

Monitoring im Hochbau am Beispiel „Fassadenmonitoring Kö-Bogen“

Volker Wegener, S+H Systemtechnik

In exponierter Innenstadtlage am Übergang der Königsallee zum Hofgarten bzw. Schadowplatz entstand ein Büro- und Geschäftshaus, welches aus zwei Baukörpern (Haus Königsallee, Haus Hofgarten) besteht, die mit einer Brücke verbunden sind – der KÖ-Bogen.

Der New Yorker Architekt Daniel Libeskind lieferte die Pläne für das Gebäude. Kennzeichnend für seinen Entwurf ist die prägnante Fassade aus Glas und weißem Naturstein, die zur Wasserseite hin mit diagonalen Schnitten aufgebrochen wird.

1. Objektdaten

Architekt:	Studio Daniel Libeskind, New York
Bauherr:	die developer Projektentwicklung GmbH, Düsseldorf
Ausführung:	Zechbau GmbH, Niederlassung Düsseldorf
Baubeginn/ Fertigstellung:	2009 / 2013
BGF:	40.000 qm
Fassadenfläche:	ca. 18.000 qm



Abb. 1: KÖ-Bogen

Die Fassade folgt in ihren Formen der Gebäudegeometrie; einer Mischung aus strengen Geraden und Kurven. Die Fassaden sind geprägt durch einen Wechsel aus großformatigem, nahezu weißem Naturstein und transparenten Glasflächen. Die unterschiedlich großen Glas- und Natursteinkomponenten bilden komplexe Muster, welche die modulare Ordnung der Konstruktion (Elementfassade) nicht auf den ersten Blick erkennen lassen, die sich

grundsätzlich in einen vertikalen und horizontalen Typ gliedert. Besonders auffallend sind die Gebäudeeinschnitte, „Cuts“ genannt, in die Pflanztröge mit Baumbewuchs integriert sind.

Die Hauptfassaden des Kö-Bogen wurden aus hunderten Elementen in flächenbündiger Anordnung erstellt. Die Fassadenelemente sind mit definierten horizontalen und vertikalen Fugenabständen zueinander an der inneren Stahlbetonstruktur montiert. Aufgrund zu erwartender unterschiedlicher Setzungen in den verschiedenen Gebäudeteilen kann es zu Veränderungen insbesondere bei den vertikalen Abständen kommen. Aus diesem Grunde ist die Aufhängung der Fassadenelemente so konstruiert, dass die Elemente in vertikaler Richtung verschiebbar sind. Aus mechanischen Gründen sollen sich die Abstände zwischen den Elementen über die Zeit um nicht mehr als 8mm gegenüber dem Montagezustand verändern.

2. Verformungsprognosen

Aufgrund der Besonderheit des Objektes Kö-Bogen mit sehr großen Stützweiten und unterschiedlichen Gründungssituationen kann es im Rohbau zu Verformungswerten kommen, die über das normal übliche Maß für eine Element-Fassade von +/- 8mm hinauszugehen. Basis für diese Annahme sind statische Berechnungen in Anlehnung an das Sicherheitskonzept der DIN 1055_100.



Abb. 2: Gebäudestruktur

Aus diesem Grunde ist bei der Realisierung der Fassade darauf geachtet worden, dass für die einzelnen Fassaden-Elemente in Abhängigkeit von den Verformungswerten eine Nachjustierung möglich ist.

3. Überwachungspunkte

Auf Basis der Prognosen zur Langzeitverformung aus der Tragwerksplanung sowie Angaben des Fassadenherstellers wurden Überwachungspunkte festgelegt. Dadurch haben sich ca. 90 vertikale Messketten mit insgesamt 350 automatischen Messpunkten und ca. 90 terrestrischen Messpunkten im Bereich der Attika ergeben.

