



High-Precision Ball Bearings

# DIE NEUEN Q21-KUGELLAGER



**KAMAN**

Specialty Bearings & Engineered Products

# Q21-KUGELLAGER HÖCHSTLEISTUNGEN DANK INNOVATIVER DESIGNS UND ENTWICKLUNGEN

## Q21IRAC® – DENTAL-KUGELLAGER MIT DREI-RADIEN-PROFIL

Unter Verkipfung laufende Standard-Radial-Rillenkugellager werden mit erheblichen Zwangskräften beaufschlagt, die zu einem frühzeitigen Lagerausfall führen. Doch nicht mit den innovativen Q21-Features von GRW! Durch den Einsatz unserer neuartigen Rillenkugellager Q21irac® stellen sich trotz Verkipfung des Lagers die Betriebskontaktwinkel am Innenring und Außenring auf einen optimalen Wert ein. Der Kugelsatz bewegt sich nahezu auf einer Kreisbahn. Das vermeidet Geräusch-auffälligkeiten und frühzeitigen Verschleiß. Die Folge daraus ist eine signifikant höhere Lebensdauer der Kugellager.

## HÖCHSTLEISTUNGEN TROTZ HÄRTESTER EINSATZBEDINGUNGEN

Ein kreischendes, quälendes Surren – vielen verschafft das Geräusch eines Zahnarztbohrers Unbehagen. So ist eine Wurzelbehandlung schon per se kein angenehmes Erlebnis. Das quietschende Geräusch während der Behandlung ist zusätzlich unangenehm für den Patienten. Inwiefern Kugellager hier eine Rolle spielen und auf welche Weise das Drei-Radien-Profil der innovativen Q21-Technologie von GRW für Linderung sorgen kann, das erläutern wir Ihnen gerne:

## DENTALHANDSTÜCK – SO IST DAS HIGH-TECH-SYSTEM AUFGEBAUT

Teil der Grundausstattung jeder Zahnarztpraxis ist das sogenannte Dentalhandstück. Dieses nimmt die verschiedenen Werkzeuge auf, die zur Zahnbehandlung notwendig sind.

Damit das Instrument gut in der Hand liegt, ist es mit einem ergonomischen Griffprofil versehen. Mit dem Gerät kann der Mediziner den Mundraum ausleuchten und reinigen bzw. kühlen. Denn das Dentalhandstück ist sowohl mit einem Lichtauge als auch mit Spraydüsen ausgestattet. Über einen Druckknopf an der Oberseite des Kopfes lässt sich das Werkzeug schnell austauschen.



BILD 1

Im Inneren des Instruments ist eine Dentalturbine verbaut, die pneumatisch auf bis zu 500.000 Umdrehungen pro Minute beschleunigt wird. Dabei werden die Schaufeln des Rotors

von Druckluft angeströmt und erfahren so eine Antriebskraft. Über den Hebel, der sich zwischen Kraftangriffspunkt und Wellenmitte befindet, ergibt sich ein Antriebsmoment, das aus einer Rotationsbewegung der Rotorwelle resultiert. Durch die Spannfunktion der Welle überträgt sich das Drehmoment auf das Werkzeug, das auf Bild 1 durch einen zylindrischen Stift repräsentiert wird. Am anderen Ende des Handstücks befindet sich der Anschluss für die Druckluftversorgung. Der für den Antrieb notwendige Luftstrom gelangt durch ein Leitungssystem, das sich in der Griffhülse befindet, in die Turbine. Anschließend wird diese über ein ebenfalls integriertes, parallel laufendes Rohr wieder ausgeleitet.

## HOCHPRÄZISE MINIATURKUGELLAGER SIND DAS HERZ DES DENTALHANDSTÜCKKOPFES

Damit der Zahnarztbohrer überhaupt funktioniert, sind hochpräzise Kugellagerlösungen im Miniaturformat nötig. Diese kommen in der Dentalturbine zum Einsatz. Grundsätzlich ermöglichen zwei Lagerpakete die erforderliche Positionierung und Stabilisierung der Hohlwelle im Gehäusekopf des Dental-

handstücks. Die Kugellager bestehen aus folgenden Komponenten:

- Innen- und Außenringe
- Stahl- oder Keramik-Kugeln (Ø 1 mm)
- Käfige aus Hochleistungskunststoffen

Komplettiert werden die Lager in der Regel durch Abdeckungen. Diese reduzieren den Austritt der medizingerechten Schmiermittel aus dem Kugellager und den Eintritt potentieller Verschleiß- sowie Schmutzpartikel. Im Modell in Bild 2 wird diese Schutzfunktion von einer modifizierten Planseite des Außenrings übernommen.

Die Innenringe sind in der Regel kraftschlüssig mit der Welle verbunden. Mithilfe von O-Ringen (radial) und Wellfederscheiben (axial) werden die Außenringe schwimmend im Gehäuse gehalten. Dieses System ermöglicht eine schwingungsdämpfende X-Anordnung, die axiale Stoßbelastungen bis zu einem gewissen Grad kompensieren kann. Dieser Aufbau wirkt sich jedoch nachteilig durch eine ungleichmäßige Lastverteilung aus. In der Anwendung werden die radialen Auslenkungen der Hohlwelle hauptsächlich durch das vordere (linke) Lager abge-

