

Fahrzeugklimatisierung mit Schukey-Technologie

- *Luft statt Chemie* -

1 Zusammenfassung

Luft als Kältemittel und damit die vollständige Ablösung klima- und ozonschädlicher Chemikalien in Klima- und Kälteanlagen ist schon lange in der Diskussion. Neue Impulse in dieser Diskussion setzte die EU durch ihr Verbot klimaschädlicher Kältemittel ab 2011.

Bislang scheiterte eine wirtschaftlich interessante technische Realisierung an unzureichender und aufwändiger Anlagentechnik. Lediglich in einigen Nischenanwendungen und unter besonderen Einsatzbedingungen, wie z.B. bei der Klimatisierung von Flugzeugen, hat sich Luft als Kältemittel etabliert.

Mit einer auf Schukey-Technologie basierenden Klima- und Kälteanlage kann nunmehr Luft als Kältemittel unter wirtschaftlichen Bedingungen zum Einsatz kommen.

Die Schukey-Technologie ist eine neue und innovative Basistechnologie. Auf Schukey-Technologie basierende Kältemaschinen bilden eine kompakte Einheit aus Kompressions- und Expansionsmaschine in einem Gehäuse.

Klima- und Kälteanlagen auf Basis der Schukey-Technologie sind aufgrund ihrer Baugröße, ihres geringen Gewichtes und ihrer günstigen Betriebsparameter auch

für den mobilen Einsatz, z.B. zur Klimatisierung von:

- PKW
- LKW
- Omnibussen
- Eisenbahnwaggons sowie
- Flugzeugen

hervorragend geeignet.

Die herausragenden Eigenschaften und Alleinstellungsmerkmale einer Schukey-Maschine für den Einsatz in der Klimatisierung und Kältetechnik sind dabei:

- Kälterzeugung nach dem Joule-Prozess ausschließlich mit Luft, ohne chemische Kältemittel
- Die erzeugte Kaltluft ist ölfrei und kann direkt zur Kühlung oder Klimatisierung eingesetzt werden
- Kompakte Bauweise und geringste innere Widerstände sorgen für einen hohen Wirkungsgrad und lange Lebensdauer
- Kälteleistung und Luftdurchsatz sind unabhängig voneinander stufenlos regelbar
- Ausgleich aller radialen Kräfte durch symmetrischen Aufbau, hierdurch auch Entlastung der Lager
- Steuerung von Druck und Temperatur mechanisch durch Steuerkanten
- Größtes Fördervolumen bei kleinen Abmaßen
- Kostengünstige Herstellung durch einfachen Aufbau und wenige Teile

2 Aktueller Stand der Fahrzeugklimatisierung

Eine Fahrzeugklimaanlage gehört auch in gemäßigten Breiten inzwischen zur selbstverständlichen Komfortausstattung von PKW, LKW, Bussen und Schienenfahrzeugen. 97 bis 99% der in Deutschland neu zugelassenen PKW sind inzwischen mit Klimatisierung ausgestattet (Quelle: Deutsche Umwelthilfe).

Dabei steigern Klimaanlage den Kraftstoffverbrauch und tragen somit zu einer Verstärkung der CO₂-Emissionen bei. Ein noch gravierenderes Umweltrisiko geht jedoch von dem in Fahrzeugklimaanlagen verwendeten Kältemittel, dem Tetrafluorethan, kurz R134a, aus. Dessen klimaschädliches Treibhauspotenzial (GWP = Global Warming Potential) liegt um den Faktor 1300 bis über 1400 höher als CO₂.

Verantwortlich für die Klimaschädigung ist der unvermeidliche Austritt des Kältemittels aus Leckagen an der Klimaanlage.

Die EU-Kommission hat folglich R134a ab 2011 für die Fahrzeugkühlung verboten. In drei Jahren dürfen Fahrzeugklimaanlagen einen GWP-Wert von 150 nicht mehr überschreiten.

CO₂ als Alternative?

Als umweltverträgliche und EU-konforme Alternative zu R134a ist CO₂ (chemisch R744) seit Jahren im Gespräch. Die im Verband der Automobilindustrie (VDA) organisierten Hersteller haben sich bereits 2007 auf CO₂ als zukünftiges Kälte-

mittel für Fahrzeugklimaanlagen festgelegt.

