

Hintergrundinformationen zur technischen Beschneigung

## **Wasser und Luft – sonst nichts**

**Schnee aus der Maschine ist richtiger Schnee. Nichts daran ist künstlich. Schneekristalle – wie auch immer sie produziert werden – sind einfach winzig kleine Kristalle gefrorenen Wassers.**

Für's Schneemachen wird Wasser in eine Düse gepumpt, wo es mit Druckluft kollidiert. Die Druckluft zerstäubt den Wasserstrom in winzige Partikel und schießt ihn in die Atmosphäre. Ab hier ist der Prozess der technischen Schneeerzeugung identisch mit dem der Natur: Ist die Luft kalt genug, gefrieren die Wassertropfchen und fallen zu Boden. Der Unterschied ist, dass das Wasser nicht so viel Zeit zum Gefrieren hat, bevor es auf den Boden trifft.

### Was lässt Wasser gefrieren? Kleiner Grundkurs in der Physik des Schnees

Für Physiker gibt es so etwas wie Kälte gar nicht. Es gibt nur Hitze - mehr Hitze oder weniger. Hitze versucht immer ein Gleichgewicht zu erreichen, also fließt sie von einem Gebiet mit mehr Hitze ("wärmer") zu einem mit weniger Hitze ("kälter"). Wenn flüssiges Wasser gefriert, gibt das Wasser seine Hitze ab, bis es den Punkt erreicht an dem es kristallisiert. Wir nehmen normalerweise an, dass dies genau bei 0°C geschieht, aber dazu später mehr. Wenn wir aus dem Fenster auf unser Thermometer schauen, sehen wir, was die Meteorologen als Trockenkugeltemperatur bezeichnen. Das gibt uns zwar einen Anhaltspunkt, wie wir uns anzuziehen haben, aber hinsichtlich der Physik gefrierender Wassertropfen vermittelt es nur die halbe Wahrheit. Die relative Luftfeuchte beeinflusst nämlich ebenfalls, wie schnell ein Wassertropfen seine Hitze abgeben kann und "kalt" wird.

Die Art wie der menschliche Körper auf Hitze reagiert veranschaulicht dies: Einen Tag mit 27°C und 95% Luftfeuchte empfindet man als heiß. Das liegt daran, dass unsere Körper durch Schwitzen gekühlt werden – indem sie Feuchtigkeit in die Atmosphäre abgeben. An einem feuchten Tag kann die Luft nicht so viel weitere Feuchtigkeit absorbieren, unsere Körper können ihre Hitze also nicht so schnell loswerden wie an einem Tag mit 32°C aber nur 20% Luftfeuchtigkeit. Das ist der Grund warum wir uns kühler fühlen an einem "wärmeren" Tag. Wenn Leute sagen "es ist nicht die Hitze, es ist die Feuchtigkeit" dann haben sie recht.

Die Geschwindigkeit mit der ein Wassertropfen Hitze in die Atmosphäre entlassen und damit zu Schnee werden kann, wird von der relativen Feuchte in genau derselben Weise beeinflusst. Daher interessiert beim Schneemachen auch die Luftfeuchtigkeit. Ist die Luftfeuchtigkeit extrem niedrig, kann auch bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt Schnee erzeugt werden. Bei hoher Luftfeuchtigkeit benötigt man niedrigere Temperaturen, aber selbst bei 100% Luftfeuchtigkeit kann man bereits bei -2°C mit dem Schneemachen beginnen.

...2

Schneeflocken bilden sich in den Wolken aber nur, wenn dort ein Gefrierkern (Nukleator) vorhanden ist, z.B. ein Staubpartikel, an dem die Phasenumwandlung vom flüssigen in den festen Zustand beginnen kann. Jede Art Gefrierkern hat eine bestimmte Gefrieretemperatur. Die höchste Gefrieretemperatur hat Eis selbst, nämlich  $0^{\circ}\text{C}$ . Erst wenn man bereits einen kleinen Eiskern im Wassertropfen hat, gefriert dieser also bei  $0^{\circ}\text{C}$ .

