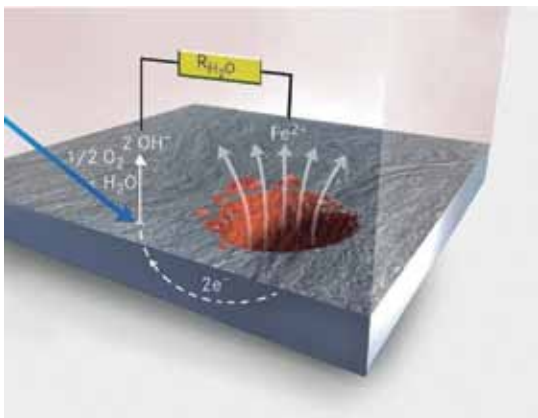


## Einfach herausfiltern

# Sauerstoff in Heiz- und Kühlkreisläufen

In der Regel bestehen wesentliche Teile geschlossener Heiz- und Kühlkreisläufe aus niedrig- oder unlegierten Eisenwerkstoffen. Die Korrosionsbeständigkeit dieser Stähle liegt dabei weniger in einer Werkstoffeigenschaft begründet. Sie hängt vielmehr mit der primären Abwesenheit von Sauerstoff im Anlagenwasser zusammen. Durch Sauerstoffeintrag können sich eine Reihe von Problemen ergeben. Dafür gibt es jedoch neue, wasserseitige Lösungsmöglichkeiten.



① Grundsätzlich hat Schwarzstahl (Eisen, Fe) die Tendenz, sich in wässriger Umgebung aufzulösen ( $Fe^{2+}$ ), wie schematisch gezeigt. Die am Metall zurückbleibende Ladung ( $e^-$ ) wird in unmittelbarer Nähe zur Austrittsstelle einem Oxidationsmittel – in der Regel im Wasser gelöstem Sauerstoff – angeboten, wobei sich Hydroxidionen ( $OH^-$ ) bilden. Der „elektrische“ Ladungsausgleich geht dabei über das Wasser. Eine niedrige Leitfähigkeit, wie sie bei salzarmer Betriebsweise gegeben ist, begrenzt die Korrosionsgeschwindigkeit deutlich, kann aber letztlich auch nicht vor Sauerstoffkorrosion schützen.

## Sauerstoffmessung im Heizungswasser

Wie das Blut im menschlichen Körper, verrät auch das Umlaufwasser viel über den Zustand einer Anlage – in punkto Sauerstoffmessung allerdings nur, wenn diese direkt am System erfolgt. Eine Probenahme für ein Labor oder die Messung in einem Gefäß würde hier ansonsten nur falsche, deutlich erhöhte Werte, liefern.

Damit die Korrosionswahrscheinlichkeit für die in Fließrichtung nachfolgenden Bauteile gering bleibt, sollte die Konzentration des gelösten Sauerstoffs  $< 0,1$  mg/l betragen (Richtwert VDI 2035).

Die populärsten technischen Regeln zur Beurteilung der Korrosionsgefährdung von geschlossenen, wassergeführten Heiz- und Kühlwasserkreisläufen sind in Deutschland die VDI 2035 und die VDI/BTGA 6044. Während die VDI 2035 explizit von einer korrosionstechnisch geschlossenen Anlage ausgeht, betrachtet die VDI/BTGA 6044 auch solche Anlagen, die lediglich als atmosphärisch geschlossen gelten. Der Unterschied besteht darin, dass eine korrosionstechnisch geschlossene Anlage keinen nennenswerten Zutritt von Sauerstoff erfährt, und sich dadurch im laufenden Betrieb eine Sauerstoffkonzentration von  $< 0,1$  mg/l im Anlagenwasser einstellt. Kommt es aber zu einem intermittierenden oder dauerhaften Eindringen von Sauerstoff, z. B. über Werkzeugwechsel oder diffusionsoffene Komponenten, so sind im Umlaufwasser auch Parameter wie z. B. Chlorid zu überwachen. Außerdem besteht die Gefahr der Bimetallkorrosion bei ungünstiger Werkstoffpaarung.

