

Vergleich: Ammoniak / Kälteanlagen vs. H-FCKW / FKW

Direktverdampfung

1 Einleitung

In den nachfolgenden Betrachtungen wird versucht, wirtschaftliche wie auch ökologische Vorteile des Kältemittels Ammoniak hervorzuheben. Da bei einem Vergleich nicht nur rein technische Aspekte, sondern wirtschaftliche Gesichtspunkte meist die größere Rolle spielen, wird ein Vergleich nicht unbedingt erleichtert. Damit meinen wir nicht, daß Anlagen am Stand der Technik unwirtschaftlich sind. Im Gegenteil. Nur bedingen oft wirtschaftliche Entscheidungen Ausführungen, die nicht dem Stand der Technik entsprechen und somit in ihrer Wirtschaftlichkeit (Energiekosten, Wartungskosten, Anlagensicherheit, Produktqualität der gekühlten Produkte etc.) nicht die optimale Lösung bieten.

Als weiterer Punkt sei erwähnt, daß der Betrieb einer kältetechnischen Anlage mit Direktverdampfung sehr oft nicht nach den vorgegebenen und berechneten Parametern abläuft (Komponenten: Verdampfer und Expansionsventil). Somit ist ein Vergleich einer Anlage mit theoretisch ermittelten Daten äußerst fragwürdig.

Ein seriöser Vergleich wäre somit nur möglich, wenn zwei Anlagen nebeneinander errichtet werden würden. Diese müßten z. B. bei einem Kühllager mit den gleichen Mengen beschickt werden etc. Daß ein indirektes System zur Zeit erst ab einer gewissen Größe interessant wird, möchten wir nicht unerwähnt lassen. Je größer die Anlage ist und je länger die Rohrleitungen sind, desto deutlicher werden die Vorteile einer indirekten Kühlung. Durch die technische Weiterentwicklung werden aber auch immer kleinere Anlagen wirtschaftlich sinnvoll.

Der Vergleich stützt sich auf theoretisch ermittelte Daten wie auch auf Erfahrungen aus zwei Projekten der Jahre 1996 und 1997, die mit den Systemen ID/NH₃ und DX/HFKW gemacht wurden. Einen Vergleich von Kälteanlagen mit Ammoniak bzw. HFKWs als Kältemittel schließen wir in unserer Betrachtung aus, da in diesem Vergleich Ammoniak als Kältemittel gegenüber allen im Handel erhältlichen HFKWs wesentliche thermodynamische und thermokinetische Vorteile besitzt.

(Anmerkung: Durch den Einsatz von elektronischen Einspritzventilen bei der DX-Anlage kann die Wirtschaftlichkeit der Anlage gesteigert werden. Da bei den durchgeführten Projekten die Investitionskosten im Vordergrund standen, wurde diese Betrachtung hier nicht vorgenommen.)

Zusammenfassend kann man sagen, daß eine Vielzahl von Parametern den direkten Vergleich äußerst schwer machen, wie z. B.:

1. Die verschiedenen Anforderungen an die Kälteanlage.
2. Es ist kein direkter Vergleich zwischen den Anlagesystemen möglich.
3. Es besteht eine Diskrepanz zwischen theoretisch erzielbaren Werten und dem Betrieb in der Praxis.
4. Es gibt nicht nur rational begründete Beurteilungen von Kältesystemen und Kältemitteln.
5. Bei Angeboten in der Praxis spielen oft bei Preisen strategische Momente eine große Rolle.
6. Es gibt noch keine standardisierte Nutzenanwendung von NH₃-Anlagen in der Gewerbekälte.
7. Es gibt eine große Anzahl von kältetechnischen Systemen, die alle miteinander verglichen werden müssen.

Dennoch möchten wir nachfolgend einige Vergleiche anstellen, die die Vorteilhaftigkeit von ID/NH₃-Anlagen verdeutlichen sollen.

