

Sustainable Hall Conditioning - Wie zweistufige adiabate Kühlung Produktionshallen klimatisiert, ohne auf Kompressionskälte zu setzen

INFRANORM® Technologie GmbH

Bauernstraße 11 | 4600 Wels | Austria

+43 7242 93 96 81 - 50 | office@infranorm.com | [infranorm.com](https://www.infranorm.com)

Firmenbuch-Nr.: Fb249272b | Gericht: LG Wels | UID-Nr.: ATU57979147



**THINK
INTEGRATED
THINK
INFRANOMIC®!**



Inhaltsverzeichnis

1. Executive Summary	3
2. Ausgangslage: Hitze in der Produktionshalle als unterschätztes Betriebsrisiko	3
3. Funktionsprinzip der zweistufigen adiabaten Kühlung	5
3.1 Physikalisches Grundprinzip: Adiabatik und Verdunstungskühlung	5
3.2 Warum einstufige Systeme an Feuchtegrenzen stoßen.....	5
3.3 Der zweistufige Prozess im Detail	6
3.4 Technologiegrundlage: die adiabate Kühlwabe	6
3.5 Hybridkühlung: keine grundsätzlichen Temperatur- oder Feuchtegrenzen	6
4. Systemarchitektur: modulares Baukastensystem statt Einzelgewerk	7
5. Energie- und Ressourceneffizienz im Vergleich	9
6. Regulatorik und Hygiene	10
7. Fallstudie BRP-Rotax, Günskirchen	11
8. Weitere Referenzprojekte im Kurzüberblick.....	12
9. Wirtschaftlichkeit	12
10. Einordnung im Marktvergleich	14
11. Fazit und Ausblick	15
Über INFRANORM® Technologie GmbH.....	16



1. Executive Summary

Steigende Außentemperaturen, verschärfte ESG-Berichtspflichten und die absehbare Verknappung klimaschädlicher Kältemittel setzen die Klimatisierung von Produktionshallen zunehmend unter Druck. Klassische Kompressionskälte stößt dabei an technische, regulatorische und wirtschaftliche Grenzen. Sustainable Hall Conditioning (SHC) von INFRANORM® Technologie GmbH verfolgt einen anderen Ansatz: eine zweistufige adiabate Kühlung, die überwiegend mit Wasser statt mit Kompressionskälte arbeitet und ohne F-Gase oder PFAS auskommt. Im Gegensatz zu einstufigen Verdunstungskühlungen erreicht das zweistufige Verfahren niedrigere Temperaturen bei gleichzeitig geringerer Luftfeuchte. Je nach Projekt werden bis zu 95 Prozent geringere Energiekosten und CO₂-Emissionen für die Kühlung sowie bis zu 40 Prozent geringere Heizkosten durch Wärmerückgewinnung erreicht. Reale Projektdaten, etwa aus dem Werk BRP-Rotax in Gunskirchen, belegen jährliche Einsparungen von mehreren Hundert Tonnen CO₂ sowie signifikante Reduktionen bei Stromverbrauch und Wasserentnahme. Dieses Whitepaper stellt Funktionsprinzip, Systemarchitektur, Wirtschaftlichkeit und regulatorische Einordnung von SHC dar und ordnet die Technologie ausgewogen im Vergleich zu klassischer Kompressionskälte ein.

2. Ausgangslage: Hitze in der Produktionshalle als unterschätztes Betriebsrisiko

In vielen produzierenden Betrieben ist die Hallentemperatur über Jahrzehnte ein nachrangiges Thema geblieben, hinter Maschinenverfügbarkeit, Durchsatz und Qualitätssicherung. Mit zunehmend heißeren Sommern und dem gleichzeitigen Anstieg interner Wärmelasten durch dichtere Maschinenbelegung und Automatisierung rückt das Hallenklima jedoch stärker in den Fokus. Hallentemperaturen von deutlich über 30 Grad Celsius sind in nicht klimatisierten oder unzureichend klimatisierten Produktionsstätten in den Sommermonaten keine Ausnahme.

Der Zusammenhang zwischen Raumtemperatur und Arbeitsleistung ist arbeitswissenschaftlich seit Langem dokumentiert: Mit steigender Temperatur oberhalb der thermischen Behaglichkeitszone nehmen Konzentrationsfähigkeit und Fehlerresistenz ab, während Ermüdung und krankheitsbedingte Ausfälle zunehmen. Für Betriebe mit hohen Qualitätsanforderungen, etwa in der Präzisionsfertigung, der Automobilzulieferung oder der Lebensmittelproduktion, ist ein stabiles Hallenklima damit nicht nur eine Frage des Komforts, sondern ein Faktor für Produktivität und Fehlerquote.



Hinzu kommt regulatorischer und unternehmerischer Druck: Berichtspflichten im Rahmen der Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) sowie interne Klimaziele vieler Industriekonzerne verlangen von Zulieferern und eigenen Standorten zunehmend nachvollziehbare Reduktionspfade bei Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen. Die Klimatisierung von Hallenflächen mit mehreren Tausend bis Zehntausend Quadratmetern gehört dabei zu den größeren Hebeln im Energiebudget eines Produktionsstandortes.