## Die Rolle des Sauerstoffs

In den hier betrachteten Heiz- und Kühlsystemen werden die Korrosionsprozesse im Wesentlichen durch die Menge des hinzutretenden Sauerstoffs bestimmt – so lange sich der pH-Wert des Umlaufwassers im Bereich von 8 bis 10 befindet. Der im Wasser gelöste Sauerstoff hat hierbei die Aufgabe, die bei der Metallauflösung zurückbleibende elektrische Ladung aufzunehmen, um den Korrosionsprozess (den Metallaustritt in die Wasserphase) in Gang zu halten. Niedrige pH-Werte  $< 6$  können dies auch, man spricht dann von Säurekorrosion. Wie schnell die Korrosionsreaktion abläuft, hängt dann jeweils noch von der Temperatur und der Leitfähigkeit des Wassers ab. Im günstigsten Fall kommt es bei einer Anlage nur zur erhöhten Bildung von „Schwarzschlamm“ (Magnetit) und nicht zu Durchrostungen an Heizkesseln, wobei sich aus 10 mg Sauerstoff 36 mg Magnetit bilden. Aber auch, wenn kein Wanddurchbruch auftritt, können die Korrosionsprodukte empfindlich stören (s. Bilder ② und ③). Sauerstoff kann auf verschiedenen Wegen in ein Heiz- oder Kühlsystem eindringen:



**Dr. Dietmar Ende,**  
Sachverständiger  
für Korrosion, Leiter F&E  
bei der perma-trade  
Wassertechnik GmbH,  
Leonberg

- durch mangelhafte Druckhaltung aus der Atmosphäre (Mindestdruck 0,5 bar an allen Punkten)
- durch Diffusion über permeable Bauteile (Dichtungen, Schläuche, Kunststoffrohre, Membranen)
- als gelöster Sauerstoff über das Füll- oder Ergänzungswasser (7–13 mg/l)
- aus Luftpolstern, die bei Wartungs- oder Umbauarbeiten entstehen.

Die Korrosionsrate bleibt vernachlässigbar gering, wenn der im Füllwasser vorhandene natürliche Sauerstoffgehalt durch Korrosionsprozesse aufgezehrt, über die Lebensdauer der Anlage nicht mehr als deren doppeltes Anlagenvolumen nachgespeist wird und Sauerstoffzutritt kaum möglich ist.

Drei Punkte sind hier nicht zu unterschätzen:

1. Ein Liter Luft enthält 260 mg O<sub>2</sub> im Vergleich zu den 10 mg in einem Liter frischen Trinkwassers.
2. Nicht gesperrte flexible Schläuche, etwa an Deckenheizstrahlern, zeigen beträchtliche Diffusionsraten, z. B. EPDM-Schlauch bis zu 7 mg pro Tag und Schlauchmeter (40 °C/DN 20).
3. Auch als gesperrt geltende Schläuche zeigen bei höherer Temperatur (> 60 °C) eine nicht zu vernachlässigende Zutrittsrate.

### Was bedeutet „diffusionsdicht“ nach DIN 4726?

Die wesentlichste Unterscheidung bei Kunststoffrohren/-schläuchen ist die Einteilung in „sauerstoffdiffusionsdicht“ und „nicht sauerstoffdiffusionsdicht“. Kunststoffrohre gelten nach DIN 4726 als sauerstoffdicht, wenn sie eine maximale Sauerstoffdurchlässigkeit von weniger als 0,32 mg/(m<sup>2</sup>xd) bei einer Wassertemperatur von 40 °C aufweisen. Bei nicht sauerstoffdichten Rohren oder Schläuchen liegt der entsprechende Wert im Extremfall bei 16 mg/(m<sup>2</sup>xd).

Bei höheren Wassertemperaturen steigt die Diffusionsrate deutlich an, und zwar um den Faktor 2–3 je 10 °C Temperaturerhöhung. Die Norm berücksichtigt dies und erlaubt bei 80 °C daher 3,60 mg/(m<sup>2</sup>xd).

### Innenbeschichtung diffusionsoffener Rohre

Während im Trinkwasser die Innenbeschichtung von Rohren < DN 80 mit Epoxidharz nicht zugelassen ist, lag es nahe, eine derartige Methode auf alte, diffusionsoffene Fußbodenheizungsrohre anzuwenden (z. B. Oxyproof). Die Durchführung war allerdings nicht unkompliziert und wurde in Fachkreisen auch kontrovers diskutiert. Das Verfahren ist aktuell nicht mehr am deutschen Markt.

