

## Berechnungen eines Tatzlagerantriebes mit KISSsys

Dipl.Ing. Michael Stockmayer, Traktionssysteme Austria GmbH und Dipl.Ing. Jürg Langhart, KISSsoft AG

Bahnantriebe haben zum einen sehr hohe Anforderungen an die Sicherheit, zum anderen jedoch auch eine enorme Kraftdichte in einem sehr beschränkten Einbauraum im Drehgestell.

Der klassische Tatzlagerantrieb – auch als Tatzlagerfahrmotor oder Tatzlagermotor bekannt – ist ein Einzelachsantrieb von Eisenbahn-Triebfahrzeugen oder Lokomotiven. Der Name "Tatzlagerantrieb" stammt von der tatenartigen Abstützung des Traktionsmotors auf der Radsatzwelle. Diese Abstützung mittels sogenannter Tatzlager wird häufig durch Kegel- oder Zylinderrollenlager bewerkstelligt, die in einem Tatzlagerrohr positioniert sind. Dieses ist fest mit dem Traktionsmotor verschraubt. Die Welle des Traktionsmotors, zumeist ein umrichtersteuerter Asynchronmotor, ist dabei parallel zur Radsatzwelle angeordnet.

Der Antrieb wird über einen zusätzlichen Aufhängepunkt zwischen Motorgehäuse und Drehgestellrahmen abgestützt. Dieser Aufhängepunkt überträgt einerseits die Massenkräfte, andererseits dient er auch zur Drehmomentabstützung. Bild 1 zeigt den Antrieb und den schematischen Aufbau eines Tatzlagerantriebes.

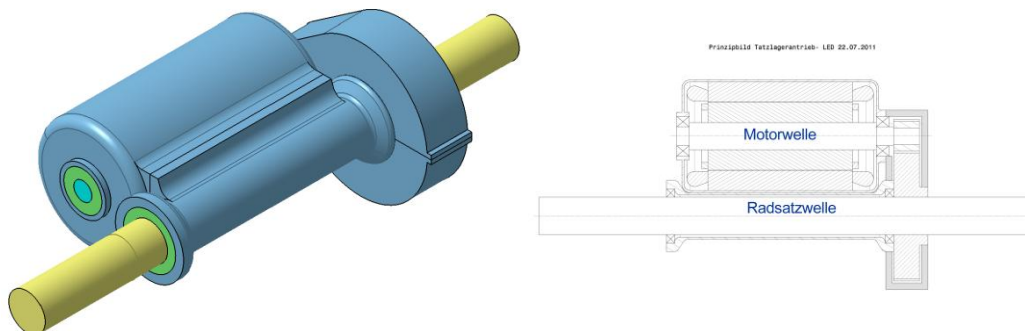


Bild 1: Aufbau eines Tatzlagerantriebes

Das einstufige Traktionsgetriebe kommt ohne eigene Wellen aus, das heisst es benutzt die Motorwelle und die Radsatzwelle als Getriebewellen. Das Ritzel (ein Naben- oder Steckritzeln) und das Grossrad werden üblicherweise über Quer- oder Längspressverbände mit den Wellen verbunden.

Durch seine einfache Konstruktion hat der Tatzlagerantrieb den geringsten Platzbedarf und gegenüber anderen Bauarten (voll- und teilabgefederter Antrieb) klare Kostenvorteile. Der wesentliche Nachteil im Betrieb des Schienenfahrzeuges ist aber die hohe unabgefederte Masse und die sich daraus ergebende Belastung des Gleisoberbaues. Deshalb werden Tatzlagerantriebe üblicherweise nur bis zu einer maximalen Betriebsgeschwindigkeit von 140 km/h eingesetzt. Darüber hinaus kommen voll- oder teilabgefederte Antriebe zum Einsatz, die eine deutlich geringere unabgefederte Masse aufweisen. Die Tatzlagerantriebe kommen daher häufig bei Lokomotiven für Gütertransporte sowie bei Regionalzügen im europäischen und asiatischen Raum zum Einsatz.

Das Problem bei der Auslegung von Verzahnung und Lager eines klassischen Tatzlagerantriebes ist die signifikante Durchbiegung der Radsatzwelle und der Motorwelle in Folge innerer und äus-

serer Kräfte, die sich nachteilig auf die Kontaktverhältnisse in der Verzahnung und in den Wälzlager auswirken.

Die Deformation der Wellen ist abhängig vom Beladungszustand des Fahrzeuges, von Stößen und Kräften auf den Radsatz im Betrieb, dem Antriebsmoment und den sich daraus ergebenden inneren und äusseren Drehmomentreaktionen.