Die technische Schneeerzeugung nutzt daher Eiskerne als Nukleatoren. Wo aber kommen die her? Um den Prozess zu verstehen, muss man sich lediglich an eine Luftpumpe vorstellen, mit der man einen Fahrradreifen aufpumpt. Beim Pumpen wird diese warm, als Folge der Komprimierung der Luft in der Pumpe. Beim Beschneien findet der umgekehrte Vorgang statt: unter hohem Druck stehende Luft tritt aus einer Düse aus und expandiert. Durch diese Expansion kühlt sie extrem ab – wie eine Gasflasche, mit der man ein Feuerzeug nachfüllt. In diesen Strom extrem kalter Luft werden durch die sogenannten Nukleatordüsen kleine Wassertropfen geleitet, die sofort zu Eis gefrieren und dann als Gefrierkerne für die Wassertropfen aus den übrigen Düsen des Schneeerzeugers dienen.

#### Ideale Wassertemperatur am Wurmburg dank Speichersee

Nachdem das Wasser aus dem Schneeerzeuger austritt, hat die umgebende Luft nur wenige Sekunden Zeit, es zu gefrieren. Je kälter also das Wasser, desto weniger Zeit braucht es zum Gefrieren. Damit hängt die Möglichkeit der Beschneigung auch von der Temperatur des verwendeten Wassers ab. Je kühler das verwendete Wasser, desto weniger Minusgrade werden zum Schneien benötigt. Eine Feuchtkugeltemperatur von etwa  $-2^{\circ}\text{C}$  gilt als Grenztemperatur für die Beschneigung, vorausgesetzt, die Wassertemperatur beträgt nicht mehr als  $2^{\circ}\text{C}$ . Das wird am Wurmburg im Gegensatz zu anderen Harzer Skigebieten gewährleistet sein, da das Wasser hier aus einem offenen Speichersee am Wurmburggipfel kommt.

#### Temperaturen am Wurmburg bestens für die Beschneigung geeignet

Da die Talstationen am Wurmburg so hoch liegen, wie in anderen Harzer Skigebieten die Bergstationen sind auch die Lufttemperaturen (und mit ihnen die Feuchtkugeltemperaturen) wesentlich niedriger und daher besser für die technische Beschneigung geeignet. Die erforderlichen  $-2^{\circ}\text{C}$  herrschten in den Wintern 2004/05 bis 2007/08 durchschnittlich während 1.559 Stunden. Während 954 Stunden war es sogar  $-4^{\circ}\text{C}$  kalt. Die berücksichtigten vier Winter (Zeitraum November bis März) waren gegenüber dem langjährigen Mittel aber um  $1,1^{\circ}$  zu warm und bilden damit den Zustand ab, der nach den Prognosen der Klimaforscher erst 2025 den Normalfall darstellt (die Winter 2008/09 bis 2011/12 waren dann wieder kälter, sie lagen lediglich  $0,5^{\circ}$  über dem langjährigen Mittel der Jahre 1960 bis 1990). Selbst wenn die Temperaturen gegenüber dem langjährigen Mittel also um  $2^{\circ}$  ansteigen, was nach den Prognosen erst nach 2040 erwartet wird, dann verbleiben am Wurmburg noch etwa 1.000 Stunden mit Temperaturen von  $-2^{\circ}\text{C}$  und rund 750 Stunden mit höchstens  $-4^{\circ}\text{C}$ . Für die Einschneigung der Pisten werden aber nur 72 Stunden benötigt.

