

# START UND LANDUNG AUF NASSEN UND KONTAMINIERTEN BAHNEN

## Vorwort

An der Problematik eines Starts oder einer Landung auf einer nassen oder kontaminierten Bahn hat sich in den letzten Jahren nichts geändert. Immer wieder werden Flugzeugführer mit unterschiedlichen Bahnbeschaffenheiten konfrontiert.

Der Druck des Umfeldes, in dem sich Piloten bewegen, einen Flug trotz widriger Wetterbedingungen sicher und erfolgreich durchzuführen, ist gewachsen.

Mit diesem Booklet möchte die VC eine Hilfe zum Verständnis des komplexen Themas anbieten. Das Booklet stellt nicht den endgültigen Wissenstand zum Thema dar.

Ihre Erfahrungen und Ihr Wissen sind wertvoller Bestandteil der möglichen Verbesserungen. Zögern Sie nicht, sie einzubringen.

Wir wollen ein lebendiges Nachschlagewerk zum Thema „Start und Landung auf nassen und kontaminierten Bahnen“, das in Zukunft mit praktischen Tipps und Erläuterungen ergänzt werden wird.

## **Inhaltsverzeichnis**

Vorwort	Seite 1
Inhaltsverzeichnis	Seite 2
VC - Policy: Betrieb auf kontaminierten Bahnen	Seite 3
A. Einleitung	Seite 5
B. Startleistung auf nasser Bahn	Seite 7
C. Startleistung auf kontaminierter Bahn	Seite 8
D. Landung auf kontaminierter Bahn	Seite 11
F. Hydroplaning	Seite 12
E. Fazit	Seite 14
Definitionen (JAR-OPS Terminologie)	Seite 17
ICAO Empfehlungen (Annex 14)	Seite 18
Quellen	Seite 22

## POLICY - BETRIEB AUF KONTAMINIERTEN BAHNEN OPERATION ON WET/CONTAMINATED RUNWAYS

Für den Betrieb von Luftfahrzeugen im gewerblichen Luftverkehr auf kontaminierten Bahnen vertritt die VC in Übereinstimmung mit JAR OPS den folgenden Grundsatz:

**The final decision to operate an aircraft on a wet/contaminated runway rests with the aircraft commander!**

Auszug aus JAR OPS 1.490 (c)(3): In the case of a contaminated runway, the first option for the commander is to wait until the runway is cleared.

**Begründung:**

### Operation

Der Betrieb auf kontaminierten Bahnen ist nicht alltäglich:

- a) **Der verantwortliche Flugzeugführer muss vor jedem Start/jeder Landung auf kontaminierten Bahnen die größtmögliche Kenntnis über den Bahnzustand und die für den Betrieb erforderlichen Wetterdaten erhalten. Bezweifelt er die übermittelten Daten, kann er eine erneute Messung oder die Begutachtung der Bahnen verlangen. Ggf. muss er eine erneute, den veränderten Bedingungen angepasste, Berechnung der Performance Daten durchführen.**
- b) **Für Leistungsberechnungen auf nassen/kontaminierten Bahnen müssen die vom Hersteller zur Verfügung gestellten Daten verwandt werden; sie sollen sowohl den engine-failure wie auch den all-engine take off abdecken. Unter keinen Umständen darf das Startgewicht auf nassen/kontaminierten Bahnen höher sein als das Startgewicht auf einer trockenen Bahn unter vergleichbaren Wetterverhältnissen (siehe JAR-OPS 1.490 (b) [5]).**
- c) **Jedem Flugzeugführer muss klar sein, dass die Screen Height/Überflughöhe am physischen Ende der Startbahn auf 15ft reduziert sein kann. Kurz danach (mit Beginn des 1. Segmentes) müssen 35ft Hindernisfreiheit erreicht werden.**

- d) Flugzeugbetreiber, Hersteller und Aufsichtsbehörden müssen zur Sicherstellung einer ausreichenden Sicherheit Maßnahmen, wie z.B. restrictive wind limitations oder additional distance factoring einsetzen.**

## **Training**

Ebenso ist zusätzliches Training erforderlich. Folgende Trainingsinhalte sollen unbedingt vermittelt werden:

- a) Die Kontrolle des Flugzeuges auf kontaminierten Bahnen kann, ohne geeignete Trainings-Maßnahmen, insbesondere beim Startabbruch, nicht immer gewährleistet werden. Runway friction, contaminant drag sowie crosswind beeinflussen die Kontrolle entscheidend.**
- b) Der Bremskoeffizient auf Bahnen mit verdrängenden Bedeckungen (water, slush, wet snow) darf gemäß geltender Vorschriften in Übereinstimmung mit ICAO Standards trotz modernster Meßmethoden nicht übermittelt werden, weil die Messungen nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit auf die einzelnen Flugzeugtypen übertragen werden können. Zuverlässige Bremskoeffizienten erhält der verantwortliche Flugzeugführer also nur bei Bedeckungen mit Eis und komprimierten Schnee.**
- c) Crosswind component und braking coefficient sind limitierende Faktoren für den Betrieb von Flugzeugen auf kontaminierten Bahnen sein.**
- d) Die grundsätzliche Bahnbeschaffenheit ist der wichtigste Faktor beim Abbremsen auf kontaminierten Bahnen mit verdrängenden Bedeckungen (water, slush & wet snow) kontaminierten Bahnen. Fehlendes grooving, und/oder fehlendes porous friction coating (PFC), starker Gummiabrieb in den Aufsetzonen und sonstige vorhandene Verschmutzungen auf der Start-/Landebahn erschweren das Abbremsen resp. das zum Stehen kommen erheblich.**

## A. Einleitung

Die verschiedenen Aggregatzustände von Wasser haben erheblichen Einfluss auf den Betrieb eines Flugzeuges. Während Schnee, Schneematsch und Eis auf den Tragflächen den Auftrieb verringern, vermindern Wasser, Schneematsch, Schnee und Eis auf den Rollwegen und Start-/Landebahnen die Brems- bzw. Steuerfähigkeit eines Flugzeuges.

Die Problematik des kontaminierten Flugzeuges ist heute nach vielen Erfahrungen und erheblichem Forschungsaufwand weitestgehend gelöst. Das clean wing concept - Tragflächen, Leitwerk, Rumpf, Triebwerkseinlässe, Schaufeln und Drucksensoren müssen frei von Verunreinigungen und Ablagerungen sein - verbunden mit dem Einsatz modernster Enteisungsmittel gibt dem Piloten die Möglichkeit, trotz widriger Wetterbedingungen mit einem aerodynamisch sauberen Flugzeug zu starten.

