

Bilanzierungen des gesamten Produktlebenszyklus von PKW belegen, daß dem Leichtbau erste ökologische Priorität zusteht. In einer Zwickmühlenentscheidung entweder für Leichtbau oder für Rezyklierbarkeit ist die Entscheidung zugunsten des Leichtbaus deshalb in der Regel die ökologisch bessere. Aluminium ermöglicht Leichtbau und Rezyklierbarkeit in einem und ist so ein idealer Werkstoff für den Fahrzeugentwickler. Für den Umgang mit der schwieriger rezyklierbaren organischen Fraktion beim Autorecycling ist folgende Regel sinnvoll: wo werkstoffliches Recycling zu nachgefragten Produkten möglich ist, soll dieses auch umgesetzt werden. Wo dieses nicht gelingt, sollte aber zumindest der Heizwert genutzt werden.

## DAS AUTO ZUM 21. JAHRHUNDERT IM UMFELD VON ÖKOLOGIE/ÖKONOMIE/TECHNOLOGIE

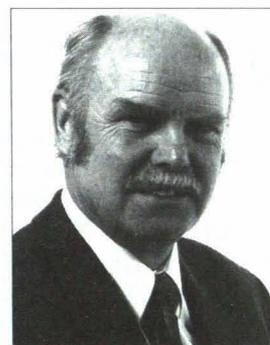
### UMWELTVERTRÄGLICHKEIT ALS GANZHEITLICHE AUFGABE

Wenn eine Strategie zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit wirklich greifen soll, muß sie den gesamten Produktlebenszyklus umfassen, von der Werkstoffgewinnung und Produkterzeugung über die Produktnutzung bis zum Recycling für den nächsten Zyklus – bzw. zur möglichst umweltschonenden Entsorgung. Durch effiziente Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen und niedrige Schadstoffemissionen gilt es dabei, die Umweltauswirkungen auf Wasser, Luft und Boden zu minimieren (Bild 1).

Wegen der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Phasen des Gesamtzyklusses handelt es sich dabei um eine Optimierungsaufgabe, welche auch Kompromisse in einzelnen Phasen zugunsten der

Gesamtbilanz erfordern kann. Aufgrund der Dominanz des Fahrbetriebes in der Gesamtbilanz – ca. 80 % des Energiebedarfes werden vom Kraftstoffbedarf bestimmt – kann es ökologisch durchaus günstig sein, in den Phasen des Recycling, der Material-, Bauteil- oder Fahrzeugherstellung Nachteile hinzunehmen, wenn dafür im Fahrbetrieb Umweltbelastungen verringert werden – beispielsweise durch Leichtbauweisen.

Entsprechend werden bei Audi mit dem Ziel der ökologischen Optimierung technische Alternativen ganzheitlich bewertet. Die Bilanzen beschreiben den gesamten Produktzyklus, beginnend mit der Materialgewinnung und Produkterzeugung, und schließen die Produktnutzung sowie das Recycling, bzw. die umweltgerechte Entsorgung ein.



**SIEGFRIED K. SCHÄPER**

*Dr.-Ing.; Studium Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Kunststofftechnik an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; Promotion am Institut für Kunststoffverarbeitung der RWTH; seit 1977 Mitarbeiter der Technischen Entwicklung der AUDI AG, Ingolstadt; zuständig für ganzheitliche Bilanzierungen sowie für das Fahrzeugrecycling.*



