



Bild: Linn High Therm GmbH

# Umluftöfen für die Wärmebehandlung

Durch den erhöhten Bedarf an Hochleistungsbauteilen und Hightech-Produkten aus Leichtmetalllegierungen oder Buntmetallen besteht im Industrieofenbau auch ein steigender Bedarf an Umluftöfen. Die Bauteile erfordern eine Wärmebehandlung bei einer sehr guten Temperaturverteilung im Nutzraum und eine schnellere Wärmeübertragung. Das erreicht man nur durch erzwungene Konvektion.

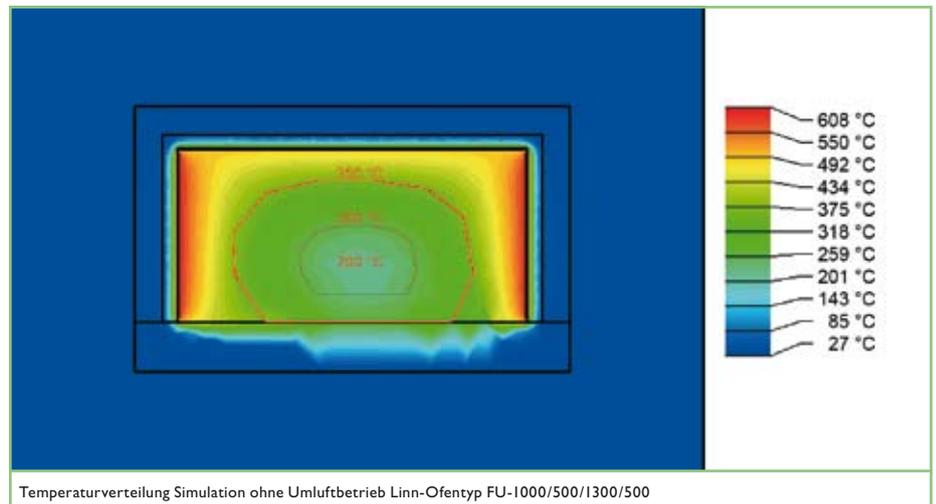
Wie sind elektrisch beheizte Umluftöfen aufgebaut und was ist bei der Auslegung der Ofen-Baugruppen zu beachten, damit die Wärmeübertragung auf die Charge überwiegend durch erzwungene Konvektion erfolgt? Dazu werden Ofenraum/Nutzraum, Umwälzventilator mit Umlufteinrichtung, Heizung, Isolierung, Regelung und nicht zuletzt die Charge selbst näher betrachtet.

Das Ergebnis der Optimierung zeigen Messungen, die in einem Sonder-Umluftkammerofen der Linn High Therm GmbH durchgeführt wurden. Wie das Ganze in dem gleichen Ofen ohne Umluftbetrieb aussieht, wurde durch Simulation ermittelt. Aus den Kurven ist ersichtlich, dass die erzwungene Konvektion nachweislich zu einer kürzeren Aufheizzeit und zu einer hohen Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen führt.

Wärmebehandlungsöfen mit Umluftzirkulation finden ihre Anwendung dort, wo die Wärmeübertragung auf die Charge überwiegend durch erzwungene Konvek-

tion erfolgt. Durch die Forderung nach Hochleistungsbauteilen und Hightech-Produkten steigt der Bedarf immer weiter an. Leichtbauteile mit höchstmöglicher Festigkeit ersetzen mehr und mehr herkömmliche Materialien, was sich besonders in der Automobilindustrie, der Luftfahrttechnik,

der Aluminiumindustrie und beim Wärmebehandeln von Magnesium widerspiegelt. Doch auch in klassischen Anwendungsbereichen, wie der Federindustrie, im Werkzeug- und Formenbau, in Härtereien sowie in der Forschung und Entwicklung haben Umluftöfen ihren festen Platz.



Temperaturverteilung Simulation ohne Umluftbetrieb Linn-Ofentyp FU-1000/500/1300/500

## Aufbau und Funktion

Elektrisch beheizte Umluftöfen bestehen aus dem Ofenraum, der Umluftleiteinrichtung mit Umwälzventilator, der elektrischen Heizung, der Isolierung, dem Ofengehäuse und der Schalt- und Regelanlage. Sie dienen zur Wärmebehandlung von Teilen, bei denen eine sehr gute Temperaturverteilung und eine schnellere Wärmeübertragung gefordert wird. Die konvektive Wärmeübertragung wird durch strömende Luft/ Gase realisiert. Als Strömungsmotor kommt ein Umwälzventilator zum Einsatz.