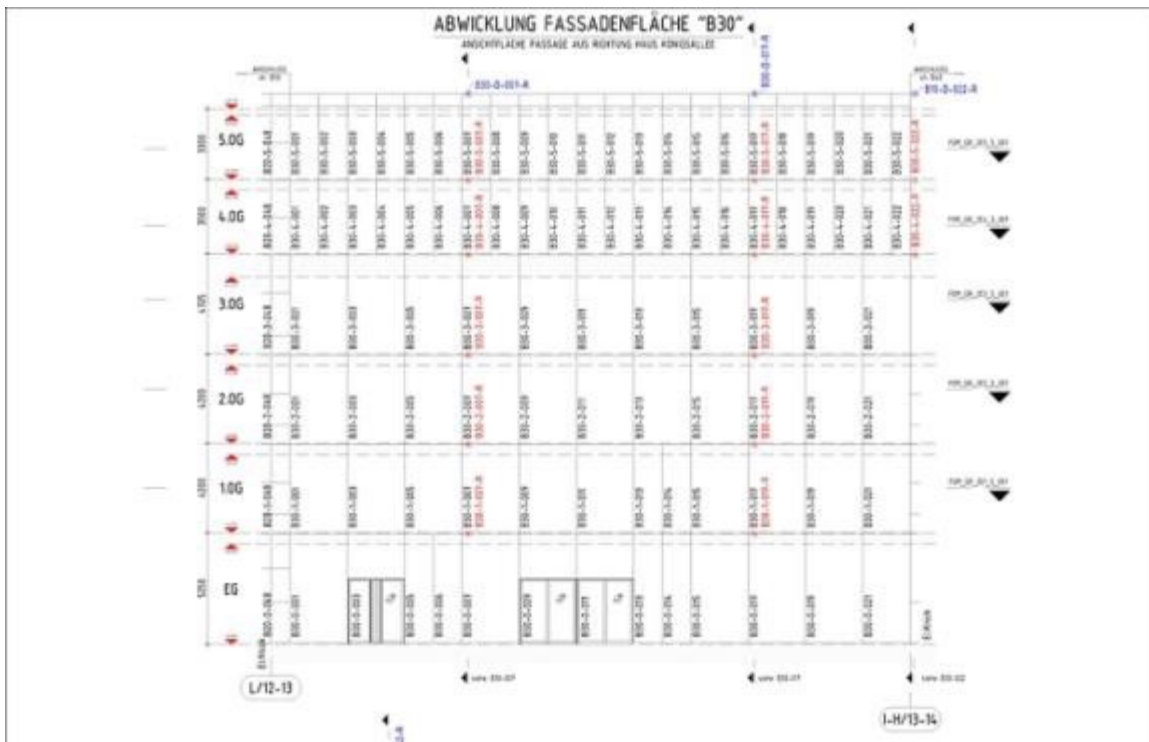
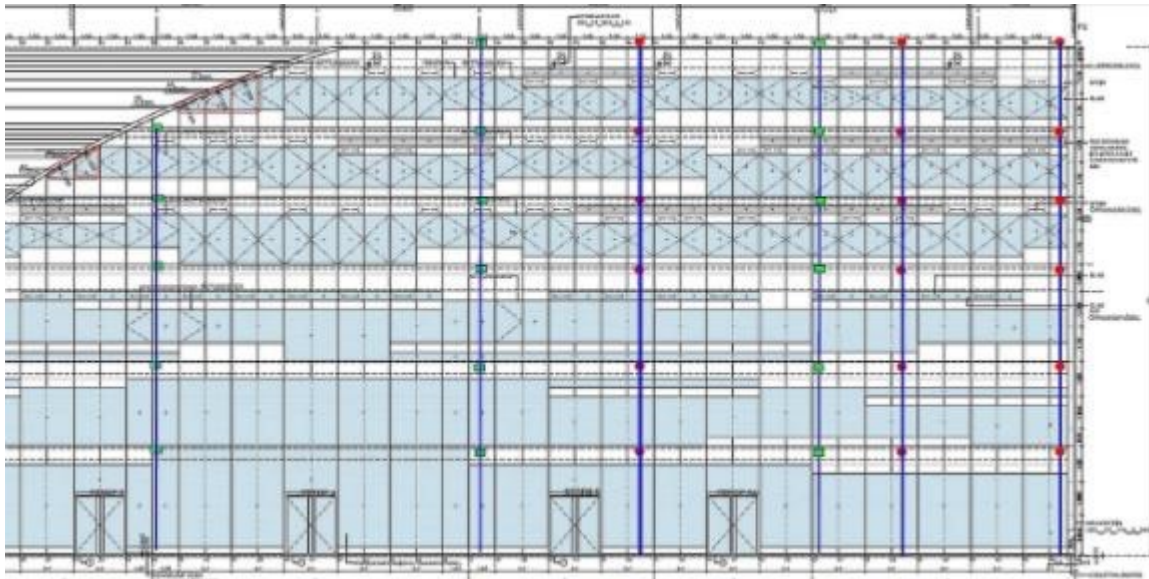


Abb. 3 und 4: Geplante Überwachungspunkte (Ausschnitt)

Die Verformungen des Rohbaus und die hieraus resultierenden Bewegungen der Fassadelemente werden mittels elektronischer Distanzmessung der Horizontalfugen zwischen zwei Fassadelementen ermittelt und überwacht.