### Weitere Einflussfaktoren auf die Sauerstoffkorrosion

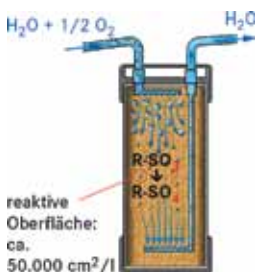
**pH-Wert:** Je alkalischer bzw. je höher der pH-Wert, desto gehemmt läuft die Reduktion von Sauerstoff an der Metalloberfläche ab. Hinzu kommt noch, dass sich auf den üblicherweise verbauten Metallen bei alkalischen pH-Werten eine schützende Passivschicht bildet.



② Moderne Nassläuferpumpen reagieren sensibel auf Magnetit im Anlagenwasser.



③ Diffusionsoffener Gummischlauch mit deutlichen Magnetitablagerungen auf der Innenseite. Platzen diese ab, kommt es zu Störungen von BHKWs oder Wärmepumpen. Edelstahlwellrohre schaffen hier Abhilfe.

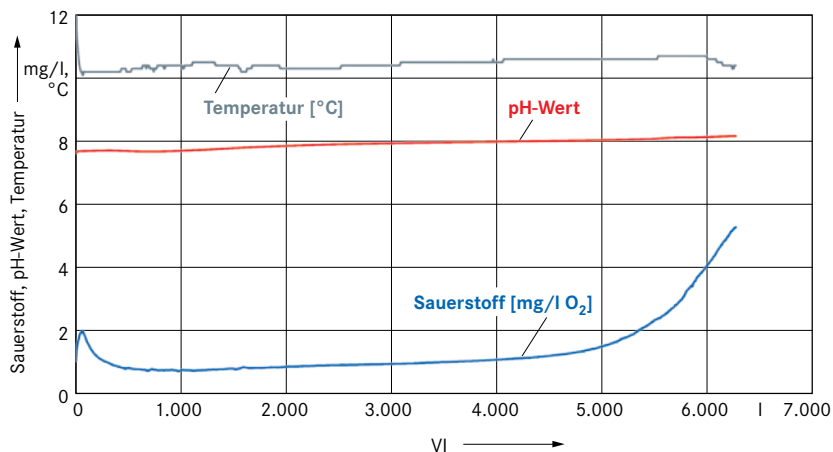


④ Sauerstoffzehrpatrone OxRed im Schnitt. Die Patrone enthält ein Ionenaustauscherharz, das mit einem zugelassenen, anorganischen Sauerstoffbindemittel beladen ist. Aufgrund der sehr großen reaktiven Oberfläche erfolgt die Zehrung des gelösten Sauerstoffs schnell und bei warmem Wasser vollständig.

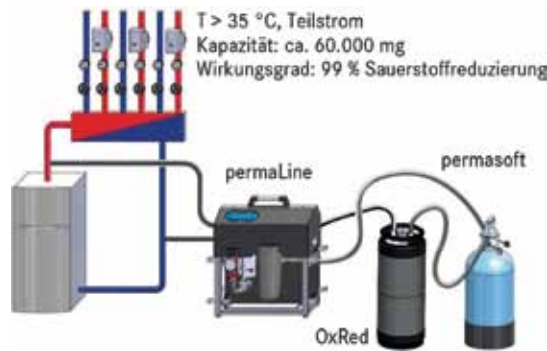
**Elektrische Leitfähigkeit:** Bei salzarter Betriebsweise, also niedriger Leitfähigkeit des Anlagenwassers, werden generell alle elektrochemischen Vorgänge an der Metalloberfläche verlangsamt.

**Härte:** Etwas Resthärte im Anlagenwasser wirkt sich hinsichtlich der Sauerstoffkorrosion positiv aus, da sich Kalziumkarbonat – insbesondere bei neutralen Wässern – an Stellen abscheidet, wo die Sauerstoffreduktion stattfindet. Der Härtebildner wirkt hier als (kathodischer) Korrosionsinhibitor.

