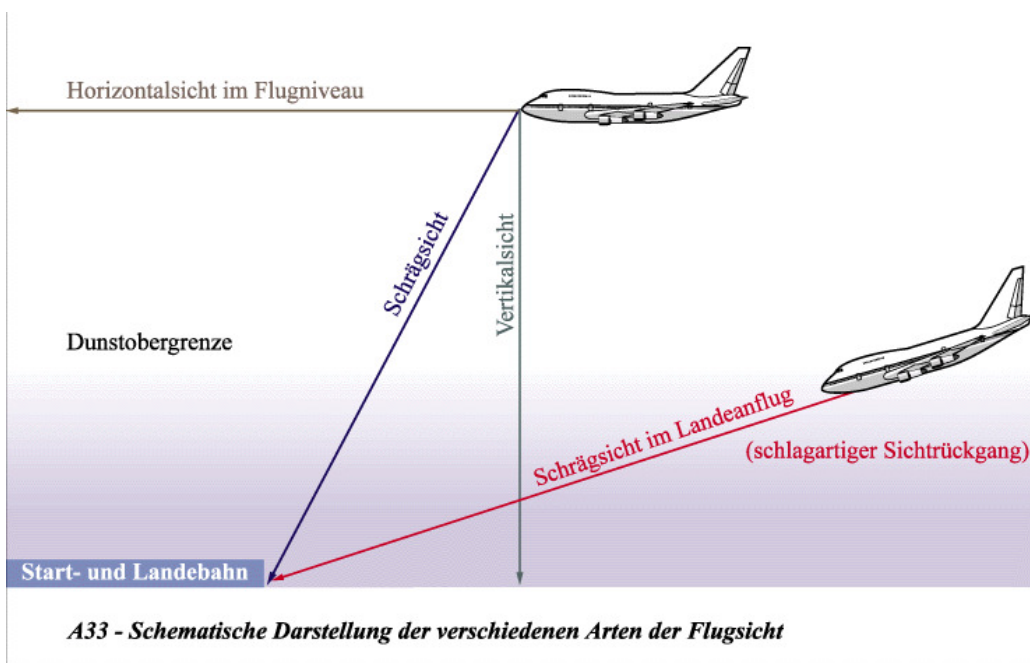
##### 4.1 Ursachen für die Entstehung von Strahlungsnebel

Strahlungsnebel entsteht dann, wenn sich die Erdoberfläche durch ihre langwellige Ausstrahlung (deshalb auch der Name „Strahlungsnebel“) im Laufe des Abends und der Nacht abkühlt. An der nun kälteren Erdoberfläche kühlt sich zunächst die unmittelbar darüber liegende Luft ab. Allmählich setzt sich dieser Abkühlungsprozess infolge des turbulenten Austausches in höhere Luftschichten fort. Weiter oben ist die Abkühlung aber geringer und deshalb bleibt es dort relativ wärmer. Die Temperatur nimmt mit zunehmender Höhe zu. Es bildet sich auf diese Art und Weise eine Bodeninversion.

Nimmt die Lufttemperatur bis zum Taupunkt ab (wenn das geschieht, dann natürlich zuerst in Bodennähe), dann tritt Sättigung ein (die relative Feuchte ist jetzt 100%, oder was dem entspricht, der Spread, die Differenz zwischen Temperatur und Taupunkt, ist Null), es kondensiert Wasserdampf an den immer vorhandenen Kondensationskernen. Es bilden sich massenweise kleinste Nebeltröpfchen (Durchmesser etwa 10 – 40µm), die wegen ihres geringen Gewichtes in der Luft schweben. Je mehr Tröpfchen vorhanden sind, umso stärker geht die Sicht zurück. Dieser Prozess wird verstärkt, wenn zusätzliches Wasser von der Erdoberfläche, z.B. nach Regen, bei Tauwetter, nach starkem Taubefall, über einem Fluss oder See, verdunsten kann.

Welche Bedingungen sind es im Einzelnen, die die Entstehung von Strahlungsnebel ermöglichen bzw. fördern?