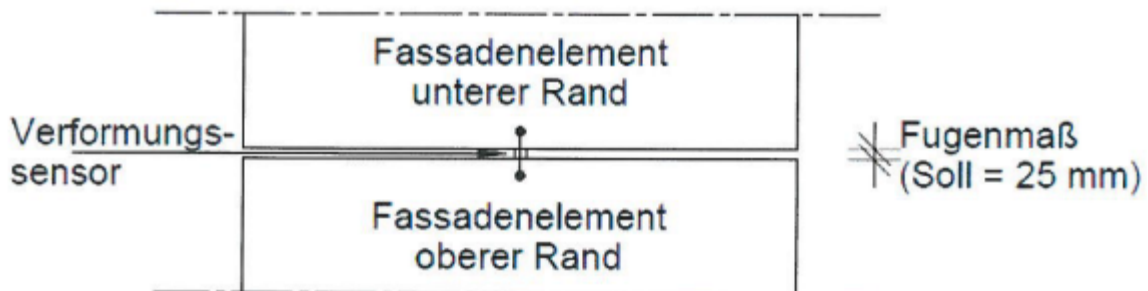


Abb. 5: Fugenabstand zwischen Fassadelementen

An den festgelegten Messpunkten sind Mess-Sensoren an jeweils 2 übereinander liegenden Fassaden-Elementen befestigt, die die Veränderung der horizontalen Fuge gegenüber einer Nullmessung erfassen.