Die Bedeckung der Rollwege und Start-/Landebahnen mit Wasser, Schneematsch, Schnee und Eis hingegen bergen Risiken, die vielfach unterschätzt und teilweise nicht zeitgerecht behoben werden können. Daraus resultiert der eingeschränkte Betrieb auf nassen und kontaminierten Rollwegen und Start-/Landebahnen.

Die beeinflussenden Faktoren bei Start und Landung auf nassen und kontaminierten Start-/Landebahnen sind:

- **Der Tire Displacement Drag: Der Widerstand, der von den Reifen zu verdrängenden Massen an Wasser, Matsch oder Schnee**
- **Der Spray Impingement Drag: Der Widerstand des hochgeschleuderten Materials**
- **Der verringerte Friction Coefficient, dadurch auch die eingeschränkte Cornering Capability: Der verminderte Reibungskoeffizient und eingeschränkte Seitenführungsstabilität (Abbildungen 1 und 2)**
- **Die verringerte Gleitreibung des Reifens aufgrund von Schlupf**

Hinzu kommen nicht zu unterschätzende Faktoren wie Seitenwind, Gummiabrieb auf der Start-/Landebahn, Markierungen und die Bahnoberfläche an sich.

Auch die Messung der Belagdicke ist kritisch zu betrachten. Die Dichteänderungen in nassem Schnee und Schneematsch tragen ihr Übriges zur Verfälschung der Leistungsdaten bei Start und Landung bei (siehe ICAO Annex 14 - Aerodromes Absatz 2.9.11 - S. 15).

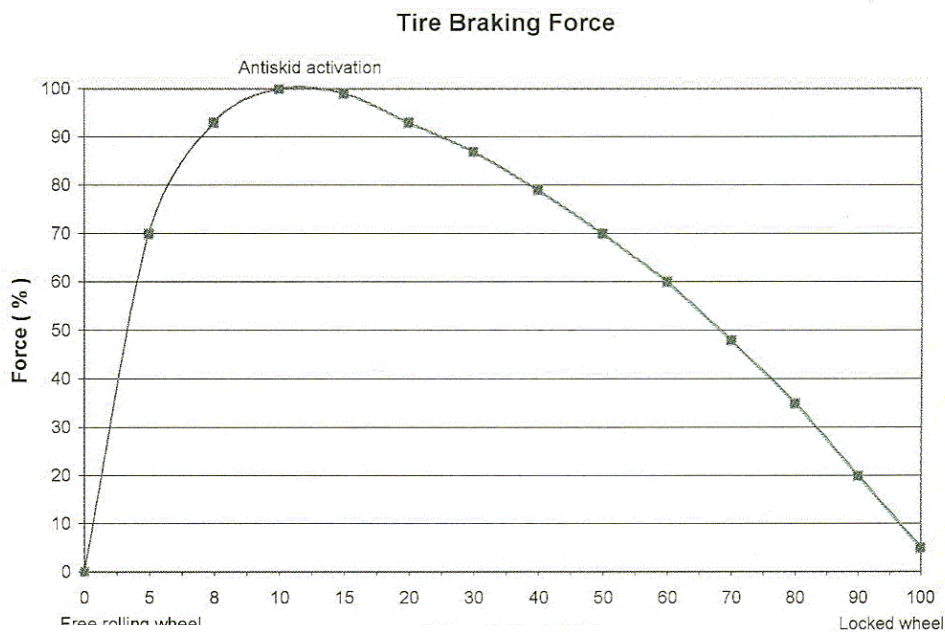


Abbildung 1 / Quelle Airforce

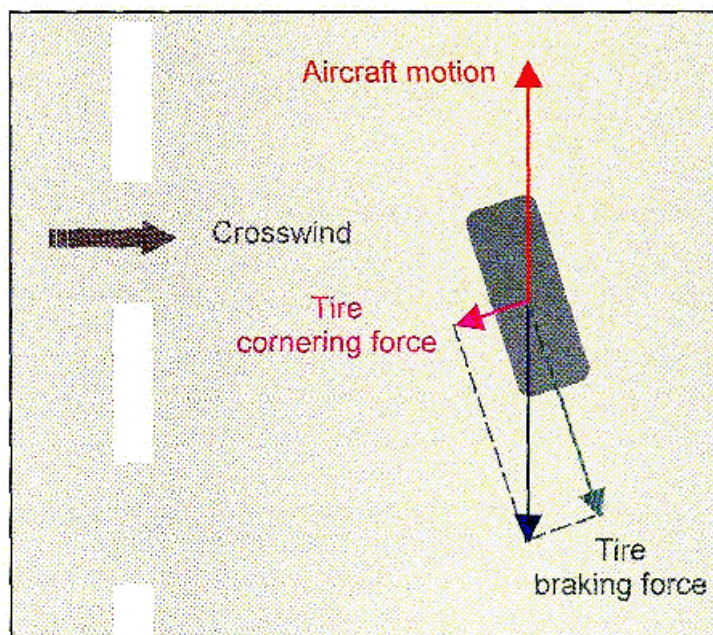


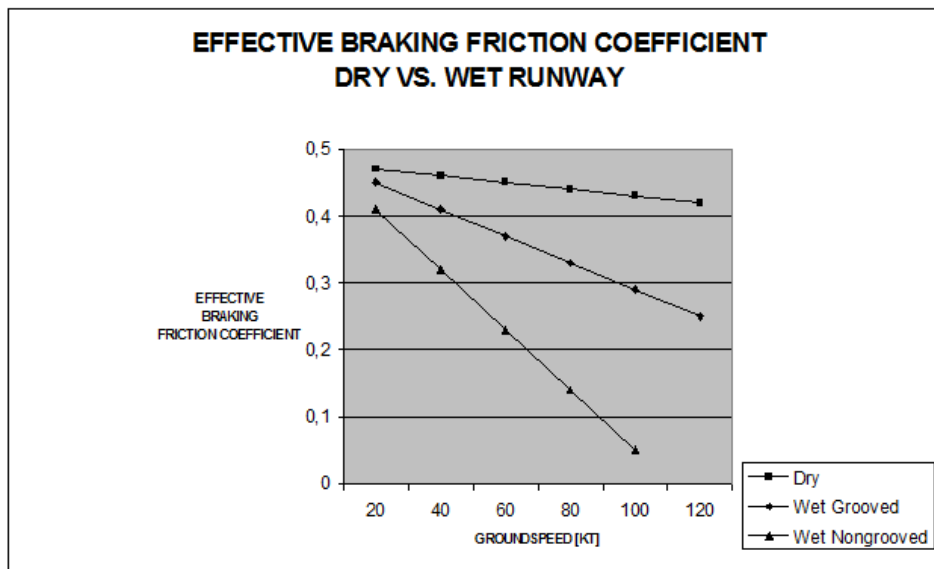
Abbildung 2 / Quelle Airforce

## B. Startleistung auf nasser Bahn

Eine Start- und Landebahn gilt als nass, wenn sie aufgrund eines Wasserfilms glänzt und eine Wassertiefe von 3 mm nicht überschritten wird (siehe Definitionen).