Klassische Kompressionskälte, wie sie in Kaltwassersätzen oder Split-Klimaanlagen zum Einsatz kommt, stößt bei dieser Aufgabenstellung an mehrere Grenzen. Der Stromverbrauch für die Erzeugung von Kälte über einen Kompressionskreislauf ist gegenüber wasserbasierten Verfahren deutlich höher, was sich unmittelbar auf Betriebskosten und CO₂-Bilanz auswirkt. Die eingesetzten Kältemittel unterliegen der europäischen F-Gase-Verordnung, die schrittweise strengere Grenzwerte und Verbote für Substanzen mit hohem Treibhauspotenzial vorsieht, wodurch Ersatzteilverfügbarkeit und Planungssicherheit für Bestandsanlagen abnehmen. Wartungsaufwand und Lebensdauer von Kompressoranlagen sind zudem mit wiederkehrenden Kosten verbunden. Schließlich wird die Klimatisierung in vielen Bestandsprojekten weiterhin als isoliertes Einzelgewerk geplant, losgelöst von Lüftung, Wärmerückgewinnung und dem eigentlichen Produktionsprozess, was Synergiepotenziale ungenutzt lässt.

Diese Ausgangslage betrifft nicht nur Neubauprojekte. Ein erheblicher Teil der europäischen Hallenflächen wurde in Jahrzehnten errichtet, in denen sommerliche Extremtemperaturen in dieser Häufigkeit nicht Teil der Planungsgrundlage waren. Entsprechend stehen viele Betreiber vor der Frage, wie eine bestehende, oft technisch veraltete Kälte- oder Lüftungsanlage im Zuge einer ohnehin anstehenden Sanierung ersetzt werden kann, ohne den laufenden Produktionsbetrieb über längere Zeit zu unterbrechen. Gleichzeitig verschärft sich die Situation am Arbeitsmarkt: In Regionen mit angespannter Fachkräftesituation wird das Hallenklima zunehmend auch als Standortfaktor für die Mitarbeitergewinnung und -bindung wahrgenommen, insbesondere in körperlich anspruchsvollen Tätigkeitsbereichen der Produktion.

Auch aus energiewirtschaftlicher Sicht verändert sich die Ausgangslage. Volatile Strom- und Gaspreise der vergangenen Jahre haben viele Industriebetriebe dazu veranlasst, Energiekosten stärker als bisher in die Standortplanung einzubeziehen. Ein Klimatisierungskonzept, das den überwiegenden Teil der benötigten Kühlleistung nicht über einen stromintensiven Kompressionskreislauf, sondern über ein wasserbasiertes Verfahren bereitstellt, verändert damit unmittelbar die Kostenstruktur eines Standortes und dessen Abhängigkeit von kurzfristigen Preisschwankungen am Strommarkt.

3. Funktionsprinzip der zweistufigen adiabaten Kühlung

3.1 Physikalisches Grundprinzip: Adiabatik und Verdunstungskühlung

Adiabate Kühlung nutzt einen physikalischen Effekt, der auch als Verdunstungskälte bekannt ist: Wenn Wasser verdunstet, entzieht es der umgebenden Luft die dafür benötigte Verdunstungsenthalpie in Form von Wärme. Die Lufttemperatur sinkt, während die absolute Luftfeuchte steigt, da das verdunstete Wasser als Wasserdampf in der Luft verbleibt. Der Prozess läuft ohne mechanische Kälteerzeugung ab und benötigt im Wesentlichen nur die elektrische Energie für den Luft- und Wassertransport, nicht für einen Kompressionskreislauf.

Dieses Grundprinzip ist technisch einfach und ressourcenschonend, hat in seiner einstufigen Form allerdings einen physikalisch bedingten Zielkonflikt: Je mehr Kühlung über Verdunstung erreicht werden soll, desto stärker steigt gleichzeitig die Luftfeuchte an. Ab einem bestimmten Punkt wird die Hallenluft zwar kühler, aber gleichzeitig spürbar feuchter, was subjektiv als schwül oder unbehaglich wahrgenommen wird.

3.2 Warum einstufige Systeme an Feuchtegrenzen stoßen

Der Zusammenhang lässt sich anhand eines Rechenbeispiels veranschaulichen, das gängigen Außenluftbedingungen im mitteleuropäischen Sommer entspricht: 32 Grad Celsius Außentemperatur bei 25 Prozent relativer Feuchte.

Mit einer einstufigen adiabaten Kühlung ergibt sich unter diesen Bedingungen eine resultierende Hallenluftkondition von etwa 28,5 Grad Celsius bei einer absoluten Feuchte von rund 13,0 Gramm Wasser pro Kilogramm Luft. Nach den Behaglichkeitskriterien der Normen EN-16798 und ASHRAE 55 liegt diese Kombination aus Temperatur und Feuchte außerhalb des als behaglich definierten Bereichs.

Mit dem zweistufigen Verfahren, wie es in SHC eingesetzt wird, ergibt sich unter denselben Außenbedingungen eine Hallenluftkondition von etwa 24,5 Grad Celsius bei rund 11,6 Gramm Wasser pro Kilogramm Luft, eine Kombination, die innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen nach EN-16798 und ASHRAE 55 liegt. An dieser Stelle ist die Unterscheidung zwischen Hallenluftkondition und Zulufttemperatur wichtig: Die genannten Werte beschreiben das resultierende Klima im Raum, nachdem sich die zugeführte Luft mit der vorhandenen Hallenluft vermischt hat, nicht die Temperatur unmittelbar am Austritt des Klimatisierungsgeräts.

