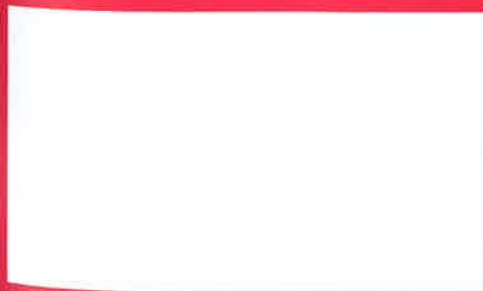




# WING business

## Smart Maintenance



Lean Smart  
Maintenance

12

Instandhaltungs-  
Controlling

29

Instandhaltung  
4.0

25



Foto: Opel Wien GmbH

**Robert Bernerstätter, Tanja Nemeth, Robert Glawar, Christoph Habersohn,  
Hubert Biedermann**

## Instandhaltung 4.0

### Sicherung der Produktqualität und Anlagenverfügbarkeit durch einen echtzeitbasierten Instandhaltungsleitstand

Ziel des durch die FFG (Forschungsförderungsgesellschaft) geförderten Projektes „Instandhaltung 4.0“ ist die Entwicklung eines Instandhaltungsleitstandes, welcher Daten aus verschiedenen Quellen verknüpft, um Ausfallzeitpunkte von Anlagenelementen zu prognostizieren. Das Projektkonsortium besteht aus dem Institut für Managementwissenschaften, als Konsortialführer, dem Institut für Fertigungstechnik (IFT), beide von der TU Wien, dem Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften (WBW) der Montanuniversität Leoben, der Pimpel GmbH und der Opel Wien GmbH. An den Bearbeitungszentren der Opel GmbH wird der Instandhaltungsleitstand entwickelt, der Daten aus der Qualitätssicherung, dem Produktionsprogramm, der Instandhaltungsdatenbank und eines Simulators, welcher von der Pimpel GmbH und dem IFT entwickelt wird, verknüpft. In Verbindung mit den Schlüssen aus einem Datamining-Modell, welches das WBW entwickelt, wird ein Regelwerk für die prädiktive Instandhaltung abgeleitet.

#### Einleitung

Die Anforderungen an die Wirtschaft und Industrie in den Bereichen Innovation, Flexibilität und Komplexität nehmen stetig zu. Durch die Individualisierung der Kundenwünsche und die damit verbundene steigende Produktvielfalt kommt es zu einer Vermehrung der Rüstvorgänge, was u. a. zu mehr nicht-produktiver Zeit führt. Kürzere Bestellzyklen und oft ändernde Kundenwünsche erfordern eine schnelle und aggregierte Übersicht der planungs- und steuerungsrelevanten Daten (Spath et al. 2013). Mittels der im Begriff Industrie 4.0 verknüpften Konzepte insbesondere der Datenintegration zu

cyber-physikalischen Systemen kann vorstehend genannten Entwicklungen entsprochen werden. In diesem Kontext steht die Instandhaltung vor neuen Herausforderungen. Durch den Einsatz von Sensortechnologien und Datenanalysemethoden rückt die Schwachstellenanalytik und folglich ein modernes Wissensmanagement immer stärker in den Fokus. Die Aufbereitung von Daten kombiniert mit Expertenwissen zum Ziehen von Schlüssen ist der Kern einer prädiktiven Instandhaltung. (Biedermann, 2015). Letztere soll die durch die zunehmende Anlagenkomplexität und Verknüpfung notwendige Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit sicherstellen.

#### Konzept des Instandhaltungsleitstandes

Um den Herausforderungen einer prädiktiven Instandhaltung gerecht zu werden, wird ein Instandhaltungs-Leitstand für Produktionsanlagen entwickelt, der durch die Verknüpfung von Echtzeit-Maschinensteuerungsdaten, Condition Monitoring Daten, historischen Qualitätsmess- und Ausfalldaten sowie dem impliziten Wissen der Instandhaltungsmitarbeiter, Ausfallzeitpunkte prognostiziert und bereits während der Produktion Qualitätsabweichungen erkennt (vgl. Abbildung 1).