### Das Geheimnis erfolgreicher Beschneigung: ausreichend Wasser!

Ob in dieser Zeit ausreichend Schnee produziert werden kann, hängt von der zur Verfügung stehenden Wassermenge ab. Das Verhältnis von Wasser und Schnee liegt bei 1:2,4. Das bedeutet, dass im Mittel aus 1000 Liter Wasser 2,4 m<sup>3</sup> Schnee erzeugt werden. Die am Wurmberg geplante Beschneigungsanlage hat in der Ausbaustufe, die zum Winter 2013/14 realisiert werden soll, eine Kapazität von 140 Liter Wasser pro Sekunde bzw. 504 m<sup>3</sup> pro Stunde. Beschneit werden damit Pisten mit einer Fläche von 16,3 Hektar. Für eine Schneedecke von 45 cm Höhe sind also 73.350 m<sup>3</sup> Schnee erforderlich. Dazu benötigt man 36.675 m<sup>3</sup> Wasser. Die können binnen 72 Stunden zu den Schneeerzeugern gepumpt werden. Zur Verfügung standen in den letzten Jahren durchschnittlich über 1.500 Stunden und sogar im bislang mildesten Winter aller Zeiten (2006/07), als am Wurmberg auf Basis des Naturschnees nur 9 Skitage gezählt werden konnten, waren es noch über 700 Stunden. Mit der geplanten Anlage ist der Wurmberg also sowohl gegen einzelne sehr milde Winter als auch gegen die für die nächsten 50 Jahre erwartete allgemeine Erwärmung gewappnet.

### Geschlossener Kreislauf sorgt für minimalen Wasserverbrauch

Am Wurmberg ist sichergestellt, dass die erforderliche Wassermenge auch jederzeit zur Verfügung steht: das Reservoir am Gipfel fasst 42.000 m<sup>3</sup> nutzbarer Wassermenge. Befüllt wird das Reservoir mit Wasser aus der Bode. Das entnommene Wasser fließt im Frühjahr nach der Schneeschmelze wieder in die Bode zurück. Es wird also nicht „verbraucht“ sondern nur vorübergehend in Form von Schnee auf dem Berg zurückgehalten – ähnlich wie das Wasser vieler Harzer Bäche in den Teichen des Harzer Wasserregals. Nur ein geringer Prozentsatz geht bei der Schneeerzeugung durch Verdunstung und Drift im eigentlichen Sinne verloren.

Der tatsächliche Wasserverbrauch ist also marginal und auch die Menge des vorübergehend genutzten Wassers ist gering, setzt man sie zum Wasserangebot am Wurmberg in Beziehung. Auf dem Wurmberg fallen pro Jahr 1.500 Liter Niederschlag auf den Quadratmeter. Das bedeutet, dass für die Grundbeschneigung nur 15% des Wassers eingesetzt wird, dass auf der Fläche der technisch beschneiten Pisten selbst als Regen, Graupel oder Schnee vom Himmel kommt. Insgesamt fällt im Einzugsgebiet der Bode jährlich die 150-fache Menge dessen an Niederschlag, was insgesamt für die Beschneigung an Wasser verwendet wird.

### Ein Stoff mit besonderen Eigenschaften

Technischer Schnee ist für den modernen Wintersportbetrieb besser geeignet, als Naturschnee. Er ist verlässlicher (und verlässlicher Schnee ist die wichtigste Voraussetzung für den wirtschaftlich auskömmlichen Betrieb eines Skigebietes), leichter zu bearbeiten als so manche natürliche Schneeart, er hält den Beanspruchungen durch die Stahlkanten der Ski und Snowboards besser stand, neigt weniger zum Vereisen und er taut langsamer.

Letzteres hat mit seiner Dichte zu tun. Ein Kubikmeter technischer Schnee wiegt bis zu 480 kg, bei frischem Pulverschnee sind es nur 10 bis 60 kg, Pappschnee kommt auf maximal 150 kg. Die höhere Dichte hat mit der Struktur der Kristalle zu tun. Die Schneesterne in einer Pulverschneedecke halten sich gegenseitig auf Abstand, während die kompakten Körner einer technisch erzeugten Schneedecke dicht an dicht liegen. Je größer aber das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen eines Körpers, desto stärker ist er Einflüssen wie Regen, Wind und Wärme ausgesetzt. Pulverschnee sackt dann schnell in sich zusammen, erst nasser, gesetzter Altschnee erreicht das spezifische Gewicht von technischem Schnee.