Das Beispiel zeigt, dass die zweite Kühlstufe nicht nur eine zusätzliche Temperaturabsenkung bewirkt, sondern gleichzeitig den Feuchteanstieg begrenzt, der bei einer rein einstufigen Verdunstungskühlung unvermeidlich wäre.

3.3 Der zweistufige Prozess im Detail

Der zweistufige Prozess kombiniert zwei unterschiedliche physikalische Wirkmechanismen. In der ersten Stufe erfolgt eine indirekte, trockene Vorkühlung: Die Außenluft wird über einen Wärmetauscher an einem separaten, zuvor durch Verdunstung gekühlten Wasserkreislauf vorbeigeführt. Da die zu klimatisierende Luft dabei nicht in direkten Kontakt mit dem verdunstenden Wasser kommt, sinkt ihre Temperatur, ohne dass ihre Feuchte zunimmt.

In der zweiten Stufe folgt die direkte adiabate Kühlung: Die bereits vorgekühlte Luft wird über eine Kühlwabe geführt, an der Wasser verdunstet und direkt mit dem Luftstrom in Kontakt kommt. Da die Luft zu diesem Zeitpunkt bereits kühler und trockener ist als die ursprüngliche Außenluft, fällt der Feuchteanstieg in dieser zweiten Stufe geringer aus, als es bei einer direkten einstufigen Kühlung ausgehend von der ursprünglichen Außenluft der Fall wäre.

Im Mollier-Diagramm, das Temperatur und Feuchtegehalt feuchter Luft in Beziehung setzt, lässt sich dieser Weg als zweigeteilter Prozesspfad darstellen: ein erster, nahezu horizontaler Abschnitt mit sinkender Temperatur bei konstanter absoluter Feuchte, gefolgt von einem zweiten Abschnitt, der entlang der Verdunstungslinie zu niedrigerer Temperatur bei moderat steigender Feuchte führt. Das Ergebnis liegt damit näher an beziehungsweise innerhalb der Behaglichkeitszone als der direkte, einstufige Weg.

3.4 Technologiegrundlage: die adiabate Kühlwabe

Kernkomponente beider Kühlstufen ist eine patentierte, antibakteriell beschichtete Aluminium-Kühlwabe. Die Verdunstung erfolgt drucklos durch Kontaktverdunstung an der Oberfläche der Wabenstruktur, nicht durch Verrieselung oder Versprühung von Wasser in den Luftstrom. Dieser Unterschied ist technisch relevant, da er Tröpfchenbildung und die Freisetzung von Aerosolen im Luftstrom vermeidet, ein Punkt, der auch für die regulatorische Einordnung in Kapitel 6 von Bedeutung ist.

3.5 Hybridkühlung: keine grundsätzlichen Temperatur- oder Feuchtegrenzen

Die in Kapitel 3.2 und 3.3 beschriebene zweistufige adiabate Kühlung ist im Vergleich zu einstufigen Systemen physikalisch nicht an die Feuchtkugeltemperatur der Außenluft gebunden: Sie kann sogar unter diese Feuchtkugeltemperatur kühlen, ist dabei jedoch durch die Feuchtkugeltemperatur der bereits trocken vorgekühlten Außenluft nach Stufe 1 begrenzt. Für Anwendungsfälle mit besonders niedrigen Zielwerten bei Temperatur oder Feuchte, die auch mit dem zweistufigen adiabaten Verfahren nicht mehr zuverlässig erreicht werden, lässt sich SHC um eine

mechanische Kühlstufe erweitern. Bei dieser als SHC-Hybrid bezeichneten Variante wird der zweistufigen adiabaten Kühlung eine vergleichsweise klein dimensionierte Wärmepumpe oder Kältemaschine nachgeschaltet. Damit lassen sich auch außergewöhnlich anspruchsvolle Temperatur- oder Feuchtezielwerte energieeffizient und ressourcenschonend erreichen, ohne vollständig auf ein konventionelles Kompressionskälte-Konzept zurückgreifen zu müssen.

Da die vorgeschaltete zweistufige adiabate Kühlung bereits den überwiegenden Teil der Kühllast abdeckt, muss die nachgeschaltete mechanische Stufe nur noch die verbleibende Differenz zum Zielwert bereitstellen. In der Praxis liegen die Einsparungen bei CO₂-Emissionen und Energiekosten gegenüber einer rein kompressionsbasierten Lösung dadurch auch bei SHC-Hybrid meist noch bei rund 60 Prozent oder darüber, projekt- und zielwertabhängig. Da die mechanische Kälteanlage nur für die Restlast ausgelegt werden muss, fällt sie in der Praxis meist um rund 60 bis 80 Prozent kleiner aus als eine für dieselbe Gesamtleistung ausgelegte Kompressionskälteanlage. Das reduziert sowohl die Investitionskosten als auch die erforderliche Kältemittelfüllmenge, was angesichts der in Kapitel 6 beschriebenen regulatorischen Entwicklung bei F-Gasen zusätzlich relevant ist.