Welche Strömungsrichtung beim Ofenkonzept gewählt wird, richtet sich u. a. nach der Art der Charge und der Art der Wärmebehandlung. Die Schirmbleche dienen zur Strahlungsisolierung.

Messungen, die in einem Umluftkammerofen von Linn High Therm durchgeführt wurden, zeigen, dass die erzwungene Konvektion nachweislich zu einer kürzeren Aufheizzeit und zu einer besseren Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen führt. Dieser Sonderofen (675 Liter Ofenraum) dient u. a. zum Anlassen von Blechbiegeteilen und Federn. Die Vorgabe vom Kunden lautete: Arbeitstemperatur  $250^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ K}$  im Nutzraum mit der Charge.

In der Aufheizkurve mit Umluftbetrieb ist die am Regler eingestellte Solltemperatur von  $250^{\circ}\text{C}$  (gemessen in der Kammermitte) nach 10 Minuten erreicht, bei der Aufheizkurve ohne Umluftbetrieb (Simulation) dagegen erst nach ca. 17 Minuten. Vergleicht

man die Temperaturen an den einzelnen Messpunkten in Chargennähe, so differieren sie nur um ca. 5 K. Der eigentliche homogene Nutzraum beträgt etwa 75 % des Ofenraumes. Das heißt, in diesem Raum werden die geforderten  $250^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ K}$  eingehalten.

## Ofenraum/Nutzraum

Als Ofenraum bezeichnet man den Raum, der sich aus den Innenabmessungen ergibt. Der Raum, der für die Wärmebehandlung nutzbar ist, heißt Nutzraum. Natürlich darf nicht der gesamte Ofenraum mit der Charge zugestellt werden. Es muss sicher gestellt sein, dass das Wärmegut ungehindert von der Umluft umströmt werden kann. Nur durch eine ausreichende Umluftzirkulation ist eine gleichmäßige und schnellere Wärmeübertragung möglich. Die Festlegung des eigentlichen Nutzraumes ist deshalb für die Ofenplanung sehr wichtig.

## Umluftleiteinrichtung

Die Umluftleiteinrichtung dient sowohl zur Abschirmung der Heizung gegenüber dem Nutzraum als auch zur Umluftführung. In einer industriellen Wärmebehandlungsanlage mit konvektivem Wärmeaustausch wird die Strömung üblicherweise im geschlossenen Kreislauf geführt. Die Strömungsführungen verbinden auf der Zu- und Abströmseite den Ofenraum mit dem Umwälzventilator.

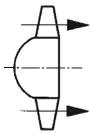
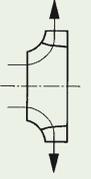
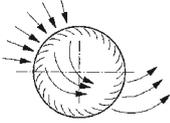
Bei der Gestaltung der Strömungsführungen vom Umwälzventilator zum Ofen-

raum ist zu beachten, dass die Strömung gleichmäßig und mit einem möglichst geringen Strömungswiderstand erfolgt. Strömungsverzweigungen und die Umlenkung der Strömung beim Eintritt in den Ofeninnenraum vermindern die Strömungsgeschwindigkeit. Das kann auch zu Verwirbelungen führen, wodurch die Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen beeinträchtigt wird. Deshalb sind Form und Anordnung der Luftleitbleche (Prallbleche) von großer Bedeutung, um Umlenkverluste minimal zu halten. Aber auch allgemeine Wärmeverluste durch technisch bedingte Wärmebrücken im Ofen sind zu bedenken (z. B. Tür-, Bodenbereich). Die Luftleitbleche sollten also differenziert und flexibel angeordnet sein mit dem Ziel einer optimalen Wärmeübertragung auf die Charge. Das Strömungssystem kann durch Berechnungen entsprechend ausgelegt werden.