Obwohl die CO₂-Klimatechnik angeblich serienreif sein soll, ist über einen Pilot- und Testeinsatz hinaus noch nicht viel geschehen und es erscheint mehr als fraglich, dass dies bis 2011 der Fall sein wird.

Stattdessen hat die chemische Industrie mit 1234yf ein neu entwickeltes Kältemittelgemisch vorgestellt, das alle EU-Umweltanforderungen erfüllen soll. Seriös nachprüfbar ist dies jedoch noch nicht, da die genaue chemische Zusammensetzung noch nicht bekannt ist.

Fest steht bereits, dass dieses neue Kältemittel leicht entzündlich und brennbar ist.

Brennbar ist auch das zwischenzeitlich in der Diskussion befindliche Kältemittel R152a (Diflourethan), so dass die Hersteller davon Abstand genommen haben.

"Andere Alternativen bei der Kältemittelwahl für die Fahrzeugklimatisierung gibt es nicht" schreibt die Deutsche Umwelthilfe noch 2010 und irrt damit gewaltig, wie wir auf den folgenden Seiten zeigen werden.

3 Luft als Kältemittel

Luft als Kältemittel verfügt über gravierende Vorteile, Luft

- ist absolut umweltverträglich (GWP=0),
- ist kostenlos in unbegrenzter Menge verfügbar,
- ist im offenen Kreisprozess direkt als kühlendes Medium einsetzbar,
- erfordert den geringsten apparativen Aufwand - Verdichter und Wärmetauscher,
- ist im geschlossenen Kreisprozess einsetzbar und
- erfordert keine aufwändigen Dichtungen.

Das sich trotz dieser offensichtlichen Vorteile Luft als Kältemittel außer bei Flugzeugklimatisierung und bei Tieftemperaturanwendungen bislang nicht durchsetzen konnte, hat u.a. seinen Grund darin, dass sich mit der bislang bekannten Anlagentechnik keine wirtschaftlich sinnvollen Anwendungen realisieren lassen.

Für die direkte Kühlung von Luft kommt thermodynamisch der linkslaufende Joule-Prozess zur Anwendung.

Der Joule-Prozess ist ein Kaltgasprozess ohne Phasenübergang. Aus diesem Grund wird kein Kältemittel benötigt und Luft (oder jedes andere Gas) kann als Kühlmedium genutzt werden. Umgebungsluft kann so unmittelbar, auch ohne zusätzlichen Wärmetauscher, zur Kühlung und Klimatisierung eingesetzt werden.

Für den Joule-Prozess werden eine Kompressions- und eine Expansionsmaschine

benötigt. Der Wirkungsgrad des Prozesses hängt im Wesentlichen von der Qualität des Kompressions- und Expansionsaggregates ab. Bisher scheiterten alle Versuche, den Joule-Prozess in größerem Maßstab zu nutzen, hauptsächlich an der verlustarmen Kopplung beider Aggregate und somit am schlechten Wirkungsgrad der Anlage.

Weitere Hinderungsgründe für den Einsatz von Luft als Kältemittel waren:

Volumenstrom

Die geringe spezifische Wärmekapazität des Kältemittels Luft erfordert einen hohen Volumenstrom, so dass die entsprechenden Anlagen entweder hohe Drehzahlen oder erhebliche Baugrößen erforderten.

Nebenaggregate

Nebenaggregate wie Pumpen, Ventilatoren oder Ventilsteuerungen verringern den Gesamtwirkungsgrad der verwendeten Anlage.

Schmiermittelfreiheit

Mit Hilfe einer nach dem Joule-Prozess arbeitenden Maschine wird Umgebungsluft direkt gekühlt. Ihr Innenraum muss daher absolut schmiermittelfrei sein. Beispielsweise bei Kolbenmaschinen ist dies praktisch nicht zu realisieren.

Mit der Schukey-Technologie ist es hingegen möglich, den Joule-Prozess mit einem vergleichbaren, teilweise sogar besseren Wirkungsgrad gegenüber konventionellen Kaltdampfprozessen einzusetzen.

