

Whitepaper

Wirtschaftlich Temperieren

Die optimale Lösung zur Temperierung von Reaktoren

Reaktortemperierungen in Pharma- und Chemielaboren sowie in Industrie- und Versuchsanlagen erfordern den Einsatz hochdynamischer Temperiersysteme. Bei der Überwachung von Reaktoren müssen endo- und exotherme Reaktionen im Inneren von Reaktoren extrem schnell und sicher kompensiert werden. Hier kommt es daher besonders auf die richtige Auswahl des passenden Temperiersystems unter Berücksichtigung verschiedenster Bedingungen und Einflussfaktoren an. Dieser Beitrag bietet Ihnen Anhaltspunkte, um für Ihre Anwendung die optimale und effizienteste Lösung zu bestimmen.



Inhaltsübersicht

Reaktortemperierung	1
Prozesssicherheit	2
Investitionssicherheit	3
Bediensicherheit	4
Checklisten	
Checkliste 1: Prozesssicherheit	6
Checkliste 2: Investitionssicherheit	7
Checkliste 3: Bediensicherheit	8

Reaktortemperierung

In der Praxis kommen Reaktoren aus Glas oder Stahl zum Einsatz. Stahlreaktoren sind robuster und damit auch stärker belastbar. Dagegen bieten Glasreaktoren einen Blick auf die Vorgänge im Inneren des Reaktors. Glasreaktoren jedoch erfordern umfangreichere Sicherheitsmaßnahmen beim Betrieb.

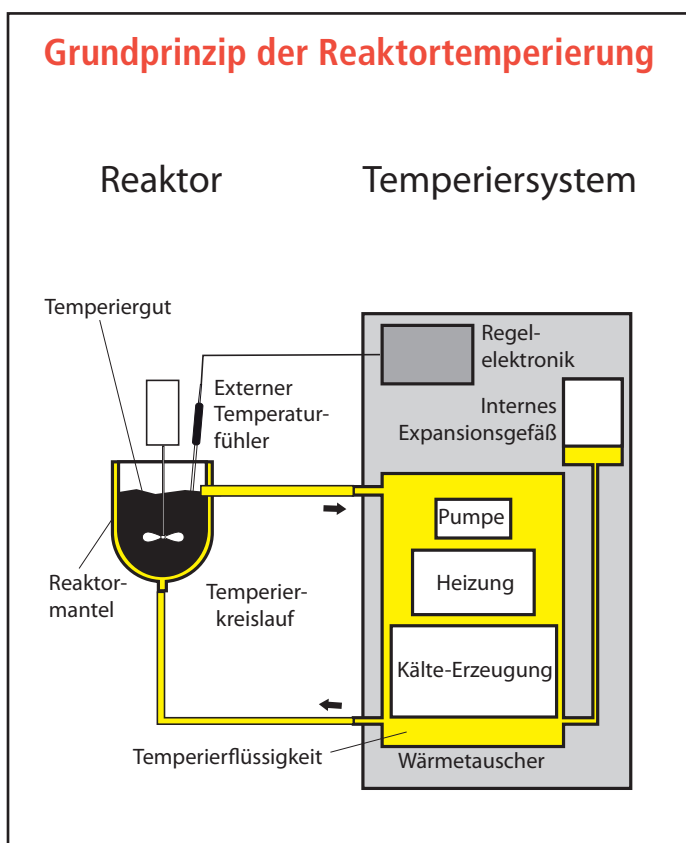
Grundsätzlich bestehen Reaktoren aus einem Innengefäß für die zu temperierende Substanz – auch als Temperiergut bezeichnet. Das Innengefäß ist von einem Mantel umschlossen, in dem sich eine Temperierflüssigkeit befindet. Das Temperiersystem ist über vorbereitete Anschlüsse mit dem Reaktormantel verbunden.

Bei der Reaktortemperierung pumpt das Temperiersystem permanent die Temperierflüssigkeit durch den Mantel des Reaktors. Plötzliche Temperaturveränderungen im Reaktorinneren werden durch schnelles Aufheizen oder Abkühlen der Temperierflüssigkeit dynamisch ausgeglichen. Das Aufheizen oder die Abkühlung der Temperierflüssigkeit findet innerhalb des Temperiersystems statt. Das Grundprinzip der Reaktortemperierung wird im nebenstehenden Prinzipbild veranschaulicht.

