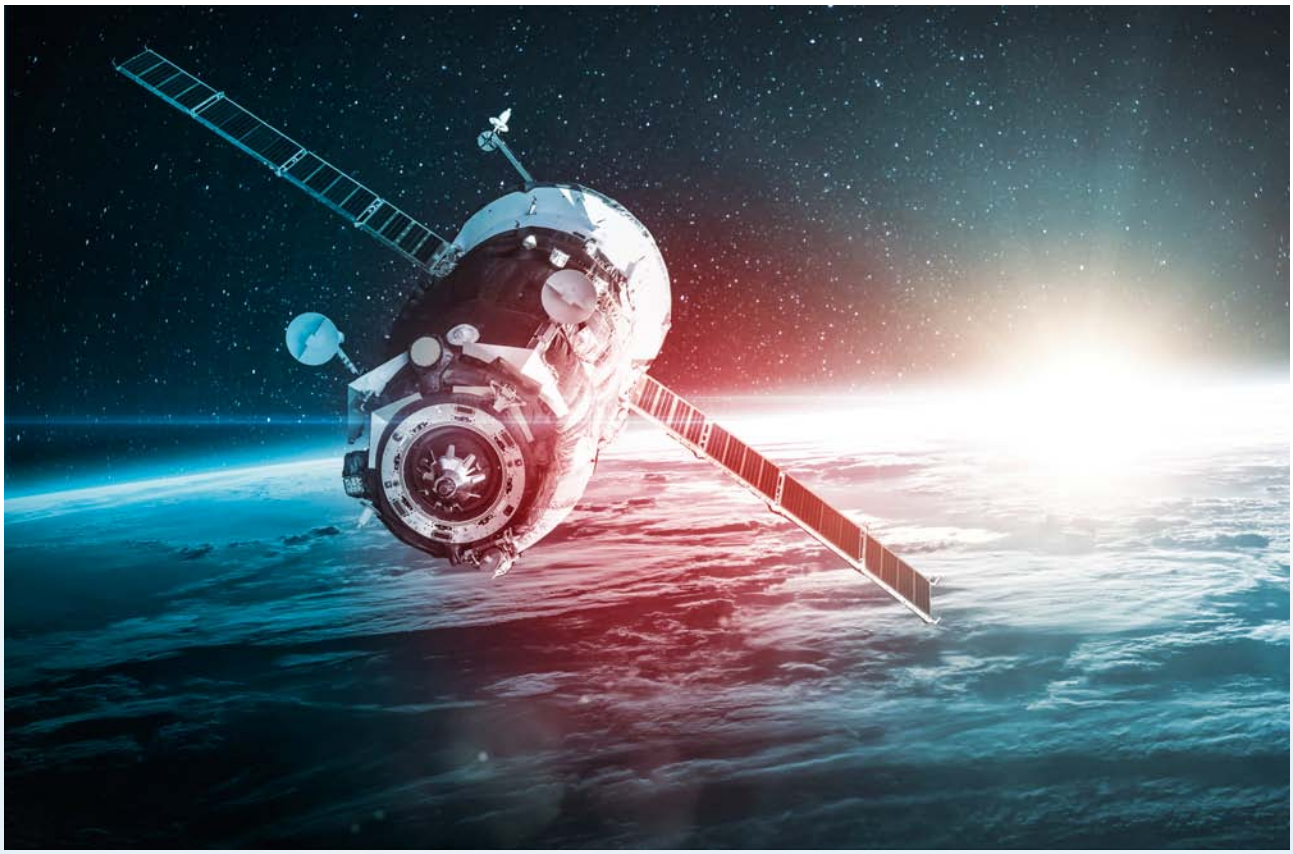
LAUDA

OKTOBER 2026

APPLICATION NOTE

BIS IN DEN ERDORBIT UND NOCH VIEL WEITER



Präzise Temperierung für die Verteidigungsindustrie – von der Vakuumkammer bis zur Materialprüfung

Ob Satellit, Rakete, Flugzeug oder Drohne – bei bodengestützten stationären und mobilen Systemen in der Verteidigungsindustrie gibt es selten eine zweite Chance. Komponenten müssen unter extremen Bedingungen zuverlässig funktionieren: im Weltall sogar bei nahezu absolutem Vakuum, bei Temperaturen weit jenseits der irdischen Norm, über Jahre hinweg ohne Möglichkeit zur Wartung oder Reparatur. Damit jede Mission gelingt, müssen alle Systeme und Bauteile unter realistischen Bedingungen getestet und qualifiziert werden. LAUDA liefert dafür die präzise Temperiertechnik – zuverlässig, reproduzierbar und weltweit im Einsatz bei führenden Unternehmen aus Raumfahrt, Avionik und Verteidigung.