## Modellbildung in KISSsys

Mit der Berechnungssoftware KISSsys und KISSsoft ist eine gesamtheitliche Betrachtung der Verformungen und Steifigkeiten der Wellen und Lager möglich, womit eine realitätsgetreue Kontaktanalyse in der Verzahnung der Stirnräder durchgeführt werden kann.

In der Modellierung der Radsatzwelle in KISSsys muss ein System gebildet werden, dass drei Winkel berücksichtigt, die den Zahneingriff beeinflussen:

1. Durchbiegung der Motorwelle durch die Verzahnungskräfte
2. Durchbiegung der Radsatzwelle durch Verzahnungskräfte, Radaufstandskräfte und der äusseren Drehmomentenreaktion
3. Neigung des Traktionsmotors auf der Radsatzwelle: die Durchbiegung der Radsatzwelle bezüglich der Tatzlagerung ist nicht symmetrisch, folglich neigt sich die Achse des Traktionsmotor zur Nulllage der Radsatzwelle.

Dieser dritte Winkel hat keinen Einfluss auf die Schiefstellungen in den Motor- und Tatzlagern.

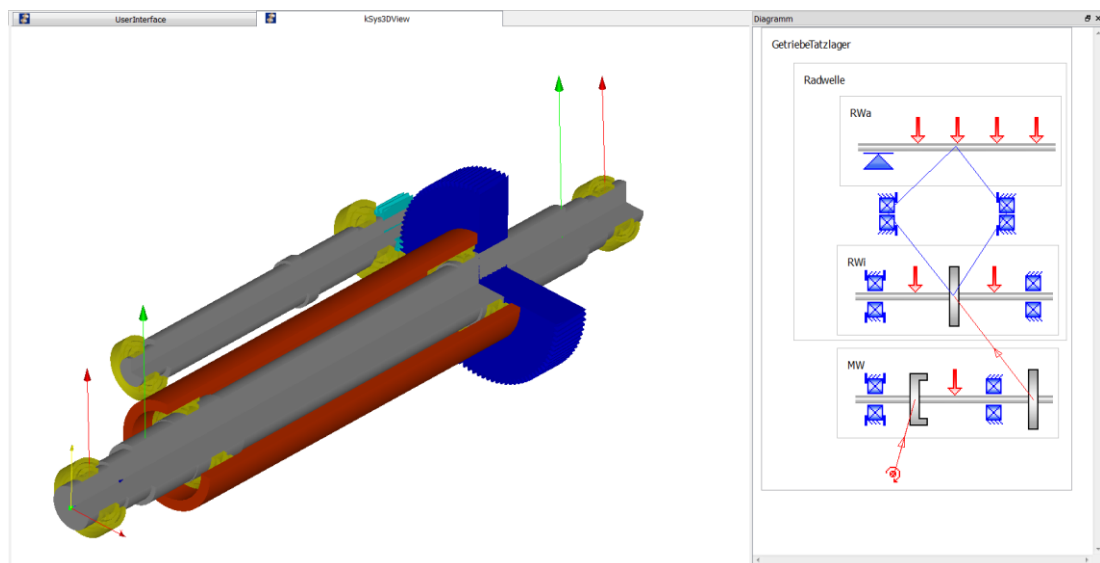


Bild 2: KISSsys-Modell (mit Schnittdarstellung der Wellen) und Kinematik

In der Modellierung wird auf ein KISSsys-Modell mit ineinanderliegenden Wellen zurückgegriffen. Mit der neu erweiterten Kontaktanalyse können zusätzlich nichtlineare Wellendeformationen berücksichtigt werden.

KISSsys bietet auch bei der Berechnung eines Tatzlagerantriebes den Vorteil, dass die gewünschten Ein- und Ausgabeparameter direkt in KISSsys definiert werden können. Die in KISSsys enthaltene Programmiersprache ermöglicht die bedarfsgerechte Gestaltung der Benutzeroberfläche (Userinterface) an die jeweiligen Bedürfnisse.

Im Falle des Tatzlagerantriebes können somit die für die Berechnung massgebenden Grössen wie Raddurchmesser und Radkräfte, sowie das an der Motorwelle wirkende Motordrehmoment

und die Motordrehzahl eingegeben werden. Somit erhält der Anwender des KISSsys-Modells eine komfortable Bedienung und kann auf eine separate, manuelle Aufbereitung der Eingabedaten verzichten. Mit KISSsys können somit beliebig komplexe Berechnungen über einfach gestaltete Userinterfaces ausgelegt und überprüft werden.

