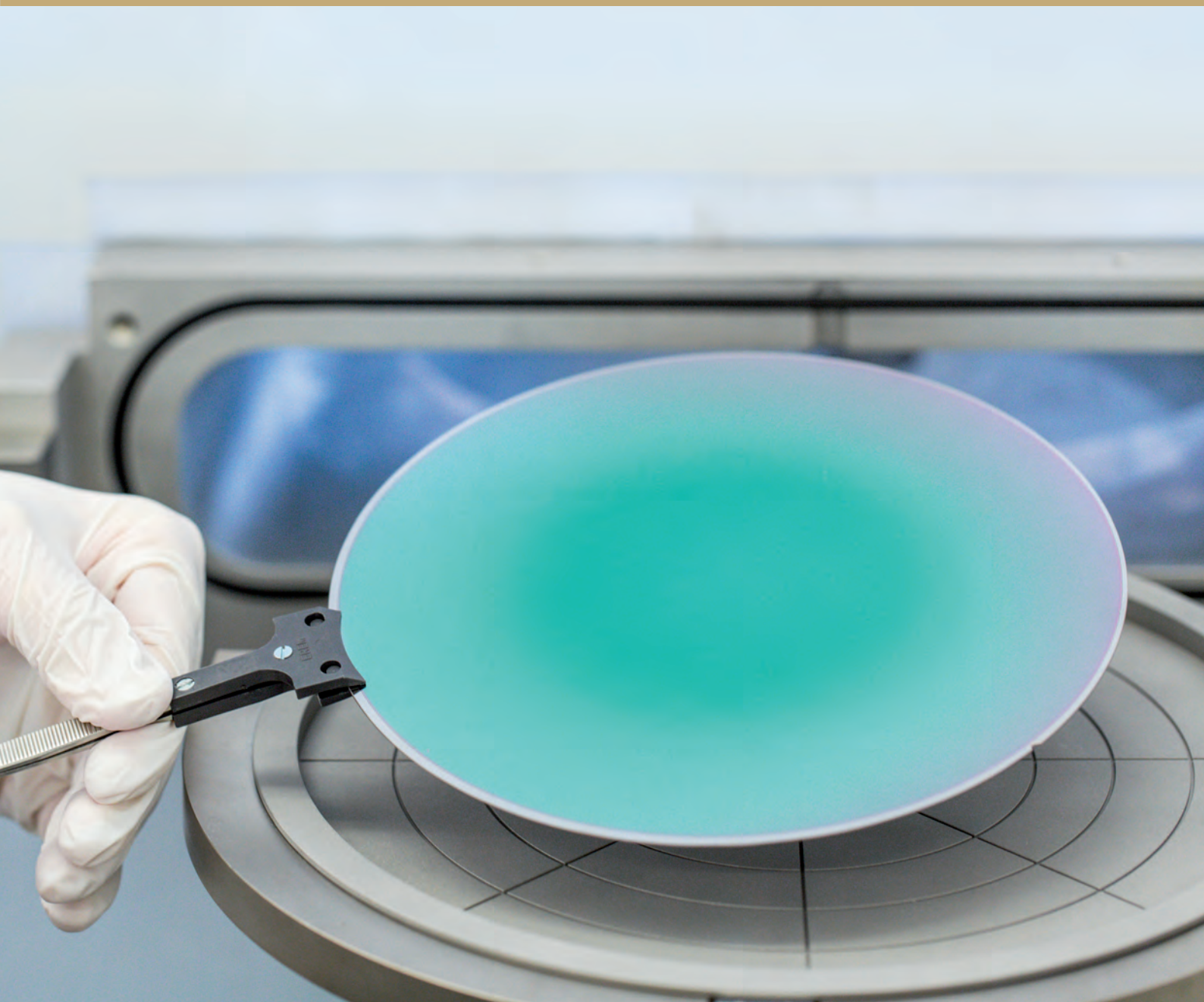


# PRÄZISIONSBESCHICHTUNG





## Präzisionsbeschichtung

Beschichtungen von höchster Präzision werden für zahlreiche Anwendungen in Optik, Elektronik und Sensorik, Energie- und Medizintechnik benötigt. Am Fraunhofer FEP entwickeln wir Puls-Magnetron-Sputter- und Magnetron-

PECVD-Prozesse, um mit hohen Beschichtungsraten optische, elektrische, akustisch oder magnetisch wirksame Schichten und Schichtsysteme mit hoher Qualität und geringer Fehlstellenzahl aufzubringen. Durch Kombination von

präzise einstellbaren und langzeitstabilen Prozessen mit einer exakten Substratbewegung und einer optischen in-situ-Monitorierung können sehr reproduzierbare Schichteigenschaften und präzise Schichtdicken gewährleistet werden.

## Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern und Magnetron-PECVD

Mit dem reaktiven Puls-Magnetron-Sputtern (PMS) lassen sich Verbindungsschichten sehr hoher Qualität mit hoher Beschichtungsrate abscheiden. Dabei wird von elektrisch leitfähigen Targets gesputtert und gleichzeitig Reaktivgas (z. B.  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $F_2$ ,  $NH_3$ ) oder ein Reaktivgasgemisch eingelassen. Die Bildung der Schicht erfolgt aus dem

abgestäubten Targetmaterial und dessen Reaktion mit dem Reaktivgas auf der Substratoberfläche. Die Beschichtungsrate ist meist eine Größenordnung höher als beim Hochfrequenz-Sputtern vom Verbindungstarget. Beim Magnetron-PECVD-Prozess wird ein Precursor (z. B.  $SiH_4$ , HMDSO, TEOS) eingelassen. Das Plasma führt zur che-

mischen Reaktion und zur Abscheidung anorganischer, organischer oder hybrider Schichten auf dem Substrat. Es wird kein oder nur eine sehr geringe Menge vom Target abgestäubt und in die Schicht eingebaut. Die Beschichtungsrate ist bis zu einer Größenordnung höher als beim reaktiven PMS.

## Dynamische / stationäre Beschichtung

Beim dynamischen Sputtern wird das Substrat an der Sputterstation vorbeigeführt. Üblicherweise wird dieses Verfahren in sogenannten in-line-Anlagen für große Substrate oder eine große Zahl kleinerer Substrate verwendet, die auf Paletten befestigt werden. Beim stationären Sputtern verbleibt das Substrat vor der Sputterstation. Es wird im Allgemeinen für die Einzelsubstratbeschichtung (derzeit bis 300 mm, zukünftig bis 450 mm Durchmesser) oder bei mehreren kleinen Substraten auf einem Carrier in sogenannten Cluster-Anlagen eingesetzt.

## Neue Freiheitsgrade für anspruchsvolle Schichteigenschaftsportfolios

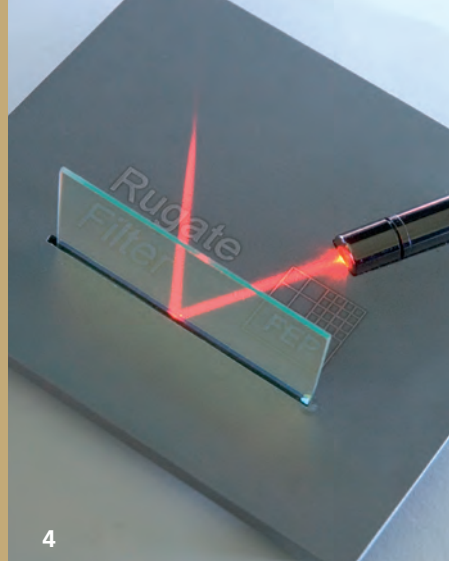
Puls-Magnetron-Sputtern kann reaktiv von metallischen Targets oder nicht-reaktiv von elektrisch leitfähigen keramischen Targets betrieben werden und ermöglicht somit eine breite Palette abscheidbarer Materialien. Neben klassischen Optimierungsparametern wie Prozessdruck, Substrattemperatur und Substrat-Bias wurden am Fraunhofer FEP neue Freiheitsgrade erschlossen und die dafür notwendigen Schlüsselkomponenten und Technologien entwickelt.

Durch Einstellung von Pulsmodus (unipolar, bipolar, Puls-Paket) und Pulspara-

meter (Tastverhältnis) der gepulsten Energieeinspeisung in das Plasma, können der Energieeintrag in die wachsenden Schichten gesteuert und bisher nicht zugängliche Schichteigenschaften bzw. Eigenschaftskombinationen eingestellt werden – bei gleichzeitig hoher Beschichtungsrate. Integrierte prozessnahe Mess- und Regeltechnik für die Reaktivgaszufuhr sowie die Nachführung des Magnetfeldes im Verlauf der Targetstandzeit sichern zudem eine hohe Reproduzierbarkeit der Plasmabedingungen und damit der Schichteigenschaften im Dauerbetrieb.