Bei der Auswahl eines geeigneten Umwälzventilators ist das Betriebsverhalten unter Berücksichtigung der Einbausituation zu bedenken. Je nach Arbeitstemperatur werden bei den elektrisch beheizten Umluftöfen unterschiedliche Heizelemente eingesetzt. Dabei muss die maximal zulässige Oberflächentemperatur der Heizelemente berücksichtigt werden.

Für gewöhnlich wird die Heizung direkt im Umluftsystem angeordnet. Das ist optimal für eine schnellere Wärmeübertragung. Eine zweite Einbauvariante ist die Anordnung der Heizung im Ofenraum. ►

## Vor- und Nachteile von Umwälzventilatoren

Umwälzventilatoren	Funktionsschema	Temperatureinsatzbereich	Vorteile / Nachteile
Axialventilatoren	 Strömungsführung axial-axial	vorwiegend bis ca. $600^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>fördern hohe Volumenströme bei relativ kleiner Baugröße</li> <li>erzeugen meist nicht so große Druckerhöhungen wie die Radialventilatoren</li> <li>erfordern üblicherweise einen außenwandnahen Einbau, was die Zu- bzw. Abströmsituation erschwert</li> </ul>
Radialventilatoren	 Strömungsführung axial-radial	bis ca. $1000^{\circ}\text{C}$ ; bei Temperaturen über $600^{\circ}\text{C}$ meist in Umluftöfen zu finden	<ul style="list-style-type: none"> <li>haben eine interne Strömungsumlenkung (<math>90^{\circ}</math>)</li> <li>deren Laufräder können mit der größten Umfangsgeschwindigkeit betrieben werden</li> <li>sind vielfach Einzelanfertigungen (Heißgasventilatoren)</li> <li>erfordern über <math>900^{\circ}\text{C}</math> eine Zwangskühlung des Motors (z.B. mit Wasser oder Pressluft)</li> </ul>
Querstromventilatoren	 Strömungsführung radial-radial	bis ca. $500^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>können an die jeweilige Anlagenbreite angepasst werden</li> <li>ermöglichen eine gleichmäßige Beaufschlagung von breiten Arbeitsflächen (ohne Leiteinrichtungen)</li> <li>haben vergleichsweise einen niedrigen Wirkungsgrad</li> </ul>

Die Ventilatorleistung richtet sich nach dem Volumen des Ofeninnenraumes.

## Isolierung

Die Auswahl der Wärmedämmstoffe richtet sich nach der maximalen Ofeninnentemperatur unter Berücksichtigung der vom Kunden geforderten maximal zuläs-

sigen Gehäuseaußentemperatur. Eine komplette Faserauskleidung des Ofens ermöglicht relativ schnelle Aufheiz- bzw. Abkühlgeschwindigkeiten, wogegen ein Ofen mit Steinauskleidung träger reagiert.

## Regelung

Die Wahl der entsprechenden Regeltechnik und die optimale Anordnung der Thermosteuelemente sind wichtige Voraussetzungen für die Erzielung einer hohen Temperaturgleichmäßigkeit im Ofen. Die Temperaturverteilung im Ofen mit Charge ist logischerweise von Fall zu Fall unterschiedlich (Art der Charge: massiv/hohl, wie beladen: kompakt/aufgelockert usw.).

Die Regler sollten eine Regelgenauigkeit von mindestens  $\pm 1$  K haben, was bei modernen Reglern auch schon in den unteren Preisklassen erreicht wird.

Für die Thermosteuelemente wählt man solche mit Grenzabweichung nach IEC 584-2, Klasse I. In den Umluftöfen für die Wärmebehandlung von Metallen kommen bei Linn High Therm Mantelthermosteuelemente NiCr-Ni (Typ „K“) mit Inconel-Mantel zum Einsatz. Diese sind robust im Aufbau und damit sehr unempfindlich gegenüber Schwingungen, mechanischer Beschädigung, Alterung durch die Ofenatmosphäre usw. Bei Arbeitstemperaturen bis 400°C und hohen Anforderungen an die Messgenauigkeit werden auch Widerstandsthermometer PT 100 in 3-Leiterschaltung eingesetzt.

Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass die Einbaulage der Regelthermosteuelemente von Fall zu Fall unterschiedlich sein kann und zwar:

- a) im Umluftsystem,
- b) im Nutzraum oder
- c) in Chargennähe.

