



# Ohne Getriebe und ohne Batterie

## Die neue Generation robuster Multiturn-Absolutgeber

Lothar Wilhelmy

**Multiturn-Absolutgeber werden in der elektrischen Antriebstechnik eingesetzt, um die Position innerhalb einer Umdrehung sowie die Anzahl der Umdrehungen zu erfassen. Nach dem Stand der Technik werden die Umdrehungen mechanisch mit einem mehrstufigen Getriebe oder elektronisch mit Hilfe einer Stützbatterie gespeichert. Beiden Verfahren haften allerdings Nachteile an. Ein neues, patentiertes Verfahren kommt ohne Getriebe und ohne Batterie aus, indem es die Energie zum Verarbeiten und Speichern selbst bei kleinsten Drehbewegungen aus einem Mikrogenerator gewinnt. Die Technik dieser neuen Multiturn-Absolutgeber wird im folgenden ausführlich beschrieben.**

**Autor:** Dr.-Ing. Lothar Wilhelmy, Baumer Hübner GmbH, Berlin

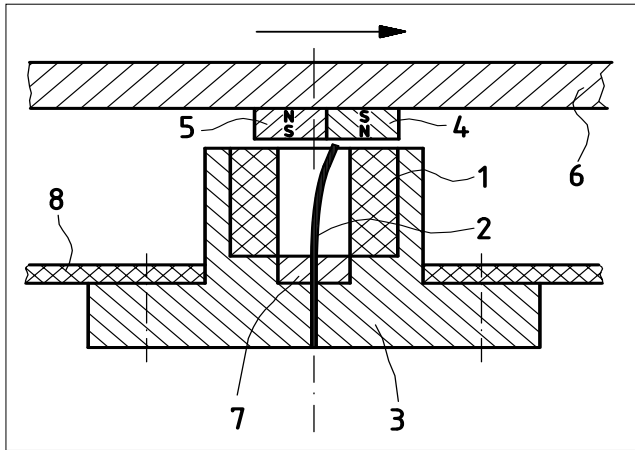
In geregelten elektrischen Antrieben werden Inkrementalgeber mit Rechteck- oder Sinussignalen in großen Stückzahlen eingesetzt. Da sie einen Nullimpuls pro Umdrehung abgeben, eignen sie sich neben der Drehzahlregelung auch zur Lageregelung, sofern die Umrichterelektronik zusätzlich die Gebersignale zum Bestimmen der Ist-Lage während einer Umdrehung (Singleturn) und zum Zählen der Umdrehungen (Multiturn) heranzieht. Diese Lösung geht von der Voraussetzung aus, dass die Inkrementalgeber ständig an

Spannung liegen und keine Drehungen im spannungslosen Zustand ausführen. Ist dies nicht gegeben, beispielsweise bei nachlaufenden Antrieben, bei einem Not-Halt oder beim manuellen Einrichten, muss nach wieder einsetzender Versorgungsspannung eine Referenzfahrt zu einer bekannten Position durchgeführt und von dort aus der Zählvorgang neu gestartet werden.

Um dieses Referenzieren zu vermeiden, werden zunehmend Multiturn-Absolutgeber eingesetzt. Mechanisch arbeitende

### HighLights der neuen Absolutgeber-Generation auf einen Blick:

1. Keine verschleißbehafteten Teile (kein Getriebe, keine Batterie, Kugellagerlebensdauer zirka  $10^9$  Umdrehungen)
2. Hohe Dauerdrehzahlen zulässig, auch im Start-Stopp-Betrieb
3. Ausführungen mit Vollwelle oder (großer) durchgehender Hohlwelle
4. Robuste Konstruktion mit hoher Schockfestigkeit
5. Unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen
6. Auflösungen: Singleturn 13 Bit, Multiturn 16 Bit, Option bei SSI: 12, 16, 20 oder 24 Bit.
7. Verschiedene Schnittstellen: SSI, Profibus DP, CANopen und andere
8. Betrieb im Ex-Bereich mit Ex-Zulassung
9. Zusätzliche Inkrementalsignale mit HTL- / TTL-Pegel als Option
10. Redundante Ausführungen als Option



2: Funktionsprinzip des Mikrogenerators, Erläuterungen im Text

2. Die Reed-Kontakte können unter Schockeinwirkungen, beispielsweise an Bremsmotoren, ansprechen und damit fehlerhafte Zählimpulse auslösen.
3. Absolutgeber mit Batterie sind *im Ex-Bereich* nur mit Auflagen einsetzbar.