- **Wolkenloser oder gering bewölkter Himmel**, weil dann die langwellige Ausstrahlung der Erdoberfläche besonders effektiv ist. Die Strahlung kann fast vollständig in den Weltraum gelangen, die Erde kühlt sich stark ab, die relative Feuchte nimmt rasch zu. Wird der Taupunkt erreicht, setzt Nebelbildung ein. Wenn aber eine Wolkendecke vorhanden ist, wird die von der Erdoberfläche abgegebene Strahlung wenigstens teilweise reflektiert. Die Erde erhält einen Teil der Strahlung zurück und kühlt sich weniger ab.
- **Die Nächte müssen möglichst lang sein**, weil dann über längere Zeit die Ausstrahlung der Erdoberfläche die kurzwellige Sonneneinstrahlung überwiegt. Das ist die astronomische Bedingung, die eben in der „kalten“ Jahreszeit gegeben ist.
- **Eine Hochdruckwetterlage**, weil diese mit Wolkenarmut verbunden ist. Das ist auch der Grund dafür, dass spät herbstliche und winterliche Hochdruckwetterlagen sehr häufig mit Nebel und/oder Hochnebel gekoppelt sind.
- **Eine Luftmasse mit hoher absoluter Feuchte** (z.B. maritime Tropikluft), weil dann der Wassergehalt höher ist und bei Erreichen des Taupunktes (relative Feuchte ist 100%) mehr Wassertröpfchen entstehen, als in Luftmassen mit geringer absoluter Feuchte (z.B. kontinentale Polarluft). Außerdem neigen gealterte Luftmassen stärker zur Nebelbildung als frische, weil sie sich während des Alterungsprozesses mit Luftschadstoffen, Staub- und Rußpartikeln, Pollen u.a. anreichern. Es entsteht und verstärkt sich so der trockene Dunst, der bei Feuchtezunahme in feuchten Dunst übergeht und bei Kondensation in Nebel.
- **Möglichst geringe Luftbewegung**, weil bei stärkerem Wind durch turbulente Vertikalbewegung immer wieder wärmere Luft aus größerer Höhe in die bodennahe Luft gelangt und den Abkühlungsprozess verzögert, ggf. wird der Taupunkt gar nicht erreicht. Schon eine Windgeschwindigkeit von >8 m/s verhindert die Entstehung von Strahlungsnebel.
- **Die Bodenbedeckung bzw. der Erdbodenzustand** begünstigen die Nebelbildung wenn der Boden feucht ist, z.B. durch kurz vorher gefallen Regen, starken Taubefall oder Tauwetter. Im Gegensatz dazu kommt es über einer Schneedecke (insbesondere über frischem Schnee) bei negativen Temperaturen zur Reifbildung und damit zum Absinken des Tau- bzw. Reifpunktes (so wird der Taupunkt bei negativen Temperaturen genannt) weil die Luft trockener wird. Das führt zu einer Verzögerung oder sogar zur Verhinderung von Nebel. Außerdem ist kalte Luft trockener als warme, deshalb ist im Hochwinter auch die Nebelgefahr geringer.
- **Die Orografie** beeinflusst die Nebelbildung signifikant. Die durch die Ausstrahlung entstandene Kaltluft besitzt eine hohe Dichte, sie ist deshalb schwer und fließt wie Wasser in Mulden, Täler und Senken hinein. In diesen Regionen wird das Kaltluftreservoir ständig vergrößert und die Nebelbildung forciert. Auf Bergkuppen kann sich erst Nebel bilden, wenn die Kaltluftschicht die Bergkuppe erreicht, bzw. überschreitet.
- **Strahlungsnebel ist immer an die Existenz einer Bodeninversion gebunden**. Bodeninversionen entstehen ja gerade infolge der langwelligen Ausstrahlung und der damit verbundenen Abkühlung der Erdoberfläche und der unmittelbar über ihr liegenden Luft. Das führt zu einer relativen Temperaturzunahme mit der Höhe und somit zur Inversionsbildung. Strahlungsnebel kann deshalb auch nur bis maximal an die Inversionsobergrenze reichen. Darüber herrschen dann in aller Regel gute oder sehr gute Sichtverhältnisse. Am stärksten spürbar wird der Sichtrückgang im Landeanflug, wenn das Flugzeug von oben in den Nebel eintaucht und die Sicht abrupt zurückgeht (siehe Abbildung 4 und 5).