ABB. 1: UMWELTVERTRÄGLICHKEIT ALS GANZHEITLICHE AUFGABE

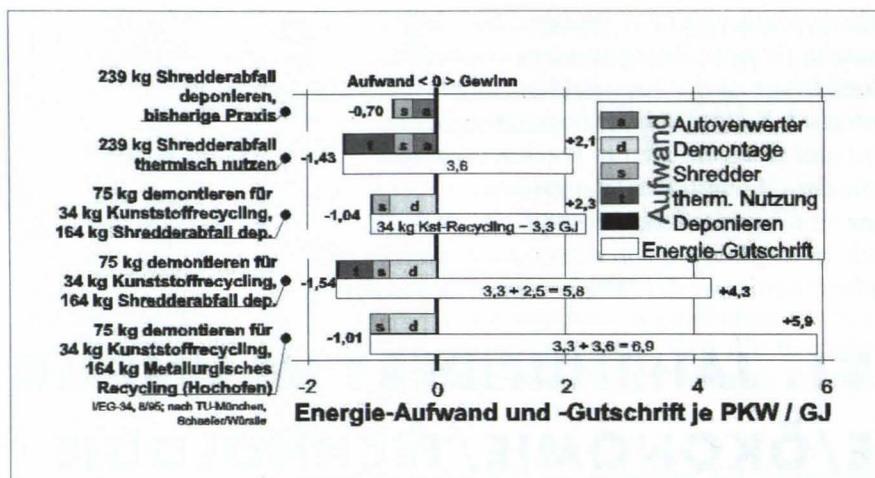


ABB. 2: VERGLEICH VERSCHIEDENER ARTEN DER BEHANDLUNG VON SCHREDDERABFÄLLEN

### STOFF-, WIRK- UND ENERGIEBILANZEN

Es werden Einzelemissionen des CO<sub>2</sub>, der Stickoxide und anderer Gase betrachtet sowie deren Wirkung – etwa auf den Treibhauseffekt – zu Wirkbilanzen zusammengefasst. Der Aufwand für solche Ökobilanzen ist beträchtlich. Nach unseren Erfahrungen können sich für Fragestellungen des Fahrzeugbaus Optimierungsstrategien zur Reduzierung der Beanspruchung endlicher Ressourcen und zur Verminderung unerwünschter Emissionen und ihrer Auswirkungen aber in der Regel zweckmäßigerweise allein auf Energiebilanzen stützen. In einer Energiebilanz lassen sich Schadstoffemissionen und Ressourcenbeanspruchung auf einen gemeinsamen Nenner bringen, der Bilanzierungsaufwand ist dabei gegenüber einer Ökobilanz erheblich verringert.

### NUTZEN DES RECYCLING

In den Bilanzen wird auch der ökologische Nutzen des Recycling deutlich. Dort, wo das werkstoffliche Recycling gelingt, ist es in der Regel auch ökologisch vorteilhaft. Wo es nicht gelingt, ist bei organischen Substanzen aber zumindest die Nutzung des

Energieinhaltes anzustreben. Als ökologisch sehr effiziente Verwendung kommt hier auch das sogenannte metallurgische Recycling in der Reduktionszone des Hoch- oder des Kupolofens in Betracht. Bild 2 zeigt einen Vergleich des Deponierens der Kunststoffe eines Altauos mit der energetischen, werkstofflichen bzw. metallurgischen Nutzung (unterste Balkengruppe).

Aktuelle Audi-Fahrzeuge sind in den Strukturen der nahen Zukunft zu 85 % rezyklierbar. Das Recycling der Metalle ist entsprechend dem Stand der Technik gelöst – samt dem Zink der Karosserie und dem Aluminium. Am Modell Audi A8 ist das originäre Recycling des Aluminium-Space-Frames<sup>1</sup> experimentell nachgewiesen, siehe unten.

### MEHRFACHE AMORTISATION DES HÖHEREN HERSTELLAUFWANDES IM VERLAUFE EINES FAHRZEUGLEBENS

Das Modell A8 in konventioneller Technologie hätte ein 205 kg höheres Trockengewicht als sein Pendant in ASF<sup>2</sup>-Technologie, nämlich 1735 kg. Aufgrund der Gewichtseinsparung ergibt sich für das Modell A8 in space frame Technik ein ca. 1 l/100 km niedrigerer Benzinverbrauch.

Die Bilanzierungen zeigen, daß trotz des niedrigeren Gewichtes der Aluminium-Space-Frame Karosserie die Erzeugung zwar zunächst zu höheren Emissionsbelastungen führt und einen höheren Energieeinsatz fordert als es für eine konventionelle Karosserie der Fall ist. Im Verlaufe des Fahrbetriebes werden diese Nachteile aber wieder kompensiert, und zwar eindeutig mehrfach während der Lebensdauer.

Tabelle 1 zeigt eine Aufstellung der Fahrstrecken, nach denen sich die Aluminium Space-Frame Karosserie gegenüber der Stahlkarosserieausführung für verschiedene Umweltbeanspruchungen amortisiert. Dabei wird zwischen Primäraluminium und Sekundäraluminium (Recyclingaluminium) unterschieden. Entsprechend der Qualität der Aluminiumerzeugung stellen sich die Amortisationsstrecken beim Primäraluminium als Bandbreiten dar.

