

**Zeitschrift:** Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

**Herausgeber:** geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und  
Landmanagement

**Band:** 102 (2004)

**Heft:** 2

**Artikel:** Potenzial der Objekterkennung mit dem Servotachymeter TCA2003

**Autor:** Wasmeier, P.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-236110>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Potenzial der Objekterkennung mit dem Servotachymeter TCA2003

Moderne Tachymeter realisieren die Aufgabe der Zielverfolgung mittels integrierter infrarotsensitiver CCD-Chips. Mit diesen ist auch die Aufnahme von Echtlichtbildern möglich, deren Inhalt mit Methoden der Bildverarbeitung ausgewertet werden kann. Verknüpft mit den Möglichkeiten der hochpräzisen Winkelmessung, ist damit eine automatische Anzielung nicht signalisierter Objekte möglich. Bei der Verwendung weitgehend handelsüblicher Tachymeter gibt es jedoch einige Einschränkungen. Anhand eines exemplarischen Algorithmus soll das vorhandene Potenzial solcher Instrumente für Aufgaben der Objekterkennung vorgestellt werden.

*Les tachymètres modernes assurent la reconnaissance automatique de la cible à l'aide de chips CCD intégrés sensibles à l'infrarouge. Avec ceux-ci, il est possible d'obtenir des images en couleurs réelles dont le contenu peut être mis en valeur par des méthodes de traitement d'image. En liaison avec les possibilités de la mesure d'angle de très haute précision, il est ainsi possible de viser automatiquement des objets non signalés. Toutefois, en utilisant des tachymètres usuels dans le commerce quelques restrictions s'imposent. A l'aide d'un algorithme exemplaire on présentera ci-après le potentiel inhérent à de tels instruments destinés aux fins de la reconnaissance des objets.*

I tachimetri moderni svolgono il compito di puntamento della mira tramite dei chip CCD integrati e sensibili agli infrarossi. Questo consente anche delle riprese di immagini di luce reale, il cui contenuto può essere valutato con i metodi di elaborazione delle immagini. Oltre all'utilità di avere delle misure degli angoli molto precise è anche possibile il puntamento di oggetti non segnalati. L'uso dei tachimetri in commercio impone tuttavia dei limiti. Un algoritmo esemplare permette di sfruttare il potenziale offerto da tali strumenti per i compiti pertinenti al rilevamento degli oggetti.

P. Wasmeier

Motorisierte, zielverfolgende Tachymeter haben bereits vor etwa 15 Jahren in der geodätischen Messpraxis Einzug gehalten. Sie verfügen über die Möglichkeit, ferngesteuert oder selbstständig die Zielung auf Reflektoren durchzuführen und werden bei der Maschinensteuerung, bei Überwachungssystemen oder einfach im Ein-Mann-Messbetrieb eingesetzt. Realisiert wird die Fähigkeit zur Zielverfolgung über einen im Tachymeter integrierten CCD-Chip. Die Aufgabe der Zielverfolgung kann so schnell und robust gelöst werden; die vorhandenen Möglichkeiten, die eine integrierte Kamera bietet, werden jedoch bei weitem nicht ausgeschöpft.

Ziel der vorgestellten Arbeit ist es, das Potenzial eines handelsüblichen Tachymeter (TCA2003 der Firma Leica) bei der automatisierten Auswertung von Echtbildszenen zu untersuchen. Dabei sollen die generelle Eignung geprüft sowie limitierende Faktoren des Instrumentariums herausgearbeitet werden.

Notwendig ist dazu eine Fusion aus Methoden der klassischen Geodäsie und der Bildanalyse.

Zur Untersuchung der Genauigkeits- und Leistungsfähigkeit eines solchen Systems wird schrittweise ein exemplarischer Algorithmus entwickelt, der die Spitzen von Kirchtürmen erkennt, daraus die anzuzielenden Punkte (Turmknauf, -kreuz) extrahiert und das Fadenkreuz des Fernrohrs darauf positioniert.