Die härteste Prüfung vor dem Start: Temperierung in der Thermal-Vakuumkammer

Die Thermal-Vakuumkammer (TVK, oder geläufiger englisch: TVC) ist das zentrale Prüfinstrument der Luft- und Raumfahrt im zivilen Einsatz, aber auch in der Sicherheits- und Verteidigungsindustrie. Sie simuliert die Extrembedingungen der verschiedenen Hauptschichten der Erdatmosphäre: annäherndes Vakuum bei Drücken von unter 10^{-6} mbar sowie Temperaturen, die jenen entsprechen, welche Komponenten auf ihrer späteren Umlaufbahn ausgesetzt sein werden. Während Satelliten je nach Umlaufbahn auf der Sonnenseite der Erde Temperaturen von bis zu 150 °C erfahren und in der Schattenseite auf bis zu −190 °C abkühlen, müssen alle Elektronikkomponenten, Strukturbauteile und Subsysteme diese extremen Temperaturschwankungen schadlos überstehen.

Anders als in Industrien, in denen Stichproben zur Qualitätssicherung genügen, wird in der Raumfahrt jede einzelne Einheit einer vollständigen Testreihe unterzogen – ein Prozess, der mehrere Wochen dauern kann. Fehler, die erst im All entdeckt werden, sind schlicht nicht korrigierbar.

Das Prinzip der TVK-Temperierung

Im Inneren der Vakuumkammer umgibt eine sogenannte Shroud – eine temperierte Wandstruktur aus Edelstahl – den Prüfling zylinderförmig. Durch diese Doppelwand wird das Temperiermedium in einen geschlossenen Kreislauf gepumpt. Da im Vakuum keine Wärmeübertragung durch Konvektion möglich ist, erfolgt der Wärmeaustausch zwischen Shroud und Prüfling ausschließlich durch Wärmestrahlung. Das Temperiergerät muss daher die Shroud-Temperatur äußerst präzise und stabil halten – und dabei dynamische Temperaturwechsel schnell und reproduzierbar umsetzen.

