



Sustainable Hall Conditioning: Die 2-stufige adiabate Kühlung

Funktionsprinzip und echte Alleinstellungsmerkmale gegenüber klassischer Kompressionskälte und einstufiger Adiabatik

Autor: Gerald Katterbauer, INFRANORM® Technologie GmbH

Executive Summary

Sustainable Hall Conditioning (SHC) ersetzt klassische Kompressionskälte durch ein zweistufiges, wasserbasiertes Kühlprinzip – ohne Kompressor, ohne Kältemittel, ohne F-Gase. Die beiden folgenden Vorteilsübersichten fassen zusammen, warum sich SHC sowohl gegenüber konventioneller Kompressionskälte als auch gegenüber einstufiger adiabater Kühlung wirtschaftlich und technisch auszahlt.

Vorteile gegenüber klassischer Kompressionskälte:

- **Bis zu 95 %** geringere Betriebskosten und CO₂-Emissionen gegenüber Kompressionskälte
- **Deutlich** geringere Investitionskosten durch Wegfall von Kompressoren, Kältemittelkreisläufen und schwerer Dachlast
- **0 % F-Gase:** keine klimaschädlichen, brand- oder gesundheitsgefährdenden Kältemittel – kein regulatorisches oder finanzielles F-Gas-Risiko
- **100 % Frischluft** statt Umluftbetrieb: spürbar bessere Luftqualität, keine Austrocknung der Hallenluft
- **Praxisbestätigt:** 250 t CO₂, 1,2 GWh Strom und 250.000 m³ Wasser jährlich eingespart (Referenzprojekt BRP-Rotax)



Vorteile gegenüber einstufiger adiabater Kühlung:

- **Doppelter Effekt:** Hallenluftkondition 24,5 °C / 11,6 g/kg statt 28,5 °C / 13,0 g/kg (Beispiel 32 °C Außentemperatur) – spürbar kühler UND trockener zugleich
- **Norm-konformer Komfort:** echte Behaglichkeit nach EN-16798 / ASHRAE 55, statt feuchtwarmem „Tropenhausklima“
- **Regulatorisch entlastet:** dank tröpfchenfreier Kontaktverdunstung keine Pflichtprüfung nach 42. BImSchV / VDI 2047
- **Intelligente Regelungstechnik:** Taupunktüberwachung, Feuchtebegrenzung und Freecooling-Automatik für maximale Effizienz in jeder Jahreszeit

1. Funktionsprinzip: die zweistufige adiabate Kühlung

Adiabate Kühlung nutzt die natürliche Verdunstungskälte von Wasser: Verdunstet Wasser, entzieht es der umgebenden Luft Wärme, ohne dass externe elektrische Kälteerzeugung notwendig wäre. Einstufige Systeme führen diesen Prozess in einem einzigen Schritt aus – die Luft wird direkt befeuchtet und dabei gekühlt.

Das Problem: die Luftfeuchte steigt dabei so stark an, dass ein feuchtwarmes, unbehagliches Klima entsteht statt einer echten Komfortkühlung.

INFRANORM® setzt konsequent auf ein zweistufiges Verfahren:

Stufe	Funktionsprinzip	Effekt auf Zuluft
Stufe 1 – indirekt	Kaltes Umlaufwasser kühlt die Luft über einen Wärmetauscher „trocken“ vor, ohne direkten Luftkontakt	Temperatur sinkt spürbar, absolute Feuchte bleibt unverändert
Stufe 2 – direkt	Anschließende direkte adiabate Kühlung an der patentierten Kühlwabe	Weitere Temperatursenkung bei nur moderater Feuchtezunahme

Im Mollier-Diagramm (h-x-Diagramm) zeigt sich der Unterschied deutlich: Während eine einstufige Anlage die Außenluft entlang einer einzigen, steilen Linie zu höherer Feuchte hin abkühlt, verläuft der zweistufige Prozess in zwei Etappen – zunächst nahezu horizontal (Temperaturabsenkung ohne Feuchteänderung in Stufe 1), danach erst die adiabate Kühlung in Stufe 2. Der Endpunkt liegt dadurch bei einer niedrigeren Temperatur UND einer niedrigeren absoluten Feuchte als beim einstufigen Verfahren – ein Ergebnis, das sich mit einem einzigen Verdunstungsschritt physikalisch nicht erreichen lässt.