## Berechnungen in KISSsoft

Mit Berücksichtigung dieser inneren und äusseren Belastungen werden aufgrund der resultierenden Deformationen der Wellen die Flankenkorrekturen der Verzahnung berechnet, um auf diese Weise Pressungsspitzen und damit Überlasten zu vermeiden und Geräuschemissionen in den verschiedenen Betriebszuständen zu minimieren.

Durch den Aufbau der Radsatzwelle als koaxiale Welle kann mit KISSsoft dieses Wellensystem in einer Berechnung betrachtet werden. Das ermöglicht eine übersichtliche Definition der einwirkenden Kräfte, des Einflusses der Lagersteifigkeit und somit der Wechselwirkungen zwischen der inneren und äusseren Welle.

Die Schiefstellung der Lager wird in den Wellenberechnungen zu den einzelnen Betriebszuständen ermittelt, dabei wird die Motorwellendurchbiegung durch geeignete Wahl der Durchmesser so eingeschränkt, dass die zulässige Schiefstellung von wenigen Winkelminuten für die eingesetzten Rollenlager nicht überschritten wird (Bild 3).

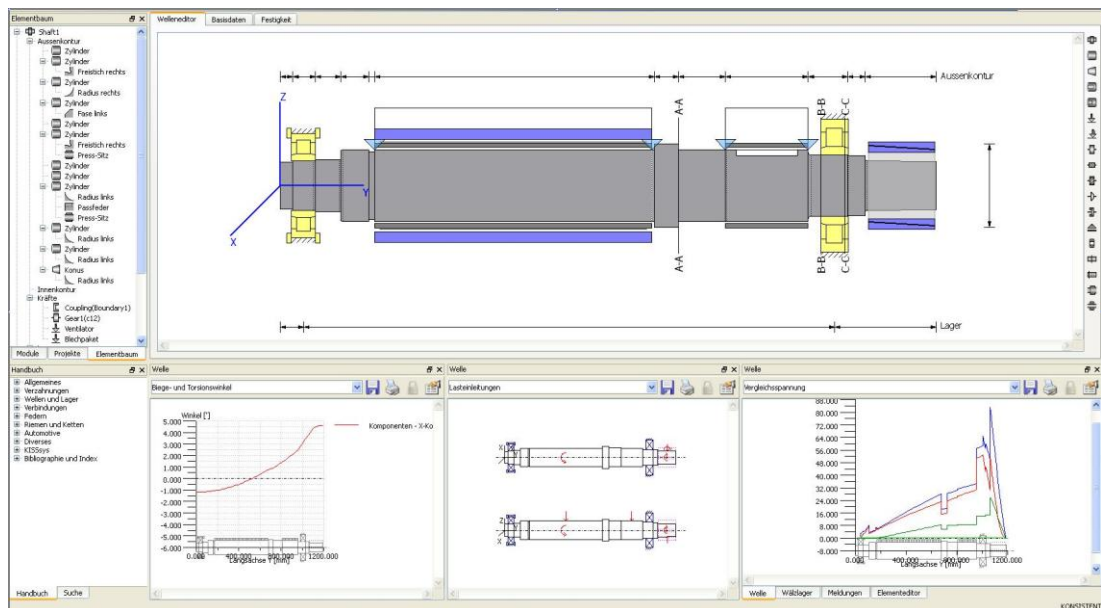


Bild 3: Berechnung einer Motorwelle mittels eines koaxialen Wellensystems

In KISSsys werden die Deformationen der Motorwelle und der Radsatzwelle berechnet und die Deformationen im Bereich der Zahnräder an die KISSsoft-Verzahnungsberechnung übertragen. Die Deformationen werden abschnittsweise bestimmt und in der Kontaktanalyse berücksichtigt. Somit ist eine exakte Miteinbeziehung der Deformationen in Biegung und Torsion möglich. Das ist insbesondere bei relativ langen Wellen wichtig, welche eine grosse Torsion aufweisen. Eine Simulation der Durchbiegung mit überhöhter Darstellung verdeutlicht die Wellen- und Zahnradschlagen sowie die Richtung und Grösse der wirkenden äusseren Kräfte und Reaktionskräfte der Lager (Bild 4).

