

AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE EINER COMPUTERUNTERSTÜTZTEN, WISSENSBASIERTEN TOLERANZSYNTHESE

M. Sc. X.D. Yin
 Dipl.-Ing. A. Schmidt
 Prof. Dr.-Ing. W. Jorden

1 Einleitung

Im Rahmen eines DFG-Gemeinschaftsprojektes zur funktions-, fertigungs- und prüfgerechten Bauteiltolerierung wird derzeit von dem Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk, Erlangen), dem Lehrstuhl für Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik (QFM, Erlangen) und dem Laboratorium für Konstruktionslehre (LKL, Paderborn) ein wissensbasiertes System erstellt, das, eingebettet in ein bereits bestehendes Konstruktionssystem KSmfk, den Konstrukteur bei der qualitativen und quantitativen Toleranzvergabe unterstützt (*Bild 1*).

In diesem Beitrag wird das Modul zur funktionsgerechten Toleranzsynthese vorgestellt und seine Arbeitsweise beschrieben.

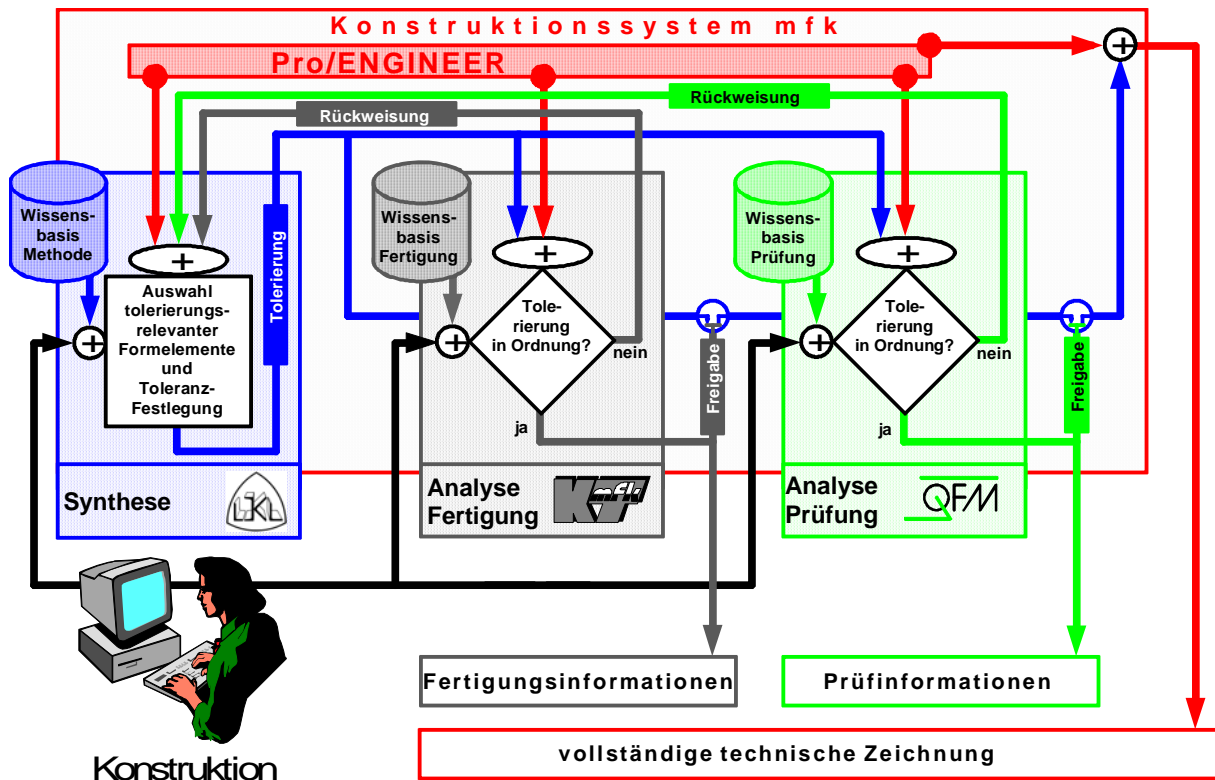


Bild 1: Konzept zur funktions-, fertigungs- und prüfgerechten Bauteiltolerierung

2 Aufbau des Toleranzsynthesemoduls

Das wissensbasierte Toleranzsynthesemodul zur Unterstützung der funktionsgerechten Bauteiltolerierung besteht aus mehreren Modulen, die bedienerfreundlich verschiedene Funktionen im Bereich Systemintegration mit einer einheitlichen gewohnten CAD-Benutzeroberfläche (Pro/ENGINEER) und Durchführung der Unterstützung erlauben.