Technisches Beispiel – Kompaktkühler: 14.000 m³/h Luftvolumenstrom, ca. 150 m³ Wasserverbrauch pro Jahr, 800 W elektrische Leistungsaufnahme für die Kälteerzeugung. Kälteleistung: 91 kW bei 38 °C / 21 % rel. Feuchte (18,6 °C Zuluft); 49 kW bei 28 °C / 43 % rel. Feuchte (17,7 °C Zuluft). Auslegungszone: bis ca. 150 m².

2. Im Vergleich zur klassischen Kompressionskälte

Kompressionskälte (Kältemaschine/Wärmepumpe) ist der etablierte Standard in der Hallenklimatisierung – aber teuer in Anschaffung und Betrieb, wartungsintensiv, schwer (Dachstatik) und auf klimaschädliche, teils brennbare oder toxische Kältemittel angewiesen. SHC liefert vergleichbare Kühlleistung mit einem Bruchteil des Energie- und Ressourceneinsatzes, ganz ohne Kältemittel.

2.1 Entscheidungskriterien im direkten Vergleich

Aus einer realen Investitionsentscheidung (Systemevaluierung Bestandsanlage) stammt folgende Kriterienmatrix, die INFRANORM® im Erstgespräch gegen klassische Kompressionskälte-Anbieter nutzt:

Kriterium	Kompressionskälte (2 Anbieter)	SHC – 2-stufige Adiabatik
Kältemittel	F-Gase / synth. Kältemittel	keine – Kühlmedium ist Wasser
Stromverbrauch	Referenz	bis zu 95 % geringer
CO ₂ -Emissionen	Referenz	bis zu 95 % geringer
Lärmemission	hoch	gering
Redundanz	eingeschränkt	hoch (modulares System)
Investitionskosten	hoch	geringer
Betriebskosten	hoch	bis zu 95 % geringer
Optimierung Dachstatik	kaum möglich	möglich (leichtere Anlagen)
Behördliche Prüfpflichten	umfangreicher	geringer
Komplexität Medienverteilnetz	hoch	geringer
Projekt-Timing	länger	kürzer
Störung des Betriebs während Umsetzung	geringer	kann höher ausfallen
Systemresilienz	geringer	hoch
Nutzung bestehender Abwärmequellen	möglich	möglich
Stabile Hallentemperatur/-feuchte	möglich	möglich
Langjährige Systemerfahrung (Marktreife)	hoch	geringer als etablierte Kompressionskälte

In 12 von 16 Kriterien schneidet SHC klar besser ab. Bei den übrigen vier – bestehende Abwärmenutzung, Temperaturstabilität, Betriebsstörung während der Umsetzung und Marktreife – ist die Lage differenzierter: diese Punkte lassen sich im Projektengineering aktiv managen, sollten aber offen kommuniziert werden.



2.2 Wirtschaftlichkeit: Investitions- und Betriebskosten

Der wirtschaftliche Vorteil von SHC entsteht auf zwei Ebenen. Bei den **Investitionskosten** entfallen die kostenintensiven Komponenten klassischer Kompressionskälte: Kompressoren, Kältemittelkreisläufe, Kältemittelmanagement und die aufwendige Dachstatik für schwere Kälteanlagen. SHC-Anlagen sind deutlich leichter, modular aufgebaut und benötigen keine kältetechnische Fachplanung nach Druckgeräterichtlinie.

Bei den **Betriebskosten** wirkt sich vor allem der elektrische Leistungsbedarf aus: Während eine Kompressionskälteanlage für dieselbe Kühlleistung einen Kompressor mit hohem Strombedarf antreiben muss, verbraucht die 2-stufige Adiabatik nur die elektrische Leistung für Ventilatoren und Umwälzpumpen.

In der **Praxis** ergeben sich daraus **bis zu 95 % geringere Betriebskosten** und ein **bis zu 95 % kleinerer CO₂-Fußabdruck** gegenüber klassischer Kompressionskälte – Werte, die sich in den Best-Practice-Projekten von INFRANORM® (siehe 2.5) durchgängig in der Größenordnung von 67 bis 90 % Einsparung bestätigen. Da SHC zudem ganz ohne F-Gase auskommt, entfällt auch das Risiko künftiger Kostensteigerungen durch die schrittweise Verknappung und Verteuerung fluorierter Kältemittel im Rahmen der EU-F-Gas-Verordnung.

