

THERMALMANAGEMENT-INNOVATION

by knürr

www.knuerr.com

Wärme mit Wasser wirksam ableiten

Innovatives Thermalmanagement
überzeugt mit praxisbewährter
und betriebs sicherer Technologie



knürr
environments for electronics

Knürr ist einer der führenden Hersteller und Lieferanten für Gehäuse-Plattformen für elektronische Anwendungen.

Besser Knürr

Die Anforderungen setzen unsere Kunden.

Wir beantworten diese mit Qualität, Flexibilität, Schnelligkeit und perfektem Service.

Weltweit gelten wir als zuverlässiger Partner in den Bereichen der Tele- und Datenkommunikation, der Server- und Netzwerktechnologie, Medizintechnik sowie der Sicherheits-, Automations- und Verkehrsleittechnik.

Die Produktvielfalt und -qualität von Knürr setzt seit Jahrzehnten traditionell anerkannt hohe Maßstäbe. Innovative Technologien sind das Spiegelbild unseres Ingenieurwissens, das den Fortschritt in den Märkten kennzeichnet und vorantreibt.

Knürr qualifiziert sich durch sein profundes Wissen und praxisbewährtes Können, beispielsweise bei allen Anforderungen an ein professionelles Thermalmanagement.

Wo Strom fließt entsteht Wärme – mit diesem physikalischen Gesetz kämpfen Gehäusehersteller und Rechenzentren mehr denn je.

Gleichzeitig zu den immer höheren Rechenleistungen der Server steigt deren Wärmeabgabe deutlich an.

Vor allem im Rechnernetz reicht die bisherige Klimatechnik längst nicht mehr aus, um die steigenden thermischen Lasten von Hochleistungs-CPU's zu bewältigen. Deshalb sind innovative Kühltechniken wie die neuen Systeme von Knürr unabdingbar. Nur sie erlauben es, dass die notwendige Leistungssteigerung in der Prozessortechnologie effizient genutzt werden kann.

Das Thermalmanagement von Knürr ist wegweisend!



Ernstes Problem: Wärme	4
Flüssigkeitskühlung, die Lösung	6
Miracel CoolTherm – bis 20 kW	8
CPU-Cooling. Wir machen's mit Wasser!	10
Kosten – Nutzen: Vergleichsstudie TCO	12



Die thermischen Lasten steigen mit der CPU-Leistungsfähigkeit und der Packungsdichte. Die bisherige RZ-Klimatisierung ist nicht länger ausreichend.

Ernstes Problem: Wärme!

Zusammen mit der immer weiter steigenden Leistung der CPUs – und damit von PCs und Servern – entwickeln sich auch deren Wärmeverluste anscheinend unaufhaltsam nach oben.

Die Schwierigkeiten, die freigesetzten Wärmemengen innerhalb des zur Verfügung stehenden Bauraums abzuführen, begrenzen die weitere Leistungsverdichtung in Servern und in Rechenzentren. Hinzu kommt, dass die Aufwendungen für die Anlagen zur Wärmeabfuhr (Klimaanlagen usw.) einen immer bedeutenderen Anteil an den gesamten Investitions- und Betriebskosten eines Rechenzentrums erreichen.

Zur Verdeutlichung: Größere Rechenzentren beanspruchen bereits heute mehrere Megawatt Strom, der schlussendlich vollständig als Abwärme an die Umgebung abgeleitet werden muss. Nach einer Studie des „US Department of Energy“ wurden in den Vereinigten Staaten bereits Mitte der neunziger Jahre mehr als zehn Prozent des Stroms für IT-Systeme verbraucht.

Die bisher gebräuchliche Kühlung von Servern und kompletten Rechenzentren mit Luft stößt dabei an beiden Enden des Transportweges der Abwärme an ihre Grenzen:

CPU-Kühlung

Unmittelbar an der Wärmequelle, der CPU, ist die Leistungsgrenze der Luftkühlung längst erreicht oder bereits überschritten.

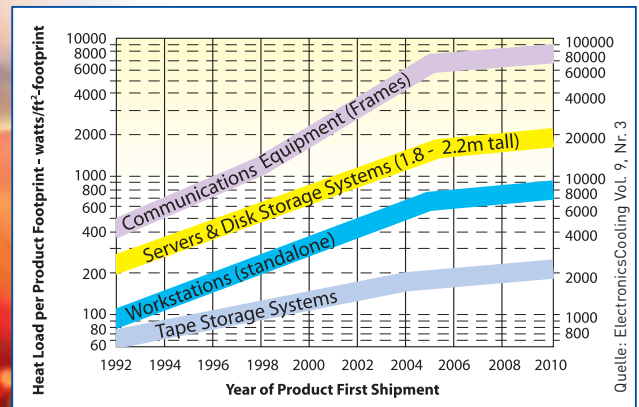
Heute erreichen Hochleistungsprozessoren bereits Verlustleistungen, die nur noch mit sehr aufwändigen und voluminösen Kühlkörpern an Luft abzuführen sind.

Mit 70–100 W auf ca. 10 cm² Gehäusfläche schlagen Prozessoren jede Herdplatte in der Disziplin „Wärmestromdichte“.

Die Road Maps der Hersteller prognostizieren einen weiteren Anstieg auf über 150 W. CPUs mit etwa 130 W Abwärme werden bereits 2005 auf den Markt kommen.

Besonders in den aktuellen hochkompakten Bauformen von Servern (Pizzabox, Blade) sind die Kühlflächen für die Luftkühlung nicht mehr unterzubringen.

Kühlung scheint demzufolge der begrenzende Faktor für eine weitere Leistungsverdichtung!



Quelle: ElectronicsCooling Vol. 9, Nr. 3

Kühlung von Rechenzentren

Selbst in modernsten konventionell mit Luft klimatisierten Rechenzentren sind 1.500 W/m^2 Kühlleistung – bezogen auf die Raumfläche – ein theoretischer Wert, der praktisch nicht erreicht wird. Auch 1.000 W/m^2 werden nur mit einem enormen baulichen und betrieblichen Aufwand erkaufte, die Luftverteilung bleibt störanfällig und nur schwer an veränderte Konfigurationen anpassbar.

Thermische Probleme, insbesondere an weiter oben eingebauten Servern, sind an der Tagesordnung.

Ältere Rechenzentren vertragen noch weit geringere Kühllasten, etwa 300 – 500 W/m^2 .

Mit einem durchschnittlichen geometrischen Platzbedarf von etwa 3 m^2 je

Serverschrank sind damit allenfalls 3 – 4 kW Wärmebelastung pro Schrank zu verkraften. Das reicht heute gerade noch für kommerzielle Rechenzentren aus. Im wissenschaftlichen Bereich sind diese Werte bereits überschritten. Tatsächlich werden heute schon Rechner-Cluster mit bis zu 100 Schränken zu je 10 kW betrieben – allerdings nicht mit Luftkühlung.