2.1 Graphik- und Informationsmodul (GIM)

Das Graphik- und Informationsmodul ist mit Hilfe von Pro/DEVELOP und NEXPERT API (Application Programming Interface) entwickelt. Die Aufgaben von GIM sind:

- Anbieten einer übersichtlichen und nachvollziehbaren Umgebung, um dem Anspruch als Hilfsmittel, das der Konstrukteur einfach bedienen kann, gerecht zu werden.
- Erstellung einer effektiven Schnittstelle, um die produktspezifischen Kenntnisse des Konstrukteurs über Funktion, Fertigung und Prüfung auf einfache Art und Weise in den Tolerierungsprozeß einzubringen.
- Bereitstellung der tolerierungswichtigen Informationen der funktionell relevanten Gestaltelemente des Bauteils.
- Realisierung der direkten Kommunikation sowohl zwischen Pro/ENGINEER bzw. dem Konstruktionssystem *mfk* und dem Toleranzsynthesystem als auch zwischen den Toleranzanalyse- und dem Toleranzsynthesystem.

Um diesen Aufgaben gerecht zu werden, benutzt GIM die Benutzeroberfläche von Pro/ENGINEER. Somit kann der Konstrukteur den gesamten Ablauf des Tolerierungsprozesses über das mit Pro/ENGINEER erstellte 3D-Modell eines Bauteils zügig durchführen. Das System fordert vom Benutzer Antworten an, wobei er durch On-Line-Erklärungen unterstützt wird. Eventuelle Widersprüche werden durch eine systeminterne Überprüfung erkannt. GIM wird aus den drei Teilkomponenten Graphik-, Informations- und Kontrollmodul gebildet.

Das Graphikmodul gestattet die interaktive Identifikation der funktionell relevanten Gestaltelemente eines Bauteils. Zur Zeit ist dies die einzige Möglichkeit, die betreffenden Gestaltelemente auszuwählen. Der Benutzer kann die Einzelemente, Makroelemente und Gemeinschaftselemente¹ am 3D-Modell des Bauteils über Mausklick bestimmen und auf alle dazu gehörenden geometrischen Daten zugreifen. Dabei wird das Bestimmen eines Makroelementes oder eines Gemeinschaftselementes durch Abfrage und dazu angeforderte Erklärungen abgeleitet. In einer späteren Ausbaustufe des Gesamtsystems zur funktions-, fertigungs- und prüfgerechten Tolerierung erfolgt auch eine automatische Auswahl funktionswichtiger Elemente durch Werkzeuge innerhalb des Konstruktionssystems *mfk* (siehe Ziele und Arbeitsprogramm des Fortsetzungsantrages). Dann kann aber der Konstrukteur über das Graphikmodul auch manuell in die Auswahl eingreifen.

Die Auswahl der tolerierungsrelevanten Lagekombinationen zwischen zwei Geometrieelementen, die in eine Lagetolerierung mit einbezogen werden sollen, erfolgt durch Tabellenverarbeitung. Das Graphikmodul erstellt hierfür automatisch eine Toleranzmatrix, in der die Bezeichnungen der allen ausgewählten Einzelemente, Makroelemente und Gemeinschaftselemente des Bauteils eingetragen werden. *Bild 2* zeigt eine solche Toleranzmatrix. Der Konstrukteur kann direkt in der Toleranzmatrix die tolerierungsrelevanten Lagekombinationen zwischen den Elementen ankreuzen.

Zusätzlich kann über das Graphikmodul auch ein korrigierender Eingriff in die Tolerierung erfolgen, wenn die Analysemodule zur fertigungs- und prüfgerechten Tolerierung festgestellt haben, dass eine vorgesehene Toleranzvergabe nicht fertigbar oder nicht prüfbar ist. Eine solche Beanstandung wird dem Konstrukteur durch ein Nachrichtenfenster mitgeteilt.