2 Herstellkosten

Die allgemeine Meinung, daß eine NH₃/Kälteanlagenanlage bei den Investitionskosten um 10 bis 25 % höher liegt, ist nicht mehr richtig. Die Praxis hat gezeigt, daß ID/NH₃-Anlagen ab einer bestimmten Größe keinen Kostennachteil bei den Herstellkosten haben. Eine generelle Aussage, ab welcher Größe eine NH₃-Anlage mit Kälteanlagenanlage sinnvoll ist, kann wie oben bereits erwähnt nicht gemacht werden. Um hier eine Aussage zu machen, müssen die Kälteleistung, Anzahl der Kühlstellen sowie das Rohrleitungsnetz bekannt sein. Man sollte sich bei den Herstellkosten an den im freien Markt gemachten Angeboten orientieren. Diese sind aussagekräftiger als interne Studien.

Einsparungspotentiale:

Als Maschinensätze sollten standardisierte Anlagen zur Anwendung kommen, die einen Einsparungseffekt ergeben. Sowohl bei der Errichtung wie auch in der Wartung und Instandhaltung sind Kosteneinsparungspotentiale vorhanden.

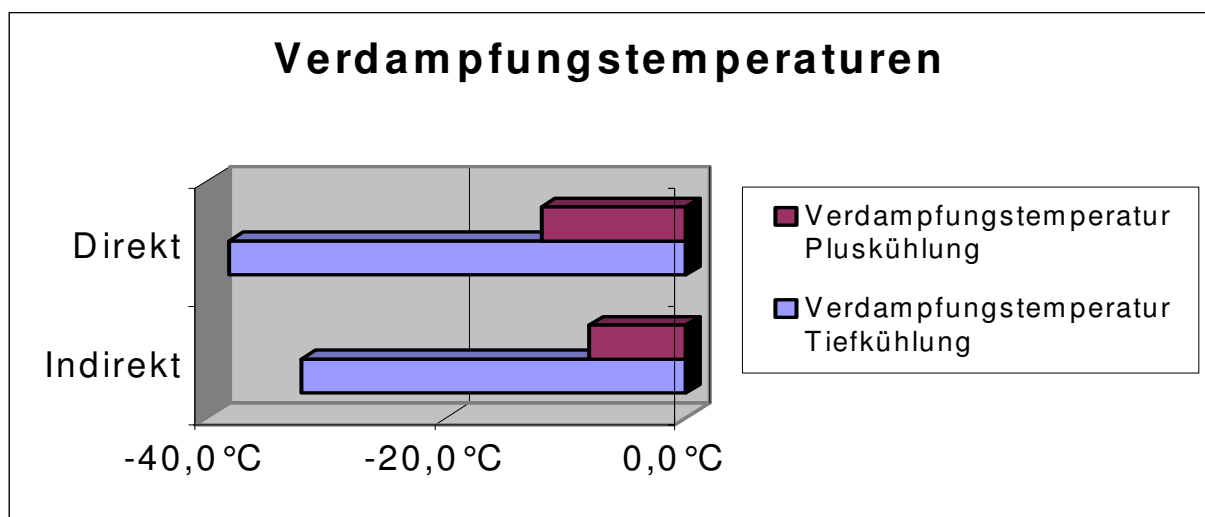
Als Standard gelten bereits Flüssigkeitssätze mit folgenden Merkmalen:

- zwei getrennte Kältekreisläufe (Ausfallsicherheit)
- Plattenwärmeübertrager/Verdampfer mit spezieller Flüssigkeitsverteilung
- Trockenexpansion mit elektronischem Expansionsventil
- Plattenwärmeübertrager/Verflüssiger
- FU-geregelte Kälte- und Wärmeträgerpumpen
- aufgebaute und komplett verdrahtete Leistungs- und Regelschränke

Von seiten des Bauherrn wie auch von diversen Kühlmöbelherstellern wird oft angenommen, daß die herkömmlichen Kühlmöbel für Direktverdampfung für einen Kälte-trägerbetrieb nicht geeignet sind. Die Praxis hat gezeigt, daß außer der Änderung der Kollektierung der Rohrleitungen keine Änderung des Möbels nötig ist. Somit ist eine oft als sehr teuer angenommene Umrüstung der Kühlmöbel nicht notwendig. Führt man die Rohrleitungssysteme in Kunststoff aus, ergeben sich Einsparungspotentiale in Bezug auf die Montagezeit und kostengünstigere Isolierung sowie bei den Anschaffungskosten.

