



# DUNSTBUCH

Eine Einführung  
in Dunst- und Nebel effekte

Dipl. Ing. Jens Mueller  
**mediaengineer**

Dieses Booklet ist per kostenfreien Download zu beziehen unter:

**[www.dunstbuch.de](http://www.dunstbuch.de)**

oder bei

**mediaengineer** *Ingenieurbüro für*  
*CAD und technische Planungen*

Dipl. Ing. Jens Mueller  
Grafenwerthstraße 18  
50937 Köln

**[www.mediaengineer.de](http://www.mediaengineer.de)**  
**[jens.mueller@mediaengineer.de](mailto:jens.mueller@mediaengineer.de)**

*Copyright 2002 - 2011*

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Textes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung reproduziert, vervielfältigt oder verbreitet werden. Jegliche kommerzielle Nutzung dieses Textes für ein Medium oder für die Nutzung eines Informationssystems bedarf einer Genehmigung des Autors.

Alle Informationen sind nach bestem Wissen und Gewissen erstellt worden, eine Haftung für die Richtigkeit oder Aktualität kann jedoch daraus nicht abgeleitet werden.

Alle Rechte wiedergegebener Marken stehen Ihren jeweiligen Inhabern zu.

# Auto**STAGE**<sup>2D</sup>

Das Werkzeug für die  
Theater- und Veranstaltungstechnik

**effizient**  
**planen**  
**ökonomisch**  
**zeichnen**  
**produktiv**  
**arbeiten**

**Auto**STAGE**<sup>2D</sup>**



[www.autostage.de](http://www.autostage.de)

# Auto**STAGE**<sup>3D</sup>

Das Werkzeug für die  
Theater- und Veranstaltungstechnik

**effizient**  
**planen**  
**ökonomisch**  
**zeichnen**  
**produktiv**  
**arbeiten**

Auto**STAGE**<sup>3D</sup>



[www.autostage.de](http://www.autostage.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Vorwort</b> .....	3
<b>2. Einleitung</b> .....	4
<b>3. Rauch- und Nebel effekte</b> .....	6
3.1. Rauche ffekte.....	6
3.2. Nebel effekte.....	7
3.2.1. Nebel (Fog).....	8
3.2.2. Bodennebel (Low-Lying Fog).....	8
3.2.3. Dunst (Haze).....	9
3.2.4. Schwerer Nebel (Mist).....	9
3.3. Verwendete Nebel fluide zur Dunst- und Nebel erzeugung.....	10
3.3.1. Wasser.....	12
3.3.2. Wasser-Glykol-Mischung.....	13
3.3.3. PEG200, Triethylen-Glykol und Mineralöl-Fluide.....	14
3.3.4. Sicherheitshinweis zu Nebel fluiden.....	16
<b>4. Methoden zur Nebel erzeugung</b> .....	17
4.1. Nebel durch Erhitzen (Heated Fog).....	17
4.1.1. Glykol-Pumpen-Methode (Verdampfer Prinzip).....	17
4.1.1.1. Das Heizelement.....	19
4.1.1.2. Die Fluidpumpe.....	21
4.1.2. Gas-Pumpen-Methode.....	22
4.1.3. Effektiver Einsatz der Glykol- oder Gas-Pumpen- Methode.....	24
4.2. Nebel durch mechanische Methoden (Mechanical Fog).....	26
4.2.1. Wasserdruck-Methode.....	26
4.2.2. Cracker-Methode.....	27
4.2.3. Zerstäuber-Methode.....	29

---

4.2.4. Ultraschall-Methode.....	30
4.2.5. Effektiver Einsatz der mechanischen Methoden.....	31
4.3. Nebel durch Kälte (Cryogenic Fog).....	31
4.3.1. Trockeneis-Methode.....	33
4.3.2. Flüssig-Stickstoff-Methode.....	34
4.3.3. Kälte-Explosions-Methode.....	36
4.3.4. Effektiver Einsatz der Kältemethoden.....	36
<b>5. Arbeiten mit Nebel.....</b>	<b>39</b>
5.1. Beleuchtung des Nebels.....	39
5.2. Bewegung des Nebels.....	40
5.3. Verteilung des Nebels.....	43
5.4. Steuerung von Nebelmaschinen.....	45
5.5. Hinweise zu Rauch- und Feuermelder.....	46
<b>6. Zum Einsatz von Nebeleffekten.....</b>	<b>48</b>
<b>7. Gefahren von Nebeleffekten.....</b>	<b>51</b>
7.1. Technische Gase.....	51
7.1.1. Stickstoff.....	51
7.1.2. Kohlendioxid.....	52
7.1.3. Flüssige Synthetische Luft.....	52
7.2. Fluide auf Glykol- oder Mineralöl-Basis.....	53
<b>8. Appendix.....</b>	<b>56</b>
8.1. Kurzüberblick über die Methoden zur Nebelerzeugung.....	56
8.2. Grenzwerte für Bestandteile von Nebelfluiden.....	57
8.3. Weitere Literatur und Quellenverzeichnis.....	58

## **I. Vorwort**

Dieses Booklet informiert über die Entwicklung der Nebel-Technologie und gibt Handlungshilfen für den sicheren und effektiven Gebrauch aller Arten von Nebel-effekten.

**Es wird dringend Empfohlen, vor dem Betrieb einer Nebelmaschine, egal welchen Typs, das Betriebshandbuch des Herstellers gründlich zu lesen und alle Betriebsanweisung genauestens zu befolgen. Dieses Booklet ist kein Ersatz der Betriebsanleitung!**

## 2. Einleitung

Die alten Griechen verbrannten Teer und öligen Fackeln, zu Zeiten Shakespeares musste das Publikum schwefelige Dunstschwaden bei dem Genuss von Theatervorstellungen ertragen. Seit diesen Zeiten ist der Einsatz von atmosphärischen Dunst- und Nebel effekten gewünscht und manchmal sogar gefordert, um die Theatralik oder Realität eines Stückes besonders zu betonen.

Diese frühen Methoden zur Herstellung atmosphärischer Effekte, mit der Ausnahme von Wasserdampf, boten wenige Möglichkeiten, den entstehenden Dunst oder Nebel in irgendeiner Art und Weise zu steuern oder auf ein Signal zu starten oder stoppen. Viele von den damaligen Effekten sind nach heutigen Gesundheitsaspekten schlichtweg giftig und stellen eine hohe Feuergefahr da.

Auch heute werden Dunst- und Nebel effekte in großem Umfang bei allen Arten von Veranstaltungen gerne und oft eingesetzt. Natürlich haben sich die Methoden seitdem ständig verbessert, so dass eine Vielzahl von Variationen zur Erzeugung von künstlichen Dunst- und Nebel effekten zur Verfügung stehen, die mit deren antiken Vorläufern wenig bis gar nichts gemeinsam haben. Gegenüber den „antiken“ Effekten haben die modernen Dunst- und Nebel effekte einige Vorteile:

- sie sind wesentlich sicherer und einfacher in der Anwendung
- sie stellen keine Gesundheitsgefahr dar
- sie können auf Knopfdruck an- und ausgestellt werden und erzeugen dabei fast augenblicklich den gewünschten Effekt
- kleine, tragbare Geräte machen heute schnelle Dunst- und Nebel effekte zu einem vernünftigen Preis möglich



Nebel hat auch immer etwas mit Licht und Lichteffekten zu tun. Nur mit Licht wird der Nebel sichtbar, oder auch umgekehrt: Der Nebel macht das Licht sichtbar. Erst durch den Einsatz von Nebel-effekten können die verschiedenen Formen und Farben von Lichtstrahlen wirkungsvoll zum Einsatz gebracht werden. Deswegen sind atmosphärische Effekte wie Dunst und Nebel heute sehr wichtig für ein erfolgreiches Lichtdesign.

Feine, feste oder flüssige Partikel in der Luft dienen dabei als „Leinwände“ oder „Reflektoren“ für Lichtstrahlen. Die Lichtstrahlen werden von den Partikeln in der Luft gebrochen oder reflektiert und damit erst für das Auge des Betrachters sichtbar. Besonders wichtig sind die Schwebeseigenschaften der einzelnen Partikel. Je feiner die Partikel sind, desto besser und länger verteilt sich der Dunst oder Nebel im Raum.

### **3. Rauch- und Nebel effekte**

Vielfach wird der Begriff Rauch gebraucht, um sowohl Rauch- wie auch Nebel effekte zu beschreiben. Es muss jedoch eine grundlegende Unterscheidung zwischen Rauch und Nebel erfolgen:

#### **3.1. Rauche ffekte**

Rauch besteht aus feinen, festen Partikeln und entsteht immer bei Verbrennungsvorgängen. Alle antiken Methoden zur Dunst- und Nebel herstellung wurden fast ausschließlich durch Verbrennen von verschiedenen Stoffen hergestellt. Diese Stoffe können zum Beispiel speziell für diese Zwecke entworfen sein, wie Rauchtabletten oder pyrotechnische Rauchbomben. Es können aber auch einfachere Stoffe wie Herbstlaub oder Burlapsamen benutzt werden, um einen Rauche ffekt zu erzeugen.

Eine ähnliche Methode zu Erzeugung von Rauch ist der Einsatz von so genannten „Fumed Solids“ wie Ammonium Chloride. Diese Fumed Solids erzeugen technisch gesehen keinen Rauch, weil sie nicht durch Verbrennen entstehen. Die atmosphärischen Effekte der Fumed Solids sind jedoch den Effekten durch Verbrennen sehr ähnlich, so dass man sie aus Gründen der Einfachheit zu den Rauche ffekten hinzuzählt.

Moderne atmosphärische Effekte werden heute fast ausschließlich mit Nebel hergestellt (siehe weiter hinten). Selten wird Rauch zur Erzeugung eines Nebel effektes eingesetzt. In den meisten Fällen werden bei pyrotechnischen Vorgängen gezielt Stoffe verbrannt, um visuelle Erlebnisse wie zum Beispiel ein Feuerwerk zu schaffen. Dabei entsteht beim Verbrennungsprozess Rauch, der zum Teil gewollt, zum Teil aber auch in Kauf genommen werden muss. Dieser Rauch eignet sich wegen seiner grundsätzlich eher giftigen Eigenschaften allenfalls für kurze „Nebel effekte“. Ein längerer Einsatz von Rauche ffekten bei möglicherweise schlechter Be- und Entlüftung kann zu ernsthaften Gesundheitsgefahren bei allen anwesenden Personen führen.

Wie alle Effekte haben die Raucheffekte gute und schlechte Eigenschaften. Zu den guten Eigenschaften zählen:

- es ist eine sehr einfache Technik
- sehr kleine Rauchmengen können durch sehr kleine Geräte mit geringem Platzbedarf erzeugt werden. Für einige Anwendungen reicht zum Beispiel schon ein kleines Stück brennender Weihrauch in einem Aschenbecher
- es kann farbiger Rauch erzeugt werden. Die Rauchpartikel absorbieren einen Teil des sichtbaren Lichtspektrums, wodurch ein Farbeffekt entsteht

Für die meisten Anwendungen überwiegen jedoch die Nachteile gegenüber den Vorteilen:

- mit einigen wenigen Ausnahmen ist Rauch giftig
- Erhitzen und Verbrennen der Grundstoffe stellt eine potentielle Feuergefahr dar
- Rauch neigt dazu, an Oberflächen zu haften. Farbige Rauchscheiden und Fumed Solids hinterlassen einen weißen Staub

Wegen diesen, unter anderen sehr gefährlichen Nachteilen wird heute überwiegend auf den Einsatz von Raucheffekten verzichtet.

### **3.2. Nebel effekte**

Nebel besteht aus feinen, flüssigen Tropfen einer Flüssigkeit, die bei künstlich hergestellten Nebel effekten durch eine Vielzahl verschiedener Methoden erzeugt werden können. Obwohl das allgemeine Funktionsprinzip relativ simpel ist, gibt es einige gravierende Unterschiede zwischen den verschiedenen Methoden zur Nebelerzeugung, Arten von Nebelfluiden und den daraus resultierenden Nebel effekten, die eine Kombination beider darstellen. Grundsätzlich kann man alle Nebel effekte in verschiedene Gruppen einordnen, wobei der eigentliche Nebel nur ein Teil davon ist.

### **3.2.1. Nebel (Fog)**

Nebel besteht aus einem dichten Mix von unterschiedlich großen Tropfen mit einem Durchmesser von 2  $\mu\text{m}$  bis 5  $\mu\text{m}$ . Dieser Mix setzt die Sichtbarkeit herab, reflektiert und bricht die Lichtstrahlen. Aus diesem Grund hat Nebel eine ähnliche Erscheinung wie Rauch. Oft haben Nebelschwaden eine charakteristische Form und breiten sich in verschiedenen Luftschichten mit unterschiedlichen Nebeldichten aus. Durch die Größe der Tropfen neigt Nebel dazu, schneller als andere Nebel effekte zu verdampfen oder zu Boden zu sinken. Nebelschwaden verflüchtigen sich üblicherweise in sehr kurzer Zeit. Durch die Größe der Tropfen und die Dichte des Nebels wird beim Erzeugen eine große Menge an Nebelfluid benötigt. Es werden Nebelfluide mit verschiedenen Eigenschaften hergestellt, mit denen ein Nebel effekt an gewünschte Einsatzzwecke angepasst werden kann.

### **3.2.2. Bodennebel (Low-Lying Fog)**

Bodennebel ist üblicherweise sehr dicht, bedeckt den Boden vollständig und ähnelt einem Wolken effekt. Die üblichste und am weitesten verbreitete Methode zur Herstellung von Bodennebel erfolgt mit Trockeneis. Es sind jedoch auch andere Methoden verfügbar, die einen Bodennebel effekt liefern.

Bodennebel ist ein sehr kalter Nebel. Durch den Einsatz von schnell verdunstenden Nebelfluiden verflüchtigt sich der Bodennebel bei Erwärmen auf Raumtemperatur. Die Tropfengröße des Bodennebels variiert über einen großen Bereich. Durch die extreme Dichte und der schnellen Verdunstung wird eine große Fluidmenge für diesen Effekt benötigt. Das eingesetzte Nebelfluid besteht in der Regel aus Wasser, so dass der Fluidverbrauch üblicherweise keine Rolle spielt. Bodennebel wird selten über einen längeren Zeitraum eingesetzt.

### 3.2.3. Dunst (Haze)

Dunst ist ein sehr subtiler Nebel effekt mit einer nahezu unsichtbaren Erscheinung für das Auge oder die Kamera. Er wird erst sichtbar, wenn Lichtstrahlen von den Dunsttröpfchen gebrochen bzw. reflektiert werden. Dunsteffekte werden häufig bei Rockkonzerten eingesetzt, um die Lichtstrahlen von Moving-Lights (Multifunktionsscheinwerfern) sichtbar zu machen. Dunst ist ein hervorragender Effekt, um das Bühnenvolumen voll zur Geltung zu bringen. Idealerweise soll Dunst unsichtbar sein und nur die den Dunst durchscheinenden Lichtstrahlen betonen. Aufgrund dieser Eigenschaften wird Dunst ebenfalls bei Filmaufnahmen als subtiler Diffuser verwendet und bietet die Möglichkeit, Schatten aufzuhellen und Kontraste zu reduzieren.