15 kW je Schrank sind inzwischen Planungsgröße für die ersten kommerziellen Rechenzentren im Bankbereich. Hier kommen ultradicht gepackte Blade-Server zum Einsatz mit Spitzenwerten von bis zu 17 kW je Schrank. Und die Prognosen reichen noch weit darüber hinaus in Bereiche

zwischen 20.000 und 30.000 Watt ! Für eine dicht gepackte Belegung der Schränke mit Servern und der Rechenzentren mit Schränken sind die Möglichkeiten konventioneller Klimatisierung mit Luft weit überschritten. Selbst Ansätze, jeden einzelnen Schrank über Luftkanäle direkt zu kühlen, ermöglichen nicht die erforderliche Leistungsdichte.

Als Lösung bleibt nur, bei der Belegung mit Servern und Schränken weit hinter der geometrisch möglichen Dichte zurückzubleiben, und damit extrem teure Gebäudeflächen zu opfern.

Oder gibt es die Möglichkeit, auf ein grundsätzlich neues Kühlkonzept umzusteigen?

Bildung von "Wärmenestern" durch Luft-Rezirkulation.



**Wasser im Rechenzentrum?
Eine Provokation. Und doch wirtschaftlich,
denn Wasser leitet Wärme wirksam ab...**

Flüssigkeitskühlung, die Lösung.

Kühlung mit Wasser überwindet die Schwierigkeiten sowohl auf Rechenzentrums- als auch auf CPU-Ebene und ermöglicht einen Quantensprung für die weitere Leistungsverdichtung. Das führt unmittelbar zu erheblichen Steigerungen bei der Wirtschaftlichkeit und Sicherheit von Rechenzentren.

Wasser galt bis dato als der „natürliche Feind der Elektronik“. Nur wenn es gelingt, mit diesem Element auf eine qualifizierte Art umzugehen, erwachsen ganz neue Chancen. Schon vergessen? Vor etwa zehn Jahren war es üblich, Großrechner mit Wasser zu kühlen! In vielen Rechenzentren ist die Infrastruktur noch

heute vorhanden. Und die Verteilung der „Kälte“ erfolgt heutzutage bei konventionellen Klimaanlage größerer Leistung mittels Kaltwasser.

Wassergekühlte CPUs sind heute im Bereich von Hochleistungs-PCs weit verbreitet. Im Handel sind dazu verschiedene Bausätze erhältlich. Geschätzt wird hierbei die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit der Prozessoren bis an die Grenze auszufahren und um die störenden Lüftergeräusche zu reduzieren.

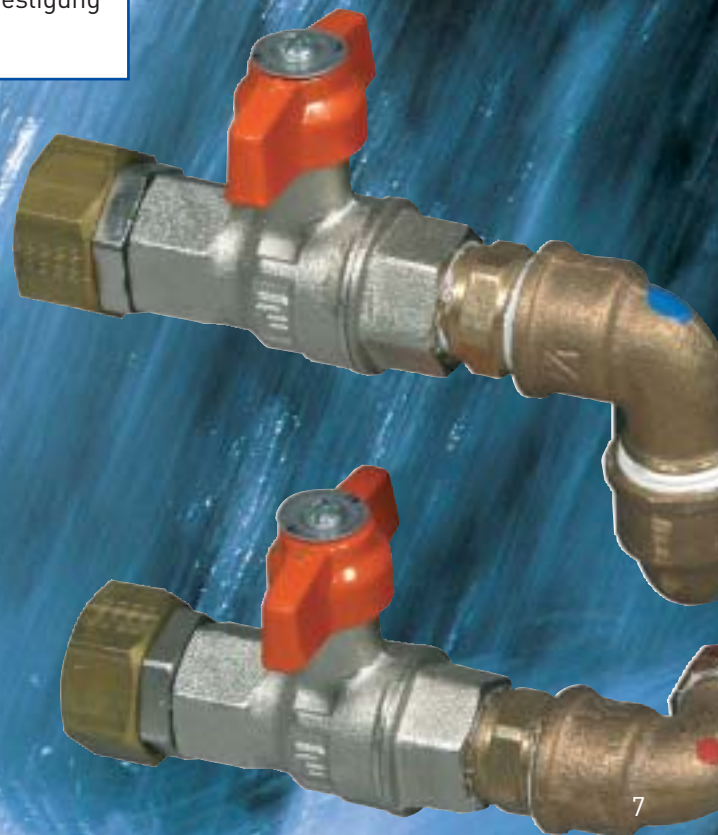
Seit über einem Jahrhundert ist Wasser das Medium zur Beheizung und Kühlung von Gebäuden gleichermaßen. Zahllose Teile und Komponenten werden industriell hergestellt und auf Baustellen installiert. Qualität, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit sind durch industrielle Serienproduktion längst gewährleistet. Warum also das Rad zweimal erfinden?

Auf Schrank- bzw. Serverebene wird Wasser heute mit zwei sich zum Teil ergänzenden Konzepten zur Hochleistungskühlung in Rechenzentren genutzt:

- ✓ Knürr CoolTherm**
- ✓ Knürr CPU-Kühlung**

Wasser versus Luft. Weit überlegenes Wärmetransportmedium?

- 1** Wasser kann pro Volumeneinheit ungleich mehr Wärme transportieren als Luft. Um 1.000 Watt bei 10 Grad Temperaturunterschied abzuführen, reichen 90 Liter Wasser pro Stunde – gegenüber 325 Kubikmetern Luft. Das sind, auf das Volumen bezogen, etwa 3.500-mal mehr. Eine dünne Wasserleitung leitet mehr Wärme ab, als ein heftig durchlüfteter ganzer Raum.
- 2** Auch für die Übertragung von Wärme benötigt Wasser nur etwa ein Hundertstel der Fläche! Ein Flüssigkeitskühlkörper kommt mit sehr wenig Übertragungsfläche aus und ist kaum größer als der Prozessor selbst. Seine Größe hängt mehr von den Anschlüssen und der Befestigung auf dem Board ab, als von seiner Kühlleistung.



Flüssigkeitsgekühlter Serverschrank von Knürr: Die Miracel CoolTherm-Plattform bietet Wärmetausch von 10- bis 20 kW innerhalb eines geschlossenen Kühlsystems (Luft/Wasser)!

Miracel CoolTherm – bis 20 kW

Im Gegensatz zu herkömmlichen luftgekühlten Serverschränken, die mittels perforierter Türen ein Höchstmaß an Luftdurchlässigkeit sicherstellen, sind die Knürr CoolTherm-Schränke gegen die Raumluft vollständig abgedichtet (IP55).