**Flächenverhältnis:** Sind in einer Anlage viele korrosionsbeständige Komponenten, wie z. B. Rohrleitungen aus Kunststoff oder Edelstahl (1.4520) verbaut, an denen Sauerstoff nicht oder nur langsam abreagiert, so wird sich dieser auf die wenigen Bauteile aus Schwarzstahl konzentrieren und dort die Wahrscheinlichkeit für einen Korrosionsschaden erhöhen. In der Zusammenfassung bedeutet dies, dass eine salzarme Betriebsweise mit möglichst hohem pH-Wert wasserseitig zwar den bestmöglichen Korrosionsschutz darstellt, diese jedoch im Falle eines nennenswerten Sauerstoffeintrags keinen ausreichenden Schutz mehr bietet. Lässt sich der Sauerstoffeintrag nicht durch andere technische Maßnahmen beheben, sollten daher in geschlossenen Anlagen Zehrmaßnahmen erwogen werden. Bevor wir uns den Möglichkeiten der Sauerstoffbindung



⑤ Sauerstoffkonzentration hinter der Filterpatrone OxRed, in Abhängigkeit des durchgesetzten Volumens, durchgeführt mit Bodenseewasser (O<sub>2</sub> = 13 mg/l) im Einwegbetrieb bei q = 7 l/min.



⑥ Kombinierte Entsalzung und Sauerstoffzehrung im Teilstrombetrieb, z. B. nach Füllen der Anlage mit Trinkwasser mit permaLine mobil.

zuwenden, vorab noch ein paar Hinweise zu so genannten Vollschutzprodukten. Diese sollen Sauerstoff nicht zehren, aber die Metalloberfläche „versiegeln“.

Vollschutzprodukte enthalten meist anodische Korrosionsinhibitoren und sollten nur in atmosphärisch offenen Systemen zum Einsatz kommen – und dies nicht nur aus Umweltschutzgründen und wegen des Minimierungsgebots. Tatsächlich funktionieren diese nur auf metallisch blanken Oberflächen gut. Sie sind zudem in ihrer Konzentration regelmäßig zu überwachen und bieten – je nach Produkt – auch Nahrung für Mikroorganismen. Bei Unterkonzentration treten leicht lokale Korrosionsphänomene auf.

### Dosierung von Sauerstoffbindemittel

Für die chemische Bindung von Sauerstoff wird meist Natriumsulfit dosiert, das ab Temperaturen von ca. 40 °C eine hohe Sauerstoffbindegeschwindigkeit zeigt. Organische Bindemittel wirken erst oberhalb von 60 °C, fördern die Biofilmbildung und erhöhen so die Wahrscheinlichkeit für mikrobiell induzierte Korrosionserscheinungen. Die VDI 2035 rät daher – in ihrem Gültigkeitsbereich – zum Verzicht. Aber auch Natriumsulfit zeigt Nebenwirkungen. Bei der Reaktion mit Sauerstoff entsteht Sulfat, das die Leitfähigkeit des Heizungswassers im Laufe der Zeit stark erhöht. In der Anlagenpraxis finden sich hier nicht selten Werte bis 2.000 µS/cm, die gelegentlich Ausblühungen (Salzkrusten) an Regelventilen verursachen. Zudem besteht v. a. im Niedertemperaturbereich auch wieder eine erhöhte Wahrscheinlichkeit dafür, dass sulfatreduzierende Mikroorganismen korrosiv wirkendes Sulfid erzeugen.

### Elektrochemische Verfahren zur Sauerstoffbindung

Diese Verfahren nutzen ein „unedles“ Metall – i. d. R. eine Magnesiumlegierung – im galvanischen Kurzschluss mit einem Bauteil aus Edelstahl. Während sich das Magnesium auflöst, findet parallel dazu an der Edelstahloberfläche die elektrochemische Reduktion von Sauerstoff statt. In der Summe entsteht dann Magnesiumhydroxid als Korrosionsprodukt,

das als Schlamm entfernt werden muss. Gleichzeitig wird der pH-Wert etwas angehoben. So weit so gut, wäre da nicht die Sauerstoffbindegeschwindigkeit recht niedrig und das Gerät auch eher für den Hauptstrom auszulegen. Wird die Anlage salzarm betrieben, ist die Funktion zu hinterfragen.