Üblicherweise ist eine gleichmäßige Verteilung des Dunstes in der Luft über eine sehr lange Zeit gewünscht. Aus diesem Grund werden Dunsteffekte mit Nebelfluiden produziert, die sehr langsam verdunsten. Die Tröpfchen sind sehr klein, üblicherweise etwas größer oder kleiner als ein Mikrometer ( $1 \mu\text{m}$ ). Wegen dieser Größe hängen die Tröpfchen über eine sehr lange Zeit ohne zu verdunsten in der Luft. Die langsame Verdunstungszeit und der kleine Durchmesser der Tröpfchen bewirken einen sehr geringen Nebelfluid-Verbrauch für einen Dunsteffekt.

### 3.2.4. Schwerer Nebel (Mist)

Schwerer Nebel ist eine Kombination aus Nebel und Nieselregen. Durch ungewöhnlich große Tröpfchen von üblicherweise  $10 \mu\text{m}$  und mehr sind die Tröpfchen in der Luft sehr gut sichtbar. Sie werden jedoch nur über eine kleine Distanz transportiert, fallen schnell zu Boden und müssen laufend ersetzt werden. Schwerer Nebel hat eine geringere Dichte als normaler Nebel. Oberflächen unter den Nebelschwaden werden durch fallende Tröpfchen feucht und schlüpfrig und müssen regelmäßig aufgewischt werden. Durch den großen Verbrauch und den Hang zum Herabregnen ist Wasser das am häufigsten verwendete Nebelfluid für diesen Nebel effekt.

Dieser Nebel effekt eignet sich besonders gut für spezielle Effekte wie Dunstschwaden um Wasserfälle in Themenparks oder dunstige tropische Szene in Filmen. Ebenfalls kann dieser Nebel sehr gut für Sturmszenen auf der Bühne oder im Film eingesetzt werden, da wirbelnde Luftmassen sehr gut zur Geltung kommen.

### **3.3. Verwendete Nebel fluide zur Dunst- und Nebel erzeugung**

Die Rolle der Nebel fluide im Prozess der Nebel erzeugung wird oft vernachlässigt oder falsch verstanden. Die meisten Nebel fluide für diese Prozesse sind aus einer Mixtur von Wasser und einer Serie von Glykolen hergestellt. Glykole gehören zu der Gruppe der Alkohole und sind eine der am meisten benutzten Chemikalien der Welt und werden in einer Vielzahl von Produkten wie Lebensmitteln oder Kosmetika verwendet. Hersteller von Nebel fluiden sollten bei der Auswahl der einzusetzenden Glykole jedoch sehr sorgfältig vorgehen.

Nebelmaschinen und Nebel fluide werden immer als Systeme entworfen. Nebel fluide erfordern durch deren speziellen Eigenschaften angepasste Temperaturen für eine optimale Verdampfung oder Verbreitung. Hersteller stimmen deswegen ihre Maschinen auf eine bestimmte Sorte von Nebel fluiden ab. Wird z. B. bei Maschinen mit Wärmetauscher die Temperatur nicht an die Verdampfungstemperatur des verwendeten Nebel fluids angepasst, verdampft das Nebel fluid bei zu niedriger Temperatur nicht vollständig, so dass feuchte Anteile entstehen, die sich als Rückstände auf Oberflächen absetzen oder die Funktionsteile der Nebelmaschine verstopfen. Bei einer zu hohen Verdampfungstemperatur kann das Fluid verbrennen oder sich zersetzen. Dabei verändert sich die chemische Zusammensetzung des Nebels, bei der auch gesundheitsschädliche Bestandteile entstehen können.

Ebenso ist die Qualität der verwendeten Nebelfluid e für den Betrieb einer Nebelmaschine äußerst wichtig. Bereits die Verwendung eines vom Hersteller nicht spezifiziertem Nebelfluid s, welches auf destilliertem anstelle von demineralisiertem Wasser beruht, kann zu einer Verstopfung und damit Zerstörung der Nebelmaschine führen.

Über die Auswahl der Glykole und der Zusammensetzung der Nebelfluid e sind Hersteller in der Lage, eine große Bandbreite von Nebelfluid en für die verschiedensten Anwendungszwecke herzustellen. So lassen sich einer einzigen Maschine durch Auswahl diverser Nebelfluid e eine Reihe von unterschiedlichen Nebel effekten erzeugen.

Die Bandbreite der Nebelfluid e reicht von dicken Nebelschwaden mit einer sehr langen Schwebezeit in der Luft bis zu Nebel effekten mit einer sehr langen Verdunstungszeit. Diese Eigenschaften geben dem Benutzer und Lichtdesigner eine große Flexibilität beim Einsatz von Nebel effekten. Mit der Einführung von zuverlässigen, einfach zu benutzenden und dabei vergleichbar billigen Maschinen auf Wasser-Glykol-Basis wurde dieser Typ einer der am meisten gebrauchten Effekte in der Unterhaltungsindustrie.

Nebelfluid e, in denen neben Wasser noch andere Bestandteile enthalten sind, hinterlassen bei Gebrauch nach einiger Zeit rutschige Rückstände auf Oberflächen, insbesondere auf Metalloberflächen oder Betonböden. Aus diesem Grund sollte darauf geachtet werden, dass nach dem Einsatz von Nebel effekten keine Rückstände auf Traversen, Galerien, Treppen oder ähnliche Oberflächen hinterlassen werden. An diesen Stellen kann eine ernsthafte Rutschgefahr und damit Gefahr für Leib und Leben der Mitarbeiter bestehen. Rückstände von Nebelfluid en können sich ebenfalls in Luftfiltern sammeln und diese verstopfen. Dunst aus Mineralöl neigt dazu, sich über den Bühnenbereich hinaus auszubreiten, sich auf elektronischen Geräten als Schmierfilm niederzuschlagen und Luftfilter zu verstopfen. Dieses Problem tritt üblicherweise bei Crackern auf. In den letzten Jahren wurde aber mit einer kontrollierten und reduzierten Tropfengröße bei Crackern dieses Problem ein wenig gemindert.

Im Wesentlichen werden vier verschiedene Nebelfluid-Typen zur Erzeugung von künstlichen Nebel effekten benutzt:

- Wasser
- ein Gemisch aus Wasser und einem oder mehreren Glykolen oder Glycerin
- reines Glykol
- hochraffiniertes Mineralöl

Jeder dieser Typen hat spezielle Vor- und Nachteile und einen anderen Brechungsindex.

Der Brechungsindex ist ein Messwert der optischen Dichte eines transparenten Stoffes. Luft hat einen Index von 1, Wasser hingegen hat einen Index von ungefähr 1,35. Die unterschiedlichen Glykole oder Mineralöle haben andere Indizes, üblicherweise jedoch höher als der von Wasser. Wenn ein Lichtstrahl mit einem bestimmten Winkel von einem Medium in ein anderes Medium unterschiedlicher Dichte wechselt, wird der Lichtstrahl von seinem ursprünglichen Pfad weggebrochen. Je größer der Brechungsindex des Mediums, desto größer ist die Brechung des Lichtstrahls und damit die Streuung des Lichtstrahls.

Vor der Einführung von Nebelfluiden auf Glykol-Basis und hochraffiniertem Mineralöl wurden Nebelfluidе eingesetzt, die auf grobes Mineralöl oder Kerosin basierten und durch Erhitzen einen Nebel effekt erzeugten. Diese Nebelfluidе waren im besten Fall unangenehm, wenn nicht sogar gefährlich.

### 3.3.1. Wasser

Wasser hat folgende Vor- und Nachteile als Nebelfluid:

#### Vorteile:

- preiswert
- Wasser ist ungefährlich für die Gesundheit

#### Nachteile:

- verdunstet schneller als alle anderen Fluide
- Wasser hat den kleinsten Brechungsindex, streut also am wenigsten das Licht



### 3.3.2. Wasser-Glykol-Mischung

Die herkömmlichste und am weitesten verbreitete Methode zur Erzeugung von künstlichem Nebel sind Systeme auf Glykol-Basis. Die Mischungen werden teilweise als Fluide auf Glykol-Basis bezeichnet, weil sie Glykol enthalten. Teilweise werden sie aber auch als Fluide auf Wasser-Basis bezeichnet, weil sie zu einem Teil aus Wasser bestehen. Die Tropfen des damit erzeugten Nebels bestehen aus einer Wasser-Glykol-Mischung. Das Glykol verhindert, dass die Wasser-Glykol-Tropfen in der Luft verdunsten. Gleichzeitig wird der Brechungsindex der Tropfen verbessert, wodurch mehr Licht vom Nebel gestreut wird.

Wasser-Glykol-Mischungen haben folgende Vor- und Nachteile als Nebelfluid:

#### Vorteile:

- sie verdunsten langsamer als Wasser
- der Brechungsindex ist größer als Wasser
- verschiedene Mischungsverhältnisse von Wasser und Glykol können unterschiedliche Nebel-Effekte erzeugen

#### Nachteile:

- teurer als Wasser
- sie schlagen sich als rutschigen Belag auf Oberflächen nieder
- verschüttetes Fluid ist sehr rutschig und stellt damit eine Rutschgefahr dar

Diese Fluide sind in den meisten Fällen Mischungen aus Wasser und eine oder mehrere der folgenden Glykole bzw. Glycerine:

- propylene Glykole
- triethylene Glykole
- diethylene Glykole
- dipropylene Glykole
- 1,3-butylene Glykole
- Glycerin, auch als Glycerol bezeichnet

Glykol und Glycerin sind Alkohole und haben eine Molekülstruktur, bestehend aus zwei oder drei Hydroxyl-Gruppen, den so genannten Polyhydroxyl-Alkoholen. „Normaler“ Alkohol, wie er in Bier oder Wein enthalten ist, besteht aus nur einer Hydroxyl-Gruppe und wird auch als Ethylenalkohol bezeichnet. Eine Hydroxyl-Gruppe besteht aus einem Sauerstoff und einem Wasserstoff-Atompaar.

Genauso wie die Ethylenalkohole vermischen sich die Polyhydroxyl-Alkohole sehr gut mit Wasser. Aber anders als die Ethylene verdunsten die Polyhydroxyle sehr langsam und übertragen diese Eigenschaft auf das Wasser beim Vermischen mit demselbigen. Zusätzlich hat das Gemisch aus Polyhydroxyl-Alkohol und Wasser einen größeren Brechungsindex, so dass Lichtstrahlen sehr gut gebrochen werden und eine gute Streuung der Lichtstrahlen erfolgt. Unterschiedliche Mischungsverhältnisse zwischen Polyhydroxyl-Alkohol und Wasser bewirken unterschiedliche Eigenschaften des resultierenden Nebelfluids.

Diese Polyhydroxyl-Alkohole sind sehr weit verbreitet und werden seit Generationen in unzähligen Produkten und industriellen Prozessen eingesetzt. Man kann sie unter anderen in Deodorants und Handcremes, wie auch in Bremsflüssigkeit oder Enteiser wieder finden. Der Gebrauch von Glycerin ist seit mehr als 100 Jahren dokumentiert. Ebenso gehört Glycerin zu den harmlosesten und heute am meisten verwendeten Chemikalien. Die genaue Zusammensetzung der Wasser-Glykol Mischungen bei Nebelfluiden aus einem Glykol-System sind in der Regel streng bewachte Industriegeheimnisse. Es ist jedoch sinnvoll für Lichtdesigner und Techniker, die groben Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren und Produkten zu kennen und zu verstehen.

### **3.3.3. PEG200, Triethylen-Glykol und Mineralöl-Fluide**

Durch den Wasseranteil einer Wasser-Glykol-Mischung verdunstet der resultierende Nebel-effekt in einem annehmbaren Zeitraum. Die Tropfen sind jedoch durch den Wasseranteil relativ groß, was die Verdunstung begünstigt.

Manchmal ist jedoch ein Nebel effekt erwünscht, der eine noch längere Verdunstungs- oder Verflüchtigungszeit und bessere Schwebefähigkeiten aufweist.

Durch Einsatz von Nebelfluiden ohne Wasseranteil können die Tropfen verkleinert werden. Die Tropfen haben durch ihre geringe Größe sehr lange Verdunstungszeiten und gute Schwebefähigkeit.

Die meisten dieser Dunsteffekte ohne Wasseranteil werden mit hochraffiniertes Mineralöl oder mit Nebelfluiden hergestellt, die ausschließlich aus Polyethylene-Glykol 200 (PEG200) oder Triethylene-Glykol bestehen und bei Raumtemperatur so gut wie nicht verdunsten.

PEG200 und Triethylene-Glykol haben folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- sehr lange Verdunstungszeiten, der Effekt bleibt über eine lange Zeit bestehen
- einen hohen Brechungsindex, streut das Licht sehr gut

Nachteile:

- sehr lange Verdunstungszeiten, der Effekt ist schwer zu beseitigen
- sie schlagen sich als rutschigen Belag auf Oberflächen nieder
- verschüttetes Fluid ist sehr rutschig und stellt damit eine Rutschgefahr dar

Hochraffiniertes Mineralöl hat folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- verdunstet nicht, der Effekt bleibt über eine lange Zeit bestehen
- einen hohen Brechungsindex, streut das Licht sehr gut

Nachteile:

- verdunstet nicht, der Effekt ist schwer zu beseitigen
- schlägt sich als rutschigen Belag auf Oberflächen nieder
- verschüttetes Fluid ist sehr rutschig und stellt eine Rutschgefahr dar

### 3.3.4. Sicherheitshinweis zu Nebelfluiden

Nach § 30 der Berufsgenossenschaft-Vorschrift „*Veranstaltungs- und Produktionsstätten für szenische Darstellung*“ (BGV C1) hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass durch den Gebrauch von Nebel effekte bei bestimmungsgemäßem Einsatz Verletzungen sowie gesundheitliche Schädigungen vermieden werden. Diese Forderung ist laut BGV C1 erfüllt, wenn bei Verwendung von chemischen Nebeln die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) für einzelne Bestandteile eingehalten wird.

Nebelfluid e unterliegen in Ihrer Reinheit den Vorschriften des Deutschen Arzneimittelbuchs, da der aus Ihnen entstehende Nebel eingeatmet wird und somit in den menschlichen Körper gelangt. Um die Reinheit zu gewährleisten, wird von Herstellern vielfach durch Umkehrosmose erzeugtes demineralisiertes Wasser an Stelle von destilliertem Wasser als Grundlage für ein Nebelfluid verwendet. Nach Mischung und Abfüllung sollte das Nebelfluid durch z. B. UV- Bestrahlung keimfrei gemacht werden. Nur so lassen sich Gesundheits- und Materialschäden durch verkeimtes Nebelfluid vermeiden.

Qualitativ hochwertige Nebelfluid e besitzen in der Regel ein Sicherheitsdatenblatt, welches der Hersteller im Internet oder auf Aufforderung zur Verfügung stellt. Bestehen Zweifel an der Qualität eines Nebelfluid s, so sollte man das Sicherheitsdatenblatt etwas genauer unter die Lupe nehmen. Fehlt das Sicherheitsdatenblatt ganz, so ist Vorsicht geboten.