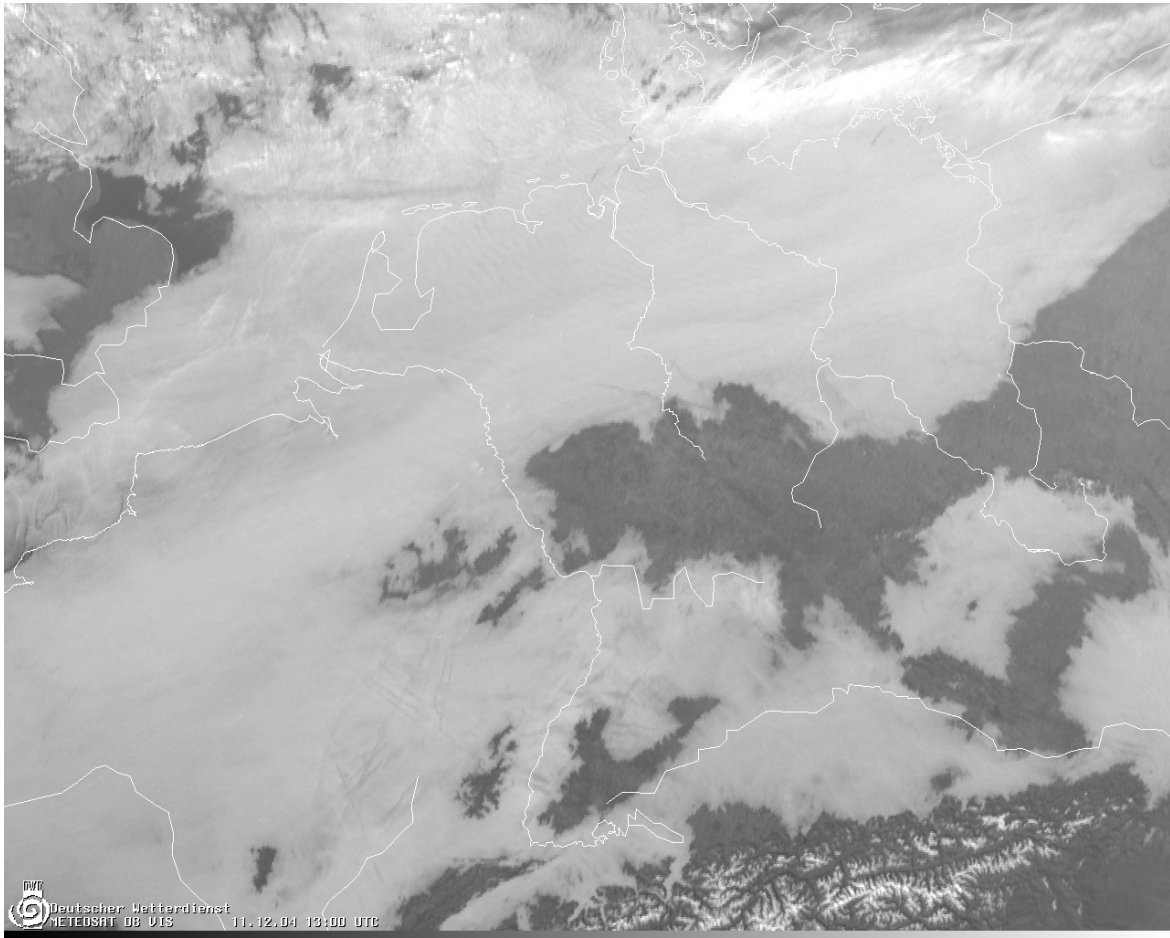
Reiber: Moderne Flugmeteorologie © Verlag Harri Deutsch

Abb.:4 Auf dieser Abbildung sind die verschiedenen Arten der Flugsicht dargestellt. Man erkennt, dass Strahlungsnebel oberhalb der Inversion die Flugsicht nicht beeinträchtigt. Auch die Vertikalsicht und die steile Schrägsicht können noch ausreichend sein. Der extrem gefährliche Sichrückgang ist im Landeanflug, beim Eintauchen in die Bodeninversion zu erwarten.



Abb.: 5 Dieses Foto zeigt einen Flug oberhalb der Bodeninversion bei dichtem Strahlungsnebel. Charakteristisch ist die scharfe Obergrenze des Nebels. Schon seltener sieht man die Wolkendurchbrüche durch die Inversion, die durch die aufgeheizte Luft von Kraftwerken verursacht werden. (Foto: Elisabeth Stützel, Aalen)

- **Strahlungsnebel kann durch schwache Luftbewegungen aus seinem Entstehungsgebiet heraus transportiert werden**, bzw. mit bis zum Rand mit Nebel gefüllte Mulden oder Senken „laufen über“ und der Nebel dringt oft rasch in die Umgebung vor. Es kommt so zu plötzlichen Nebeleinbrüchen, die in aller Regel eine extreme Gefahr darstellen. Eine Vorhersage solcher Phänomene ist sehr schwierig. Sie gelingt nur, wenn eine kontinuierliche und flächendeckende Beobachtung der Nebelfelder aus der Luft mittels Flugzeug oder hoch aufgelösten Satellitenbildern möglich ist (siehe Abbildung 6). Der verwertbare Prognosezeitraum solcher Bilder liegt etwa im Bereich einer Stunde. Aber auch so kurzfristige Prognosen können Katastrophen verhindern. Hochaufgelöste Satellitenbilder findet man z. B. im Selbstbriefingsystem pc\_met.