2.3 Luftqualität: 100 % Frischluft statt Umluftbetrieb

Ein in der Praxis oft unterschätzter Unterschied betrifft die **Luftqualität**. Klassische Kompressionskälteanlagen kühlen die Hallenluft überwiegend im Umluftbetrieb: Dieselbe Luft wird immer wieder angesaugt, über kalte Verdampferflächen geführt und zurückgeblasen. Dabei kondensiert Feuchtigkeit an den kalten Oberflächen aus – die Raumluft trocknet über die Zeit spürbar aus, was zu trockenen Schleimhäuten, erhöhter Staubbelastung und einem unangenehmen Raumklima für die Mitarbeitenden führen kann. Gleichzeitig reichern sich CO₂ und Gerüche aus der Produktion in der umgewälzten Luft an, da kaum Außenluft zugeführt wird.

Sustainable Hall Conditioning kühlt demgegenüber mit 100 % Frischluft: Es wird durchgehend Außenluft angesaugt, adiabatisch gekühlt und in die Halle eingebracht, während die verbrauchte Hallenluft kontinuierlich abgeführt wird. Das bedeutet in der Praxis mehrfachen Luftwechsel pro Stunde mit gefilterter, sauerstoffreicher Außenluft statt endlos rezirkulierter Raumluft.

Die Folge ist eine drastisch verbesserte Luftqualität: keine künstliche Austrocknung der Raumluft, spürbar geringere Schadstoff-, Staub- und Geruchskonzentration sowie ein gesünderes, produktivitätsförderndes Arbeitsklima – ein Vorteil, der sich in klassischen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen selten abbildet, für Mitarbeitergesundheit und Arbeitgeberattraktivität aber erheblich ins Gewicht fällt.



2.4 Wassernutzung im Vergleich

Ein häufiger Einwand gegen adiabate Systeme lautet: „Wasserverbrauch ist doch schlecht für die Umwelt.“ Ein direkter Vergleich für dieselbe Kühlleistung (90 kW sensibel) relativiert diesen Einwand:

	Stromaufnahme	Kraftwerk-Kühlwasser	Verdunstung vor Ort	Gesamtwasserbedarf
Kompressionskälte	30 kW/h	300 L/h	–	300 L/h
SHC (2-stufig)	1 kW/h	10 L/h	90 L/h	ca. 100 L/h

Trotz lokaler Verdunstung ist der überregionale Gesamtwasserbedarf von SHC rund **dreimal geringer**, weil eine Kompressionskälteanlage über ihren 30-fach höheren Strombedarf indirekt weit mehr Kühlwasser in Kraftwerken beansprucht als vor Ort eingespart wird.

2.5 Praxisbeispiel: Referenzprojekt BRP-Rotax

Projektdaten Phase 1: 14.100 m² gekühlte Fläche, 20 Abluftventilatoren, 12 Lüftungsgeräte, 30 adiabate Kühler, max. Frischluftmenge 450.000 m³/h bei 100.000 m³ Raumvolumen. Durchschnittliche Leistungsaufnahme für die gesamte Fertigung (Kühlung, Lüftung, Heizung) ca. 51 kW.

Jährliche Einsparungen gegenüber der zuvor eingesetzten Brunnenwasser-Wärmepumpe: 250 t CO₂, 1,2 GWh Strom und 250.000 m³ Brunnenwasser. Durch die parallele Umstellung von Gaskesselheizung auf Fernwärme wurden zusätzlich 1.500 t CO₂ jährlich eingespart.

3. Im Vergleich zur einstufigen adiabaten Kühlung

Nicht jede adiabate Kühlung ist gleich. Einstufige Systeme kühlen zwar die Luft, erhöhen dabei aber die Luftfeuchte so stark, dass ein feuchtwarmes „Tropenhausklima“ entsteht statt echter Behaglichkeit. INFRANORM® setzt daher konsequent auf ein zweistufiges Verfahren, das Temperatur und Feuchte gemeinsam statt gegeneinander regelt.