Die Abfuhr der gesamten Verlustleistung erfolgt über einen im Bodenbereich oder der Tür des Schrankes angebrachten Luft-/Wasser-Wärmetauscher an das Kaltwassernetz im Gebäude. Redundante leistungsstarke Lüfter treiben im Schrankinneren einen geschlossenen Kühlluftkreislauf an. Die eingebauten Server werden von vorne mit gleichmäßig auf etwa 20–25°C temperierter Luft versorgt. Die erwärmte Luft wird auf der Rückseite oben im Schrank gesammelt, nach unten durch den Wärmetauscher gedrückt und wieder nach vorne zu den Serverfrontseiten geführt. Anhaltswerte für die Mengenströme sind 1 l/s Kaltwasser und 4.000 m³/h umgewälzte Kühlluft bei 20 kW Kühlleistung.

Zum Betrieb des Schrankes ist gebäudeseitig ein Kaltwassernetz mit Chiller erforderlich. Zumindest in größeren Rechenzentren ist ein derartiges Netz bereits vorhanden, da auch konventionelle Klimaanlage ab etwa 150 kW Kühlleistung über ein solches Netz betrieben werden. Darüberhinaus bestehen keinerlei Anforderungen an die Raumklimatisierung, das Schranksystem ist von der Raumluft völlig unabhängig.

Auf diese Art entsteht ein hocheffizienter interner Kühlkreislauf, der – bei entsprechender Auslegung des Wärmetauschers und der Luftführung – alle zur erwartenden Anforderungen erfüllt. Derzeit stehen, in 2,5 kW Schritten abgestuft, wassergekühlte Server-Schränke bis zu

20 kW Kühlleistung zur Verfügung. Die kontrollierte Luftführung innerhalb eines relativ kleinen abgeschlossenen Raums ermöglicht die gleichmäßige Kühlluftversorgung aller Server, unabhängig von ihrer Einbauposition im Schrank. Der oberste Server wird genauso gut gekühlt wie der Unterste. Dadurch lässt sich auch die Grenze für die Luftkühlung von Prozessoren ein Stück weiter hinausschieben. Mit diesem Kühlkonzept sind 100 – 120 W Verlustleistung auch in Pizzabox- und Blade-Servern noch bewältigbar.

Ziel dieses Konzepts ist es, die bisher durch die Kühlmöglichkeiten gesetzten Grenzen für die Packungsdichte von Hochleistungsservern in Rechenzentren zu eliminieren. Pro Schrank gehen lediglich 6 HE für den Wärmetauscher verloren, in einem 46 HE Schrank bleiben also 40 HE für die beliebige Voll-Bestückung mit Komponenten. Da auch im Raum selbst die bisherigen Grenzen der Luftkühlung entfallen, können ohne Begrenzung vollbestückte Racks so dicht wie geometrisch möglich aufgestellt werden. Im bisher extremsten realisierten Fall mit 15 kW Verlustleistung pro Schrank bedeutet das eine Flächeneinsparung um mehr als den Faktor 3 gegenüber konventioneller Raumklimatisierung!

Vom Wärmetauscher abgesehen, findet der Nutzer einen völlig normalen 19" Serverschrank vor. Das bedeutet, dass keinerlei Einschränkungen für den Einbau von Komponenten bestehen. Alles, was in einen konventionellen Schrank eingebaut werden konnte, findet unverändert auch im Knürr CoolTherm Platz. Das gilt insbesondere für Rack-Server, die keinerlei besondere Vorbereitung brauchen, sowie für andere wärmeabgebende Komponenten (Speichereinheiten, TFT-Schubladen, Switches, Router, Stromversorgungen ...) und für Verkabelung usw. Alle bisher gewohnten Eingriffsmöglichkeiten bei Neukonfiguration, Wartung und Reparatur sind unverändert möglich, der Knürr CoolTherm ist auch bei geöffneten Türen (Rücktür nur kurzzeitig) betreibbar.



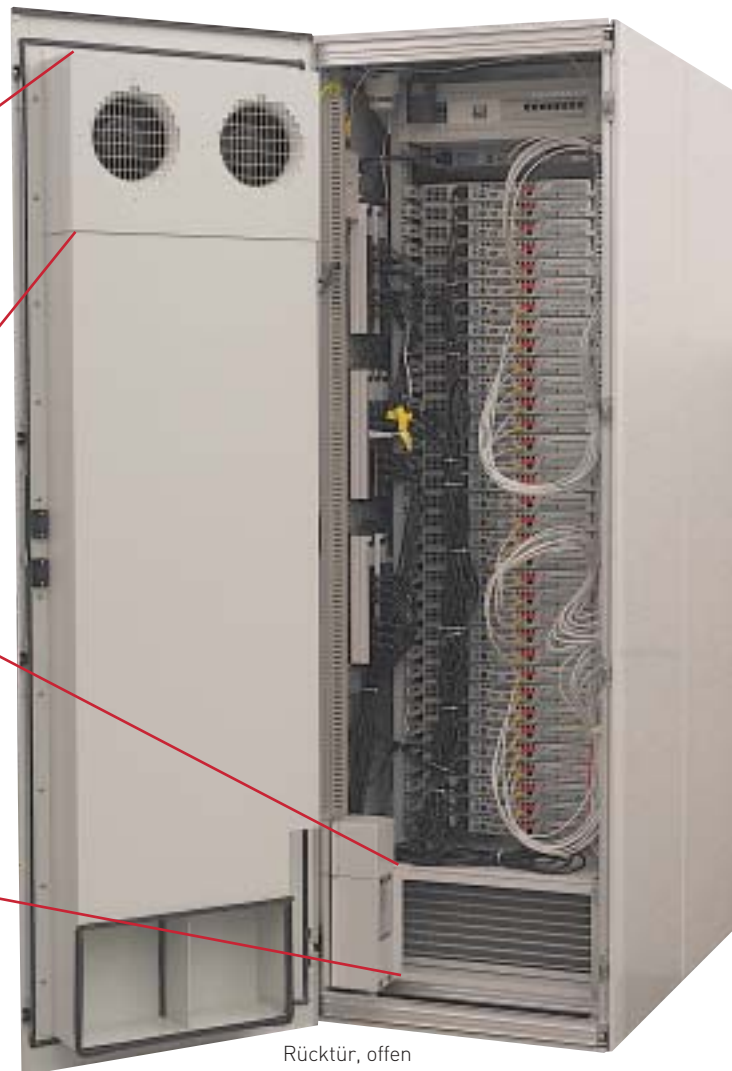
Geschlossener
Luftkreislauf mit
Luft/Wasser-Wärmetauscher
(Schnittbild)