Bei Linn High Therm hat man gute Erfahrungen damit gemacht, wenn das Thermosteuelement im Abstand von etwa ein Drittel der Nutzraumtiefe zum Umwälzventilator eingebaut ist (horizontale Strömung).

Die Einbaulage c) wird als Kaskadenregelung ausgeführt. Das heißt, ein Thermosteuelement befindet sich im Umluftstrom und ein zweites direkt an/in der Charge. Bei der Kaskadenregelung wird der Sollwert vom Umluftstromregelkreis über den Chargenregelkreis ständig verändert, damit er sich der aktuellen Temperatur an/in der Charge anpasst. Durch diese Regelung wird ein sensibler Aufheizvorgang erreicht und ein Überheizen der Charge ausgeschlossen. Die Kaskadenregelung wird u. a. bei der Wärmebehandlung von Hohlwellen angewendet.

Thermosteuelemente, die auf den/die Temperaturbegrenzer geführt werden befinden sich direkt in Heizungsnähe. Sie begrenzen die maximale Heizelementtemperatur und schützen den Ofen vor Überheizung bei einem möglichen Ausfall des Prozessreglers. Die Temperaturbegrenzer können von außen zugänglich oder im Gehäuse der Schalt- und Regelanlage fest eingestellt sein.

### Heizelemente für Umluftöfen

Heizelemente	Arbeitstemperatur	Oberflächentemperatur der Heizelemente
gerippte Rohrheizelemente	bis 550°C	max. 750°C
Rohrheizelemente	bis 600°C	max. 800°C
Heizspiralen in Rillensteinen oder auf Tragrohren	ab 550°C bis 950°C	max. 1400°C