Durch das Informationsmodul kann sowohl auf die Datenbasis von Pro/ENGINEER als auch auf das Produktmodell des Konstruktionssystems *mfk* zugegriffen werden. Einerseits kann das Produktmodell des Konstruktionssystems *mfk* damit dem Toleranzsynthesystem die Informationen über die Funktion eines tolerierungsrelevanten Geometrieelementes und über die

¹ Ein Makroelement oder ein Gemeinschaftselement dient zur Zusammensetzung von Einzelementen, die gemeinsam und gleichwertig eine bestimmte Funktion übernehmen (hierzu vgl. [SCHÜT95]).

Lagerrelation zwischen zwei Geometrieelementen erteilen. Andererseits stellt das Informationsmodul mit Hilfe verschiedener Prozeduren die zu jedem funktionell relevanten Gestaltungselement des Bauteils zugehörigen tolerierungswichtigen Informationen bereit.

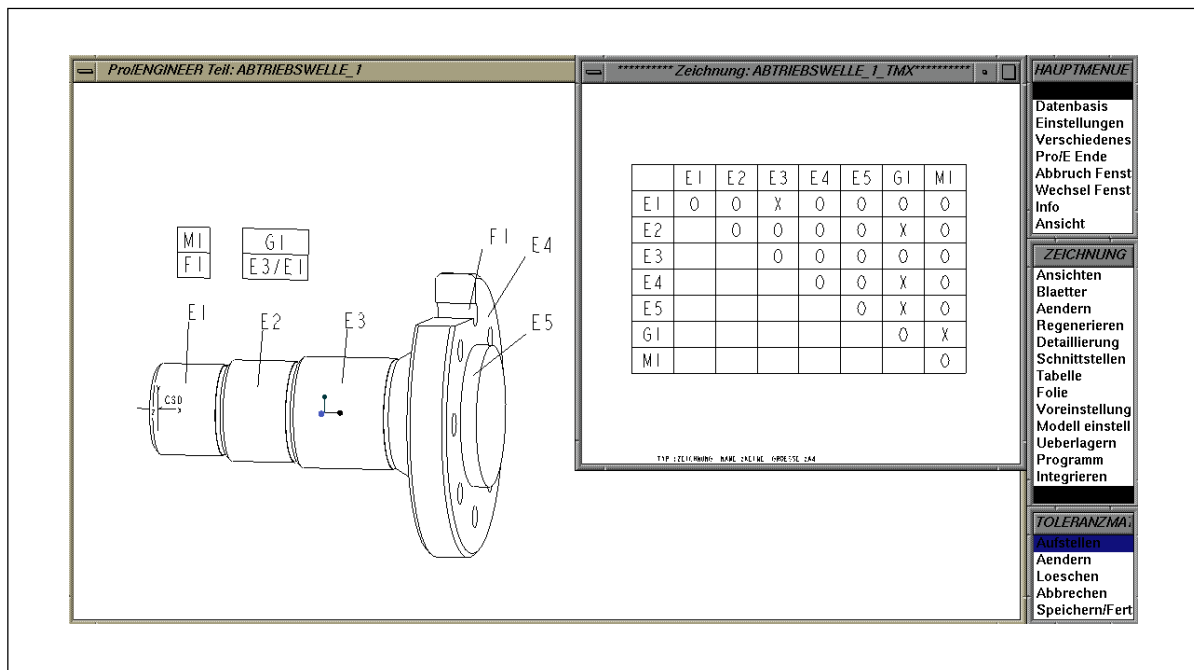


Bild 2: Bauteil mit Toleranzmatrix

Zur Implementierung der direkten Kommunikation zwischen Pro/ENGINEER und dem Toleranzsynthesystem sind verschiedene Schnittstellenfunktionen in dem Informationsmodul entwickelt worden. Dadurch kann auf die Funktionalitäten von NEXPERT OBJEKT von dem Informationsmodul aus direkt zugegriffen werden. Mit Hilfe der Schnittstellenfunktionen kann der gesamte wissensbasierte Tolerierungsprozeß menügesteuert vom Konstrukteur durchgeführt werden. Außerdem kann sich die rechnerintegrierte Tolerierung mit Fragen an den Konstrukteur wenden. Der Konstrukteur kann seine Entscheidungen über ein Nachrichtenfenster in der graphischen Oberfläche von Pro/ENGINEER dem Tolerierungsprozeß mitteilen.