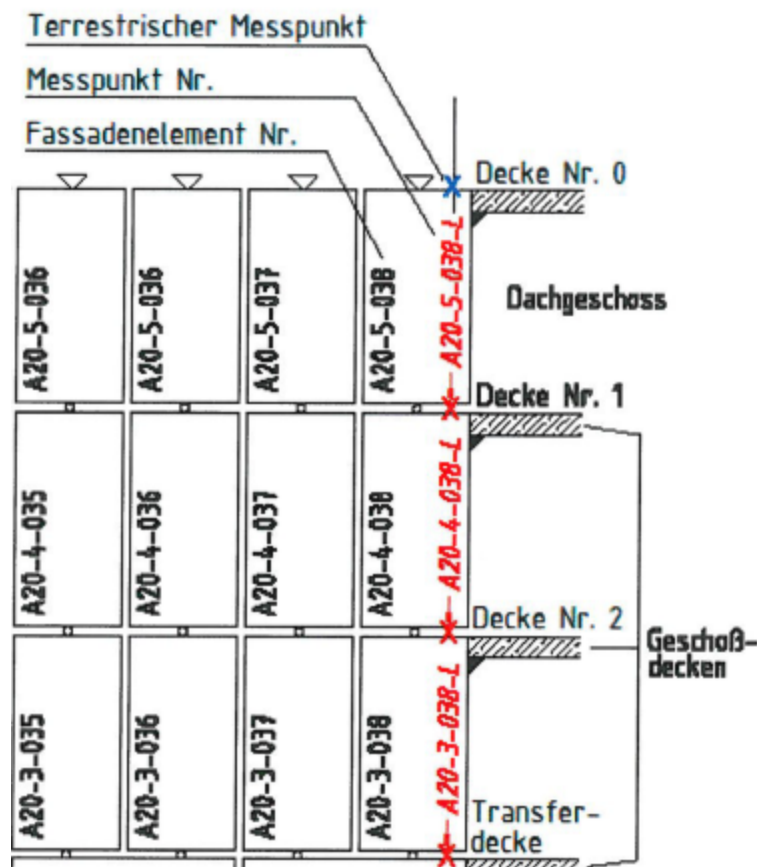


Abb. 6: Bildung einer Messkette

Um die vertikalen Verformungen der Rohdeckenaußenkanten ebenfalls über das elektronische System zu überwachen, wird jeweils an einem Punkt der vertikalen Messketten – bestehend aus den Fassadenelementen und den Fugen – die vertikale Veränderung bezogen auf einen Referenzpunkt (terrestrischer Messpunkt) gemessen. Die Höhen der Referenzpunkte werden alle 6 Monate terrestrisch mit präzisen Trimble Tachymetern gemessen. Die Messung aller Fugenabstände erfolgt alle 60 Sekunden automatisiert. Über die gemessenen Fugenveränderungen und die bekannten Längen der Fassadenelemente werden die Deckenhöhen ermittelt. Die zwischen den Messketten elektronisch nicht erfassten Punkte werden linear interpoliert.

4. Grundüberlegungen zum Fassadenmonitoring und Definitionen

Aus statischer Sicht wäre für die Messung der Fugenbreiten ein Monats-Intervall hinreichend. Bei gezielten Verschiebungen von Fassadenelementen zur Nachjustierung der Abstände wird die Information aber genutzt, um die Veränderungen in Quasi-Echtzeit darzustellen. Aus diesem Grunde werden die Abstände alle 60 Sekunden gemessen. Auf Basis der Prognosen zur Langzeitverformung wurde für die terrestrischen Messungen der Referenzpunkte ein Intervall von 6 Monaten festgesetzt.

Auf Basis der Grundanforderung, dass sich die Fugenabstände um nicht mehr als 8mm gegenüber dem Ausgangszustand nach der Montage der Elemente verändern dürfen, wurde folgender Alarmplan definiert:

- Warnstufe 1: Verschiebung um +/- 4mm gegenüber dem Ausgangszustand
- Warnstufe 2: Verschiebung um +/- 6mm gegenüber dem Ausgangszustand

- Alarmstufe: Verschiebung um +/- 8mm gegenüber dem Ausgangszustand

Eine Warnung / ein Alarmierung via E-Mail erfolgt erst, wenn der über eine Woche gemittelte Wert vorgenannte Schwellenwerte übersteigt.

Die Auswertung und Kontrolle der Alarme erfolgt nach dem 4 Augen- Prinzip durch ein Sachverständigenbüro und den Bauherren. Turnusmäßig erfolgt eine monatliche Kontrolle der aufgelaufenen Warnungen durch ein Sachverständigenbüro. Die Kontrolle wird von dem Sachverständigenbüro protokolliert.

Grundsätzlich ist folgendes Vorgehen festgelegt:

- Warnstufe 1: Beobachten, ggf. Maßnahmen ergreifen
- Warnstufe 2: Maßnahmen planen und ergreifen
- Alarmstufe: Maßnahmen sofort einleiten

Das Handbuch zur Wartung und Nachjustierung wird jährlich auf Basis der gesammelten Daten und Erfahrungen fortgeschrieben.

5. Sensoren

Die Überwachung der Fugenbreiten soll mindestens 5 Jahre laufen. Somit sind langzeitstabile Sensoren ohne Drift zwingend notwendig. Die meisten Sensoren sind nach der Montage auch nicht mehr zugänglich, weswegen das System wartungsfrei sein muss. Ein weiterer Zwangspunkt ist der beschränkte Platz für die Sensoren von ca. 10cm in der Höhe und 7cm x 7cm in der Grundfläche. All diese Anforderungen schränken die mögliche Auswahl der Sensoren erheblich ein. Letztendlich wurden magneto-induktive Distanzsensoren verwendet. Sie haben eine Genauigkeit von 0,05mm und einer Auflösung von 0,1mm und eine extrem geringe Drift von weniger als 0,1mm über 5 Jahre. Neben den Distanzsensoren sind 5 Temperatursensoren verbaut, um den Einfluss von Temperaturänderungen auf die Messergebnisse abschätzen zu können.



Abb. 7: Magneto-Induktiver Distanzsensor

In der Summe wurden ca. 350 Sensoren in dem Gebäude für die Überwachung der Setzungen verbaut. Alle magneto-induktive Distanzsensoren und Temperatursensoren sind per Kabel mit einem zentralen Server verknüpft und liefern quasi permanent alle 60 Sekunden Messinformationen. Messungen mit klassischem Vermessungsinstrumentarium

finden in Abständen von 6 Monaten statt. Die Ergebnisse dieser Vermessungen fließen in die Gesamtauswertung ein.