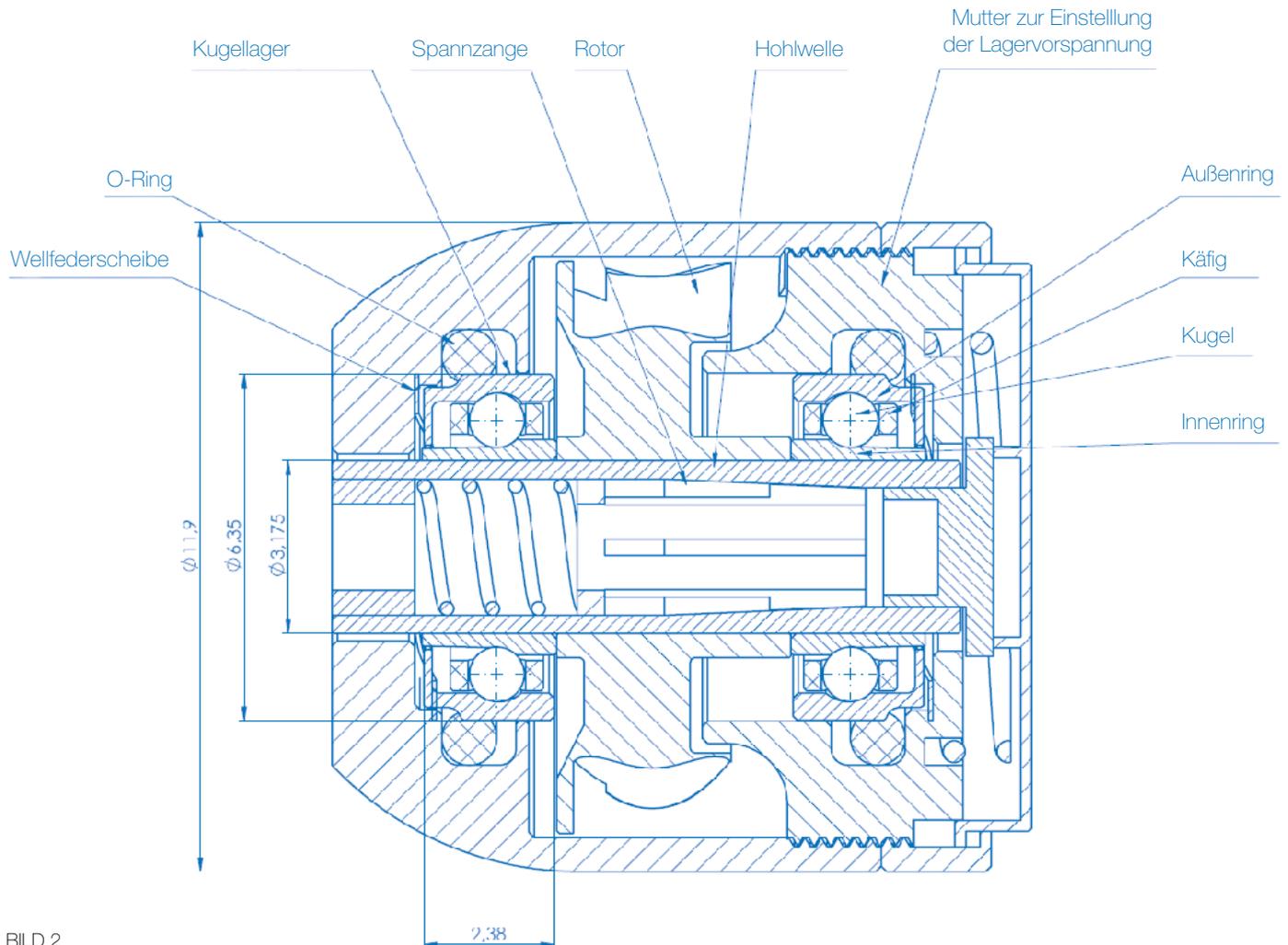


BILD 2

fangen. Grund dafür ist die Belastung des Dentalwerkzeugs. Somit sind die Entwicklung und Produktion eines Zahnarztbohrers eine besondere Herausforderung. Denn ein solches Handstück fordert eine hohe Belastbarkeit der hochdrehenden Kugellager bei gleichzeitig wechselnden Biegemomenten der Hohlwelle. Doch wir von GRW bieten einen optimalen Lösungsansatz: unsere neuen Q21-Kugellager.

## DIESEN PROBLEMEN SIND TURBINENKUGELLAGER AUSGESETZT:

Die rundum schlechten äußeren Bedingungen in der Dentalturbine sind für jedes Rillenkugellager eine große Herausforderung. Denn nach jeder Zahnbehandlung wird das Handstück in einem automatisierten Aufbereitungsprozess gereinigt, geölt und sterilisiert. Trotz des Pflegeintervalls herrscht nach kurzer Zeit bereits wieder eine Mangelschmierungssituation. Denn die Abluft der Turbine entweicht nicht nur über den Abluftkanal des Handstücks, sondern auch über die Kugellager. Dabei fördert sie eingebrachtes Pflegeöl wieder nach „außen“.

Zudem ist auch die asymmetrische äußere Belastung ein Problem für die Turbinenkugellager. Diese wird bei der Zahnbearbeitung auf die Schneide des Bohrwerkzeugs übertragen. Als Konsequenz daraus kommt es zu einer Verkipfung der Rotorwelle. So verstärkt zum Beispiel ein Fluchtungsfehler der Lagerstellen – bedingt durch einen schräg montierten Außenring – diesen Einfluss noch einmal deutlich.

Gemäß dem Stand der Technik werden unter Verkipfung laufende Rillenkugellager mit erheblichen Zwangskräften beaufschlagt. Die Kugeln des Kugelsatzes bewegen sich dabei auf elliptischen Bahnen mit der Konsequenz, dass diese – je nach Ellipsenposition – mit unterschiedlichen Umwälzgeschwindigkeiten angetrieben werden. Durch schnell bzw. langsam laufende Wälzkörper erfährt der Kugellagerkäfig eine permanente Wechselbeanspruchung. Die Folge daraus ist eine Überlastung des Käfigs und damit einhergehend ein rapide fortschreitender Käfigverschleiß. Daraus resultiert ein frühzeitiger Lagerausfall. Diesen Effekt können wir von GRW teilweise mit modernen XTRA-Hochleistungskunststoffen – versetzt mit reibungsmindernden Additiven – kompensieren. Fortschreitender Verschleiß führt zu Abrieb bzw. Schmutz, welcher sich im Lagerinneren ansammelt. Infolge der Laufreibung kommt es zu einem Drehzahlverlust. Unmittelbar vor dem Ausfall des höherbelasteten vorderen Lagers wird das Handstück als laut und leiernd wahrgenommen. Das liegt an den deutlichen Drehzahlschwankungen im Betrieb. Gleichzeitig werden auf die Griffhülse des Handstücks unangenehme Vibrationen übertragen, die den Mediziner bei seiner Arbeit beeinträchtigen können.