2.2 Toleranzmodell

Das Toleranzmodell ist eine objektorientierte Datenbasis und stellt den Kern der wissensbasierten Toleranzsynthese dar. Es wird in die Bereiche Basismodell zur Abbildung des Toleranzsystems und dynamisches Objektmodell aufgeteilt.

Das Basismodell bildet das Grundgerüst des Toleranzsystems. Unter Basismodell ist eine Wissensbasis zur Nachbildung der nach den Tolerierungsmethoden ausgearbeiteten allgemeingültigen Regeln bzw. Algorithmen sowie der diesen Regeln und Algorithmen zugrundeliegenden, funktionell oder fertigungs- und prüftechnisch zusammengehörigen Geometrie- und Toleranzinformationen zu verstehen. Die im Basismodell verwendeten Objektklassenstrukturen für das Toleranzsystem können die grundlegenden Gestaltungselemente des Toleranzsystems und die damit zusammenhängenden Tolerierungsverfahren sowie Toleranzinformationen erfassen.

Die Erstellung der Objektklassenstrukturen des Toleranzsystems erfolgte mit Hilfe von NEXPERT OBJEKT 3.1. Innerhalb einzelner Objektklassen im Basismodell sind eine Vielzahl von Beschreibungsmerkmalen und Prozeduren, die zusammengehören, definiert. Die Merk-

male (PROPERTIES) charakterisieren die Eigenschaften und das Verhalten einer Objektklasse. Die Prozeduren (METHODS) beschreiben die mit der Objektklasse zusammenhängenden Tolerierungsverfahren.

Das Basismodell dient der neutralen Datenstruktur zur Modellierung der realen Bauteile im Maschinenbau in Hinsicht auf ihre funktionell relevanten Gestaltelemente und die damit zusammenhängenden tolerierungswichtigen Informationen, das heißt, auf der Basis dieser neutralen Datenstruktur kann ein dynamisches Objektmodell für ein toleriertes Bauteil erstellt werden. Unter dynamischen Objektmodellen versteht man, dass solche Datenmodelle erst bei der Tolerierung der Bauteile individuell automatisch erzeugt und nach der Tolerierung wieder gelöscht werden. Diese Anpassung des Toleranzmodells an die realen Bauteile erfolgt automatisch durch ein Regelmodul im Toleranzsynthesystem, das basierend auf Funktionalitäten von NEXPERT OBJEKT 3.1 entwickelt wurde.

2.3 Lagefestlegungsmodul

Im Lagefestlegungsmodul werden folgende Einzelschritte durchgeführt:

- Definition der Lagetoleranzart der dualen Lagekombinationen zwischen Einzelementen, Makroelementen und Gemeinschaftselementen
- Auswahl des ersten Bezugsvorschlages für jede dualen Lagekombinationen
- Überprüfung des Bezugsvorschlages unter Beachtung der Funktion, Fertigung und Prüfung.

Die Basis dafür stellen sowohl die vom Konstrukteur ausgewählten funktionell relevanten Gestaltelemente eines Bauteils, die als dynamische Objekte im Toleranzmodell abgebildet werden, als auch die innerhalb der einzelnen Objektklassen des Toleranzmodells beschriebenen Tolerierungsverfahren (Prozeduren) dar. Alle tolerierungswichtigen Informationen eines Gestaltelements des Bauteils sind in einem dynamischen Objekt, das dieses Gestaltelement darstellt, bereitgestellt. Je nach Art der Lagekombinationen werden die unterschiedlichen Tolerierungsverfahren zur Festlegung der Lagetoleranzart, die als Prozeduren in der bezogenen Objektklasse definiert sind, durch Regelverarbeitung automatisch mit dem Lagefestlegungsmodul durchgeführt. Hier wird abhängig von der Art und der topologischen Relation (Richtung und Ort) der zwei Geometrielemente die Toleranzart für ihre Lagefestlegung ausgewählt.

Als weiteren Schritt macht das Lagefestlegungsmodul nach der Methode von [SCHÜTTE 95] eine Aussage darüber, welches der beiden durch einer Lagetolerierung miteinander verknüpften Geometrielemente das Bezugselement und welches das tolerierte Element sein soll.