### Entfernen von Sauerstoff durch Vakuumentgasung?

In atmosphärisch geschlossenen, aber korrosionstechnisch offenen Anlagen ist eine Reduzierung des korrosionsrelevanten, gelösten Sauerstoffs im Umlaufwasser über Entgaser nur bedingt möglich (VDI 6044). Auch Unterdruck- und Membrantentgaser, die zwar gelösten Sauerstoff entfernen können, sind nicht ausreichend geeignet, diesen so weit zu reduzieren, dass keine Korrosionsschäden mehr zu befürchten sind. Zum Vergleich: Der Richtwert liegt bei 0,1 mg/l, der Vakuumentgaser bringt es auf 1–2 mg/l gelösten Restsauerstoff.

Interessant bleibt aber das Nachspeisewasser, das sich im direkten Durchlauf deutlich absenken lässt, in der Regel zwischen 60 und 80 %.

### Den Sauerstoff einfach herausfiltern!

Bei dieser neuen, derzeit in der Markteinführung befindlichen Methode, kann nach Art einer „Filterpatrone“ der im Wasser gelöste Sauerstoff direkt beim Hindurchströmen eliminiert werden. Die Patronen enthalten ein anorganisches Sauerstoffbindemittel, das auf einem Trägermaterial komplexiert ist und nach der Reaktion mit dem Sauerstoff auch auf diesem verbleibt. Im Gegensatz zur Dosierung von Sauerstoffbindemittel wird die Zusammensetzung des Umlaufwassers hier nicht nennenswert verändert und die bekannten Nachteile/Nebenwirkungen treten daher nicht auf.

Wird eine Heizungsanlage mit kaltem Trinkwasser über eine solche Patrone – ggf. in Kombination mit einer Entsalzung oder Enthärtung – neu befüllt, können dem Füllwasser direkt 80 bis 90 % Sauerstoff entzogen werden. Grund dafür ist auch die extrem große



⑦ Mit der Sauerstoffzehrpatrone OxRed von perma-trade kann nach Art einer „Filterpatrone“ der im Anlagenwasser gelöste Sauerstoff direkt beim Hindurchströmen eliminiert und auf diese Weise Korrosionsproblemen entgegengewirkt werden.

Oberfläche der vorbehandelten Harzkugeln im Vergleich zur Elektrodentechnik (ca. 1.000:1), bei der dies so nicht möglich ist. Logischerweise bilden sich dann auch bis zu 90% weniger Korrosionsprodukte, die z. B. die Topmeter von Fußbodenheizungsverteilern belegen könnten. Für die Aufbereitung von Nachspeisewasser könnte eine solche kombinierte Patrone einen neuen Standard definieren.

Prädestiniert für dieses Filterverfahren ist die Anwendung im Teilstrom, wenn die Anlage nach dem Spülen mit Trinkwasser aufbereitet wird. Ab einer Wassertemperatur von 35 °C lässt sich der gelöste Sauerstoff mit hoher Geschwindigkeit auf eine Restkonzentration von <0,05 mg/l zehren. In einem Arbeitsgang lassen sich so die relevanten Korrosionstreiber Salze, Säuren und Sauerstoff beherrschen. Für großvolumige (Problem-)Anlagen bietet sich als technisch elegante Lösung die Kombination mit einem festinstallierten Modul zur Teilstromentsalzung an. Hier kann das Wasser zeitgesteuert mechanisch filtriert und von kontinuierlich oder intermittierend eindringendem Sauerstoff befreit werden. Falls erforderlich, wird zudem eine Entsalzungspatrone in Abhängigkeit der Leitfähigkeit des Anlagenwassers automatisch hinzu geschaltet, so dass auch immer eine salzarme Betriebsweise sichergestellt ist.

### Fazit

Mit den neuen Sauerstoffzehrpatronen kann auf einfache Weise der Korrosionstreiber Nr. 1 in geschlossenen Heiz- und Kühlsystemen durch den Fachhandwerker beherrscht werden. Diese Methode ist nicht nur für die Aufbereitung größerer Nachfüllwassermengen interessant, sondern auch eine sichere Lösung für größere Problemanlagen. Die Verbindung eines fest installierten Moduls zur Teilstromaufbereitung, in Kombination mit einem Korrosionsmonitoringsystem, das den erforderlichen Patronenaustausch anzeigen könnte, wäre eine optimale Problemlösung. Auch deshalb, weil die eingesetzten Ionenaustauschharze alle regeneriert werden und kein nennenswerter Abfall entsteht.