3 Betriebskosten – energetische Betrachtung

Die Betriebskosten einer indirekten Ammoniakanlage sind mit einer Direktverdampfung mit HFCKW als Kältemittel annähernd gleichzusetzen. Hier möchten wir aber darauf hinweisen, daß wir die Kosten meinen, die durch den Vollastbetrieb entstehen und nicht jene durch Teillast, welche die überwiegenden Betriebsstunden einer Kälteanlage ausmacht. Im Teillastbereich ist eine indirekte Kühlung bedeutend günstiger.



Entscheidend für die Beurteilung kältetechnischer Anlagensysteme ist der am Verdichter gemessene Saug- und Verflüssigungsdruck.

An ausgeführten Anlagen konnte festgestellt werden, daß zum Beispiel bei Supermarktanlagen:

bei ID/NH₃-Anlagen

die Sauggastemperatur bei –9° C bis max. –11° C bei Plus-Anlagen und
 –32° C bis max. –34° C bei Minus-Anlagen liegt.

Bei DX-Anlagen ähnlicher Größenordnung konnten Sauggastemperaturen von

–13° C bis –17° C bei Plus-Anlagen und
–37° C bis –41° C bei Minus-Anlagen festgestellt
werden.

Jedes Kelvin tiefere Verdampfungstemperatur reduziert bei einer Plus-Anlage die Kälteleistung um ca. 4 %, bei einer Minus-Anlage um ca. 6 %. Das heißt ein ID-System kompensiert den Mehraufwand an Pumpenenergie durch erheblich höhere Verdampfungstemperaturen.

Es muß jedoch erwähnt werden, daß die jeweiligen Sauggastemperaturen sehr stark vom Kühlmöbelfabrikat abhängen. Gleiches gilt selbstverständlich auch für NH₃/ID-Anlagen. Ausschlaggebend für eine energetisch optimale ID/NH₃-Anlage ist, daß eine möglichst hohe Verdampfungstemperatur erreicht wird. Bei optimal eingestellten Anlagen ist für einige Kühlmöbelfabrikate eine Kälte­trä­ger­vor­lau­ftem­pe­ra­tur von nur –6° C während der Öffnungszeiten und eine Kälte­trä­ger­tem­pe­ra­tur bei geschlossenen Kühlmöbeln (Glasdeckel, Glastüren) und Kühlräumen von nur –4,5° C notwendig, um die geforderte Produkttemperatur zu erreichen und sicherzustellen. Für Minus-Kühlmöbel genügt eine Kälte­trä­ger­vor­lau­ftem­pe­ra­tur von –29° C bis –30° C, um die entsprechende Produkttemperatur (–18° C bis –22° C) sicherzustellen.

3.1 Reduktion der Kältemittelfüllmenge

Kälte­trä­ger­sys­te­me reduzieren die Kältemittelfüllmenge auf einen Bruchteil gegenüber DX/HFKW. Vor allem durch die gegebene Umweltsituation wird dieser Punkt immer wichtiger. ID-Anlagen werden in drei Systeme unterteilt. Diese Teilung ermöglicht erst die drastische Reduzierung der Kältemittelfüllmenge auf 0,01 kg/KW bis 0,03 kg/KW.

1. System: Kälteerzeugung mit den Hauptkomponenten Antriebsmotor / Verdichter /
 Verdampfer / Expansionsventil / Abscheider / Ölkühler / Verflüssiger.

2. System: Kälteverteilsystem mit Rohrleitungen / Pumpengruppen / Ventilstationen / Luftkühler an den Kühlstellen.
3. System: Rückkühlkreislauf mit WRG / Rohrleitungen / Pumpengruppen / Rückkühler mit zusätzlicher Nutzung der Verdunstungswärme.

Diese Dreiteilung des Anlagensystems garantiert minimale Kältemittelfüllmengen in den kältemittelführenden Rohrleitungen in der Kompaktanlage.

3.2 Leckagen und Leckagekosten anhand eines Beispiels

Bei direkten Anlagen kommt es immer wieder zu Leckagen. Obwohl immer wieder Gegenteiliges behauptet wird, kann es auch bei sorgfältig und fachgerecht ausgeführten Anlagen zu Leckagen kommen, die äußerst schwer zu finden sind. Der durchschnittliche Leckageverlust einer DX-Anlage liegt zur Zeit bei etwa 10–20% p. a.