## 4. Methoden zur Nebelerzeugung

Unabhängig von dem verwendeten Nebelfluid müssen Methoden verwendet werden, um die kleinen Tropfen in die Luft zu befördern. Diese Methoden kann man in folgende Gruppen unterteilen:

- Nebel durch Erhitzen (Heated Fogs)
- Nebel durch mechanische Effekte (Mechanical Fogs)
- Nebel durch Kälte (Cryogenic Fogs)

Jede dieser Methoden zur Erzeugung von Nebel hat spezielle Vor- und Nachteile. In den folgenden Kapiteln wird auf die einzelnen Methoden genauer eingegangen.

### 4.1. Nebel durch Erhitzen (Heated Fog)

Es gibt zwei Methoden für die Erzeugung von Nebel durch Erhitzen. Bei beide Methoden wird ein Fluid durch einen Wärmetauscher gepresst, wobei ein opaques Aerosol produziert wird. Erst bei Kontakt des Aerosols mit der Umgebungsluft entsteht der eigentliche Nebel.

Bei der **Glykol-Pumpen-Methode** (Verdampfer-Prinzip) wird eine Lösung aus einem oder mehreren Glykolen und Wasser mit einer mechanischen Pumpe oder mit komprimierter Luft durch den Wärmetauscher transportiert. Dies ist die heute am meisten benutzte Methode zur Nebelherstellung.

Bei der **Gas-Pumpen-Methode** wird ein nicht brennbares Gas für den Transport von entweder hochraffiniertes Mineralöl oder einer Lösung aus einem oder mehreren Glykolen und Wasser benutzt.

#### 4.1.1. Glykol-Pumpen-Methode (Verdampfer-Prinzip)

Die Glykol-Pumpen-Methode wurde in den 1970er Jahren in Deutschland von Günther Schaidt entwickelt und war zu der Zeit eine große Verbesserung gegenüber verwendeten Methoden zur Nebelerzeugung.

Die Erfindung wurde 1979 in den USA eingeführt, wo Günther Schaidt 1984 mit einem Academy Award für technische Errungenschaften ausgezeichnet wurde.

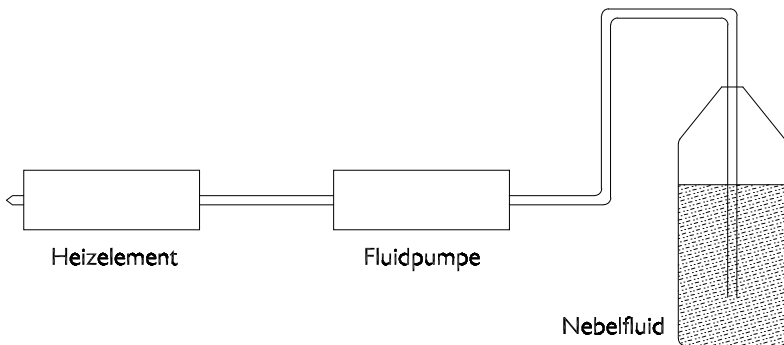


Bild 1 : Funktionsprinzip der Glykol-Pumpen-Methode

Bei der Methode wird eine Lösung aus destilliertem Wasser und einer Reihe von Glykolen mit geringem molekularem Gewicht benutzt. Das Glykol in der Wasser-Glykol-Mischung verhindert eine Verdunstung der Tropfen in der Luft und verändert den Lichtbrechungsfaktor der Tropfen so weit, dass der Nebel durch Lichtstrahlen sichtbar wird.

Hocheffiziente Glykol-Nebelmaschinen zur Erzeugung eines lang anhaltenden Nebeleffektes können sehr platzsparend gebaut werden. Dies ist einer der Gründe, warum Glykol-Nebelmaschinen heute eine hohe Popularität besitzen und sehr weit verbreitet sind.

Das Nebelfluid aus der Wasser-Glykol-Mischung wird mit einer Pumpe oder durch Druckluft in das Heizelement befördert. Im Heizelement wird das Nebelfluid durch die hohe Temperatur zum Verdampfen gebracht, dem so genannten „Flashing“, bei dem ein opaques Aerosol entsteht. Die Verdampfungs-Temperatur liegt in der Regel zwischen  $260^{\circ}\text{C}$  und  $370^{\circ}\text{C}$ .

Allgemein spricht man in diesem Bereich auch von „kalten“ oder „heißen“ Nebelmaschinen. Bei den kalten Nebelmaschinen liegt die Verdampfungs-Temperatur unter 300° C, bei heißen Nebelmaschinen darüber.

Das Nebelfluid expandiert sehr stark beim Übergang vom flüssigem zum gasförmigen Aggregatzustand. Durch den entstehenden Druck wird das Aerosol durch eine kleine Düse nach Außen gepresst. Sobald sich das Aerosol mit der kühleren Außenluft vermischt, formt sich ein Effekt der als Nebel (oder auch fälschlicherweise als Rauch, siehe oben) bezeichnet wird.

Diese Methode des Erhitzens mittels eines Heizelementes wird häufig für Nebel effekte benutzt, bei denen eine dichte Nebelwolke erzeugen werden soll. Die Nebelpartikel sind relativ groß, sinken schnell zu Boden oder verflüchtigen sich zügig in der Raumatmosphäre. Durch die hohe Temperatur des Heizelementes kann die Düse sowie das austretende Aerosol sehr heiß werden.

Nebelfluid e aus hochwertigen Mineralölen **dürfen auf keinen Fall** mit Glykol-Pumpen-Nebelmaschinen benutzt werden! Bei Nicht-Beachten kann es zu einer ernsthaften Brandgefahr kommen.

#### 4.1.1.1. Das Heizelement

Das Heizelement wird üblicherweise auch als Wärmetauscher bezeichnet. Im Handel erhältliche Konstruktionen variieren sehr stark in der Konstruktion, dem verwendeten Material und der elektrischen Leistung. Gute Konstruktionen berücksichtigen alle drei Punkte für eine optimale Verdunstung des Nebelfluids. Im Grunde genommen ist der Wärmetauscher ein Stück Metall und ein Heizwiderstand. Die Temperatur wird über ein Thermostat geregelt.

Die einfachste Möglichkeit, das Nebelfluid durch den Wärmetauscher zu leiten, ist das Durchleiten durch eine gerade Röhre (Bild 2). Etwas aufwendiger ist eine spiralförmige Röhre im Wärmetauscher (Bild 3).

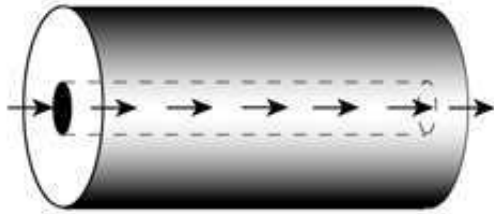


Bild 2 : Wärmetauscher, gerade Röhre

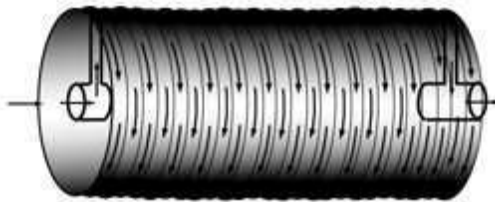


Bild 3 : Wärmetauscher, spiralförmige Röhre

Bei der Materialwahl des Wärmetauschers ist zu beachten, dass verschiedene Materialien unterschiedliche Wärmekapazitäten besitzen. Das am häufigsten gebrauchte Material für Wärmetauscher ist Aluminium, das geschmolzen und in eine Form gegossen oder gespritzt (extrudiert) wird. Aluminium wird sehr schnell heiß, kühlt aber auch schnell ab. Aus diesem Verhalten können kurze und starke Nebelstöße resultieren.

Weniger üblich ist ein Metallblock aus einer Nickel-Stahl Legierung. Stahl braucht eine längere Zeit zum Erhitzen, hat dafür aber sehr gute Eigenschaften der Wärmespeicherung. Mit einem sorgfältig ausgeführten Spiralweg durch den Metallblock kann das Nebelfluid bzw. Aerosol bis zu 1,8 m zurücklegen, bevor es austritt und mit der Umgebungsluft in Kontakt kommt. Der Stahlblock optimiert den Einsatz der nötigen elektrischen Leistung und sorgt für einen anhaltenden, starken Nebelausstoß.



Um für die Maschinen zu werben, geben viele Hersteller die elektrische Leistung zum Erzeugen des Nebels an. Ebenso kritisch sind jedoch auch andere Faktoren, wie Materialzusammensetzung des Wärmetauschers und Qualität der Einzelkomponenten für eine akkurate Erzeugung von Nebel-Effekten.

Ein großes Gewicht bei der Konstruktion eines Wärmetauschers spielt die Temperaturkontrolle des Thermostates. Ist die Temperatur im Wärmetauscher zu gering, entsteht ein feuchtes Aerosol, das sich als Schmierfilm auf Oberflächen absetzt. Ist die Temperatur zu hoch, kann das Nebelfluid „verbrennen“, wodurch eine chemische Veränderung des Nebelfluids eintritt. Aus diesem Grund ist eine verlässliche und akkurate Funktion des Thermostates notwendig, egal ob der Thermostat mechanisch oder elektronisch arbeitet. Ein guter Thermostat bewahrt die Maschine nicht nur vor Überhitzung, sondern schaltet auch die Fluidpumpe aus, wenn der Wärmetauscher zu kühl wird. Damit wird verhindert, dass feuchtes Aerosol die Maschine verlässt. Eine Manipulation des Thermostates kann sich auf die einwandfreie Funktion der Nebelmaschine negativ auswirken und sollte unter allen Umständen vermieden werden.

#### **4.1.1.2. Die Fluidpumpe**

Die Fluidpumpe transportiert das Nebelfluid zum Wärmetauscher. Dabei muss die Pumpe sehr genau mit den Eigenschaften des Wärmetauschers abgestimmt sein. Liefert die Pumpe das Nebelfluid zu schnell, fließt zuviel Fluid durch den Wärmetauscher und bewirkt damit nach einigen Sekunden das Ausschalten des Heizelementes (bei einem optimal eingestellten Thermostat). Beim erneuten Erhitzen des Wärmetauschers entstehen unangenehmen Wartepausen von bis zu einigen Minuten.

Je nach Einsatzgebiet und Preiskategorie wird eine Vielzahl von Pumpen eingesetzt. Maschinen für dauerhaften Einsatz, z. B. in Festinstallationen, sollten mit einer industriellen Membranpumpe ausgestattet sein.

Membranpumpen arbeiten mit komprimierter Luft und können mehrere Wärmetauscher gleichzeitig beliefern. Peristaltische Pumpen (*Peristaltik, aus der Medizin: wellenförmige Bewegung der Muskulatur von Hohlorganen*) sind speziell zum Pumpen von Flüssigkeiten, auf Kommando und mit verschiedenen Geschwindigkeiten, entwickelt worden. Die am meisten gebrauchte Pumpe ist jedoch die Kolbenpumpe für leichten Einsatz. Kolbenpumpen bestehen aus einer einfachen Konstruktion und werden zum Beispiel auch in Scheibenwischanlagen bei Autos eingesetzt.

Die Pumpengeschwindigkeit wird über eine wechselnde Betriebsspannung reguliert. Die peristaltische Pumpe ist besonders effektiv bei kleineren Fluidmengen, da ein Gleichstrommotor mit variabler Geschwindigkeit eingesetzt wird. Bei kleineren Betriebsspannungen ist die Kolbenpumpe besonders anfällig für klappern.

Einige Nebelmaschinen mit Wärmetauscher benutzen seit neuestem komprimierte Luft für die Erzeugung eines feineren Nebels oder Dunstes. Diese Technik ermöglicht es, komprimierte Luft direkt in den Wärmetauscher einzubringen, wobei Teile des Nebelfluids ersetzt werden. Das Resultat ist ein feiner Dunst, der durch einen hohen Luftausstoß mit einem geringen Nebelfluid-Anteil entsteht.

#### **4.1.2. Gas-Pumpen-Methode**

Diese Methode wurde ebenfalls in den 1970'er Jahren entwickelt. Das verdampfte Nebelfluid produziert einen sehr dichten Nebel mit sehr kleinen Tropfen und langen Schwebezeiten. Weil der Fluidverbrauch proportional zum Quadrat des Tropfendurchmessers abnimmt, ist der Nebelfluid-Verbrauch mit dieser Methode sehr gering.

Das Nebelfluid, entweder ein hochwertiges Mineralöl oder eine Wasser-Glykol-Lösung, wird mit einem nicht entzündlichen Gas wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder Stickstoff (N<sub>2</sub>) aus einer unter Druck stehende Gasflasche vermischt.

Durch den Gasdruck wird die Mischung in den Wärmetauscher (siehe oben) transportiert. Der Druck des Verdampfungsprozesses presst das entstehende Aerosol aus dem Wärmetauscher. Das Ergebnis sind Nebeltropfen mit einem Durchmesser zwischen  $0,5 \mu\text{m}$  und  $4 \mu\text{m}$ .

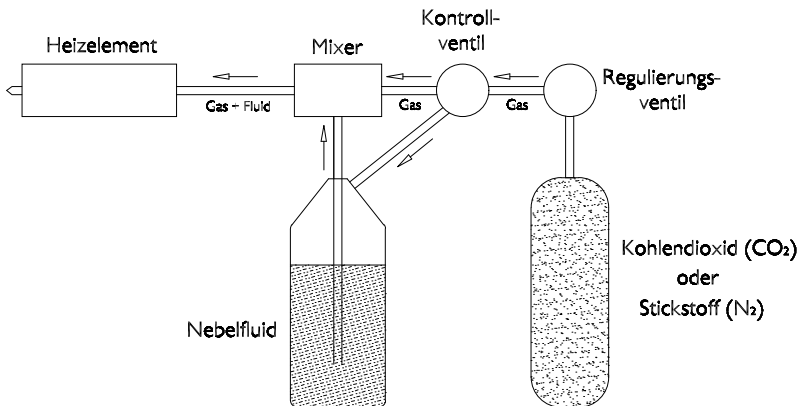


Bild 4 : Funktionsprinzip der Gas-Pumpen-Methode

Bei manchen Nebelmaschinen ist die Größe der Tropfen durch das Mischungsverhältnis zwischen Nebelfluid und Gas veränderbar. In einigen Fällen wird das Gas auch zu Reinigungszwecken des Wärmetauschers benutzt. Die ausgestoßene Nebelmenge wird üblicherweise über die Menge des Treibgases bestimmt, welche mit einem Regulierungsventil an der Gasflasche gesteuert wird.

Die bei dieser Methode ebenfalls eingesetzten Nebelfluidе aus hochwertigen Mineralölen **dürfen auf keinen Fall** mit Glykol-Pumpen-Nebelmaschinen benutzt werden! Bei Nicht-Beachten kann es zu einer ernsthaften Brandgefahr kommen.

### **4.1.3. Effektiver Einsatz der Glykol- oder Gas-Pumpen-Methode**

Nebelmaschinen mit diesen Arbeitsmethoden sind durch Variieren der Pumpen- oder Gasgeschwindigkeit in der Lage, eine Vielzahl von Nebel-effekten zu erzeugen, angefangen bei leichten Nebelschwaden bis hin zu schweren Nebelwolken. Aus diesem Grund sind die Nebelmaschinen dieses Typs sehr vielseitig einsetzbar und können dramatische Effekte aller Art erzeugen.