### Absolutgeber mit Mikrogenerator

Baumer Hübner - seit jeher auf Heavy-Duty-Geber spezialisiert - hat die Herausforderung angenommen, Absolutgeber *ohne* Getriebe und *ohne* Batterie zu entwickeln, die die genannten Nachteile nicht aufweisen, und damit den Gebern weitere, bisher verschlossene Einsatzgebiete eröffnet. Herzstück dieser neuen Generation von Multiturn-Absolutgebern ist ein Mikrogenerator, der die zur elektronischen Verarbeitung und nichtflüchtigen Speicherung erforderliche Energie direkt aus der Drehbewegung des Antriebs gewinnt. Das patentierte Verfahren zeichnet sich durch einfachen Aufbau, Robustheit, Verschleißfreiheit, Unempfindlichkeit gegenüber magnetischen Feldern und großen Temperaturbereich aus.

Von Vorteil ist außerdem die Möglichkeit, die generierten Spannungsimpulse hinsichtlich Höhe und Dauer an die Erfordernisse der elektronischen Zähl- und Speicherschaltung optimal anzupassen. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu anderen in der Patentliteratur beschriebenen Verfahren zur Spannungserzeugung, beispielsweise solchen mit Wiegand-Drähten oder schaltenden Reed-Kontakten, die wegen ihrer geringen Energieausbeute bis jetzt nicht zu praxistauglichen, dem rauen Industrieinsatz gewachsenen Geräten geführt haben.

Absolutgeber erfassen und speichern die Umdrehungen dabei mit einem Getriebe: Die Welle des Absolutgebers weist dazu außer der Code-Scheibe mit der Singleturn-Information über die Position der Welle innerhalb einer Umdrehung - häufig 8.192 Schritte (13 Bit) - eine Verzahnung auf, in die das erste Zahnrad eines Getriebes eingreift. Wenn diese erste Getriebestufe 16-fach herabsetzt, löst ihre Codierung 16 Umdrehungen auf. Mit drei Getriebestufen können so  $16^3 = 4.096$  Umdrehungen (12 Bit) erfasst werden.

### Nachteile der Getriebe- und Batterielösungen

Der GetriebeLösung haften jedoch folgenden Mängel an:

1. Bei hohen Drehzahlen mit sehr schnellen Drehzahlwechseln, möglicherweise verbunden mit Schockeinwirkungen durch Bremsmotoren im Start-Stopp-Betrieb, hat das Getriebe nur eine begrenzte Lebensdauer.
2. Die Übersetzung von einem kleinen Ritzel auf ein deutlich größeres erstes Zahnrad verbietet Absolutgeber mit *großer, durchgehender* Hohlwelle.
3. Die Anzahl der unterscheidbaren Umdrehungen ist üblicherweise auf 12 Bit begrenzt.

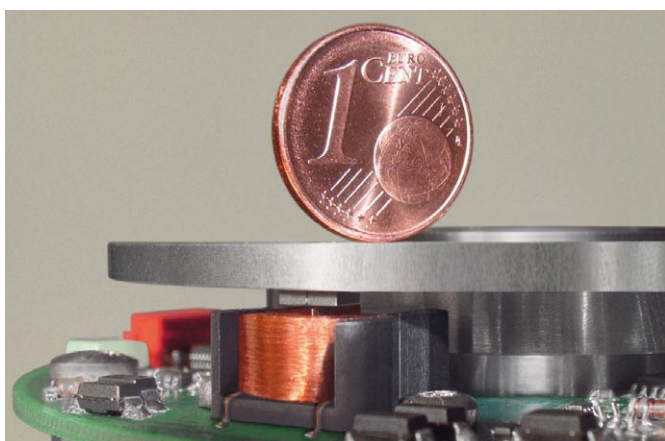
Diese Mängel beseitigen *elektronische* Absolutgeber, deren Multiturn-Teil in der Regel mit Reed-Kontakten ausgestattet sind, wobei die Reed-Kontakte von umlaufenden Magneten - alternativ auch feststehenden Magneten, die eine umlaufende Blende frei gibt - betätigt werden. Die Ansteuerung der Reed-Kontakte erfolgt dann derart, dass ein ASIC oder Prozessor aus der Kontaktfolge die Drehrichtung eindeutig erkennt, als Aufwärts- oder Abwärts-Zählinformation auswertet und in einem Speicher ablegt. Dazu sind diese Absolutgeber mit einer Batterie ausgestattet, die die Elektronik und den flüchtigen Speicher bei abgeschalteter Versorgungsspannung mit Energie versorgt. So lassen sich Absolutgeber mit hohen Dauerdrehzahlen, großer durchgehender Hohlwelle und einem über den Standard-Zählbereich von 4.096 Umdrehungen (12 Bit) hinausgehenden erweiterten Zählbereich von 65.536 Umdrehungen (16 Bit) realisieren.