Art der Umweltbeanspruchung	Amortisationsfahrstrecke der ASF-Karosserie in Bezug zur Stahlkarosserie	
	ASF-Karosserie aus Primäraluminium	ASF-Karosserie aus Sekundäraluminium
Primärenergiebedarf	66.000 bis 112.000 km	9.500 km
CO <sub>2</sub> -Emissionen	14.000 bis 62.000 km	< 0 km
NO <sub>x</sub> -Emissionen	100.000 bis 210.000 km	21.000 km
Kohlenwasserstoff-Emissionen (NMVOC)	23.000 bis 40.000 km	13.000 km
Treibhauspotential	15.000 bis 75.000 km	< 0 km
Versauerungspotential	116.000 bis 340.000 km	<< 0 km

TABELLE 1: AMORTISATIONSFAHRSTRECKEN

<sup>1</sup>) Space-Frame Bauweise: räumliches Fachwerk aus der Kombination geschlossener Profile und steifer Knoten anstelle eines reinen Blechkonzeptes

<sup>2</sup>) ASF steht für Audi Space Frame.

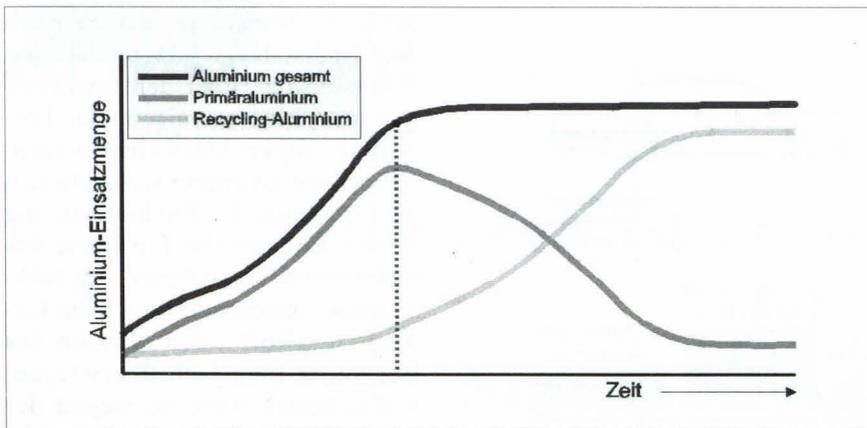


ABB. 3: ALUMINIUMBEDARF UND -HERKUNFT FÜR PKW

Lediglich bzgl. der Versauerung ist während der ersten Nutzung kein wesentlicher Vorteil gegenüber konventionellen Konzepten zu erwarten, sehr wohl aber auf dem Wege des Recycling. Mit dem Einsatz von Recyclingaluminium verringern sich die Nachteile der Erzeugung insgesamt deutlich. Für einzelne Kriterien, wie die Versauerung, kann dadurch die Erzeugung eines Aluminium-Space-Frame-Fahrzeuges sogar günstiger werden als für ein Fahrzeug auf der Basis von Primärstahl.

**RECYCLING DES MODELLS A8**

Das Recycling des A8 bereitet in den vorhandenen Anlagen und üblichen Abläufen des Autorecycling keine Probleme. Wegen der mehr als 10fachen Erlöse für Aluminiumschrott im Vergleich zu Stahl schrott wird der A8 bei den Shredderbetrieben sogar stärker begehrt als sein konventionelles Pendant. Wie bei den konventionellen Autos auch, werden die verschiedenen Aluminiumlegierungen nach dem Shreddern für Gußlegierungen wieder eingesetzt. Da die Gußlegierungen, wenn keine Schrotte zur Verfügung stehen, aus Primäraluminium erzeugt werden, wird hiermit die äquivalente Menge Primäraluminium eingespart.

Wenn sich in der Zukunft Space-Frame-Konzepte im Automobilbau durchgesetzt haben, ist zu erwarten, daß mehr Space-Frame-Schrotte anfallen, als für Gußlegierungen benötigt werden (Bild 3).