Dem Leitstand liegt ein Regelwerk zu Grunde, welches zusätzlich durch

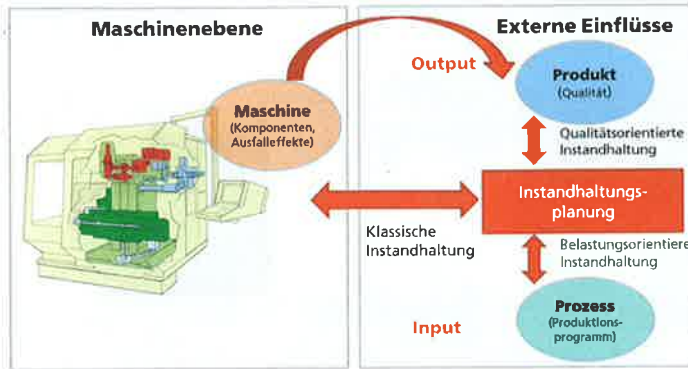


ABBILDUNG 1: KOMBINATION VON MASCHINEN-, PRODUKTQUALITÄTS- UND PROZESSPERSPEKTIVE

zustandsorientierte Störungsdiagnostiken wie etwa ein Simulationsverfahren und ein datenbasiertes Verfahren wie Datamining unterstützt wird und antizipative Instandhaltungsmaßnahmen vorschlägt.

Die Methodik wird mit folgenden 4 Schritten umgesetzt (vgl. Tabelle 1):

**Schritt 1:** Um das Verhalten des betrachteten Systems, im konkreten

instandhaltungsrelevanten Maschinenparametern. Durch das angewandte Simulationsverfahren können in Verbindung mit Werkzeugdaten Prozesskräfte abgeschätzt werden, woraus als Ergebnis bereits zukünftig auftretende Lastkollektive für ein entsprechendes NC-Programm abgeleitet werden können.

**Schritt 3:** Anschließend können die Belastungsprofile

<b>Schritt 1: Framework-Entwicklung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Abbildung der Produktionsanlagen auf Komponentenebene mit zugehörigen Lastprofilen</li> <li>Identifikation und Übertragung von Produktionszustand einer Realanlage auf entwickelte Systematik</li> </ul>
<b>Schritt 2: Datenanalyse- und Simulationsstudie</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Auswahl und Vorbereitung der historischen Daten (Maschinen-, Produkt- und Prozessdaten), Condition Monitoring Daten und Belastungsdaten</li> <li>Untersuchung von instandhaltungsrelevanten Daten, um Rückschlüsse auf Last-induzierte Abnutzung und Qualitätsabweichungen abzuleiten</li> </ul>
<b>Schritt 3: Identifikation von Belastungseinflüssen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Klassifikation und Korrelation unterschiedlicher Belastungsszenarien</li> <li>Ableitung, Validierung und Verdichtung der Belastungseinflüsse</li> </ul>
<b>Schritt 4: Entwicklung eines integrativen IH-Ansatzes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ableitung von allgemein gültigen Regeln</li> <li>Implementierung und Testlauf der Reaktionsmodelle im Leitstand</li> </ul>

TABELLE 1: METHODIK DES INSTANDHALTUNGSLEITSTANDES

Anwendungsfall ein System aus mehreren Werkzeugmaschinen, in seinem vollen Funktionsumfang zu erfassen, werden die Betriebsmittel bis auf Komponentenebene strukturiert dargestellt. Den Elementen werden aufgezeichnete Maschinen- und Belastungsdaten, wie beispielsweise Positionen der Werkzeugschlitten, Stromaufnahme der Antriebseinheiten, Werte von Beschleunigungs- und Temperatursensoren, zugeordnet und real auftretende Lastkollektive erfasst.

**Schritt 2:** Parallel zu Schritt 1 werden historische Maschinen-, Produkt-

Belastungsszenarien auf dem entwickelten Simulator durchlaufen und somit die möglichen Belastungsfälle klassifiziert und validiert werden.