## Beschränkungen durch das Instrumentarium

Da Videothedolite in der Standardausführung für solche Aufgaben nicht vorgesehen sind, ist ein beschränkender Faktor der Geräteaufbau an sich:

- Das Instrument muss mit einem separaten Ausgang für das Videosignal nachgerüstet werden; dies kann nur beim Gerätehersteller geschehen.
- Die im Objektiv einfallende Strahlung wird von einem Strahlteiler aufgespalten, der aufgrund seiner Beschichtung hauptsächlich den Anteil des nahen Infrarot zur Kamera weiterleitet, während das sichtbare Licht dem Okular zugeführt wird. Für die Detektion eines reflektierten Infrarotsignals ist das wünschenswert, für die Aufzeichnung von natürlichen Szenen – vor allem hinsichtlich des Bildkontrasts – aber ein erheblicher Nachteil. Aufgrund der Infrarotempfindlichkeit wirkt sich zudem die Hintergrundhelligkeit in Folge von Sonneneinstrahlung entscheidend auf die Bildqualität aus.
- Die CCD-Bilder sind nicht fokussierbar. Die Fokussierlinse ist aus praktischen Gründen Bestandteil des Okularsystems und sitzt deshalb erst hinter dem Teilungswürfel. Deshalb können nur Ziele in einer Entfernung, die an-

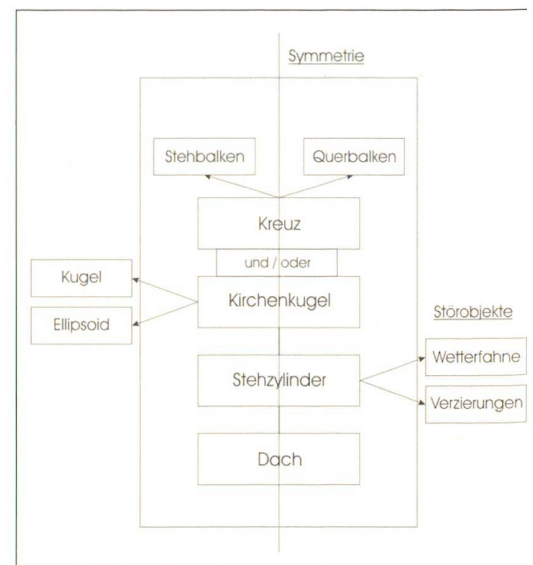


Abb. 1: Formale Beschreibung eines einfachen Kirchturm-Modells.



Abb. 2: Zeilenweise Symmetriepunkte eines Bildes.

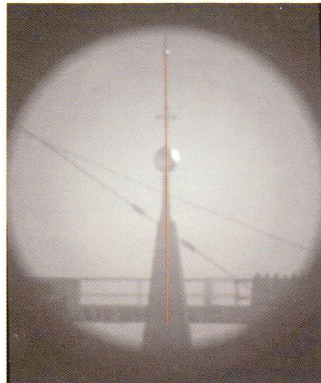


Abb. 3: Die detektierte Mittelachse des Turms aus Abbildung 2.

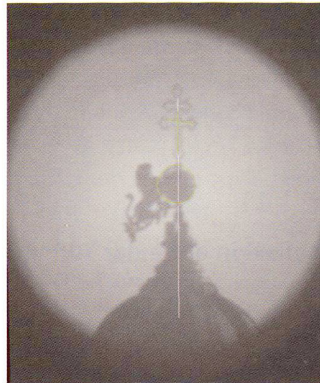


Abb. 4: Detektierte Objekte an einem Kirchturm mit Wetterfahne.

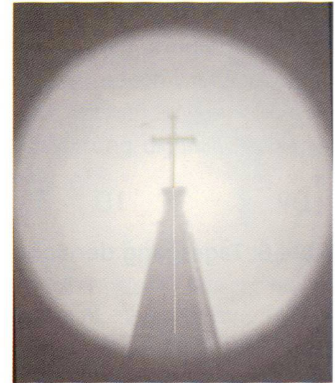


Abb. 5: Detektiertes Turmkreuz.

nähernd der Fokussierung des Tachymeters auf  $\infty$  entspricht, ausreichend scharf abgebildet werden können. Beim TCA2003 ist dies der Fall ab etwa 400 Metern Distanz.