Dann wird es sinnvoll und nötig sein, die verschiedenen Legierungstypen der Space-Frame-Karosserie zu separieren, um so die Profil- und die Blechlegierungen wieder zu Knetlegierungen und die Gußlegierungen gezielt wieder zu Gußlegierungen zu rezyklieren. Dieses ist nach verschiedenen Vorgehensweisen vor oder nach dem Shreddern der Karosserie möglich. Die Shredder allein können die Separierung bisher nicht vornehmen.

Beim Separieren vor dem Shreddern wird die Filetier-Methode angewendet. Hierunter ist vorrangig das Heraustrennen der Gußbauteile aus der Karosseriestruktur zu verstehen, die an den Verbindungs- und Krafteinleitungsstellen in der Karosseriestruktur zu finden sind. Bei vollständiger Filetierung der Gußknoten würde eine Zugabe von

etwa 25 % Neumetall reichen, um aus dem Knetlegierungsgemisch wieder eine Karosserieblechlegierung herzustellen. Aus den herausgetrennten Gußknoten können trotz leichter Anhaftungen von Knetlegierungen die gleichen Bauteile ohne größere Zugabe von Neumetall (etwa 3-5 %) hergestellt werden.

Strebt man eine Reduzierung des Aufwandes und somit der Anzahl der herauszuschneidenden Knoten an, so ist bei Zurücklassen von einem Viertel der Knoten – zweckmäßigerweise der schwerer zugänglichen – noch ein attraktives Ergebnis zu erzielen: die Gußschrotte können bei geringer Zugabe von Neumetall für die gleichen Bauteile eingesetzt werden und eine Zugabe von etwa 40 % Neumetall wird bei der Rückführung der Knetschrotte notwendig. Die Abläufe des Filetierens passen sehr gut in die zukünftigen Abläufe der Altautoverwertung, in denen das Fahrzeug ohnehin systematischer als bisher demontiert wird: nach der Entnahme der Betriebsflüssigkeiten, der Demontage der für die Wiederverwendung vorgesehenen Bauteile, Baugruppen und Aggregate sowie nach der Vorbereitung zum werkstofflichen Recycling samt Entnahme des Kupfers – wie beim konventionellen Auto auch – sind die wesentlichen Gußknoten gut zugänglich (Bild 4).

