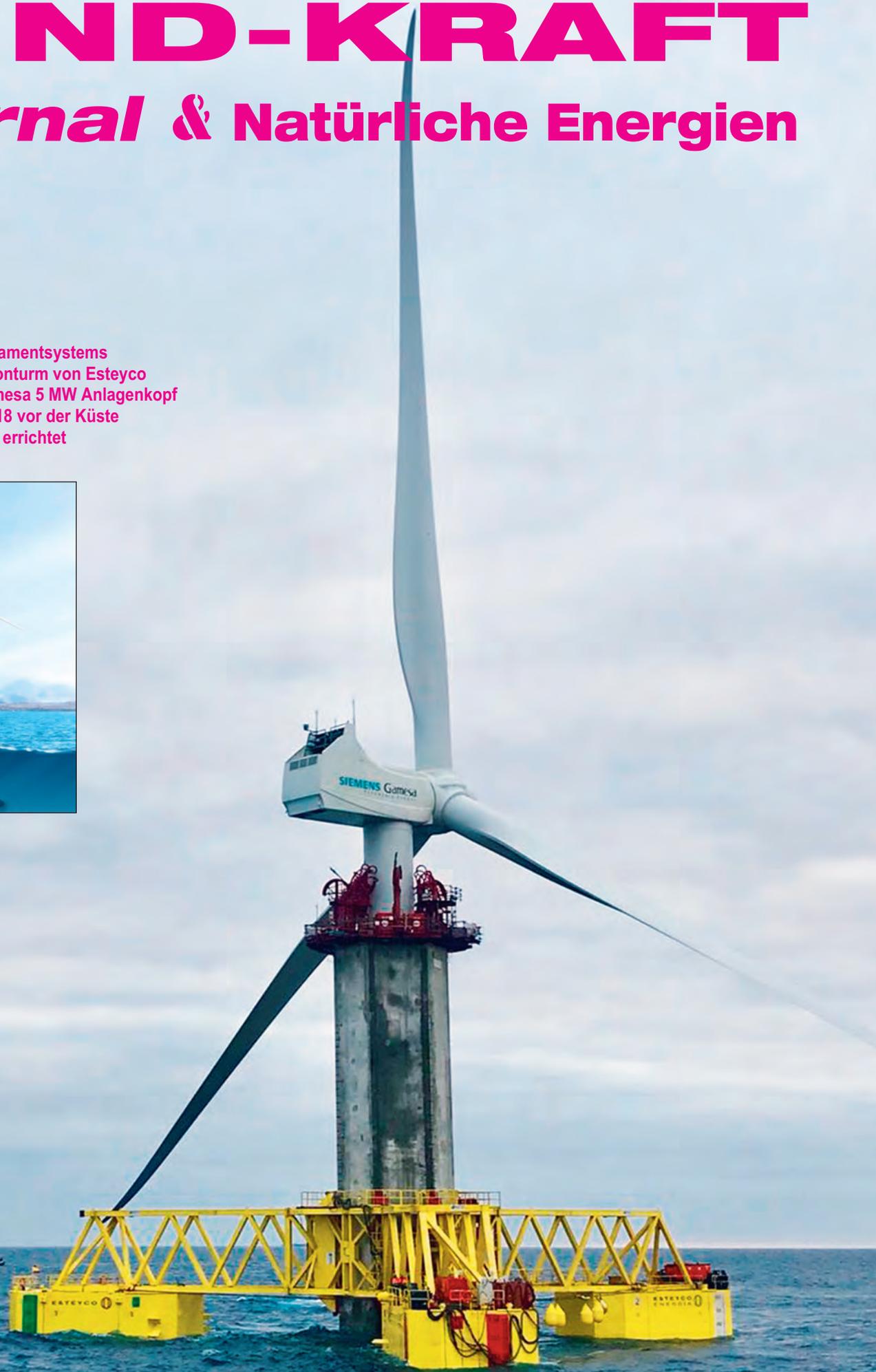
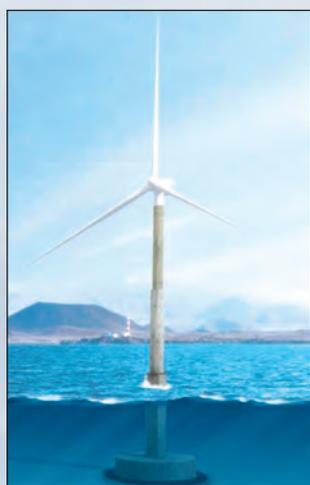