Ausgehend von der geringen Dicke des Belages ist der tire displacement drag in der Phase der Beschleunigung sehr gering und im allgemeinen vernachlässigbar. Der verringerte friction coefficient spielt beim Startabbruch eine bedeutende Rolle. Hinzu kommen die bereits erwähnten Faktoren wie Gummiabrieb auf der Start-/Landebahn, Markierungen und die Bahnoberfläche selbst, die allerdings in keiner Startdatenberechnung Einzug finden.

Die folgende Graphik Effective Braking Friction Coefficient Dry vs. Wet Runway (Abbildung 3) veranschaulicht dies:



Der geringere effective braking friction coefficient auf einer nassen Bahn wird bei der Berechnung der Startdaten durch Geschwindigkeitsabschläge auf V1 und/oder Gewichtsabschläge korrigiert. Dabei gilt:

**Je kürzer die Startbahn ist, desto größer sind die Abschläge.**

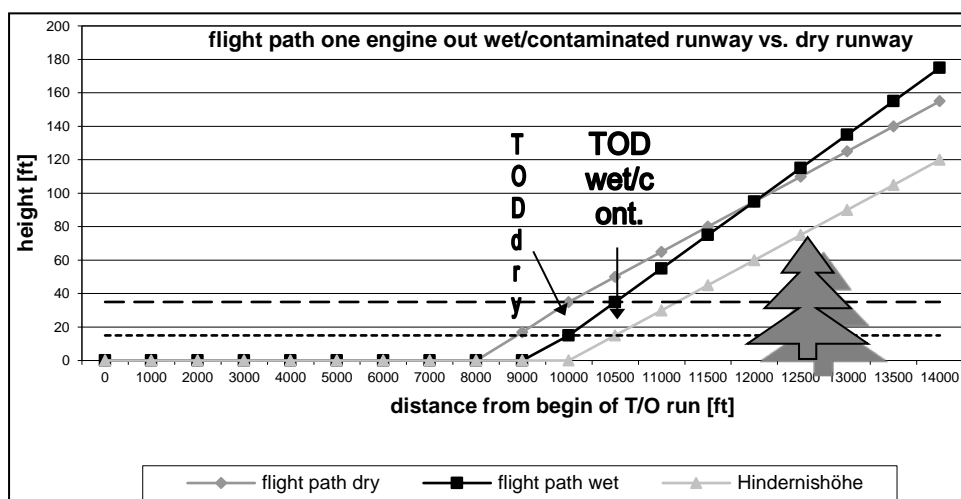
Gewichtskorrekturen für nasse Bahnen sind nicht notwendig, wenn die V1-Reduktion auf einer screen height Verringerung von 35ft auf 15ft basiert, könnten aber notwendig zur Beibehaltung der Hindernisfreiheit von 35ft zwischen net flight path und Hindernis werden.

Diese Zusammenhänge sind auf der nächsten Seite nochmals dargestellt (s. Abb. 4).

Bei der Berechnung der accelerate stop distance/Startabbruchstrecke (ASD) wird nur bei kontaminierten Bahnen der Effekt der Reverser - im Gegensatz zur Berechnung bei trockenen und nassen Bahnen - mit eingerechnet. Unter Einbezug des(r) verbleibenden Reverser und der Verringerung der screen height auf 15ft kann es möglich sein, dass ASD und TOD (Takeoff distance/Startstrecke) kürzer sein können, als bei vergleichbaren Berechnungen auf trockenen Bahnen - somit könnte auch das TOW steigen. Nach JAR-OPS 1.490 (b)(5) ist dies allerdings nicht zulässig. „On a wet or contaminated runway, the take off mass must not exceed that permitted for a takeoff on a dry runway under the same conditions“.

Also kann im Falle des Engine Failures nach VEF (engine failure speed) auf einer nassen oder kontaminierten Bahn der Flugweg anfänglich bis zu 20ft unter dem net flight path liegen. Innerhalb der TOD müssen die 35ft - der Beginn des 1. Segments - erreicht werden.

Abbildung 4 (in diesem Beispiel entspricht das delta zwischen TOD dry und TOD wet/cont. = ½ clearway = 500ft)



### C. Startleistung auf kontaminierten Bahn

Kontamination ist die mindestens 25% Bedeckung der Rollwege und Start-/Landebahnen mit mehr als 3 mm Wasser oder dem Equivalent in Form von Schnee (nass oder trocken), Schneematsch oder Eis. Ist eine nasse Bahn noch etwas alltägliches, sind kontaminierte Bahnen, Rollwege und die Operation auf ihnen für uns ungewohnt.

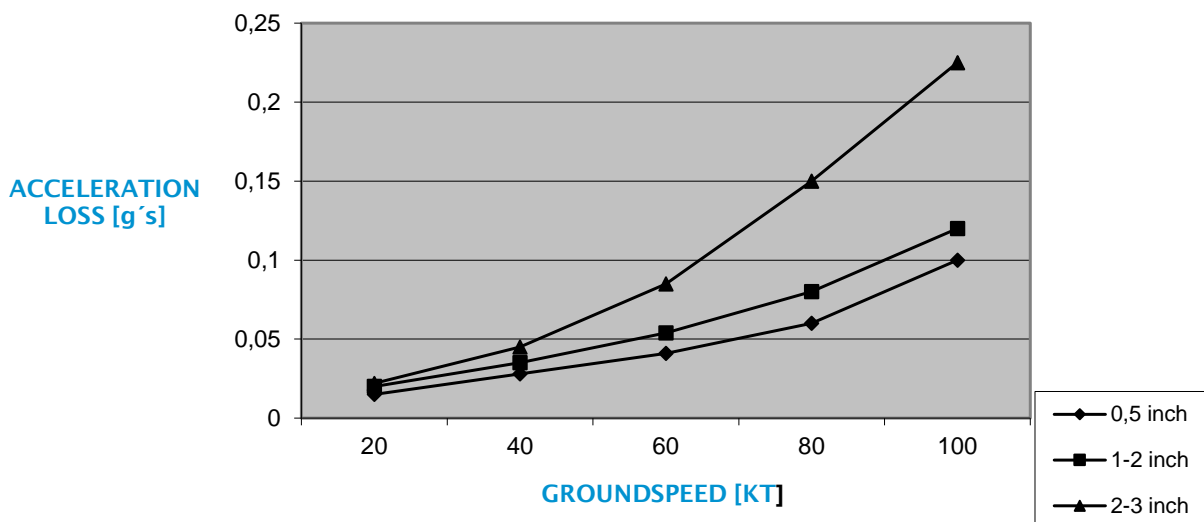
Im letzten Jahrzehnt sind große Anstrengungen unternommen worden, die Operation auf kontaminierten Bahnen sicherer zu machen. Stark verbesserte Lehrprogramme vermitteln umfassend die Einflüsse von Schnee & Eis auf den Betrieb von Flugzeugen von Off Blocks bis On Blocks. Aktuelle Flugerprobungen



auf den verschiedensten Bahnbelägen mit unterschiedlichen Flugzeugen verifizieren zunehmend die der Performance Berechnung unterlegten Daten, die beginnend in den 60er Jahren mathematisch - wissenschaftlich ermittelt wurden.