*Abb.: 6 Das über pc\_met aufgenommene, hoch aufgelöste Satellitenbild im sichtbaren Spektralbereich zeigt ein ausgedehntes Nebel- bzw. Hochnebefeld (helle Gebiete) am 11. Dezember 2004 während einer Hochdruckwetterlage. Die dunklen Flächen zeigen wolkenlose Gebiete an. Mühelos kann man also erkennen, wo VFR-Flüge möglich sind und wo nicht. Beachten muss man, dass Infrarot- Bilder zur Interpretation von Nebel und Hochnebel kaum geeignet. (Zur Interpretation von Satellitenbildern siehe auch „aerokurier“ 4 und 5 1999 oder „Moderne Flugmeteorologie für Ballonfahrer und Flieger“ von Dr. M. Reiber).*

Die Entstehung von Strahlungsnebel ist also an einige konkrete Bedingungen gebunden. Je nachdem, wie stark die einzelnen Faktoren ausgeprägt sind, bzw. sich gegenseitig verstärken oder abschwächen, entstehen nur flache Nebelschwaden oder mächtige, hoch reichende Nebelschichten. Im Winter werden Schichtdicken von etwa 400 bis 600m erreicht, in Extremfällen, bei lang anhaltenden Hochdruckwetterlagen, auch bis 2000m. In diesen Fällen löst sich der Nebel auch tagsüber nicht mehr auf. Im Gegenteil, die hohe Stabilität der Bodeninversion und der deshalb geringe Vertikalaustausch, führt zur Anreicherung von Luftschadstoffen (smoke), die dann in Verbindung mit dem Nebel (fog) zu den winterlichen SMOG-Wetterlagen führen.

Im Sommer sind die Bedingungen für die Entstehung von Strahlungsnebel ungünstig. In dieser Jahreszeit werden nur Schichtdicken von wenigen Metern bis etwa 200m entstehen. In der Regel bildet sich dann Strahlungsnebel nur in der 2. Nachthälfte und löst sich meist rasch nach Sonnenaufgang wieder auf.

Die genaue Vorhersage von Strahlungsnebel (Beginn, Ende, räumliche Ausdehnung) ist nicht einfach. Das ist insbesondere deshalb so, weil meteorologische Faktoren und die örtlichen Verhältnisse (Geländeform, Bodenbewuchs, Bodenfeuchte usw.) komplex miteinander wirken. Für die Praxis kann man bei Strahlungsnebel mit folgender Faustformel rechnen

$$t_{\text{Nebel}} = \tau_{18} - 2 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$t_{\text{Nebel}}$  Temperatur, bei der Nebelbildung einsetzt  
 $\tau_{18}$  Taupunkttemperatur um 18.00 Uhr Ortszeit

Damit ist die Nebelvorhersage auf eine Temperaturvorhersage zurückgeführt, die man den üblichen Wettervorhersagen entnehmen kann. Bei negativen Temperaturen und einer Schneedecke rechnet man anstelle mit  $-2$  mit dem Wert  $-4$ , weil der Taupunkt dann durch den meist starken Reifabsatz deutlicher fällt als bei positiven Temperaturen.

**Merke:** Die Güte der Sichtprognosen (inklusive Nebel) liegen im TAF im Sommer etwa bei 80%, im Winter aber nur bei 70% Treffern, während die Windprognosen im Sommer und Winter etwa 93% Treffer erreichen. Das unterstreicht die Kompliziertheit der Sichtprognose.

Neuere Vorhersagemodelle, wie das Forschungsmodell der UNI Basel, berechnen auch Sichtprognosen. Die Güte der Prognosen ist allerdings noch nicht besonders gut. Es wird aber in Kürze auch hier ein „Durchbruch“ erwartet, so dass man mit hohen Eintreffwahrscheinlichkeiten rechnen kann. Ein Abruf der Vorhersagen ist über [www.meteoblue.ch](http://www.meteoblue.ch) möglich.

#### 4.2 Wann löst sich Strahlungsnebel auf?

Im Wesentlichen sind es zwei Bedingungen, von denen mindestens eine erfüllt sein muss.

- **Erwärmung der Luft**, dieser Prozess beginnt unmittelbar nach Sonnenaufgang, durch den Genuss der kurzweiligen Sonneneinstrahlung. Je nach der Jahreszeit, evt. vorhandener Wolken über der Nebeldecke, der Schichtdicke des Nebels und der Anzahl der Nebeltröpfchen pro  $m^3$  Luft, setzt die Erwärmung mehr oder weniger rasch ein.
- **Vertikaler Austausch der Luft durch Turbulenz.** Wenn turbulenter Austausch einsetzt, vermischt sich die feuchte Nebelluft mit höher gelegener, trockenerer Luft. Das führt zur Austrocknung und damit zur Sichtverbesserung, vielleicht sogar zur Nebelauflösung. Begünstigt sind dabei die Leeseiten von Bergen oder Gebirgszügen, weil durch das adiabatische Absinken der Luft eine zusätzliche Erwärmung einsetzt. Andererseits hält sich Nebel (auch Hochnebel) auf Luvseiten zäher.