SHC-Hybrid eignet sich insbesondere für moderne Neubauten, bei denen die Kühlleistung über weite Teile des Jahres deutlich höher ausfällt als die Heizleistung. In klassischen Konzepten wird für diesen Fall häufig eine reversible Wärmepumpe eingesetzt, die auf die hohe Kühllast ausgelegt ist und im Heizbetrieb entsprechend überdimensioniert und damit ineffizient läuft. Bei SHC-Hybrid übernimmt stattdessen die adiabate Kühlung den Kühlfall, während die Wärmepumpe nur noch auf die tatsächliche, durch die in Kapitel 5 beschriebene Warmluftrückführung des SHC-Systems bereits reduzierte Heizleistung ausgelegt werden muss. Bei Bedarf lässt sich die Kühlung darüber hinaus punktuell durch die Kälteleistung der Wärmepumpe unterstützen, etwa an klimatisch besonders anspruchsvollen Tagen mit Spitzenlast.

4. Systemarchitektur: modulares Baukastensystem statt Einzelgewerk

SHC ist als modulares Baukastensystem konzipiert, das über die reine Kühlung hinausgeht. Zu den verfügbaren Modulen zählen Kühlen, Heizen, Lüften, Hallenluftreinigung, Wärmerückgewinnung, Präzisionsklimatisierung, Vorkühlung und die Nachrüstung bestehender Anlagen im Rahmen von Retrofit-Projekten. Die Module lassen sich einzeln für abgegrenzte Zonen einsetzen oder zu einer Vollhallenkonditionierung für große, zusammenhängende Produktionsflächen kombinieren.



Ob eine Wärmerückgewinnung im konkreten Projekt technisch sinnvoll ist, hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Wird die benötigte Luftmenge primär durch die Kühllast und nicht durch einen raumlufttechnisch bedingten Mindestfrischluftbedarf bestimmt, oder besteht ohnehin ein Wärmeüberschuss in der Halle, der zur Vorkonditionierung der Frischluft genutzt werden kann, ist eine zusätzliche Wärmerückgewinnung nicht in jedem Fall erforderlich. In anderen Fällen lässt sich das System um ein eigenes Wärmerückgewinnungsmodul ergänzen.

Der Planungsansatz hinter der Systemarchitektur wird bei INFRANORM® als INFRANOMIC®-Engineering bezeichnet: Ausgangspunkt der Planung ist nicht die Gebäudehülle, sondern der Wertschöpfungsprozess des jeweiligen Produktionsbetriebs. Kühl-, Heiz-, Lüftungs- und Wärmerückgewinnungsbedarf werden gemeinsam betrachtet, statt als getrennte Gewerke unabhängig voneinander ausgeschrieben und geplant zu werden. Dieser integrierte Ansatz soll Synergien zwischen den einzelnen Teilsystemen nutzbar machen, die bei einer isolierten Betrachtung einzelner Gewerke ungenutzt blieben, etwa wenn Abwärme aus einem Produktionsbereich zur Vorkonditionierung von Frischluft in einem anderen Bereich genutzt wird.

Für Bestandsanlagen ist insbesondere das Retrofit-Modul relevant. Statt eine vorhandene Kompressionskälteanlage vollständig zu ersetzen, lässt sich SHC in vielen Fällen so in bestehende Lüftungs- und Gebäudeleittechnik integrieren, dass vorhandene Kanalführungen, Medienverteilung und Steuerungsinfrastruktur zumindest teilweise weiterverwendet werden können. Die konkrete Machbarkeit hängt dabei von der jeweiligen Bausubstanz, der verfügbaren Dachfläche und der bestehenden Gebäudetechnik ab und wird projektspezifisch geprüft.

Die Skalierbarkeit des Baukastensystems erlaubt außerdem eine gestaffelte Umsetzung. Anstatt eine gesamte Halle in einem einzigen Bauabschnitt umzurüsten, lassen sich einzelne Zonen priorisiert ausstatten, etwa Bereiche mit besonders hoher interner Wärmelast oder besonders hohen Qualitätsanforderungen an das Raumklima, während weitere Hallenabschnitte in späteren Ausbaustufen folgen. Dieses Vorgehen kann dazu beitragen, Investitionskosten zeitlich zu strecken und Erfahrungswerte aus einem ersten Bauabschnitt in die Planung nachfolgender Abschnitte einfließen zu lassen, wie es beispielsweise auch beim mehrstufig angelegten Projekt bei BRP-Rotax in Günskirchen der Fall war, das in Kapitel 7 im Detail beschrieben wird.

5. Energie- und Ressourceneffizienz im Vergleich

Der wesentliche Effizienzvorteil von SHC gegenüber klassischer Kompressionskälte ergibt sich daraus, dass die gesamte Kühlleistung durch Verdunstung von Wasser statt durch einen elektrisch angetriebenen Kompressionskreislauf erzeugt wird. Je nach Projekt, Klimazone und Anlagenkonfiguration werden dadurch bis zu 95 Prozent geringere Energiekosten und CO₂-Emissionen für die Kühlung gegenüber einer vergleichbaren Kompressionskälte-Lösung erreicht. Bei Anlagen mit integrierter Wärmerückgewinnung oder Heizung kommen bis zu 40 Prozent geringere Heizkosten hinzu, da Abwärme aus der Produktion oder aus dem Kühlprozess selbst zur Vorkonditionierung der Zuluft im Winter genutzt wird und eine gezielte Entschichtung der Halle durch Warmluftrückführung hergestellt wird. Diese Bandbreiten sind projektabhängig und stellen keine für jeden Einzelfall garantierten Werte dar, sondern eine Orientierung auf Basis realisierter Anlagen.