4 Grundlagen der Schukey-Technologie

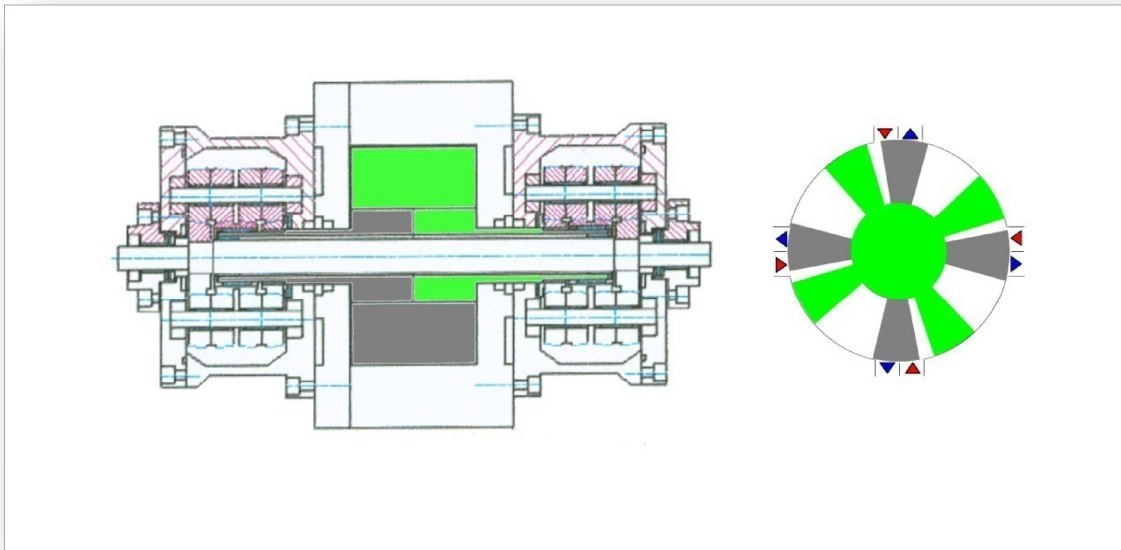
Universalität als Konzept

Bei einer Maschine der Schukey Technologie rotieren in einem gemeinsamen Gehäuse zwei ineinandergreifende, gegeneinander bewegliche Flügelkreuze.

gelkreuze sind derart aufeinander abgestimmt, dass diese auch das Öffnen und Schließen der Ansaug- und Auslasskanäle steuern.

Besonderer Schließorgane und Steuerungen, wie Nockenwelle und Ventile, bedarf es daher nicht.

Das Getriebekonzept für den modulierten



Jedes dieser Flügelkreuze wird über eine Welle von jeweils einem speziell entwickelten Getriebe in der Weise angetrieben, dass sich die Flügelkreuze nicht gleichförmig, sondern gegeneinander versetzt mal schneller mal langsamer drehen. Dabei vergrößern und verkleinern sich die 8 durch die Flügelkreuze abgeteilten Gehäusekammern jeweils 8-mal je Umdrehung, d.h., deren Rauminhalte werden entsprechend komprimiert und expandiert.

Die Anordnung der Einlass- und Auslassöffnungen und die Bewegungen der Flü-

Umlauf der Flügelkreuze ist vollkommen neu, einzigartig und für die Großserienfertigung geeignet. Es gewährleistet an jeder Stelle des Umlaufs eine formschlüssige und verlustarme Kraftübertragung.

Maschinenbaulich gesehen ist eine Schukey-Maschine eine Verdrängermaschine, genauer eine Umlaufschwingkammermaschine. ST ist einsetzbar mit Pressluft, Heißluft, Heißgas und Dampf als reine Expansionsmaschine, als Kompressions-/Expansionsmaschine, im offenen und geschlossenen Joule-Prozess, im

Clausius- Rankine-Prozess sowie im Organ-Rankine Prozess (ORC).

Schukey-Technologie weist einen deutlich höheren Gütegrad auf als die bislang bekannten Energieumwandlungssysteme (Otto, Diesel, Wankel, Stirling auf der Kraft- Wärme-Seite, verschiedene Kompressoren auf der Kälteseite).

Das Basisaggregat ist für alle Einsatzgebiete weitgehend gleich, es besteht aus weniger als 50 Einzelteilen; davon sind lediglich 16 bewegt. Alle sich bewegenden Teile führen ausschließlich Rotationsbewegungen aus.