**Merken sollte man sich:** Bei Windgeschwindigkeiten über 8m/s kann sich Strahlungsnebel nicht mehr bilden, bzw. er wird aufgelöst. Oft setzt Auflösung von Strahlungsnebel schon bei einer Windgeschwindigkeit ab 5m/s ein.

#### 4.3 Künstliche Nebelauflösung

Künstliche Nebelauflösung ist äußerst kostspielig, aber möglich. Schon im 2. Weltkrieg wurden entsprechende Großversuche durchgeführt. Das deutsche Oberkommando der Wehrmacht verließ sich z.B. fest darauf, Ruhe vor den Terrorangriffen aus der Luft zu haben, sobald Nebel die Britischen Inseln einhüllte. Der Start von 1000 bis 1500 Flugzeugen wäre wohl möglich gewesen, aber wie sollten sie wieder landen, wenn die Sicht kaum 10 m betrug und kein Licht durch den Nebel drang. Trotzdem kamen die Bomber. Sie kamen, wenn dichtester Nebel über England lag. Sie kehrten zurück und landeten sicher.

Die Engländer haben den Nebel mit Wärme bekämpft. Beiderseits der Landebahn wurden große Brenner aufgestellt, aus denen Flammen bis zu 1/2 m Höhe schlugen. Schon nach etwa 20 Minuten wurde nur entlang der Landebahn die Bodeninversion weggeheizt und ein „Loch“ in den Nebel gebrannt. Zurückkehrende Flugzeuge erkannten bereits aus großer Entfernung das Nebelloch, um das es brodelte und wallte, wie um einen tätigen Vulkan.

Vom Standpunkt der Kosten darf man solche Experimente allerdings nicht betrachten. Damals sollen pro Stunde 800.000 Liter Benzin verbraucht worden sein! Das ist ganz sicher auch der Grund, weshalb diese Art der Nebelauflösung selten angewandt wurde und wenig bekannt ist.

Die Auflösung von Strahlungsnebel wurde aber auch in den Nachkriegsjahren, insbesondere auf Militärflugplätzen, mehrfach probiert.

Man setzte dazu Hubschrauber ein, die unmittelbar oberhalb der Bodeninversion flogen und die warme Luft in die Inversion drücken sollten, um so den Nebel aufzulösen. Diese Experimente gelangen wohl, hätten aber praktisch nur Sinn, wenn eine natürliche Auflösung der Bodeninversion durch Sonneneinstrahlung oder zunehmenden Wind sowieso zu erwarten wäre und die Nebelauflösung durch den Hubschraubereinsatz etwas verfrüht werden könnte. Eine Bodeninversion in der Nacht auflösen zu wollen, wäre ein ökonomisch sinnloses Unternehmen, weil ihr eigentlicher Bildungsprozess nicht unterbunden wird und immer wieder von neuem einsetzen würde (siehe Abbildung 7).