Ein Aspekt, der in der öffentlichen Diskussion um verdunstungsbasierte Kühlverfahren häufig zu kurz kommt, ist der tatsächliche Gesamtwasserverbrauch im Vergleich zu elektrisch betriebener Kompressionskälte. Zwar verdunstet ein adiabates System Wasser direkt vor Ort, eine klassische Kältemaschine benötigt jedoch indirekt selbst erhebliche Wassermengen, da ein wesentlicher Teil des europäischen Strommixes in thermischen Kraftwerken erzeugt wird, die wiederum auf Kühlwasser angewiesen sind. Für eine identische Kühlleistung von 90 Kilowatt sensibler Kühlung ergibt sich folgendes Bild:

	Kompressionskälte (Kältemaschine)	Zweistufige Adiabatik (SHC)
Elektrische Leistungsaufnahme	ca. 30 kW/h	ca. 1 kW/h
Kühlwasserbedarf im Kraftwerk (überregional, über Strommix)	ca. 300 L/h	ca. 10 L/h
Wasserverdunstung vor Ort	–	ca. 90 L/h
Gesamtwasserbedarf	ca. 300 L/h	ca. 100 L/h

Der um den Faktor 30 höhere Strombedarf der Kältemaschine führt über die Kraftwerkskühlung zu einem überregionalen Wasserbedarf, der den direkten Vor-Ort-Verbrauch der Adiabatik trotz sichtbarer lokaler Verdunstung deutlich übersteigt. In der Gesamtbilanz, die den mit dem Strombezug verbundenen Wasserverbrauch einschließt, liegt der Gesamtwasserbedarf der zweistufigen Adiabatik damit unter dem der Kompressionskälte.

6. Regulatorik und Hygiene

Verdunstungsbasierte Kühlverfahren stehen in der öffentlichen und behördlichen Wahrnehmung häufig im Zusammenhang mit Legionellen-Risiken, wie sie von klassischen Kühltürmen mit Wasserverrieselung oder -versprühung bekannt sind. Für solche Anlagen gilt in Deutschland die 42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (42. BImSchV) sowie die Richtlinie VDI 2047, die unter anderem Betreiberpflichten, Prüfintervalle und Meldepflichten regeln.

Die in SHC eingesetzte Kühlwabentechnologie fällt nach § 1 Abs. 3 der 42. BImSchV nicht unter deren Anwendungsbereich, da die Verordnung ausdrücklich nur Anlagen mit Wasserverrieselung oder Wasserversprühung erfasst. Da die Verdunstung an der Kühlwabe drucklos durch Kontaktverdunstung erfolgt und keine Tröpfchenbildung oder Aerosolfreisetzung im Luftstrom stattfindet, unterscheidet sich das Verfahren technisch von den Anlagentypen, für die die Verordnung konzipiert wurde. Aus demselben Grund findet auch die VDI 2047, die sogenannte Kühlturmregel, keine Anwendung. Unabhängig davon ist SHC auf Konformität mit den einschlägigen lufthygienischen Regelwerken VDI 6022, VDI 3803 und der Schweizer Norm SWKI VA104-01 ausgelegt, die Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen allgemein regeln.

Im Kontext der europäischen Kältemittelregulierung ist zudem relevant, dass SHC ohne den Einsatz fluorierter Treibhausgase (F-Gase) und ohne PFAS-haltige Kältemittel auskommt. Die EU-F-Gase-Verordnung sieht eine schrittweise Reduktion der in der Europäischen Union verfügbaren Mengen fluorierter Kältemittel vor, mit Auswirkungen auf Ersatzteilverfügbarkeit, Betriebskosten und langfristige Planungssicherheit bestehender Kompressionskälteanlagen. Ein wasserbasiertes Verfahren ist von dieser regulatorischen Entwicklung nicht in gleicher Weise betroffen.

Für die betriebliche Praxis bedeutet der Verzicht auf F-Gase und PFAS zudem, dass Betreiber nicht in gleichem Umfang von den wiederkehrenden Dichtheitsprüfungen, Meldepflichten und der zunehmend eingeschränkten Verfügbarkeit bestimmter Kältemitteltypen betroffen sind, wie sie für Bestandsanlagen mit klassischen Kältemitteln vorgeschrieben sind. Für die tägliche Betriebssicherheit relevant ist außerdem, dass die Kühlwabe auf eine tägliche vollständige Austrocknungsphase ausgelegt ist, kombiniert mit einer kontinuierlichen Überwachung der Wasserleitfähigkeit und einem automatisierten Reinigungsprogramm. Diese Kombination aus Materialwahl, Betriebsführung und Überwachung bildet die technische Grundlage dafür, dass das Verfahren trotz des Einsatzes von Wasser als Kühlmedium hygienisch beherrschbar bleibt, ohne dass es dafür der für Kühltürme typischen Betreiberpflichten bedarf.