Die Maschinen sind so konzipiert, dass ohne Ergänzung des Nebelfluid-Vorrats leichte Nebelschwaden über einen längeren Zeitraum erzeugt werden können. Ebenso kann das Nebelfluid durch einfaches Austauschen oder Auffüllen eines Kanisters ergänzt werden. Für größere Installationen mit mehreren Nebelmaschinen sind automatisierte Systeme für die individuelle Verteilung des Nebelfluids an einzelne Maschinen erhältlich.

Nebelmaschinen mit der Glykol-Pumpen-Methode sind sehr ökonomisch, weit verbreitet und ohne großen Aufwand zu benutzen. Aus diesen Gründen sind Glykol-Pumpen-Nebelmaschinen im Laufe der Zeit immer populärer geworden und werden sehr häufig verwendet. Dabei ist auch von Bedeutung, dass eingesetzte Nebelfluidе durch Ihre Gesundheitsungefährlichkeit sehr einfach zu erwerben sind. Neben sofort verwendbaren Nebelfluiden gibt es auch Fluide als Konzentrat, die vom Benutzer mit destilliertem Wasser vermischt werden müssen.

Nebelmaschinen mit der Gas-Pumpen-Methode erfordern für den Einsatz ein nicht brennbares Gas wie Stickstoff oder Kohlendioxid und sind in der Regel wesentlich teurer und nur mit einigem Aufwand zu betreiben. Deswegen liegt deren Einsatzgebiet vorwiegend im professionellen Bereich.

Üblicherweise ist die Gasflasche im Gehäuse der Gas-Pumpen-Nebelmaschine integriert, sie kann aber auch über ein Schlauchsystem separat gelagert werden. In dem Fall muss darauf geachtet werden, dass geeignete Schläuche für den Transport des unter Druck stehenden Gases benutzt werden.

Die mit der Gas-Pumpen-Methode erzeugten Tropfen sind sehr klein und haben hervorragende Schwebbeeigenschaften über einen längeren Zeitraum. Durch geringe Betriebsgeräusche und niedrigen Nebelfluid-Verbrauch können Nebelmaschinen dieses Typs über längere Zeit problemlos betrieben werden.

Nebelmaschinen mit Wärmetauscher haben üblicherweise sehr kleine Abmessungen, wodurch eine beliebige Positionierung auf der Bühne ermöglicht wird. Dabei muss jedoch sichergestellt werden, dass im Notfall die Nebelmaschine sofort zu erreichen ist und abgeschaltet werden kann. Ebenso muss einen ausreichenden Sicherheitsabstand zu brennbaren Materialien eingehalten werden, da die Maschine und der austretende Nebel sehr heiß werden kann.

Ein Bodennebeleffekt entsteht durch Kühlen des Nebelaerosols beim Austreten aus der Nebelmaschine. Dieser Effekt ist dem mit Kälte erzeugtem Bodennebel sehr ähnlich (siehe Kapitel 4.3). Einige Hersteller bieten Kühlapparate für Glykol- oder Gas-Pumpen-Nebelmaschinen an, die mit Kältemitteln, wie flüssiges Kohlendioxid oder Stickstoff, betrieben werden und den austretenden Nebel sehr effektiv kühlen. Eine sehr ökonomische Methode ist der Einsatz von Trockeneis zum Kühlen des Nebelaerosols. Dabei wird das Nebelaerosol über das Trockeneis geleitet. Mit dieser Methode hält das Trockeneis wesentlich länger als mit einer herkömmlichen Trockeneis-Nebelmaschine. So können 25 kg Trockeneis für eine dreistündige Vorstellung ausreichend sein, im Vergleich zu 10 Minuten mit einer herkömmlichen Trockeneis-Nebelmaschine.

Wenn mit dieser Methode ein Trockeneis-Bodennebeleffekt simuliert werden soll, wird in der Regel ein schnell verdunstendes Nebelfluid auf Glykolbasis eingesetzt. Der so erzeugte Nebel hat dieselben Eigenschaften wie der mit Trockeneis erzeugte Bodennebel, der beim Erwärmen in die Luft steigt und verdunstet. Durch Einsatz von Nebelfluiden mit längeren Verdunstungszeiten entsteht ein anderer Effekt. Der gekühlte Nebel bleibt zuerst am Boden, beim Erwärmen steigt er jedoch ohne zu verdunsten langsam in die Luft.

Die obersten Schichten des Bodennebels werden durchsichtiger, während sich einzelne Nebelschwaden langsam in die Luft erheben. Der so erzeugte Nebeleffekt hat eine andere Erscheinung als klassischer Bodennebel und kann für einige Anwendungen besser geeignet sein als Bodennebel mit Trockeneis.

## **4.2. Nebel durch mechanische Methoden (Mechanical Fog)**

Alle mechanischen Methoden zur Nebelerzeugung haben gemeinsam, dass weder Hitze noch Kälte benutzt wird, um mit einem Fluid einen Nebel-Effekt zu erzielen. Stattdessen werden bei der Wasserdruck-, Cracker- und Ultraschall-Methode nur mechanische Kräfte eingesetzt, um einen Nebeleffekt zu erzielen.

### **4.2.1. Wasserdruck-Methode**

Ursprünglich wurde diese Methode 1969 von dem Physiker Tom Mee II, entwickelt, um eine dauerhafte Wolke für den „Pavillon der Wolken“ auf der Weltausstellung 1970 in Osaka, Japan, zu schaffen.

Seitdem ist diese Technologie ständig weiterentwickelt worden und wird heute, neben der Unterhaltungsindustrie, auch in Bereichen eingesetzt, wo Feuchtigkeit, statische Elektrizität und Temperatur kontrolliert werden müssen. Diese Methode benutzt zur Nebelerzeugung nur Wasser ohne weitere Zusätze.

Dabei wird Wasser unter hohem Druck (üblicherweise um die 70 bar) durch eine kleine Düse auf das scharfe Ende einer kleinen Stange gespritzt. Durch die Kraft des Wassers wird der Strahl an der Stange in kleine Tropfen aufgespaltet. Die Größe der Tropfen und damit das Schwebverhalten des Nebels in der Luft kann durch Variieren der Düsengröße und des Wasserdruckes verändert werden, wobei die erzeugten Tropfen trotzdem in ihrer Größe variieren können.

Die größeren Tropfen fallen üblicherweise schnell als Wasserdunst zu Boden. Kleinere Tropfen werden von der Luft getragen und schweben als Nebel davon.

Dieser Nebel kann sich hoch in die Luft erheben. Diese Eigenschaft hat sich als sehr nützlichen Effekt erwiesen für verschiedene Anwendungen, wie z. B. beim Frostschutz für Pflanzen oder der Abkühlung von wartenden Besuchern in US Freizeitparks.

Wegen des entstehenden Wasserdunstes und der damit einhergehenden Feuchtigkeit im Umkreis der Nebelmaschine wird dieser Nebeleffekt üblicherweise nur in Umgebungen eingesetzt, wo Feuchtigkeit keine Rolle spielt, wie bei Reitsport-Veranstaltungen, bei denen die Feuchtigkeit den positiven Effekt der Staubverminderung hat.

Nebelmaschinen dieser Art erfordern konstante Wartung und Pflege. Die Düse und der Stab, auf den der Wasserstrahl gerichtet ist, erodieren mit der Zeit und müssen ausgetauscht werden. Die erodierende Wirkung von fließendem Wasser stellt eine starke Belastung für die Nebelmaschine dar. Deswegen sind regelmäßige Wartungen Pflicht, um einen effizienten, einwandfreien und sicheren Betrieb zu gewährleisten.

#### **4.2.2. Cracker-Methode**

Diese Methode wurde ebenfalls in den 1960er Jahren als Verbesserung bestehender Methoden zur Nebelherstellung auf Mineralölbasis entwickelt. Zuvor wurden Öltropfen zum Verdunsten auf eine heiße Platte getropft, um einen Nebeleffekt herzustellen.

Weil die Cracker-Methode im Gegensatz dazu jedoch keine Hitze benutzt, kann sie als grundlegende Verbesserung angesehen werden. In der Chemie heißt „Cracking“ üblicherweise, dass ein Element mit Hilfe von Hitze aufgebrochen oder reduziert wird. In der Ölindustrie werden u. a. Cracker für die Herstellung von Benzin aus Rohöl benutzt.

Bei den in der Unterhaltungsindustrie eingesetzten Crackern findet jedoch kein chemischer Prozess statt. Cracker erweitern mit mechanischen Methoden den Platz zwischen einzelnen Molekülen. Das Nebelfluid besteht üblicherweise aus einem hochgradigen Mineralöl. Ein großer Vorteil des Mineralöls gegenüber anderen Nebelfluiden ist der geringere Gasdruck und damit einer kleineren Verdunstungsrate. Das Resultat ist dichter und geruchsfreier Dunst mit feinen Partikeln und sehr langen Schwebezeiten.

Ebenfalls gibt es so genannte „Water-Cracker“ mit derselben Funktionsweise. Hier wird jedoch anstatt Mineralöl ein Fluid auf Glykol-Basis verwendet. Der resultierende Nebel hat etwas weniger gute Eigenschaften als Nebel auf Mineralölbasis.

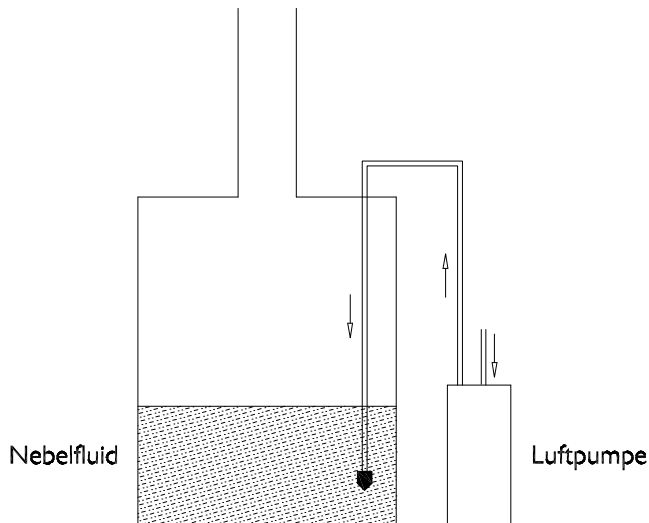


Bild 5 : Funktionsprinzip der Cracker-Methode

In einem mit Fluid gefüllten Kanister wird ein Schlauch mit einer Zerstäuberdüse getaucht. Die Zerstäuberdüse kann zum Beispiel aus einem Bronzekopf mit sehr kleinen Löchern bestehen.



Durch den Schlauch wird Druckluft gepresst, die über die Düse in der Flüssigkeit zerstäubt wird. Beim Durchbrechen der Oberfläche des Nebelfluids hüllt das Wasser-Glykol-Gemisch oder das Mineralöl die Luftblasen vollständig ein.

Es entstehen feine Partikel verschiedener Größe, üblicherweise mit einem Durchmesser von 10-20  $\mu\text{m}$ , die als Dunst die Maschine verlassen. Dabei sind jedoch nur die kleinsten Tropfen für den feinen Dunsteffekt gewünscht. Größere Tropfen werden in einem „Schornstein“ aus dem Dunst entfernt. Der Schornstein bewirkt ein Kondensieren der größeren Tropfen an den Gefäßwänden. Das Kondensat läuft als Flüssigkeit zurück in den Tank. Kleinere Tropfen verlassen ohne Probleme die Nebelmaschine und erzeugen einen feinen Dunst.

#### 4.2.3. Zerstäuber-Methode

Bei der Zerstäuber-Methode wird hochgradiges Mineralöl oder reines Glykol zur Erzeugung eines feinen Dunsteffektes benutzt. Diese Maschinen sind kompakt und gehören zu den populären Methoden der Nebelerzeugung.

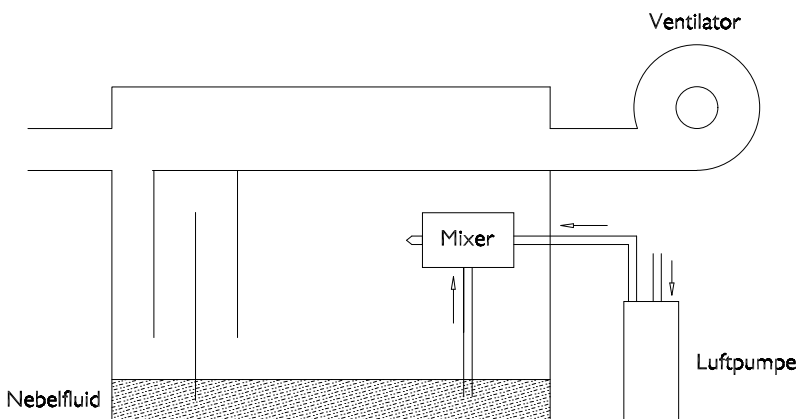


Bild 6 : Funktionsprinzip der Zerstäuber-Methode

Das Nebelfluid wird mit Luft vermischt und mit einer sehr kleinen Zerstäuberdüse in eine Kammer versprüht, wobei ein Aerosol mit verschiedenen großen Tropfen entsteht. Das Aerosol wird durch einen leichten Unterdruck aus der Kammer in ein Labyrinth gezogen, in dem die größeren Tropfen aus der Luft fallen oder an den Wänden kondensieren und zurück in den Fluidkanister fallen. Übrig bleiben nur die kleinsten Tropfen des Aerosols, die aus der Maschine als feiner Dunst austreten.

#### 4.2.4. Ultraschall-Methode

Die Ultraschall-Methode ist eine neue technologische Entwicklung in der Unterhaltungsindustrie zur Erzeugung von feinen Dunsteffekten. Bereits seit einigen Jahren sind Ultraschallsensoren mit einer Arbeitsfrequenz von 2 MHz bei Luftbefeuchter-Systemen im Einsatz.

Mit Hilfe der hohen Frequenzen werden kleine Wassertropfen aus einem Wasserbecken abgespalten und in der Luft verbreitet. Durch Adaptieren dieser Technik Anfang der 1990er Jahre auf ein Wasser-Glykol-Gemisch kann ein dauerhafter Dunst erzeugt werden.

