



Manuel Sven Heinemann

Diplomand	Manuel Sven Heinemann
Examinator	Prof. Dr. Markus Friedl
Experte	Lorenzo Bertozzi, Bertozzi Energieplanung GmbH, Bonaduz, GR
Themengebiet	Thermo- und Fluidodynamik

## Kälteanlagen von Kunsteisbahnen im Vergleich



Die drei untersuchten Kunsteisbahnanlagen  
Homepage der Kunsteisbahnanlagen

Effizienz in Volllast	System der KEB-Anlagen		
	Indirekt NH <sub>3</sub>	Direkt NH <sub>3</sub>	Direkt CO <sub>2</sub>
EER nach CoolPack	4.76 (100%)	4.53 (105.1%)	3.95 (120.5%)
EER nach Reflip	4.02 (111.9%)	4.50 (100%)	3.07 (146.6%)
<b>EER nach Verdichter-Auslegungssoftware</b>	<b>3.25 (108.6%)</b>	<b>3.53 (100%)</b>	<b>3.06 (115.4%)</b>
EER-System mit Hilfsenergie bei Rückkühlerbetrieb	2.97 (110.4%)	3.28 (100%)	2.79 (117.6%)
EER-System mit Hilfsenergie bei AWN Betrieb	2.95 (103.73%)	3.06 (100%)	2.9 (105.5%)

( ) Zahlenwerte in Klammer in Prozent dargestellt; 100% = effizienteste Anlage

Theoretischer Vergleich der Effizienzen nach Auslegungsangaben  
Eigene Darstellung

Kriterium	Konzept der KEB-Anlage		
	Indirekt NH <sub>3</sub>	Direkt NH <sub>3</sub>	Direkt CO <sub>2</sub>
Hohe Effizienz	2	1	3
Geringe Störanfälligkeit	1	2	3
Sicherheit/ keine Toxizität	2	3	1
Niedrige Betriebsdrücke	1	1	2
Niedrige Stromkosten	2	1	3
Geringe Installationskosten	1	2	2
Geringe Betriebskosten	1	2	2
Geringer Wartungsaufwand	1	2	1
Geringe Energieverluste	2	1	1
<b>Gesamtwertung</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>18</b>

1 = erfüllt Kriterium am besten; 3 = erfüllt Kriterium am schlechtesten  
Je tiefer die Gesamtwertung, desto besser sind die Kriterien erfüllt.

Häufige Kundenkriterien der KEB-Anlage  
Eigene Darstellung

**Ausgangslage:** Bei einer Kunsteisbahn wird Eis erzeugt, indem die Pistenplatte abgekühlt wird. Die Kühlung erfolgt mit einer Kälteanlage, die der Pistenplatte die Wärme bis unter den Gefrierpunkt von Wasser entzieht. Um diesen Wärmetransport zu generieren, wird eine Kältemaschine mit Elektrizität betrieben. In der Bachelorarbeit werden drei verschiedene Kälteerzeugungssysteme untersucht: Zwei direkte Kältesysteme, bei welchem das Kältemittel direkt in der Betonplatte des Eisfeldes zirkuliert und verdampft. Ein System, bei welchem die Kälte mit einem Sekundärmedium transportiert wird. Bei allen Anlagen wird die Nutzung der Abwärme betrachtet und beurteilt. Es handelt sich dabei um neuere Kälteanlagen, welche auch die Unterschiede der Kältesysteme aufgezeigt werden. Die Kälteanlagen werden mit den natürlichen Kältemittel Ammoniak (NH<sub>3</sub>) oder Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) betrieben. Aus einem theoretischen und praktischen Vergleich entstehen Empfehlungen für den Bau von zukünftigen Kunsteisbahnsystemen.

**Vorgehen:** Die drei Kunsteisbahnanlagen werden zum Start der Bachelorarbeit mit den zuständigen Kunsteisbahn-Betreibern besichtigt. Zusätzlich werden die Betreiber und Anlagenplaner interviewt, woraus drei Anlagenbeschreibungen entstehen, in denen auch die Unterschiede der Kältesysteme aufgezeigt werden. Die gesammelten Informationen der drei Kunsteisbahnanlagen werden zusammengetragen und in einem theoretischen Teil verglichen. Für den theoretischen Vergleich dienten die Softwaretools CoolPack, Reflip und drei Auslegungsprogramme der Verdichterhersteller. Im Anschluss werden die theoretischen Berechnungen mittels den erhaltenen Betriebs-Kennzahlen verglichen und auf ihre Plausibilität geprüft. Um die ermittelten Effizienzen mit der Realität abzugleichen, werden diese in ein Praxisbeispiel integriert. Das Praxisbeispiel zeigt die Wichtigkeit einer energieeffizienten Kälteerzeugung. Um die Exergieverluste der Kälteerzeugungen zu bestimmen, beinhaltet die Arbeit eine Exergieanalyse. Die gesammelten und berechneten Angaben fließen in das abschliessende Empfehlungsschreiben der Bachelorarbeit ein.

**Ergebnis:** Die Unterschiede der Elektrizitätsverbräuche sind erheblich. Die direkte Kälteerzeugung mit dem Kältemittel NH<sub>3</sub> ist am effizientesten. Am zweit effizientesten ist die indirekte Kälteerzeugung mit dem Kältemittel CO<sub>2</sub> auf. Die Überprüfung des Theorieteils ist leider nur bedingt möglich. Grund dafür sind fehlende Messwerte des Betriebs, welche für diese Arbeit nicht zur Verfügung stehen. Mit den gesammelten Betriebsinformationen wird jedoch die Aussage der Theorie gestärkt, dass die Kälteerzeugung mit dem Kältemittel NH<sub>3</sub> energieeffizienter ist als die Kälteerzeugung mit dem Kältemittel CO<sub>2</sub>. Zusätzlich zur Energieeffizienz der Kälteanlage sind zum Energiesparen weitere Faktoren zu beachten. Es sollte idealerweise eine isolierte Gebäudehülle, eine Reflexionsdecke und ein Bandensystem für die Bildung des Kältesees verbaut werden. Für die Auslegung der Abwärmenutzung einer Kälteerzeugung sind die unterschiedlichen energetischen Bedürfnisse Kälte/Wärme der ganzen Sportanlage bei der Planung in Betracht zu ziehen.