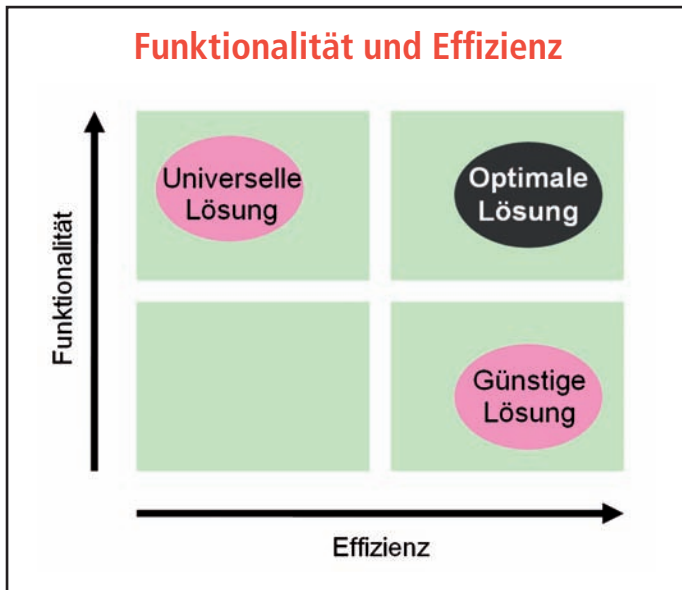
Beispiele für Reaktoranwendungen

- Miniplantanlage, Technik (z.B. Pharma-, Chemieindustrie)
- Materialstresstests (z.B. Autoindustrie, Flugzeugbau, Weltraumforschung)
- Temperatursimulation

Grundprinzip der Reaktortemperierung

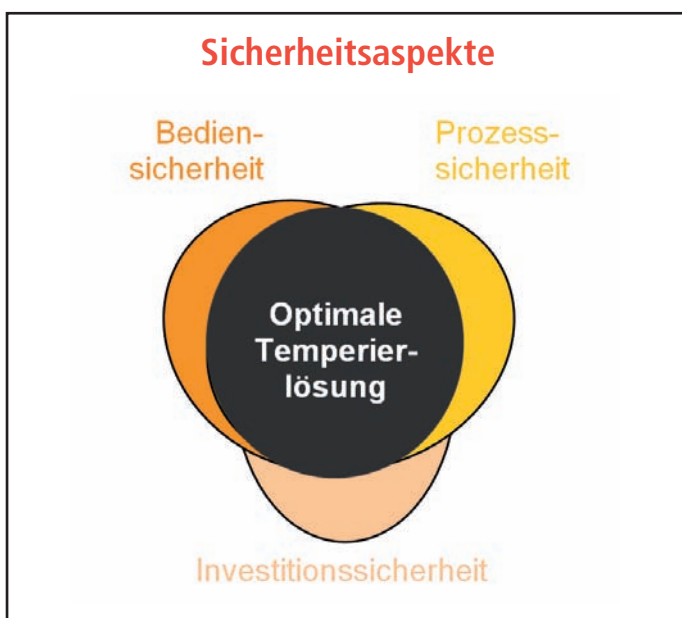


Bei der Auswahl eines hochdynamischen Temperiersystems müssen verschiedene Bedingungen und Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Ziel muss es sein eine Temperierlösung zu finden, die für den geplanten Einsatz die optimale Funktionalität und größtmögliche Effizienz zu bieten hat. In der folgenden Grafik wird dieser Zusammenhang noch einmal visualisiert.



Wie lässt sich nun eine optimale Temperierlösung bewerten? Um ein sinnvolles Bewertungssystem zu finden macht es Sinn, die Sicherheit an sich als Ausgangspunkt zu benennen. Schließlich soll eine Entscheidung gefällt werden, die Sicherheit in vielerlei Hinsicht verspricht. Die Sicherheit des Bedienpersonals wird in der weiteren Betrachtung als oberste Forderung vorausgesetzt. Für eine Entscheidung sollen vielmehr drei weitere wesentliche Sicherheitskriterien betrachtet werden. Als erstes die Sicherheit für den Prozess, schließlich soll die Anwendung 100-prozentig funktionieren. Als Nächstes die Sicherheit für die Investition, wobei hier einerseits das „gut angelegte Geld“ für das Temperiersystem und andererseits der Schutz von kostenintensiven Reaktoranlagen betrachtet werden. Als drittes Kriterium spielt die sichere Bedienung des Temperiersystems eine wichtige Rolle.

Zusammengefasst vereint die optimale hochdynamische Temperierlösung drei Sicherheitsaspekte: Prozesssicherheit, Investitionssicherheit und Bediensicherheit. Die folgende Grafik zeigt, dass für eine Entscheidung die größtmögliche Schnittmenge aller drei Sicherheitskriterien



anzustreben ist.

Im Folgenden gilt es nun, jeden dieser drei Sicherheitsaspekte näher zu beleuchten und dabei die jeweils wichtigen Entscheidungskriterien herauszufinden.