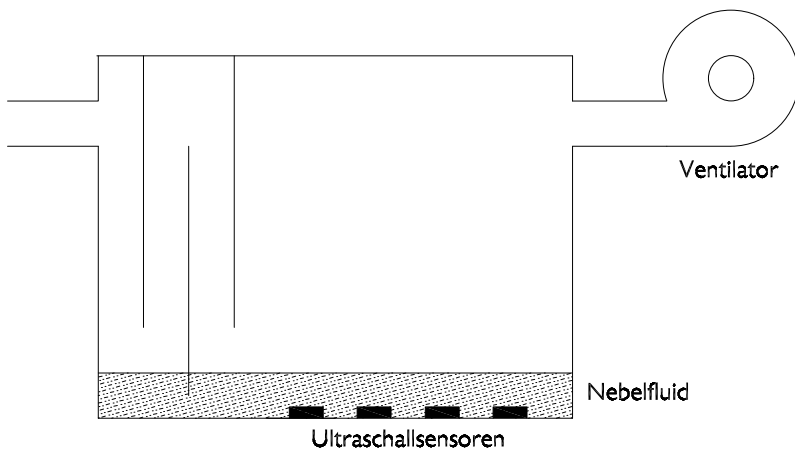


Bild 7 : Funktionsprinzip der Ultraschall-Methode

Eine schwache Wasser-Glykol-Mischung (üblicherweise 10-20 %) wird in eine Schale gefüllt, an deren Unterseite sich eine Anordnung von Ultraschallsensoren befindet. Die Ultraschallsensoren brechen das Fluid in kleine (1  $\mu\text{m}$  – 10  $\mu\text{m}$ ) Tropfen auf, die sich als Dunst über der Schale formen. Anschließend wird der Dunst mechanisch mittels eines Ventilators aus der Nebelmaschine geblasen. Mit dieser Methode kann ein feiner Dunst erzeugt werden, der hervorragende Schwebeseigenschaften und -zeiten hat.

Verglichen mit anderen Methoden ist diese Technik relativ komplex. Sie ermöglicht jedoch einen absolut geräuschlosen Betrieb der Maschine, abgesehen von dem Ventilatorgeräusch, das aber vernachlässigt werden kann.

#### **4.2.5. Effektiver Einsatz der mechanischen Methoden**

Cracker und Ultraschallmaschinen erzeugen einen sehr feinen, fast unsichtbaren Dunst in der Luft, der Lichteffekte verstärkt und eine dramatische Atmosphäre verleihen kann. Üblicherweise werden diese Maschinen konstant betrieben, um einen gleichmäßigen Dunstpegel in der Luft zu gewährleisten. Durch den Einsatz von hochgradigen Mineralölen oder Glykolen können lange Schwebeseiten des Dunstes erzielt werden. Dennoch ist die ausgestoßene Dunstmenge relativ gering, womit der Dunst sehr empfindlich wird gegenüber Luftbewegungen durch Klimaanlage oder offene Türen. Wird der Dunst gekühlt, entsteht ein tief liegender Nebeleffekt, der ähnliche Eigenschaften wie Bodennebel besitzt (siehe nächsten Abschnitt).

#### **4.3. Nebel durch Kälte (Cryogenic Fog, Bodennebel)**

Einer der am häufigsten benutzten Nebeleffekte in der Unterhaltungsindustrie ist mit Kälte erzeugter Nebel. „Natürlicher“ Nebel entsteht bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100 % und besteht aus kondensiertem Wasserdampf aus der Atmosphäre.

Bei der künstlichen Erzeugung von Nebel mittels Trockeneis oder flüssigem Stickstoff kondensiert ebenfalls der Wasserdampf aus der Atmosphäre, wobei ein dichter und tief liegender Nebel entsteht, der die gleichen Eigenschaften hat wie natürlicher Nebel. Er besteht nur aus Wasserdampf und enthält dementsprechend keinerlei chemische Zusätze, Glykole oder Öle und hinterlässt damit auch keine öligen oder schmierigen Rückstände.

Dieser Wasserdampfnebel ist durch seine geringe Temperatur schwerer als Luft und bleibt deswegen am Boden und bedeckt diesen vollständig, schwebt Treppen hinunter oder verwirbelt beim Durchgehen. Wegen dieser Eigenschaften wird diese Form des Nebel-effektes auch Bodennebel genannt. Da künstlich erzeugter Bodennebel selten in einer Atmosphäre mit 100 % Luftfeuchtigkeit erzeugt wird, verflüchtigt sich der künstliche Bodennebel sehr schnell beim Erwärmen durch Verdunstung oder Kondensation.

Alle Nebel-effekte durch Kälte werden entweder mit Wasser oder durch Manipulation von Lufttemperatur und Feuchtigkeit erzeugt. Bei der am häufigsten gebrauchten Methode wird ein sehr kaltes Material, wie Trockeneis oder flüssiger Stickstoff, in Kombination mit Wasser benutzt, um feine Tropfen in der Luft zu erzeugen. Dabei wird das Kältemittel mit flüssigem Wasser, Wasserspray, Wasserdunst oder Wasserdampf in Kontakt gebracht. Der große Temperaturunterschied zwischen beiden Stoffen erzeugt kleine Wassertropfen, die in der Luft schweben. Zur gleichen Zeit wird das Kältemittel erwärmt, dass daraufhin in seine ursprüngliche, gasförmige Form zurückkehrt. Dabei hat das erzeugte Gas aus Kohlendioxid oder Stickstoff ein größeres Volumen als in fester oder flüssiger Form. In den meisten Fällen kann dieser Gasdruck dazu verwendet werden, den Nebel durch Rohre und Schläuche zu transportieren. Ventilatoren werden bei dieser Methode prinzipiell nicht benötigt.

### 4.3.1. Trockeneis-Methode

Die Trockeneis-Methode ist eine der ältesten und am meisten gebrauchten Methode, um Bodennebel zu erzeugen. Trockeneis ist gefrorenes Kohlendioxid bei  $-80^{\circ}\text{C}$  und ist relativ preiswert und gut im Handel erhältlich. Bei der Verwendung von Trockeneis sind nur einfache mechanische Geräte notwendig, um einen Nebeleffekt herzustellen.

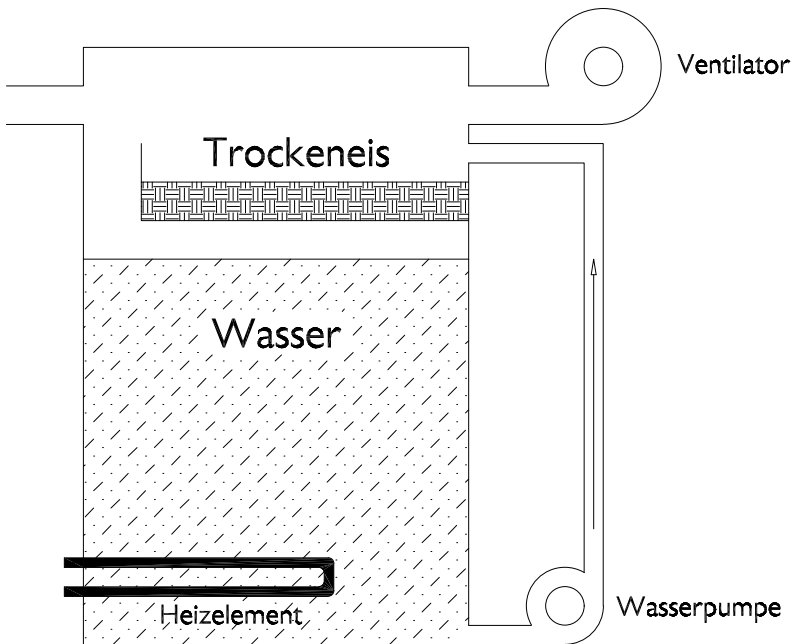


Bild 8 : Funktionsprinzip der Trockeneis-Methode

Üblicherweise besteht eine Trockeneis-Nebelmaschine aus einem Tank mit einer Kapazität von 114 bis 190 Litern, der ungefähr zu  $2/3$  mit Wasser gefüllt ist. Elektrische Heizelemente im Tank erhitzen das Wasser auf eine Temperatur zwischen  $38^{\circ}\text{C}$  und  $93^{\circ}\text{C}$ .

Ein mit Trockeneis gefüllter Korb ist über dem Wasser befestigt, der bei einfachen Maschinen manuell in das heiße Wasser hinab gelassen wird. Bei teureren Maschinen wird das heiße Wasser mit einer Pumpe über das Trockeneis gesprüht.

In beiden Fällen verändert das Trockeneis in sehr kurzer Zeit durch den Kontakt mit dem sehr viel wärmeren Wasser seinen Aggregatzustand von fest auf gasförmig. Das Wasser wird dabei soweit erregt, dass kleine Wassertropfen in die Luft gesprüht werden. Gleichzeitig bewirkt das entstehende kalte Kohlendioxidgas ein Kondensieren des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes zu kleinen Tropfen.

Durch die Volumenänderung des Trockeneises beim Übergang vom festen in den gasförmigen Zustand wird ein Gasdruck erzeugt, mit dem der Nebel durch ein Rohr aus der Maschine befördert wird. Zusätzlich wird zum Nebeltransport ein Ventilator eingesetzt, mit dem Frischluft in die Maschine geblasen wird. Die Frischluft vergrößert das Volumen des Nebels und verdünnt das aus der Nebelmaschine geblasene Kohlendioxid mit Luft.

In Deutschland eingesetzte Trockeneis-Nebelmaschinen müssen den Spezifikationen der DIN-Norm 57700, Teil 245 (VDE 0700, Teil 245) entsprechen.

#### **4.3.2. Flüssig-Stickstoff-Methode**

Flüssiger Stickstoff hat eine Temperatur von  $-198^{\circ}\text{C}$  und wurde zuerst in den 1970er Jahren für Nebel-effekte benutzt. Der erste Einsatz war bei großen Rock'n-Roll-Produktionen, bei denen unter Druck stehendes flüssiges Kohlendioxid oder Stickstoff direkt in die Luft gespritzt wurde. Dabei kondensierte die Luftfeuchtigkeit und es bildeten sich in einem Mikro-Wettersystem Wolken aus. Dieser Effekt wird auch als Kälte-Explosion bezeichnet. Der Spezialeffekt-Spezialist Jim Doyle entwickelte diese Technik weiter und baute die erste kommerzielle Nebelmaschine für flüssigen Stickstoff. Für diese Pionierarbeit wurde er 1992 mit einem Academy Award ausgezeichnet.

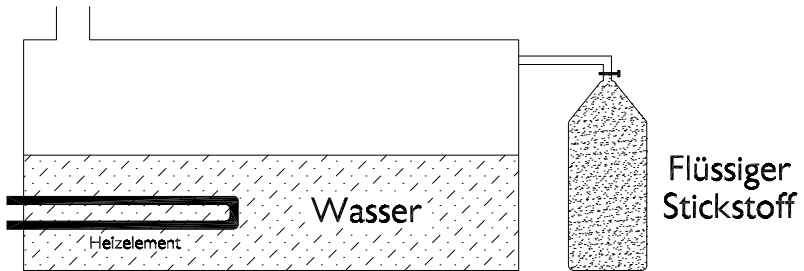


Bild 9 : Funktionsprinzip der Flüssig-Stickstoff-Methode

Als Reaktion auf den großen Bedarf an Nebelwirkungen aus Kälte wurde ein Gasgemisch mit dem Namen „Flüssige Synthetische Luft“ (FSL, in englisch LSA: Liquid Synthetic Air) entwickelt. Dieses Kältemittel ist ein homogenes Gemisch aus flüssigem Stickstoff und Sauerstoff und hat ein ähnliches Mischungsverhältnis wie die Atmosphäre der Erde (78 % Stickstoff und 22 % Sauerstoff). Die mit der „Flüssigen Synthetischen Luft“ hergestellten Nebelwirkungen haben die gleichen Eigenschaften wie die mit flüssigem Stickstoff erzeugten Nebelwirkungen. Für diese Entwicklung wurde 1998 ebenfalls ein Academy Award vergeben.

Nebelmaschinen, die mit flüssigem Stickstoff oder FSL arbeiten, bestehen ebenfalls aus einem großen Tank, in dem Wasser über Heizelemente erwärmt wird. Im Gegensatz zu Trockeneismaschinen wird hier jedoch mehr Raum für Wasserdampf über dem Wasser gelassen. Stickstoff oder FSL wird in flüssigem Zustand bei  $-198^{\circ}\text{C}$  in den mit Wasserdampf gefüllten Raum gesprüht. Dadurch kondensiert der Wasserdampf in einen Nebel. Das Wasser im Tank bleibt bei diesem Prozess unberührt. Beim Übergang vom flüssigen zum gasförmigen Aggregatzustand gibt es wie bei dem Trockeneis eine große Volumenänderung des Stickstoffs. Mit dem entstehenden Gasdruck wird der Nebel aus der Maschine gedrückt. Selten werden zusätzliche Ventilatoren zum Transport des Nebels verwendet. Bei Verwendung von „Flüssiger Synthetischer Luft“ wird der Nebel aus der Maschine durch einen Luftstrom anstelle von Stickstoff transportiert.

### **4.3.3. Kälte-Explosions-Methoden**

Im Gegensatz dazu wird eine Kälte-Explosion durch Verspritzen von unter Druck stehendem flüssigem Kohlendioxid oder Stickstoff erzeugt. Durch die plötzliche Druck- und Temperatur-Änderung geht das Kältemittel augenblicklich in den gasförmigen Zustand über, wobei die Umgebungsluft stark abgekühlt wird und eine kleine Nebelwolke entsteht. Dieser Effekt kann in der Luft ein sehr eindrucksvolles Schauspiel sein.

### **4.3.4. Effektiver Einsatz der Kältemethoden**

Alle durch Kälte erzeugten Nebel effekte haben durch die niedrigen Temperaturen eine natürliche Tendenz am Boden zu bleiben. Beim Einsatz von Trockeneis ist der entstehende Nebel durch den hohen Kohlendioxidanteil schwerer als Luft und bewegt sich schnell an die tiefsten Stellen des Raums. Die Nebel effekte durch Kälte können eine mysteriöse Stimmung verbreiten, sie sind jedoch durch ihre Eigenschaften nicht zur Dunsterzeugung geeignet. Der Bodennebel verdunstet beim Erhitzen oder Transport durch Ventilatoren in höhere Luftschichten und erhöht dabei nur die Luftfeuchtigkeit des Raumes.

Beim Einsatz von Trockeneis zur Nebelerzeugung ist der Verbrauch und die damit verbundenen Kosten sehr hoch, weil üblicherweise in 10 Minuten ungefähr 25 kg Trockeneis verbraucht werden. Trockeneis kann problemlos in einer Kühltruhe gelagert werden, wobei das Trockeneis jedoch in der Regel innerhalb von 48 Stunden verdampft. Flüssiges Stickstoff oder Kohlendioxid sind durch die extrem niedrigen Temperaturen und der Lagerung mit Überdruck nur für den professionellen Einsatz zu empfehlen.

Mit diesen sehr kalten Stoffen muss sehr vorsichtig umgegangen werden. Direkter Kontakt mit Trockeneis oder flüssigem Stickstoff kann ernsthafte Frostschäden verursachen. Es ist extrem schwierig, diese Kühlmittel auf einer gleichmäßig niedrigen Temperatur zu kühlen.



Wenn die flüssigen oder festen Kühlmittel warm werden, gehen sie in den gasförmigen Aggregatzustand über. Aus diesem Grund müssen gelagerte Kühlmittel immer belüftet werden. Bei luftdichter Lagerung wird irgendwann der Behälter aufbrechen und das Gas entweichen. Die Lagerung sollte nur unter fachgerechter Aufsicht mit entsprechendem Material erfolgen.

Sowohl Kohlendioxid wie auch Stickstoff verdünnen die Umgebungsluft, besonders an tiefen Stellen eines Raumes. Zusätzlich ist Kohlendioxid in höherer Konzentration giftig. Üblicherweise stellt dies kein Problem dar, trotzdem sollte man beim Einsatz von Stickstoff oder Kohlendioxid vorsichtig sein, gerade in kleineren Räumen.