Aber auch diesem Geber-Typ haften Mängel an:

1. Die Batterie zum Betrieb des Prozessors und zum Speichern der Zählinformation hat nur eine begrenzte Lebensdauer, insbesondere bei höheren Temperaturen oder bei längerem Betrieb des Gebers *ohne* externe Versorgungsspannung.

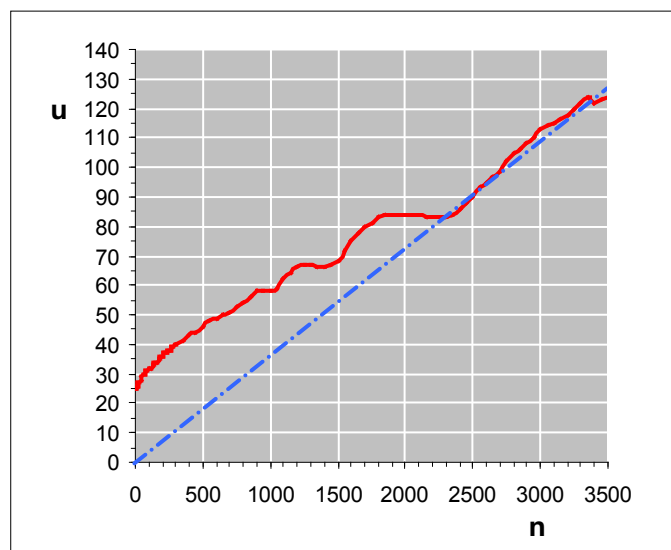
### Funktionsprinzip des Mikrogenerators

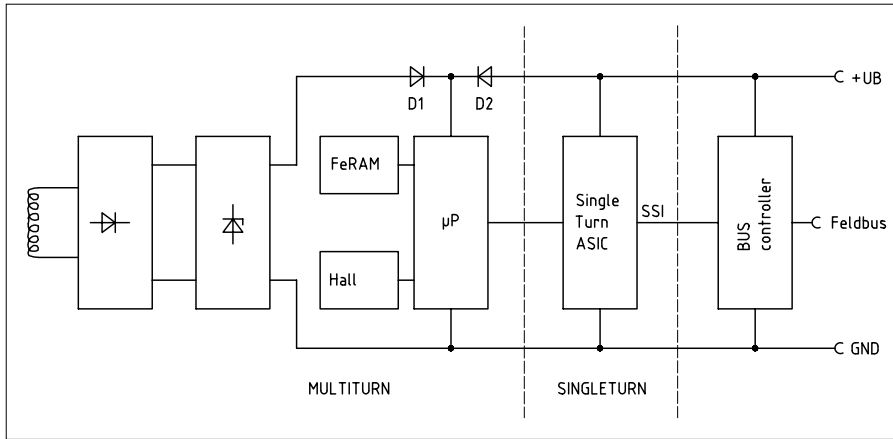
Das Funktionsprinzip des Mikrogenerators erläutert **Bild 2**. Darin ist (1) eine Spule, die eine magnetisierbare,