Eine Nachvergrößerung vor dem CCD-Chip schränkt das Gesichtsfeld zusätzlich ein, verbessert allerdings die Genauigkeit der Objektextraktion.

- Die Auswertung der Bilder kann auf Grund ihrer Komplexität nur mit geeigneter Hardware und Programmen auf einem externen Rechner stattfinden. Dazu notwendig sind ein Framegrabber und eine leistungsfähige Bildverarbeitungssoftware.

## Vom Grauwert zum Objekt

Der Erkennung von Objekten auf Bildern muss in jedem Fall ein Modellierungsprozess vorausgehen.

In diesem Schritt werden unveränderliche Aussehensmerkmale und Eigenschaften erfasst und formal beschrieben, die allen Instanzen der zu detektierenden Objekte gemeinsam sind, und die durch ihre radiometrische und geometrische Ausprägung auf einem Bild auch eindeutig zugeordnet werden können.

Für das Beispiel eines Kirchturms reicht dazu ein einfaches Modell, bestehend aus einer Dachstruktur, einer zylinderförmigen Halterung sowie dem aus Steh- und Querbalken bestehenden Kreuz und/oder der elliptischen Kugelansicht aus. Ergänzt wird das Modell noch durch mögliche

Störobjekte. Besondere Bedeutung kommt hier der weitgehenden Symmetrie bezüglich der Vertikalachse des Objekts zu, da auf diese eine sinnvolle Auswertestrategie gegründet werden kann (vgl. Abb.1)

Ausgehend von der modellhaften Beschreibung des Objekts wird dann versucht, dessen Elemente im Bild wieder zu finden. Aus einer Kantendetektion, zusammen mit der radiometrischen Information der Bereiche, die diese Kanten umschliessen, lassen sich so Hypothesen für die modellierten Objektteile erstellen. Diese werden gewichtet, und der wahrscheinlichste Zielpunkt wird verifiziert.

Zur schnelleren Auswertung werden die Bilder einer Reihe von Vorverarbeitungsschritten unterworfen, die unter anderem den Bearbeitungsbereich einschränken und Überstrahlungsbereiche im Bild eliminieren. Diese entstehen durch die Reflexion der Sonne z.B. an der Kirchenkugel und führen zu Pseudokanten, die die Auswertung erheblich beeinträchtigen können. Zusätzlich wird das Bild mittels a priori an einem Testfeld bestimmter Rotationsparameter des eingebauten Chips «horizontiert» und erhält dadurch seine Ausrichtung parallel zur Stehachse des Tachymeters.

Da aus der Modellbildung bekannt ist, dass der Turm bezüglich seiner Mittelachse annähernd symmetrisch aufgebaut ist, wird zunächst die vertikale Haupt-symmetrieachse im Bild gesucht. Ein Algorithmus prüft dazu in jeder Zeile paar-

weise die Richtungen der gefundenen Kantenpixel auf Symmetrie und bestimmt ggf. deren Mittelpixel. Aus der gewichteten Menge aller Mittelpixel (Abb. 2) wird eine ausgleichende Gerade bestimmt (Abb. 3).

In Tests mit Türmen unterschiedlichen Aussehens hat sich dieses Verfahren als äusserst zuverlässig erwiesen.

Um die detektierten Kanten den modellierten Objektteilen zuordnen zu können, ist eine Annäherung durch möglichst wenige und einfache geometrische Grundprimitive wie Geraden- und Kreissegmente unter Beibehaltung der Topologie notwendig.

