

<b>Zeitschrift:</b>	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
<b>Band:</b>	90 (1992)
<b>Heft:</b>	9
<b>Artikel:</b>	Die Zuverlässigkeit in der schweizerischen Landesvermessung
<b>Autor:</b>	Carosio, A.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-234862">https://doi.org/10.5169/seals-234862</a>

### 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:** 22.02.2026

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

# Die Zuverlässigkeit in der schweizerischen Landesvermessung

A. Carosio

Die Zuverlässigkeit ist die wichtigste Eigenschaft unserer Arbeit. Vor mehr als zwanzig Jahren wurden die theoretischen Grundlagen geschaffen, um die Zuverlässigkeit quantitativ beurteilen zu können. Aber erst in letzter Zeit konnten sich die Methoden dank wirklichkeitsnäheren mathematischen Modellen in der Praxis durchsetzen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes der ETHZ wurden in Zusammenarbeit mit der Landestopographie die Programme entwickelt, die heute in der schweizerischen Landesvermessung eingesetzt werden.

*La qualité première de notre travail réside dans sa fiabilité et dans la confiance qu'il inspire. Il y a plus de vingt ans que nous avons élaboré les bases théoriques nécessaires à l'appréciation quantifiée de cette fiabilité. Ce n'est cependant que tous récemment que ces méthodes ont pu s'imposer dans la pratique, et ceci grâce à des modèles mathématiques plus proches de la réalité que ceux d'autrefois.*

*C'est dans le cadre d'un projet de recherche de l'EPFZ que le programme (logiciel) actuellement utilisé dans la mensuration nationale suisse a été développé en collaboration avec l'office topographique fédéral.*

## 1. Einleitung

Der Begriff Zuverlässigkeit ist seit mehr als zwei Jahrzehnten in der Geodäsie bekannt und gehört zu den täglichen Sorgen des Vermessingenieurs bei der Planung der Arbeit, bei welcher eine hinreichende Überbestimmung und wirksame Kontrollen seit jeher die Regeln der Kunst sind. Die Zuverlässigkeit gibt Auskunft über die Qualität und Wirksamkeit dieser Kontrollen. Zuverlässigkeitstheorien stammen aus den bekannten Publikationen des holländischen Professors W. Baarda [Baarda 1968]. Ihm gelang zum ersten Mal der Übergang von den qualitativen Gedanken zu quantitativen Lösungen.

Trotz bekannten Theoriegrundlagen ist es während langer Zeit nicht gelungen, die Verfahren vollständig in operationelle Vorschriften umzusetzen. Der Hauptgrund liegt vor allem in der ungünstigen Testwahl, die bei der Theorieentwicklung ursprünglich verwendet wurde. Der F-Test der geschätzten Varianz ist bei grossen Netzen zu wenig empfindlich.

In neuester Zeit wurden verschiedene neue Alternativen vorgeschlagen, die zu praxisgerechten und wirksam einsetzbaren Lösungen geführt haben.

Das im folgenden beschriebene Modell ist das Ergebnis eines Forschungsprojektes, das von der ETH finanziert und am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie abgewickelt wurde. Das Bundesamt für Landestopographie hat das Vorhaben tatkräftig unterstützt. Die Methode wurde in die Ausgleichungssoftware LTOP [Gubler 1989] integriert, die in der Schweiz einen

Standard für die Netzberechnungen darstellt. Dadurch hat sich das neue Verfahren allgemein durchgesetzt.

## 2. Gegenstand und Definition der Zuverlässigkeit

Die Ausdrücke «Zuverlässigkeit» und «zuverlässig» werden in der Vermessung, vom qualitativen Standpunkt aus, im gleichen Sinn wie in der Umgangssprache verwendet, das heisst, mit der Bedeutung von «vertrauenswürdig», «kontrolliert», «sicher». Etwas genauer ausgedrückt: eine geodätische Arbeit ist zuverlässig, wenn man in der Lage ist, allfällige Modellfehler zu entdecken.

Die Theorie von Baarda und die späteren Arbeiten haben den Übergang vom Qualitativen zum Quantitativen geschafft. Man

kann heute das Zuverlässigkeitseiveau zahlenmäßig angeben.