3: Mikrogenerator mit Magnetpärchen

4: Die vom Mikrogenerator erzeugte Leerlauf-Spannung als Funktion der Drehzahl





5: Prinzipschaltung der neuen Multiturn-Absolutegeber

nichtrostende Blattfeder (2) umgibt. In geringem Abstand der in einem Kunststoffträger (3) eingebetteten Feder laufen gegenpolig magnetisierte Magnetpaare (4 und 5) aus Kobalt-Samarium vorbei, die unterhalb einer sich mit der Welle des Absolutegebers drehenden Scheibe (6) befestigt sind. Bewegt sich die Scheibe in Pfeilrichtung und die Magnete nähern sich, von links kommend, der Feder, so wird die Feder von dem Magneten (4) aufgrund des Reluktanz-Effektes in Drehrichtung mitgenommen, bis ihre Federkraft die Mitnahmekraft des Magneten überwiegt. In diesem Augenblick schnappt sie zurück, wobei sie vom Magneten (5) eingefangen und zusätzlich beschleunigt wird. Dabei findet ein sehr schneller Wechsel des Magnetflusses in der Feder statt, der gemäß  $u \sim d\Phi / dt$  einen kräftigen Spannungsimpuls in der die Feder umgebenden Spule hervorruft.

Den Mikrogenerator mit einem sich gerade über der Feder befindlichen Magnetpaar und der über die Spule herausragenden Feder zeigt **Bild 3**. Die Gesamtlänge des Mikrogenerators inklusive Scheibe mit den Magneten beträgt 20 mm. Die Feder weist eine Eigenfrequenz auf, die im Resonanzfall zu einer erhöhten Auslenkung führen würde. Oberhalb der Einspritzung in den Kunststoffträger (3) ist

sie deshalb mit einem temperaturstabilen Dämpfungsmaterial (7) umgeben, das gewährleistet, dass die Feder unter allen Betriebsbedingungen nur mit zirka  $\pm 1$  mm ausschwingt. Das Dämpfungsmaterial übernimmt gleichzeitig die Aufgabe des Knickschutzes und der Körperschall-dämpfung.

So einfach das Funktionsprinzip dieses Mikrogenerators auch erscheint, so zeitintensiv war die Entwicklung: Ausgehend vom erforderlichen Spannungsimpuls zum Verarbeiten und Abspeichern der Zählinformation und dem zur Verfügung stehenden geringen Bauraum musste die Feder mit ihrer Länge, Breite, Dicke, Härte und Auslenkung im Zusammenspiel mit den ebenfalls in drei Dimensionen variablen Magnetpaaren optimiert werden. Feinarbeit war erforderlich, die Länge der Feder auf den freischwingenden, gedämpften und eingespannten Bereich aufzuteilen. Weitere zu berücksichtigende Variablen waren die Shorehärte des Dämpfungsmaterials und die Dimensionierung der Spule hinsichtlich Windungszahl, Drahtstärke und Abmessungen.

Der Mikrogenerator liefert Spannungsimpulse ab Drehzahl Null bis zu höchsten Drehzahlen. Bei letzteren würde schon das Vorbeieilen der Magnetpärchen an der Feder zur Spannungserzeugung ausreichen, wie die ansteigende Spannungs-Drehzahl-

Kennlinie  $u(n)$  in **Bild 4** zeigt. Wenn sich die Bewegungsrichtung der Scheibe mit den Magnetpaaren (4 und 5) umkehrt, wird die Feder zunächst von dem Magneten (5) mitgenommen, um dann auf den Magneten (4) zu springen. Hierbei wird ein Spannungsimpuls mit entgegengesetzter Polarität generiert.

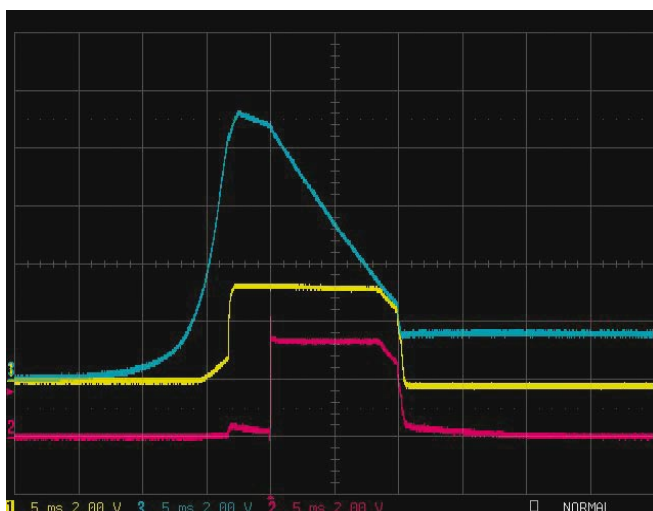
Die Spannungsimpulse der Spule werden gleichgerichtet (**Bild 5**), auf maximal 12 V begrenzt und mit einem schnellen Low-Drop-Spannungsregler auf die für die nachfolgende elektronische Schaltung erforderliche Spannung stabilisiert. Der Spannungsregler schaltet in den aktiven Zustand, wenn die Spannung an seinem Eingang einen Mindestwert überschritten hat. Das Oszillogramm in **Bild 6** zeigt diese Spannung (blau) und die Spannung am Ausgang des Spannungsreglers (gelb).