3



4



5

## Anwendungsbeispiele

### Optische Interferenzschichtsysteme

- Optische Filter für Laseroptiken, Spektroskopie-Anwendungen
- Antireflex-Schichten auf Brillengläsern
- $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$
- geringe thermische Substratbelastung
- gute Haftung und Lebensdauer auch auf Kunststoffsubstraten
- sehr niedrige Absorptions- und Streuverluste
- Beschichtungsrate 1 ... 4 nm/s

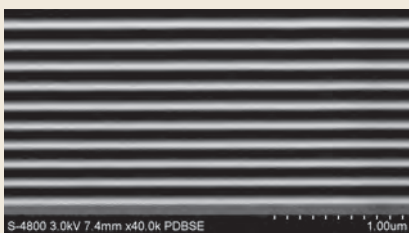
### Piezelektrische Schichten

- für Mikrosysteme (MEMS), BAW, SAW
- für die Ultraschallmikroskopie
- für Systeme zur Mikroenergiegewinnung
- kristalline AlN- und AlScN-Schichten mit starker c-Achsen-Orientierung
- Beschichtungsrate: 2 ... 4 nm/s
- piezelektrische Koeffizienten bis zu  $d_{33} = 30 \text{ pm/V}$

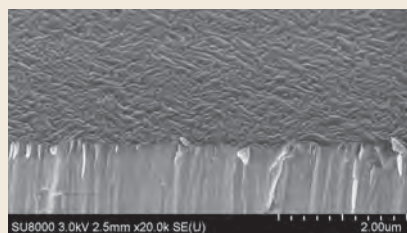
### Elektrische Isolationsschichten

- für Sensoren (u. a. bauteilintegriert)
- für die Mikroelektronik
- für die Photovoltaik
- $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  als Dünnschichtisolation mit sehr guter Isolationswirkung
- 10-fach höhere Beschichtungsrate (2 ... 4 nm/s) als bei HF-Sputtern
- effektive Abscheidung dicker Isolationsschichten mit Spannungsfestigkeiten bis zu 1500 V

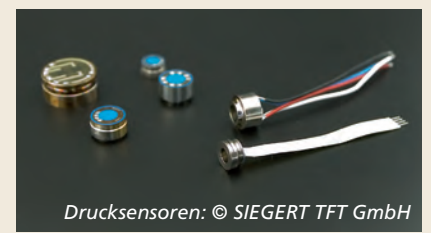
REM-Aufnahme eines  $\text{Si}_x\text{Ta}_y\text{O}_z$ -Gradientenschichtsystems (Rugate-Design)



REM-Aufnahme einer AlN-Schicht mit starker c-Achsenorientierung



Drucksensoren mit elektrischen Isolationsschichten



Drucksensoren: © SIEGERT TFT GmbH

Schichttyp	Beispiele	Beschichtungsrate [nm/s]
Metalle	Al, Cr, Cu, ...	15 ... 25
Legierungen	Ni/Al, NiV <sub>7</sub> , CoNiCr...	10 ... 15
binäre Verbindungen	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , AlN, $\text{AlF}_3$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{Si}_3\text{N}_4$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , TaN, $\text{HfO}_2$ , ...	2 ... 4
ternäre Verbindungen	$\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ , $\text{Al}_x\text{O}_y\text{N}_z$ , $\text{Si}_x\text{Ta}_y\text{O}_z$ , $\text{Al}_x\text{Sc}_y\text{N}_z$	2 ... 4
Gradientenschichtsysteme	$\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_x\text{O}_y\text{N}_z \rightarrow \text{AlN}$ $\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Si}_x\text{Ta}_y\text{O}_z \rightarrow \text{Ta}_2\text{O}_5$	2 ... 4
hybride Verbindungen	$\text{Si}_x\text{C}_p\text{O}_q\text{H}_r$ , $\text{Si}_x\text{C}_p\text{O}_q\text{N}_r$ , $\text{Si}_x\text{Ti}_y\text{C}_p\text{O}_q\text{H}_r$	5 ... 15