**Schritt 4:** Im letzten Schritt werden allgemein gültige Regeln aus den zuvor ermittelten Datensätzen entwickelt. Die Ableitung der Planungsregeln soll dabei durch die Anwendung von Data-Mining Methoden unterstützt werden.

Mittels derselben und der Verknüpfung im Leitstand können halbautomatische und regelbasierte Datenverknüpfungen durchgeführt werden.

qualitäts- und Prozessdaten ausgewertet. Das Generieren von Ursache-Wirkungszusammenhängen aus diesen Datensätzen ermöglicht einerseits die systematische Identifikation von Ausfalleffekten und andererseits das Ableiten von

Mit Hilfe der generierten Informationen und der Verknüpfung dieser mit aktuellen Planungsdaten aus der Produktion, können folgende Ergebnisse im Leitstand erzielt werden:

- Transparente Darstellung über relevante Kennzahlen und Kosten in der Instandhaltung
- Transparenz über den aktuellen Anlagenzustand, z.B. Abnutzungsvorrat und Verschleißentwicklung der Komponenten
- Visualisierung von zukünftigen Produktqualitäts- und Verschleißtrends
- Vorschläge zu zukünftig notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von instandhaltungsstrategischer Prioritäten, Ersatzteilbevorratung und ggf. weiterer externer Einflussgrößen

### Simulator

Voraussetzung für den Leitstand ist eine zuverlässige Datenbasis aufgrund derer eine vorausschauende Berechnung des Ausfallzeitpunkts einer Maschine, bzw. einer Maschinenkomponente möglich ist. Dabei wird für gefährdete Komponenten einer Maschine ein Abnutzungsvorrat definiert, der durch die historische Produktion aufgebraucht wurde. Anhand des Produktionsprogrammes kann in weiterer Folge die zukünftige Abnutzung berechnet und bei unterschreiten eines Schwellwertes ein entsprechender Instandhaltungsauftrag ausgelöst werden (siehe Abbildung 2).

Basis dieser Berechnung bildet der Abnutzungsfortschritt (z.B. Verschleiß), der durch jedes gefertigte Teil an einer Maschinenkomponente verursacht wird. Eine Möglichkeit für diese Bestimmung besteht in einer analytischen Betrachtung der Lebensdauer und einem entsprechenden Rückrechnen auf ein einzelnes Teil. Als prägnantes Beispiel kann hier ein Kugelgewindetrieb genannt werden, dessen Lebensdauer neben statischen Werten primär von Drehzahl und Last abhängig ist. Durch geeignete Umformung der Lebensdauergleichung nach DIN ISO 3408-5 ist es hierbei möglich einzelne zeitliche Beanspruchungen skaliert herauszuheben und somit als Abnutzung zu definieren.

Voraussetzung für diese Berechnung ist die Kenntnis des zeitlichen Verlaufs

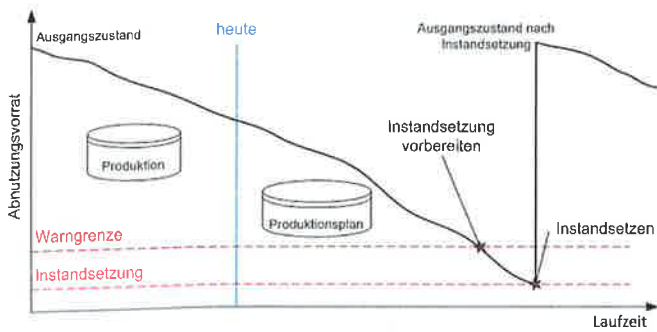


ABBILDUNG 2: ABNUTZUNG EINER KOMPONENTE

der Belastung und der Drehzahl für eine Achse während eines Bearbeitungszyklus. Für bereits existierende NC-Programme besteht hierbei die Möglichkeit diese Daten direkt aus den Antrieben auszulesen und die Abnutzung der Maschinenkomponente bei diesem Produktionsprogramm zu berechnen. Im Fall von neuen Produktionsprogrammen (wechselnde Produkte, wechselnde Reihenfolge) müssen die Belastungs- und Drehzahlprofile mittels Simulation gewonnen werden. Ausgangspunkte für diese Simulation sind dabei die 3D-CAD Daten des Fertigungsteils, vorliegende Maschinendaten und das NC Programm. Zuerst erfolgt eine Bahnauflistung im Programm CHECKitB4®. Dabei werden aus den CAD- und NC

Geschwindigkeiten bzw. Schaltvorgängen in der Abnutzungsberechnung bestimmt (siehe Abbildung 3).