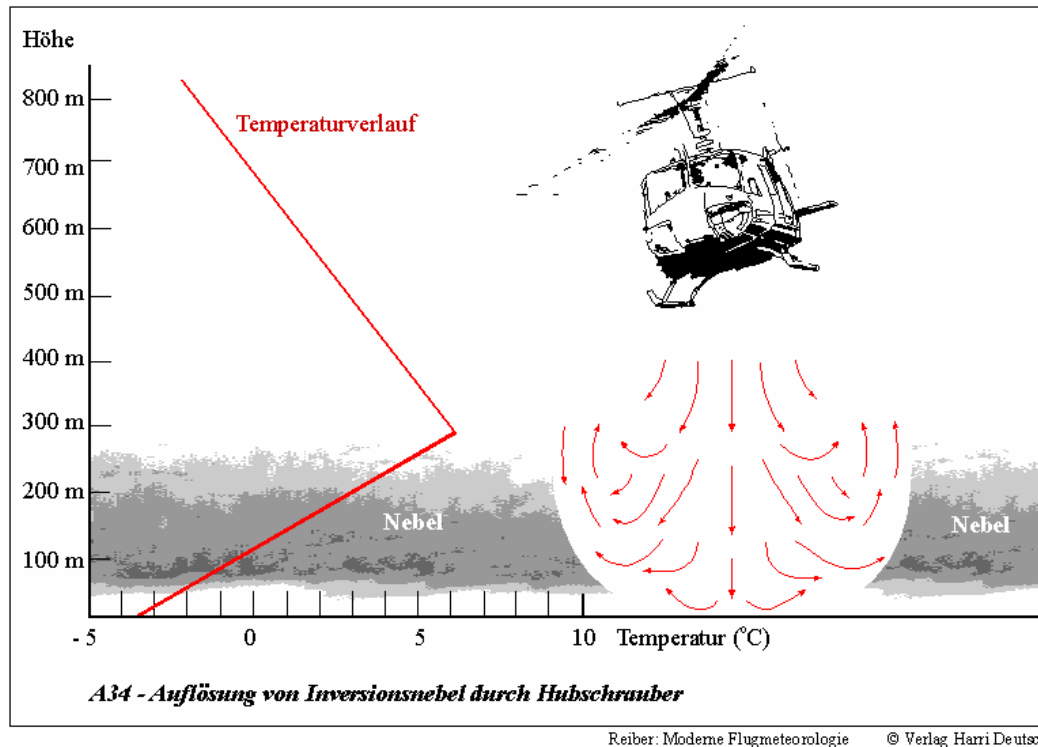


Abb.: 7 Eine Möglichkeit Strahlungsnebel in begrenztem Umfang künstlich aufzulösen besteht darin, mit möglichst schweren Hubschraubern warme Luft aus dem oberen Bereich der Bodeninversion in untere Schichten zu drücken. Die Durchmischung führt zur Austrocknung und damit zur Nebelauflösung. Ökonomisch sinnvoll ist diese Methode allerdings kaum.

Eine relativ einfache, einigermaßen kostengünstige und dazu umweltfreundliche Methode Nebel aufzulösen, besteht darin, die Luft mittels Infrarotstrahlern zu erwärmen. Solche Strahler werden dann längs der Runway installiert und bei Bedarf eingeschaltet.

Es besteht auch die Möglichkeit Nebel durch „Impfung“ mit chemischen Reagenzien, wie z.B. mit Silberjodid oder Kohlendioxidschnee, aufzulösen. In Ausnahmefällen werden auch solche Möglichkeiten genutzt.

## 5. Die Bildung und Auflösung von Hochnebel

Hochnebel liegt nicht, wie Nebel, der Erdoberfläche auf. Er ist per Definition eine Wolke und trägt laut Wolkenklassifikation den lateinischen Namen Stratus. Hochnebel und Stratus, exater Weise Stratus nebulosus (St neb), sind also identisch.

Für seine Entstehung gibt es zwei Ursachen:

- Er entsteht, wenn durch eine tagsüber einsetzende Erwärmung der Nebel und die Bodeninversion wohl in Bodennähe aufgelöst werden, Nebel und Inversion in ihrem oberen Teil aber erhalten bleiben (siehe Abbildung 8). Diese Art von Hochnebel ist quasi ein Rest des Nebels, der ursprünglich die ganze Bodeninversion erfüllt hatte. In diesem Fall steigt die Untergrenze des Hochnebels tagsüber (zumindest über die Mittagszeit) an, wird aber durch die bereits abends einsetzende Abkühlung im Laufe der Nacht wieder absinken. Das sollte bei der Flugplanung unbedingt ins Kalkül gezogen werden.