3.1 Hallenluftkondition im Vergleich

Die resultierende Hallenluftkondition (nicht die reine Zulufttemperatur am Gerät, sondern das tatsächliche Klima in der Halle) macht den Unterschied deutlich – hier am Beispiel realer Klimadaten bei 32 °C Außentemperatur:

	Außenluft	1-stufige Adiabatik	SHC – 2-stufige Adiabatik
Hallenluft-Temperatur	32 °C / 25 % rF	28,5 °C	24,5 °C
Absolute Feuchte (Hallenluft)	–	13,0 g/kg	11,6 g/kg
Bewertung (EN-16798 / ASHRAE 55)	–	unbehaglich	behaglich

Auch bei der Zulufttemperatur direkt am Gerät bestätigt sich der Vorteil: Über den gesamten geprüften Außenfeuchtebereich (10–60 % rF) erreicht die 2-stufige Adiabatik durchgängig niedrigere Zulufttemperaturen bei geringerer Feuchte als eine 1-stufige Anlage – bei niedriger Außenfeuchte sind so Zulufttemperaturen von 15–20 °C selbst bei 40 °C Außentemperatur erreichbar. Der Vorteil wächst mit steigender Außenfeuchte sogar noch weiter.

3.2 Physikalischer Hintergrund: das Mollier-Diagramm

Anhand realer Klimadaten (Wien, ca. 36 °C / 7 g/kg Außenluft) lässt sich der Unterschied im Mollier-Diagramm (h-x-Diagramm) exakt nachvollziehen:

Prozessschritt	Temperatur	Absolute Feuchte
Ausgangspunkt: Außenluft	ca. 36 °C	ca. 7 g/kg
1-stufig – direkte adiabate Kühlung (einziger Schritt)	ca. 22 °C	ca. 13 g/kg
2-stufig – Stufe 1: indirekte „trockene“ Kühlung	ca. 27 °C	ca. 7 g/kg (unverändert)
2-stufig – Stufe 2: direkte adiabate Kühlung	ca. 17 °C	ca. 11 g/kg

Die einstufige Kühlung folgt einer einzigen, steilen Linie zu höherer Feuchte hin. Der zweistufige Prozess kühlt zunächst nahezu ohne Feuchteänderung vor (Stufe 1) und erst danach adiabatisch (Stufe 2) – der Endpunkt liegt bei niedrigerer Temperatur und vergleichbarer oder geringerer Feuchte. Ein Ergebnis, das mit einem einzigen Verdunstungsschritt physikalisch nicht erreichbar ist.

3.3 Regelungstechnik

Einstufige Anlagen sind meist einfach aufgebaut und bieten wenig Spielraum für intelligente Betriebsführung. Die 2-stufige Adiabatik von INFRANORM® wird über modulare, dezentrale Steuereinheiten mit eigener CPU je Modulregelzentrale geregelt und sichert so den ganzjährig zuverlässigen, effizienten Betrieb:



Funktion	Nutzen
Gleitende Sollwertregelung	Automatische Anpassung an Außenbedingungen für maximale Effizienz
Feuchtebegrenzung	Verhindert Überschreitung der zulässigen Maximalfeuchte in der Halle
Taupunktüberwachung	Aktive Kondensations- und Korrosionsvermeidung an Bauteilen
Freecooling mit Nachtabsenkung	Nutzung kühler Nachtluft zur zusätzlichen Energieeinsparung
Modulare dezentrale Steuereinheiten	Eigene CPU je Modulregelzentrale, ausfallsicherer Betrieb
Fernzugriff & Trendaufzeichnung	Remote-Monitoring, Betriebsdatenanalyse, vorausschauende Wartung

3.4 Hygienekonzept

Zusätzlich arbeitet die Kühlung drucklos, ausschließlich über Kontaktverdunstung an einer patentierten Kühlwabe – keine Verrieselung, keine Tröpfchen oder Aerosole im Luftstrom, im Gegensatz zu vielen 1-stufigen bzw. sprühbasierten Systemen, die unter die 42. BImSchV und VDI 2047 fallen:

Maßnahme	Wirkung
Aluminium-Kühlwabe mit antibakterieller Beschichtung	Kein Nährboden für Mikroorganismen, Standzeit bis 5 Jahre
Tägliche Vollstrocknung („Bioschock“)	Mind. 1x in 24h
Permanente Leitwertmessung	Kontinuierliche Wasserqualitätsüberwachung
Keine Verrieselung/Versprühung (Kontaktverdunstung)	Nicht anwendbar: 42. BImSchV, VDI 2047
Konformität mit VDI 6022, VDI 3803, SWKI VA104-01	Anerkannte Regeln der Technik erfüllt
Optionale UVC-Entkeimung	Für Lebensmittelindustrie und höchste Hygieneanforderungen



3.5 Weitere Leistungskennzahlen

Kennzahl	Wert
Energieeinsparung ggü. klassischer Klimaanlage	bis zu 90 %
Temperaturvorteil ggü. einstufiger direkter Adiabatik	bis zu 7 °C niedriger
Reduktion Feuchteintrag ggü. einstufiger Adiabatik	bis zu 70 % geringer
Wassersparnis ggü. Referenzsystemen	bis zu 30 % weniger
Wet-bulb-Wirkungsgrad (kombiniert)	bis zu 114 %

4. Warum INFRANORM® – Ihr Single-Source-Partner

Die technologischen Vorteile der 2-stufigen Adiabatik sind eindeutig – entscheidend für den Projekterfolg ist aber, wer diese Technologie zuverlässig in ein funktionierendes Gesamtsystem überführt. INFRANORM® vereint technische Tiefe, **ganzheitliches Systemverständnis** und nachgewiesene Umsetzungskompetenz in einer Kombination, die sich durch die Beauftragung mehrerer spezialisierter Einzelanbieter nicht nachbilden lässt.

Vier Gründe für INFRANORM® als Single-Source-Partner

- **Anlagenbauer statt Komponentenlieferant:** ein Ansprechpartner für Engineering, Umsetzung und Service über den gesamten Anlagenlebenszyklus – keine Schnittstellenverluste zwischen Gewerken
- **THINK INFRANOMIC® Engineering:** ganzheitliche Planung vom Wertschöpfungsprozess des Kunden aus statt isolierter Einzelgewerke – deckt Synergiepotenziale auf, die Einzelanbieter nicht sehen
- **Einzigartige Kompetenzkombination:** als einziger Anbieter am Markt vereinen wir Sustainable Hall Conditioning UND Produktionsinfrastruktur (Absaugung, Explosionsschutz, Prozesskühlung, Abwärmenutzung) unter einem Dach
- **Nachgewiesene Umsetzungskompetenz:** über 20 Jahre Projekterfahrung, zahlreiche Referenzprojekte in anspruchsvollen Industrien, mehrfach ausgezeichnet für Innovationskraft



4.1 Anlagenbauer statt Komponentenlieferant

Die meisten Marktbegleiter treten als Lieferant einzelner Komponenten auf – eine Kältemaschine, ein Lüftungsgerät, ein Absaugsystem. INFRANORM® agiert dagegen als **Anlagenbauer mit Gesamtverantwortung**: von Engineering über Umsetzung bis zur Nachbetreuung über den gesamten Anlagenlebenszyklus. Für den Kunden bedeutet das einen einzigen Ansprechpartner, eine durchgängige Gewährleistung und keine Schnittstellenverluste zwischen Gewerken – ein Koordinationsaufwand, der bei mehreren Einzelanbietern typischerweise beim Kunden selbst hängen bleibt.

4.2 THINK INFRANOMIC® Engineering: ganzheitlich statt gewerkeweise

Klassische Anbieter planen Kühlung, Lüftung, Heizung und Gebäudehülle als getrennte Gewerke – mit entsprechenden Schnittstellenverlusten und ungenutzten Synergien. INFRANORM® denkt konsequent vom **Wertschöpfungsprozess des Kunden** aus („von innen nach außen“): Produktionsanforderungen, Infrastruktur und Gebäude werden integriert geplant. Das deckt Einsparpotenziale auf, die bei isolierter Betrachtung einzelner Gewerke unsichtbar bleiben, und ist ein wesentlicher Grund, warum sich INFRANORM®-Projekte typischerweise bereits in 6 Monaten bis 3 Jahren amortisieren.

