



Dipl.-Ing. Rainer Brinkmann,
Bereichsleiter Service und
Retrofit von Kältemitteln bei
der Firma York International
GmbH, Mannheim.

Zu Beginn des weltweiten FCKW-Ausstiegs wurden vielfältige Möglichkeiten zur Verwendung von alternativen Kältemitteln in Neuanlagen sowie zur Umrüstung bestehender Altanlagen entwickelt. Die im Beitrag beschriebenen Lösungsvorschläge zur Umrüstung von R 11- und R 12-Turboverdichteranlagen können dazu beitragen, die jeweils kostengünstige und zugleich umweltschonende Variante für den FCKW-Ausstieg zu finden. Der Austausch der kompletten Verdichter-Elektromotor-Einheit (Drive-Line-Konzept) kann dabei die optimale Lösung sein. Dieses Konzept zeichnet sich durch ein Minimum an Änderungs- und Genehmigungsaufwand bei der Umrüstung aus. Mit der Kältemittelumrüstung bietet sich gleichzeitig die Möglichkeit, Altanlagen mit geringem Aufwand zu sanieren und auf die gegebenenfalls geänderten Kälteleistungsanforderungen zu optimieren.

Lösungsvorschläge für die Umrüstung von R 11- und R 12-Turboverdichteranlagen*

Rainer Brinkmann, Mannheim

Umrüstung von R 11-Turboverdichtern

Die Anzahl der weltweit in Betrieb befindlichen R 11-Turboverdichteranlagen wird nach einer Studie von Harold Lamb [1] auf 57 000 geschätzt. Nach dieser Studie soll sich ein bilanzierter R 11-Überschuß über einen Zeitraum von 9 Jahren ergeben, der für den Weiterbetrieb aller R 11-Turboverdichteranlagen ausreichend wäre. Voraussetzung für dieses Szenarium ist die vollständige Rückgewinnung und Wiederverwendung des Kältemittels bei jeder Anlagenstilllegung. Daraus ergibt sich zwangsläufig die Frage, welcher Anteil des derzeit verwendeten R 11-Kältemittels kann realistisch gesehen über das sogenannte Primärrecycling wiederverwendet werden?

Derzeit gibt es noch keine Bekanntgabe von Ersatzkältemitteln für R 11

durch das Umweltbundesamt, wie es die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung vorsieht. Eine solche Bekanntgabe hätte zur Folge, daß die Weiterverwendung von R 11 (wie bei R 12) nach dem Chemikaliengesetz ab einem bestimmten Zeitpunkt unabhängig von der Verfügbarkeit sanktioniert wird.

Mit den Unsicherheiten in bezug auf die Verfügbarkeit von R 11 ergibt sich für viele Anwender, die zum Beispiel ein hohes Schadenspotential bei Totalverlust der Kältemittelfüllung haben, dringender Handlungsbedarf.

Die Verschrottung völlig intakter und mitunter tadellos gewarteter Anlagen ist nur nach sachlicher Abwägung aller möglichen Alternativen vernünftigerweise nachvollziehbar. Oft ist es sinnvoller, Kompromisse einzugehen und durch Ausschöpfung der damit verbundenen Sparpotentiale, das Maß