Wenn Künstler oder technisches Personal durch die Verdünnung der Luft nicht genug Sauerstoff bekommen, stellt sich ein Schwindelgefühl ein. In diesem Fall müssen betroffene Personen schnell mit frischer Luft versorgt werden. Ebenso sollte verhindert werden, dass sich Leute auf den Boden legen, wo die Kohlendioxid- oder Stickstoffkonzentration besonders hoch ist. Orchestergräben oder andere tiefer liegenden Teile eines Raumes müssen eine adäquate Frischluftzufuhr aufweisen.

Da der mit Kälte erzeugte Nebel nur aus Wasserdampf besteht, ist es schwierig, diesen in der Luft zu halten. Entweder der Wasserdampf verflüchtigt sich durch Verdunsten, oder er kondensiert auf dem Boden. In diesem Fall bilden sich ein rutschiger Wasserbelag oder kleine Pfützen auf dem Boden. Aus diesem Grund sollte man sorgfältig prüfen, dass durch Kondensation keine gefährlichen Situationen für alle beteiligten Personen entstehen. Diese Prüfung sollte vor jedem Einsatz geschehen, da kleine Änderungen im Raumklima große Änderungen des Kondensationsverhaltens des Nebels auslösen können.

Durch den Einsatz von flüssigem Wasser bei diesen Verfahren korrodieren wichtige Teile der Nebelmaschinen. Deswegen sollten regelmäßige Kontrollen vorgenommen werden, um einen sicheren, effizienten und zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten.

Ebenfalls sollte das Wasser regelmäßig ausgewechselt werden, um gegen Korrosion vorzubeugen. In Bodennebelmaschinen werden bei der Nebelherstellung kleine und große Tropfen erzeugt. Die größeren Tropfen haben die Tendenz, sehr schnell in der Umgebung der Nebelmaschine zu Boden zu fallen und einen rutschigen Belag zu verursachen. Dieses Problem kann durch eine optimierte Betriebstemperatur des Wassers in der Nebelmaschine gemindert werden.

Ebenfalls kann ein U-förmiges Rohr als Nebelauslaß verwendet werden, in dem die größeren Tropfen kondensieren und sich am Boden der Rohrbiegung als Wasser sammelt. Das Wasser muss jedoch regelmäßig entfernt werden, da sonst durch eine größere Wasseransammlung der Nebelauslaß der Maschine verstopft.

## 5. Arbeiten mit Nebel

### 5.1. Beleuchtung des Nebels

Um den Nebel richtig wirkungsvoll zu gestalten, sind einige Regeln zu beachten. Nebel wird erst durch seine lichtbrechende Eigenschaft sichtbar. Dabei bricht jedoch der Nebel das Licht nicht gleichmäßig in alle Richtungen. Trifft ein Lichtstrahl einen Nebeltropfen, wird dieser gebrochen und verlässt den Nebeltropfen unter verschiedenen Winkeln.

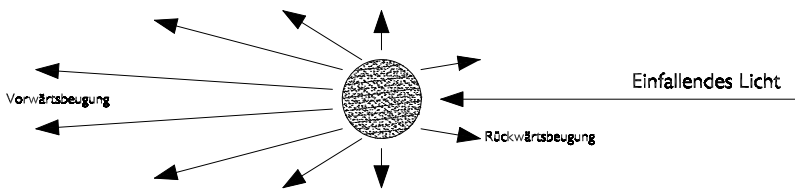


Bild 10 : Brechung eines Lichtstrahls durch einen Nebeltropfen

Dadurch wird der Lichtstrahl von dem Nebeltropfen aufgeweitet. Der überwiegende Teil des Lichtstrahls wird in Vorwärtsrichtung, der Rest in alle anderen Richtungen gebrochen. Nur ein kleiner Teil des Lichtes wird in Richtung der Lichtquelle zurück gebrochen und ist nur aus der Richtung der Lichtquelle wahrnehmbar.

Wegen diesen lichtbrechenden Eigenschaften der Nebeltropfen ist Hinterlicht nahezu notwendig, um den Nebel auf der Bühne richtig zur Geltung zu bringen. Ebenso kann mit farbigem Licht die Erscheinung des Nebels verändert werden. Tiefes Hinterlicht macht dabei den Nebel am meisten sichtbar. Steiles Vorderlicht oder Licht im 45-Grad-Winkel von vorne hat nur einen sehr kleinen Effekt auf die Sichtbarkeit des Nebels. Tiefes Vorderlicht von einer Bodenrampe oder einem Balkongeländer kann nützlich sein, es ist jedoch möglich, dass der Nebel von verschiedenen Positionen im Zuschauerraum unterschiedlich wahrgenommen wird. Flächige Ausleuchtung von oben oder von vorne kann den Nebel flach oder sogar als nicht existent erscheinen lassen.

Seitenlicht ist keine besonders gute Beleuchtungsrichtung, da Zuschauer oder Kameras den Nebel genau unter dem Winkel sehen, der am wenigsten das Licht bricht. Die Farbe und Helligkeit des Hintergrundes kann ebenfalls einen Einfluss auf die Sichtbarkeit des Nebels haben. Der Nebel wird relativ gut sichtbar, wenn der Hintergrund sehr dunkel ist. In den meisten Fällen heißt weniger Nebel mehr Effekt, wenn die optimalen Beleuchtungsrichtungen eingehalten werden. Durch Wechseln der Beleuchtungsrichtung kann der Nebel in Szenen, in denen kein Nebeleffekt erwünscht ist, nahezu „unsichtbar“ gemacht werden.

Je nach eingesetztem Nebelmaschinentyp und verwendetem Nebelfluid lassen sich kleine Unterschiede in der Erscheinung des erzeugten Nebel-Effektes feststellen. Ebenso sind Nebelmaschinen oder Nebelfluides desselben Typs nicht immer gleich. Die Größe und Richtung der Lichtbrechung hängt wesentlich von der Zusammensetzung des Nebelfluids, der Größe der Nebeltropfen und der Dichte des Nebels ab. Die Lichtbrechung ist ebenfalls abhängig von der Farbe des Lichtes. Einige Nebeleffekte, die mit weißem Licht beleuchtet werden, haben unter einem bestimmten Betrachtungswinkel eine leicht bläuliche Erscheinung, unter einem anderen Betrachtungswinkel jedoch eine leicht bräunliche Erscheinung. Diese Farbunterschiede sind sehr subtil, können aber für bestimmte Situationen eine große Rolle spielen. Bei der Auswahl des richtigen Nebeleffektes spielt Erfahrung und Experimentierfreudigkeit eine sehr große Rolle.

## **5.2. Bewegung des Nebels**

Verschiedene Nebeltypen verhalten sich in ihren Bewegungen unterschiedlich. Ebenso sind für den Einsatz von Nebeleffekten die Verteilung des Nebels im Raum, die Nebelmenge sowie die Art der Beleuchtung entscheidend für den erfolgreichen Einsatz eines Nebel-Effektes. Um die Lichtstrahlen sichtbar zu machen, reicht in der Regel schon eine kleine Menge des richtigen Nebeltyps, vorausgesetzt man kann die Luftbewegungen im Raum kontrollieren.

Dies jedoch kann einen Mehraufwand an Arbeit verursachen, bringt aber auch einige Vorteile und verringert mögliche Gesundheitsgefahren: Ist man in der Lage, den Nebel in einer Szene so zu manipulieren, dass er nur an einer Stelle des Raumes schwebt, wird es in der nächsten Szene einfacher, den Nebel schnell und elegant zu entsorgen.

In jedem Fall können schon die kleinsten Luftbewegungen wie Klimaanlage, offene Türen oder sich auf der Bühne bewegende Künstler den Nebel in unerwünschte Richtungen bewegen und somit dramatische Effekte auf die Nebelbewegung haben, wodurch das Kontrollieren des Nebels ungleich schwerer wird.

Professionelle Spezialeffekt-Designer haben herausgefunden, dass man mit einfachen, strategisch platzierten Ventilatoren den Nebel innerhalb von Sekunden von der Bühne transportieren kann. In dem Musical „*Les Miserables*“ laufen die Künstler sehr schnell in einem Kreis, wobei der eigentlich feine Dunst zu einer wirbelnden Wolke im Mittelpunkt der Bewegung wird. Diese Beobachtungen haben zwei wichtige Konsequenzen:

- Man kann Nebel mit einem Minimum an strategisch platzierten Nebelmaschinen oder Ventilatoren bewegen. Ein paar Ventilatoren mit Geschwindigkeitssteuerung, vorzugsweise mit großen Blättern, können wirkungsvolle Luftströme erzeugen, die zum Bewegen des Nebels notwendig sind. Dann reicht schon eine langsame Geschwindigkeit der Ventilatorblätter, um den Nebel in eine gewünschte Richtung zu transportieren.
- Um den Nebel sinnvoll bewegen zu können, ist ein sehr genaues Beobachten der Luftzirkulation im Gebäude wichtig. Selbst wenn die Luftbewegungen der Klimaanlage kaum spürbar sind, kann es passieren, dass der Nebel in die Luftschächte gesaugt wird. Alle Nebel effekte sollten beim Betrieb der Klimaanlage, wie auch der Heizung, getestet werden. Selbst die kleinste offene Bühnentür kann den aufwendigsten Nebel effekt in Sekunden zerstören. Die

Luftbewegungen des Publikums sind in der Regel zu vernachlässigen, sie können aber auch das Zünglein an der Waage sein. Die Anwesenheit des Publikums hat nicht nur Auswirkungen auf die Akustik eines Raumes, sondern kann auch zu ganz neuen thermischen Effekten führen.

Die meisten mit Hitze erzeugten Nebel effekte steigen durch Ihre erhöhte Temperatur beim Verlassen der Nebelmaschine in die Luft. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur bleiben sie in der Regel in einer bestimmten Höhe schweben, vorausgesetzt es herrschen keine Luftbewegungen. Dieser Effekt wird auch als neutrale Schwebeseigenschaft bezeichnet. Nebel mit größeren Tropfen beginnt beim Abkühlen zu Boden zu fallen. Beim Einsatz von Nebel mit neutralen Schwebeseigenschaften können einzelnen Luftschichten besonders betont werden. Wird der Nebel in einer bestimmten Höhe in die Luft geblasen, kann ein interessanter „Wolkeneffekt“ erzeugt werden, wobei die Luftströmungen jedoch sehr sorgfältig kontrolliert werden müssen. Grundsätzlich sind Erfahrungen im Umgang mit Nebel und Experimentierfreudigkeit nötig, um Nebel an der richtigen Stelle der Bühne zu platzieren und dort auch zu halten.

Mit Trockeneis erzeugter Bodennebel bedeckt üblicherweise die Bühnenfläche maximal bis zu einer Höhe von ungefähr einem Meter. Dabei breitet sich der Nebel auf der Bühnenfläche aus und fällt an Treppenstufen oder Bühnenkanten in die ersten Reihen des Publikums oder in den Orchestergraben herunter.

In den seltensten Fällen ist Nebel in diesen Bereiche gewünscht oder willkommen. Der Bodennebel kann jedoch durch kleine Barrieren daran gehindert werden, sich über gewisse Bühnenbereiche hinaus auszubreiten.

Es können zum Beispiel Bodenrampen oder Szenenelemente wie Blumenkästen entlang der Bühnenkante platziert werden, um den Bodennebel aus nicht erwünschten Bereichen herauszuhalten. Nahezu jede Art von Barriere kann zu diesem Zweck benutzt werden.

### 5.3. Verteilung des Nebels

Ein richtungsgebundenes Ausstoßverhalten von Nebelmaschinen lässt sich selten realisieren. In den meisten Fällen kann ein Ventilator helfen, den Nebel in einem Raum gleichmäßiger zu verteilen.

Dabei sollte der Ventilator hinter der Nebelmaschine platziert werden, damit sich die beschleunigte Luft mit dem Nebel vermischen kann. Um verschiedene Effekte zu erzielen, kann die Geschwindigkeit des Ventilators und die ausgestoßene Nebelmenge variiert werden. Wenn der Ventilator vor der Nebelmaschine platziert ist, reißen die Ventilatorblätter die einzelnen Nebelaerosole auseinander, was grundsätzlich vermieden werden sollte. Ein Auseinanderreißen der Nebelaerosole kann zu unerwünschten Ablagerungen führen und verringert die Menge des ausgestoßenen Nebels.

Es ist nicht immer möglich, die Nebelmaschine am unmittelbaren Einsatzort zu platzieren. Es besteht jedoch die Möglichkeit, den Nebel mit flexiblen oder starren Rohren an eine gewünschte Position zu leiten. Für eine optimale Wirkung dieser Umleitung sind einige Punkte zu beachten, die insbesondere auf mit Hitze erzeugte Nebel effekte zutreffen.

Für die meisten Anwendungen reicht ein Rohr mit einem Durchmesser von 10 cm aus. Wenn die aus der Nebelmaschine austretenden Nebelaerosole auf ein schmales Volumen begrenzt werden, neigen sie zum Kondensieren an den Gefäßgrenzen, was zu einer Reduzierung der Nebelmenge führt.

Ein Rohr mit einem größeren Durchmesser reduziert das Kondensieren des Nebels an den Außenwänden und bewahrt die Qualität des Nebels. Ein größerer Rohrdurchmesser bedeutet ebenfalls eine geringere Geschwindigkeit und damit weniger Turbulenzen im Nebelstrom. Starke Turbulenzen oder hohe Geschwindigkeiten bewirken ein Zusammenstoßen der Nebeltropfen, wodurch die Bildung von größeren Nebeltropfen begünstigt wird. Der Nebel verliert dadurch seine optische Dichte und fällt schneller zu Boden.

Durch raue oder unregelmäßige Rohrwände wird es wahrscheinlicher, dass Nebeltropfen an den Wänden kollidieren und dadurch Verluste durch Kondensation entstehen. Aus diesem Grund sollte das Rohr von innen so glatt sein wie möglich und keine Kurven aufweisen. Falls Kurven nicht zu vermeiden sind, ist ein großer Biegeradius zur Verringerung von Verlusten sinnvoll. Um dem austretenden heißen Nebelaerosol so wenig Widerstand wie nötig zu bieten, sollte das erste Rohrstück grundsätzlich so glatt und gerade wie möglich sein.

Ein Kondensieren der Nebelaerosole im Rohr geschieht ebenfalls durch einen zu geringen Abstand zwischen Rohr und Gehäuse, wodurch die Frischluftzufuhr für das Nebelaerosol behindert wird. Erst durch den Kontakt des Nebelaerosols mit der Frischluft entsteht der eigentliche Nebel-effekt. Ohne genügend Frischluft schlägt sich das Nebelaerosol an den Rohrwänden als feuchter Film nieder. Üblicherweise reicht für eine gute Frischluftzufuhr ein Abstand von 5 cm zwischen Rohr und Nebelmaschine. Da Rohre in der Regel aus einem Plastikmaterial bestehen, ist der Abstand ebenfalls sinnvoll für eine Hitzeisolierung des Rohrs von der heißen Nebelmaschine und dem Nebelaerosol.