Der wesentliche Unterschied zur Startleistung auf nassen Bahnen ist der Einfluss der beiden Faktoren Tire Displacement Drag und Spray Impingement Drag bei der Fortsetzung des Startvorgangs nach Ausfall eines Triebwerkes. Eine - gegenüber der Berechnung - geringfügig größere Dicke des Belags kann die Startstrecke verlängern und die ohnehin auf 15ft gesenkte screen height weiter verringern; im kritischsten Fall könnte die Abhebegeschwindigkeit/VLOF nicht auf der Startbahn erreicht werden. Hier setzt die Verantwortung der Flughafenbetreiber ein, die nicht nur die richtige Belagdicke ermitteln, sondern auch die sorgfältige Reinigung der kontaminierten Bahnen unter z.T. schwierigen Wetterbedingungen sicherstellen müssen. Während des Abbremsens beim Startabbruch hilft bei dickeren Belägen der hohe Displacement Drag der Kontamination. Daher fallen die Abschlüsse auf V1 auch nicht so hoch aus (Abbildung 5).

### CONTAMINANT DRAG COMPARISON DRY LOOSE SNOW [Data für B737]



(Abbildung 5)

Ganz anders sieht die Situation auf einer mit Eis bedeckten Bahn aus. Hier ist der niedrige Friction Coefficient ausschlaggebend für niedrige V1 Speeds und damit einer langen Accelerate-Go Distance (Abbildung 6). Generell gilt: Je nasser das Eis oder je näher die Temperatur am Gefrierpunkt liegt, desto schlechter der friction coefficient.

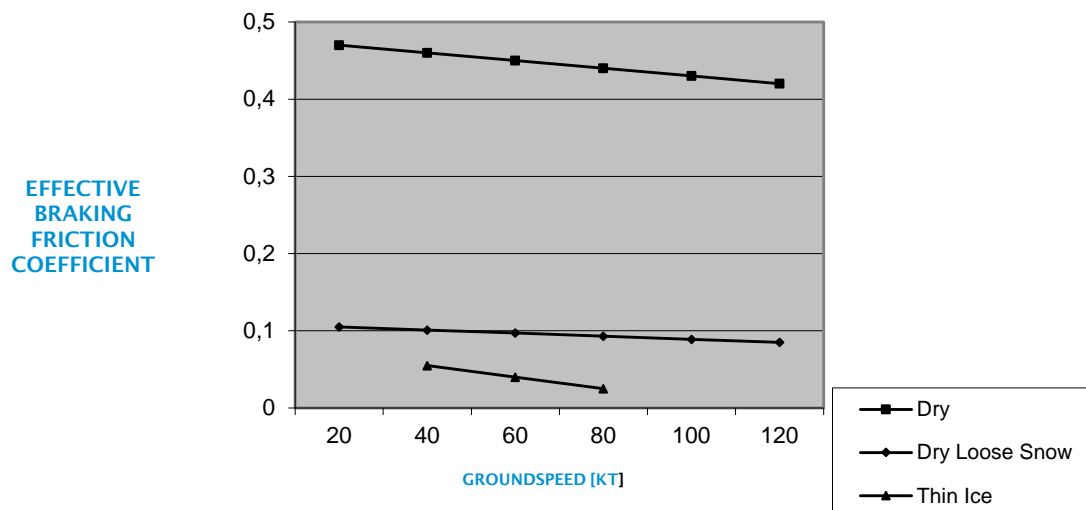
Die Dichte der verschiedenen Arten der Kontaminierung ist ein zusätzlicher Parameter, der nicht unterschätzt werden darf. Bei der Übermittlung der Messergebnisse über Bahnbelag und Bedeckungsgrad wird die Dichte nicht angegeben. Sie kann stark variieren und die Performancedaten verfälschen.

Dichtewerte für Schnee

- **Trockener Schnee** (0,05-0,2)
- **Schnee** (0,2-0,45)
- **Gepresster Schnee** (0,45-0,7)
- **Nasser Schnee** (0,3 - 0,7)
- **Schneematsch** (>0,5)

### EFFECTIVE BRAKING FRICTION COEFFICIENT DRY VS. DRY LOOSE SNOW & THIN ICE

[Data for B737 taken at North Bay, 1996]



(Abbildung 6)

### Abschließende Anmerkungen zu Bedeckungen mit Schnee:

- Trockener Schnee setzt sich nicht am Rumpf fest (no impingement drag).
- Es gibt kein Hydroplaning auf trockenem Schnee.
- Schnee mit einer Dichte größer 0,5 verhält sich wie eine Flüssigkeit.
- Je höher die Dichte des bedeckenden Mediums desto schlechter die Beschleunigung im „Go“ Fall, aber desto besser auch die Verzögerung im „Stop“ Fall

## D. Landung auf nasser & kontaminierter Bahn

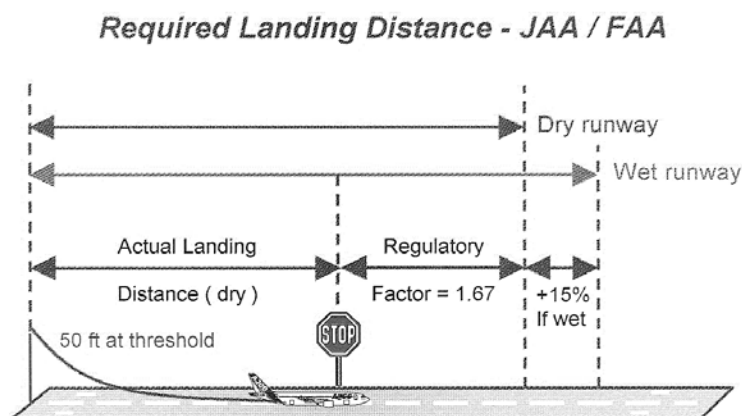
Für die Landung auf einer nassen Bahn muss die zur Verfügung stehende Landestrecke 115% der Landestrecke auf trockener Bahn betragen (required landing distance – siehe Abbildung 7).