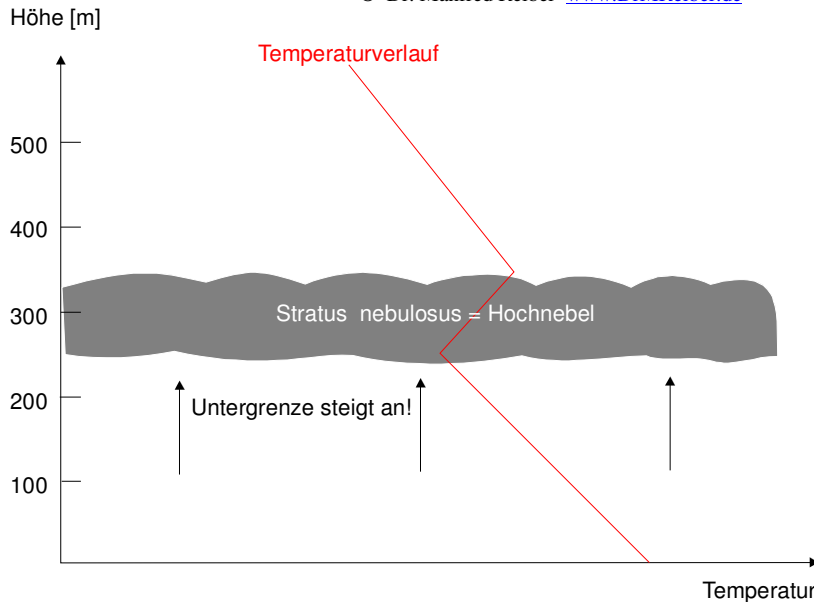


Abb.: 8 Diese Abbildung erklärt die Entstehung von Hochnebel aus Strahlungsnebel. Die Bodeninversion ist zunächst vollständig mit Nebel erfüllt. Nach Sonnenaufgang löst sich die Bodeninversion im unteren Bereich auf und damit auch der Nebel. Es entsteht Hochnebel mit tagsüber ansteigenden Untergrenzen. Erst nach Sonnenuntergang kann sich erneut eine Bodeninversion ausbilden und wieder Nebel entstehen, der häufig mit dem noch vorhandenen Hochnebel zusammenwächst.

- Hochnebel kann aber auch im oberen Bereich einer noch nebefreien Bodeninversion entstehen. Ursache dafür ist eine zunächst starke Dunstanreicherung an der Inversionsobergrenze. Diese Dunstschicht sendet, ähnlich wie die Erdoberfläche, langwellige Strahlung aus und kühlt sich dabei ab. Wird der Taupunkt erreicht, setzt Kondensation ein und es bildet sich Hochnebel. Diese Stratusdecke wächst immer nach unten, die Wolkenuntergrenze sinkt ab und erreicht ggf. sogar den Erdboden. Das ständige Absinken der Untergrenze ist eine beträchtliche Gefahr für das Fliegen (siehe Abbildungen 9 und 10)

**Deshalb sollte sich jeder Pilot einprägen:**

Setzt die Hochnebelbildung in der Höhe ein, dann wird die Wolkenuntergrenze immer weiter absinken, im Extremfall bis zur Erdoberfläche.

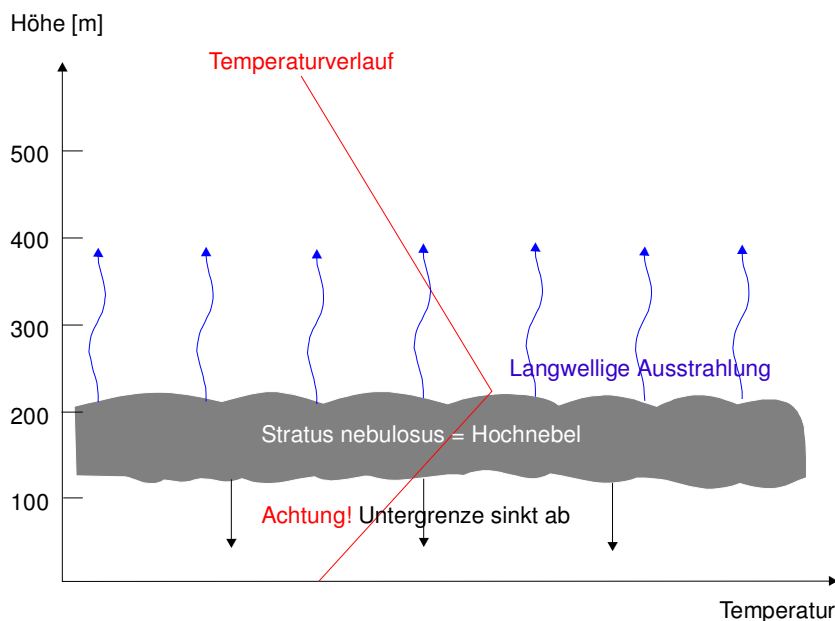


Abb.: 9 Diese Abbildung erklärt die Entstehung von Hochnebel im oberen Bereich einer noch nebefreien Bodeninversion. Durch langwellige Ausstrahlung einer starken Dunstschicht setzt im oberen Bereich der Inversion Abkühlung ein, wird der Taupunkt erreicht, beginnt die Hochnebelbildung. Der Hochnebel wächst nach unten, die Wolkenuntergrenzen sinken beständig ab.



*Abb.: 10 Das Foto zeigt die Frankfurter Commerzbank, das mit 258,7m (mit Antenne 300m) höchste Bürogebäude Europas, mit den oberen Stockwerken und der Antennenanlage im Hochnebel. Die Untergrenze des Hochnebels ist etwa 200m. Die Sicht am Boden bis in eine Höhe von ca. 150m ist relativ gut, was auch aus der Bildschärfe im unteren Bereich deutlich wird. Foto: Dr. Manfred Reiber, Frankfurt*

Die **Auflösung von Hochnebel** ist immer eng mit der Auflösung der Bodeninversion verbunden. Wird durch die kurzweilige Einstrahlung der Sonne und/oder durch zunehmenden Wind und Turbulenz die Bodeninversion zerstört, dann verschwindet auch der Hochnebel. Ab Windgeschwindigkeiten über 8m/s können sich keine Bodeninversionen bilden, existierende werden aufgelöst. Bei diesen Windgeschwindigkeiten ist die Gefahr von Stratus nebulosus nicht mehr gegeben.