Der Vorteil der simulativen Abnutzungsbestimmung liegt in der Generierung eines weiteren Optimierungsparameters für NC-Programme. Gegenwärtig fokussieren Programmoptimierungen auf einer Reduzierung der Fertigungszeiten, um hierdurch einen möglichst großen Durchsatz zu erreichen. Durch die Abnutzungsberechnung ist es möglich zusätzlich die Belastung einzelner Maschinenkomponenten zu berücksichtigen und zu minimieren. So kann beispielsweise durch drehen der Bearbeitungsebenen die Lastverteilung auf die Achsen geändert werden, um Beanspruchungen von stark belasteten Komponenten auf gering belastete Ma-

in Abhängigkeit der Schlittenpositionen als auch die Prozesskräfte anhand des Zerspanungsvolumens berücksichtigt. Im letzten Schritt wird die Abnutzung einzelner Maschinenkomponenten anhand der vorliegenden Lasten,

Geschwindigkeiten bzw. Schaltvorgängen in der Abnutzungsberechnung bestimmt (siehe Abbildung 3).

schinenelemente zu transferieren. Hierdurch ergibt sich eine gleichmäßigere Abnutzung der gesamten Maschine mit dem Ziel die Instandsetzungszeitpunkte aller Komponenten aufeinander zeitlich zu harmonisieren, um diese wenn möglich im Zuge einer einzelnen Instandsetzung gemeinsam zu tauschen.

macht. Am geeignetsten erweist sich der CRISP-DM Zyklus, welcher ein besonderes Augenmerk auf das Verständnis der Produktionsprozesse und der Daten legt. Dies ist nötig, um falsche Annahmen zu vermeiden und richtige Schlüsse durch ideal abgestimmte Modelle zu ziehen.

Die Phase der Modellierung beinhaltet die wichtigen Schritte der Datentransformation und der Anwendung des eigentlichen Datamining Algorithmus. Die Datentransformation überführt die Daten in eine Form, auf die der Algorithmus angewandt werden kann. Dies umfasst entweder eine einfache Skalentransformation von z.B. metrisch skalierten Daten in binär skalierte Daten oder die Umwandlung eines Signals in eine Form, die von anderen eindeutig unterscheidbar ist. (Wirth & Hipp, 2000)

Im Falle des Projektes Instandhaltung 4.0 wird die AMT-Methode auf Daten des Condition Monitoring angewandt. Die Methode erlaubt es das Messsignal der Stromaufnahme beim Verfahren der Spindel auf wenige charakteristische Größen zu komprimieren (Schenkendorf & Böhm, 2014). Mit diesen kann ein Trendverlauf (Abbildung 4) gebildet werden. Trendumbrüche werden in weiterer Folge mit instandhaltungsrelevanten Aufzeichnungen abgeglichen. Kommt es zu eindeutig zuordenbaren und reproduzierbaren Übereinstimmungen, kann eine Ausfallprognose erstellt werden. Der Abgleich mit den instandhaltungsrelevanten Daten ist die Externalisierung des Expertenwissens. Um zu vermeiden, dass Zuordnungen getroffen werden, welche die Realität nicht wiedergeben und somit das Ergebnis verfälschen, müssen Experten aus dem Unternehmen in diesen Schritt einbezogen werden.