Eine einfache, iterative Vorgehensweise ist der Ramer-Algorithmus [Ramer 72], der eine Polygonapproximation durchführt. Anschliessend werden die Polygone iterativ in ihre Geradenstücke aufgebrochen, und es wird noch versucht, durch benachbarte Elemente Kreisbögen zu legen.

Die resultierenden Geradenstücke werden paarweise auf Parallelität untersucht, um Kreuzbalken-Hypothesen zu erstellen. Unter Berücksichtigung weiterer Bedingungen wird ggf. die dazwischen liegende Winkelsymmetrale bestimmt und als mögliches Zielobjekt eingeführt.

Aus den Kreissegmenten werden Kugelhypothesen erstellt. Auch dabei wird eine Vorselektion durchgeführt, die geeigneten Konturteile werden nach ihrer Lage gruppiert und daraus ausgleichende Ellipsen berechnet.

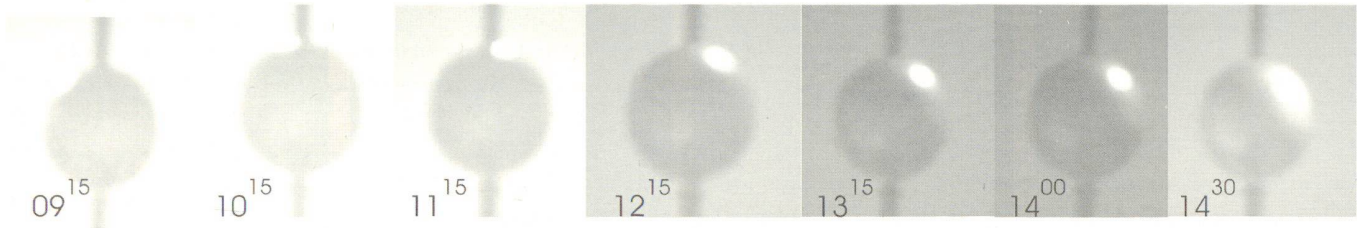


Abb. 6: Tagesgang der Sonnenreflexion auf einer Turmkugel.

Die endgültigen Zielpunkte – die Unterkante des Turmknaufs, definiert durch den Schnitt von unterer Kugelschale und Symmetrieachse des Turms, oder der Kreuzfuss, definiert durch den Endpunkt der Kreuzsymmetralen – werden dann aus den Hypothesen an Hand ihrer Gewichtung und weiterer Lagebeschränkungen bestimmt. Beispiele zeigen die Abbildungen 4 und 5.

Die Zielpunktkoordinaten sind dabei auf Zehntel Pixel genau bestimmbar, was einer Winkelgenauigkeit unter einem Milligon entspricht.

## Vom Objekt zum Winkelwert

Zur Nachpositionierung des Tachymeterfernrohrs erfolgt nach der Bestimmung des Zielpunktes die Berechnung der Winkelablagen aus den Pixelablagen. Diese Transformation wird durch einen affinen Ansatz der Form

$$dHz = a_1(R-R_0) + a_2(C-C_0)$$

$$dV = b_1(R-R_0) + b_2(C-C_0)$$

beschrieben (vgl. [Bayer 97]).

$R_0$  und  $C_0$  bezeichnen darin den Reihen- bzw. Spaltenwert des Bildhauptpunktes, also des theoretischen Abbildungspunktes des Fadenkreuzes am CCD-Chip. Die Parameter  $a_1$  bis  $b_2$  beinhalten die Massstabsänderung der Achsen beim Übergang vom Sensorsystem auf Winkelwerte, sowie die Verdrehung des Sensors normal zur Zielstrahlrichtung und den Winkel zwischen den Sensorachsen (vgl. [Schirmer 94]).

Für die Umrechnung aus dem System des Kamerasensors bestimmt der Gerätehersteller die Parameter, da diese auch für den allgemeinen Fall der Prismenpositionierung benötigt werden.

Für die Beziehung der Objektzielpunkte zu den Winkelablagen müssen diese entsprechend der Orientierung des ausgewerteten Bildes und der Auflösung des Framegrabbers angepasst werden.