2.4 Bezugssystembildungsmodul

Die wesentliche Aufgabe des Bezugssystembildungsmoduls ist die Definition von Bezugssystemen durch die Analyse der durch das Lagefestlegungsmodul definierten einfachen Lagetolerierungen. Eine einfache Lagetolerierung bedeutet, dass sich die Lagetoleranz nur auf ein einzelnes Bezugselement bezieht. Der Ablauf der Bildung der Bezugssysteme erfolgt ebenfalls nach der Methode von [SCHÜTTE 95]. Als Ergebnis erhält der Benutzer ein an den funktionalen Gegebenheiten orientiertes Bezugssystem

2.5 Formtolerierungsmodul

Mit dem Formtolerierungsmodul wird zunächst die möglichen Anwendungen der *Hüllbedingung* untersucht. Dann werden diejenigen Geometrielemente, deren Formabweichungen nicht schon durch eine Lagetolerierung bzw. eine Hüllbedingung hinreichend eingeschränkt sind, zusätzlich formtoleriert.

Der Formtolerierung mit diesem Modul liegt das *Unabhängigkeitsprinzip* als Tolerierungsgrundsatz zugrunde, da das Unabhängigkeitsprinzip international bekannt bzw. nach DIN ISO 8015 genormt ist. Des Weiteren kann die Hüllbedingung beim Unabhängigkeitsprinzip funktionsorientiert angewendet werden. Die Hüllbedingung gilt nur für einfache Paßelemente, und zwar für Zylinder und zwei gegenüberliegende parallele Ebenen. Durch sie werden Parallelitäts- und Formabweichungen an Zylindern und an gegenüberliegenden ebenen parallelen Flächen von der Hülle eingeschränkt.

Außerdem sind die Formabweichungen eines verkörperten² tolerierten Elementes in der Regel definitionsgemäß durch eine vorhandene Lagetolerierung mit eingeschränkt. Zum Beispiel umfassen die Lagetoleranzen bei lagetolerierten Ebenen (abgesehen von der einfachen Planlauf-toleranz) immer die Ebenheits- und für die impliziten Elemente die Geradheitstoleranz. Bei rotationssymmetrischen Flächen (z. B.: Zylinder, Kegel) und Makroelementen aus zwei gegenüberliegende planparallele Ebenen ist die Achse bzw. Mittelebene bei der Lagefestlegung zu tolerieren. Dabei werden nur die Formabweichungen der Achse bzw. der Mittelebene durch Lagetoleranzen eingeschränkt. Die oben dargestellten Zusammenhänge zwischen Maß-, Form- und Lagetoleranzen machen deutlich, dass eine zusätzliche Festlegung der Formabweichungen eines verkörperten Geometrieelementes nur erforderlich ist, wenn diese Formabweichungen enger als die Maßtoleranz (bei Hüllbedingung) oder als die Lagetoleranz (bei lagetolerierten verkörperten Geometrieelementen) einschränkt werden sollen.

Die im Toleranzmodell definierten, funktionell relevanten Einzelemente und die Makroelemente aus zwei gegenüberliegenden parallelen Ebenen eines Bauteils stellen den Ausgangspunkt der Formfestlegung dar. Aufgrund der Funktionsbeschreibung der Einzelemente und der Makroelemente schreibt das Formtolerierungsmodul zunächst die Hüllbedingung für Zylinder oder zwei gegenüberliegende planparallele Flächen mit einer Paßfunktion vor. Anschließend führt das Modul die Formtolerierung der funktionell relevanten Einzelemente durch.

Sobald die zusätzlichen Formtolerierungen für die im Toleranzmodell definierten funktionell relevanten Elemente überprüft wurde, führt das Modul die Festlegung der Formtoleranzart durch. Diese qualitative Formtolerierung ist meistens relativ einfach, da hier für jedes funktionell relevante Geometrieelemente in der Regel nur eine Toleranz in Frage kommt. Bei flächenförmigen Einzelementen besteht jedoch die Möglichkeit, die Geometrieelemente vollständig mit einer Formtoleranz oder partiell mit einer Toleranz für die impliziten Elemente zu definieren.