### Passivierungs-, Schutz- und Barrierschichten

- für Sensoren
- für Elektronikbauelemente
- $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Si_3N_4$ 
  - als Diffusionsbarrieren für Sensorelemente, für die Photovoltaik oder für die organische Elektronik
  - als Ätzstop-Schicht
  - als Passivierungsschicht

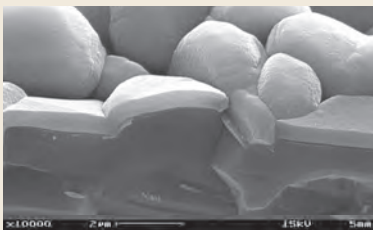
### Titandioxid-Schichten

- photokatalytisch, antibakteriell
- photo-induziert superhydrophil
- für Gas- und Feuchtesensoren
- Härte 7 ... 14 GPa einstellbar
- Brechungsindex (VIS):  $n = 2,4 \dots 2,7$  einstellbar
- Struktur: amorph, kristallin (Anatas, Rutil)
- superhydrophil nach 30 Minuten UV-A-Bestrahlung ( $1 \text{ mW/cm}^2$ )

### Funktionelle Schichten

- für Oberflächenwellen-Bauelemente,
- für elektronische und MEMS-Komponenten
- $SiO_2$ -Schichten für bessere Temperaturstabilität von SAW-Komponenten
- TaN-Schichten für Dünnschichtwiderstände

**$SiO_2$  als Passivierungsschicht für Dünnschichtwiderstände**



**Superhydrophile Titandioxid-Schicht (rechts)**

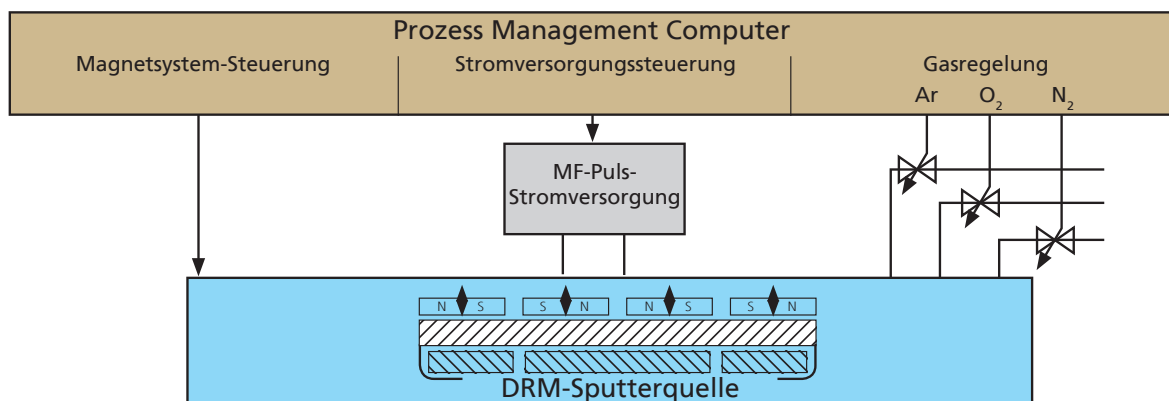


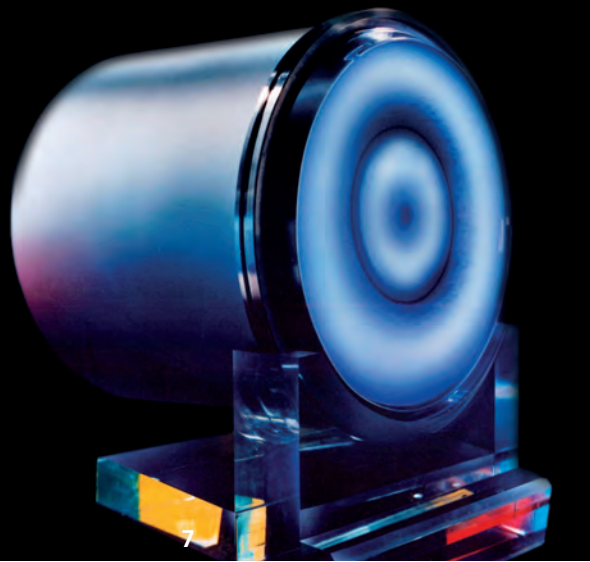
**Oberflächenwellen (SAW)-Bauelemente**



© Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstofforschung IFW Dresden

### Integriertes Paket mit Doppel-Ring-Magnetron (schematisch)





## Integrierte Pakete

Das Fraunhofer FEP entwickelt aufeinander abgestimmte systembestimmende Schlüsselkomponenten für das reaktive Puls-Magnetron-Sputtern. Zusammen mit den an die Beschichtungsaufgabe angepassten Prozessen und Technologien können diese als integrierte Pakete die Möglichkeiten neuer oder bestehender Beschichtungsanlagen erweitern.