Ventilation,
temperaturabhängig, drehzahlregelt



Knürr-Wärmetauscher, Luft/Wasser



Rücktür, offen

Ein umfassendes Sicherheitskonzept sorgt für ein Höchstmaß an Betriebssicherheit und Verfügbarkeit. Selbstverständlich sind alle relevanten Komponenten redundant ausgeführt bzw. an eine redundante Stromversorgung angeschlossen. Im Schrank werden Lüfter, Temperaturen, Türschließung, Rauchentwicklung und optional Leckwasser bzw. Taupunktunterschreitung überwacht. Bedingt durch die Bauweise des Wärmetauschers sind allerdings Leckagen und Kondensatanfall ohnehin ausgeschlossen. Der Wärmetauscher ist eine kompakte Einheit ohne lösbare Verbindungen, die am Ende der Fertigung mit 32 bar abgedrückt wird. Dieser Wert liegt um Größenordnungen über den zu erwartenden Betriebsdrücken. Zum Gebäudenetz bestehen lediglich zwei lösbare Verbindungen, die – aus der Gebäudetechnik bewährt – ebenfalls überprüfbare

Dichtheit sicherstellen. Zusätzliche Sicherheit bietet die Lage des Wärmetauschers ganz unten im Schrank, von dort könnte Wasser auch im Fall des Falles nicht in den Bereich der Server gelangen. Sollte im Wärmetauscher bei Taupunktüberschreitung Kondensat anfallen, wird es bauartbedingt aus dem Luftstrom entfernt und abgeleitet. Ein Höchstmaß an Sicherheit bietet die CTU, die alle Funktionen der Kaltwasserversorgung und Funktionsüberwachung einer Schrankreihe (5–10 Schränke) übernimmt. Neben der Funktion einer kontrollierten Schnittstelle besteht hier die Möglichkeit, das Teilsystem über einen Wärmetauscher komplett vom Rest

des Wassernetzes abzutrennen und so größere Leckagemengen von vorneherein auszuschließen. Bedingt durch den dichten Abschluss des Schrankinneren gegenüber der Raumluft bietet dieses Kühlsystem einen hervorragenden Schutz gegenüber Auswirkungen von Bränden. Rauch, aggressive Gase, Wasserdampf und Löschwasser werden sicher zurückgehalten. Solange die Kaltwasserversorgung funktioniert, sind auch stark erhöhte Raumlufttemperaturen unproblematisch. Lediglich sehr hohe Temperaturen oder direkte Flammeneinwirkung wären kritisch, die Folgen von Bränden in der Nähe oder im Nebenraum werden aber in jedem Fall beherrscht.

Knürr beweist seine Innovationskraft:
Mit Wasser direkt dort kühlen, wo Hochleistungs-CPU's
durch hohe Taktfrequenzen für eine große thermische Belastung sorgen.

CPU Cooling. Wir machen 's mit Wasser!

Noch näher, bis unmittelbar an die Wärmequellen, wird bei der CPU-Kühlung das Kühlwasser herangeführt. Die Abwärme der Prozessoren fließt durch wasserdurchströmte Kühlkörper direkt in den Wasserkreislauf.

Die gleichmäßige Verteilung des Kühlwassers auf alle eingebauten Server wird durch zwei vertikale Verteilerrohre sichergestellt, die nach der Tichelmann-Schaltung durchströmt werden. Unabhängig von der Einbauhöhe eines Servers können so die Strömungswiderstände und damit die Durchflussmengen immer gleich gehalten werden.

Pro Höheneinheit kann ein Server an die Wasserverteilung angeschlossen werden, die Verbindung erfolgt über hochwertige, sehr flexible Kunststoffrohre. Werden diese, am besten zusammen mit der Verkabelung, entsprechend geführt, kann auch ein



wassergekühlter Server im Betrieb aus dem Serverschrank herausgezogen werden. Da die Kunststoffrohre am Vertikalverteiler schnell und sicher gelöst werden können, sind Ein- und Ausbau von Servern genauso unproblematisch wie bei reiner Luftkühlung.

Die Einbindung in das gebäudeseitige Kühlwassernetz erfolgt aus dem Doppelboden oder von der Decke direkt an die beiden vertikalen Verteilerrohre im Schrank. Im Gegensatz zum wassergekühlten Server-Rack muss zur Kühlung kein Kaltwasser zur Verfügung stehen. Da an den CPUs Gehäusetemperaturen bei knapp 70°C zulässig sind, genügt es, wenn Kühlwasser mit einer Temperatur um 50°C zur Verfügung steht. Diese Temperatur liegt hoch genug, um selbst in heißen Sommern mit Umgebungsluft rückkühlen zu können. Es wird also keine Kältemaschine (Chiller) im Kühlwassernetz benötigt! Die Folge sind enorme Einsparungen in der Gebäudeinfrastruktur, sowohl bei den Investitions- als auch

bei den Betriebskosten. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die anfallende Abwärme aktiv zu nutzen, etwa zur Gebäudebeheizung über Flächenheizungen oder Bauteilaktivierung. Die erschließt weitere ganz beträchtliche Einsparpotenziale.

Allerdings können mit diesem System nicht alle Wärmequellen auf den Server-Boards gekühlt werden. Neben den CPUs befinden sich dort viele kleinere Wärmequellen – z. B. Netzteile, Laufwerke, Speicherkarten, Grafikkarten ... – die nicht alle an die Wasserkühlung angeschlossen werden können. Etwa 50% der Abwärme muss weiterhin konventionell aus den Servern bzw. den Schränken entfernt werden. Dies geschieht sinnvollerweise weiterhin konventionell per Luftkühlung. Die Wärmelast für die Klimaanlage liegt dabei etwa bei der Hälfte verglichen mit reiner Luftkühlung, entsprechend kleiner können die Klimaanlage und die RLT-Einrichtungen im Rechenzentrum ausgeführt werden.



Auch in diesem Fall werden die Grenzen der Leistungsfähigkeit einer konventionellen Raumklimatisierung schnell erreicht. Werden mehr als 6 kW Wärme in einem Serverschrank freigesetzt, sind also mehr als 3 kW davon per Luft abzuführen, muss die Installationsdichte der Server pro Rack gegenüber dem geometrisch Möglichen reduziert werden.

Abhilfe ist dann auch hier wieder durch die zusätzliche Wasserkühlung des Schrankes, also die Kombination der beiden beschriebenen Konzepte möglich. Eine TCO-Studie hat gezeigt, dass diese Kombination unter Kostengesichtspunkten möglicherweise sogar die Ideallösung darstellt.

Das primäre Ziel dieser Lösung besteht darin, Hochleistungs-CPU's auch auf kleinstem Bauraum kühlbar zu machen. Die direkte Wasserkühlung von Prozessoren erlaubt, auch 150 W und mehr je CPU in Pizzabox- oder Blade-Servern sicher zu beherrschen. Test bis 200 W auf 10 cm² Fläche haben die Leistungsfähigkeit dieser Technologie bereits bewiesen. Letztlich geht es auch hier darum, eine möglichst hohe Dichte der Rechnerleistung je Gebäudefläche zu erreichen.