Eine Landung auf einer kontaminierten Bahn erfordert die im Handbuch angegebene Mindeststrecke für wet runway oder den vom Hersteller ermittelten oder erfolgten Wert für contaminated runway whichever is higher.

Die nicht abwägbaren Faktoren sind wie bereits mehrfach erwähnt. Seitenwind, Gummiabrieb auf der Start-/Landebahn, Markierungen und die Bahnoberfläche selbst.

Reverse wird bei Landungen auf nassen/kontaminierten Bahnen nie eingerechnet. Er ist abhängig von den Umweltbedingungen nicht immer oder nur eingeschränkt einsetzbar. Der Einfluss der Reverserbenutzung auf die landing distance ist nicht abschätzbar.

Abbildung 7 / Quelle



$$\text{Required runway length (dry)} = \text{Actual landing distance (dry)} \times 1.67$$

$$\text{Required runway length (wet)} = \text{Actual landing distance (dry)} \times 1.92$$

Abbildung 8 zeigt die empfohlene Taktik, um ein Flugzeug wieder auf der centerline zu stabilisieren, nachdem es auf Grund mangelnder Seitenführungsstabilität vom Bahnmittellinie abgekommen ist.

Wesentlich für den Erfolg ist, dass sowohl die reverser geschlossen, als auch die Bremsen gelöst werden. Somit werden störende Einflüsse auf die Längsachsenstabilität beseitigt und das Flugzeug gleichzeitig aerodynamisch (Seitenruder) wieder auf die centerline gebracht. Erst danach werden die Bremsen und reverser wieder eingesetzt, allerdings verlängert dieses Manöver die Landestrecke erheblich.

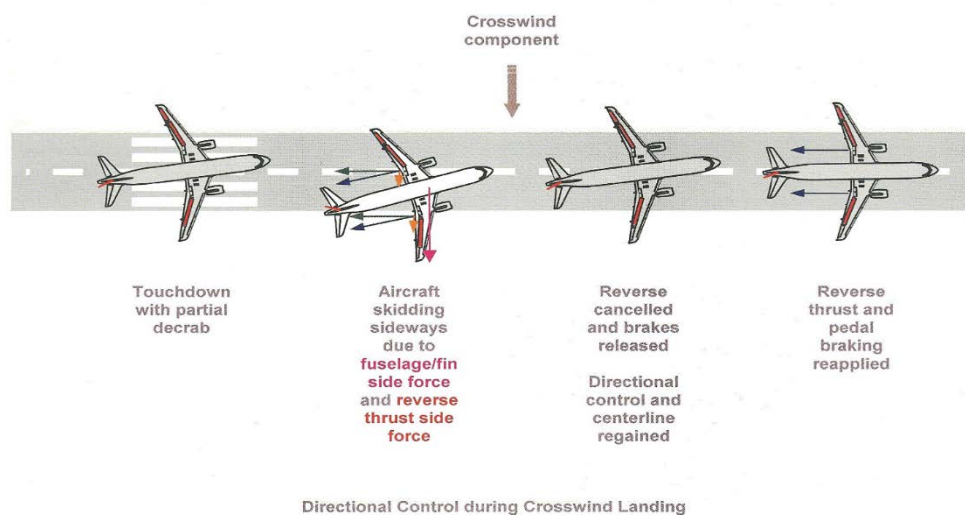


Abbildung 8/Quelle Airbus

## E. Hydroplaning

Noch ein weiterer Faktor ist ein unter dem Namen Hydroplaning bekanntes Phänomen. Darunter versteht man das Aufschwimmen eines Reifens/der Reifen auf einen Wasserfilm bei einer kritischen Geschwindigkeit – der hydroplaning speed. Zwei Arten des hydroplaning sind bekannt:

- **viscous hydroplaning**
- **dynamic hydroplaning**
- **reverted rubber planing.**

Auf mehr oder weniger glatten und geschlossen beschaffenen Start-/Landebahnen tritt viskoses Hydroplaning auf. Es wird dadurch charakterisiert, dass das rollende oder rutschende Rad die letzte dünne Wasserschicht im Abdruckbereich nicht mehr verdrängen kann. Das reine viskose Hydroplaning tritt nur auf sehr glatten und fein beschaffenen Oberflächen auf. Eine Tiefe der Makrotextur von nur ~ 0.3 mm reicht aus, um diese Art des Hydroplaning zu verhindern.

Wenn flüssiges Wasser auf der Bahn vorhanden ist, muss der Reifen dieses nach vorne und zu den Seiten verdrängen. Vor der Abdruckfläche, wo der Reifen auf das Wasser trifft, bildet sich ein Druck entsprechend dem vom Reifen übertragenem Impuls aus. Dieser Druck, welcher zum Quadrat der Geschwindigkeit des Rades und zur Dichte des Wassers proportional ist, lenkt den Reifen so ab, dass das Wasser sukzessive in die Kontaktfläche zwischen Reifen und Boden eindringen kann und so teilweise die Last des Rades trägt. Ab einer bestimmten Wassertiefe und Geschwindigkeit besteht kein Kontakt mehr zwischen Reifen und S/L-Bahn. Der Reifen ist nun vollständigem dynamischen Hydroplaning ausgesetzt und es existieren keine Haftungs- und nur geringe Hystereseverluste im Abdruckbereich.

Die Häufigkeit des dynamic hydroplaning überwiegt; es wird im wesentlichen von der Dicke der Wasserschicht, der Struktur der Bahnoberfläche und dem Aufbau des Reifens bestimmt. Galt in früheren Jahren die Faustformel  $V_p = 9\sqrt{p}$  ( $V_p$  = hydroplaning speed in kt,  $p$  = Reifendruck in psi) um die hydroplaning speed zu errechnen, so liegt der Faktor 9 heute je nach Reifentyp zwischen 6 bis 8. Eine hydroplaning speed zu ermitteln ist für den Piloten zudem in Unkenntnis des verwendeten Reifens nahezu unmöglich (Abbildung 9).

#### **„Reverted Rubber Planing“**

Reverted Rubber Hydroplaning ist eine Sonderform des viscous hydroplaning, bei der chemische Reaktion zwischen den Reifenbestandteilen und Wasser stattfindet, die zu einem völligen Reibungsverlust des Reifens führt.

Diese Form tritt nur selten auf, ist aber außerordentlich gefährlich, da die beschriebene Reaktion bis zum völligen Stillstand des Flugzeuges andauert.