Prozesssicherheit

Bei der hochdynamischen Temperierung von Reaktoren werden die Temperierergebnisse allein schon durch die Materialart und die Konstruktion des Reaktors erheblich beeinflusst. Eine Glaswand liefert selbstredend einen anderen Wärmeübergang als eine Stahlwand.

Aber auch die Oberfläche und die Wandstärke haben enormen Einfluss auf die Erreichung einer hohen Genauigkeit beim Temperierprozess. Sehr wichtig ist, dass der Anwender immer für eine gute Durchmischung des Temperiergutes im Reaktor sorgt. Damit ist eine gute Homogenität gesichert, die wiederum einen optimalen Wärmeaustausch gewährleistet.

Durch Vorgaben in der Druckgeräterichtlinie 97/23/EG und der Hersteller von Reaktoren gibt es für jeden Reaktortyp maximal zulässige Druckwerte. Die gewählte Temperierlösung darf diese Grenzwerte während des Betriebes keinesfalls überschreiten. Vor der Inbetriebnahme einer Temperierlösung müssen am Temperiergerät je nach eingesetztem Reaktor die entsprechenden Grenzwerte eingegeben werden.

Ein weiteres reaktorspezifisches Kriterium ist die maximal zulässige Temperaturdifferenz (Delta-T-Limit). Diese Differenz beschreibt das Maximum zwischen der Vorlauftemperatur und der Temperatur des Reaktorinhaltes. Auch hier sind Glasreaktoren wesentlich sensibler als Stahlreaktoren. Am Temperiergerät sollten daher Möglichkeiten gegeben sein, reaktorabhängige Grenzwerte für Delta-T-Limit pro Zeiteinheit eingeben zu können.

In einem Temperiersystem selbst haben folgende drei Komponenten erheblichen Einfluss auf die Prozesssicherheit:

- Wärmetauscher
- Pumpe
- Regelelektronik

Die Temperierlösung muss die erforderlichen Kälte- und Heizleistungen liefern können. Kälte- und Heizleistung haben großen Einfluss auf die Geschwindigkeit, mit der bestimmte Temperaturwerte erreicht werden. Für die Ermittlung der benötigten Leistung sind die Masse des Temperierguts, erforderliche Temperaturunterschiede, gewünschte Abkühl- oder Aufheizzeiten sowie die spezifische Wärmekapazität des Temperiermediums zu berücksichtigen.

Hochdynamische Temperiersysteme sind als luft- oder wassergekühlte Geräte im Angebot. Luftgekühlte Geräte verbrauchen kein Wasser und sind daher unabhängig bei der Standortwahl. Diese Geräte nutzen für den Wärmeaustausch die Umgebungsluft. Wassergekühlte Geräte müssen an eine vorhandene Kühlwasserleitung angeschlossen werden, arbeiten dafür leiser. Je nach Beschaffenheit des Temperiersystems kön-

Ermittlung Kälte- und Heizleistung

$$Q = (m \cdot c \cdot dT) / t$$

Q = erforderliche Kälte-/Heizleistung in kW

m = Materialmasse in kg

c = spezifische Wärmekapazität

(Wasser = 4,2 / Ethanol = 2,5 / Silikonöl = 1,8)

dT = erforderlicher Temperaturunterschied in °C

t = erwünschte Abkühl- bzw. Aufheizzeit in Sekunden

nen wassergekühlte Systeme in einer Anlage komplett umbaut werden. Die im Temperiersystem integrierte Pumpe muss leistungsstark ausgelegt sein, um hohe Durchflussraten bei gleichbleibendem Druck zu erzielen. Die Pumpe sollte den erforderlichen Druck schnell und unter ständiger Kontrolle aufbauen, um die bereits erwähnten Druckgrenzwerte des Reaktors nicht zu übersteigen. Die Einstellung der Pumpenleistung sollte entweder über Stufen oder über einen vorgegebenen Druckwert möglich sein, wobei immer die Druckwerte und Betriebsbedingungen des Reaktors zu beachten sind. Spezielle Temperiersysteme haben Pumpen, die Viskositätsänderungen im Temperiermedium selbsttätig dynamisch ausgleichen und damit eine stetige Aufrechterhaltung der Energieeffizienz sicherstellen. Denn die Viskosität ändert den Durchfluss und damit auch die Energieübertragung. Einen zusätzlichen Vorteil bieten magnetgekoppelte Pumpen, denn sie gewährleisten einen hydraulisch dichten Kühlkreislauf. Einen weiteren Nutzwert bietet die Pumpe, wenn sie selbstschmierend und somit quasi wartungsfrei arbeitet.