Ein weiteres, bislang kaum diskutiertes Potenzial dieser Lösung besteht darin, Prozessoren auf sehr niedrige Temperaturen zu kühlen um so mit höheren Taktfrequenzen fahren zu können. Dafür sind spezielle Vorkehrungen nötig, um eine Unterschreitung des Taupunkts und Kondensatbildung auf den Boards zu verhindern.

Wassergekühlte Server können nur in Zusammenarbeit mit einem Serverhersteller entwickelt und zum Einsatz gebracht werden. Zwar sind die erforderlichen Modifikationen nur gering, die hohen Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit schließen aber Nachrüstlösungen weitgehend aus. Da bislang noch keine standardisierten Schnittstellen zwischen wassergekühlten Servern und Schränken existieren, ist die volle Kompatibilität bisher nur zwischen den Produkten eines Herstellers gewährleistet. Sollte in einem Gebäude kein Kühlwasser zur Verfügung stehen, können wassergekühlte Server auch lokal an einer 19" Rückkühlleinheit betrieben werden.

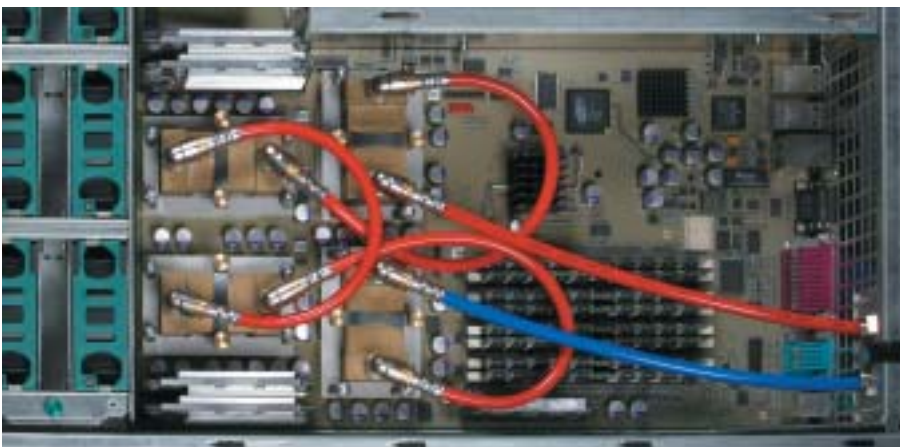
Daneben können in einem Rack für CPU-Kühlung beliebige andere konventionell gekühlte Komponenten



betrieben werden. Es bestehen keinerlei Einschränkungen bezüglich Verkabelung, Ein- und Ausbau von Komponenten.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert die zuverlässige und leckagesichere Ausführung des Flüssigkeitssystems in den Servern und im Schrank. Durch die große Anzahl von Servern bzw., Prozessoren kommen viele Komponenten mit ebenso vielen Verbindungsstellen zum Einsatz. Beherrschen lässt sich das nur durch die ausschließliche Verwendung robuster, getesteter und bewährter Komponenten aus prozesssicherer industrieller Produktion. Daneben werden alle Anforderungen an Redundanz sowie Überwachung erfüllt.

Ein weiteres wesentliches Sicherheitsmerkmal ist die HTU, eine Komponente, die im Schrank oder Doppelboden eingebaut, die gesamte Kühlwasserversorgung und Überwachung einer Schrankreihe übernimmt. Sie enthält neben einer redundanten Pumpengruppe, verschiedenen Ventilen, Sensoren und einer elektronischen Steuerung eine kontrollierte Schnittstelle zum Gebäudesystem. Wahlweise besteht diese aus einem groß dimensionierten Wärmetauscher oder zwei Magnetventilen, um so bei potenziellen Störfällen unabhängig vom Netz zu sein.



Schwarz auf Weiß:

Wir behaupten nicht, wir argumentieren mit einer Kosten-/Nutzen-Rechnung und sorgen für Wirtschaftlichkeit.

Kosten-Nutzen: Vergleichsstudie TCO

Zur Quantifizierung der Vorteile der Flüssigkeitskühlung wurde ein renommiertes Planungsbüro mit einer Vergleichsstudie (Total Cost of Ownership, TCO) beauftragt. Ausgangsbasis war ein Modellrechenzentrum, wie es im Hochleistungsbereich in naher Zukunft existieren wird. Grundlage: Das RZ besteht aus 2000 1 HE-Servern mit je-

weils 2 CPUs zu 125 W Wärmeabgabe. Weitere Bauelemente geben zusätzlich 250 W ab, jeder Server mithin 500 W.

Die Kühllast der Server für das gesamte Modellrechenzentrum beträgt insgesamt 1 MW. Die Wärmeabgabe weiterer Komponenten wurde zunächst nicht berücksichtigt.

Betrachtet wurden jeweils alle für die Kühlung relevanten Kosten für Investition und Betrieb:

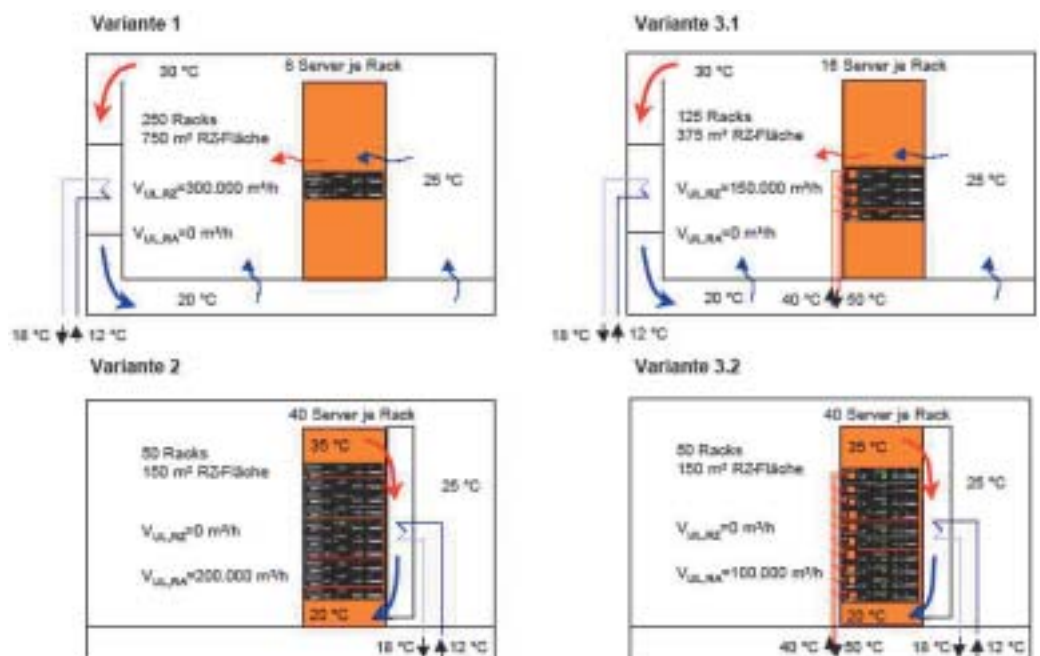
Bauwerk:	Rechenzentrum inkl. Rohbau, Doppelboden, Bodenbeläge, Malerarbeiten und Gaslöschanlage, Kältezentrale inkl. Rohbau, Bodenbeläge und Malerarbeiten
Lüftungstechnik:	Umluftkühlgeräte, Raumlufttechnische Anlagen
Kältetechnik:	Kompressionskältemaschinen, Rückkühlwerke trocken
Elektrotechnik:	USV, Netzersatzanlage, Niederspannungsanlagen, Server-Racks

