



Wie hört man das Eis wachsen?

IDD.Blade® und **SHM.Blade®** – Rotorblattüberwachung zur effizienten Erkennung von Eis und Strukturschäden



Wölfel



Eis- und Strukturschäden

Behörden fordern, dass eine Windenergieanlage (WEA) bei vorliegender Rotorblatt-Vereisung angehalten werden muss, um das Umfeld vor Eisabwurf zu schützen. Aber auch durch Vereisung bedingte erhöhte Beanspruchungen aufgrund von Unwuchten stellen einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Lebensdauer der WEA dar. Rotorblätter von WEA sind extremen Umweltbedingungen und starken dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt. Ihr Zustand entscheidet über den Energieertrag und damit maßgeblich über die Wirtschaftlichkeit einer WEA. Entstehende Schäden müssen so früh wie möglich erkannt werden, um rechtzeitig Reparaturmaßnahmen einleiten zu können. Unbemernte Schäden führen im schlimmsten Fall dazu, dass ganze Rotorblätter ausgetauscht werden müssen – das ist mit längeren und unnötigen Stillstandszeiten für die gesamte WEA oder den gesamten Windpark verbunden.

Zusammenfassend lässt sich sagen:

- Eiserkennung durch Messung des Schwingverhaltens des Rotorblatts
 - erweist sich als sichere und effektive Methode,
 - ermöglicht eine Eiserkennung auch im Stillstand der WEA, unterhalb der Einschaltwindgeschwindigkeit (cut-in wind speed),
 - ermöglicht eine automatische An- und Abschaltung der WEA bei Vereisung.
- Bei der Verwendung von Systemen ohne automatische Neustartfunktion steht die WEA nachweislich bis zu 40 % unnötig still.¹
- Eine hohe Sensitivität der Eis- und Schadenserkenntnis ist für einen wirtschaftlichen Betrieb unabdingbar. Standortspezifische Einstellungen können dies gewährleisten.

- Periodisch wiederkehrende Prüfungen sind für die frühzeitige Detektion von Schäden oder Eisansatz nicht ausreichend. Eine permanente Überwachung gewährleistet eine höhere Sicherheit.



¹ Quelle:
T. Jung et al.: Wirtschaftlichkeitsstudie von Eiserkennungssystemen an Windenergieanlagen, Weilburg 2015



Die Lösung – SHM.Blade® und IDD.Blade®

SHM.Blade ist ein in der Praxis erprobtes Zustandsüberwachungssystem für Rotorblätter, das Strukturschäden und – mit der Option IDD.Blade – Vereisung detektieren kann. Droht dem Rotorblatt Gefahr in Form einer beginnenden Schädigung oder hat sich Eis gebildet, sendet das System eine Warnung oder einen Alarm. Dies kann Grundlage für einen Anlagenstopp oder die Einleitung von Inspektions- und Reparaturmaßnahmen sein. SHM.Blade und IDD.Blade stützen sich auf die Messung und Interpretation des globalen Schwingungsverhaltens. Schwingungen verändern sich, wenn infolge eines Schadens die Steifigkeit abnimmt bzw. wenn sich durch Eis die Masse des Rotorblattes verändert. So kann mittels Sensoren und komplexer Datenauswertungsalgorithmen der Zustand des Rotorblattes erfasst werden. Basis für die Auswertung ist ein patentiertes Verfahren, bei dem mittels Output-Only-Modalanalyse strukturdynamische Rotorblatteigenschaften durch Systemidentifikation direkt aus den Sensordaten bestimmt werden.

Ein wesentlicher Pluspunkt unserer Blattmonitoringsysteme ist, dass durch Sensorik in den Rotorblättern die Struktureigenschaften direkt und objektiv erfasst werden können. In der nachfolgenden Tabelle sind die daraus entstehenden Vorteile dargestellt und den Eigenschaften von Eiserkennungssystemen auf Basis anderer physikalischer Prinzipien gegenübergestellt.