Tatsache ist, daß oftmals die Leckagen nur nach mehrmaligem Überprüfen der gesamten Anlage (somit mehrmaliger Anreise der Servicefirma und mehrmaliges Wiederbefüllen der Anlage) behoben werden können. Die dadurch entstandenen Kosten müssen vom Betreiber der Anlage getragen werden. Diese Kosten können durch den Einsatz des indirekten Systems wesentlich minimiert werden.

Dazu folgendes Beispiel (Preisbasis 1996):

Anschaffungskosten der Kältemittel und Kälte-träger in DM sowie mögliche Verluste

	Füllmenge	Anschaffungskosten	mögliche Verluste
DX/R 404a	1300 kg	<u>ca. 90.000,-</u>	<u>10–20%</u>
ID/NH ₃			
NH ₃	45 kg	ca. 900,-	< 1%
Kälte-träger Minus-Kühlung Thermogen VP 1869	3000 l	ca. 25.000,-	3–5%
Kälte-träger Plus-Kühlung Propylenglykol (30%)	3000 l	ca. 13.000,-	3–5%
Summe ID/NH ₃		<u>ca. 38.900,-</u>	

Es hat sich herausgestellt, daß Leckraten von 10–20% in Anlagen mit fluorierten Kältemitteln durchaus üblich sind. Leckraten von NH₃-Anlagen sind mit < 1% vernachlässigbar. Bei

ID/NH₃-Anlagen können Kosten für Leckagen auf der Kälte­träger­seite von ca. 5% hinzukommen.

Weiterhin verursachen diese Leckagen nicht nur Kosten für das Wiederbefüllen, sondern es entstehen Kosten durch Schäden an den gelagerten Produkten, Betriebsstops etc. Die Verluste treten hauptsächlich bei Wartungsarbeiten und Reparaturarbeiten auf. Auch die Kälte­träger­leitungen sind sehr dicht. Ein weiterer Vorteil einer Kälte­träger­anlage ist, daß eine Leckage sehr einfach festgestellt werden kann.

3.3 Abtausysteme – Kosten der Abtauung

ID/NH₃-Anlagensysteme bieten ausgezeichnete Möglichkeiten für energetisch höchst wirksame Abtausysteme an Plus- wie Minus-Kühlstellen. Die Abtausysteme einer ID-Anlage bieten weitere wesentliche Vorteile.

1. Abtaumethoden Plus-Kühlung:

- ◆ Kälte­träger­umlaufsystem: Mediumtemperatur von max. +8° C

Wie kann nun die für eine Abtauung notwendige Wärme „erzeugt“ werden?

➤ ZENTRAL

- durch die Abwärme der Umwälzpumpen
- durch Kühlstellen mit höherer Umgebungstemperatur
- bei kombinierten Systemen (ID/DX) durch die Verflüssigungswärme der Minus-Kühlstellen

➤ DEZENTRAL

- durch neue Abtausysteme, die autark im Kühler installiert sind

Rohrsystem: Es ist nur ein Rohrsystem notwendig. Die KT-Leitung wird für die Abtauung verwendet.

2. Abtaumethoden Minus-Kühlung

- ◆ Separate Vor- und Rücklaufleitung. Mediumtemperatur +10 bis +20° C.

➤ ZENTRAL

- durch die Abwärmenutzung der Überhitzungswärme
- durch die Abwärmenutzung der Verflüssigungswärme

➤ DEZENTRAL

- durch neue Abtausysteme, die autark im Kühler installiert sind. Hier ist kein separates Rohrleitungssystem notwendig.

VOR- und NACHTEILE dieser Abtausysteme

- schnelles und effizientes Abtauen
- geringe Temperaturerhöhung im Produktbereich
- energetisch günstig durch Nutzung von Abwärme
- geringe mechanische Belastung der Kühlkomponenten während des Abtauvorganges gegenüber E-Abtauung und Heißgasabtauung
- Bei dezentraler Soleabtauung im Kühler können die einzelnen Kühler je nach Bedarf abgetaut werden.
- Es entstehen bei zentraler Abtauung bei der Minus-Kühlung Mehrkosten durch ein separates Rohrleitungssystem.