Im Betrieb zeigen sich vor allem folgende Vorteile der Schukey-Technologie:

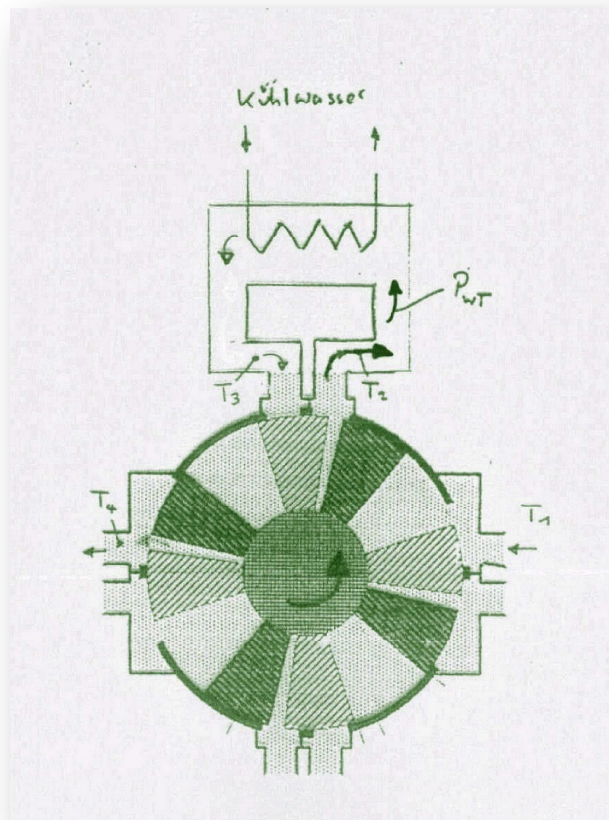
- kompakte Bauweise, dadurch gute Möglichkeiten zur Nachrüstung
- gutes Teillastverhalten, günstig vor allem bei nicht kontinuierlichem Volumenstrom
- geringe Drehzahl, ein Getriebe zwischen Schukey-Maschine und Generator wird nicht benötigt

Der Wartungs- und Betriebsaufwand der Schukey-Maschinen ist minimal. Diese Technologie ist einfach, robust und betriebssicher.

5 Schukey-Kältemaschine und Fahrzeugklimatisierung

Als Kältemaschine arbeitet die Schukey-Maschine im Joule-Prozess ohne Phasenübergang. Damit kann Umgebungsluft direkt gekühlt werden.

Für den Joule-Prozess werden eine Kompressions- und eine Expansionsmaschine benötigt. Die Schukey-Maschine ist die einzige Maschine, die Kompressions- und Expansionsaggregat in einem Gehäuse vereinigt. Sie ermöglicht den Joule-Prozess mit einem vergleichbaren teilweise sogar besserem Wirkungsgrad gegenüber konventionellen Kaldampfprozessen.



Anhand einer Originalzeichnung des Entwicklers lässt sich die Funktionsweise der Kältemaschine gut demonstrieren.

- Einströmende Umgebungsluft (T_1) wird verdichtet und damit erwärmt (T_2).
- Die erhitzte Luft (T_2) wird mittels Wärmetauscher isobar abgekühlt (T_3).
- Die unter Druck befindliche abgekühlte Luft (T_3) wird auf Umgebungsdruck expandiert und dabei auf unter Umgebungstemperatur abgekühlt (T_4) und strömt aus.
- In einem geschlossenen System (Kühlraum, Gefrierraum, Büro usw.) wird die nunmehr abgekühlte Luft dem Prozess erneut zugeführt ($T_4 = T_{1\text{neu}}$) und weiter abgekühlt.

Der gleiche Vorgang findet gleichzeitig auf der gegenüberliegenden Seite der Maschine statt. Dadurch gleichen sich die radialen Kräfte aus und es tritt keine Lagerbelastung auf. Während einer Umdrehung der beiden Rotoren wird das 16fache Kammervolumen gefördert (jeweils 8 Kammervolumina in der oberen und der unteren Maschinenhälfte). Kompression und Expansion spielen in einer Schukey-Maschine optimal zusammen; durch den Überdruck in der Expansionskammer wird der gleichzeitig stattfindende Kompressionsvorgang über denselben Rotor unmittelbar unterstützt. Das ist ein Grund für den hohen Wirkungsgrad einer Schukey-Maschine.