Als wichtigste technische Randbedingungen wurde angenommen:

- COP der Kompressionskältemaschinen: 4,2
- Druckverlust der Umluftgeräte: 400 Pa
- Gleichzeitigkeitsfaktor der Rechner: 0,75
- Anteil freier Kühlung an der Jahresbetriebszeit: 0,3
- Referenzort für jahreszeitlichen Klimaverlauf: Würzburg
- Strom- und Wärmepreis: 5 ct/kWh

Vier verschiedene Kühlungsvarianten wurden verglichen:

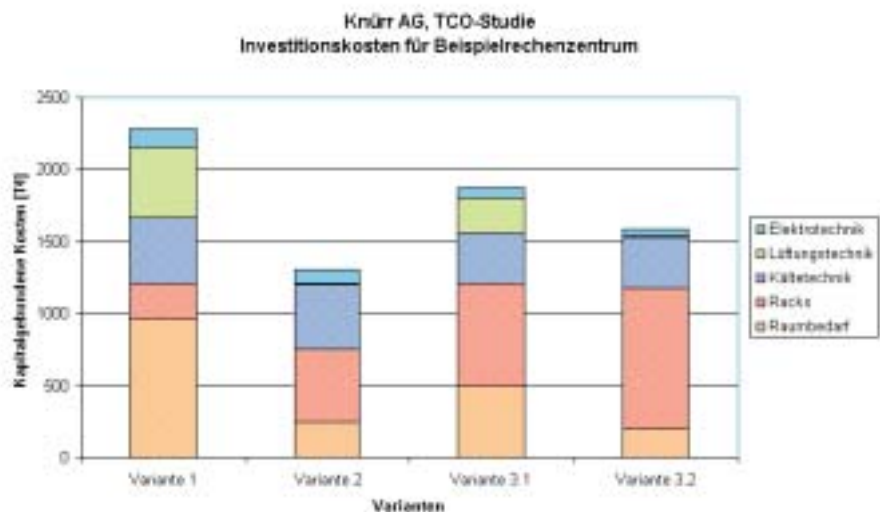
1. Konventionelle Umluftkühlung
2. Wassergekühlte Serverschränke – Knürr CoolTherm
- 3.1 Wassergekühlte CPUs / luftgekühlte Schränke
- 3.2 Wassergekühlte CPUs in wassergekühlten Schränken (Kombination 2. und 3.1)



Den größten Einfluss auf das Ergebnis hat der Flächenbedarf im Rechenzentrum. Im Fall der konventionellen Luftkühlung (**Variante 1**) begrenzt die Kapazität der Klimaanlage die mögliche Dichte der Server massiv. Nur acht Server können in einem Rack betrieben werden. Insgesamt werden 250 Racks benötigt, die etwa 750 m² Fläche incl. Gänge usw. benötigen (3 m² je Rack).

Werden die Schränke mit Wasser gekühlt (**Variante 2**) kann die maximal mögliche Anzahl von Servern in einem Rack betrieben werden. In einem Knürr CoolTherm mit 46 HE werden 6 Höheneinheiten für den Wärmetauscher benötigt, 40 stehen für die Server zur Verfügung. Insgesamt werden nur 50 Racks mit jeweils 20 kW Wärmeabgabe benötigt, der Flächenbedarf beträgt nur noch 150 m², also nur 20% des Ausgangswerts. Im Fall der reinen CPU-Kühlung (**Variante 3.1**) muss immer noch die Hälfte der anfallenden Wärme mit Luft abgeführt werden. Entsprechend ist auch hier die Serverdichte durch die Kühlleistung der Klimaanlage begrenzt. Pro Rack können 16 Server betrieben werden, der Flächenbedarf wird immerhin halbiert auf 375 m². Bei Variante 3.2 – hier sind die Schränke zusätzlich wassergekühlt – wird der gleiche Wert wie bei Variante 2 erreicht.

Bei den Investitionskosten schneidet ganz eindeutig die Variante 2 am besten ab. Die Vergleichsrelevanten Kosten gehen von 2,3 Millionen Euro um über 40% auf 1,3 Mio. Euro zurück. Hauptanteil daran haben – flächen-



bedingt – die Raumkosten und die Lüftungstechnik, die ja bis auf eine einfache Grundlüftung komplett entfallen kann. Gegenläufig sind die Kosten für die Racks, die durch den Mehraufwand für die Flüssigkeitskühlung, im Stückpreis deutlich angestiegen.

Bei **Variante 3.2** (Rack-Kühlung kombiniert mit CPU-Kühlung) ist der Aufwand für die Racks am höchsten, da hier zwei verschiedene Kühlsysteme eingebaut werden. Die Einsparung beim Flächenbedarf ist genauso groß wie bei Variante 2, ebenso bleiben nur minimale Kosten für die Lüftungstechnik. Der Aufwand für die Kältetechnik fällt um ca. 100.000 € geringer aus, da der Anteil der Prozessoren an der Abwärme (50 %) direkt auf hohem Temperaturniveau an die Umgebung abgegeben werden kann. Entsprechend können die Kältemaschinen erheblich kleiner dimensioniert werden.

Die Variante 3.1 (reine CPU-Kühlung) liegt bei der Kältetechnik gleichauf mit Variante 3.2, die Gebäudekosten gehen entsprechend dem Flächenbedarf nicht soweit zurück, die Kosten für die Racks liegen zwischen Variante 2 und Variante 3.1. Der Aufwand für die Lüftungstechnik liegt deutlich unter dem von Variante 1, aber weit über dem von Variante 2 und 3.2. Insgesamt bringt Variante 3.1 von allen Lösungen mit Flüssigkeitskühlung die geringste Einsparung bei den Investitionskosten – gegenüber Variante 1 aber immerhin noch fast 20%.