Neben anderen, vernachlässigbaren Ungenauigkeiten bei der Umrechnung (vgl. [Wieser 95]) ist zu berücksichtigen, dass die affinen Parameter der Hersteller nur beschränkt genau angegeben werden. In 50 Pixeln Entfernung vom Mittelpunkt ergibt sich deshalb beim TCA2003 bereits eine Unsicherheit von 0.5 mgon, einem Mehrfachen der Winkelgenauigkeit. Dieser Effekt ist entfernungsabhängig und systematisch, so dass er durch ein Vorpositionieren des Fadenkreuzes in Zielpunktnähe eliminiert werden muss. Berücksichtigt werden muss auch die Abhängigkeit der Hz-Ablage vom Zenitwinkel, da die gemessene Winkel-Differenz erst noch in die Horizontalebene projiziert

werden muss. Dieser Effekt kann 50 mgon und mehr betragen. Die Zenitwinkelablage selbst weist keine Abhängigkeiten auf und kann ohne weitere Reduktion übernommen werden.

Die Einflüsse der Achsfehler sind für die Ablagewinkel identisch mit denen für eine herkömmliche Anzielung und können ggf. durch Messung in zwei Lagen ebenso verhindert werden.

Die Extraktion der Zielpunkte stellt den zeitintensivsten Anteil der gesamten Auswertekette dar. Im Rahmen einer wiederholten Anzielung (Satzmessung) wird dieser Teil deshalb durch kantenbasierte Matching-Algorithmen ergänzt. Nach der Feinpositionierung eines Zieles wird ein Kantenbild abgespeichert, so dass damit bei einer neuerlichen Anzielung der Zielpunkt ohne zusätzliche Objektsuche gefunden werden kann [siehe Steger 00]. Dieses Verfahren ist für beliebige Ziele, auch ohne automatische Extraktion, ge-



Abb. 7: Der Aufbau auf dem Messdach der TU München.

eignet, äusserst zuverlässig und sehr schnell.

Die Streuung von Extraktion und Matchings liegt bei guter Bildqualität etwa bei 0,5 mgon und bei schlechter Qualität etwa bei 2 mgon. Die Abweichungen können auf zufällige Fehler wie Luftflimmern und Bildrauschen zurückgeführt werden, so dass eine Mehrfachmessung die Genauigkeit mit dem Faktor  $\sqrt{n}$  steigert.

## Praxistest: Automatisierter Rückwärtsschnitt

Als Test der Funktionsfähigkeit und der erzielbaren Genauigkeiten wurde vom Messdach des Lehrstuhls für Geodäsie (Univ.-Prof. Dr. habil. Th. Wunderlich) an der TU München eine Satzmessung zu drei Kirchen durchgeführt (Abb. 7). Dazu wurden alle oben genannten Schritte in das Programm implementiert. Verwendet wurden dazu die Bildverarbeitungssoftware HALCON und eine Matrox Meteor-II Framegrabberkarte.

Im Verlauf einer Lernphase wird das Fernrohr des Tachymeters grob auf die entsprechenden Türme ausgerichtet, und der Algorithmus ermittelt daraufhin selbsttätig die jeweiligen Zielpunkte. Diese werden vom Operateur verifiziert, automatisch nachpositioniert und die Zielinformation wird abgespeichert. Nach der Lernphase werden mittels der Sollwinkel im Rahmen einer Satzmessung die entsprechenden Ziele angefahren; die erneute Zielpunktbestimmung und damit Winkelmessung erfolgt über wiederholtes Matching. Dieser Teilschritt läuft vollständig automatisch ab.

Gemessen wurden jeweils drei Sätze in beiden Lagen. Die computergesteuerten Messungen wurden durch manuelle Satzmessungen gleichen Ablaufs kontrolliert. Die ausgesuchten Ziele waren bei guten äusseren Bedingungen ohne Schwierigkeiten extrahierbar.