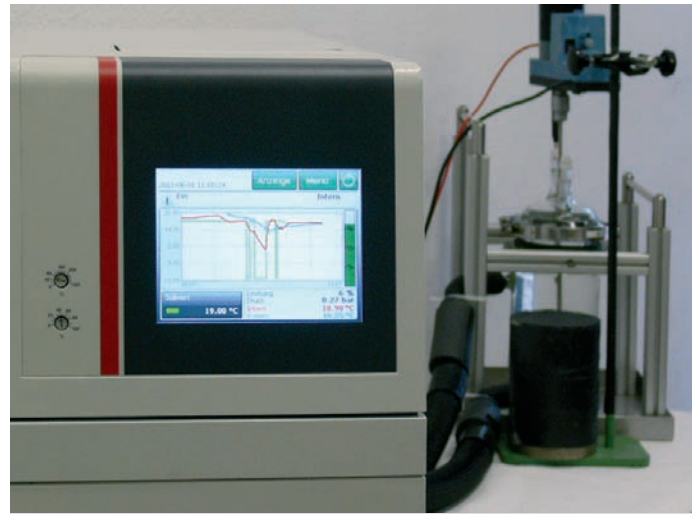
Der Temperierkreislauf muss als geschlossener Kreislauf ausgelegt sein, damit die Temperierflüssigkeit keinen Kontakt zur Umgebungsluft bekommt. Das vermeidet Feuchteintrag, Oxidation und verhindert den Austritt von Öldämpfen in die Arbeitsumgebung. Temperaturbedingte Volumenänderungen im Wärmetauscher müssen durch ein Expansionsgefäß permanent aufgefangen werden. Geräteinterne Expansionsgefäße müssen also ausreichend groß dimensioniert sein. Zusätzlich sollte eine separate Kühlung des Expansionsgefäßes dafür sorgen, dass sich das Temperiergerät selbst nicht zu stark erhitzt und somit keine Verletzungsgefahren für den Anwender bestehen.

Ein Temperiersystem sollte robust beschaffen sein und auch bei erhöhten Raumtemperaturen zuverlässig arbeiten. Oftmals zeigt sich, dass das Idealbild von +20 °C Umgebungstemperatur nicht die realen Arbeitsbedingungen darstellt. Schon der Einsatz in einer Miniplant Anlage stellt das System vor höhere Anforderungen. Auch während der heißen Sommermonate sind Temperiersysteme äußerst kritischen Situationen ausgesetzt. Ausgelöst durch Energiesparmaßnahmen ist in den Labors generell mit höheren Raumtemperaturen zu rechnen. Diese Beispiele verdeutlichen den Vorteil von Temperiersystemen, die auch bei einer Umgebungstemperatur von über +35 °C immer noch zuverlässig ihre Arbeit verrichten.

Beim Temperierprozess kommt es auf eine hochpräzise Regelung der Temperatur an. Eine ausgeklügelte Regelelektronik im Temperiersystem sollte permanent den Prozess im Reaktor und die internen Prozesse im System überwachen und kontrollieren, um bei Veränderungen der Regelgröße diese schnell wieder an den Sollwert nachzuführen – und das möglichst überschwingungsfrei. Eine präzise Regelelektronik ist eine wichtige Voraussetzung für eine hohe Konstanz in der Temperieranwendung. Ein Kriterium zur Bewertung der Regelelektronik ist der Aufwand für das Parametrieren. Optimale Temperiersysteme erfordern vom Anwender lediglich die Eingabe eines Sollwertes. Während des Temperiervorgangs sorgt dann die Regelelektronik selbstoptimierend

für perfekte Ergebnisse.

Zusammengefasst können wir festhalten, dass die Prozesssicherheit beim Temperieren einer Reaktorapplikation vom Reaktortyp, vom optimalen Wärmeaustausch und von hocheffizienten Komponenten im Temperiersystem abhängt.