WIND-KRAFT

Journal & Natürliche Energien

Ausgabe 4/2018
38. Jahrgang
Preis : 5 Euro

Der Prototyp des
Elisa/Eclian Fundamentsystems
mit Teleskop-Betonturm von Esteyco
und Siemens Gamesa 5 MW Anlagenkopf
wurde im Juni 2018 vor der Küste
von Gran Canaria errichtet



Schwingungstilger für den Einsatz in Windkraftanlagen

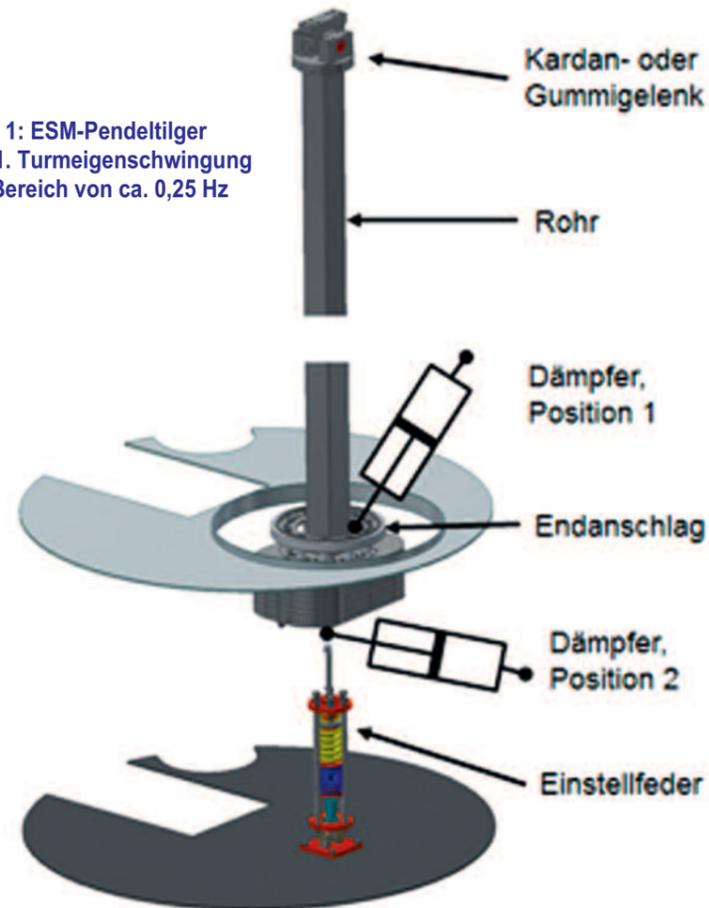
ESM Energie- und Schwingungstechnik Mitsch GmbH

Türme von Windkraftanlagen sind in den letzten Jahren kontinuierlich höher geworden. Dadurch verschieben sich die Frequenzen der ersten und zweiten Turmeigenfrequenz weiter nach unten und die Türme werden anfälliger gegenüber Anregung durch Wind und Wellen. Mögliche Gegenmaßnahmen sind der Einbau von Dämpfungselementen oder von Schwingungstilgern. Schwingungstilger für die erste und zweite Turmeigenfrequenz stehen in verschiedenen Bauformen zur Verfügung. Häufig werden gedämpfte Pendel verwendet. Um eine effektive Wirkung zu erreichen, müssen diese Pendeltilger relativ hohe Massen und Dämpfungen aufweisen. Als guter Kompromiss zwischen Wirkung und Kosten hat sich eine Tilgermasse im Bereich von ca. 2 % der äquivalenten Masse der ersten Turmschwingung bewährt.

Der von ESM entwickelte Rolltilger wirkt bereits mit deutlich kleineren Massenverhältnissen sehr effektiv.

Turmtilger werden bei On- und Offshore-Windkraftanlagen im Betrieb oder während der Errichtung verwendet.