6. Analyse und Visualisierung

Die Daten aller Sensoren werden zentral gesammelt und mit Trimble 4D Control (siehe Abb. 8) analysiert und visualisiert. In Trimble 4D Control stehen verschiedene Werkzeuge zur Analyse der Daten zur Verfügung. Über das sogenannte Webfrontend können Nutzer individuell auf das System zugreifen. Die einzelnen Nutzer bekommen individuelle Rechte zugewiesen, um ggf. administrativ tätig werden zu können, oder einfach nur Informationen zu lesen. Der Zugriff erfolgt über das Internet.

Parallel zur Visualisierung verfügt 4D Control über ein Reportingmodul, welches den Nutzer individuell über den Systemzustand informiert. Zeitgesteuerte Reporte für Dokumentationszwecke werden per Email z.B. im PDF Format versendet.

Das Alarmingmodul informiert wiederum nutzerspezifisch auf Grundlage der gewünschten Alarmzustände. Sobald z.B. eine Toleranzgrenze überschritten wird, sendet Trimble 4D Control eine E-Mail oder SMS.

Durch den modularen Aufbau von 4D Control kann das Monitoring System mit dem Projekt mitwachsen. So können jederzeit neue Sensoren hinzugefügt werden, seien es Tachymeter, GNSS Receiver, oder andere Sensoren.



Abb. 8: Trimble 4D Control

7. Ergebnisse

Das Monitoring-System ist seit September 2013 im Testbetrieb und seit Februar 2014 im Produktionsbetrieb. Es wird von zwei Administratoren betreut, die Ingenieuren und Gutachtern aus verschiedenen Disziplinen spezifische Echtzeitzugriffe auf das Web-Frontend gewähren, die Warn- und Alarmparameter einstellen und automatisierte Analysen einrichten.

Zusammen mit dem Gebäudebetreiber wurde ein mehrstufiges Aktionskonzept entwickelt. Dies beinhaltet Handlungsanweisungen bei Warnungen und Alarmen. In beiden Fällen werden Gutachter eingeschaltet, die dann aufgrund der Daten Empfehlungen für

weitergehende Aktionen aussprechen. Dies geht bis zum planmäßigen vertikalen Verschieben von Fassadenelementen.

Bewegungen von mehr als 4mm in einzelnen Ketten erzeugen Warnungen, ab 8mm werden Alarme ausgelöst. Der Warnschwellwert wurde bisher in 4 Fällen überschritten. Alle Fälle wurden durch unplanmäßige Höhenveränderungen der Fassadenelemente durch Mitarbeiter verursacht. Durch die Warnungen wurde ein übermäßiges Verschieben der Elemente verhindert.

An der Südfassade sind Bewegungen von bis zu 0,5mm zu beobachten. Diese Bewegungen wiederholen sich täglich in Abhängigkeit Sonnengang vom Sonnengang (Siehe Abb. 9).