Die Dichtung zwischen den Rotoren und dem Gehäuse ist berührungslos. Dies

vermeidet Reibungsverlust und verlängert die Lebensdauer. Gleichzeitig ergibt sich keinerlei Notwendigkeit einer Schmierung. Die geförderte Luft bleibt absolut ölfrei.

Das große Fördervolumen bei relativ kleiner Kompression (Verdichtungsverhältnis 1:1,3 bis 1:1,8) macht die Schukey-Maschine zur optimalen Maschine für den Joule-Prozess. Da pro Umdrehung das 16fache Kammervolumen gefördert wird, entsteht eine äußerst kompakte Verdängermaschine. Das Bauprinzip ermöglicht eine stufenlose Steuerung des geförderten Gasstromes.

Die Fördermenge wird von der Drehzahl gesteuert. Mechanisch verschiebbare Steuerkanten an Ein- und Auslass der Kompressions-Expansionskammern regeln den Prozessdruck und damit die Kälteleistung. Die über den Wärmetauscher entzogene Wärme kann für Heiz- oder Brauchwasserzwecke verwendet werden.

Die jeweils optimale Stellung der Steuerkanten sorgt für einen optimierten Wirkungsgrad im Teillastbereich. Die Maschine kann damit in einem großen Drehzahl- und Temperaturbereich wirtschaftlich arbeiten.

Der Wirkungsgrad von Kompressions- und Expansionsteil ist größer als 90%, die Kältezahlliegt zwischen 3,2 und 3,9.

Einsatzbeispiel Fahrzeugklimatisierung

Kern des Konzeptes zur Nutzung einer Schukey-Maschine für die Fahrzeugklima-

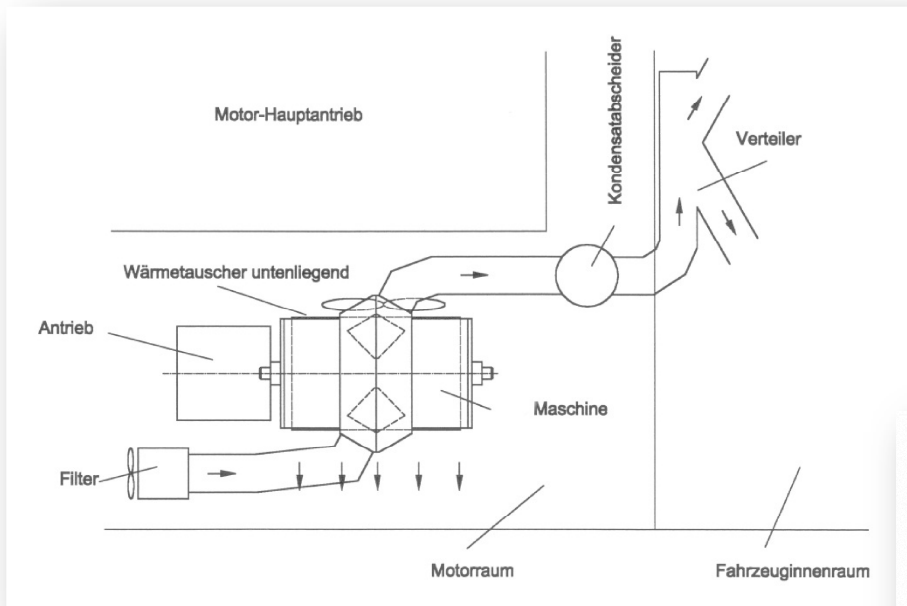
tisierung ist der Ersatz des bisherigen Kühlkompressors durch eine Schukey-Kältemaschine.

Das weitere hier dargestellte Anlagen-

Technische Daten

Die genauen technischen Daten sind ausführungs- und einsatzabhängig. Das Aggregat ist in einem breiten Leistungsbe-

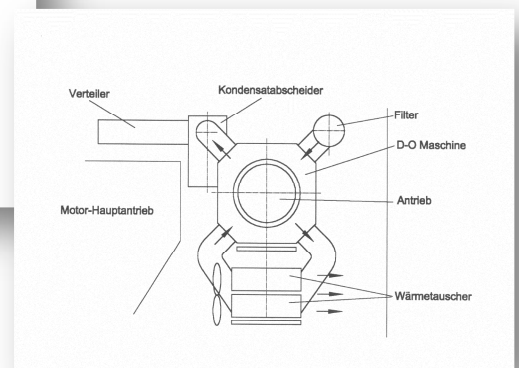
reich bis weit über 100 kW skalierbar. Für höhere Leistungen und größere zu kühlende Räume, wie beispielsweise in Bussen und Bahnen, können auch mehrere Maschinen dezentral angeordnet zweckmäßig sein.



konzept ist beispielhaft und stark vereinfacht.