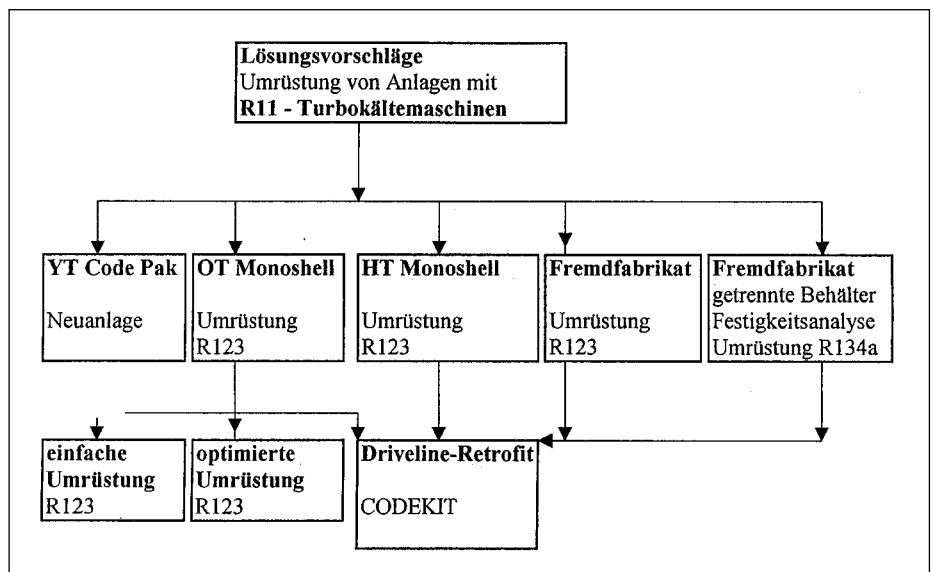


Abb. 1 Umrüstung von R 11-Turboverdichtern.

* Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung 1996 des DKV vom 20.-22. November 1996 in Leipzig.

der Investitionen auf das Wesentliche zu beschränken.

Deshalb wird R 123 als Alternativkältemittel für den Ersatz von R 11 in Niederdruckturboverdichtern angeboten. Die Vorteile des R 123-Umrüstkonzepths haben bisher mehr als hundert Anwender überzeugt. Gleichzeitig beweist die steigende Zahl der Umrüstungen, daß die sicherheitstechnischen Anforderungen beim Umgang mit R 123 problemlos erfüllbar sind. Für offene Turboverdichter bieten sich drei Möglichkeiten (Abb. 1) zur Umrüstung auf R 123 an.

Die *einfache Umrüstung* ist am schnellsten zu bewerkstelligen und hat den geringsten Investitionsbedarf. Dazu werden neben dem Kältemittel und einem einfachen Ölwechsel die Wellenabdichtung, Magnetventile, Dichtungen, Filtertrockner und die Behälterberstscheibe getauscht. Hinzu kommt die Installation einer Gaswarneinrichtung, die direkt mit der Maschinenraumventilierung gekoppelt sein kann. Die Ansaugung der Maschinenraumluft muß im Bodenbereich und möglichst in der Nähe der Maschine erfolgen. Wie bei R 11 ist nach dem Wasserhaushaltsgesetz der Eintritt von R 123 in die Kanalisation zu verhindern. Dazu wird

der Maschinenraumboden üblicherweise als Auffangwanne ausgeführt oder man installiert mit einfachen Mitteln eine Auffangmöglichkeit direkt unter dem Aggregat.

Bei dieser Umrüstung bleiben der Verdichter, die Ölversorgung und die Steuertafel unverändert. Bei den einfachen Umrüstungen wurden bisher Kälteleistungsverluste von 10–20 % bei etwa gleicher Leistungsaufnahme gegenüber R 11 gemessen.