Hochdynamisches Temperiersystem im Einsatz

Investitionssicherheit

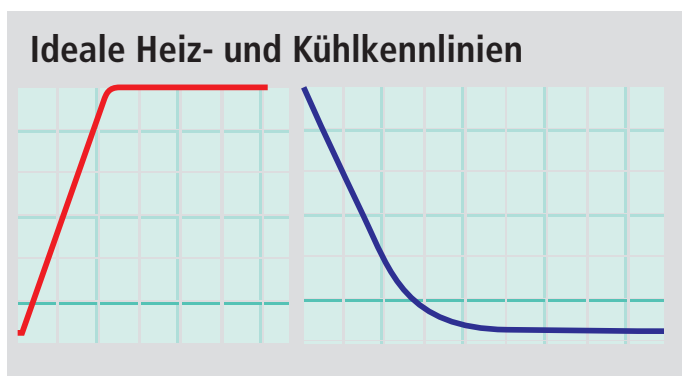
Ein hochdynamisches Temperiersystem ist eine beträchtliche Investition. Nicht selten liegen die Kosten für die Reaktorapplikation und das Temperiergut noch um ein Vielfaches höher. In diesem Sinn zählt bei der Auswahl eines Temperiersystems nicht nur ein möglichst schneller Return on Invest (ROI), sondern immer auch die Sicherheit der jeweiligen Anlage und des Temperiergutes. Unter diesem Gesichtspunkt sind folgende Aspekte für die Auswahl eines Temperiersystems in Betracht zu ziehen. Die im Temperiersystem integrierte Pumpe sorgt auch für Investitionssicherheit, wenn sie erforderliche Drücke unter ständiger Kontrolle aufbaut und damit die Applikation schützt. Ist sie als selbstschmierende Baugruppe ausgelegt, so sorgt ihre verschleißfreie Arbeitsweise für weniger Wartungsfälle und senkt damit Folgekosten und Ausfallzeiten. Ein weiteres Kriterium ist der Arbeitstemperaturbereich, der als Investitionsaspekt mit flexibler Anwendbarkeit des Temperiergerätes zu Buche schlägt. Je größer der Arbeitstemperaturbereich, desto flexibler kann das Temperiersystem eingesetzt werden. Im Idealfall kann zum Beispiel in Labors, in denen mehrere Versuchsreihen in kurzen Zeitabständen und mit unterschiedlichen Temperaturen laufen, ein und dasselbe Gerät mit einem entsprechend großen Arbeitstemperaturbereich alle diese Arbeiten erledigen.

Fällt die Wahl auf ein wassergekühltes Gerät, dann ist es vorteilhaft, wenn ein robuster und verschleißfreier Verflüssiger im Gerät integriert ist. Dieser gewährleistet im Grunde, dass verschmutztes Kühlwasser den Wärmetauscher nicht verstopft.

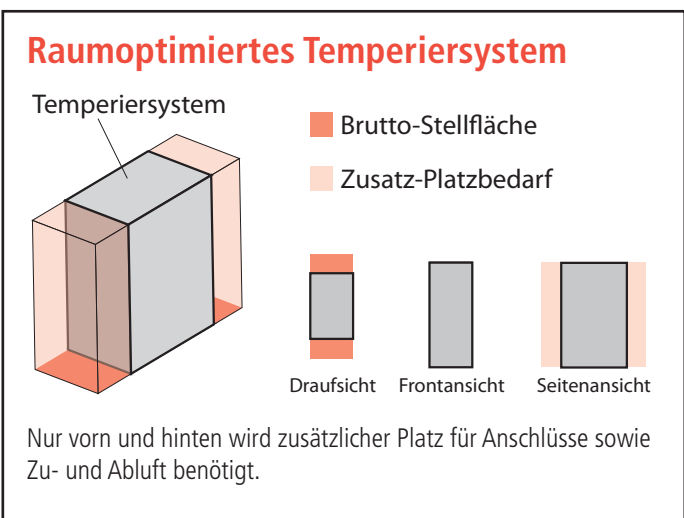
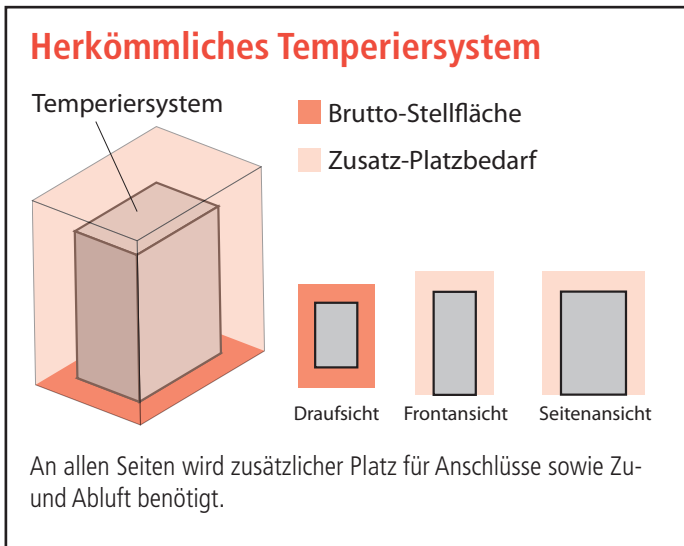
Ein luftgekühltes Gerät hilft Ihnen, kostbares Kühlwasser zu sparen.

Auch im sogenannten „Kleinen“ lässt sich die Investition beeinflussen. Zum Beispiel garantiert ein geschlossener Temperierkreislauf höhere Standzeiten der Temperierflüssigkeit.