Die Messergebnisse passen in allen Fällen im Bereich weniger Zehntel Milligon zueinander. Auch die Standardabweichun-

gen sind annähernd identisch im Bereich von 0,2 – 0,5 Milligon. Das automatisierte System erreicht also die gleiche Genauigkeit wie ein geübter menschlicher Beobachter. Zusätzlich ist es unanfällig gegen Irritationen, z.B. aufgrund von Reflexionserscheinungen am Zielobjekt (Abb. 6). Der Zeitaufwand für drei Sätze war in beiden Fällen ähnlich anzusetzen. Da der langdauernde Extraktionsschritt jedoch nur einmal nötig ist, verschiebt sich dieses Verhältnis für höhere Satzzahlen zugunsten des automatisierten Systems.

## Zusammenfassung

Das automatisierte System hat die gestellten Aufgaben eines manuellen Beobachters mit vergleichbaren Ergebnissen erledigt. Allerdings ist es stark abhängig von der Qualität der Modellbildung und dessen Implementierung. Der hauptsächlich limitierende Faktor ist die fehlende Ausrichtung des Tachymeters hinsichtlich der Bilderfassung. Weiterhin sind Zusatzkomponenten notwendig, die eine Feldtauglichkeit noch stark einschränken. Hier wären von Herstellerseite Anpassungen notwendig.

Das Ziel, die prinzipielle Verwertbarkeit von Videotheodolit-Bildern mittels Bildanalyse nachzuweisen, wurde erfüllt. Die Erkennung modellierter Objekte funktioniert bei ausreichend gutem Bildmaterial, die Reproduktion von Anzielungen und die Zuweisung von Bild- und Winkelwerten ohne weitere Einschränkungen. Die Ergebnisse sind auch für hohe Genauigkeitsanforderungen ausreichend.

Anwendungen für den Massenmarkt werden mit den Methoden der Bildanalyse aber auch in Zukunft kaum realisierbar sein, da individuelle Modellierungen und Ablaufpläne notwendig sind, die zeit- und kostenintensiv erstellt werden müssen.

In der Kombination «Auswertestrategien mit Hilfe der Bildanalyse und Präzision geodätischer Messinstrumente» liegt ein nicht zu unterschätzendes Potenzial. Der Instrumenten-Markt für Standardaufga-

ben ist weitgehend abgedeckt. Für massgeschneiderte Lösungen individueller Anforderungen sind jedoch weiterführende Messkonzepte notwendig – eines davon wird die Auswertung digitaler Tachymeterbilder sein.

### Literatur:

Bayer, G., 1997. Dynamic Aspects of the TCA1800 Automatic Total Station. Proceedings of the Optical 3D Measurement Techniques IV Congress in Zürich, Wichmann Verlag, Karlsruhe.

Leica Geosystems AG, 2002. Persönliche Mitteilungen.

Ramer, U., 1972. An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves. Computer Graphics and Image Processing 1972, pp. 244–256.

Schirmer, W., 1994. Universaltheodolit und CCD-Kamera – ein unpersönliches Messsystem für astronomisch-geodätische Beobachtungen. Doktorarbeit, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen an der TU München, DGK-Veröffentlichungen Reihe C Band 427.

Steger, C., 2000. Similarity Measures for Occlusion, Clutter, and Illumination Invariant Object Recognition. Pattern recognition, Proceedings of the 23<sup>rd</sup> DAGM Symposium in München, Springer Verlag.

Wasmeier, P., 2002. Potential der Objekterkennung mit dem Videotheodolit TCA2003. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Geodäsie und Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung an der TU München (unveröffentlicht).

Wieser, A., 1995. Ingenieurgeodätische Überwachungsmessungen mit Videotheodoliten. Diplomarbeit, Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie an der TU Wien (unveröffentlicht).

Dipl.-Ing. Peter Wasmeier  
Lehrstuhl für Geodäsie  
Institut für Geodäsie, GIS und  
Landmanagement  
TU München  
DE-80333 München  
p.wasmeier@bv.tum.de