Eine ähnliche Vorgehensweise kommt bei den Qualitätsdaten zur Anwendung. Eine komplexe Transformation des Signals ist nicht nötig. Die Herausforderung liegt im Finden indirekter Zusammenhänge. Während Daten aus dem Condition Monitoring im Idealfall direkt an der betroffenen Komponente aufgenommen werden, sind Änderungen in der Qualität (siehe Abbildung 4) nicht direkt auf Probleme an einer Komponente umlegbar. Die größte Problematik stellen zum einen ein ggf. zu geringes Sample instand-

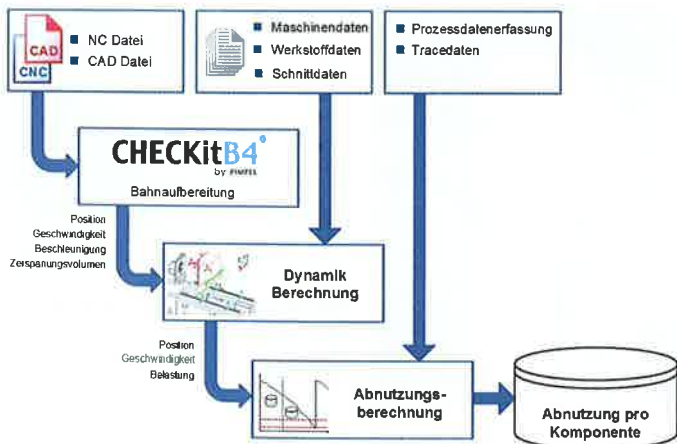
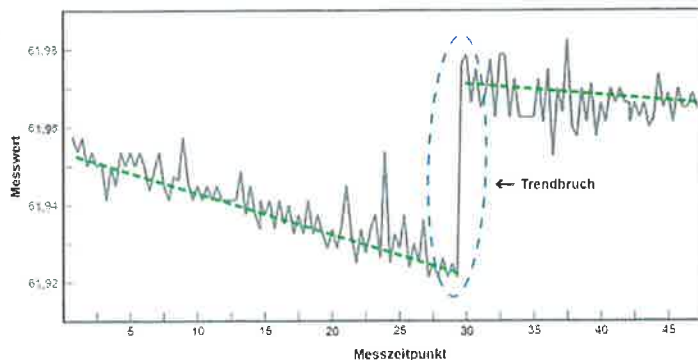


ABBILDUNG 3: PROGRAMMSTRUKTUR KOMPONENTENABNUTZUNG

Dateien die Achspositionen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sowie das Zerspanungsvolumen für die Weiterverarbeitung zur Verfügung gestellt. Anschließend erfolgt im Zuge der Dynamikberechnung eine Kalkulation der Achs- und Lagerlasten auf Basis eines Mehrkörpermodells. Hierzu werden sowohl die Beschleunigungskräfte

### Datenanalyse

Ziel von Datamining ist es Muster und Zusammenhänge in großen und auf den ersten Blick unzusammenhängenden Datenmengen zu finden. Mit einem strukturierten Vorgehen soll ein Regelwerk abgeleitet werden, welches Vorhersagen für den Leitstand möglich



**ABBILDUNG 4: MÖGLICHER MERKMALS- BZW. MESSVERLAUF**

haltungsrelevanter Daten und zum anderen Interdependenzen zwischen einzelnen Komponentenabnutzungen und den Qualitätsverläufen dar.

Aus der Messkurve der Qualitätsmessung werden mithilfe statistischer Verfahren Merkmale extrahiert. Diese können mit einem Klassifikationsbaum den Instandhaltungsfällen zugeordnet werden. Abhängig von der Größe des Samples und der Reproduzierbarkeit der Muster ergibt sich eine Klassifikationsgüte. Der große Vorteil eines Klassifikationsbaumes besteht darin, dass daraus direkt ein Regelwerk abgeleitet werden kann, welches in den Leitstand einfach integrierbar ist.

**Zusammenfassung**

Das Projekt „Instandhaltung 4.0“ verbindet mit der Kombination unterschiedlicher Datenquellen und der Abbildung physischer Prozesse in einer Simulation wichtige Teilaspekte der Industrie 4.0. Damit wird die Instandhaltung um wichtige Methoden erweitert und als „Smart Maintenance“ die Basis für „Smart Factory“.