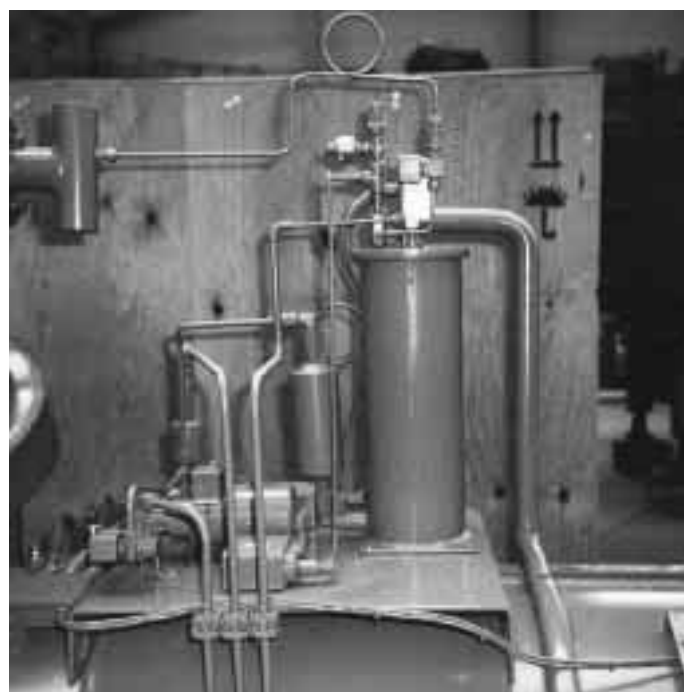
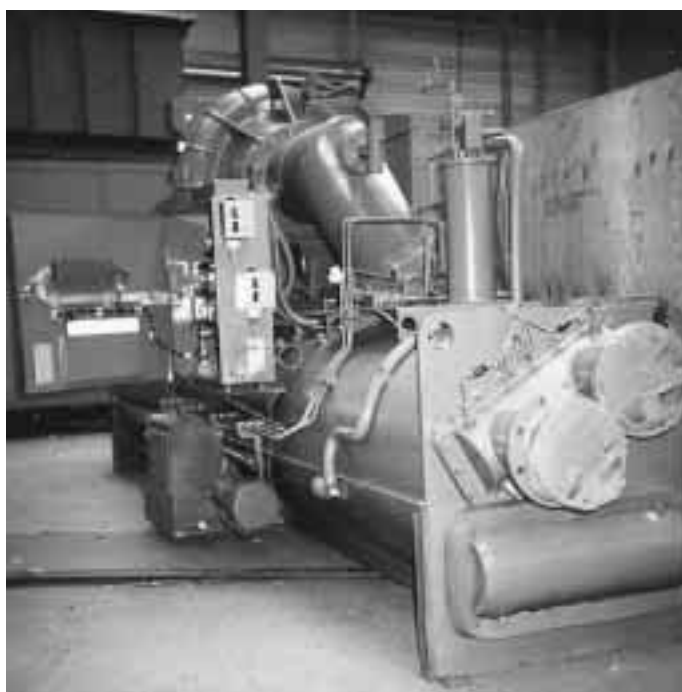
Die *optimierte Umrüstung* bietet neben den Elementen der einfachen Umrüstung die Möglichkeiten der Anpassung des Verdichter-Getriebebesatzes und der Neulagerung der Verdichteriwellen. Zudem kann der Turboverdichtersatz mit einer neuen Microcomputersteuerung und einer neuen Ölversorgung ausgerüstet werden. Durch den neuen Getriebebesatz wird der Turboverdichter auf die tatsächliche Leistungsanforderung angepaßt, was gerade für überdimensionierte Anlagen von Bedeutung ist. Im Vergleich zu einer optimalen R 11-Anlage wird bei den so umgerüsteten Turboverdichtern eine geringfügig höhere Leistungsaufnahme von maximal 5 % gemessen. Der Vorteil der erweiterten Umrüstung ergibt sich aus der Anpassung des

Verdichters auf den gegenwärtigen Kälteleistungsbedarf ohne Änderungen der Verdichtergeometrie und des Elektromotors.

In Abhängigkeit vom Zustand und der Restnutzungsdauer der Turboverdichteranlage ist abzuwägen, ob sich für den Verdichter und Elektromotor eine Umrüstung lohnt.

Driveline-Konzept

Das *Driveline-Konzept* bietet hierfür eine optimale Alternative. Dazu wird die sogenannte Driveline, der Elektromotor und der Verdichter als kompletter Satz ausgetauscht. Die neue Motor-Verdichter-Einheit ist speziell für das Kältemittel R 123 und den gegenwärtigen Kälteleistungsbedarf konzipiert und garantiert somit einen energetisch optimalen Betrieb. Mit der neuen Driveline wird ein komplett neues Ölversorgungssystem und eine Microcomputersteuertafel installiert. Zumeist ist in diesen Fällen die Prüfung der Bohrung und der Behälter zum Beispiel mit Hilfe des Wirbelstromverfahrens sinnvoll. Wegen der überzeugenden Vorteile dieser Umrüstungsvariante wird der überwiegende Teil aller R 123-Umrüstungen mit einer komplett neuen Driveline vorgenommen.



Die Umrüstung einer R 11-Turboverdichteranlage auf R 123 nach dem Driveline-Konzept ist bei problemloser Einbringung auch im Vormontagewerk möglich.