***Was ist an einem Tag mit erhöhter Bereitschaft zur Bildung von Strahlungs- oder Hochnebel vor einem Start bzw. während eines Fluges alles zu beachten?***

1. Bei Nebelwetterlagen sollte man vor einem Start umfassende meteorologische Informationen einholen. Dazu gehören: Textvorhersagen, TAFs, METARs, GAFORs, insbesondere AIRMETs und SIGMETs, ergänzend, falls die Möglichkeit besteht, hoch aufgelöste Satellitenbilder über pc\_met oder das Internet. Bei unaufschiebbaren Flügen sollte eine mündliche Beratung beim Flugwetterdienst eingeholt werden.
2. Ist nach der meteorologischen Analyse und Prognose die Bildung von Nebel und/oder Hochnebel wahrscheinlich, dann sollte ergänzend ins Kalkül gezogen werden:
  - Ist auf der geplanten Flugstrecke bzw. am Landeort kürzlich Niederschlag gefallen oder ist der Untergrund feucht, dann ist mit einer forcierten Nebel bzw. Hochnebelbildung zu rechnen.
  - Liegt der Landeort in einer Mulde, Senke, Flusstal o.ä. bzw. führt die Flugstrecke über solches Gelände, ist eher Nebel bzw. Hochnebel zu erwarten als auf Bergkuppen oder höher gelegenen Gelände. In der Nähe von Mulden und Senken besteht auch bei schwachem Wind die Gefahr plötzlicher Nebelbrüche. Wenn die Tallagen bis zum Rand mit Nebel gefüllt sind, laufen sie über und der Nebel „überschwemmt“ relativ rasch die ganze Umgebung.
  - Im Lee von Bergen oder Gebirgen bildet sich seltener Nebel oder Hochnebel. Häufig kann man die Föhnklücken geschickt nutzen. Aber Achtung, wenn sich plötzlich der Wind dreht oder einschläft, dann ist

die Föhnlücke schnell geschlossen und Sichtflugbedingungen sind schlagartig nicht mehr gegeben. Die Luvseiten begünstigen die Nebel und Hochnebelbildung und stellen somit eine erheblich größere Gefahr für das Fliegen dar.

- Nebel und Hochnebel haben einen ausgeprägten Tagesgang, der bei der Flugplanung unbedingt berücksichtigt werden sollte. Besonders zu beachten ist:  
Bei feuchtem Erdboden (starker Taubefall, nach Regen) setzt nach Sonnenaufgang durch die stärkere Verdunstung häufig zunächst eine Sichtverschlechterung (Nebelverdichtung) oder eine Hochnebelbildung ein, ehe eine Sichtverbesserung bzw. Nebelauflösung Realität wird. Diese Erscheinung wird oft unterschätzt und hat vor allem bei Starts bzw. Landungen kurz nach Sonnenaufgang schon häufig zu außerordentlich kritischen Situationen geführt.
- Die Feuersichten in der Nacht sind in der Regel besser als die Sichten am Tag. Bei einer Landung in der Morgendämmerung ist deshalb mit einer Verschlechterung der Sichtweite, bei einer Landung nach Sonnenuntergang mit einer Besserung zu rechnen.
- Hochnebel und Nebel sind eng an die Bodeninversion gekoppelt. Kann sich keine Bodeninversion bilden oder wird sie aufgelöst, dann wird es auch keinen Strahlungs- bzw. Hochnebel geben. Man muss allerdings beachten, dass Bodeninversionen keine seltene Erscheinung sind, sie kommen an etwa 70% aller Tage im Jahr vor.
- Strahlungsnebel kann sich nicht mehr bilden, wenn die mittlere Windgeschwindigkeit  $> 8\text{m/s}$  ist

Der Autor:

Dr. Manfred Reiber hat in Kamenz Flugzeugbau und in Leipzig Meteorologie studiert. Er hat eine vieljährige Erfahrung als Flugmeteorologe und Dozent für Flugmeteorologie. Von 1984 bis 1990 war er Direktor der Zentralen Wetterdienststelle Potsdam. Er ist Autor verschiedener Wetterbücher. Sein neuestes ist das Lehrbuch „Moderne Flugmeteorologie für Ballonfahrer und Flieger“. Siehe auch [www.drmreiber.de](http://www.drmreiber.de)