Wenn der Nebel eine längere Strecke durch ein Rohrsystem zurücklegen muss, können zum Transport des Nebels kleine Belüftungsventilatoren benutzt werden. Um den Kontakt zwischen Ventilatorblättern und Nebel zu vermeiden, kann die Luft über ein Y-Rohrstück zugeführt werden. Generell muss im Rohrsystem darauf geachtet werden, dem Nebel so wenig Widerstand wie möglich entgegenzustellen.

Einige Hersteller bieten Nebelmaschinen mit abgesetzten Heizelementen an. Das Heizelement ist in einem kleinen Gehäuse untergebracht und wird über einen Schlauch mit den restlichen Komponenten der Nebelmaschine verbunden. Durch die geringen Abmessungen des Gehäuses kann das Heizelement sehr einfach in kleine Zwischenräume einer Szenenfläche integriert werden. Alle anderen Teile der Nebelmaschine werden an Stellen positioniert, die den laufenden Betrieb einer Vorstellung nicht stören.



Trotz alledem ist diese Bauweise für manche Anwendungen immer noch zu groß, um zufrieden stellend in einem Bühnenbild integriert zu werden. Ebenfalls sollte berücksichtigt werden, dass trotz der kleinen Abmessungen die Nebelmaschine eine dichte Nebelwolke ausstößt, die in einigen Situationen für das Publikum oder die Kamera als störend empfunden werden kann.

Das Funktionsprinzip der Trockeneis- oder Flüssig-Stickstoff-Nebelmaschinen lässt eine kompakte Bauweise dieser Nebelmaschinentypen nicht zu. Aus diesem Grund sind alle Maschinen dieser Art grundsätzlich sehr groß und benötigen relativ viel Platz. Um diesen Nebel Effekt dennoch an Stellen einsetzen zu können, an denen wenig oder kein Platz für diesen Maschinentyp ist, kann ein Rohr zum Transport des Nebels von der Maschine zum Einsatzort benutzt werden. Dies ist in der Regel auch ohne Ventilator möglich, da die Maschinen ausreichend Luftdruck bei der Nebelherstellung erzeugen. Üblicherweise werden von Herstellern dieser Nebelmaschinentypen entsprechende Befestigungsmöglichkeiten für Rohre an den Nebelmaschinen angebracht.

Alle Transportsysteme verursachen Verluste auf dem Weg von der Maschine zum Einsatzort. Die Verluste können vernachlässigt werden, wenn sie von vornherein bei der Nebelerzeugung mit einberechnet werden. Die Verluste sammeln sich als flüssige Überreste an den tiefsten Stellen des Systems und müssen in regelmäßigen Abständen entfernt werden, um im schlimmsten Fall einen Nebelstau zu vermeiden. Wegen der Transportverluste ist die effizienteste Lösung für den Einsatz von Nebel Effekten die direkte Erzeugung des Nebels am Einsatzort.

#### **5.4. Steuerung von Nebelmaschinen**

Ein wichtiges Unterscheidungskriterium verschiedener Nebelmaschinen ist die Art der Steuerung des Nebelausflusses. Manche Maschinen haben nur einen An-/Aus-Schalter, andere haben zusätzlich eine Mengenregulierung und wieder andere bieten zusätzlich einen Timer an, mit dem in festgelegten Zeitabständen „genebelt“ werden kann.

Timer oder zeitgesteuerte Fernbedienungen sind konstruiert für den automatischen Betrieb der Nebelmaschine. Die Timer unterscheiden üblicherweise zwischen „on time“ (Zeit, in der die Maschine eine bestimmte Menge Nebel produziert) und „off time“ (Pausenzeiten zwischen Nebelaktivitäten) und der Nebelmenge. Mittlerweile gehört aber auch eine optionale DMX-Steuerung zur Standardausrüstung der meisten Nebelmaschinen. Der Nebelmaschine wird eine DMX-Adresse zugewiesen, mit der die Maschine über ein Lichtsteuerpult angesprochen werden kann.

### 5.5. Hinweise zu Rauch- und Feuermelder

Ein wichtiger Punkt, der gerne vergessen wird, aber unmittelbare Auswirkungen auf das Wohl und Gelingen einer Veranstaltung oder Produktion hat, ist die Frage, ob Feuermelder im Raum vorhanden sind.

Dabei lassen sich Feuermelder grob in 4 Kategorien einteilen:

- **Thermisch:** Der Melder prüft die Umgebungstemperatur. Übersteigt die Temperatur einen Schwellenwert, löst der Melder eine Alarm aus. Da Nebel keine Wärme abstrahlt, ist ein gefahrloser Einsatz von Nebel effekten mit diesem Meldertyp in der Regel möglich.
- **Spektral:** Der Melder misst die Frequenzen des einfallenden Lichts und löst nach bestimmten Kriterien einen Alarm aus. Feuer hat eine bestimmte Energieverteilung im Spektrum des Lichts, die im Melder erkannt wird. Mit diesem Meldertypen ist der Einsatz von Nebel effekten in der Regel ungefährlich.
- **Optisch:** Der Melder prüft mittels einer Lichtschranke die Dichte der Umgebungsluft. Dringen Rauch- oder Nebelpartikel in den Melder ein, wird durch die streuende Eigenschaft der Partikel ein Alarm ausgelöst. Dies kann auch bei Nebel effekten aller Art geschehen, so dass bei optischen Feuermeldern jede Art von Rauch oder Nebel vermieden werden sollte.

- **Chemisch:** Der Feuermelder misst die Größe einzelner Partikel in der Luft. Wird dabei eine bestimmte Größe überschritten, löst der Melder einen Alarm aus. Dies kann auch bei Nebelwirkungen aller Art geschehen, so dass bei chemischen Feuermeldern jede Art von Rauch oder Nebel vermieden werden sollte.

Oft werden auch sog. Hybrid-Feuermelder eingesetzt, die mehrere der oben genannten Funktionsprinzipien vereinigen. Aus diesem Grund kann man nie ganz ausschließen, ob Nebelwirkungen für die vorhandenen Feuermelder auch wirklich „ungefährlich“ sind, es sei denn, der Haustechniker kann dies definitiv bestätigen.

Vor dem Einsatz von Nebelwirkungen ist es unerlässlich, sich nach der Existenz von Feuermeldern zu erkundigen. Es ist oft nicht einfach zu erkennen, ob in einem Raum Feuermelder installiert sind. Sie können auch in Nischen oder Klimaanlage verborgen sein, in die eine direkte Einsicht nicht möglich ist. Falls Melder vorhanden sind, sollte die Abschaltung der entsprechenden Melderkreise veranlasst werden. Ist dieses nicht möglich oder man sich im Unklaren über die Wirkung des Nebels auf die Melder ist, gibt es nur eine Lösung: Kein Nebel.

Fehlalarme, bei denen die Feuerwehr ausrücken muss (was in der Regel passiert), werden nicht nur sehr kostspielig, sondern sind in den meisten Fällen auch das Ende jeder Veranstaltung. Nebenbei besteht die Gefahr, dass ein vermeintlicher Feueralarm eine Panik anwesender Personen auslösen kann. Und davon hat niemand etwas.

## 6. Zum Einsatz von Nebeleffekten

Generell ist darauf zu achten, dass Akteure auf der Bühne für Zuschauer und Kameras sichtbar sind. Ebenso müssen sich Akteure auf der Bühne zurechtfinden können. Zuviel Einsatz von Nebel ist da nicht nur sinnlos, sondern auch vergebend, wenn nicht sogar gefährlich. Nebel ist eine Sichtbehinderung und sollte so eingesetzt werden, dass für alle beteiligten Personen keine gefährlichen Situationen entstehen. Ein sehr tiefes Seitenlicht macht es zum Beispiel für Akteure auf einer Bühne sehr schwer, den Abgang von der Bühne zu sehen. In Kombination mit Nebel wird dies fast unmöglich.

Alle Situationen mit geringer bis gar keiner Sicht müssen erkannt und entsprechende Maßnahmen getroffen werden, damit Akteure bei Einsatz von Nebel- oder Lichteffekten nicht zu Schaden kommen. Es können zum Beispiel kleine LED-Wegweiser eingesetzt werden, die Personen in Situationen mit geringer Sichtbarkeit den Weg weisen. Es gibt noch unzählige weitere Methoden für die Vermeidung von Gefahrensituationen bei geringer Sicht, die auch entsprechend eingesetzt werden sollten.

In jedem Fall sollten Nebelmaschinen so positioniert sein, dass Künstler, Personal oder sensibles Equipment auf der Bühne nicht direkt angeblasen werden. Selbst unter der Annahme, dass alle Nebeleffekte absolut ungefährlich sind, sollte man einen direkten Kontakt von Zuschauern, Künstlern oder Personal mit dem hochkonzentrierten Nebelausstoß einer Nebelmaschine vermeiden.

Der Nebel kann Künstler ablenken oder die Sicht (siehe oben) behindern, was zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Vorstellung führen kann. Sich auf der Bühne bewegende Akteure können den Nebel in nicht erwünschte Richtungen lenken und somit die Kontrolle des Nebeleffektes schwieriger machen. Aus diesem Grund sollte in jeder Situation nur so viel Nebel wie nötig eingesetzt werden. Erfahrene Mitarbeiter für Spezialeffekte sowie erfahrene, eingewiesene und durch Proben vorbereitete Schauspieler helfen, mit der jeweiligen Situation professionell umzugehen.

Um einen Lichtstrahl sichtbar zu machen, reicht in der Regel schon ein leichter Nebel-effekt der richtigen Nebelsorte. Eine große Nebelmenge muss nicht unbedingt eine Verbesserung des Nebel-effektes bedeuten.

Nebel-effekte können, je nach Dosierung und Lüftung, wässrige oder klebrige Rückstände auf Oberflächen zurücklassen, die zu einer Rutschgefahr führen können. Diese Rückstände sind insbesondere auf Metall- oder Betonoberflächen zu beobachten. Es muss sichergestellt werden, dass Rückstände in regelmäßigen Abständen entfernt werden, um Rutschgefahren zu minimieren. Dies ist besonders wichtig bei Traversen, Treppen oder Bühnenabgängen. Lang anhaltende Nebel-effekte breiten sich weit über die eigentliche Bühnenfläche aus und können Rückstände in Luftfiltern von elektronischen Geräten bilden und diese verstopfen. Nebelmaschinen neuerer Bauart begrenzen in den meisten Fällen dieses Problem durch eine sehr kleine Tropfengröße und einen kontrollierten Nebelausstoß.

Nebelmaschinen, egal mit welcher Methode der Nebel erzeugt wird, sind Systeme mit speziell aufeinander abgestimmten Komponenten. Aus diesem Grund sollten ***niemals*** andere Nebelfluidе (o. a. Rohmaterialien) zum Erzeugen von Nebel benutzt werden, als die vom Hersteller der Nebelmaschine angegebenen Nebelfluidе. Ebenso sollte vermieden werden, Teile der Nebelmaschine zu manipulieren oder auszutauschen. Missachten einer dieser Punkte kann nicht nur zur Beschädigung oder Zerstörung der Nebelmaschine führen, im schlimmsten Fall kann es zu Gesundheitsschädigungen der „benebelten“ Personen führen. Für ein erfolgreiches und sicheres Funktionieren von Nebelmaschinen trägt ebenfalls eine regelmäßige und gründliche Wartung und Reinigung bei. In den meisten Fällen ist eine regelmäßige Reinigung der Maschine vom Hersteller empfohlen wenn nicht sogar vorgeschrieben. Vor und während des Betriebs einer Nebelmaschine sollte unbedingt die Betriebsanleitung gelesen und die vom Hersteller empfohlenen Betriebs- und Sicherheitsanweisungen befolgt werden.

Es sollen auch schon Leute auf die Idee gekommen sein, das Nebelfluid so zu manipulieren, dass die Nebelmaschine „farbigen“ Nebel ausstößt. Dies ist jedoch reichlich sinnlos, wenn nicht sogar gefährlich.

Nebel ist grundsätzlich wegen seiner Zusammensetzung aus Tropfen einer Flüssigkeit farblos. Erst durch die Interaktion mit Licht bekommt der Nebel seine Farbe. Wird der Nebel mit weißem Licht beleuchtet, ist er weiß. Wird er mit farbigem Licht beleuchtet, nimmt er die entsprechenden Farben an. Ebenso hat es schon Versuche gegeben, dem Nebel durch Beimengen bestimmter Substanzen einen bestimmten Geruch zu geben.

In **jedem Fall** ist es verboten, die Grundsubstanz, wie zum Beispiel ein Nebelfluid, durch Beimischungen zu verändern. Dies kann bei der Nebelerzeugung zu einer Veränderung der chemischen Struktur des Nebels führen. Es entstehen dabei Substanzen, die möglicherweise gesundheitsschädliche Wirkungen haben können. Ebenso sollte der Einsatz von „kontaminierten“, also verunreinigten Nebelfluiden durch Dreck oder ähnliches auf alle Fälle vermieden werden. Die Verunreinigungen können mit dem Nebel in die Luft gelangen. Auch hier gilt wieder: Es kann nicht nur die Nebelmaschine beschädigt werden, sondern im schlimmsten Fall auch die Gesundheit beteiligter Personen. Also: Finger weg!

Einige Nebelmaschinen können während des Betriebes sehr heiß werden und müssen mit entsprechender Frischluft zur Kühlung versorgt werden. Ebenfalls entsteht bei heißen Nebelmaschinen eine nicht zu vernachlässigende Brandgefahr für zu nah positionierte Dekorationselemente oder ähnliche Materialien. Es müssen alle Brandschutzregeln beim Einsatz von Nebelmaschinen beachtet werden. Grundsätzlich müssen Nebelmaschinen schnell erreichbar sein, um entsprechende Maßnahmen im Notfall einzuleiten.

## 7. Gefahren von Nebelwirkungen

Die wichtigste Forderung im modernen Theater- und Veranstaltungsbetrieb muss sein, dass die eingesetzten Dunste oder Nebel möglichst ungiftig und gesundheitsunschädlich sind, da eine Belastung der Künstler und des Publikums nicht erwünscht ist.

Grundsätzlich muss dafür gesorgt werden, dass Räume, in denen Nebel-Effekte benutzt werden, gut und regelmäßig belüftet werden. Ebenso sollte man darauf achten, Künstler und Personal so wenig wie möglich einem Nebelwirkung auszusetzen und nur soviel Nebel wie nötig und sowenig wie möglich einzusetzen.

### 7.1. Technische Gase

Beim Einsatz von technischen Gasen muss die Atmosphäre auf den richtigen Sauerstoffgehalt gemessen werden, um beteiligte Akteure und Zuschauer nicht in Gesundheitsgefahr zu bringen. Es sind preiswerte und automatische Sauerstoffsensoren im Handel erhältlich, mit denen die Umgebungsluft gemessen werden kann. Ebenso bietet jeder Lieferant technischer Gase Datenblätter an, in denen das eingesetzte Gas sehr genau spezifiziert ist und vor möglichen Gefahrensituationen gewarnt wird.