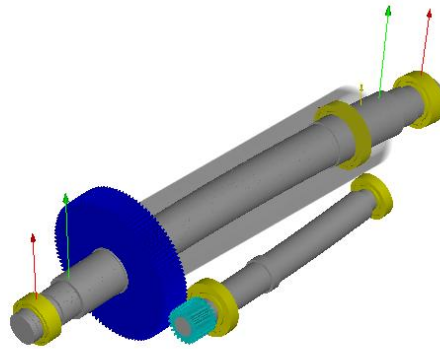


Bild 4: Analyse der Deformationen und Lagerkräfte

Eine Verzahnungskontaktanalyse ermöglicht eine Betrachtung des Zahneingriffes in verschiedenen Eingriffsstellungen und die Berechnung der jeweiligen Pressungen und Spannungen. In KISSsoft ist der Berechnungsablauf einer Kontaktanalyse mit numerischen FEM- oder BEM-Methoden vergleichbar, aber mit einem analytischen Algorithmus gelöst, was eine sehr viel schnellere Berechnung ermöglicht. Ein grundsätzlicher Vergleich mit FE-Berechnungen zeigte eine sehr gute Übereinstimmung.

Wenn die Radkörpergeometrien ebenfalls als Wellen modelliert sind, werden diese Deformationen zusätzlich mit in der Verzahnungskontaktanalyse berücksichtigt. Dieser erweiterte Modellierungsgrad erhöht grundsätzlich die Genauigkeit der Verzahnungskontaktanalyse. Allerdings lassen sich mit dem Balkenmodell nicht beliebig komplexe Radkörpergeometrien mit beispielsweise asymmetrischen Stegen oder Aussparungen abbilden.

Die Verzahnungskontaktanalyse beinhaltet eine sehr viel detailliertere Aussage zum Zahneingriff als die Festigkeitsberechnung wie etwa nach der ISO-Norm. Es ist möglich, sämtliche Verzahnungskorrekturen (Mikrogeometrie) und Achslage-Abweichungen (Schrägung und Neigung der Achsen) zu berücksichtigen. Anhand der Lastverteilung in Zahnbreitenrichtung (mittels  $KH\beta$ ) oder der Drehwegabweichung können die anschließenden Korrekturen festgelegt und überprüft werden. Bild 5a zeigt die Lastverteilung einer unkorrigierten Verzahnung mit starkem Kantentragverhalten. Bild 5b zeigt die Wirkung einer möglichen Verzahnungskorrektur mit Schrägungswinkelkorrektur und Längsballigkeit. Abschliessend empfiehlt es sich, die Verzahnungskorrektur bei verschiedenen Drehmomenten zu überprüfen, um ein optimales Laufverhalten bei unterschiedlichen Wellendurchbiegungen sicherzustellen.



Bild 5a: Unkorrigierte Verzahnung

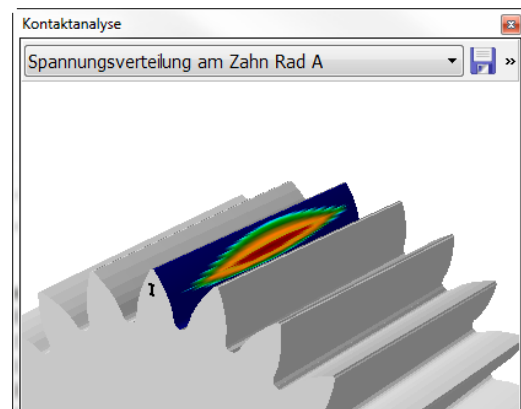


Bild 5b: Beispiel einer möglichen Verzahnungskorrektur

Zur Auslegung der Pressverbände von Ritzel und Grossrad, der kraftführenden Schraubverbindungen in der Struktur des Traktionsantriebes, der Abschätzung der Lagerlebensdauern sowie zur Überprüfung der Toleranzketten werden weitere KISSsoft-Module verwendet.

## **Ausblick und Bilanz**

Der Tatzlagerantrieb stellt eine einfache und robuste Lösung im Bahnachsantrieb dar. Er stellt jedoch auch hohe Anforderungen an die Verzahnung, da aufgrund der hohen möglichen Verformungen Spitzenlasten an Kantenenden auftreten können. Hier muss eine geeignete Korrektur Abhilfe schaffen.

Die Auslegung und Nachrechnung des Antriebes erfolgt mit KISSsys und beinhaltet eine komplette Berechnung des Antriebes, welches unter Berücksichtigung der Wellendurchbiegungen und Lagersteifigkeiten eine Verzahnungsanalyse durchführt und anschliessend eine optimale Verzahnungskorrektur definieren lässt. Die Handhabung des KISSsys-Modells ist trotz der komplexen Aufgabenstellung sehr einfach und sicher.