### Literatur

- /1/ VDI 2035: Vermeidung von Schäden in Warmwasser-Heizungsanlagen, Steinbildung und wasserseitige Korrosion (03/2021)
- /2/ VDI/BTGA 6044: Vermeidung von Schäden in Kaltwasser- und Kühlkreisläufen (04/2023)
- /3/ Suissetec Merkblatt 8/2021 Apparateanschlüsse – Einsatz von EPDM-Rohrverbindungen
- /4/ BDH Informationsblatt Nr. 3: Korrosionsschäden durch Sauerstoff im Heizungswasser – Sauerstoffkorrosion (03/2011)



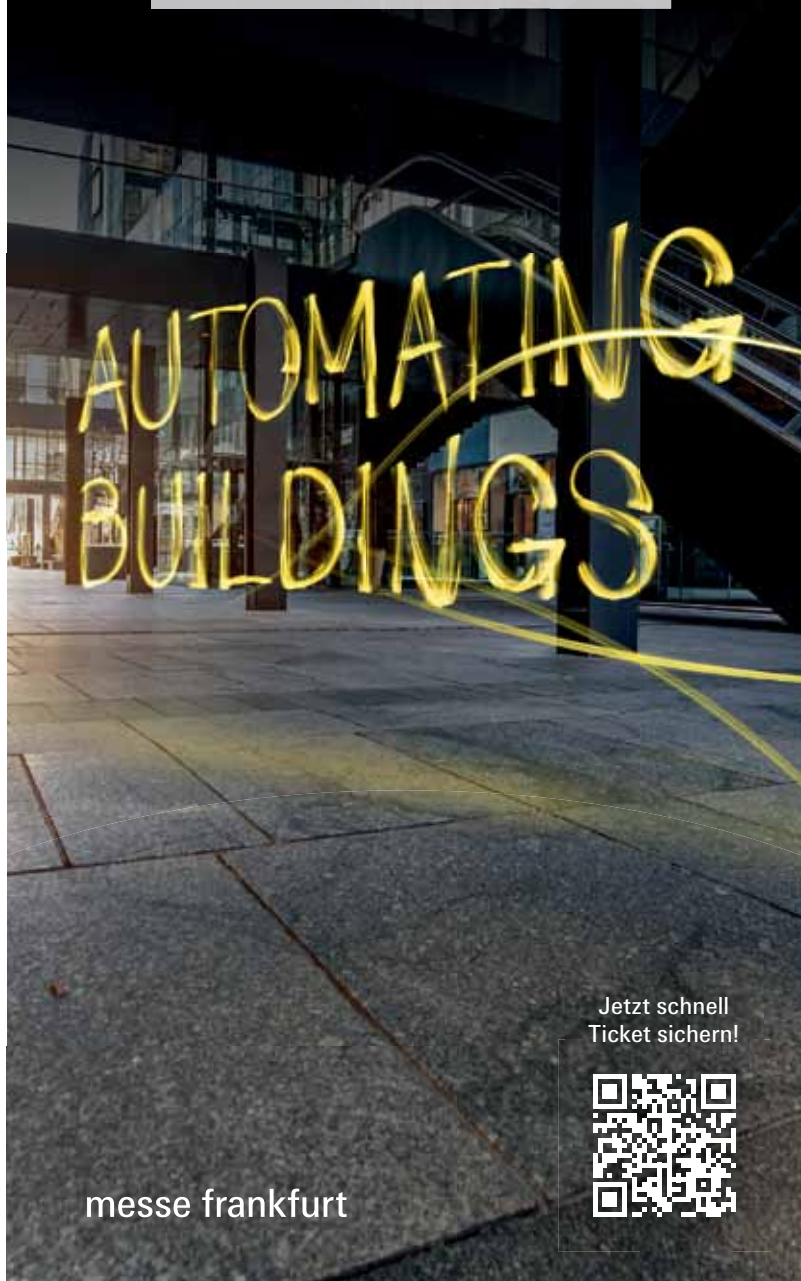
light+building

3. – 8. 3. 2024  
Frankfurt am Main

## Technologie und Gebäudetechnik im Einklang!

Die Zukunft von Automation, Vernetzung und künstlicher Intelligenz. Erkunden Sie gemeinsam mit Ausstellern und Experten die Potenziale.

Weltleitmesse für Licht und Gebäudetechnik



Jetzt schnell  
Ticket sichern!



messe frankfurt