7. Fallstudie BRP-Rotax, Gunskirchen

Am Standort von BRP-Rotax in Gunskirchen, Oberösterreich, wurde in der ersten Ausbauphase eine Produktionsfläche von 14.100 Quadratmetern mit SHC ausgestattet. Die Anlage umfasst 30 adiabate Kühler mit je rund 14.000 Kubikmetern pro Stunde Luftmenge und einer Kälteleistung von rund 90 Kilowatt bezogen auf die Frischluft beziehungsweise rund 50 Kilowatt bezogen auf die Hallenkühlung. Im Zuge des Projekts wurden drei bestehende Lüftungsgeräte, die zuvor über keine Kühlfunktion verfügten, entsprechend nachgerüstet, außerdem wurden 20 Abluftventilatoren und 12 Lüftungsgeräte neu installiert.

Im laufenden Betrieb liegt die durchschnittliche Leistungsaufnahme für die gesamte Fertigung, umfassend Kühlung, Lüftung und Heizung über 26 Kühler, bei rund 51 Kilowatt. Bezogen auf eine einzelne Anlage mit 14.000 Kubikmetern pro Stunde Luftleistung ergibt sich eine Leistungsaufnahme von rund 2 Kilowatt, was hochgerechnet einem Jahresverbrauch von etwa 17.500 Kilowattstunden je Anlage entspricht. Beim Wasserverbrauch wurden im Zeitraum Juni bis März, also über zehn Monate, insgesamt 2.770 Kubikmeter erfasst, umgerechnet rund 107 Kubikmeter je Kühler; auf ein volles Jahr hochgerechnet ergibt sich eine Bandbreite von etwa 140 bis 160 Kubikmetern je Kühler.

Mit der zweiten Ausbaustufe wurde in der Folge die gesamte Produktionshalle mit SHC ausgestattet. Insgesamt 650.000 Kubikmeter Frischluft pro Stunde führen dabei eine thermische Last von rund 1,6 Megawatt aus der Halle ab. Ergänzend wurde SHC um eine vollständig integrierte Heizfunktion für Produktionsstillstände sowie eine Hallenluftfiltration für die Wintermonate erweitert. Damit ist SHC in der gesamten Produktionshalle das einzige Gesamtsystem, das ganzjährig für Behaglichkeit, stabile Temperatur- und Feuchteverhältnisse sowie eine gute Luftqualität sorgt.

Gegenüber der zuvor am Standort betriebenen Brunnenwasserkühlung beziehungsweise der bei der Anlagenerneuerung alternativ zur Auswahl stehenden Brunnenwasser-Wärmepumpe ergeben sich für dieses Projekt folgende jährliche Einsparungen: rund 250 Tonnen CO₂, 1,2 Gigawattstunden Strom und 250.000 Kubikmeter Brunnenwasser. Im Zuge des Projekts wurde zusätzlich von einem Gaskessel auf Fernwärme umgestellt, wodurch weitere rund 1.500 Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart werden. Diese Werte beziehen sich auf das konkrete Projekt BRP-Rotax und sind nicht ohne Weiteres auf andere Standorte mit abweichender Ausgangslage übertragbar.



8. Weitere Referenzprojekte im Kurzüberblick

Die folgenden Angaben stammen aus einzelnen, abgeschlossenen Projekten und werden als solche gekennzeichnet, nicht als allgemeingültige Kennzahlen.

Bei Senoplast und bei Palfinger in Niš, Serbien, handelt es sich jeweils um Neubauprojekte. Die Vergleichsbasis war dort entsprechend nicht eine vorherige Anlage, sondern die alternativ zur Auswahl stehende Kompressionskälte- beziehungsweise Wärmepumpenlösung.

Gegenüber dieser Alternative wurden bei Senoplast für das umgesetzte Projekt 82 Prozent geringere CO₂-Emissionen sowie 80 Prozent geringere Kühlkosten ermittelt. Das Konzept wird im Rahmen eines Rollouts auf einen weiteren Standort in Mexiko übertragen.

Am Standort von Palfinger in Niš wurden gegenüber der dort zur Auswahl gestandenen Kompressionskälte- beziehungsweise Wärmepumpenlösung 81 Prozent geringerer Energieverbrauch und 90 Prozent geringere CO₂-Emissionen erreicht.

Bei NEUMAN Aluminium konnte im Rahmen des dortigen Projekts die Hallentemperatur bei einer Außentemperatur von 36,7 Grad Celsius unterhalb von 25 Grad Celsius gehalten werden.

Diese drei Projektergebnisse veranschaulichen die Bandbreite erzielbarer Werte in unterschiedlichen Branchen und Ausgangslagen, ersetzen jedoch keine projektspezifische Auslegung und Simulation für einen neuen Standort.

9. Wirtschaftlichkeit

Die Amortisationsdauer von Retrofit-Projekten bewegt sich in der Praxis in einer Bandbreite von etwa sechs Monaten bis drei Jahren. Die tatsächliche Amortisationszeit hängt maßgeblich von der Ausgangslage ab, insbesondere davon, ob eine bestehende, ohnehin sanierungsbedürftige Kälte- oder Heizanlage ersetzt wird, wie hoch die aktuellen Energiepreise am Standort sind und wie intensiv die Halle genutzt wird.