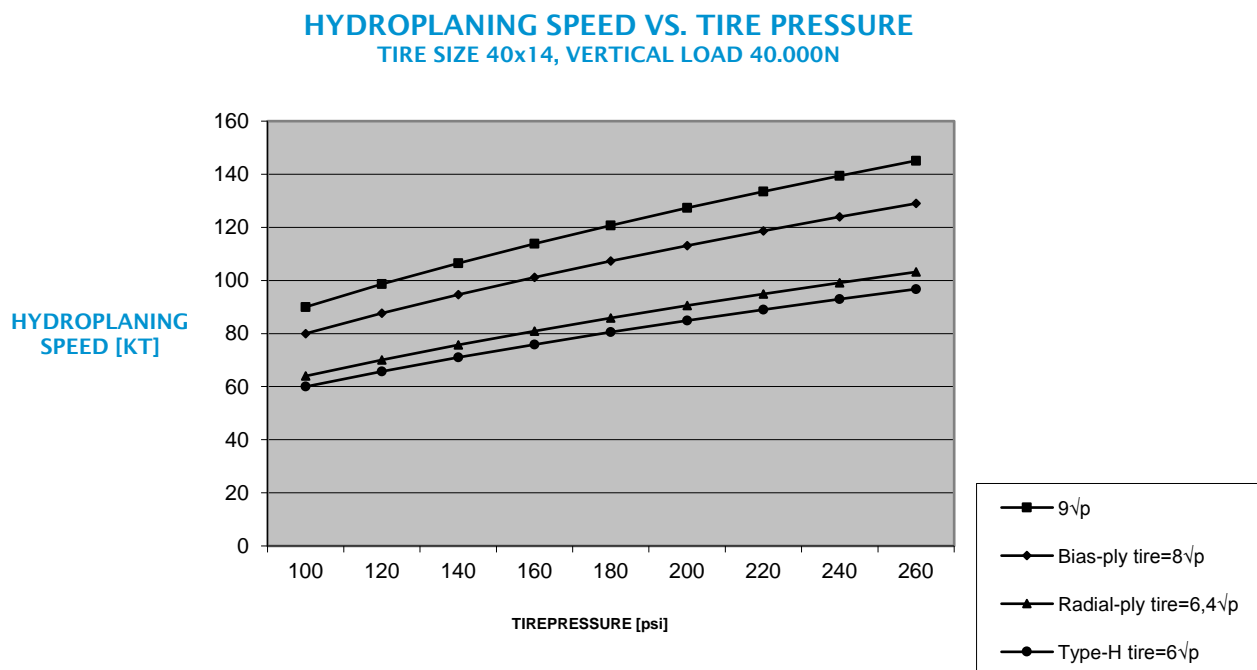


Abbildung 9

## F. Fazit

Ein Verkehrsflugzeug sicher zu fliegen ist eine sehr anspruchsvolle und fordernde Tätigkeit unter guten Wetterbedingungen, es spielt keine Rolle ob es sich dabei um eine Boeing 747 mit 400 Passagieren an Bord oder eine Beechcraft 1900 mit 19 Sitzplätzen handelt. Wenn zusätzlich noch gefrierender Regen, Eis, Schnee, Schneeregen, Schneematsch und andere gefrierende Kontaminationen den Flugbetrieb auf einem Flughafen stören, wird diese Aufgabe noch schwieriger und die potentiellen Auswirkungen auf die Sicherheit und Kapazität sind enorm.

Für den Start- und Landevorgang haben Schnee-, Schneematsch oder stehendes Wasser gravierende Auswirkungen: Die Flugzeugbeschleunigung wird durch den erhöhten Laufwiderstand der Räder und durch das Aufprallen von hochgeschleuderten Teilchen auf Fahrwerk und Zelle beeinträchtigt. Außerdem ist bei einem Startabbruch von einer erheblich verminderten Bremswirkung auszugehen. Während der Beschleunigungsphase ist der Rollwiderstand wesentlich davon abhängig, ob die Flugzeuggeschwindigkeit über oder unter der

dynamic Hydroplaninggeschwindigkeit liegt. Entsprechendes gilt für den Landevorgang (siehe D). Hier kommen die hochgeschleuderten Partikel jedoch der Bremswirkung zu Gute, da so zusätzlicher Widerstand erzeugt wird.

Die Verantwortung für die Entscheidung auf einer kontaminierten Bahn zu starten oder zu landen, liegt letztendlich beim Piloten. Der Pilot trifft diese Entscheidung aufgrund der Informationen, die ihm vom Kontrollturm (ATIS, SNOTAM, MOTNE, PIREPS) zur Verfügung gestellt werden und aufgrund seiner Kenntnisse über sein Flugzeug. Es liegt klar auf der Hand, dass diese Entscheidung kritisch sein kann. Der Pilot benötigt eine effektive und konsistente Einschätzung des Bahnzustandes und verlässliche Methoden um diese Bedingungen mit dem Anhalte- und Richtungshaltungsvermögen seines Flugzeuges in Beziehung zu setzen.

Für den Piloten ist es also grundsätzlich wichtig zu wissen, ob ausreichend Reibung zwischen den Flugzeugreifen und den Bewegungsflächen (S/L-Bahn, Rollbahn, Vorfeld) zur Verfügung steht, wenn diese mit Schnee, Schneematsch, Eis oder Wasser kontaminiert sind, vor allem dann, wenn die Start- und Landgeschwindigkeiten des Flugzeuges hoch sind. Es ist essentiell, dass dem Piloten angemessene Informationen über die Reibungscharakteristik der Bahnoberfläche und die vorhandene Bremswirkung zur Verfügung stehen, damit er seine Techniken entsprechend anpassen kann und die Flugleistungen seines Flugzeuges korrigieren kann.

Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Flughafenbetreiber unbedingt alle ihnen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten einsetzen sollten, um die Bewegungsflächen möglichst schnell und gründlich von jeglicher Kontamination zu befreien. Darüber hinaus sollte, wenn das Räumen und Reinigen der Bahn nicht zu einer sauberen und trockenen Bahn führt, durch Messung der Bremskoeffizienten festgestellt werden, ob ein für den sicheren Betrieb angemessenes Maß an Oberflächenreibung zur Verfügung steht. Außerdem sollen relevante Informationen über den Zustand der S/L-Bahn allen Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Dieser Standpunkt stimmt mit JAR-OPS 1.490(c)(3) überein.