### Sputterquellen

- Mehr-Ring-Magnetron (MRM)-Quellen für die stationäre Beschichtung
  - gleichmäßige Schichtdicken und Schichteigenschaften derzeit bis zu 200 mm, zukünftig bis 450 mm Durchmesser
  - getrennt steuerbare konzentrische Plasmaentladungen (zwei bzw. drei Ringe) zur homogenen Abscheidung oder zur Anpassung an gekrümmte Oberflächen
- Rechteck-Magnetron (bis zu 2 m Länge) für die dynamische Beschichtung

### Pulsstromversorgungen

Mit UBS-C2 und i-PULSE® wurden zwei Typen von Pulsstromversorgungen für unterschiedliche Anwendungen und Leistungsbereiche (bis 60 kW) entwickelt. Durch Anpassung von Pulsmodus und Pulsparametern ermöglichen sie neue Freiheitsgrade bei der Einstellung der Schichteigenschaften.

### Prozessregleinheiten

Die Gerätetypen PCU<sup>plus</sup> und S-PCU dienen der Regelung reaktiver Sputterprozesse. Sie erlauben die Stabilisierung des reaktiven Sputterprozesses im Übergangsbereich zwischen metallischem und reaktivem Modus und ermöglichen damit die Abscheidung stöchiometrischer Schichten mit sehr hoher Beschichtungsrate (5 bis 10 Mal höher als im voll-reaktiven Beschichtungsmodus). Sie ermitteln die Istwerte charakteristischer Prozessparameter und geben prozessspezifische Stellgrößen für ein Gaseinlassventil aus. Darüber hinaus ist mit der S-PCU eine optische Emissionsspektroskopie möglich.

## Unser Angebot

- Entwicklung und Optimierung von Beschichtungstechnologien, reaktiven Sputterprozessen und Schichtsystemen für Ihre Anwendungen
- Beschichtung von Mustern und Pilotproduktion
- Entwicklung von Schlüsselbaugruppen (Magnetronsputterquellen, Plasmaätzeinrichtungen, Prozessregleinheiten) angepasst an die Anforderungen der Beschichtungsaufgabe
- Transfer von integrierten Paketen (bestehend aus Schlüsselkomponenten, vollautomatischer Steuer- und Regelungstechnik sowie Technologie) in Produktionsanlagen
- Unterstützung bei der Kostenermittlung und der anlagentechnischen Umsetzung

## TITELFOTO

Anwendungsbeispiele

- 1 Funktionsbeschichtung auf 300 mm Wafer
- 2 CLUSTER 300 – Versuchsanlage für das stationäre Magnetronsputtern
- 3 Kunststoff-Brillenlinsen mit und ohne Antireflexschichtsystem
- 4 Rugate-Filter für schmalbandige Laser-Reflexion
- 5 Dichroitisches Filter mit Reflexion im blauen Spektralbereich
- 6 PreSensLine – Versuchsanlage für die dynamische Präzisionsbeschichtung
- 7 Doppel-Ring-Magnetron mit Plasmaentladung
- 8 Rechteck-Magnetron
- 9 Integriertes Paket mit DRM 400, UBS-C2 und PCU<sup>plus</sup>

### Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Winterbergstr. 28  
01277 Dresden

Ansprechpartner

Dr. Hagen Bartzsch  
Telefon +49 351 2586-390  
hagen.bartzsch@fep.fraunhofer.de

Dr. Jörg Neidhardt  
Telefon +49 351 2586-280  
joerg.neidhardt@fep.fraunhofer.de

[www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)



Management  
System  
ISO 9001:2015  
ISO 50001:2018  
[www.tuv.com](http://www.tuv.com)  
ID 9105050079

*Wir setzen auf Qualität  
und die ISO 9001.*