Nicht jeder Gewinn muss sich in Geldwerten bemerkbar machen. Genauso wichtig ist es, wie viel Platz ein Temperiersystem benötigt. Je kleiner die Stellfläche, desto mehr Raumgewinn für das Labor. Ein nicht zu unterschätzender Gewinn, besonders wenn in einem Labor oder einer Anlage die Platzbedingungen von großer Bedeutung sind. Bei der Bewertung des Nutzraumes für ein Temperiersystem ist es besonders



wichtig, nicht nur die reine Stellfläche zu betrachten. In die Bewertung müssen unbedingt auch der Platzbedarf für alle Anschlüsse und benötigte Abstände für die Zirkulation der Umluft mit einbezogen werden. Bei einem raumoptimierten Temperiersystem finden Sie Anschlüsse und Lüftungsschlitze maximal an Vorder- und Rückseite. In diesem Fall haben Sie Platz gewonnen, denn jegliche Laborgeräte können auch eng an den Seiten dieses Gerätes aufgestellt werden. Im ungünstigsten Fall verlieren Sie neben der angegebenen Stellfläche noch zusätzlichen Raum, weil Sie Platz für Anschlüsse und/oder für Zu- und Abluft frei lassen müssen.



Nicht zuletzt ist eine hohe Investitionssicherheit durch die lange Lebensdauer des Temperiersystems gewährleistet. Hier muss auf jeden Fall der Anwender seinen Beitrag leisten, zum Beispiel durch vorbeugende Wartungsmaßnahmen, wie etwa die Reinigung des Verflüssigers bei luftgekühlten Geräten. Darüber hinaus spielt die Service- und Supportqualität der Anbieter von Temperierlösungen eine wichtige Rolle. Neben kompetenter Beratung, intensiver Kundenbetreuung sowie Unterstützung bei Installation oder Kalibrierung sollte auch die Bereitstellung aller nötigen Unterlagen zur Gerätequalifizierung für das betreffende Unternehmen kein Problem darstellen. Grundsätzlich sollten alle Vorgaben und Bedingungen am jeweiligen Einsatzort erfüllt sein, wie zum Beispiel ein standortgerechter Stromanschluss.

Zusammenfassend gesehen sind auch für die Investitionssicherheit hocheffiziente Komponenten innerhalb des Systems von Bedeutung. Darüber hinaus sollte das Temperiergerät hohen Qualitätsmaßstäben unterliegen. DIN EN ISO 9001 zertifizierte Anbieter setzen mit die-

Whitepaper „Optimale Temperierlösung“

sem weltweit anerkanntem Zertifikat ein deutliches Zeichen für hohe Qualität. In bestimmten Märkten verspricht auch die Marke „Made in Germany“, dass dieses Gerät zahlreiche Tests absolviert hat und somit verlässlich Ihre Investition sichert.

Bediensicherheit

Eine hohe Bediensicherheit muss grundsätzlich der Betreiber der Anlage, zu der auch das hochdynamische Temperiersystem gehört, sicherstellen. Hierzu verweist die Maschinenrichtlinie 98/37/EG darauf, dass der Betreiber dafür Sorge zu tragen hat, dass der Benutzer einer Anlage eingewiesen ist und über das benötigte Knowhow verfügt. Anspruchsvolle Hersteller von Temperiersystemen belassen es jedoch nicht dabei. Vielmehr sind sie ständig bemüht, in ihre Temperiersysteme immer bessere Möglichkeiten zu integrieren, die den Anwender bei Installation, Inbetriebnahme und im Laboralltag zuverlässig unterstützen. Sie können also bei einem Temperiersystem schon darauf achten, welche Handlungen für Installation und Inbetriebnahme erforderlich sind. Je einfacher die nötigen Handlungen zu absolvieren sind, desto schneller ist das System einsatzbereit.

Die modernsten Temperiersysteme bieten eine klare und übersichtliche Darstellung aller wichtigen Informationen in Form von Werten, grafischen Darstellungen und Hinweisen im Klartext. In der Anwendung ist es ein enormer Zeitfaktor, wie schnell Informationen auf dem Display parat sind und dass sie nicht erst entschlüsselt werden müssen. Deshalb sollte die Anzeige auf großzügig ausgelegten Displays erfolgen. Eine integrierte Touchfunktion steigert die Benutzerfreundlichkeit des Temperiersystems zusätzlich. Moderne Nutzerflächen erlauben heute schon die Verwaltung mehrerer Nutzerebenen über Passwörter. Der Administrator kann häufige Alltagsarbeiten im Voraus parametrieren. Die Mitarbeiter haben eingeschränkte Zugriffsrechte und rufen nur noch die Einstellungen ab. Das erleichtert die Abläufe im Labor und verhindert unbeabsichtigte Parameteränderungen und Fehlbedienungen.