## UNSER LÖSUNGSANSATZ: Q21IRAC® – SONDERKUGELLAGER MIT SPEZIELLEM LAUFBAHNPROFIL

Der Aufbau der Dentalturbine lässt keinen Spielraum für geometrische Anpassungen im Umfeld der Kugellager. Durch die schwimmende Aufnahme der beiden Außenringe im Gehäuse kann ein „Schrägsteher“ eines Außenrings nicht komplett verhindert werden. Tritt dieser Fall ein, wird die Turbine zwangsläufig früher ausfallen. So kann die vom Dentalgerätehersteller zugesicherte Gewährleistungsfrist nicht sicher erreicht werden. Um dieses Problem zu lösen, muss das Laufbahndesign des Rillenkugellagers soweit angepasst werden, dass sich die Kugeln des Kugellagersatzes trotz Verkipfung des Lagers annähernd auf einer Kreisbahn bewegen. Nur so lassen sich herrschende Zwangskräfte auf den Käfig weitestgehend vermeiden, die infolge unterschiedlicher Umwälzgeschwindigkeiten der Kugeln entstehen.

Mit unseren Q21-Innovationen können wir von GRW diese Problemstellung lösen. Denn wir haben mit Q21irac® – ein von GRW patentiertes Spezialkugellager – die optimale Lösung entwickelt. Dieses Lager verfügt über ein Außenring-Laufbahnprofil mit drei tangential ineinander übergehenden Radien. Das kinematische Wirkprinzip wird im Folgenden näher beschrieben:

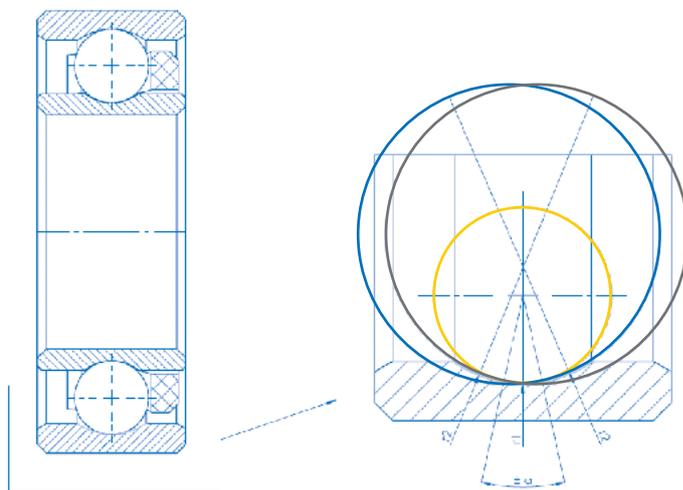


BILD 3

Wie im Bild 3 zu sehen, ist die Außenring-Laufbahn des Q21irac®-Kugellagers mit einer speziellen Kontur ausgestattet. Bei regulärer Einbaulage ohne Verkipfung bestehen grundsätzlich keine Unterschiede zwischen der Q21irac®-Bauforn und einem Standard-Radial-Rillenkugellager in Bezug auf die Abrollverhältnisse des Kugellagersatzes. Denn die Kugeln bewegen sich innerhalb des Radius  $r_1$  mit dem Laufbahnwinkel  $\pm \alpha$ . Ohne Berücksichtigung eines Kippspiels verfügen

beide Kugellagervarianten über identische statische und dynamische Tragzahlen.

Anders verhält es sich jedoch, sobald sich ein definiertes Kippspiel zwischen Innen- und Außenring einstellt: Dann bewegen sich einzelne Kugeln des Kugelsatzes in den Teilabschnitt 2. Dort ist Laufbahnradius  $r_2$  deutlich größer als  $r_1$  (etwa zweimal so groß wie  $r_1$ ). Dadurch verschiebt sich der Betriebskontaktwinkel deutlich nach innen in Richtung Laufbahnmitte und die stark elliptische Ausprägung der Laufspur wird minimiert. So ist es mit der innovativen Q21-Technologie von GRW möglich, die Zwangskräfte zwischen Kugeln und Laufbahnen bzw. Kugeln und Käfig deutlich zu reduzieren. Das wirkt sich auch positiv auf das Lagergeräusch aus. Denn trotz Verkippung sind die innovativen Lösungen von GRW deutlich leiser.

## EIN HÖRBARER ERFOLG: DIE GERÄUSCHPRÜFUNG

Selbstverständlich haben wir unsere innovativen Q21irac®-Kugellager auch Geräuschmessungen unterzogen. Diese haben wir auf unserem GRW-Geräuschprüfstand durchgeführt. Hierbei nimmt ein Beschleunigungsaufnehmer die Schwingungen am Außenring des Rillenkugellagers ab. Eine hydrodynamisch gelagerte Welle treibt den Innenring mit 3.000 Umdrehungen pro Minute an.

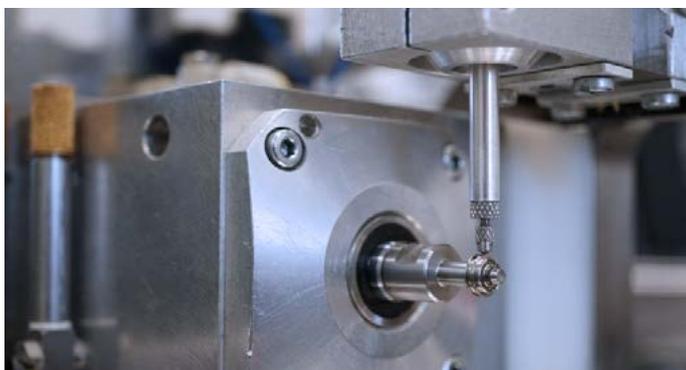


BILD 4

Ein Piezokristall wandelt die detektierten Beschleunigungswerte in eine elektrische Spannung um. Entsprechende Bandfilter teilen die Frequenzen in die Bereiche 500 bis 1.600 Hz (TIEF) bzw. 1.600 bis 5.000 Hz (HOCH) auf. Auftretende Signalspitzen werden über die Zeit integriert und als „PEAK-Bereich“ dargestellt (Bild 5). Bei der Geräuschprüfung bestätigt sich das annähernd identische Verhalten der beiden Vergleichslager im unverkippten Zustand. Sobald jedoch die Außenringe der beiden Lagerversionen in einen Verkippungszustand überführt werden, ist beim Standardlager ein deutlich stärkerer Anstieg des Laufgeräusches zu verzeichnen. Die Q21irac®-Lagervariante mit Drei-Radien-Profil zeigt jedoch in jeder Verkippungslage des Außenrings ein unauffälliges, leises Verhalten.