Die linke Abbildung zeigt, wie R 123-Turboverdichter, Elektromotor, Entlüftungseinheit und Schalttafel auf die vorhandenen Behälter montiert werden können.

Die rechte Abbildung zeigt die optimierte Entlüftungseinheit. Sie gewährleistet einen extrem niedrigen Kältemittelanteil beim Entlüften und erhöht somit die Betriebssicherheit.

Die Vorteile des Driveline-Konzepts im Überblick:

- **anwendbar auf alle Fabrikate**

Durch die Anpassung der Behälterstutzen und der Lagerung kann die Driveline praktisch an alle Behälter angebaut werden.

- **bei gleicher Baureihe keine Änderung der Behälterstutzen**

Die R 123-Verdichterbaureihe hat die gleichen Anschlußstutzen wie beim R 11-Turboverdichter.

- **keine Änderungen der Kalt- und Kühlwasseranschlüsse, Rohrleitungsführung und Pumpen**

In diesem Punkt kann sich gegenüber einer Neuanlage ein großes Einsparpotential ergeben. Besonders im Kernkraftwerksbereich hat jede bauliche Änderung einen hohen Genehmigungsaufwand zur Folge.

- **keine Veränderung der Elektroinstallation**

Die bauseitig vorinstallierte Zuleitung wird nur im mitgelieferten Motor клемmkasten aufgelegt.

- **keine Einbringungsprobleme, Umbau, Abriß, Wiederaufbau, Schutt, Kraneinbringung etc.**

Die Driveline kann in den meisten Fällen problemlos transportiert und vor Ort aufgebaut werden.

- **kurze Umrüstzeiten bzw. Produktionsausfallzeiten**

Die Umrüstung vorhandener Anlagen ist zumeist zeitlich vom jeweiligen Betriebs- und Produktionsregime abhängig. Durch den geringen Umbauf-

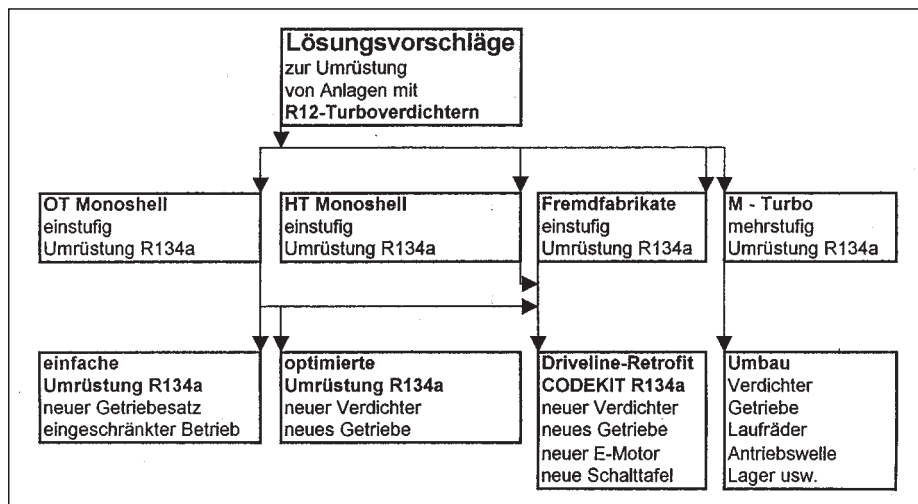


Abb. 2 Umrüstung von R 12-Turboverdichtern.

wand ist die Anlage nach kurzer Zeit wieder betriebsbereit.

- **Microcomputer-Steuertafel**

Durch die Microcomputer-Steuertafel wird eine höhere Betriebssicherheit gegenüber den mechanisch bewegten Bauteilen älterer Schaltschränke garantiert. Durch den Datentransfer aller relevanten Betriebsdaten wird eine Anbindung an die bauseitige ZLT möglich.