4 Wartungs- und Instandhaltungskosten

Die Kosten für die routinemäßige Wartung sind für beide Systeme annähernd gleich. Die Instandhaltungskosten (Leckagen, Lecksuche, etc.) außerhalb der routinemäßigen Überprüfung sind jedoch nicht so hoch wie bei einer DX-Anlage. Zusätzlich sei hier erwähnt, daß eine Erweiterung einer Anlage bei einem indirekten System wesentlich einfacher und günstiger zu bewerkstelligen ist. Dies gilt unter der Voraussetzung, daß diese benötigten Mehrleistungen in der Planungsphase bei den Rohrleitungen und Pumpenleistungen berücksichtigt wurden.



Maschinenraum einer indirekten NH₃-Anlage eines Großmarktes.

5 Vergleich ID/NH₃ vs. DX/HFKW¹

Anlagencharakteristik	ID/NH ₃	DX/R404a
Plus-Kühlung	2 Schraubenverdichter 1 Plattenwärmeübertrager/Verdampfer Trockenexpansion 1 elektron. Expansionsventil	2 VB-Systeme =8 Hubkolbenverdichter 53 Verdampfer 53 therm. Expansionsventile
Kälteleistung	380 KW	326 KW
Verdampfungstemperatur	-10 °C	-12 °C/-17 °C
Kälteträgertemperatur	-7 °C/-3 °C	---
Verflüssigungstemperatur	max. 35 °C Jahresmittel +25 °C	max. 43 °C Jahresmittel +32 °C
Abtausystem	Kälteträger +7 °C	Umluft/E-Abtauung
Verflüssigung	Plattenwärmeübertrager/Verd. offener Rückkühler	Verdunstungsverflüssiger
Kälteträgerpumpen	Wärmeeintrag in KTS ca. 2% der Kälteleistung	---
Minus-Kühlung	2 Schraubenverdichter 1 Plattenwärmeübertrager 1 elektron. Expansionsventil	2 VB-Systeme =7 Hubkolbenverdichter 27 Verdampfer 27 therm. Expansionsventile
Kälteleistung	110 KW	97 KW (31 KW + 66 KW)
Verdampfungstemperatur	-33 °C	-36 °C- -41 °C
Kälteträgertemperatur	-29 °C/-26 °C	---
Verflüssigungstemperatur	max. 35 °C	max. 43 °C
Abtausystem	Wärmeträger	Heißgas/E-Abtauung
Kälteträgerpumpen	Wärmeeintrag in KTS ca. 3,5% der Kälteleistung	---
Kältemittelmenge	65 kg	1.200 kg
Kältemittelverlust	ca. 10-20% durch Wartungsarbeiten	ca. 10-20% d. Leckage
Ventilatoren Offener Rückkühlturm Verdunstungsverflüssiger	ca. 7% der elektr. Energie	ca. 8% der elektr. Energie
Gesamt P _e	240 KW	202 KW
Σ_{KA} Plus/Minus	2,067	2,09
Investitionskosten %/KW Kälteleistung	100%/KW	112,54%/KW

¹ Dieser Vergleich wurde aufgrund einer konkreten Angebotssituation erstellt. Die unterschiedlichen Kälteleistungen beruhen darauf, daß bei der ID/NH₃ Anlage eine Reserve für Kühlmöbel und Kühlräume berücksichtigt wurde. Die ID/NH₃ Anlage wurde aufgrund der niederen Investitionskosten realisiert.

6 Produktqualität

Durch die höhere Verdampfungstemperatur und der relativ hohen Kälte­trä­ger­temperatur an den Kühlstellen kommt es zu weniger Reifbildung an den Luftkühlern und am Produkt. Ein positiver Nebeneffekt ist dabei, daß weniger Abtauphasen notwendig sind. Dies spart zusätzlich Energie. Durch die gleichmäßigere Temperatur im Kühlmöbel ist die Produktqualität wesentlich besser als bei sehr tiefer Verdampfungstemperatur und mehreren Abtauvorgängen am Tag.