BILD 5

## DIE ERGEBNISSE DER FE-SIMULATION

Für die Finite-Elemente-Simulation wird basierend auf der expliziten dynamischen Methode in LS-DYNA ein dynamisches Modell einer Turbinenlagerung nachgebildet. Die dynamischen Schwingungen der Rotorlagerung werden für das Standard-Radial-Rillenkugellager und die Q21irac®-Kugellagerbauform mit Drei-Radien-Profil bei kombinierter Last und Schiefstellung des Außenrings simuliert. Zudem werden die Auswirkungen auf das Verhalten des Käfigs und des Kugel-/Laufbahnkontaktes analysiert. In den Kugellagern der Dentalturbine wird der Käfig als schwächstes Bauteil betrachtet. Aus diesem Grund besteht zwischen den dynamischen Schwingungen und der Lebensdauer des Käfigs ein direkter Zusammenhang.

### Modellbeschreibung:

In den verwendeten AC-Lagern (Angular contact ball bearings) der Rotorlagerung kommen folgende Werkstoffe zum Einsatz:

- Innen-/Außenringe: Martensitischer Niro-Stahl X65Cr13
- Kugeln: Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )
- Käfig: Polyamidimid (PAI)

Für die Simulation werden das Gehäuse und die Kugeln als Starrkörper ausgeführt. Für die gesamte Rotorwelle, den Innen- und Außenring sowie den Käfig wird ein linear elastisches Materialmodell gewählt. Die Verbindung der Außenringe mit dem Gehäuse erfolgt über O-Ringe. Hierfür wird ein hyperelastisches Materialmodell zugrunde gelegt. Zur Bestimmung der Mooney-Rivlin-Materialparameter wurde in Vorversuchen ein Abgleich zwischen Simulation und realen Eigenschaften durchgeführt. Das gesamte Modell der Rotorlagerung ist in Bild 6 dargestellt. Es besteht aus 545.477 Knoten, 571.042 Elementen und 37 Komponenten.

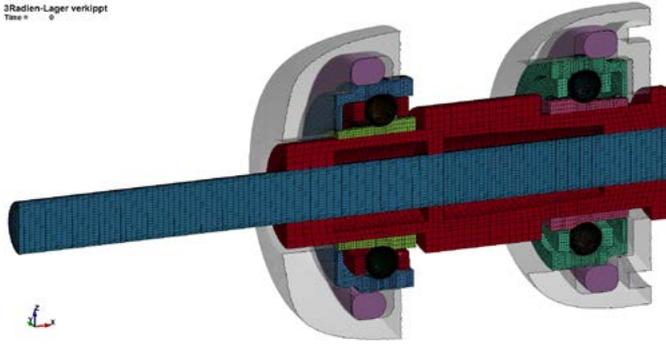


BILD 6

### Randbedingungen

Insgesamt ergeben sich für das Modell 54 Hauptkontaktpaare. Für die FE-Berechnung wurden definierte Reibungskoeffizienten für die folgenden Reibpartner gewählt:

- Haftreibung zwischen Kugeln und IR-/AR-Laufbahn
- Haftreibung zwischen Kugeln und Käfig
- dynamische Reibung für o. g. Kontakte
- Reibung zwischen Gehäuse, O-Ring und Außenring

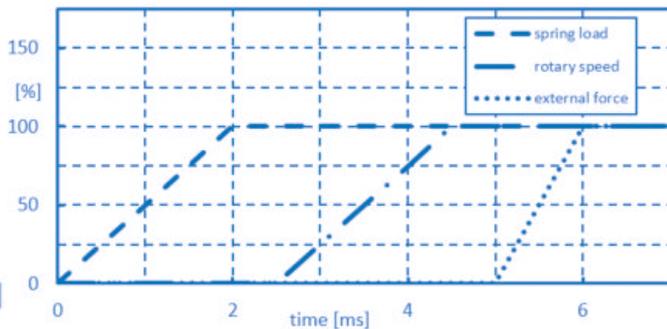


DIAGRAMM 1

Die axiale Anstellung der Lager erfolgt auf die Stirnfläche der Außenringe mit eindimensionalen Federn und einer Federrate von 10 N/mm. Die Drehgeschwindigkeit wird auf die Rotorwelle zwischen den beiden Lagerstellen übertragen. In Diagramm 1 ist der zeitliche Verlauf für das Aktivieren von Vorspannung (Federkraft), Rotation (Drehgeschwindigkeit) und Belastung (Krafteinleitung) dargestellt. Dies geschieht nacheinander unter Berücksichtigung einer entsprechenden Einschwingzeit.

### Ergebnisse und Diskussion:

Die über den zeitlichen Verlauf auf die Oberfläche der Kugeln addierte Energiedichte ist in Diagramm 2 ablesbar. Betrachtet man den unverkippten Zustand, stellt sich sowohl für das Standardlager als auch für das Q21irac®-Kugellager von GRW mit Drei-Radien-Profil ein energiearmer Zustand ein (3 % des Maximalwertes). Wird hingegen zusätzlich eine Verkipfung eingestellt, so führt das zu einer deutlichen Steigerung der

Energiedichte. Dabei schneidet jedoch unser Sonderlager mit 78 % Energiedichte im Vergleich zum Standardlager mit 100 % Energiedichte deutlich besser ab. Aus dieser günstigeren Energiebilanz können wir darauf schließen, dass die auf den Käfig übertragenen Schwingungen niedriger ausfallen.



DIAGRAMM 2

Für den Nachweis haben wir die radialen Käfigbewegungen für beide Lagerausführungen im verkippten Zustand simuliert:

Aus dem Diagramm der radialen Käfigbewegungen im Standardlager geht hervor, dass der Käfig durch den Käfigsatz undefiniert angeregt wird und die Käfigbewegungen keinem konkreten Muster folgen. Der Käfig läuft „unruhig“. Das hat zur Konsequenz, dass sich der Käfigverschleiß auf einem hohen Niveau einpendelt und das Kugellager als geräuschauffällig wahrgenommen wird.

Anhand des Diagramms zum Q21irac®-Kugellager lässt sich erkennen, dass es bezüglich seines radialen Bewegungsprofils einem sinuiden Verlauf folgt. Dadurch wird der Käfigverschleiß minimiert, was wiederum einen positiven Einfluss auf die Lebensdauer und das Laufgeräusch der innovativen Q21-Lager von GRW hat.