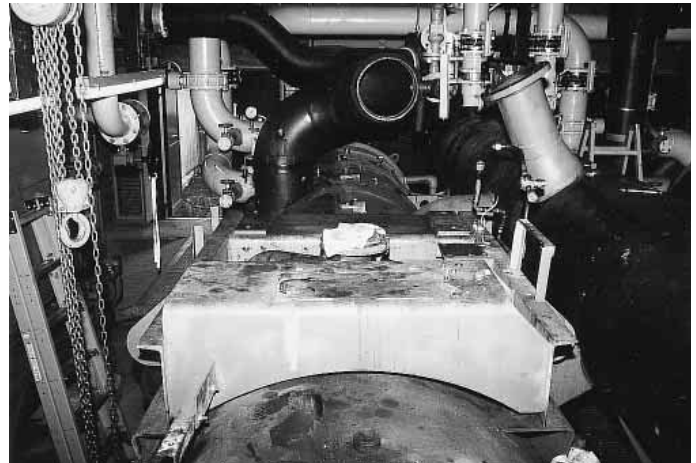
- **neues Entlüftungssystem**

Mit der erhöhten Leistungsfähigkeit des weiterentwickelten Entlüftungssystems wird ein geringeres Ausfallrisiko durch Luftzutritt erreicht und Kältemittelverluste werden extrem minimiert.

R 123-Situation

Die einfache und kurzfristig realisierbare Umrüstung auf R 123 ist eine Kompromißlösung, die hinsichtlich der Dichtheit und der erforderlichen Gaswarngeräte erhöhte Anforderungen stellt. Jedoch werden die Sicherheitsaspekte mit der stärkeren Akzeptanz von Ammoniak und brennbaren Kältemitteln ohnehin stärkere Beachtung finden.

Das Kältemittel R 123 ist in der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung nicht erfaßt, und wird in einer Studie der Kältemittelproduzenten (AFEAS 09/95) als R 11-Ersatzstoff empfohlen. Bisher wurde durch das Umweltbundesamt



Umrüstung einer R 12-Turboverdichteranlage auf R 134a nach dem Driveline-Konzept im 5. Obergeschoß eines Laborkomplexes. Das linke Bild zeigt den Zustand der R 12-Turboverdichteranlage vor der Umrüstung. Auf der rechten Abbildung ist sichtbar, wie R 12-Turboverdichter und Elektromotor demontiert werden.

kein R 11-Ersatzstoff bekanntgegeben. Das Kältemittel R 123 wird voraussichtlich in die Kältemittelgruppe 2 nach VBG/UVV 20 (giftig, ätzend, explosiv) ebenso wie Ammoniak einzustufen sein. Die hier geforderten Sicherheitsaufwendungen sind mit vertretbarem Aufwand zu realisieren. Die entsprechend notwendigen Gaswarngeräte für R 123 zur Überwachung der Maschinenraumluft sind verfügbar. Bisher werden in Deutschland etwa 100 Turboverdichteranlagen mit dem Kältemittel R 123 problemlos betrieben.

Umrüstung von R 12-Turboverdichtern

Durch die Bekanntgabe von R 12-Ersatzstoffen durch das Umweltbundesamt im Dezember 1995 ist der Einsatz von R 12 in Turboverdichteranlagen

nur noch bis zum 30. 6. 1998 gestattet. Als Ersatzstoff wird unter anderem das Kältemittel R 134a empfohlen, was in Turboverdichteranlagen eingesetzt werden kann. Die Bekanntgabe weiterer Ersatzstoffe, zum Beispiel für R 502, steht bevor. Für die frühzeitige Umrüstung des R 12-Anlagenbestands besteht somit dringender Handlungsbedarf. Zur Umrüstung der R 12-Turboverdichter bieten sich verschiedene Alternativen an (Abb. 2), die nach den gegebenen anlagentechnischen Voraussetzungen auszuwählen sind. Beim Vergleich von R 134a zu R 12 ist die für den Turboverdichter maßgebliche polytrope Verdichtungsarbeit um ca. 27 % größer. Beim Einsatz von R 134a wird eine um ca. 13 % größere Laufraddrehzahl und die Anpassung der Laufrad- und Diffusorgeometrie erforderlich.