## Eindeutige Positionserkennung durch Hall-Sensoren

Die Platine (8) mit Mikrogenerator und Umdrehungszähler trägt Hall-Sensoren, die von kräftigen Permanentmagneten angesteuert werden, welche sich ebenfalls mit auf der Unterseite der umlaufenden Scheibe (6) befinden. Die Hall-Sensoren werden zeitlich vorlaufend von den Magneten aktiviert, bevor der Mikrogenerator den Spannungsimpuls erzeugt. Das von den Hall-Sensoren gelieferte Codemuster hängt von der Polarität der Magnete und damit der Winkelstellung der Scheibe ab. Auf diese Weise wird eine eindeutige Positionserkennung innerhalb einer Umdrehung gewährleistet, auch in eventueller Gegenwart von Fremdfeldern.

Der Spannungssprung des Spannungsreglers startet den Oszillator des Prozessors ( $\mu P$  in Bild 5). Dessen Kontrollausgang meldet mit *high* das Ende des Anschwingens und den Start des Prozessor-Programms (rot), Bild 6. Der Prozessor liest als erstes das nichtflüchtige FeRAM aus, das heißt den aktuellen Stand des Umdrehungszählers und die letzte Meldung der Hall-Sensoren über die Winkelposition der Scheibe. Mit diesen Informationen kann der Prozessor entscheiden, ob eine Drehung der Antriebswelle stattgefunden hat und ein Aufwärts- oder Abwärts-Zählimpuls im FeRAM abgespeichert werden soll. Der gesamte Vorgang vom Anschwingen des Oszillators bis zum Abspeichern ist nach rund 500  $\mu\text{s}$  abgeschlossen. Obwohl die Winkelposition der Scheibe dreimal pro Umdrehung ausgewertet wird, steht selbst bei 6.000  $\text{min}^{-1}$  ein Zeitintervall von 3,3 ms zur Verfügung, so dass auch Umdrehungen bei deutlich höheren Drehzahlen erfasst werden können.

Nach Abarbeiten des Programms liefert der Mikrogenerator immer noch genügend Energie (Bild 6), so dass der Prozessor seinen Programmzyklus erneut starten und die Hall-Sensoren weiter abfragen kann. Da die Hall-Sensoren aber



6: Spannungsverläufe:  
blau: Spannung am Eingang des Spannungsreglers;  
gelb: Spannung am Ausgang des Spannungsreglers;  
rot: Spannung am Kontrollausgang des Prozessors



7: Die neuen Absolutgeber sind auch mit großer Hohlwelle lieferbar

keine neue Information liefern, findet so eine vielfache Kontrolle und Bestätigung der bereits ausgewerteten Information, jedoch kein neues Abspeichern statt. Die Energiereserve wird zum Teil bei hohen Temperaturen ausgeschöpft, bei denen der Prozessor langsamer arbeitet.

Im Normalfall liegt der Absolutgeber an einer externen Versorgungsspannung und der Prozessor erhält über die Diode (D2) ständig Spannung. Er wertet die Information der Hall-Sensoren nunmehr ununterbrochen aus, bis er eine Änderung feststellt und daraus eine Entscheidung über den nächsten Zählimpuls ableitet. Das FeRAM speichert im Normalfall bis zu 65.536 Umdrehungen (16 Bit) nichtflüchtig ab und kann bei Bedarf für SSI werksseitig bis auf 16.777.216 Umdrehungen (24 Bit) erweitert werden. Das FeRAM unterliegt,



8: Absolutgeber an den Antrieben von Theaterkulissen

im Gegensatz zu anderen nichtflüchtigen Speichern, keiner Begrenzung hinsichtlich der zulässigen Anzahl von Schreib-Lese-Zyklen.