## IDEAL FÜR DIE VERKIPPT EINGEBAULAGE: Q21IRAC®-KUGELLAGER

Unsere neue Kugellagerbauform Q21irac® kann in Anwendungen erfolgreich eingesetzt werden, in denen die Einbausituation Spielräume für Fluchtungsfehler bzw. Verkippen der Lagerstellen bietet. Standard-Rillenkugellager reagieren auf die beschriebenen Einflüsse hingegen sehr empfindlich. Stark streuende Kontaktkräfte, die vom Kugelsatz auf den Käfig übertragen werden, führen zu undefinierten radialen Käfigbewegungen. Das hat zur Konsequenz, dass der Käfig zum Schwingen angeregt wird und sich ein hoher Verschleiß einstellt. Daraus folgt, dass verkippt laufende Standardlager als „geräuschanfällig“ wahrgenommen werden und deutlich früher ausfallen als nicht verkippt laufende Lager. Doch wir von

GRW schaffen mit unseren Q21rac®-Kugellagern Abhilfe! Denn diese verfügen über ein patentiertes Drei-Radien-Profil in der Außenring-Laufbahn. Mithilfe der GRW-Geräuschprüfung und der FE-Simulation konnten wir nachweisen, dass unsere innovative Lösung eine verkippte Einbaulage deutlich besser kompensieren kann als Standardprodukte. Kommen unsere Sonderkugellager in Dentalturbinen zum Einsatz, so ermöglichen sie den Patienten ein deutlich angenehmeres, leiseres Umfeld. Und auch für den Zahnarzt sind Dentalhandstücke mit den innovativen Q21rac®-Kugellagern von GRW ein echter Gewinn. Denn durch das längere Betriebsintervall der Turbine bleiben die Kosten für ihn deutlich geringer.

## Q21SPEED®: NEUES KÄFIGDESIGN FÜR RILLENKUGELLAGER IN HOCHGESCHWINDIGKEITSANWENDUNGEN

Durch den Einsatz von Q21speed®, einem neuen Käfigdesign für Hochgeschwindigkeitsrillenkugellager von GRW, erzielen wir eine deutliche Performance-Steigerung in Bezug auf das dynamische Verhalten und die Laufreibung. Das von GRW patentierte Kugeltaschendesign gewährleistet außerdem eine signifikante Lebensdauersteigerung bei einem äußerst geräuscharmen Lauf. Es können sowohl Schnappkäfige in Radial-Rillenkugellagern als auch Fensterkäfige in Schulterkugellagern mit diesem speziellen Q21-Feature von GRW ausgestattet werden.

### AUSFÜHRUNG UND MATERIAL DER KÄFIGE SIND VOM EINSATZ DER KUGELLAGER ABHÄNGIG

Kugellagerkäfige haben im Betrieb eines Kugellagers unterschiedliche Aufgaben: Unter anderem halten sie die Kugeln in gleichmäßigem Abstand voneinander getrennt. Dadurch werden Reibung und Wärmeentwicklung verringert. Zudem ermöglicht dies eine gleichmäßige Lastverteilung, die einen positiven Einfluss auf die Lebensdauer der Lager hat.

Die Käfige gibt es in unterschiedlichen Materialien und Ausführungen – je nach zu übernehmender Aufgabe des Kugellagers. Bei besonders hohen Drehzahlen kommen zum Beispiel Kunststoffkäfige zum Einsatz – entweder als Schnappkäfig-

Variante im Radial-Rillenkugellager oder als Fensterkäfig im Schulterkugellager.



RILLENKUGELLAGER MIT INNENRING, AUSSENRING, SCHNAPPKÄFIG UND KUGELSATZ



SCHULTERKUGELLAGER MIT INNENRING, AUSSENRING, FENSTERKÄFIG UND KUGELSATZ

Ob Drehzahlverhalten, Vakuumtauglichkeit, Warmfestigkeit, Verschleiß bzw. Laufreibung – ganz egal, welche Kundenanforderungen: Das Unternehmen GRW bietet für jede Anwendung eine geeignete Lösung, zum Beispiel:

- PAI (XTRAlon®, Torlon®)
- PI (VespeL®, Meldin®)
- PPS
- PEEK
- Gewebeverstärktes Phenolharz

Eine Gleitoptimierung der Polymere mithilfe von Feststoffadditiven (z.B. PTFE, Grafit, MoS<sub>2</sub>) kann das Reibverhalten des Käfigs bzw. des Kugellagers nur geringfügig und größtenteils im nicht messbaren Bereich reduzieren.

### UNSER NEUES KÄFIGDESIGN – Q21SPEED®

Wir von GRW haben mit unseren innovativen Q21-Features das Design der Käfige unserer Kugellager auf ein neues Level gebracht. Denn diese innovative Lösung zeichnet sich durch

ein verbessertes dynamisches Verhalten und eine minimale Laufreibung aus. Ideal geeignet ist sie deshalb für Anwendungen bei besonders hohen Lagerdrehzahlen. Dort entfaltet unser innovativer Q21speed®-Käfig seine volle Stärke. Erhältlich ist dieser für unser komplettes Produktportfolio im Bereich Radial-Rillenkugellager und Schulterkugellager.

Am Beispiel des Fensterkäfigs zeigen wir die neuartige konstruktive Gestaltung der Kugeltasche. Das Taschendesign ist nicht wie bei herkömmlichen Auslegungen als zylinderförmige Bohrung abgebildet, sondern weist in Umfangsrichtung eine Trichterform auf. Die radiale Taschenbegrenzung ist dabei bezüglich der Orientierung exakt auf den Käfigmittelpunkt gerichtet. Die axiale Ausdehnung der Kugeltasche ändert sich gegenüber dem Standard nicht. Durch diese besondere Auslegung können wir von GRW mit der Q21-Technologie optimale Laufeigenschaften des Käfigs innerhalb des Kugellagers erreichen. Denn einerseits wirkt die Antriebskraft der Kugel senkrecht gegen die Wandung der Kugeltasche, sodass der Käfig eine stabile Führung erhält und insgesamt über ein verbessertes Zentrierverhalten verfügt. Andererseits wird der Käfig weniger durch Schwingungen angeregt. Das hat zur Folge, dass sich Geräuschverhalten und Lebensdauer des Lagers signifikant verbessern.