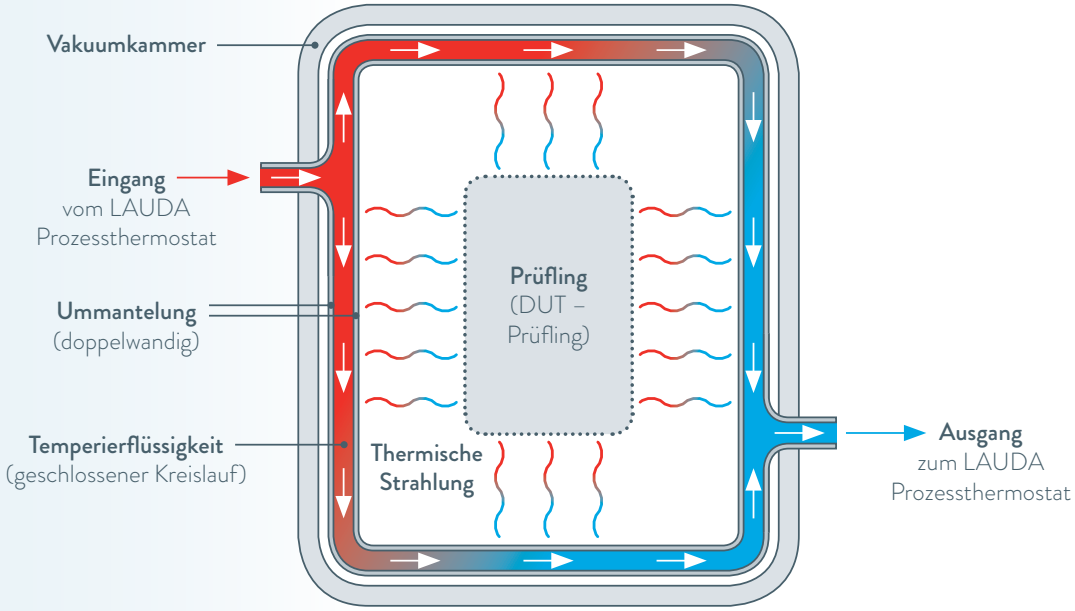


Abbildung 1:
Schemazeichnung einer Thermal-Vakuumkammer



Abbildung 2:
LAUDA Integral, angeschlossen an eine Thermal-Vakuumkammer

Testverfahren im Überblick
Typischerweise kommen in TVK-Prüfungen drei Testverfahren zum Einsatz:

- **Thermal-Cycling-Test:**
Der Prüfling wird einer definierten Anzahl von Temperaturzyklen zwischen tiefen und hohen Temperaturen ausgesetzt. Dabei wird die Funktionstüchtigkeit nach jedem Zyklus überprüft. Typische Temperaturbereiche liegen zwischen −40 und 80 °C für Elektronikkomponenten, können jedoch je nach Anwendung deutlich weiter reichen. Für Anwendungen mit höchsten Anforderungen an die Kälteleistung setzt LAUDA in speziellen Testszenarien flüssigen Stickstoff ein und erreicht damit zuverlässig Temperaturen von unter −100 °C.

- **Thermal-Balance-Test:**
Dient der Validierung des thermalen Mathematikmodells des Satelliten oder der Komponente. Die Temperaturverteilung im Inneren wird ermittelt und mit den Berechnungen abgeglichen. Abweichungen führen zur Anpassung von Isolierung, Reflektoren oder Heizelementen.

- **Belastungs- und Stresstest:**
Um die Grenzen der Komponenten zu ermitteln und Sicherheitsmargen zu verifizieren, werden Extrembedingungen gezielt überschritten – einschließlich Temperaturen von unter −100 bis weit über 100 °C.

LAUDA Temperierlösungen für die Vakuumkammer
LAUDA Integral XT Prozessthermostate sind in Thermal-Vakuumkammern weltweit im Einsatz. Ihre Stärke liegt in der Kombination aus großem Temperaturbereich, hoher Temperaturstabilität und leistungsstarker Pumpe – entscheidende Eigenschaften für die anspruchsvolle Shroud-Temperierung. Wassergekühlte Varianten ermöglichen dabei eine besonders kompakte und effiziente Integration in enge Testumgebungen, in der eine ausreichende Luftzirkulation für den Einsatz eines luftgekühlten Temperiergerätes bauseits nicht möglich ist.

Für Anwendungen, die tiefere Temperaturen als −40 °C erfordern – etwa beim Test von Triebwerkskomponenten, Treibstoffsystemen oder Satelliten-Subsystemen unter kryogenen Bedingungen, ergänzen die LAUDA Integral Prozessthermostate mit zweistufiger Kältetechnik das Portfolio. Ihr tiefer Temperaturbereich bis −90 °C ermöglicht auch anspruchsvollste Tieftemperaturqualifizierungen.

Für die Kühlung der Vakuumpumpen selbst, die in der TVK-Umgebung erhebliche Abwärme erzeugen, werden zudem LAUDA Ultracool Umlaufkühler eingesetzt – eine Anwendung, die für den stabilen Betrieb der Kammer unverzichtbar ist.

Zur Anlagenintegration bietet LAUDA flexible Schnittstellenoptionen: Analoge und digitale Schnittstellen sowie Feldbus-Anbindungen eröffnen die Möglichkeit der nahtlosen Einbindung in automatisierte Testumgebungen und übergeordnete Prüfstandsteuerungen.

Stresstest für bodengestützte Systeme: Die Umweltsimulationskammer
Innerhalb der Sicherheits- und Verteidigungsindustrie stellen Stresstests sicher, dass missionskritische Komponenten extremen physischen, klimatischen und elektronischen Belastungen standhalten. So werden bei der Umweltsimulation diese Komponenten extremen Bedingungen wie Salznebel, hoher Luftfeuchtigkeit, rapiden Temperaturwechseln und Wüstenstaub ausgesetzt, um Korrosion und Ausfälle zu verhindern. Präzise und zuverlässige Temperiergeräte, wie der LAUDA Integral XT, ermöglichen dabei die exakte Simulation dieser Temperaturbedingungen – von extremer Kälte bis hin zu hohen Hitzebelastungen – und gewährleisten so Testergebnisse nach Militärstandards.