Bild 1: ESM-Pendeltilger für 1. Turmeigenfrequenz im Bereich von ca. 0,25 Hz



an. Aufgrund von Fundamenteinfluss und Fertigungstoleranzen haben Windkraftanlagen unterschiedliche Eigenfrequenzen. Mit Hilfe der zwischen unterem Ende der Tilgermasse und Turm befestigten Einstellfeder kann die Frequenz des Tilgers entsprechend nachjustiert werden. Bei Wartungsarbeiten in der Windkraftanlage muss der Tilger aufgrund von Arbeitsschutzbestimmungen festgesetzt werden. Dazu kann die Pendelmasse über Haftmagnete gebremst und festgehalten werden. Die Bremsmagnete werden über die Anlagensteuerung geschaltet.

Das Kardangelenke ist im Allgemeinen aus Gleit- oder Wälzlagern aufgebaut. Alternativ kann ein neu entwickeltes Kardanlager auf Elastomerbasis (Bild 2) alle Lasten und Bewegungen des Tilgers aufnehmen. Die Lebensdauer dieses elastomeren Kardangelenkes wurde für ein Pendel mit 10 t schwingender Masse mit 25 Jahren für den Offshore-Einsatz nachgewiesen. Dieses neue Kardanlager hat eine sehr geringe Dämpfung und ist vollkommen wartungsfrei (Bild 2).

Die geforderte Dämpfung des Tilgers kann mittels temperaturkompensierten und weitgehend wartungsfreien hydraulischen oder magnetischen Dämpfern erreicht werden. Mit den kompakten Rotationsdämpfern können große Dämpfungskonstanten auf kleinem Bauraum realisiert werden (Bild 3).

Der elastische Endanschlag verhindert bei extremen Ausschlägen der Tilgermasse einen harten Stoß an der Turmwand. Speziell entwickelte Federelemente mit einer besonders weichen Steifigkeitskennlinie sorgen für ein sanftes Anschlagen der Masse bei Extremlastfällen.

Rolltilger für die 1. Turmeigenfrequenz

Dem gegenüber wirkt der ESM-Rolltilger (siehe Bild 4) bereits mit deutlich kleineren

ren Massenverhältnissen sehr effektiv. Auf einer gebogenen Führungsleiste wird über ein Rollsystem eine Masse zu periodischen Bewegungen angeregt.

Die Eigenfrequenz des Tilgers wird im Wesentlichen durch den Radius der Laufbahn und die Trägheit der Schwingscheibe bestimmt. Die Tilgerfrequenz kann durch die einstellbare Massenträgheit der Schwingscheibe exakt auf die individuelle Anlagenfrequenz eingestellt werden. Die Wirbelstrom-Dämpfung des Systems ist ebenfalls einstellbar und kann somit den jeweiligen Anforderungen entsprechend angepasst werden. Weiterhin trägt ein hoher Schwingweg im Bereich von zwei bis vier Metern zur Effizienz des Rolltilgers bei. Auch bei diesem Tilger kann die Masse mit Hilfe von integrierten Haftmagneten über die Anlagensteuerung gebremst und gehalten werden.

Aufgrund der kompakten Bauweise kann dieses System sehr einfach im Turm eingebaut, oder besser noch direkt in oder sogar auf der Gondel installiert werden. Damit kann dieser Tilger im Schwingungsbauch der ersten Turmeigenfrequenz platziert und somit sehr effizient und kostengünstig eingesetzt werden.

Messungen mit dem ESM-Rolltilger in einer 2 MW-Anlage zeigen, dass mit einem Massenverhältnis im Promillebereich die Dämpfung der ersten Eigenschwingung des Turms um einen Faktor 3,5 erhöht wird.

Bild 5 zeigt den Ausschwingvorgang des Turmes der 2 MW-Anlage ohne und mit Rolltilger. Aufgrund der höheren Dämpfung klingen die Turmschwingungen mit eingebautem ESM-Rolltilger deutlich schneller ab.

Dank der kompakten Bauweise können auch zwei Rolltilger um 90° verdreht in einer Anlage eingebaut werden. Damit werden Schwingungen in allen Richtungen um die Turmachse reduziert.