Kunststoffkäfige mit dem von GRW patentierten Q21-Design empfehlen wir vor allem für Hochgeschwindigkeitsanwendungen, wenn der Drehzahlkennwert sich bei größer als 400.000 mm/min bewegt. Typische Einsatzfelder sind:

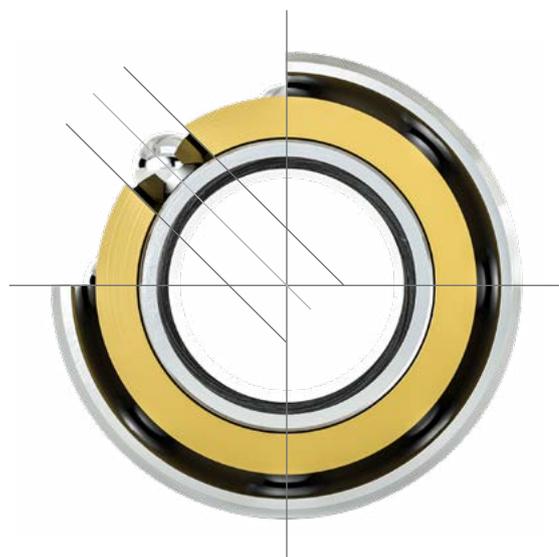
- High-Speed-Dentalinstrumente
- Hochfrequenz-Spindeln

## VERSUCHSERGEBNISSE MIT UNSEREM NEUEN KÄFIGDESIGN IM VERGLEICH ZUM STANDARD-MODELL

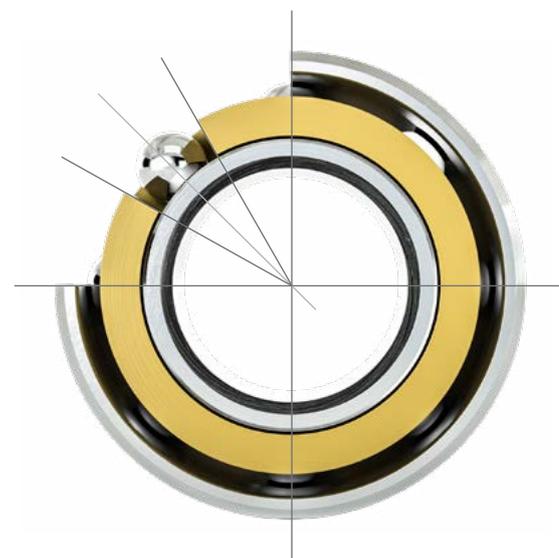
Unser neu konzipiertes Käfigdesign ist dem Standard überlegen. Das belegt unser Anwendungsbeispiel, das sich auf den Einsatz unserer innovativen Lösung in einem Dentalhandstück bezieht: Mithilfe unserer GRW-Referenzturbinen, die mit ca. 350.000 min<sup>-1</sup> betrieben wird, konnten wir Kugellager mit Q21speed®-Käfigen und Standardkugellager direkt miteinander vergleichen. Im Anwendungsbeispiel liegt der Drehzahlkennwert bei etwa 1.670.000 mm/min. Mit jeweils zehn Vergleichsturbinen haben wir am vollautomatischen GRW-Dentalprüfstand objektiv die Lebensdauerwerte mit den unterschiedlichen Kugellagerausführungen bestimmt.

Dabei sind wir wie folgt vorgegangen:

- Im Testbetrieb rotiert das in das jeweilige Handstück eingespannte Bohrwerkzeug mit der genannten Leerlaufdrehzahl bei einem Versorgungsluftdruck von 3,0 bar.
- Ein Belastungszylinder simuliert die durch den Zahnarzt ausgeübten Kräfte, sodass sich infolge der Beschleunigungen und Abbremsungen im Kugellager ein gewisser Käfigverschleiß einstellt. Dieser ist wiederum direkt proportional zur Laufreibung.
- Eine Erhöhung der Reibung im Kugellager führt nach einer bestimmten Zeit zu einem Drehzahlabfall der Turbine.
- Unterschreitet die Turbine die Drehzahlgrenze von 330.000 min<sup>-1</sup>, gilt das Handstück als ausgefallen.
- Nach dem Ausfall aller 10 Testturbinen wurden die Versuche ausgewertet und gegenübergestellt.



KALOTTE MIT ZYLINDERFÖRMIGER BOHRUNG IM STANDARDKÄFIG



KALOTTE MIT TRICHTERFÖRMIGER KONTUR IM SONDERDESIGN

Im Testbetrieb haben wir außerdem das Drehzahlverhalten und das Geräusch der Turbine erfasst, da Dentalgerätehersteller auf diese Parameter besonderen Wert legen. Die Ergebnisse unserer Messungen sehen Sie im Diagramm 3. Es zeigt die Leerlaufdrehzahlen (Turbine speed) und die Lebensdauerwerte (Turbine life) im direkten Vergleich. Mit dem Q21speed®-Design (Trichterkäfig) können schädliche Verlustreibungen an der Kontaktfläche zwischen Kugel und Kugeltasche komplett vermieden werden. Die Folge daraus ist eine im Mittel 10.000 min<sup>-1</sup> höhere Leerlaufdrehzahl im Vergleich zum Standardlager.