Weitere Komponenten des hier dargestellten Beispiels sind:

- Luftansaugstutzen mit Filter, ggf. ergänzt durch einen Stutzen im Fahrzeuginnenraum zur Mischluftaufbereitung
- Wärmetauscher, hier in einer Luft-Luft-Ausführung
- Kondensatabscheider
- Verteiler
- Antrieb, wahlweise über eine Keilriemenscheibe mit Magnetkupplung oder elektrisch



Im oben beschriebenen Einsatz in der Fahrzeugkühlung sind in etwa die folgenden Daten anzunehmen:

- ✓ Kälteleistung 4 bis 7,5 kW
- ✓ Leistungsaufnahme 1,3 bis 2,5 kW
- ✓ Rotordurchmesser 100 bis 190 mm
- ✓ Pmax 2,5 bar
- ✓ Drehzahl 800 bis 3000 1/min
- ✓ Gewicht 2,5-6 kg
- ✓ Umgebungstemperatur -40 bis +150°C

6 Weitere Einsatzmöglichkeiten

Die Einsatzmöglichkeiten der Schukey-Technologie in der Kälte- und Klimatechnik beschränken sich nicht auf die hier dargestellten Möglichkeiten der Fahrzeugklimatisierung.

Da Schukey-Technologie in einem relativ großen Leistungsbereich skalierbar ist, sind Kälteleistungen von 100 kW und mehr ohne weiteres erzielbar.

Damit eignen sich Schukey-Kälteanlagen für alle stationären und mobilen Kälte- und Klimatisierungsaufgaben bis hin zur Klimatisierung von großen Bürogebäuden und Kreuzfahrtschiffen.

Das patentierte Schukey-Prinzip ist aber nicht auf die Kältetechnik beschränkt. Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind z.B. Wärmekraftmaschinen zur Stromerzeugung aus Wärme, Abwärme und Solarthermie:

- Abwärme industrieller Anlagen
- Restwärmenutzung bei BHKW
- Brennstoffeinsparung durch Abwärmenutzung bei Schiffsdieselmotoren
- Solarthermische Kraftwerke

Durch die Kombination einer aus (Ab)wärme oder Solarthermie mechanische Energie gewinnenden Schukey-Wärme-Kraftmaschine mit einer mechanisch gekoppelten Schukey-Kältemaschine wird die Aufgabe „Kälte aus Wärme“ elegant gelöst.

7 Umweltverträglichkeit

Für die Umweltverträglichkeit von Klima- und Kälteanlagen spielen zwei Punkte eine wesentliche Rolle: das Gefährdungspotenzial durch die verwendeten Kältemittel und die Energieeffizienz.

Durch die Verwendung von Luft sind Anlagen, die den offenen Joule-Prozess realisieren, absolut ungefährlich.

Sofern sie elektrisch angetrieben werden, trägt aber ihr Energieverbrauch indirekt über den bei der Stromerzeugung anfallenden Ausstoß von CO₂ zum Treibhauseffekt bei.

Hier ist die Energieeffizienz der zum Einsatz kommenden Technologie von entscheidender Bedeutung.

Schukey-Technologie zeichnet sich insbesondere durch einen guten Wirkungsgrad im Teillastbereich aus.

Zusätzlich bestehen durch die Nutzung von Abwärme, Solarthermie und anderen regenerativen Quellen zur Strom- und Kälteerzeugung weitere Möglichkeiten zur Einsparung von Primärenergie und damit auch zu einer Verringerung des CO₂- und Schadstoffausstoßes.

Thermodyna Maschinen und Anlagen GmbH

Reinhard Kupfernagel

kupfernagel@thermodyna.com

Dipl.-Ing. oec. Volker Bergholter

bergholter@thermodyna.com

(Verfasser)

Wilhelm-Bock-Weg 11

22297 Hamburg

fon +49 40 5110700

www.thermodyna.com