Tilger für die 2. Turmeigenfrequenz

Neben der 1. Turmeigenfrequenz treten bei den neuen, hohen Türmen auch störende Schwingungen mit hohen Auslenkungen in der 2. Turmeigenfrequenz auf. Typische Frequenzen der 2. Turmeigenfrequenz liegen bei diesen Türmen im Bereich um ca. 1,0 Hz. Damit wird die Pendellänge sehr klein und der Tilger baut sehr kompakt (siehe Bild 6). Die Gelenke der Pendelstangen können wieder Kardanlager mit Gleit- bzw. Wälzlagern sein. Alternativ können hier ESM-Elastomergelenke in Kugelform oder ESM-Konuslager eingesetzt werden. Diese Elastomerelemente sind wartungs-

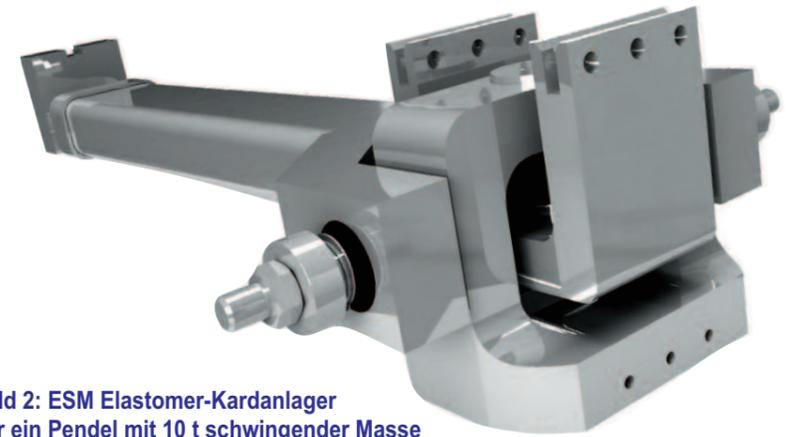


Bild 2: ESM Elastomer-Kardanlager für ein Pendel mit 10 t schwingender Masse



Bild 3: ESM Rotationsdämpfer



Bild 4: ESM-Rolltilger mit ca. 6 t schwingender, modular aufgebauter Masse

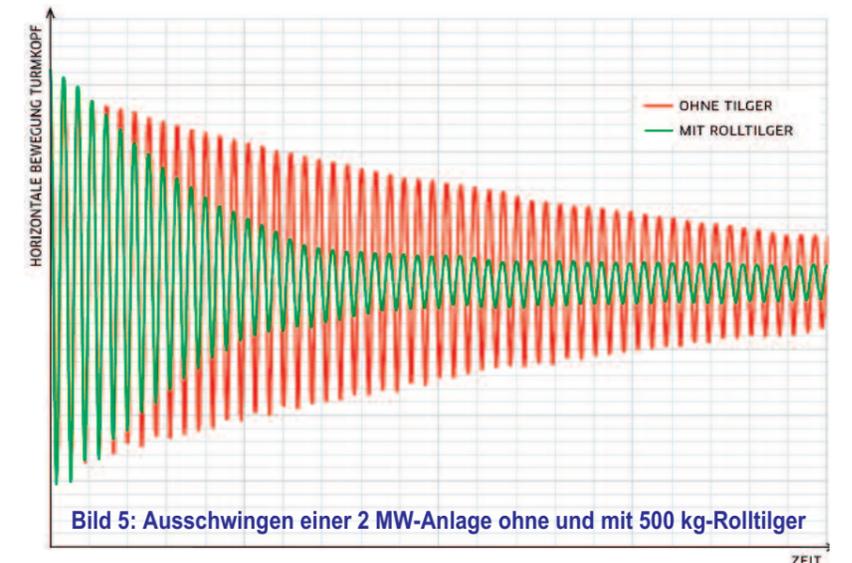


Bild 5: Ausschwingen einer 2 MW-Anlage ohne und mit 500 kg-Rolltilger

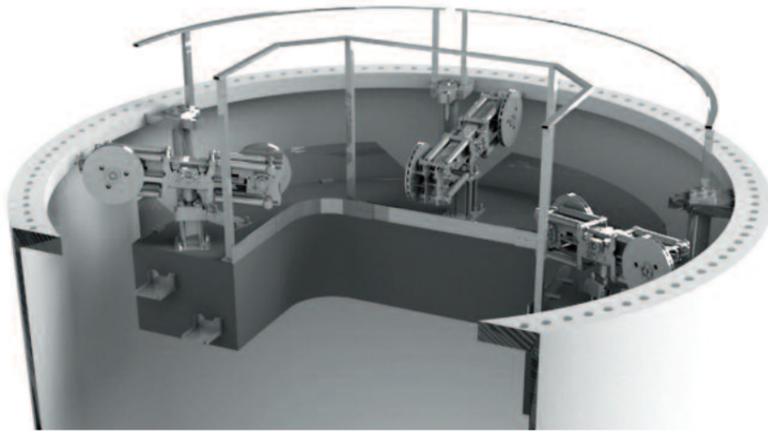


Bild 6: Kompakter ESM-Tilger für die 2. Turmeigenschwingung



Bild 7: Der einstellbare Errichtungstilger von ESM für WKA-Türme während der Aufbauphase arbeitet im Frequenzbereich von 0,5 Hz