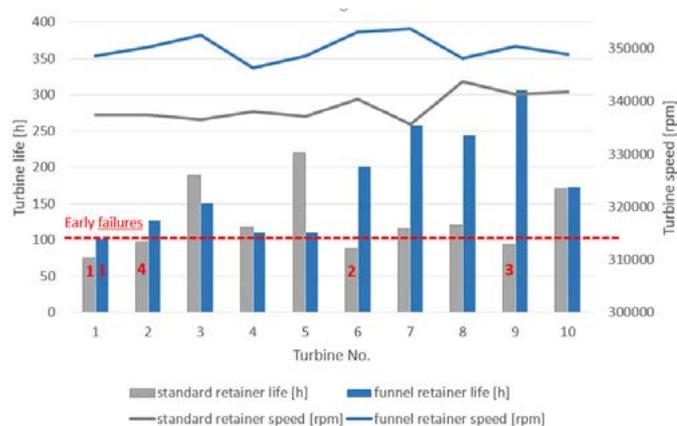


DIAGRAMM 3

Bei unserer Q21speed®-Technologie liegt die mittlere Lebensdauer bei 178,3 Stunden. Bei einem Standardkugellager beträgt sie hingegen 128,7 Stunden. Viel entscheidender für die Performance der Lagerung ist die Betrachtung der Frühausfälle. Bei Q21speed® erfolgt die Kräfteinleitung an der Kontaktstelle Kugel/Kugeltasche tangential. Dies bedeutet, dass sich der Käfig bei beginnendem Käfigverschleiß nicht aus der Mittelpunktlage herausbewegt. Dadurch können frühzeitige Lagerausfälle vermieden werden. In dem Diagramm 3 sind die Frühausfälle für beide Lagervarianten bis 100 Stunden Lebensdauer in roter Schrift dargestellt. Während beim Standardlager vier Frühausfälle registriert sind, zeigt das Q21speed®-Kugellager von GRW nur einen Ausfall knapp unterhalb von 100 Stunden. Ein weiteres wichtiges Qualitätskriterium ist das Geräuschverhalten der Kugellager in der Dentalturbine. Auch hierbei überzeugt unser innovatives Q21speed®-Design mit einem Laufgeräusch von ca. 60 dB. Das Standardkugellager ist mit etwa 64 dB deutlich geräuschauffälliger.

## OPTIMALE LAUFEIGENSCHAFTEN DANK DER Q21-TECHNOLOGIE VON GRW

Mit unserem Q21speed®-Käfigdesign haben wir eine innovative Lösung für Hochgeschwindigkeitsrillenkugellager entwi-

ckelt. Denn diese überzeugen vor allem mit ihrem verbesserten dynamischen Verhalten und durch ihre minimale Laufreibung. Die Kugeltaschen des Käfigs sind anders als bei herkömmlichen Varianten in Form eines Trichters ausgelegt. Durch die schräg angeordneten Kontaktlinien der trichterförmigen Kugeltaschen haben wir von GRW optimale Bedingungen mit unserer Q21-Technologie erreicht. Denn beim Q21speed®-Käfigdesign wirkt die Antriebskraft der Kugel senkrecht gegen die Wandung der Kugeltasche. So erhält der Käfig eine stabilere Führung und verfügt über ein verbessertes Zentrierverhalten. Zudem wird dieser weniger durch Schwingungen angeregt – und das wirkt sich letztlich positiv auf das Geräuschverhalten und die Lebensdauer des Kugellagers aus. Angebracht werden kann unser neues Q21speed®-Käfigdesign sowohl in Fensterkäfigen bei Schulterkugellagern als auch in Schnappkäfigen bei Radial-Rillenkugellagern.

## Q21 TWIN®: NEUES KÄFIG-DESIGN REALISIERT DEN EINSATZ VON FENSTER-KÄFIGEN IN RADIAL-RILLEN-KUGELLAGERN

Unser neues, patentiertes Käfigdesign Q21 twin® kombiniert die Vorteile von zweiteiligen Käfigen aus Stahlblech (Stahlappenkäfige) und Fensterkäfigen. Dank dieser innovativen Lösung ergibt sich eine spürbare Performance-Steigerung in Radial-Rillenkugellagern. Denn entgegen der üblichen Schnappkäfige vereinen sich bei der neuen Q21-Technologie von GRW zwei Käfighälften formschlüssig zu einem Fensterkäfig in einem Radial-Rillenkugellager. Die Kombination aus den beiden zueinander flexiblen Käfighälften ermöglicht:

- einen Achsenausgleich der Käfighälften zueinander bei Verkipfung des Kugellagers
- das Abfangen von externen Kräften auf den Käfig, die zum Beispiel durch Vor- oder Nachlauf der Kugeln auf den Käfig entstehen

So verhindert die GRW Q21-Technologie die Zwangskräfte auf den Käfig. Das reduziert den Verschleiß im Kugellager und hat letztlich einen positiven Einfluss auf die Verfügbarkeit sowie Lebensdauer der Anwendung.

## DIESE EINSCHRÄNKUNGEN GALTEN BISHER FÜR KUGELLAGER

Unabhängig von den individuellen Kundenanforderungen und Käfigmaterialien galten bisher folgende Einschränkungen für ein Kugellager:

- In Radial-Rillenkugellagern können nur Schnappkäfige oder zwei aufwendig vernietete bzw. umgeformte Käfighälften verbaut werden.
- Sollen massive Fensterkäfige genutzt werden, muss der Anwender auf Schulterkugellager mit einseitig abgeschliffener Schulter zurückgreifen. Das erhöht jedoch den Fertigungsaufwand am Lager und somit auch die Herstellungskosten. Zudem können solche Schulterkugellager axial nur in eine Richtung belastet werden. Dies bringt einen erhöhten Montageaufwand und Probleme bei der Demontage mit sich.

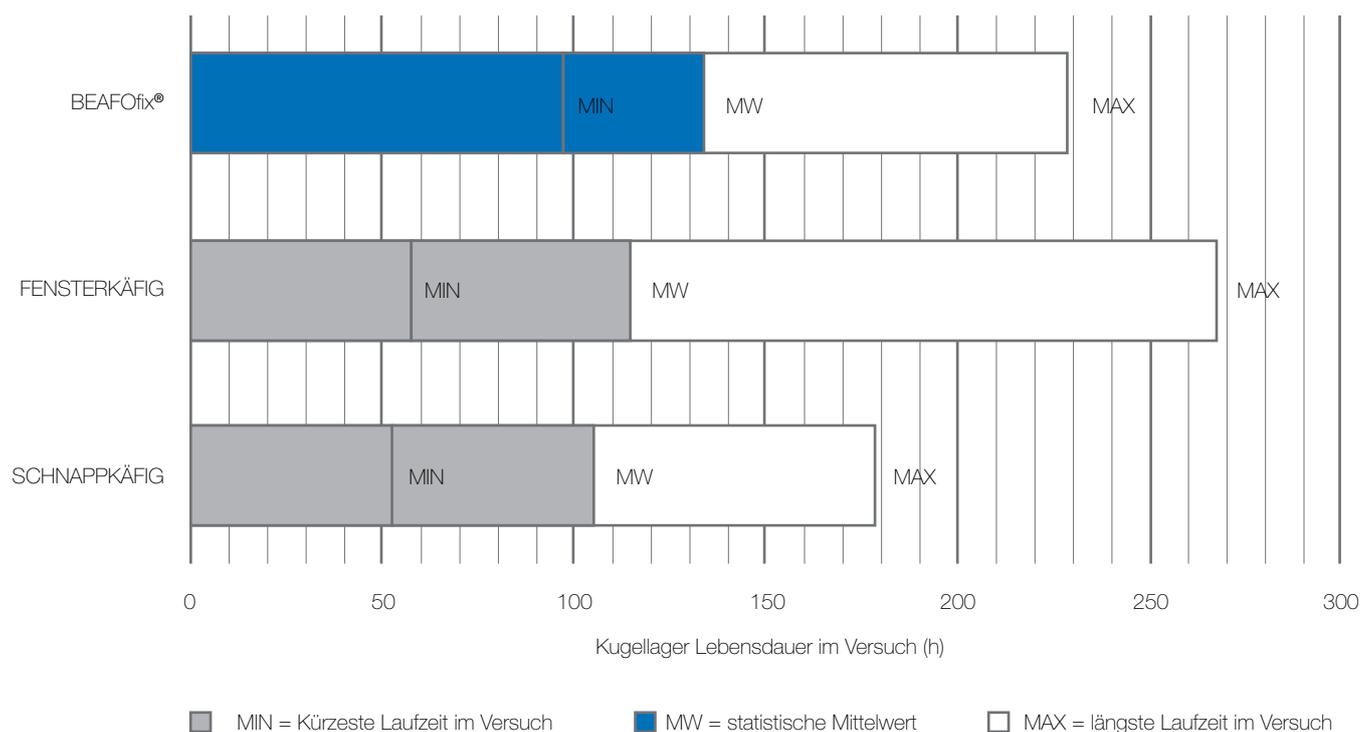
## UNSERE NEUE TECHNOLOGIE IST DIE LÖSUNG!