Es gibt vier entscheidende Punkte, die die Produktqualität und somit die Wettbewerbsfähigkeit der Anlagenbetreiber sichern:

1. die richtige Temperatur
2. die gleichmäßige Temperatur
3. die richtige Luftfeuchtigkeit
4. die optimale Luftgeschwindigkeit

Die ersten drei Punkte können mit einem indirekten Kühlsystem besser erreicht werden. Punkt 4 ist systemunabhängig.

7 Zukunftsaussicht

Abschließend kann festgestellt werden, daß ID/NH₃-Anlagen durchaus als Alternative zu den bisherigen „klassischen“ DX-Anlagen gesehen werden können. Weder in den Herstellkosten noch in den Betriebskosten ergeben sich bei einer Projektierung am Stand der Technik Nachteile für eine ID/NH₃-Anlage. Durch das ID-System ergeben sich wesentliche Vorteile wie Produktqualität und Umweltschutz sowie Kosteneinsparungen bei Instandhaltung und laufenden Servicekosten. Wesentlich ist aber, daß eine ID/NH₃-Anlage große Unterschiede zu einer DX-Anlage aufweist. Dies muß schon bei der Projektierung einer Anlage berücksichtigt werden.

Das System einer indirekten Anlage unterstützt die Tendenz zu kompakten Kältesätzen und einfachen „steckerfertigen“ Lösungen. Diese Tendenz wird kurz bis mittelfristig schlagend und wird den Wettbewerb in der Kältetechnik bestimmen. Je einfacher ein Anlagensystem in Zukunft sein wird, je besser und einfacher die geforderten Temperaturen sichergestellt werden können, um so ausfallsicherer die Anlagen gebaut werden müssen, desto besser werden die Chancen für ID/NH₃-Anlagen. Der TEWI-Wert liegt durch die wesentlich höheren Füllmengen von HFKW und den damit verbundenen Verlusten durch Wartung und Leckagen schlechter.

Durch die Anwendung von ID-Systemen verschiebt sich die umweltrelevante Beurteilung von der Treibhausbelastung durch Leckageverluste zum Energieverbrauch einer kältetechnischen Anlage. Wenn eine Gesamtbeurteilung der umweltrelevanten Daten von kältetechnischen Anlagensystemen vom Gesetzgeber für eine Betriebserlaubnis dieser Anlage vorgeschrieben wird, kommt man an einer ID/NH₃-Anlage nicht mehr vorbei.

Als zukunftsweisend kann auch die Verbindung einer ID/NH₃-Anlage mit einem DX-System (Plus-Kühlung ID/NH₃, Minus-Kühlung ID/HFKW-Kaskade-dezentral) angesehen werden. Hier werden die Vorteile beider Systeme miteinander verbunden und zu einem neuen kältetechnischen System zusammengefügt. Diese Systeme können die Vorteile der verschiedenen Systeme vereinen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß aus verschiedenen Gründen (Umweltschutz, technische Neuerungen, Gesetzgebung etc.) wieder eine Vielzahl von Anlagentypen möglich ist.



Verkaufsraum eines Großmarktes. Glastüren für die Tiefkühlung mit gleichzeitiger Lagermöglichkeit und Beschickung der Regale von rückwärts.

Die Verminderung von Primärenergieeinsatz in der Kältetechnik sollte aber immer direkt bei der „Erzeugung der Kälte“ oberstes Ziel sein.

Schlußfolgerung:

Eine ID-Ammoniak Anlage sollte immer wie eine indirekte Anlage projektiert und betrieben werden. Ammoniak bringt auch in den indirekten Systemen seine Vorteile als umweltfreundliches und wirtschaftliches Kältemittel zur Geltung. Eine ID-Anlage nur als eine Variante einer DX-Anlage zu sehen und zu projektieren, bringt die Vorteile des Anlagensystems nicht zur Geltung.

Herausgegeben von *eurammon*

Postfach 71 08 64 ♦ D-60498 Frankfurt

Telefon +49 69 6603 1277 ♦ Fax +49 69 6603 2276

e-mail: karin.jahn@eurammon.com

<http://www.eurammon.com>