#### 7.1.1. Stickstoff

Stickstoff ist ein Edelgas und verhält sich gegenüber dem menschlichen Organismus neutral und hat keine schädlichen Auswirkungen. Das Mischungsverhältnis von Stickstoff mit anderen Gasen richtet sich nach den Verhältnissen in der Erdatmosphäre, die aus 21 % Sauerstoff ( $O_2$ ) und 78 % Stickstoff ( $N_2$ ) besteht. Das restliche Prozent setzt sich aus Spurenelementen anderer Gase und Wasser zusammen. Der Stickstoffanteil eines Gasgemischs wird immer in Bezug auf den verbleibenden Sauerstoffanteil gemessen.

Stickstoff kann solange zur Atemluft hinzugefügt werden, bis der Sauerstoffanteil einen unteren Grenzwert erreicht, bei dem akute Lebensgefahr für den menschlichen Organismus besteht. Der Sauerstoffgehalt sollte laut amerikanischer OSHA (Occupational Safety and Health Administration) nicht geringer als 19,5 % der Atemluft betragen. Die britische HSE (Health and Safety Executive) gibt einen Wert von 19 % als untere Grenze an. Atemluft mit einem reduzierten Sauerstoffgehalt führt zu Verminderung der Koordination und Zurechnungsfähigkeit, wodurch die Unfallgefahr wesentlich erhöht wird. Ein wesentlich geringerer Sauerstoffgehalt kann zu Bewusstlosigkeit und schließlich zum Tod führen.

### **7.1.2. Kohlendioxid**

Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) ist gegenüber Stickstoff wesentlich gefährlicher, da es die Atmung angreift und den Übergang von Sauerstoff in den Blutkreislauf behindert. Die amerikanische OSHA und die britische HSC (Health and Safety Commission) geben für einen 8-Stundentag eine durchschnittliche Konzentration von 5.000 Teilen pro Millionen (0,5 %) als ungefährlich an. Laut OSHA liegt der Grenzwert für eine kurzzeitige Belastung (15 Minuten) bei 30.000 Teilen pro Millionen (3 %). Der HSC Grenzwert liegt für denselben Zeitraum bei 1,5 %. Ein Kohlendioxidanteil von 3 % in der Luft hat eine leicht narkotische Wirkung, erhöht den Blutdruck und den Puls und beeinträchtigt das Hörvermögen. Werte über 7 % verursachen eine Bewusstlosigkeit innerhalb von wenigen Minuten. Höhere Kohlendioxidwerte führen zum Tod. Um den Kohlendioxidanteil in der Atemluft zu kontrollieren, sind automatische oder tragbare Kohlendioxidsensoren im Handel erhältlich.

### **7.1.3. Flüssige Synthetische Luft**

Flüssige Synthetische Luft ist ein homogenes Gemisch aus flüssigem Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und flüssigem Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) und kann anstelle von flüssigem Stickstoff für Kühlzwecke verwendet werden.



Das Gemisch erzeugt beim Verdampfen ein Gas mit einem Sauerstoffanteil von 19,5 % bis 22 %. Wegen dieser Eigenschaften ist die flüssige Synthetische Luft eine sichere Alternative zu Stickstoff oder Kohlendioxid. Flüssige Synthetische Luft kann in unbegrenzten Mengen der Raumluft beigemischt werden. Trotzdem muss beim Einsatz von flüssiger Synthetischer Luft der Sauerstoffgehalt regelmäßig kontrolliert werden. Je länger das flüssige Gemisch in einem Behälter gelagert wird, desto höher wird der Sauerstoffgehalt der Mischung. Außerhalb eines Behälters steigt der Sauerstoffgehalt der Mischung sehr schnell über 23,5 %. Bei dieser Sauerstoffkonzentration erhöht sich die Brandgefahr durch die Reaktionsfreudigkeit des Sauerstoffs.

## **7.2. Fluide auf Glykol- oder Mineralöl-Basis**

Die meisten heute eingesetzten Nebelmaschinen benutzen als Grundstoff zur Nebelerzeugung Glykol. Glykol gehört zu der Gruppe der Alkohole, ist grundsätzlich ungefährlich und wird in vielen Bereichen des täglichen Lebens eingesetzt. Einige wenige Maschinen benutzen hochraffinierte Mineralöle, die jedoch bei höheren Temperaturen mehrere potentielle Probleme aufwerfen können. So können chemische Veränderungen bis hin zu Nebenprodukten von Verbrennungen entstehen, die unter Umständen extrem giftig sind. Eine Ausnahme davon sind mit mechanischen Methoden erzeugte Nebelwirkungen. Dort werden keine gefährlichen Nebenprodukte erzeugt, da keine Hitze zur Erzeugung des Nebels verwendet wird.

Die amerikanische Bundesbehörde für Sicherheit und Gesundheit (National Institute of Occupational Safety and Health *NIOSH*) hat nach einer Studie 1994 eine Empfehlung bezüglich Nebelwirkungen herausgegeben (HETA 90-355-2449). Darin wird unter anderem empfohlen, sich so wenig wie möglich Nebelwirkungen auszusetzen, um Irritationen der Atemwege vorzubeugen. Ebenso sollten die Nebelfluidе mit der niedrigsten möglichen Temperatur erhitzt werden und nur vom Hersteller der Nebelmaschine zertifizierte Nebelfluidе eingesetzt werden.

Die Studie hat ebenfalls herausgefunden, dass einige der Nebenprodukte bei der Verdampfung von Nebelfluiden zu den Aldehyd-Gruppen gehören. Aldehyde sind organische Zusammensetzungen, die unter anderem wichtig sind für die Produktion von Plastik, Färbemitteln und Lebensmittelzusätzen. Zu den Aldehyden gehört aber auch Formaldehyd, das im Verdacht steht, krebsauslösend zu sein.

***Trotz dieser Daten wurden keine Beweise gefunden, dass Nebel-Effekte, wenn richtig angewendet, Asthma oder allgemeine Gesundheitsprobleme hervorrufen können.***

Für mit Hitze oder mechanischen Methoden erzeugte Nebelwirkungen gibt es wegen der geringen Beweise für eine ernsthafte Gesundheitsgefahr keine Grenzwerte für deren Anwendung. Dies liegt auch daran, dass bis heute noch keine empirischen Daten über Auswirkungen von Nebelwirkungen auf die Physiologie des Menschen vorhanden sind. Nichts desto trotz gibt es Standards und Grenzwerte für einige in den Nebelfluiden enthaltenen Stoffe (siehe Kapitel 8).

Hersteller von Maschinen zur Nebelerzeugung geben in der Regel Richtlinien für den Gebrauch von Nebelmaschinen an, um vor falschen Anwendungen und daraus eventuell resultierenden Gesundheitsgefahren zu warnen.

Trotz der allgemein anerkannten Unbedenklichkeit von Dunst- und Nebel-Effekten klagen einige Leute über Atembeschwerden und Halsschmerzen in Zusammenhang mit Nebelwirkungen. Menschen mit Allergien können sich beim Einsatz von Nebelwirkungen unwohl fühlen und/oder allergische Reaktionen entwickeln. Asthmatiker und Menschen mit Atemwegserkrankungen oder sonstigen Lungenproblemen können möglicherweise Atemschwierigkeiten beim Einsatz von Nebelwirkungen bekommen.

In den meisten Staaten sind Hersteller von Produkten durch Gesetz verpflichtet, Sicherheitsdatenblätter (Engl.: MSDS, Material Safety Data Sheet) mit allen wichtigen Informationen über die Gesundheitsgefährlichkeit der in den Produkten enthaltenen Chemikalien bereitzustellen.

Diese Datenblätter müssen für alle Personen zugänglich gemacht werden, die mit dem Produkt in Kontakt kommen. Viele Hersteller benutzen diese Datenblätter, um die absolute Ungefährlichkeit ihrer Produkte zu beweisen. Die Existenz eines Sicherheitsdatenblattes muss also keineswegs bedeuten, dass ein Produkt gefährliche Chemikalien enthält. Stellt ein Hersteller kein Sicherheitsdatenblatt für ein Produkt zur Verfügung, kann es ebenfalls bedeuten, dass das Produkt absolut ungefährlich ist. Beim Kauf von Chemikalien sollte man immer nach dem Sicherheitsdatenblatt fragen, es lesen und beim Einsatz in greifbarer Nähe behalten. Sollte man kein Sicherheitsdatenblatt bekommen, muss dies nicht unbedingt heißen, dass Informationen unterschlagen werden (siehe oben). Trotzdem sollte man bei Herstellern und Händlern vorsichtig sein, die nicht wissen, was ein Sicherheitsdatenblatt ist, eine andere Erklärung für das Fehlen desselbigen angeben oder die Frage nach dem Datenblatt einfach übergehen.

## 8. Appendix

### 8.1. Kurzübersicht über die Methoden zur Nebelerzeugung

<b>Methode</b>	<b>Zutaten</b>	<b>Optionen</b>	<b>Typische Anwendung</b>	<b>Gefahren während der Anwendung</b>	<b>Siehe Seite</b>
Erhitzen, Pumpen oder Druckluft	Wasser-Glykol-Mischung		Verschiedene	Rutschgefahr, Kondensation am Ausgang, mögliche allergische oder asthmatische Reaktionen	17-22
		Gekühlt	Tief hängend		
Erhitzen, Druckgas	Wasser-Glykol-Mischung, Mineralöl		Verschiedene	Rutschgefahr, Kondensation am Ausgang, mögliche allergische oder asthmatische Reaktionen	22-23
		Gekühlt	Tief hängend		
Cracker	Mineralöl		Feiner Dunst	rutschige Rückstände bei längerer Benutzung, Verstopfen von Luftfiltern	27-29
		Gekühlt	Tief hängend		
Cracker	Wasser-Glykol-Mischung		Feiner Dunst	Rutschgefahr, Kondensation am Ausgang, mögliche allergische oder asthmatische Reaktionen	27-29
		Gekühlt	Tief hängend		
Ultraschall	Wasser-Glykol-Mischung		Feiner Dunst	Rutschgefahr, Kondensation am Ausgang, mögliche allergische oder asthmatische Reaktionen	30-31
Zerstäuber	Glykol		Feiner Dunst	rutschige Rückstände bei längerer Benutzung, Verstopfen von Luftfiltern	29-30
		Gekühlt	Tief hängend		
Zerstäuber	Mineralöl		Feiner Dunst	Rutschgefahr, Kondensation am Ausgang, mögliche allergische oder asthmatische Reaktionen	29-30
		Gekühlt	Tief hängend		
Trockeneis & heißes Wasser	Trockeneis		Bodennebel	Rutschgefahr, Kondensation am Ausgang, Sauerstoff-Defizit am Boden, Umgang mit extrem kalten Stoffen, CO <sub>2</sub> -Vergiftung	33-34
Flüssiger Stickstoff & heißes Wasser	Flüssiger Stickstoff		Bodennebel	Rutschgefahr, Kondensation am Ausgang, Sauerstoff-Defizit am Boden, Umgang mit extrem kalten Stoffen	34-35
Flüssige Synthetische Luft & heißes Wasser	Flüssige Synthetische Luft		Bodennebel	Rutschgefahr, Kondensation am Ausgang, Umgang mit extrem kalten Stoffen	34-35
Wasser unter Hochdruck	Wasser		Verschiedene	Feuchtigkeit durch große Tropfen, Niederschlag, Kondensation	26
Kälte-Explosion	Üblicherweise flüssiger Stickstoff		Verschiedene	Sauerstoff-Defizit, Umgang mit extrem kalten Stoffen	36

## 8.2 Grenzwerte für Bestandteile von Nebelfluiden

Glykol	OSHA PEL	ACGIH TLV-TWA	AIHA WEEL	England OES	Deutschland TRGS 900	Deutschland MAK
1,3-Butylene Glykol						
Diethylene Glykol			217 mg/m <sup>3</sup> (Gesamt) 10 mg/m <sup>3</sup> (Aerosol)	100 mg/m <sup>3</sup>		44 mg/m <sup>3</sup>
Dipropylene Glykol						
Glycerin	15 mg/m <sup>3</sup> (Gesamt) 5 mg/m <sup>3</sup> (Aerosol)	10 mg/m <sup>3</sup>		10 mg/m <sup>3</sup>		
Polyethylene Glykol 200					1000 mg/m <sup>3</sup>	
Propylene Glykol			156 mg/m <sup>3</sup> (Gesamt) 10 mg/m <sup>3</sup> (Aerosol)	470 mg/m <sup>3</sup> (Gesamt) 10 mg/m <sup>3</sup> (Aerosol Sichtbarkeit)		
Triethylene Glykol						
<b>Mineralöl</b>	10 mg/m <sup>3</sup>			5 mg/m <sup>3</sup> (Langzeit) 10 mg/m <sup>3</sup> (Kurzzeit, 15 Minuten)		

**OSHA**

USA, Occupational Safety and Health Administration  
Abteilung des US Arbeitsministeriums. Ist verantwortlich für die Sicherheit am Arbeitsplatz.

**PEL**

USA, Permissible Exposure Limit  
Von der OSHA festgelegter Grenzwert. Gibt den Maximalwert der täglichen Belastung einer Chemikalie an, basierend auf einen 8 Stunden Arbeitstag.

**ACGIH**

USA, American Conference of Governmental Industrial Hygienists

**TLV-TWA**

USA, Threshold Limit Value-Time Weighted Average  
Von der ACGIH festgelegter Grenzwert, ähnlich PEL.

**AIHA**

USA, American Industrial Hygiene Association

**WEEL**

USA, Workplace Environmental Exposure Level Guide

**OES**

England, Office of Environmental Stewardship

**TRGS 900**

Deutschland, Technische Regeln für Gefahrstoffe  
Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz, „Luftgrenzwerte“

**MAK**

Deutschland, Maximale Arbeitsplatzkonzentration  
Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird (§3[5] GefStoffVo)

### **8.3 Weitere Literatur und Quellenhinweise**

Thompson, G.C.; “Report on Investigation into Safety of Smoke Machines”; The Professional Lighting and Sound Association; November 1990;

Thompson, George; “Smoke and Fog Machines”; Focal Guide to Safety in Live Performance; Butterworth-Heinemann Ltd. 1993; ISBN 0-240-51319-3

United States National Institute for Occupational Safety and Health; “Health Hazard Evaluation Report HETA 90-335-2449”; 1994;

Walne, Aveline, Leonard, Jauchem; “Effects for the Theatre”; A&C Black Ltd. And Drama Book Publishers; 1995; ISBN 0-89676-136-3

Entertainment Services & Technology Association (ESTA); “Introduction to Modern Atmospheric Effects”; 3<sup>rd</sup> Edition 2000; [www.esta.org](http://www.esta.org)



# ***Handbuch der Lichttechnik***

***Formeln, Tabellen und Praxiswissen***

Das Feld der Lichttechnik für Film, Fernsehen, Theater, Veranstaltung und Event bietet heute eine Fülle von Informationen, die eine einzelne Person schwerlich im Kopf behalten kann. Dieses „**Handbuch der Lichttechnik**“ soll all denjenigen eine Hilfe sein, die täglich beim Film oder Fernsehen, im Theater oder bei Veranstaltungen und Events mit Licht arbeiten und/oder sich für Licht und Lichttechnik interessieren.

Eine Leseprobe und das Bestellformular finden Sie unter

**[www.handbuch-der-lichttechnik.de](http://www.handbuch-der-lichttechnik.de)**