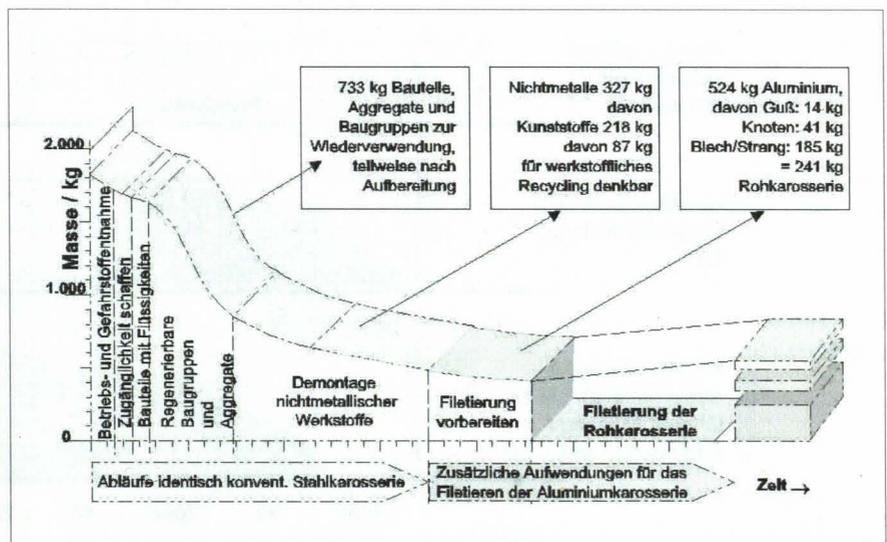


ABB. 4: ZEITLICHER ABLAUF DER ALTAUTODEMONTAGE

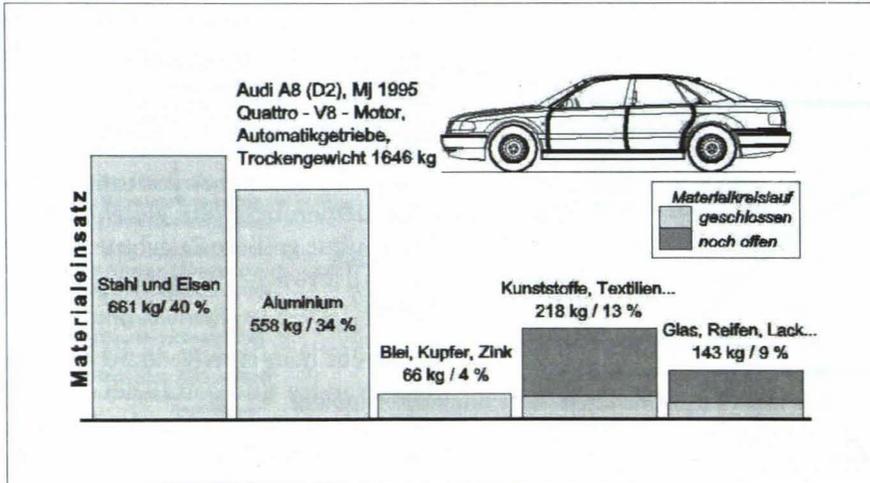


ABB. 3: MODELL A8 - MATERIALEINSATZ UND RECYCLING

Zum Separieren der Legierungen nach dem Shreddern kommen Verfahren in Frage, welche andere physikalische Effekte nutzen als die bisher in der Umgebung der Shredder installierten Technologien – diese nutzen im wesentlichen Unterschiede der Dichte, der Magnetisierbarkeit und der elektrischen Leitfähigkeit. Sie greifen nicht bzgl. der Aluminium-Legierungen untereinander.

Solange für Gußlegierungen noch Primäraluminium verwendet wird, ist es aus ökologischen Gründen übrigens abzulehnen, die Legierungen der Karosserie vor oder nach dem Shreddern zu separieren. Dieser Aufwand soll vielmehr eingespart werden, indem der sich beim Shreddern ergebende Aluminium-

Mix aus Guß- und Knetlegierungen direkt für Gußlegierungen wieder eingesetzt wird.

Materialeinsatz- und Recycling-situation auch der Nichtmetalle des Modells A8 zeigt Bild 5.

**QUINTESSENZ**

Lebenszyklusbetrachtungen können – teilweise überraschend – zu anderen und ökologisch sinnvollen Resultaten führen als einem das Gefühl zunächst vermittelt. Bezüglich des Recyclings ist belegbar, daß die Politik nicht auf dem ökologisch besten Wege ist, wenn sie dem Recycling prinzipiell höhere Priorität als z. B. der thermischen Nutzung einräumt. Denn der Nutzen des Recyclings ist nicht automatisch und prinzipiell gegeben, vielmehr

muß die Nützlichkeit sich nach dem Maßstab der „Ganzheitlichen Bilanzierung“ über den gesamten Lebenszyklus erweisen. Bei Produkten, deren Umweltbeanspruchung sich zu einem wesentlichen Teil im Laufe der Produktnutzung ergibt, können die Einflüsse des technischen Fortschritts – im Fahrzeugbau insbesondere auch der Gewichtseinfluß – den Nutzen des Recycling mehrfach überwiegen. Völlig falsch wäre es, wegen der Möglichkeiten des Recycling auf die Alternativen zum Recycling zu verzichten.

Tatsächlich müssen alle Alternativen des Deponierens von Reststoffen – eingeschlossen das werkstoffliche Recycling – vorangetrieben werden, wobei den Alternativen zum werkstofflichen Recycling – nämlich den Verfahren der rohstofflichen, metallurgischen und der energetischen Nutzung – schon aus Volumengründen die größere Bedeutung zukommt (siehe Bild 6).

Wenn für den Umgang mit der schwieriger rezyklierbaren organischen Fraktion beim Autorecycling eine pauschale Regel gewünscht ist, so sollte diese wie folgt lauten: Wo werkstoffliches Recycling zu nachgefragten Produkten möglich ist, soll dieses auch umgesetzt werden. Wo werkstoffliches Recycling aber nicht gelingt, sollte zumindest der Heizwert genutzt werden.