Im allgemeinen müssen alle relevanten Dichtungen einschließlich der Wellenabdichtung ausgetauscht werden. Während der Ölspülung wird der Verdichter mit R 12 und Esteröl höherer Viskosität betrieben. Der verbleibende Restmineralölgehalt im Esteröl sollte unter 15 % liegen. Danach kann auf das Kältemittel R 134a mit Esteröl niedrigerer Viskosität umgerüstet werden. Aufgrund der thermodynamischen Unterschiede der Kältemittel R 12 und R 134a ist eine *einfache Umrüstung* des Turboverdichtersatzes nur bei großen Einschränkungen der Betriebsparameter und verminderter Betriebssicherheit möglich. Hierbei wird der Verdichter mit einem neuen Getriebesatz und neuer Lagerung ausgestattet. Eine starke Verringerung der Kälteleistung bei gleichzeitiger Absenkung der



Die linke Abbildung zeigt, wie der R 134a-Turboverdichter und der Elektromotor leicht eingebracht werden konnten. Auf der rechten Abbildung ist zu erkennen, wie die Montage des neuen R 134a-Turboverdichters und des Elektromotors im Maschinenraum erfolgt.

max. Verflüssigungstemperatur ist nur in Ausnahmefällen akzeptabel. Hinzu kommt, daß der Verdichter bei Betätigung der Vorleitschaukeln zur Leistungsregelung leichter zum sogenannten „Pumpen“ neigt.

In der Regel wird bei den R 12-Turboverdichteranlagen zumindest eine *optimierte Umrüstung* erforderlich sein. Hierzu wird der Verdichter und das Getriebe komplett ausgetauscht. Nur damit wird eine auf den Betrieb mit R 134a abgestimmte Verdichtergeometrie und Laufraddrehzahl erreicht. Bei gleicher Kälteleistung wird die Leistungsaufnahme nach der Umrüstung um ca. 3 % nur geringfügig höher sein. Hierbei ist bei offenen Verdichtern in der Regel kein Austausch des Elektromotors erforderlich. Die Neuauslegung des Verdichters kann auf die gegebenenfalls geänderten Kälteleistungsanforderungen vorgenommen werden, somit wird der Verdichterbetrieb im optimalen Arbeitsbereich begünstigt.

In Abhängigkeit vom Anlagenzustand einschließlich des Elektromotors und der Behälter wird in vielen Fällen der komplette Austausch der Motor-Verdichter-Einheit im Rahmen des *Driveline-Konzepts* angebracht sein. Hierbei werden der Verdichter, Getriebe und Elektromotor in einem Zug ausgetauscht. Die neue Motor-Verdichter-Kombination wird auf die gegebenen Leistungsanforderungen ausgelegt und an die vorhandenen Behälter angeschlossen. Mit geringfügigen Änderungen der Verdichteranschlüsse und des Motorlagers lassen sich so auch halbhermetische R 12-Turboverdichter problemlos auf R 134a umrüsten. Die so umgerüsteten R 134a-Anlagen kommen in ihrer Restnutzungsdauer einer Neuanlage nahe, wenn begleitend zur Umrüstung, eine Prüfung der Berohrung vorgenommen und eine Microcomputer-Steuertafel installiert wird. Die Umrüstung der R 12-Anlagen kann somit kostengünstig mit einer Sa-

nierung der Altanlagen verbunden werden.

Die Behälter, Kalt- und Kühlwasserleitungen sowie Pumpen, als auch die gesamte Elektroinstallation bleiben bei der Umrüstung unberührt.

Die oben beschriebenen Vorteile des Driveline-Konzepts werden in vollem Umfang ausgenutzt.

Mehrstufige Turboverdichter

Bei den *mehrstufigen Turboverdichtern* wurden bisher weit über 40 Umrüstungen von R 12 auf R 134a vorgenommen. Hierbei wird der Verdichter weitgehend neu ausgelegt. Dabei werden Laufräder, Getriebe, Antriebswelle und die Lagerung geändert. Die Anschlußleitungen, Verdichterlager und der Antriebsmotor bleiben in der Regel unverändert.

Literatur

[1] Harold Lamb, Beitrag ASHRAE winter meeting 1995/96.