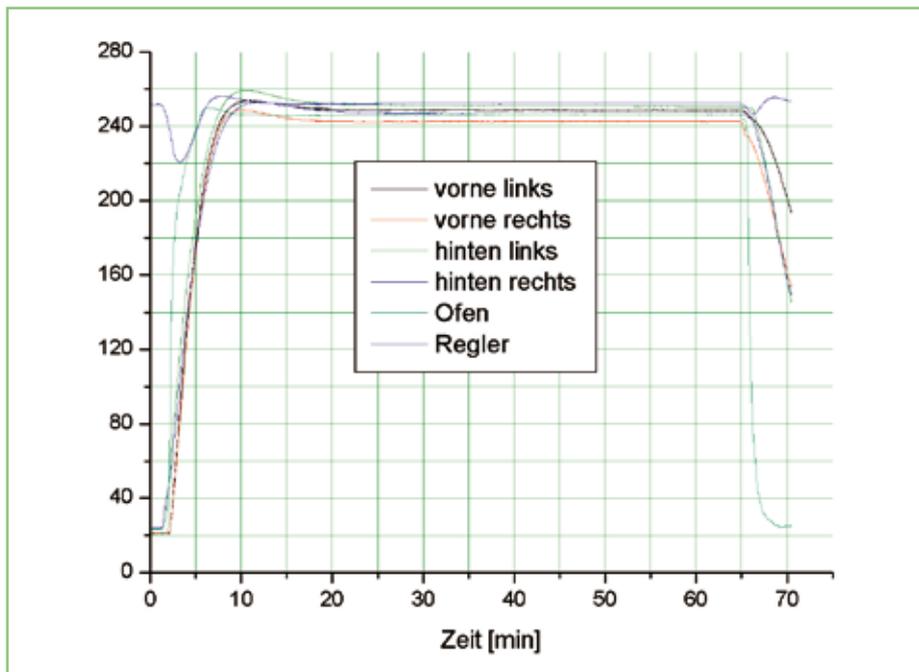


Diagramm 2  
Temperaturverteilung Linn-Ofentyp FU-1000/500/1300/500

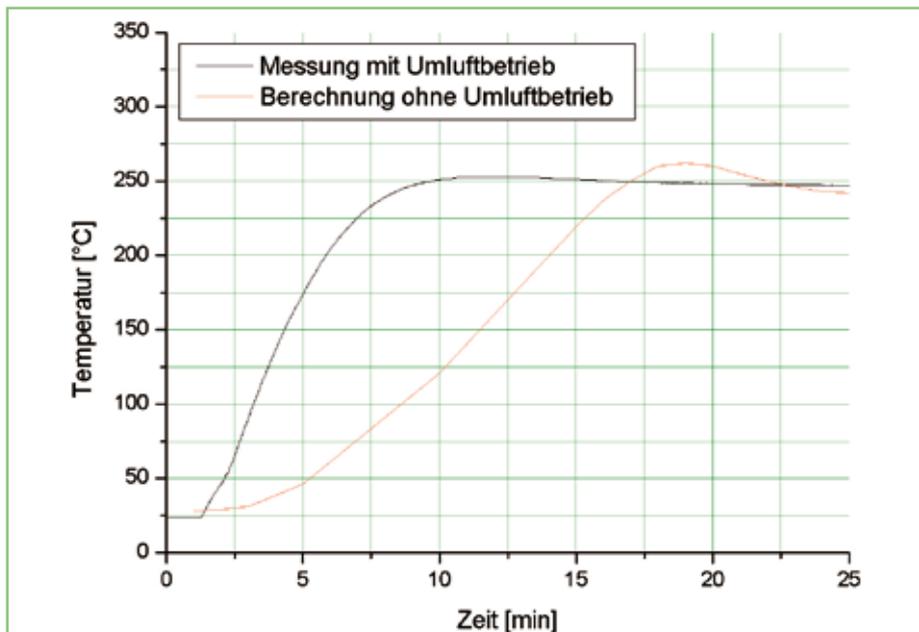


Diagramm 1  
Aufheizkurven Linn-Ofentyp FU-1000/500/1300/500

**WIRE**  
**Düsseldorf**  
**24.-28.4.06**  
**15/F38**

**Mittelfrequenzumrichter**  
 bis 300 kW, 2 - 100 kHz.  
 Härten, Glühen, Schmieden.

**Hochfrequenz-**  
**generatoren**  
 bis 100 kW,  
 100 kHz - 27,12 MHz.  
 Härten, Glühen,  
 Durchlauferwärmung.



### Überkopfföfen 600 °C

zum Glühen von Aluminium-Drähten im Teilvakuum unter Stickstoffatmosphäre. Zwei aufklappbare, vertikal teilbare Kühlhauben, Transfer- und Ladeeinrichtungen. Glühhaubenabmessungen (Ø x h) 1,2 x 2 m, 360 kW.



**Schutzgaskammeröfen mit Umluft bis 900 °C, 500 l**  
 mit hitzebeständiger gasdichter Muffel. Glühen, Tempern unter Schutzgas. Wärmebehandlung von Feder.

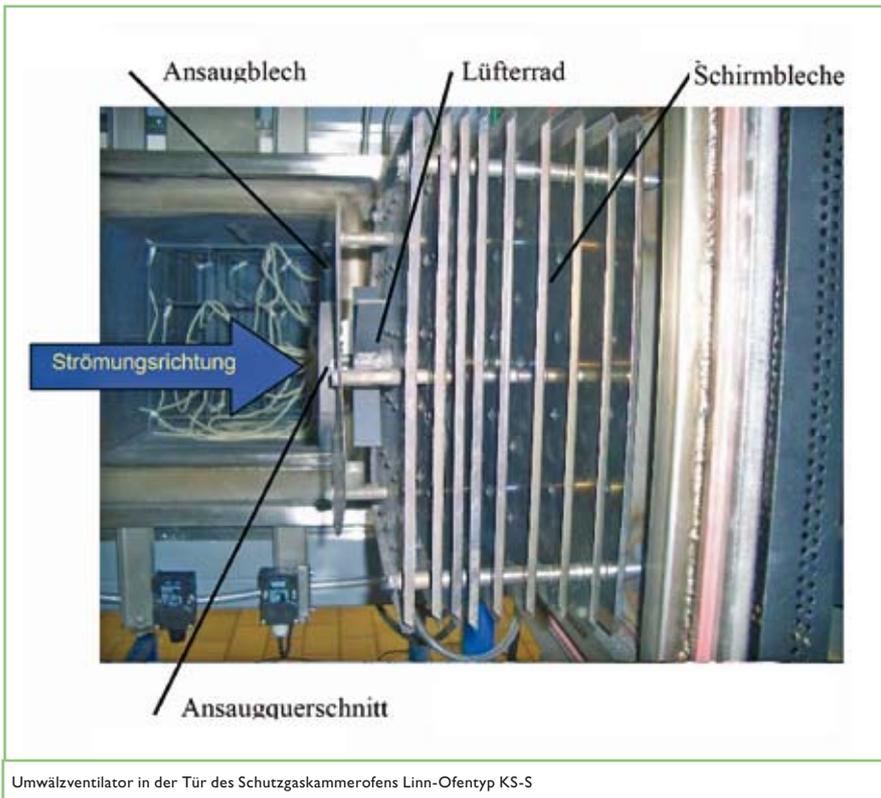
**Optionen:** Nachverbrennung, Begasung, Abfackelung, Sicherheitspaket, Kühlfalle im Gasausgang und Vakuumbetrieb.