Eiserkennungssysteme			
Meteorologisch	Visuell	über Leistungskurve	Rotorblattmonitoring
<ul style="list-style-type: none"> ● Keine direkte Eiserkennung am Rotorblatt möglich ● Nicht für den automatischen Wiederanlauf zugelassen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Witterungsbedingt nicht voll einsetzbar ● Nicht für den automatischen Wiederanlauf zugelassen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Keine direkte Eiserkennung am Rotorblatt möglich ● Nicht für den automatischen Wiederanlauf zugelassen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Direkte Eiserkennung am Rotorblatt möglich ● Zertifiziert für den automatischen Wiederanlauf



Eis- und Schadensdetektion

Schadensdetektion: SHM.Blade®

SHM.Blade detektiert Strukturveränderungen in Bezug auf einen Referenzzustand. Dieser wird unmittelbar nach Inbetriebnahme von SHM.Blade vollautomatisch und ohne äußeres Zutun für jedes einzelne Rotorblatt individuell bestimmt. Eine solche blattspezifische Lernphase gewährleistet trotz fertigungsbedingter Massen- und Steifigkeitstoleranzen eine hohe Schadenssensitivität. Nach Abschluss der Lernphase werden kontinuierlich Zustandsindikatoren berechnet, die jederzeit Informationen über den aktuellen Blattzustand geben. Mittels eines zweistufigen Warn- und Alarmierungskonzeptes kann die Anlagensteuerung reagieren – Folgeschäden sind dadurch vermeidbar. Detailliertere Informationen sind über das Webmonitoring-Portal MIC.Windenergy einsehbar.



Gravierende Schäden mit SHM.Blade vermeiden

Eisdetektion: IDD.Blade®

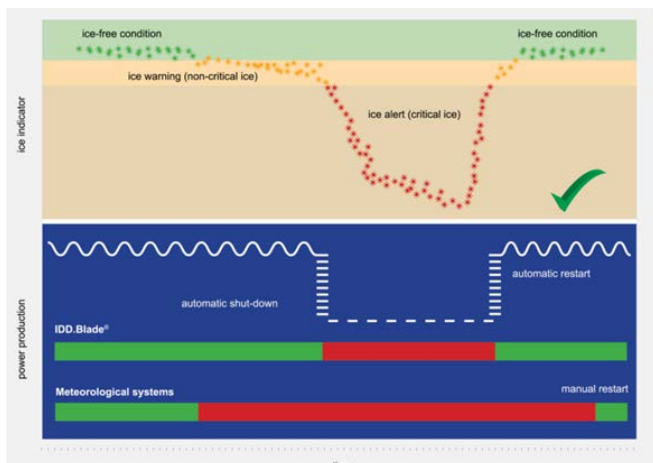
IDD.Blade detektiert Eisansatz an Rotorblättern. Da die Sensoren in den Rotorblättern den tatsächlichen Vereisungszustand direkt erfassen, sind die Ergebnisse wesentlich zuverlässiger als bei einer Beurteilung auf Basis meteorologischer Größen. Wirtschaftlicher Hauptvorteil ist jedoch die Fähigkeit, aufgrund von Eisansatz außer Betrieb genommene Windenergieanlagen nach dem Abtauen des Eises automatisch für den weiteren Betrieb freizugeben. Aufwendige Serviceeinsätze mit subjektiven Ergebnissen erübrigen sich. Als besonderes Feature ist das Warn- und Alarmierungskonzept in Abstimmung mit dem Betreiber und behördlichen Auflagen frei parametrierbar. So kann standortabhängig der Energieertrag optimiert werden, je nachdem, ob Personensicherheit oder der Schutz der WEA vor Überbeanspruchungen im Vordergrund steht. IDD.Blade kann auch als eigenständiges Modul – ohne SHM.Blade – eingesetzt werden.



Auf der sicheren und wirtschaftlichsten Seite

SHM.Blade® und IDD.Blade®

- Frühzeitige Schadenserkennung erhöht die Sicherheit und senkt massiv Kosten durch die Planbarkeit der Serviceeinsätze
- Automatisches Wiederauffahren nach Eisdetektion verhindert unnötige Stillstandzeiten