***Auszug aus JAR OPS 1.490(c)(3): In the case of a contaminated runway, the first option for the commander is to wait until the runway is cleared.***

Ein gemessener Bremskoeffizient ist für Flugzeugbesatzungen nur ein Hinweis darauf, was sie bei Start und Landung erwarten könnten. Verschiedene Faktoren beeinflussen die tatsächliche Verzögerung bei Start und Landung und machen so eine Korrelation zwischen dem gemessenen Bremskoeffizienten und der tatsächlichen Verzögerungsrate unmöglich. Bremskoeffizienten, welche auf Bahnen, die mit einer dünnen Schicht von Schneematsch bedeckt sind, gemessen werden, sind sehr fraglich.

Zum Abschluß die Summe aller Verzögerungskräfte bei einer Landung mit der autobrake in der Mode LOW (Abbildung 10).

### Typical Decelerating Forces during Landing Roll

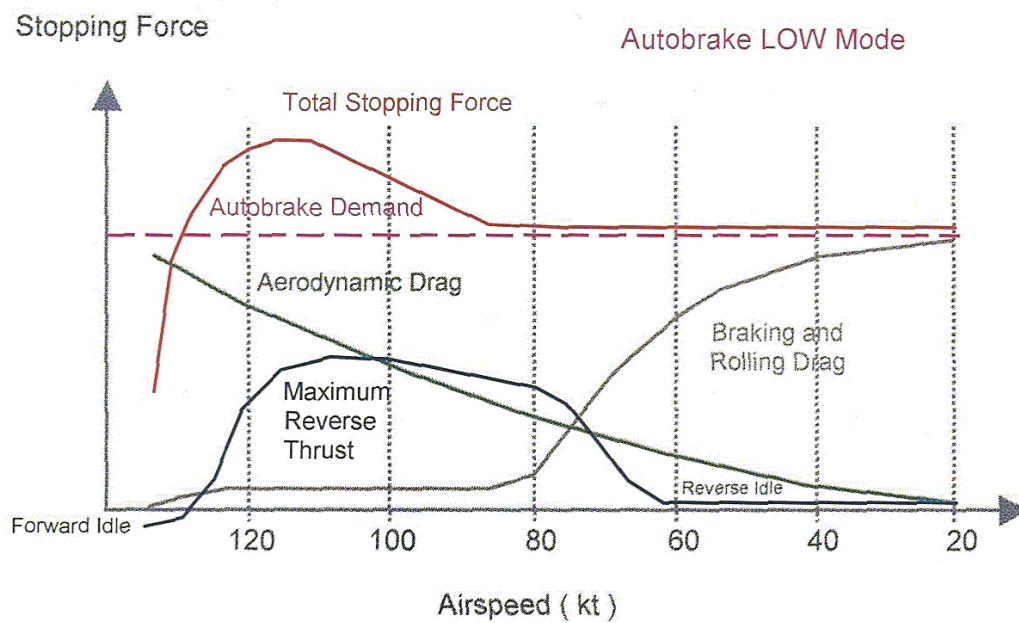


Abbildung 10/Quelle Airbus



## Definitionen

### JAR-OPS 1.480 Terminology

(a) Terms used in Subparts F, G, H, I and J, and not defined in JAR-1, have the following meaning:

(1) *Accelerate-stop distance available (ASDA).*

The length of the take-off run available plus the length of stopway, if such stopway is declared available by the appropriate Authority and is capable of bearing the mass of the aeroplane under the prevailing operating conditions.

(2) *Contaminated runway.*

A runway is considered to be contaminated when more than 25% of the runway surface area (whether in isolated areas or not) within the required length and width being used is covered by the following:

(i) Surface water more than 3 mm (0.125 in) deep, or by slush, or loose snow, equivalent to more than 3 mm (0.125 in) of water;

(ii) Snow which has been compressed into a solid mass which resists further compression and will hold together or break into lumps if picked up (compacted snow); or

(iii) Ice, including wet ice.

(3) *Damp runway.*

A runway is considered damp when the surface is not dry, but when the moisture on it does not give it a shiny appearance.

(4) *Dry runway.*

A dry runway is one which is neither wet nor contaminated, and includes those paved runways which have been specially prepared with grooves or porous pavement and maintained to retain 'effectively dry' braking action even when moisture is present.

(5) *Landing distance available (LDA).*

The length of the runway which is declared available by the appropriate Authority and suitable for the ground run of an aeroplane landing.

(7) *Take-off distance available (TODA).*

The length of the take-off run available plus the length of the clearway available.

(8) *Take-off mass.*

The take-off mass of the aeroplane shall be taken to be its mass, including everything and everyone carried at the commencement of the take-off run.

(9) *Take-off run available (TORA).*

The length of runway which is declared available by the appropriate Authority and suitable for the ground run of an aeroplane taking off.

(10) *Wet runway.*

A runway is considered wet when the runway surface is covered with water, or equivalent, less than specified in subparagraph (a) (2) above or when there is sufficient moisture on the runway surface to cause it to appear reflective, but without significant areas of standing water.

(b) The terms 'accelerate-stop distance', 'takeoff distance', 'take-off run', 'net take-off flight

path', 'one engine inoperative en-route net flight path' and 'two engines inoperative en-route net flight path' as relating to the aeroplane have their meanings defined in the airworthiness requirements under which the aeroplane was certificated, or as specified by the Authority if it finds that definition inadequate for showing compliance with the performance operating limitations.

### Empfehlungen der ICAO (Annex 14) - Aerodromes

Über viele Jahre hat die internationale Gemeinschaft die Notwendigkeit der Informationssammlung über S/L-Bahnoberflächen, welche bei Nässe rutschig sind, zum Ausdruck gebracht. Die ICAO hat nach und nach empfohlene Verfahren eingeführt, die hauptsächlich durch Forschungsprogramme entwickelt wurden. Außerdem wurde eine bestimmte Häufigkeit der Messungen festgelegt, welche sicherstellen soll, dass die Griffigkeit einer Bahn nicht unter den vereinbarten Standard fällt. Die nachfolgenden Auszüge aus ICAO Annex 14 zeigen die zurzeit gültigen Richtlinien.

#### **ICAO Annex 14 Attachment A 6.1**

„Es besteht eine betriebliche Notwendigkeit für zuverlässige und einheitliche Informationen, über das Reibungsverhalten von vereisten und schneebedeckten Start- und Landebahnen.