In allen Fällen wurde mit sehr konservativen – d.h. hohen – Kosten für flüssigkeitsgekühlte Racks gerechnet. Mit steigenden Stückzahlen ist noch eine ganz erhebliche Absenkung der Herstellungskosten zu erwarten. Der Vergleich der Investitionskosten verschiebt sich dann noch weiter zu Gunsten der flüssigkeitsgekühlten Lösungen.

Knürr hilft, den Aufwand zu verringern: Bis zu 40 Prozent weniger Investitionskosten, ein Fünftel geringere Betriebskosten!

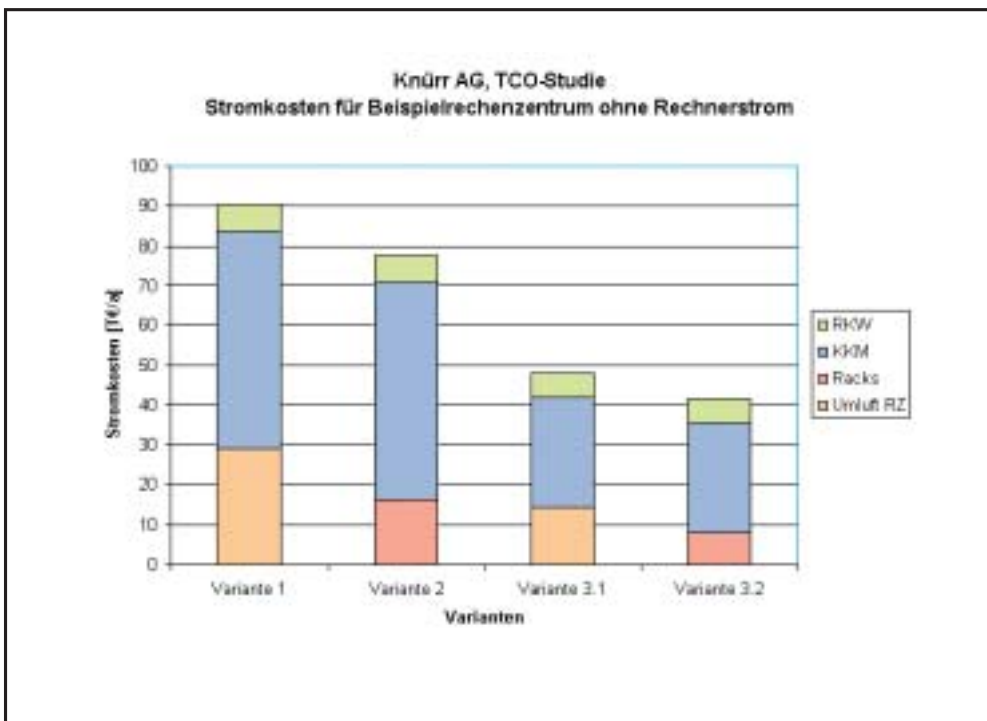
Etwas anders stellt sich der Vergleich bei den Betriebskosten dar. Beim Vergleich wurde der Stromverbrauch folgender Verbraucher berücksichtigt: Rückkühlwerke (RKW), Kom-

pressionskältemaschinen (KKM), Racks und Umluftgeräte. Dabei schneiden die beiden Varianten mit CPU-Kühlung (**3.1 und 3.2**) mit Abstand am besten ab. Der Grund

dafür ist darin zu suchen, dass nur 50% der Verlustleistung über Kältemaschinen abzuführen ist, während die Abwärme der Prozessoren direkt über Rückkühler an die Außenluft abgegeben werden kann.

Generell wird bei gleicher Kühlleistung für die Umwälzung der Kühlluft in flüssigkeitsgekühlten Schränken weniger Energie verbraucht als für Luftumwälzung im kompletten Raum. Dementsprechend liegt **Variante 2** besser als **Variante 1**, und **3.2** besser als **Variante 3.1**. Im günstigsten Fall lassen sich die Stromkosten mit **Variante 3.2** mehr als halbieren, sie sinken von etwa 90.000 € pro Jahr auf 41.000 €.

Zusätzlich besteht bei den **Varianten 3.1 und 3.2** die Möglichkeit, durch Nutzung der Abwärme zur Gebäudeheizung o.ä. etwa 33.000 € an Kosten für Wärmebezug einzusparen!



Altbacken?

Hitzeflecken (Hotspots) in Rechenzentren.

**Konventionelle
Luftkühlung
(Variante 1)**



Glänzende Lösungen:

Miracel CoolTherm

Rack-Kühlung (Variante 2)

Knürr's neueste Technologievariante

CPU-Kühlung (Variante 3.1)

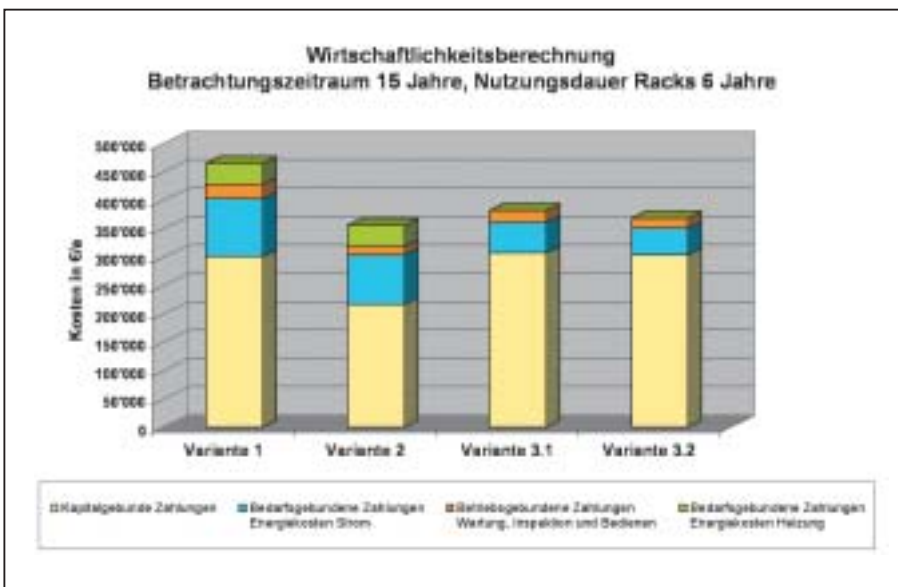


Den Gesamteffekt zeigt eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach dem Annuitätsverfahren (VDI-Richtlinie 2067), die kapitalgebundene, bedarfsgebundene (Strom), betriebsgebundene (Wartung, Inspektion, Bedienung) und weitere bedarfsgebundene (Abwärmenutzung) Kosten berücksichtigt.

konventionelle Klimatisierung. Die Kosten liegen pro Jahr um etwa 100.000 € niedriger. Dabei wurden bei den **Varianten 1 und 2** die mögliche Einsparung der **Varianten 3.1 und 3.2** durch Abwärmenutzung als Mehrkosten (grüner Balken) berücksichtigt. Lässt man die Möglichkeit der Abwärmenutzung außer Be-

Schränke verschiebt sich der Vergleich etwas mehr in Richtung **Variante 3.2** – vor allem, wenn dabei die Abwärme genutzt werden kann.