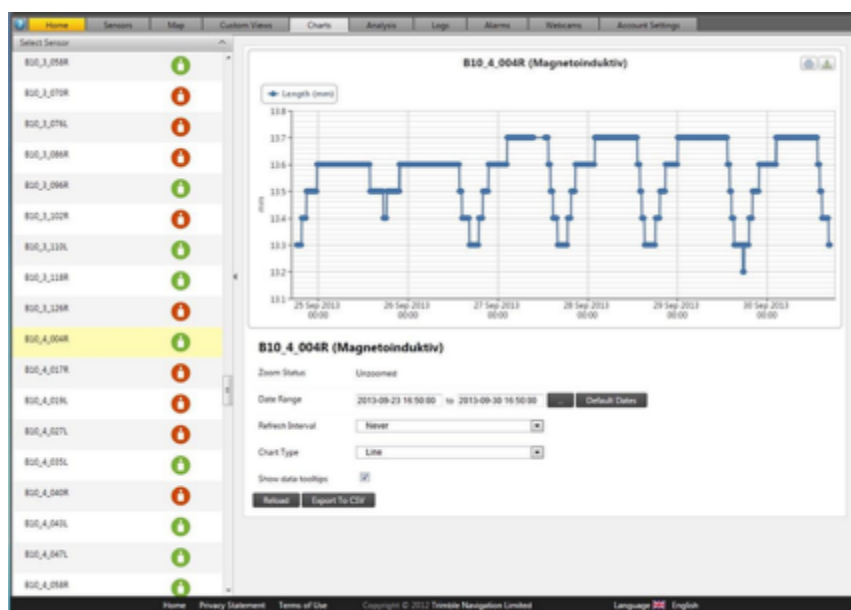


Abb. 9: Zeitreihe

Die Onlinedarstellung der Fugenabstände in weniger als 1 Minute nach Bestimmung der Messdaten auf dem Web-Server für die berechtigten Personen ist zwingende Vorgabe durch den Auftraggeber, um beim Verschieben von Fassadenelementen den Ist-Zustand sehen zu können. Durch die Verwendung der Trimble 4D Control Software ist eine Onlinedarstellung der Daten möglich und kann dem Nutzer mittels Webfrontend zur Verfügung gestellt werden.

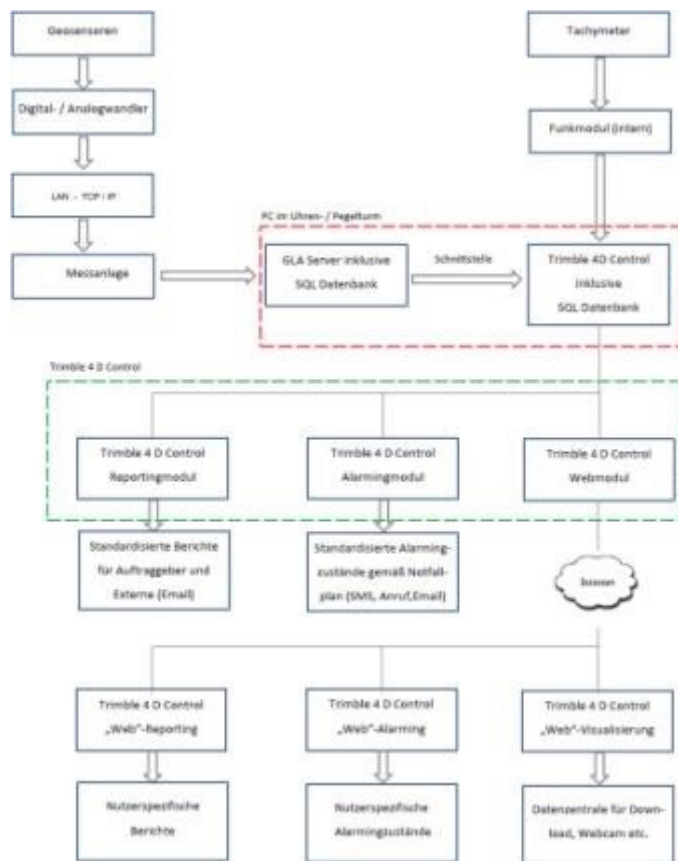


Abb. 10: Datenfluss

Im Mess- und Auswertekonzept war nach der Inbetriebnahme des Onlinemonitorings eine Analyse der Daten vorgesehen. Anhand dieser Daten war dann die Strategie des Messablaufes zu analysieren. Ferner war eine Bewertung der Fehlergrenzen / Alarmgrenzen vorzunehmen, um den individuellen Anforderungen bei diesem Projekt Rechnung zu tragen. Grundsätzlich ist in diesem Projekt eine Ausgleichung wegen fehlender Überbestimmungen nicht möglich. Bei der implementierten Variante ist Sorge zu tragen, dass einzelne Messungen nicht zu Fehlalarmen führen. Hierfür werden Zeitreihen gebildet. Warnungen und Alarme müssen individuell analysiert und interpretiert werden, damit Veränderungen in der äußeren Geometrie keine fehlerhaften Alarmierungen hervorrufen.

Literaturverzeichnis

Internet (2014): <http://www.koebogen.info/de/>

Internet (2013): <http://www.zechbau.de/aktuelles/aktuelles/aktuelles-detail/article/richtkranz-ueber-der-einzelhandels-und-bueroimmobilie-koebogen-in-duesseldorf/>

DIN 1055_100 (2006): Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln

Christian Niederhofer, Elektronikpraxis Nr. 10, (2012): Neues Messprinzip ermöglicht die Selbstlinearisierung von Sensoren.

Trimble 4D Control, version 4 (2013): unser manual