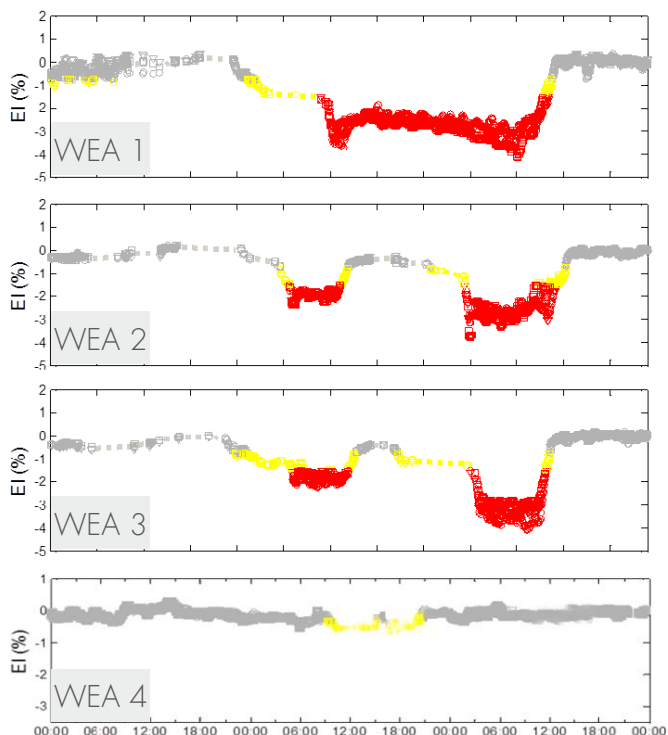
Vorteile des automatischen Wiederauffahrens: Mehr Energieertrag durch späteres Abschalten und früheres automatisches Wiederauffahren

- Mehrere hundert im Feld jahrelang erfolgreich eingesetzte Systeme mit einer hohen Kundenzufriedenheit
- Gutachten TÜV NORD (typenbezogener Nachweis der zuverlässigen Funktionsweise auf Basis einer Gefährdungsbeurteilung)
- Geprüfter Blitz- und Überspannungsschutz gemäß den Anforderungen des Lightning Protection Level I nach IEC 61400-24
- Kundenspezifisch konfigurierbar und einfach nachrüstbar; erfahrenes Servicepersonal steht zur Verfügung
- Optionale Bereitstellung von detaillierten Informationen zum Schwingungsverhalten der Rotorblätter (Vergleich der Blätter einer WEA; Vergleich der Blätter mehrerer WEA) über das Webmonitoring-Portal MIC.Windenergy zur Detektion „abnormaler Blätter“ und zur Detektion ungewöhnlichen Schwingungsverhaltens.
- GL Type Certificate SHM.Blade: Schadenserkennung, IDD.Blade: Eiserkennung, Type Certificate TC-GL-015A-2013



Kostenoptimierte Überwachung mit IDD.Blade[®]

IDD.Blade reduziert die Stillstandszeiten auf die Zeitpunkte tatsächlicher Vereisung und erlaubt einen automatischen Neustart der Windenergieanlage bei Eisfreiheit. Die dargestellten Grafiken zeigen beispielhaft den Eisverlauf von 4 Windenergieanlagen eines deutschen Windparks. Nur zu Zeitpunkten mit roter Markierung liegt eine Rotorblattvereisung vor, die einen Stopp der WEA erfordert. Es ist zu erkennen, dass die Vereisung auch innerhalb eines Windparks sehr unterschiedlich ausgeprägt sein kann und IDD.Blade die Stillstandszeiten jeder einzelnen WEA auf die tatsächlichen Vereisungsperioden minimiert.



Abschaltung bei kritischen Eisbedingungen

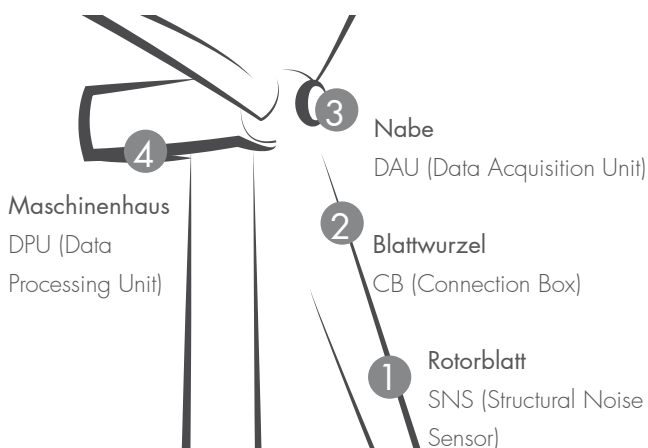
Durchgängige Stromerzeugung bei unkritischen Eisbedingungen