Belastbare Kostenangaben lassen sich nur projektspezifisch treffen, da Hallengeometrie, Kühllast, vorhandene Gebäudetechnik und regionale Anschlussbedingungen die Investitionshöhe maßgeblich beeinflussen. Eine pauschale Kostenangabe ohne Bezug auf ein konkretes Projekt würde eine Genauigkeit suggerieren, die in dieser Phase nicht gegeben ist.



Für Neuanlagen zeigt sich dabei ein Unterschied zur Retrofit-Situation: Bei gleicher Kühlleistung liegt die reine Investitionssumme für SHC im Regelfall bereits unterhalb der einer vergleichbar dimensionierten Kompressionskälteanlage, unabhängig von den in Kapitel 5 beschriebenen laufenden Energiekosten. Der wirtschaftliche Vorteil beschränkt sich in diesem Fall also nicht nur auf die Betriebskosten über die Nutzungsdauer, sondern zeigt sich bereits im Investitionsvergleich zum Errichtungszeitpunkt.

Vor der Errichtung einer Anlage werden die zu erwartenden Leistungswerte auf Basis realer Gebäudedaten und lokaler Wetterstationsdaten simuliert. Diese Vorab-Simulation dient dazu, projektspezifische Garantiewerte für Temperatur- und Feuchteverlauf sowie für den erwarteten Energieverbrauch zu ermitteln, bevor eine Investitionsentscheidung getroffen wird. Als Erfahrungsgrundlage für diese Simulationen dienen unter anderem 132 in den vergangenen Jahren umgesetzte Projekte, die mit einer durchschnittlichen Kundenzufriedenheit von 9,26 von 10 Punkten bewertet wurden.

Für die wirtschaftliche Bewertung ist neben der reinen Amortisationsdauer auch der Zeitpunkt der Investition relevant. Steht ohnehin eine Ersatzinvestition für eine bestehende, technisch veraltete Kälte- oder Heizanlage an, verändert sich die Vergleichsrechnung gegenüber einer Neuinvestition in eine noch funktionsfähige Anlage grundlegend, da in diesem Fall nicht die vollen Investitionskosten, sondern nur die Differenz zu einer ohnehin anfallenden Ersatzbeschaffung wirtschaftlich zu bewerten ist. Dieser Effekt zeigt sich exemplarisch auch im BRP-Rotax-Projekt aus Kapitel 7, bei dem die Umstellung im Zuge einer ohnehin erforderlichen Erneuerung der bestehenden Anlagentechnik erfolgte. Zusätzlich zu den unmittelbaren Energiekosteneinsparungen können sich mittelbare wirtschaftliche Effekte ergeben, etwa durch geringere Wartungskosten infolge des Verzichts auf Kompressoren und Kältemittelkreisläufe sowie durch eine mögliche Reduktion produktionsbedingter Stillstände, die auf unzureichende Klimatisierung zurückzuführen sind. Eine belastbare Quantifizierung dieser mittelbaren Effekte ist jedoch nur im Einzelfall auf Basis der jeweiligen Betriebsdaten möglich und wird nicht pauschal ausgewiesen.

10. Einordnung im Marktvergleich

Im direkten Vergleich zu klassischer Kompressionskälte-Wärmepumpentechnik unterscheiden sich beide Ansätze in mehreren technischen und wirtschaftlichen Kriterien deutlich.

Kriterium	Kompressionskälte-Wärmepumpe	Sustainable Hall Conditioning
Kältemittel	F-Gase erforderlich, regulatorisch zunehmend eingeschränkt	kein Einsatz von F-Gasen oder PFAS
Stromverbrauch	vergleichsweise hoch (Kompressionskreislauf)	deutlich geringer
CO ₂ -Bilanz	abhängig vom Strommix, tendenziell höher	deutlich geringer
Lärmemission	Kompressoren und Ventilatoren als Schallquelle	geringere Schallemission durch Verzicht auf Kompressoren
Investitions- und Betriebskosten	etablierte Preisstruktur, laufende Kältemittel- und Wartungskosten	bei Neuanlagen und gleicher Leistungsfähigkeit im Regelfall bereits geringere Investitionskosten, zusätzlich projektabhängig geringere Betriebskosten über die Nutzungsdauer
Dachstatik	Kaltwassersätze und Rückkühler mit teils erheblichem Gewicht	in der Regel geringere statische Belastung
Systemkomplexität	etabliertes, in sich geschlossenes Einzelgewerk	integrierte Planung über mehrere Gewerke hinweg, höherer Abstimmungsaufwand in der Planungsphase, dafür aber synergetische Gesamtanlage
Marktreife und Systemerfahrung	langjährig etabliert, breite Erfahrungsbasis am Markt	jüngere, aber etablierte und innovative Technologie mit rasant wachsender Projektbasis

In der überwiegenden Zahl der betrachteten Kriterien zeigen sich für SHC klare Vorteile gegenüber klassischer Kompressionskälte, insbesondere bei Kältemiteleinsatz, Stromverbrauch, CO₂-Bilanz und Lärmemission. Auch bei der Systemkomplexität steht dem höheren Abstimmungsaufwand in der Planungsphase eine synergetische Gesamtanlage gegenüber, die Kühlung, Lüftung, Heizung und Wärmerückgewinnung integriert, statt sie als getrennte Gewerke zu behandeln.