Eine Schneedecke von 40 cm technisch erzeugtem Schnee entspricht daher einer natürlichen Neuschneehöhe von 100 bis 200 cm und eine solche Schneemenge taut im Harz auch bei ungünstiger Witterung nicht so schnell komplett ab.

#### Energieeffiziente Beschneigungstechnik reduziert Stromverbrauch

Die Produktion technischen Schnees benötigt Energie. Zum einen muss das Wasser mit einem Druck von mindestens 20 bar zu den Schneeerzeugern gepumpt werden, zum anderen ist Druckluft erforderlich. Pumpen und Kompressoren werden mit Strom betrieben. Die Anlage am Wurmberg ist auf eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von 1.000 kW ausgelegt und der Betrieb ist an durchschnittlich 200 Stunden pro Winter vorgesehen. Das macht in Summe 200.000 Kilowattstunden, die pro Saison für die Beschneigung erforderlich sind.

Um eine Vorstellung von der Dimension dieses Energiebedarfs zu geben, stellen wir diesen Verbrauch in der folgenden Tabelle dem Verbrauch anderer üblicher Freizeit- und Tourismusinfrastrukturen gegenüber. Dabei zeigt sich, dass mit einem sehr geringen Einsatz an Energie eine große Wirkung erzielt wird. Zumal die regionale Wertschöpfung pro Besucher in einem Skigebiet sehr hoch ist und der Betrieb der Anlage nicht öffentlich bezuschusst wird.

Angebot	Energiebedarf	Besucherzahl	Energie/Besuch
Schneeanlage Wurmberg	200.000 kWh	100.000 (Plan)	2,0 kWh
Öffentliche Sauna	350.000 kWh	20.000	17,5 kWh
3***-Hotel mit 50 Betten	650.000 kWh	8.200 (Übernachtungen)	79,0 kWh*
Eisstadion 6 Monate	1.300.000 kWh	30.000	43,3 kWh
Freizeitbad	11.500.000 kWh	400.000	28,8 kWh

\* pro Nächtigung

### Daten & Fakten Schneeanlage Wurmburg (Ausbaustufe 2013/14)

Anzahl Schneeerzeuger:	97
Anschlussstellen:	97
Pumpleistung Wasser:	140 Liter/Sekunde 504 m <sup>3</sup> /Stunde
Schneeerzeugung:	1.260 m <sup>3</sup> /Stunde
Beschneite Fläche:	16,3 Hektar (163.000 m <sup>2</sup> )
Länge der beschneiten Pisten:	5,4 km Bereich Kaffeehorst: 1,1 km Neue Piste Ost: 1,2 km Abfahrt Mittelstation: 1,6 km Talabfahrt: 1,5 km Winterrodelbahn: 1,5 km
Dauer Grundbeschneigung:	72 Stunden (3 Tage)
Beschneigung möglich ab:	-2°C Feuchtkugeltemperatur (z.B. 0°C und 65% rel. F.)
Betriebszeit pro Saison:	ca. 200 Stunden
Geeignete Temperaturen:	durchschnittlich >1.500 Stunden pro Saison
Nutzbares Volumen Reservoir:	42.000 m <sup>3</sup> Wasser
Befüllung des Reservoirs:	aus der Warmen Bode, Entnahme an der Talstation der Seilbahn
Anschlusswert der Schneeanlage:	1.480 kW
∅ Leistungsaufnahme im Betrieb:	1.000 kW
Gesamtenergieverbrauch:	200.000 kWh pro Saison
Durch die Beschneigung verfügbare Liftanlagen:	Seilbahn Sektion 1 Seilbahn Sektion 2 Kaffeehorstlift Sesselbahn (neu ab 2013/14) Übungslift Kaffeehorst (neu ab 2013/2014) Nordhang (Beschneigung des windexponierten oberen Bereichs)