Standort: Region in Hessen
Zeitraum: 13.–14. Februar 2015



Die Hardware – in zahlreichen Windenergieanlagen erfolgreich eingesetzt

Schwingungen und Schall werden durch SHM.Blade und IDD.Blade in jedem Rotorblatt mit Structural Noise Sensoren (SNS) gemessen. Diese erfassen Beschleunigungen sowie die Temperatur und besitzen einen ausgezeichneten Signal-Rauschabstand. Die hohe Signalauflösung ist wesentlich für einen erfolgreichen Betrieb. Gegen Überspannungen und die Auswirkungen von Blitzeinschlägen in die Rotorblätter sind die Sensoren entsprechend den Anforderungen des Lightning Protection Level I (IEC 61400-24) geschützt.



Komponenten von SHM.Blade und IDD.Blade

Für IDD.Blade und SHM.Blade Basic reicht ein Sensor je Rotorblatt. Bei höheren Anforderungen an Genauigkeit und Redundanz kann SHM.Blade Standard mit zwei Sensoren je Rotorblatt eingesetzt werden.

An jeder Rotorblattwurzel sorgt eine Connection Box (CB) mit einer robusten Steckverbindung dafür, dass die Sensoren mit dem System verbunden werden können. Die analogen Sensorsignale werden in der Nabe von der Data Acquisition Unit (DAU) digitalisiert, zwischengespeichert und dann über eine TCP/IP-Verbindung an die Data Processing Unit (DPU) in das Maschinenhaus übermittelt und dort weiter verarbeitet. Die Datenerfassung erfolgt kontinuierlich, um jederzeit Aussagen zum aktuellen Rotorblattzustand bereitstellen zu können. In der DPU werden die Zustandsindikatoren zur Schadens- und Eisdetektion (mit Option IDD.Blade) berechnet. Die Messdaten werden vollautomatisch ausgewertet. Dazu müssen von der WEA-Steuerung die aktuellen Betriebsdaten wie Windgeschwindigkeit, elektrische Leistung, Generator- oder Rotordrehzahl und Pitchwinkel bereitgestellt werden. Parallel dazu erfolgt von der DPU aus die Kommunikation von Zustandsmeldungen und die Datenanbindung an das externe Monitoring Center (MIC.Windenergy). Über ein Web-Interface besteht die Möglichkeit der Echtzeitüberwachung und des Fernzugriffs auf das System. Durch mehrere Selbstdiagnoseverfahren, individuelle Plausibilitätskontrollen und die ständige Überwachung des zyklischen Programmablaufs meldet SHM.Blade unerwartete Systemzustände an die Turbinensteuerung und das Monitoring Center.



Die Wölfel Kernkompetenz – aus Millionen von Messdaten wertvolle Informationen extrahieren

Signalanalyse und Schadensidentifikation

Die Herausforderung, die SHM.Blade erfolgreich bewältigt, besteht darin, aus der Menge an Messdaten und maskierenden Umwelteinflüssen genau die Informationen zu extrahieren, die Auskunft über den technischen Zustand des Rotorblatts geben.

Wenn ein SHM-System einerseits kritische, die Tragfähigkeit gefährdende Veränderungen des Rotorblatts sensitiv erkennen soll, andererseits aber keinen Fehlalarm auslösen darf, sind einige Herausforderungen zu bewältigen:

- Woher weiß SHM.Blade, welcher Zustand gut bzw. schlecht ist?
- Wie werden Schwellenwerte zur Abgrenzung eines schlechten Zustandes für die Alarmierung gesetzt?
- Wie sind produktionsbedingte Abweichungen von Blattsteifigkeit, Masse und ihrer Verteilung, die jedes Rotorblatt zu einem Individuum machen, mit Schwellenwerten zu vereinbaren?

- Wie können Einflüsse auf das Schwingungsverhalten aufgrund von Betriebs- und Umgebungsbedingungen separiert werden von Einflüssen aus Vereisung oder Strukturschäden?