Einzig bei der Marktreife verfügt klassische Kompressionskälte über die längere Historie und die breitere Erfahrungsbasis bei Herstellern, Planern und Betreibern; SHC hat sich demgegenüber in den vergangenen Jahren als innovative, zunehmend etablierte Technologie mit rasant wachsender Projektbasis am Markt positioniert. Hinsichtlich möglicher Betriebsstörungen während der Umsetzungsphase unterscheiden sich beide Systeme nicht grundsätzlich voneinander.

Vor diesem Hintergrund lässt sich SHC als eine technisch wie wirtschaftlich ernstzunehmende Alternative zur klassischen Kompressionskälte einordnen, insbesondere für Neuanlagen sowie für die Erneuerung technisch veralteter Bestandsanlagen. Eine pauschale Empfehlung für jeden Anwendungsfall ist angesichts der projekt- und klimaabhängigen Einflussfaktoren dennoch nicht angezeigt: Wie im folgenden Absatz beschrieben, hängt die tatsächliche Eignung von der jeweiligen Klimazone, dem Hallentyp und dem internen Wärmelastprofil ab und sollte im Einzelfall projektspezifisch geprüft werden.

Für die Bewertung im Einzelfall ist relevant, dass die vorstehende Gegenüberstellung allgemeine Tendenzen abbildet, die sich je nach Klimazone, Hallentyp und internem Wärmelastprofil unterschiedlich stark auswirken können. In Regionen mit hoher Luftfeuchte während der Sommermonate etwa ist die erzielbare Kühlleistung eines adiabaten Systems physikalisch begrenzter als in trockenen Klimazonen, da die Effizienz der Verdunstungskühlung von der Differenz zwischen Lufttemperatur und Feuchtkugeltemperatur abhängt. Umgekehrt profitieren Standorte mit ganzjährig hohem Kühlbedarf und gleichzeitig hohem Frischluftbedarf, etwa in der Lebensmittelproduktion oder in Lackieranlagen, tendenziell stärker vom integrierten Ansatz aus Kühlung, Lüftung und Wärmerückgewinnung. Eine pauschale Aussage, welches der beiden Verfahren für einen konkreten Standort wirtschaftlich und technisch vorzuziehen ist, lässt sich daher nicht ohne projektspezifische Prüfung treffen; die in Kapitel 9 beschriebene Vorab-Simulation auf Basis realer Standort- und Wetterdaten dient genau diesem Zweck.

11. Fazit und Ausblick

Sustainable Hall Conditioning stellt einen technisch begründeten Alternativansatz zur klassischen Kompressionskälte für die Klimatisierung von Produktionshallen dar. Die zweistufige adiabate Kühlung löst den physikalisch bedingten Zielkonflikt einstufiger Verdunstungskühlung zwischen Temperaturabsenkung und Feuchteanstieg und erreicht dadurch Hallenluftkonditionen innerhalb anerkannter Behaglichkeitsgrenzen. Realisierte Projekte wie BRP-Rotax, Senoplast, Palfinger und NEUMAN Aluminium zeigen, in welcher Größenordnung sich Energieverbrauch, CO₂-Emissionen und, im



Gesamtwasserfußabdruck betrachtet, auch Wasserverbrauch reduzieren lassen, wobei die konkreten Werte projektabhängig bleiben.

Vor dem Hintergrund steigender Energiekosten, einer absehbar strengeren Regulierung fluorierter Kältemittel und zunehmender ESG-Berichtspflichten für produzierende Unternehmen dürfte die Bedeutung ressourcenschonender Klimatisierungskonzepte für Produktionsflächen in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Für Facility Manager, Planer und Energiebeauftragte, die vor der Entscheidung über eine Neuanlage oder die Sanierung einer bestehenden Kälteanlage stehen, kann eine projektspezifische Prüfung des Hallenklimas und der verfügbaren Alternativen zu klassischer Kompressionskälte eine belastbare Entscheidungsgrundlage liefern.

Über INFRANORM® Technologie GmbH

INFRANORM® Technologie GmbH ist ein 2004 gegründetes österreichisches Unternehmen mit Sitz in Wels, Oberösterreich, das europaweit für produzierende Unternehmen tätig ist. Der Planungsansatz des Unternehmens, INFRANOMIC® Engineering, geht vom Wertschöpfungsprozess des jeweiligen Kunden aus und plant Produktionsinfrastruktur integriert statt in Einzelgewerken. Über die gesamte Firmengeschichte von 22 Jahren wurden mehr als 950 Projekte umgesetzt. Zu den Auszeichnungen zählen der Energy Globe Award (Gewinner 2020, Nominierung 2024), der Pegasus-Wirtschaftspreis 2025 (Bronze), der ALC-Award 2025 (2. Platz Oberösterreich), eine Nominierung für den Feronia-Nachhaltigkeitspreis 2025 sowie mehrere Umweltmanagementpreise.

Quellenhinweis: Die in diesem Whitepaper genannten Zahlen, Projektdaten und Fallstudien beruhen auf internen Projektdaten von INFRANORM® Technologie GmbH sowie auf Herstellerunterlagen, Stand 2026.