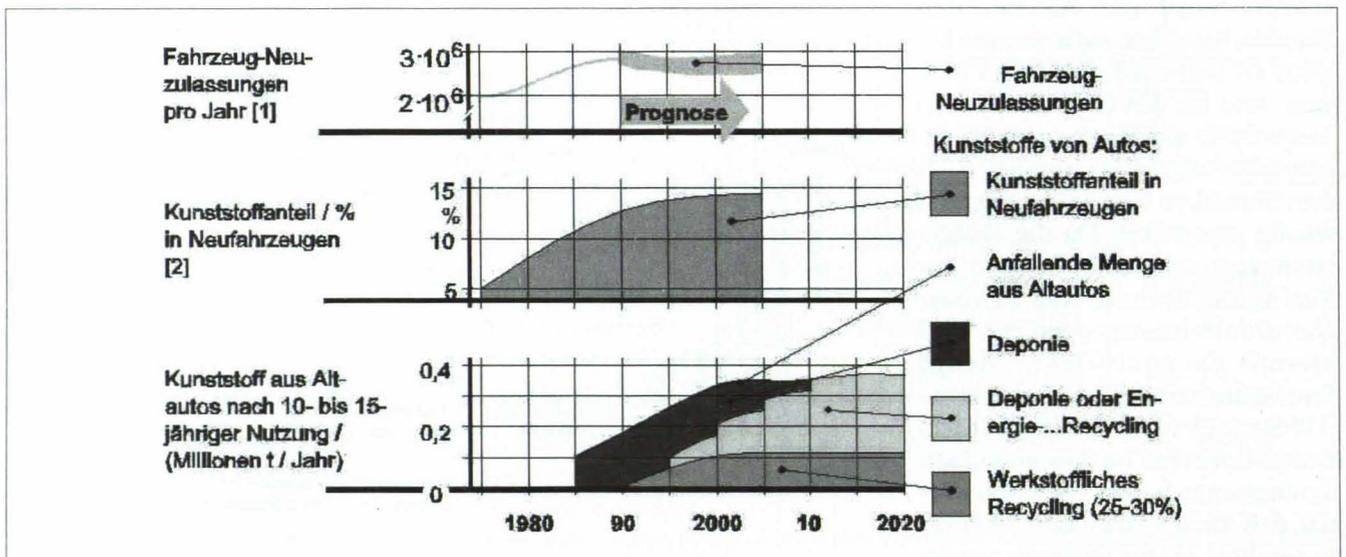


ABB. 6: ANFALL UND VERWERTUNG VON ALTAUTOKUNSTSTOFFEN IN DEUTSCHLAND 1989.

## *Karriere als Consultant im Supply Chain Management*

A vertical graphic on the left side of the page shows a portion of a globe with a grid of latitude and longitude lines. The colors are shades of blue and purple, giving it a modern, technological feel.

Die KPMG Management Consulting zählt international zu den führenden Anbietern zukunftsweisender **Finanz-, Organisations- und Technologieberatungen**. Sie betreut Klienten aus den Branchen Industrie, Handel, Banken, Versicherungen, Organisationen aus der öffentlichen Wirtschaft und Verwaltung sowie dem Gesundheitswesen.

Im Vordergrund des **Supply Chain Managements** steht die Neugestaltung, Transformierung bzw. integrierte Optimierung der gesamten Logistikkette eines Unternehmens im Hinblick auf Material-, Waren- und Informationsflüsse.

Für den weiteren Ausbau dieses Bereichs suchen wir zum ehestmöglichen Eintritt **engagierte Berater**, die

- über ein abgeschlossenes Hochschulstudium (Wirtschaftsinformatik/Wirtschaftsingenieurwesen/Betriebswirtschaftslehre) verfügen
- Projekterfahrung im Bereich Supply Chain Management bzw. in der Produktionslogistik einbringen und
- idealerweise einschlägige Berufserfahrung aufweisen.

Für analytisch denkende Persönlichkeiten mit Beraterpotential sowie guten Kommunikationsfähigkeiten bestehen in dieser Position hervorragende Entwicklungsperspektiven.

Als Mitarbeiter der KPMG Management Consulting erwarten Sie neben attraktiven Konditionen sowohl fachliche als auch persönliche Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten. Eingebunden in ein kollegiales und motiviertes Team werden Sie in nationalen und internationalen Projekten mitarbeiten und durch den Zugriff auf unser internationales Beraternetzwerk Ihr Know-how laufend ausbauen können.

Interessierte Damen und Herren senden ihre aussagekräftige Bewerbung an Mag. Christine Polster, KPMG Management Consulting Gesellschaft mbH., Große Mohrengasse 1, 1020 Wien.