Anzeige und Bedienung über Farb-Industrie-Touchpanel

Ein weiteres Kriterium für eine hohe Bediensicherheit sind umfangreiche Schnittstellen, um das Temperiersystem über Netzwerke fernsteuern bzw. in Leitsysteme einbinden zu können. Nicht immer ist die direkte Bedienung am Temperiersystem gewünscht, in bestimmten Fällen sogar unmöglich. Hier bieten moderne Schnittstellenstandards, wie Ethernet oder USB, ideale Möglichkeiten, aus der Ferne auf alle Funktionen des Systems zuzugreifen. Besonders vorteilhaft für den Anwender ist es,

wenn das User-Interface über ein Netzwerk die gleiche Funktionalität besitzt wie bei der Bedienung direkt am Gerät. Das erspart zusätzlichen Lernaufwand und vermeidet auch in diesem Fall Fehlbedienungen.

Im Laboralltag sind ganze Versuchsreihen unter exakt gleichen Temperaturbedingungen gängige Praxis. Aber auch Fehlversuche erfordern meistens Wiederholungen mit genau den gleichen Regelparametern. Um in solchen Fällen eine eindeutige Reproduzierbarkeit zu ermöglichen, sollte das Temperiersystem entsprechende Funktionen bereithalten. Diese Funktionen helfen gleichzeitig, den Aufwand für Versuchsdokumentationen erheblich zu senken.

Obwohl Temperiersysteme mehr und mehr mit intuitiven Bedienfunktionen ausgestattet werden ist es trotzdem ratsam, bei den Anbietern von Temperierlösungen auch nach Anwendungsschulungen zu fragen. Denn immer komplexere Systeme und Anlagen sowie steigende Anforderungen in der Versuchspraxis erfordern perfekt geschulte Anwender.

Eine hohe Bediensicherheit drückt sich weiterhin in Aspekten aus, die fast nebensächlich erscheinen. Zum Beispiel ist es prüfenswert, welche Arbeitstemperaturbereiche mit welchen Temperierflüssigkeiten abgedeckt werden. Bestimmte Temperiersysteme kommen über ihren gesamten Arbeitstemperaturbereich mit ein und derselben Temperierflüssigkeit aus und ersparen damit dem Anwender häufige Wechsel des Temperiermediums. Das erleichtert auch die Bevorratung. Das heißt, es können unmittelbar aufeinander folgende Tests im Hoch- und Niedrigtemperaturbereich ausgeführt werden – ohne eine Pause für Entleerung, Reinigung und Neubefüllung. Das steigert einerseits die Flexibilität des Temperiersystems und spart zudem viel Zeit.

Sollte das Temperiersystem im gleichen Raum stehen, in dem sich auch Ihre Mitarbeiter befinden, ist die Lautstärke, mit der das Temperiersystem arbeitet, ein Bewertungskriterium. Hier gibt es Temperiersysteme, die flüsterleise arbeiten und auf diese Weise einen hohen ergonomischen Vorteil bieten.

Nicht weniger wichtig ist die Zugänglichkeit der Befüllöffnung. Die Position der Befüllöffnung sollte das Befüllen des Gerätes so einfach und sauber wie möglich machen.



Datenaustausch über USB-Schnittstelle

Ist das Temperiersystem an ständig wechselnden Orten im Einsatz, muss die Transportfähigkeit geprüft werden. Müssen mehrere Personen das Gerät transportieren, oder lässt sich das Temperiersystem schon durch eine Person bequem umsetzen?

Abschließend sei vermerkt, dass die Bediensicherheit im Wesentlichen alle Kriterien umfasst, die beim täglichen Einsatz der Temperierlösung eine Rolle spielen. Die optimale Temperierlösung erlaubt eine zügige Installation und Inbetriebnahme, ein schnelles Erlernen der Bedienung und beinhaltet nützliche Details, die die Anwendung bequemer, ergonomischer und sicherer machen.

Fernsteuerung eines hochdynamischen Temperiersystems via Ethernet mit 1:1 User Interface auf dem PC



Checklisten

Die folgenden Checklisten fassen die im Text gewonnenen Erkenntnisse noch einmal übersichtlich zusammen.