Dynamische Eigenschaften abhängig von

- Temperatur
- Rotationsgeschwindigkeit
- Pitchwinkel
- elektrischer Leistung



Kompensierte dynamische Eigenschaften



Endgültige Zustandsindikatoren

- Eis
- Schaden

Kompensation der Einflüsse aus Betrieb und Umwelt



Die aufgeworfenen Fragen können nur beantwortet werden, wenn für einen Rotorblatttyp in einer Konfigurationsphase die „Grundeinstellungen“ festgelegt werden. Somit schließt sich bei Inbetriebnahme der WEA eine Lernphase von SHM.Blade an. Während dieses Zeitraums erfolgt eine sogenannte individuelle blattspezifische Referenzierung. Diese ist notwendig, um trotz fertigungsbedingter Rotorblattabweichungen, die das strukturdynamische Verhalten beeinflussen, eine hohe Systemsensitivität zu erreichen.

Die Referenzierung erfolgt dabei betriebszustandsabhängig, so dass auch bei Inbetriebnahme in den Wintermonaten innerhalb kürzester Zeit Aussagen zum Vereisungszustand getroffen werden können. Die Datenanalyse erfolgt im Zeitbereich durch Identifikation von Zustandsraummodellen, die das strukturdynamische Verhalten beschreiben. Bestehende Identifikationsverfahren auf Basis der in der Literatur als Output-Only-Identifikation bezeichneten Methoden (Systemidentifikation im Zeitbereich) wurden erweitert und angepasst, um die speziellen Randbedingungen zu berücksichtigen. Mit den genannten Verfahren ist es möglich, Ergebnisse schneller und mit höherer Genauigkeit zu erzielen als z. B. durch spektrale Analyse mittels Fouriertransformation.

Ein besonderes Augenmerk bei der Analyse liegt auf der Unterscheidung zwischen Strukturresonanzen und harmonischen Anregungsanteilen. Darüber hinaus sind die permanent wechselnden Betriebsbedingungen zu berücksichtigen. Insbesondere veränderliche Betriebs- und Umweltbedingungen beeinflussen die Messdaten meist stärker als durch Vereisung oder Strukturschäden hervorgerufene Effekte. Hier werden statistische Verfahren zur Klassifizierung erfolgreich eingesetzt.



„Mit diesen über viele Jahre entwickelten und erfolgreich im Feld erprobten Verfahren erreicht SHM.Blade seine außerordentlich hohe Sensitivität. SHM.Blade erhöht damit die Sicherheit und Verfügbarkeit von Windenergieanlagen.“

Dr.-Ing. Carsten Ebert
Prokurist und Leiter Windenergie bei Wölfel



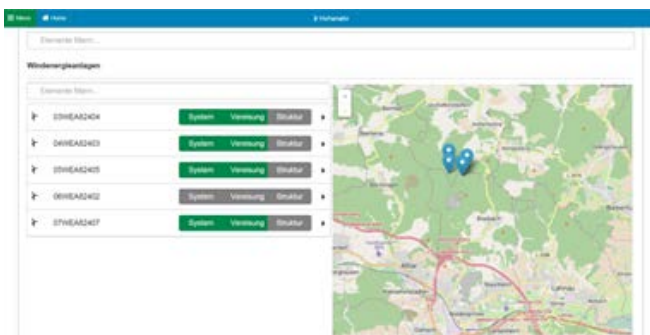
Monitoring Intelligence Center

MIC.Windenergy

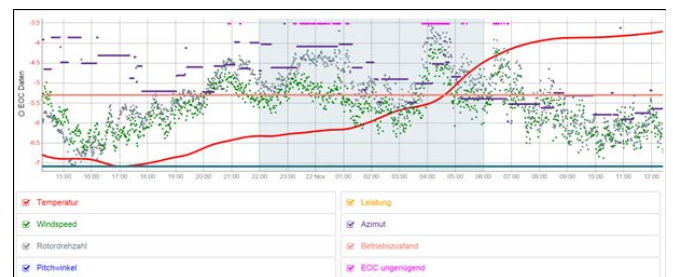
SHM.Blade wurde entwickelt für einen vollautomatischen und autarken Betrieb auf Windenergieanlagen. Durch die direkte Kommunikation mit der Anlagensteuerung kann diese im Falle von Eisansatz oder Strukturschäden unverzüglich reagieren. Darüber hinaus bieten wir die Möglichkeit, unsere Blattmonitoringsysteme an unser Web-Monitoringportal MIC.Windenergy anzubinden. Detaillierte System- und Rotorblattinformationen stehen hier zur Verfügung. Für einen wirtschaftlichen Betrieb ist solch eine Fernüberwachung von wesentlichen Komponenten heutzutage Standard.