### Toplader-Schachtofen bis 1100 °C, 240 l

mit vakuumdichter zylindrischer Retorte zum Glühen von Coils. Schutzgas und Vakuum.



ISO 9001:2000



Umwälzventilator in der Tür des Schutzgaskammerofens Linn-Ofentyp KS-S

### Charge

Bei der Ofenplanung stehen die Charge und der Prozess im Mittelpunkt. Aussagen vom Kunden über Material, Form, Größe und Gewicht sollten vorliegen. Außerdem spielt eine Rolle, ob die Teile dick- oder dünnwandig sind und ob sie kompakt oder aufgelockert bzw. lose oder im Chargiergestell in den Ofen eingebracht werden. Nicht zu unterschätzen ist ferner das Problem, wenn die Charge sowohl dick- als auch dünnwandige Zonen aufweist, da hierbei die Durchwärmzeiten stark differieren. Die Bestückungs-/Besatzdichte hat zum Beispiel einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Temperaturverteilung. Einzeln gestapelte Hohlwellen können gleichmäßiger von der Umluft umströmt werden als im Gegensatz dazu Schüttgut von Kleinteilen in einer Gitterboxpalette. Entsprechend wird sich das auf die Temperaturgleichmäßigkeit in der Charge auswirken.

### Ofentyp

Neben der Art der Charge bestimmen Prozessablauf, Wärmebehandlungsprofil und die technologische Verkettung den jeweiligen Ofentyp und die Nutzraumgröße. Umluftöfen für die Wärmebehandlung von Metallen fertigt Linn High Therm als Kammerofen, Herdwagenofen, Durchlauföfen, Schachtofen, Truhenöfen/Toplader, Drehherdöfen, Paternosteröfen sowie als komplexe Ofenanlage mit Handlingsystemen und Verkettungen.

Standardmäßig sind Kammeröfen der Baureihen KK-U bzw. KS-S im Fertigungsprogramm (bis 460 Liter Ofenraumgröße). Die KK-U-Baureihe mit Luftumwälzung gibt es für die Temperaturbereiche 550°C, 850°C oder optional bis 950°C. Schutzgasdichte Öfen mit Gasumwälzung der Baureihe KS-S sind bis 1050°C im Angebot (als Option mit Vakuumbetrieb). Sie vereinigen die klassischen Vorteile des Umluftofens (hohe Temperaturgenauigkeit und schnellere Wärmeübertragung) mit der Möglichkeit, unter neutraler oder reduzierender Atmosphäre verzunderungsfrei arbeiten zu können (besonders beim Entbindern von MIM-Teilen). Die KS-S-Öfen werden aber auch zum Gasnitrieren und Nitrokarbonieren eingesetzt. Bei diesen Prozessen ist die Gasumwälzung für eine homogene Verteilung der Reaktionsgase notwendig. Umluftöfen für die Wärmebehandlung von Metallen werden bis zu einer Ofenraumgröße von ca. 10 m<sup>3</sup> gefertigt. ◀

► Die Autorin des Beitrags Ellen Drott ist POSITION ??? bei der Linn High Therm GmbH in ORT.

► Linn High Therm GmbH  
 Heinrich-Hertz-Platz 1  
 D-92275 Eschenfelden  
 Tel.: +49 9665 9140-0  
 Fax: +49 9665 1720  
 E-Mail: info@linn.de  
 Internet: www.linn.de