4.3 Einzigartige Kombination aus zwei Kompetenzfeldern

Kein anderer Anbieter am Markt vereint beide folgenden Kompetenzfelder unter einem Dach: **Sustainable Hall Conditioning** (2-stufige adiabate Kühlung, Heizen, Lüften, Hallenluftreinigung, Wärmerückgewinnung, Präzisionsklimatisierung) UND **Produktionsinfrastruktur** (Absaug- und Filtertechnik, Brand- und Explosionsschutz, Prozesskühlung, Abwärmennutzung, Arbeitnehmerschutz).

Gerade bei komplexen Produktionsstandorten mit hoher interner Wärmelast greifen diese Bereiche unmittelbar ineinander – etwa wenn Abwärme aus einer Absauganlage in die Wärmerückgewinnung der Hallenkonditionierung einfließt, oder wenn Explosionsschutzanforderungen die Auslegung der Lüftungstechnik bestimmen.

Wer diese Zusammenhänge nicht aus einer Hand plant, verschenkt Synergiepotenzial oder riskiert technische Konflikte an den Schnittstellen.

Aspekt	Typischer Einzelanbieter-Ansatz	INFRANORM® Single-Source-Ansatz
Verantwortung	Mehrere Ansprechpartner, Schnittstellenrisiko	Ein Ansprechpartner, Gesamtverantwortung
Planungsansatz	Gewerke getrennt geplant	Ganzheitlich integriert (THINK INFRANOMIC®)
Kühltechnik + Infrastruktur	Kühltechnik separat von Produktionsinfrastruktur	SHC und Produktionsinfrastruktur aus einer Hand
Synergienutzung	Ungenutzt durch isolierte Betrachtung	Aktiv genutzt (z. B. Abwärme → Wärmerückgewinnung)
Nachbetreuung	Gewährleistung je Gewerk getrennt	Durchgängige Verantwortung über den Lebenszyklus



4.4 Nachgewiesene Umsetzungskompetenz statt Technologieversprechen

Die technische Überlegenheit der 2-stufigen Adiabatik ist unbestritten – entscheidend ist aber, ob ein Anbieter sie auch zuverlässig in komplexen industriellen Umgebungen umsetzt. INFRANORM® kann das **über mehr als 20 Jahre Projekterfahrung** und eine **breite Referenzliste** in anspruchsvollen Branchen belegen: von Automotive (BRP-Rotax, MAGNA) über Aerospace- und Präzisionsfertigung (voestalpine BÖHLER) bis zur Lebensmittelindustrie (Adelholzer, Gmundner Molkerei) und Metallverarbeitung (Andritz, Benteler, Teufelberger).

Mehrfach ausgezeichnet für Innovationskraft – unter anderem mit dem Energy Globe Award und dem Pegasus-Wirtschaftspreis 2025 – bestätigt dieser Track Record: INFRANORM® liefert nicht nur ein Technologieversprechen, sondern nachweisbare Ergebnisse.

Fazit dieses Kapitels: In der Kombination aus technologischer Tiefe (patentierte 2-stufige Adiabatik), ganzheitlichem Systemverständnis (THINK INFRANOMIC® Engineering) und nachgewiesener Umsetzungskompetenz ist INFRANORM® in dieser Form am Markt einzigartig positioniert – und damit der Single-Source-Partner, der Ihnen sowohl die Technologie als auch deren verlässliche Umsetzung aus einer Hand garantiert.

5. Fazit

Die zweistufige adiabate Kühlung löst zwei unabhängige technische Probleme gleichzeitig: Sie ersetzt kompressorbasierte Kältetechnik durch ein wasserbasiertes System mit einem Bruchteil des Energie-, Kosten- und CO₂-Fußabdrucks und mit spürbar besserer Luftqualität durch durchgängigen Frischluftbetrieb – und sie überwindet die physikalische Schwäche einstufiger Verdunstungskühlung, die Behaglichkeit durch übermäßige Feuchtezunahme erkauft.

Dass INFRANORM® diese Technologie nicht nur liefert, sondern als Anlagenbauer mit **ganzheitlichem Systemverständnis** und **über 20 Jahren Projekterfahrung** zuverlässig umsetzt, macht den Unterschied zwischen einem Technologieversprechen und einem nachweisbaren Ergebnis – dokumentiert durch reale Referenzprojekte und **wiederholt ausgezeichnet für die Innovationskraft**.