Bild 8: Robuster Errichtungstilger mit fester Frequenz und hoher Dämpfung

frei und für eine Lebensdauer von 25 Jahren ausgelegt.

Die erforderliche Dämpfung wird im Idealfall durch den Einsatz von hochdämpfenden Materialien in den Elastomergelenken realisiert. Sollte dies nicht ausreichen, können ESM-Rotationsdämpfer als zusätzliche Dämpfungselemente verwendet werden. Dadurch ist es außerdem möglich die Dämpfung optimal an die Anforderungen des Tilgers bzw. Turmes anzupassen.

Die Konturen der Masse können beliebig sein. Dies ist aufgrund der meist beengten Platzverhältnisse im Turm vorteilhaft. Der geringe Bauraum im Turm ist auch der Grund für den Einsatz von Stahlmassen. Diese sind aus Transportgründen oft modular aufgebaut. Damit kann der Tilger als Retrofitmaßnahme auch in einen bestehenden Turm eingebaut werden. Ist genügend Bauraum vorhanden, besteht die Möglichkeit die Masse kostengünstig aus Beton zu fertigen.

Errichtungstilger

Schlanke, hohe Bauwerke wie Kamine oder Türme von Windkraftanlagen werden während der Errichtungsphase bei bestimmten Windgeschwindigkeiten leicht zu starken Schwingungen durch Ablösen von Karman'schen Wirbeln angeregt. Um Schäden an den Türmen bzw. kostspielige Wartezeiten zu vermeiden, können ESM-Errichtungstilger eingesetzt werden. Diese verhindern während der verschiedenen Phasen beim Aufbau einer Windkraftanlage, dass der Turm zu gefährlichen Schwingungen angeregt wird. Mit zunehmendem Baufortschritt verringert sich die Eigenfrequenz des Turmes. Soll der Tilger für jeden Bauzustand eingesetzt werden, muss er entweder in einem sehr breiten Frequenzbereich wirken, oder die Frequenz einfach nachstellbar sein. Bei dem in Bild 7 dargestellten Errichtungstilger handelt es sich um eine eigenständige, selbsttragende Konstruktion, die auf die Turmfiansche geschraubt

wird. Dieser passive Tilger arbeitet im Frequenzbereich von ca. 0,5 Hz und ist für die Errichtungsphase Turm ohne Gondel ausgelegt. Zudem ist der zulässige Schwingweg von ± 300 mm so groß gewählt, dass trotz relativ kleiner Tilgermasse eine sehr gute Wirkung erzielt wird. Die Dämpfungselemente sind platzsparend direkt am Kardangelenke angebracht. Damit ausreichend hohe Dämpfungswerte erreicht werden können, müssen die geringen Amplituden und Geschwindigkeiten am Kardangelenke vergrößert werden. Dies wird mit an den Achsen des Kardangelenkes angeflanschten Stirnradgetrieben realisiert. Die eigentlichen Dämpfungselemente sitzen an den Stirnseiten der Getriebe.

Alternativ kann ein Tilger mit großer Masse und hoher Dämpfung verwendet werden. Dadurch wirkt dieser Tilger in einem breiten Frequenzbereich ohne verstellen der Tilgerfrequenz. Dieser reduziert im Frequenzbereich von 0,5 Hz bis 1 Hz die Schwingungen des Turmes in den verschiedenen Errichtungszuständen um bis zu 80 % (Bild 8).

**Auf der Hamburg WindEnergy :
Halle B5, Stand 134**



**ESM Energie- und
Schwingungstechnik Mitsch GmbH
Energistraße 1
D-64646 Heppenheim
Tel.: +49 (0) 6252 / 68 93 - 0
info@esm-gmbh.de**