Genauere und zuverlässigere Angaben über das Oberflächen-Reibungsverhalten kann man durch Reibungsmessgeräte erhalten, jedoch ist wegen der vielen vorhandenen Variablen, wie Luftfahrzeugmasse, Geschwindigkeit, Bremsmechanismus, Reifen und Fahrwerksmerkmalen weitere Erfahrung erforderlich, um die mit Hilfe dieser Geräte gewonnenen Resultate mit der Luftfahrzeugleistung in Beziehung zu setzen.“

#### **ICAO Annex 14 Attachment A 6.2**

„Wenn eine Start- und Landebahn ganz oder teilweise mit Schnee oder Eis bedeckt ist, sollte eine Messung des Bremskoeffizienten vorgenommen und bei Zustandsänderung wiederholt werden. Auf anderen Oberflächen als denjenigen von Start- und Landebahnen sollte die Reibung gemessen und/oder die Bremswirkung bewertet werden, wenn ein unbefriedigender Reibungszustand auf diesen Oberflächen zu erwarten ist.“

#### **ICAO Annex 14 Attachment A 6.3**

„Die Messung der Reibungskoeffizienten liefert die beste Grundlage für den Oberflächenreibungszustand. Der Wert der Oberflächenreibung sollte der Höchstwert sein, der auftritt, wenn ein Rad rutscht, aber noch rollt. Es können verschiedene Reibungsmessgeräte verwendet werden. Da Einheitlichkeit bei der Methode der Bestimmung und Meldung des Reibungszustandes auf der Start- und Landebahn betrieblich notwendig ist, sollten die Messungen vorzugsweise mit einem Gerät vorgenommen werden, das die kontinuierliche Messung der Maximalreibung entlang der gesamten Start- und Landebahn durchführt. Messtechniken und Angaben über die Grenzen der verschiedenen

Reibungsmessgeräte und über die zu beachtenden Vorsichtsmaßnahmen sind im Airport Service Manual, Teil 2 enthalten.“

#### **ICAO Annex 14 Attachment A 6.5**

„Die Reibungsbedingungen auf einer Start- und Landebahn sollten als „Bremsinformation“ in Form des gemessenen Reibungskoeffizienten  $\mu$  oder der geschätzten Bremswirkung mitgeteilt werden. Bestimmte numerische Werte sind notwendigerweise auf Aufbau und Ausführung eines jeden Reibungsmessgerätes, wie auch auf die gemessene Oberfläche und die angewendete Geschwindigkeit bezogen.“

#### **ICAO Annex 14 Attachment A 6.6**

„Die nachfolgende Tabelle mit den zugeordneten, beschreibenden Begriffen wurde aus

Reibungsdaten entwickelt, die nur bei zusammengepresstem Schnee und Eis gesammelt

wurden. Die Angaben sollten deshalb nicht als absolute Werte genommen werden, die in allen Bedingungen anwendbar sind. Ist die Oberfläche durch Schnee oder Eis beeinflusst und die Bremswirkung als „gut“ angegeben, sollten die Luftfahrzeugführer keine Bedingungen erwarten, die so gut sind wie auf einer sauberen, trockenen Start- und Landebahn (wo die vorhandene Reibung sehr wohl größer sein kann als auf jeden Fall erforderlich). Der Wert „gut“ ist ein Vergleichswert, der die Bedeutung haben soll, dass Luftfahrzeuge, besonders beim Landen, keine Schwierigkeiten bei der Richtungsführung oder beim Bremsen haben dürften.“

### Gemessener Bremskoeffizient und Bedeutung für den Piloten

Bremskoeffizient	zu erwartende Bremswirkung		
0,40 und darüber	gut	good	5
0,39 - 0,36 mittel bis gut	medium to good		4
0,35 - 0,30 mittel	medium		3
0,29 - 0,26 mittel bis schlecht	medium to poor		2
0,25 und darunter	schlecht	poor	1
Unzuverlässig	unzuverlässig	nil	9

### ICAO Annex 14 Attachment A 6.8

„Ein Gerät für kontinuierliche Reibungsmessung [...] kann zum Messen der Reibungswert auf Start- und Landebahnen benutzt werden, die mit zusammengepresstem Schnee oder Eis bedeckt sind. Ein Verzögerungsmesser [...] kann bei bestimmten Oberflächenbedingungen verwendet werden, z.B. bei zusammengepresstem Schnee, Eis und sehr dünnen Schichten von trockenem Schnee [...]. Ein Verzögerungsmesser sollte nicht bei lockerem Schnee oder Schneematsch verwendet werden, da er irreführende Reibungswerte liefern kann. Andere Reibungsmessgeräte können bei bestimmten Kombinationen von

Ablagerungen und Luft-/Belagtemperatur ebenfalls irreführende Reibungswerte liefern.“

#### **ICAO Annex 14 - Aerodromes Absatz 2.9.11**

„Empfehlung: Immer wenn Pulverschnee, Nassschnee oder Schneematsch auf der Start- und Landebahn sind, sollte eine Einschätzung der mittleren Tiefe der Kontamination für jedes Bahndrittel mit einer Genauigkeit von ungefähr 2 cm bei Pulverschnee, 1 cm bei Nassschnee und 0,3 cm bei Schneematsch, gemacht werden.“ Diese ICAO Dokumente lassen Interpretationsmöglichkeiten offen. So schreibt die ICAO im Annex 14 Attachment A 6.5, dass die Bremsinformationen als geschätzte oder gemessene Werte veröffentlicht werden können. Gleichzeitig heißt es im Attachment 6.1, 6.6 und 6.8, dass die Werte in der o.a. Tabelle auf kompakten Schnee und Eis ermittelt wurde und Messungen auf verdrängend wirkenden Kontaminationen zu unzuverlässigen Werten führen, da zu viele Variablen zu beachten sind.

#### **Dazu ein Auszug aus dem ICAO Airport Service Manual Chapter 4.2.3**

„Die Verlässlichkeit von Tests durch Reibmessgeräte, die unter anderen Bedingungen als kompakter Schnee und/oder Eis durchgeführt werden, kann durch ungleiche Bedingungen verloren gehen. Dies ist speziell der Fall, wenn eine dünne Schicht Schneematsch, ein Wasserfilm auf Eis, Pulverschnee oder Nassschnee auf der Piste sind. In solch einem Fall können das Rad des Messgerätes und das des Flugzeuges unterschiedlich in die Kontaminationsschicht eindringen und somit zu signifikanten Unterschieden in der Reibungsleistung führen. [...] Vorsicht ist auch geboten bei der Bereitstellung von Pistenreibwerten für Piloten, wenn ein Wasserfilm auf einer Eisschicht vorhanden ist.“

## Quellen

JAR - OPS 1

ICAO - Airport Service Manual, Part 2, 1995

ICAO - Annex 14, Aerodromes, 1995

Steffen Eberle, Ralf Parzinger - Eine Studienarbeit im ILST - Hochschule Bremen,  
2000

Flugleistungen von Strahlverkehrsflugzeugen - Deutsche Lufthansa, FRA OR3,  
1990