### Verschiedene Schnittstellen realisierbar

Die Entwicklung des Mikrogenerators und der Multiturn-Elektronik lief hinsichtlich der elektrischen und mechanischen Anforderungen Hand in Hand, zusätzlich zu den Anforderungen des Umdrehungszählers war der Datenaustausch zwischen Multiturn- und Singleturn-Teil zu berücksichtigen. Nach dem Einschalten der Versorgungsspannung und bei jedem Nulldurchgang der Code-Scheibe fordert der Singleturn-Teil den Prozessor über die Datenleitung (Bild 5) auf, den aktuellen Stand der Umdrehungen und die letzte Position der Hall-Sensoren zu melden, damit er die Singleturn- und Multiturn-Informationen synchronisieren und zu einem Absolut-Lagewort zusammensetzen kann.

Bei Gebern mit SSI-Ausgang kann das Absolut-Lagewort direkt via SSI ausgelesen werden. Es kann aber auch, wie in Bild 5 angedeutet, einen BUS-Controller ansteuern, der die Umsetzung auf die weit verbreiteten BUS-Schnittstellen PROFIBUS DP oder CANopen vornimmt. Weitere Schnittstellen, wie zum Beispiel EtherCAT oder BISS, befinden sich in Vorbereitung.

Die SSI-Geber werden mit Hilfe der Interface-Box HEAG 182 mittels PC programmiert: So können Drehrichtung, Nullsetzen (Reset), Voreinstellung der Position (Preset), Gray- oder Binärcode, Auslesen und Rücksetzen eines Fehlerstatus bestimmt werden. Die Geber mit PROFIBUS DP und CANopen-Schnittstelle werden mit Codierschaltern von 1 bis 99 adressiert und über den entsprechenden

BUS programmiert: So lassen sich hier Drehrichtung, Voreinstellung der Position (Preset), Auflösung pro Umdrehung und Gesamt-Auflösung komfortabel parametrieren. Als Option stehen zusätzlich 1.024 oder 2.048 Inkrementalsignale pro Umdrehung mit HTL- oder TTL-Pegel für eine Drehzahlregelung zur Verfügung.

### Mit Voll- oder Hohlwelle und in verschiedensten Baugrößen lieferbar

Die neuen Absolutgeber sind optional auch in *redundanter* Ausführung erhältlich. Dabei wird die Singleturn-Code-Scheibe mit zwei getrennten optischen Systemen abgetastet, und auf der Multiturn-Platine arbeiten zwei Mikrogeneratoren mit jeweils eigenen elektronischen Auswert- und Speicherschaltungen. Die redundanten Systeme können darüber hinaus mit *unterschiedlichen* BUS-Schnittstellen ausgestattet werden.

Die Absolutgeber wurden Temperaturprüfungen, Dauerlauftests sowie Schocks und elektromagnetischen Einwirkungen durch Stillstandsbremsen unterworfen. Das **Titelbild** zeigt die neue Generation der HeavyDuty-Absolutgeber mit *Vollwelle* und EURO-Flansch B10, in den **Bildern 7 und 8** sind *Hohlwellen*-Ausführungen dargestellt, wobei den Hohlwellen-Durchmessern keine Grenzen gesetzt sind. Letzteres ist für große magnetische Absolutgeber ohne eigene Lager, beispielsweise an Torquemotoren, von Bedeutung. Die Absolutgeber werden auch als reine Singleturns gefertigt. Weitere Baugrößen, auch kleine, robuste Absolutgeber mit Gehäusedurchmesser 60 mm, befinden sich in Vorbereitung. Bei diesen ist der Mikrogenerator nicht notwendigerweise axial, sondern gegebenenfalls auch radial ausgerichtet.

Der berührungslos arbeitende Mikrogenerator kann auch für andere Aufgaben vorteilhaft eingesetzt werden, beispielsweise als reiner Umdrehungszähler ohne Singleturn-Teil, als Positionssensor, der beim Überfahren von Positionen Spannungsimpulse abgibt, deren Polarität von der Bewegungsrichtung abhängt - oder in anderer Form als batterieloser Signalgeber.

Erweiterter Sonderdruck aus antriebstechnik Januar 2006

A1

Baumer Hübner GmbH  
Postfach 61 02 71 · D-10924 Berlin  
Planufer 92 b · D-10967 Berlin