Wir haben für Sie die ideale Lösung entwickelt, mit der diese Einschränkungen der Vergangenheit angehören: Unser

Q21twin®-Käfigdesign. Dieser zweiteilige Fensterkäfig besteht aus zwei Käfighälften, die über den Kugelsatz formschlüssig miteinander verbunden werden.

Dadurch ergibt sich ein Fensterkäfig, der in einem Radial-Rillenkugellager eingebaut werden kann. Ein Pluspunkt ist auch die Flexibilität der beiden Käfighälften zueinander: Dank dieser Käfiggeometrie ist ein Achsenausgleich bei einer Verkippung des Kugellagers im Betrieb möglich.

Dadurch werden die auf den Käfig wirkenden Zwangskräfte minimiert. Da die Käfighälften außerdem innerhalb des Kugeltaschenspiels in Umfangsrichtung gegeneinander verdrehbar sind, können diese externe Kräfte auf den Käfig abfangen. Diese Aspekte wirken sich letztlich auch positiv auf den Verschleiß und die Lebensdauer des Kugellager-Käfigs aus. Für Q21twin® können Sie auf jeden beliebigen Hochleistungskunststoff aus unserem Programm der GRW-Käfigmaterialien zurückgreifen. Besonders praktisch: Die neue Käfigvariante bedeutet fertigungstechnisch keinen nennenswerten Mehraufwand, da lediglich, dass zwei geometrisch identische Käfigteile im Kugelsatz gegeneinander verriegelt werden.



## NUR FÜR EINE GERADE ANZAHL VON KUGELN REALISIERBAR

Bei unserem neuen Q21twin®-Design müssen Sie nur bei der Kugelanzahl eine Einschränkung in Kauf nehmen. Diese ergibt sich aufgrund des symmetrischen Aufbaus der beiden Hälften. Q21twin® ist deshalb nur mit einer geraden Anzahl an Kugeln realisierbar.

## Q21TWIN® IM VERGLEICH ZU STANDARD-KÄFIGEN: UNSERE VERSUCHSERGEBNISSE

Um die Fähigkeiten unserer innovativen Q21twin®-Lösung zu veranschaulichen, haben wir das neue Käfigdesign mit den Standardvarianten eines Schnappkäfigs im Radial-Rillenkugellager und eines Fensterkäfigs im baugleichen Schulterlager verglichen:

- Die Versuche haben wir mithilfe einer GRW-Referenzturbinen, die mit ca. 350.000 min<sup>-1</sup> betrieben wird, auf dem GRW-Prüfstand durchgeführt.
- Im Anwendungsbeispiel liegt der Drehzahlkennwert bei ca. 1.670.000 mm/min.
- Ausfallkriterium der Anwendung ist der Drehzahlabfall aufgrund von Verschleiß im Kugellager.

Aus diesem Versuchsaufbau resultieren folgende Ergebnisse: Dank der Flexibilität der Käfighälften und dem somit verlangsamten Verschleißprozess im Kugellager sind folgende Vorteile von Q21twin® im Lebensdauertest erkennbar:

- Der Schnappkäfig in einem Standard-Rillenkugellager zeigt eine solide Lebensdauer mit wenigen Frühausfällen und einem Langläufer.
- Der Fensterkäfig in einem baugleichen Schulterlager hat eine um 10 % erhöhte charakteristische Lebensdauer im Vergleich zum Schnappkäfig. Ebenfalls ergeben sich beim Fensterkäfig wenige Frühausfälle und ein Langläufer.
- Q21twin® zeigt unter den Versuchshandstücken die beste Lebensdauer. Im Vergleich zu den Schnappkäfigen im Radial-Rillenkugellager ergibt sich eine um 25 % erhöhte charakteristische Lebensdauer. Ebenso sind mit dem zweiteiligen Fensterkäfig keine Frühausfälle zu verzeichnen. Bei nur einem Langläufer stellt dies die beste Performance unter den Handstücken dar.

Hinsichtlich der Leerlaufdrehzahl zeigt der bewährte Schnappkäfig seine zu erwartenden Gewichtsvorteile: Er hat eine 5 bis 10 % höhere Leerlaufdrehzahl. Die von GRW entwickelte Q21-Technologie und der Fensterkäfig liegen auf einem Niveau. Auch in Bezug auf das Laufgeräusch kann Q21twin® mithalten.

## HEBEN SIE IHRE ANWENDUNG MIT Q21TWIN® AUF EIN NEUES LEVEL

Mit Q21twin® bieten wir von GRW unseren Kunden eine ideale wirtschaftliche und technische Lösung, die die bisher geltenden Einschränkungen hinter sich lässt. Durch die Kombination von zwei zueinander flexiblen Käfighälften im Rillenkugellager, formschlüssig im Kugelsatz zu einem Fensterkäfig vereint, ergeben sich einige Vorteile.