Checkliste 1: Prozesssicherheit

Anwendersaspekte

- Benötigte Kälte-/Heizleistung ermitteln
→ Tipp: Korrekte Kälte-/Heizleistung vom Anbieter ermitteln lassen!
- Geforderte Arbeitstemperaturen mit Arbeitstemperaturbereich der Temperierlösung abgleichen
→ Tipp: Beratung beim Anbieter einholen!
- Druckwerte und Betriebsbedingungen des Reaktors beachten
- Für gute Durchmischung im Reaktor sorgen

Kriterien für die optimale Temperierlösung

Relevanz				Bewertungskriterien	erfüllt
--	-	+	++		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Eingabemöglichkeit für maximal zulässige Druckwerte	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Eingabemöglichkeit für Differenzen zwischen Vorlauf- und Reaktortemperatur	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Eingabemöglichkeit für Differenzen zwischen Reaktor- und Mantelinnerem	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hohe Kälte- und Heizleistung	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Weiter Arbeitstemperaturbereich	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Luftgekühlt → flexibel aufstellbar → spart Kühlwasser	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wassergekühlt → komplett umbaubar → erfordert Wasseranschluss	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Leistungsstarke Pumpe	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Druckwerteeinstellung wahlweise über Stufen oder Druckwertvorgabe	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pumpe mit dynamischem Viskositätsausgleich	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Magnetgekoppelte Pumpe für hydraulisch dichten Kühlkreislauf	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Selbstschmierende, wartungsarme Pumpe	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Internes zusätzlich gekühltes Expansionsgefäß → vermeidet Erhitzungen des Temperiersystems und damit Verletzungsgefahren	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Robustes Temperiersystem auch bei über +35 °C Umgebungstemperatur	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hochpräzise Regelelektronik mit geringst möglichem Aufwand für das Parametrieren	<input type="checkbox"/>

Checkliste 2: Investitionssicherheit

Anwenderaspekte
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorbeugende Wartungsmaßnahmen ▪ Turnusmäßige Reinigungen → Tipp: Service und Supportangebote des Anbieters prüfen! ▪ Vorgaben und Bedingungen am Einsatzort berücksichtigen, z.B. Stromanschluss

Kriterien für die optimale Temperierlösung

Relevanz				Bewertungskriterien	erfüllt
--	-	+	++		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Schutz der Anwendung durch schnellen, kontrollierten Druckaufbau	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wartungsarme Pumpe (selbstschmierend) → vermeidet Folgekosten und Ausfallzeiten	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Weiter Arbeitstemperaturbereich → für Mehrfachversuche in kürzeren Abständen mit unterschiedlichen Temperaturen	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Verschleißfreier Wärmetauscher (in wassergekühlten Geräten) → vermeidet Verschmutzung des Kühlwassers und Verstopfungen im System	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Luftgekühltes Temperiergerät → spart kostbares Kühlwasser	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Geschlossener Temperierkreislauf → höhere Standzeiten des Temperiermediums	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Platzbedarf für das Temperiergerät → Stellfläche <u>PLUS</u> Raumbedarf für Anschlüsse und Zu- / Abluft	<input type="checkbox"/>

Checkliste 3: Bediensicherheit

Anwenderaspekte

- Betreiber muss Maschinenrichtlinie beachten
- Anwender muss geschult sein und über das nötige Know-how verfügen
→ Tipp: Anbieter nach Anwenderschulungen fragen!

Kriterien für die optimale Temperierlösung

Relevanz				Bewertungskriterien	erfüllt
--	-	+	++		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Schnelle und einfache Handlungen zur Installation und Inbetriebnahme → ggf. Unterstützung durch Anbieter	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Klare und übersichtliche Darstellung aller nötigen Informationen auf dem Display	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Darstellung als Werte und Graphen	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Klartext bei Hinweisen und Fehlermeldungen	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Integrierte Touchfunktion → besserer Bedienkomfort	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mehrere Nutzerebenen (passwortgeschützt) → Administrator kann parametrieren → weitere Nutzer rufen vorgegebene Einstellungen ab → Vermeidung von unbeabsichtigten Änderungen und Fehlbedienungen	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Umfangreiche Schnittstellen → Standardschnittstellen, wie Ethernet und USB	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Einbindung in Leitsysteme	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fernbedienung über Netzwerke → Voller Zugriff auf alle Funktionen → Identisches User-Interface auf dem Kontroll-PC (1:1 zum Display am Gerät)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Aufzeichnen für Versuchsdokumentationen	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Schnelle und einfache Reproduzierbarkeit von Versuchsreihen	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Temperiermedium deckt gesamten Arbeitstemperaturbereich ab → erspart häufigere Wechsel → erleichtert die Bevorratung → keine Unterbrechung beim Wechsel zwischen Versuchen mit Hoch- und Niedrigtemperaturen	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Arbeitslautstärke → mehr Ergonomie bei flüsterleisen Geräten	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Leicht zugängliche Befüllöffnung	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Leichter Transport → idealerweise durch eine Person	<input type="checkbox"/>