Mit der Aufbereitung und Visualisierung der Ergebnisse bietet der Leitstand einen einfach zu beziehenden Mehrwert für den Industriepartner Opel GmbH in Form einer wertschöpfenden Instandhaltung.

**Literatur**

Biedermann, H. (2015): Smart Maintenance – Intelligente, lernorientierte Instandhaltung. In: Smart Maintenance. H. Biedermann (Hrsg.). Köln: TÜV, Rheinland.  
 Schenkendorf, R.; Böhm, T. (2014): Aspekte einer datengetriebenen zustandsabhängigen Instandhaltung

– (Teilr) Informative Merkmalsextraktion als Basis einer zuverlässigen Zustandsdiagnose. In: EI – Der Eisenbahningenieur.

Spath, D.; Ganschlar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, H.; Krause, T.; Schlund, S. (2013): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Wirth, R.; Hipp, J. (2000): CRISP-DM Towards a standard process model for data mining. In: Proceedings of the 4th international conference on the practical application of knowledge discovery and data mining.

*Autoren:*

Dipl.-Ing. Robert Bernerstätter ist seit 2014 Projektmitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften an der Montanuniversität Leoben. Sein Tätigkeitsfeld am Lehrstuhl liegt im Anlagenmanagement in Kombination mit Big Data Analytics.

Dipl.-Ing. Tanja Nemeth ist seit zwei Jahren als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement der Fraunhofer Austria Research GmbH sowie am Institut für Managementwissenschaften der

TU Wien im Bereich Betriebstechnik und Systemplanung tätig.

Dipl.-Ing. Robert Glawar ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement der Fraunhofer Austria Research GmbH sowie am Institut für Managementwissenschaften der TU Wien im Bereich Betriebstechnik und Systemplanung tätig.

Dr. Christoph Habersohn absolvierte das Studium des Maschinenbaus an der Technischen Universität Wien und ist seit 2008 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik der TU Wien beschäftigt.



**Dipl.-Ing. Robert Bernerstätter**

Projektmitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Montanuniversität Leoben



**Dipl.-Ing. Tanja Nemeth**

Wissenschaftliche Mitarbeiterin Fraunhofer Austria Research GmbH



**Dipl.-Ing. Robert Glawar**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Fraunhofer Austria Research GmbH

## WING to your success

...wir sind für Sie garantiert von Nutzen ...

Gerade in Zeiten wie diesen stellen ein reizvoller Workshop, das Verteilen von lukrativen Flyern oder eine interessante Firmenpräsentation effiziente und kostengünstige Möglichkeiten zur Werbung für Unternehmen in Fachkreisen dar. Hervorzuheben ist der Zugang zur Technischen Universität als Innovations- und Forschungsstandort der besonderen Art, denn im Zuge von Bachelor- und/oder Masterarbeiten können Sie Studenten in Ideen für Ihre Firma miteinbeziehen und mit ihnen innovative Lösungen ausarbeiten. Nicht zuletzt wird auf diesem Weg auch für die Zukunft vorgesorgt.

Denn schließlich sind es die heutigen Studenten der Technischen Universität, die morgen als Ihre Kunden, Händler oder Lieferanten fungieren. Mit WINGnet-Werbemöglichkeiten kann man diese nun schon vor dem Eintritt in das Berufsleben von sich und seiner Firma überzeugen und somit eine gute Basis für eine langfristige und erfolgreiche Zusammenarbeit schaffen. WINGnet Wien veranstaltet mit Ihrer Unterstützung Firmenpräsentationen, Workshops, Exkursionen sowie individuelle Events passend zu Ihrem Unternehmen. WINGnet Wien bieten den Studierenden die Möglichkeit zur Orientierung, zum Kennenlernen interessanter Unternehmen und Arbeitsplätze sowie zur Verbesserung und Erweiterung des universitären Ausbildungsweges. Organisiert für Studenten von Studenten. Darüber hinaus bietet WINGnet Wien als aktives Mitglied von ESTIEM (European Students