So werden auf Wunsch per Internet alle relevanten Daten übertragen und gesichert. Über das Web-Interface des Wölfel Monitoring Centers MIC.Windenergy stehen der Betriebsführung alle wichtigen Indikatoren grafisch aufbereitet zur Verfügung.

Eventgesteuerte Benachrichtigungen und ein automatisches Reporting sichern jederzeit alle aktuelle Informationen. Ist eine Datenanbindung aus Sicherheitsgründen nicht gewünscht oder vor Ort nicht gegeben, können alle Monitoring- und Datensicherungsfunktionen auch auf einen zentralen Windparkserver ausgelagert werden.



MIC.Windenergy



MIC.Windenergy

Weitere Produkte zur Strukturüberwachung

SHM.Tower

Stahlrohtürme können erheblichen Schwingungen ausgesetzt sein, die die Lebensdauer wesentlich beeinträchtigen. Da Überwachungssysteme fehlen, werden hohe Ermüdungsbeanspruchungen nicht erkannt – insbesondere, wenn aufgrund von Netzausfall keine Stromversorgung vorhanden ist.

Unser Produkt SHM.Tower erfasst die Turmschwingungen durch einen Beschleunigungssensor und dokumentiert die Ermüdungsbeanspruchungen und den Lebensdauerverbrauch, für bis zu 6 Monate auch ohne Stromversorgung. SHM.Tower ist einfach nachrüstbar, so dass auch eine Lebensdauerbewertung gegen Ende der Betriebsdauer der WEA möglich ist. Für eine Laufzeitverlängerung stehen so entscheidende Informationen zur Verfügung.



SHM.Foundation

Bei Offshore-Windparks wird regelmäßig gefordert, dass zumindest jede zehnte Gründungsstruktur durch ein Monitoring-System überwacht wird. Wölfel hat in diesem Bereich eine umfassende Expertise und berät bei der optimalen Ausgestaltung unter Berücksichtigung individueller Kundenwünsche und Projektanforderungen. Unsere Monitoring-Systeme werden mit robuster Elektronik im Industriestandard ausgerüstet. Der Einbau von Überspannungsschutz-Modulen ist ebenso Standard wie eine CE-Kennzeichnung. Die Montage übernehmen unsere für den Offshore-Einsatz bestens ausgebildeten Teams. Unsere Kernkompetenz ist die Datenanalyse. Ihnen als Parkbetreiber hilft es nicht, lediglich Messdaten zu erhalten. Wir extrahieren für Sie die wesentlichen Informationen, vergleichen die erfassten Beanspruchungen mit Designannahmen, berechnen den Lebensdauerverbrauch und erstellen Berichte für Genehmigungsbehörden. Durch den Vergleich des Verhaltens der Windenergieanlagen innerhalb eines Windparks untereinander können suboptimale Betriebsweisen erkannt und Inspektionsmaßnahmen gezielt geplant werden.



Was bewegt Wölfel?

Schwingungen, Strukturmechanik und Akustik – das ist die Welt von Wölfel. In dieser Welt sind wir die Experten. Sie ist unser Zuhause. Über 90 Mitarbeiter geben hier täglich ihr Bestes für die Zufriedenheit unserer Kunden. Seit mehr als vier Jahrzehnten unterstützen wir Sie weltweit mit Ingenieurleistungen und Produkten zur Analyse, Prognose und Lösung schwingungs- und schallinduzierter Aufgaben.

Sind Schwingungen wirklich überall? Ja! Darum brauchen wir ebenso vielfältige Lösungen! Ob als Ingenieurdienstleistung, als Produkt oder als Software – für jede Schwingungs- oder Lärmaufgabe gibt es eine spezifische Wölfel-Lösung, wie beispielsweise

- simulationsgestützte Auslegungen von Anlagen und Kraftwerken gegen Erdbeben
- Messungen der Schallemissionen von Windenergieanlagen
- universelle Mess-Systeme für Schall und Erschütterungen
- Lärmschutzgutachten und Schadstoffprognosen
- dynamische Insassen-Simulationen im Automobil und im Flugzeug
- und viele weitere branchenspezifische Wölfel-Lösungen ...



Wölfel-Gruppe

Max-Planck-Straße 15 / 97204 Höchberg

Tel.: +49 931 49708 0 / Fax: +49 931 49708 150

info@woelfel.de / www.woelfel.de