Weitere Anwendungsfelder: Materialprüfung und Sensorik
Neben der Vakuumkammer-Temperierung und der Umweltsimulation bedient LAUDA zwei weitere, eng verwandte Anwendungsfelder in der Luft- und Raumfahrtindustrie:

Materialprüfung bei Extremtemperaturen
Werkstoffe, die in der Luft- und Raumfahrt sowie im Verteidigungsbereich eingesetzt werden – von hochfesten Aluminiumlegierungen über Titanlegierungen bis hin zu faserverstärkten Kunststoffen –, müssen ihre mechanischen Eigenschaften über ein breites Temperaturspektrum hinweg zuverlässig beweisen. Normierte Prüfverfahren wie der **Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy (DIN EN ISO 148-1)**, Biege- und Falltests erfordern eine präzise Vorkonditionierung der Probekörper auf definierte Prüftemperaturen – weit unterhalb oder oberhalb der Raumtemperatur.

Die entscheidenden Anforderungen an die Temperiergeräte sind dabei neben den erreichbaren Temperaturgrenzen vor allem **Badöffnung** und **Badtiefe**, **Reproduzierbarkeit**, **Temperaturgleichmäßigkeit im Bad** und **Transfergeschwindigkeit**: Gerade beim Kerbschlagbiegeversuch muss die Probe nach der Konditionierung in wenigen Sekunden in die Prüfmaschine überführt werden. Jede Verzögerung verfälscht das Ergebnis.

Die Proline Kryomate und Universa MAX Badthermostate ermöglichen die Vorkonditionierung: Sie generieren stabile, gleichmäßige Badtemperaturen und bieten kurze Stabilisierungszeiten – die Grundlage für normkonforme und vergleichbare Prüfergebnisse.

Temperierung und Kalibrierung von Sensoren
Moderne Luftfahrt- und Verteidigungssysteme sind auf eine Vielzahl hoch präziser Sensoren angewiesen: Temperatursensoren, Inertialsensoren, Gyroskope und Beschleunigungsmesser müssen über ihren gesamten Betriebstemperaturbereich hinweg exakt kalibriert sein. Temperaturdriften oder Messungenauigkeiten, die bei Raumtemperatur vernachlässigbar erscheinen, können in der Praxis zu kritischen Navigations- oder Regelungsfehlern führen.

LAUDA Temperiergeräte und -anlagen liefern die präzise, stabile Temperaturumgebung, die für die Kalibrierung solcher Sensoren unabdingbar ist. Ob Kältethermostate für Tieftemperaturkalibrierungen oder Hochtemperatur-Badthermostate für die Hochtemperaturcharakterisierung – über mehrere LAUDA Gerätelinien hinweg wird so ein Temperaturspektrum von −90 bis 320 °C abgedeckt.

LAUDA – Kompetenz, die weltweit überzeugt
In der Luft- und Raumfahrt sowie Sicherheits- und Verteidigungsindustrie zählt vor allem eines: Verlässlichkeit. LAUDA Temperiergeräte und -anlagen sind bei Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, Systemintegratoren sowie Prüfdienstleistern auf allen Kontinenten im Einsatz – von Satellitentestlaboren in Europa über Raumfahrtunternehmen in den USA bis hin zu Verteidigungsunternehmen in zahlreichen Ländern der ganzen Welt. Als leistungsstarker Partner bietet LAUDA eine große Bandbreite des Portfolios vom kompakten Laborgerät bis zur maßgeschneiderten Prozesslösung, langlebig und wartungsfreundlich.

Ganz im Sinne der LAUDA Philosophie: ›Mit exakten Temperaturen gemeinsam die Welt verbessern.‹

LAUDA DR. R. WOBSER GMBH & CO. KG
Laudaplatz 1 • 97922 Lauda-Königshofen • Deutschland
www.lauda.de