**WINGnet**  
Wien

Die **WIRTSCHAFTSINGENIEURE**

of Industrial Engineering and Management) internationale Veranstaltungen und Netzwerke. In 24 verschiedenen Ländern arbeiten 66 Hochschulgruppen bei verschiedenen Aktivitäten zusammen und treten so sowohl untereinander als auch zu Unternehmen in intensiven Kontakt. Um unser Ziel - die Förderung von Studenten - zu erreichen, benötigen wir Semester für Semester engagierte Unternehmen, die uns auf verschiedene Arten unterstützen und denen wir im Gegenzug eine Möglichkeit der Firmenpräsenz bieten. Die Events können sowohl in den Räumlichkeiten der TU Wien als auch an dem von Ihnen gewünschten Veranstaltungsort stattfinden. Weiters können Sie die Zielgruppe individuell bestimmen. Sowohl alle Studienrichtungen als auch z.B. eine Festlegung auf Wirtschaftswissenschaftlichen Studiengängen ist möglich. Außerdem besteht die Möglichkeit eine Vorauswahl der Teilnehmer, mittels Ihnen vorab zugesandten Lebensläufen, zu treffen.

Auf unserer Webseite <http://www.wing-online.at/de/wingnet-wien/> finden Sie eine Auswahl an vorangegangenen Events sowie detaillierte Informationen zu unserem Leistungsumfang WINGnet Wien:

Theresianumgasse 27, 1040 Wien,  
wien@wingnet.at ZVR: 564193810

## WINGbusiness Impressum

### Medieninhaber (Verleger)

Österreichischer Verband der Wirtschaftsingenieure  
Kopernikusgasse 24, 8010 Graz  
ZVR-Zahl: 026865239

### Editor

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Siegfried Vössner  
E-Mail: voessner@tugraz.at

### Redaktion/Layout

Chefin vom Dienst & Marketingleiterin:  
Mag. Beatrice Freund  
Tel. +43 (0)316 873-7795, E-Mail: office@wing-online.at

### Redakteure

Dipl.-Ing. Julia Soos  
E-Mail: julia.soos@tugraz.at  
Dipl.-Ing. Thomas Böhm  
E-Mail: thomas.boehm@tugraz.at  
Dipl.-Ing. Harald Wipfler  
E-Mail: harald.wipfler@tugraz.at  
Dipl.-Ing. Julia Brugger BSc  
E-Mail: julia.brugger@tugraz.at  
Dipl.-Ing. Alfred Kinz  
E-Mail: alfred.kinz@wbw.unileoben.ac.at  
Mag. Dipl.-Ing. Lena Paar  
E-Mail: lena.paar@tugraz.at

### Anzeigenleitung/Anzeigenkontakt

Mag. Beatrice Freund  
Tel. +43 (0)316 873-7795, E-Mail: office@wing-online.at

### Druck

Universitätsdruckerei Klampfer GmbH,  
8181 St. Ruprecht/Raab, Barbara-Klampfer-Straße 347  
Auflage: 2.500 Stk.  
Titelbild: Fotolia

### WING-Sekretariat

Kopernikusgasse 24, 8010 Graz,  
Tel. (0316) 873-7795, E-Mail: office@wing-online.at  
WING-Homepage: [www.wing-online.at](http://www.wing-online.at)

### Erscheinungsweise

4 mal jährlich, jeweils März, Juni, Oktober sowie Dezember. Nachdruck oder Textauszug nach Rücksprache mit dem Editor des „WINGbusiness“. Erscheint in wissenschaftlicher Zusammenarbeit mit den einschlägigen Instituten an den Universitäten und Fachhochschulen Österreichs. Der Wirtschaftsingenieur (Dipl.-Wirtschaftsingenieur): Wirtschaftsingenieure sind wirtschaftswissenschaftlich ausgebildete Ingenieure mit akademischem Studienabschluss, die in ihrer beruflichen Tätigkeit ihre technische und ökonomische Kompetenz ganzheitlich verknüpfen. WING - Österreichischer Verband der Wirtschaftsingenieure ist die Netzwerkplattform der Wirtschaftsingenieure. ISSN 0256-7830