Zusammenfassend zeigt sich für alle Varianten der Flüssigkeitskühlung von Serverschränken bzw. CPUs ein enormes Einsparungspotenzial an Fläche und den damit verbundenen Kosten, an Anlagenkosten und an laufenden Betriebskosten im Rechenzentrum. Die „total cost of ownership“ (TCO) über den gesamten Nutzungszeitraum liegen ganz erheblich unter denen der konventionellen Klimatisierung. Diese Einsparung wird am einfachsten und wirkungsvollsten mit flüssigkeitsgekühlten Serverschränken – Knürr CoolTherm – erreicht. Die aufwendigere CPU-Kühlung kommt vorwiegend dann zum Einsatz, wenn die unmittelbare Verlustleistung der Prozessoren mit Luftkühlung nicht mehr beherrschbar ist oder wenn die Möglichkeit besteht, die Abwärme zu Heizzwecken zu nutzen.



Bei einer Nutzungsdauer der Racks von sechs Jahren schneiden alle drei Varianten der Flüssigkeitskühlung um reichlich 20% besser ab als die

tracht, liegt **Variante 2** - Knürr CoolTherm – bei dieser Nutzungsdauer noch deutlicher vorne. Für längere Nutzungsdauern der



Ideal!

Die Kombination beider Technologien **Wassergekühlter Schrank mit CPU-Kühlung (Variante 3.2)**


World-wide
... and close
to the
customer



-  **Australia**
Tel. +61 (0) 2 96 66 - 48 66
Fax +61 (0) 2 96 66 - 48 68
-  **Austria**
Tel. +43 (0) 1 - 9 70 22 - 0
Fax +43 (0) 1 - 9 70 22 - 9
-  **Belgium**
Tel. +32 (0) 3 - 450 7777
Fax +31 (0) 76 - 542 1015
-  **Brazil**
Tel. +55 (0) 15 - 263 - 2444
Fax +55 (0) 15 - 263 - 1024
-  **China**
Tel. +86 (0) 10 62 38 58 28
Fax +86 (0) 10 62 38 58 29
-  **Czech Republic**
Tel. +420 (0) 596 152 392
Fax +420 (0) 596 152 112
-  **Denmark**
Tel. +45 [] 44 85 04 85
Fax +45 [] 44 94 99 89
-  **Egypt**
Tel. +20 (0) 2 455 - 6744
Fax +20 (0) 2 256 - 1740
-  **Finland**
Tel. +358 (0) 19 - 8711 1
Fax +358 (0) 19 - 8711 500
-  **France**
Tel. +33 (0) 1 43 77 85 85
Fax +33 (0) 1 43 39 02 10
-  **Greece**
Tel. +30 (0) 310 - 69 11 90
Fax +30 (0) 310 - 69 11 80
-  **Hong Kong**
Tel. +852 28 51 22 11
Fax +852 28 51 20 60
-  **Hungary**
Tel. +36 (0) 1 4 21 - 30 08
Fax +36 (0) 1 4 21 - 30 00
-  **India**
Tel. +91 20 - 712 0121-4
Fax +91 20 - 712 0316
-  **Israel**
Tel. +972 (0) 9 - 892 44 44
Fax +972 (0) 9 - 892 44 55
-  **Italy**
Tel. +390 (0) 2 95 34 30 80
Fax +390 (0) 2 95 34 31 04
-  **Japan**
Tel. +81 (0) 4 26 - 56 - 58 11
Fax +81 (0) 4 26 - 56 - 58 08

-  **Netherlands**
Tel. +31 (0) 76 - 54 22 92 2
Fax +31 (0) 76 - 54 21 01 5
-  **Norway**
Tel. +47 [] 64 83 84 40
Fax +47 [] 64 83 84 50
-  **Poland**
Tel. +48 (22) 6 76 94 62
Fax +48 (22) 6 76 98 10
-  **Portugal**
Tel. +351 (21) 3 22 41 63
Fax +351 (21) 3 22 41 69
-  **Russia**
Tel. +7 (095) - 780 95 55
Fax +7 (095) - 780 95 56
-  **Russia**
Tel. +7 (095) - 755 68 19
Fax +7 (095) - 913 99 87
-  **Singapore**
Tel. +65 [] 67 73 - 1583
Fax +65 [] 67 73 - 1582
-  **Slovakia**
Tel. +421 (0) 2 - 64 28 78 81
Fax +421 (0) 2 - 64 28 78 91
-  **Spain**
Tel. +34 (91) - 8 89 89 61
Fax +34 (91) - 8 89 84 92
-  **Sweden**
Tel. +46 (0) 8 - 594 707 50
Fax +46 (0) 8 - 594 707 69
-  **Sweden**
Tel. +46 (0) 8 - 58 41 08 80
Fax +46 (0) 8 - 58 02 67 69
-  **Switzerland**
Tel. +41 (0) 1 8 06 54 54
Fax +41 (0) 1 8 06 54 64
-  **Taiwan**
Tel. +886 (0) 2 - 2276 - 10 19
Fax +886 (0) 2 - 2279 - 88 83
-  **United Arab Emirates**
Tel. +971 (0) 4 - 335 29 95
Fax +971 (0) 4 - 334 99 51
-  **United Kingdom**
Tel. +44 (0) 1480 49 61 25
Fax +44 (0) 1480 49 63 73
-  **USA**
Tel. +1 (805) 5 26 - 77 33
Fax +1 (805) 5 84 - 83 71

Customer Service Center

-  **Arnstorf • Germany**
Tel. +49 (0) 87 23 / 27-100
Fax +49 (0) 87 23 / 27-700

Geschäftsstellen

-  **Hamburg**
Tel. +49 (0) 41 01 / 40 01-0
Fax +49 (0) 41 01 / 40 01-99
- Köln**
Tel. +49 (0) 22 36 / 89 00-0
Fax +49 (0) 22 36 / 89 00-99
- Leipzig**
Tel. +49 (0) 3 41 / 2 45 15-0
Fax +49 (0) 3 41 / 2 45 15-99
- München**
Tel. +49 (0) 89 - 4 20 04-200
Fax +49 (0) 89 - 4 20 04-199
- Stuttgart**
Tel. +49 (0) 71 52 / 93 67-0
Fax +49 (0) 71 52 / 93 67-99



knürr
environments for electronics

Knürr AG
Global Headquarters

Mariakirchener Straße 38
94424 Arnstorf • Germany
Tel. +49 (0) 87 23 / 27 - 0
Fax +49 (0) 87 23 / 27 - 154
www.knuerr.com

www.knuerr.com

... just a click away!