2.6 Lauftoleranzmodul

Das Lauftoleranzmodul geht von bisher festgelegten Form- und Lagetolerierungen aus und untersucht den potentiellen Einsatz von Lauftoleranzen. Nach DIN ISO 1101 kann die Lauftoleranz als Rundlauf- bzw. Gesamtrundlauf-toleranz, Planlauf- bzw. Gesamtplanlauf-toleranz und Lauftoleranz in beliebiger Richtung angewendet werden. Alle Lauftoleranzen erfordern eine Bezugsachse. Toleriert sind stets rotationssymmetrische Flächen sowie Planflächen, wobei die tolerierten Elemente nicht nur lage-, sondern auch formtoleriert (Ausnahme: einfacher Planlauf) sind. Der Ersatz einer vorher festgelegten Koaxialitäts- oder Positionstoleranz durch die Rundlauf-toleranz hat deshalb nur Sinn, wenn außerdem bei der Formtolerierung die Rundheitstoleranz für das tolerierten Element angegeben worden ist. Ebenso ist ein nahezu äquivalenter Ersatz einer vorher festgelegten Koaxialitäts- oder Positionstoleranz durch die

² Verkörperte Geometrieelemente sind real am Bauteil vorhanden, wie z. B. Zylindermantelfläche, Ebene, Gerade.

Gesamtrundlauf toleranz möglich, wenn noch die Zylinderform toleranz für das tolerierten Element festgelegt worden ist.

Die Anwendung von Rundlauf toleranzen empfiehlt das Lauf toleranz modul nur dann, wenn die gemeinsame Wirkung von Rundheits- oder Zylinderform toleranz und Koaxialität toleranz an einem tolerierten Element funktionell relevant ist. Hierfür sollte der Konstrukteur seine produktspezifischen Kenntnisse über Funktion sowie über den Zusammenhang zwischen Funktion und Laufabweichung in das System einbringen und entscheiden, ob die Funktion des tolerierten Elements von der Laufabweichung, also von der vorhandenen Rundheits- oder Zylinderformabweichung und Koaxialitätsabweichung sowie deren Konstellation zueinander, abhängt.

2.7 Toleranz zonen modul

Zu jeder bereits festgelegten Toleranz wird die Toleranzzone mit diesem Modul definiert. Die möglichen Toleranz zonen sind zweidimensional oder dreidimensional. Die dreidimensionalen Toleranz zonen beschreiben einen Raum zwischen zwei Flächen oder innerhalb eines Geometrie elementes, während die zweidimensionalen Toleranz zonen eine Fläche zwischen zwei Linien oder innerhalb eines Kreises darstellen.

Die Toleranzzone erstreckt sich immer über das gesamte tolerierte Element nach DIN ISO 1101, sofern keine anderen Angaben gemacht werden. Die Länge der Toleranzzone kann dennoch zweckmäßig auf die funktionell wichtigen Teilbereiche des tolerierten Elementes beschränkt (festgeschriebener Geltungsbereich) oder in der Richtung des zu fügenden Gegenstückes für die Funktionslänge am Gegenstück verschoben (projizierte Toleranzzone) werden. Solche Variierung von Toleranz zonen können dazu dienen, die Funktionsanforderungen eindeutig in die Zeichnung einzutragen. Bei Achsen soll die Toleranzzone häufig in alle Richtungen gleichwertig eingeschränkt werden, so dass eine kreiszylindrische Toleranzzone zu empfehlen ist [SCHÜTTE 95]. Durch das Toleranz zonen modul hat der Konstrukteur die Möglichkeit, die Geometrie und Ausdehnung der Toleranz zonen den funktionalen Anforderungen des Bauteils anzupassen.

3 Literatur

[SCHÜTTE 95] Wolfgang Schütte: *Methodische Form- und Lagetolerierung - Ein Werkzeug zur qualitätsgerechten Produktbeschreibung*. Dissertation Uni-GH Paderborn, 1995

Die Autoren dieses Beitrages:

M. Sc. Xiangdong Yin

Ingenieurbüro Niehaus & Partner

Bahnhofstraße 3

59469 Ense-Niederense

Telefon 02938/49095

E-mail: wisscat@enterprise.uni-paderborn.de

Dipl.-Ing. Andreas Schmidt

Prof. Dr.-Ing. Walter Jorden

Laboratorium für Konstruktionslehre

Universität-GH Paderborn

Pohlweg 47 - 49

Telefax: 05251/60-3206

Telefon: 05251/60-2230

Telefon: 05251/60-2256

E-mail: andreas@enterprise.uni-paderborn.de

Internet: <http://wwwfb10.uni-paderborn.de\lkl.html>