Bevor man sich mit dem mathematischen Teil beschäftigt, muss man eine Grundsatzfrage beantworten [Carosio 1983]: Was kann eigentlich zuverlässig oder unzuverlässig sein? Das heisst, was ist Gegenstand der Zuverlässigkeit.

Die Zuverlässigkeit ist eine Eigenschaft der folgenden drei Elemente:

- Des geodätischen Netzes mit dem funktionalen und dem stochastischen Modell, das heisst, der vorgesehenen Messungen und ihrer Genauigkeit.
- Der Alternativhypothese (befürchtete Fehler des Modells) mit den Anforderungen an die Arbeit (Grösse der Fehler an der Grenze des Annehmbaren).
- Des statistischen Tests, (inkl. Niveau  $\alpha$  des Fehlers erster Art), mit dem man das Modell nach der Ausführung der Messungen und Berechnungen testet.

Mit diesen Vorbemerkungen kann die Zuverlässigkeit folgendermassen definiert werden:

Das Zusammenwirken der drei oben beschriebenen Elemente ist zuverlässig, wenn der Test mit einer genügenden Wahrscheinlichkeit ( $1-\beta$ ) die Fehler des Modells, die an der Grenze des Annehmbaren liegen, anzeigen.

Man kann die Definition mit folgender Bemerkung leichter interpretieren.

Die Zuverlässigkeit einer geodätischen Arbeit kann nur geprüft werden, wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- Man muss die geplanten Messungen (Netzgeometrie) und die Instrumente (Genauigkeit) festgelegt haben. So kann man die gegenseitige Kontrollwirkung der Beobachtungen analysieren.
- Man muss wissen, welche allfälligen Modellfehler die Arbeit gefährden können und ab welcher Grösse sie sich als schädlich auswirken.

Eine Sache ist, sich gegen einzelne grobe Messfehler zu schützen. Anders

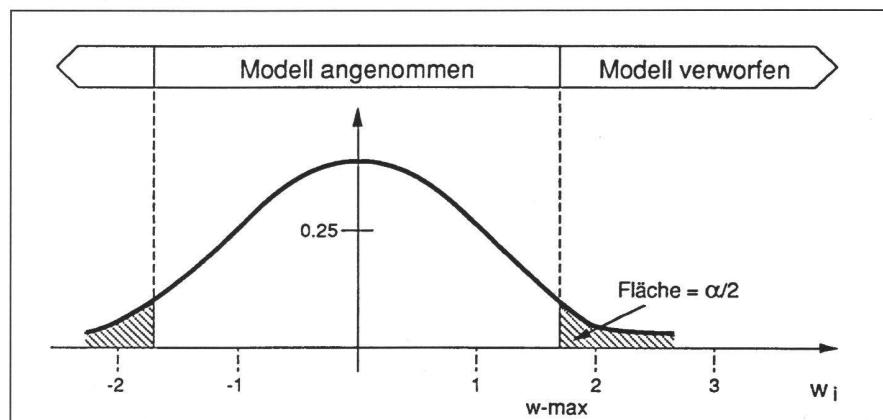


Abb. 1: Annahmebereich für die statistische Variable  $w_i$ .

# Partie rédactionnelle

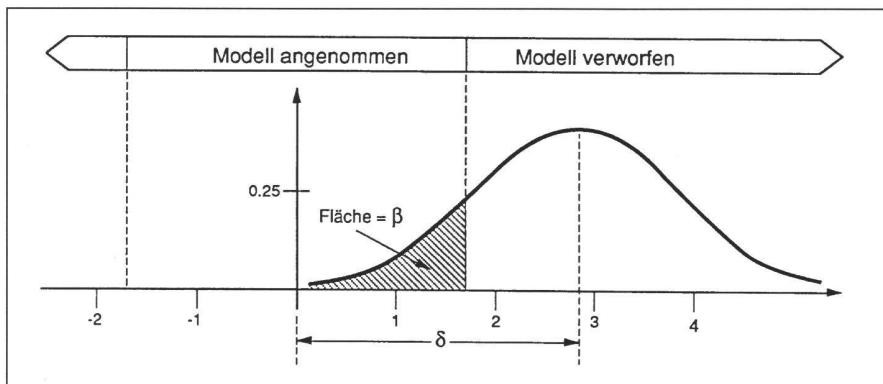


Abb. 2: Risiko eines Fehlers zweiter Art.

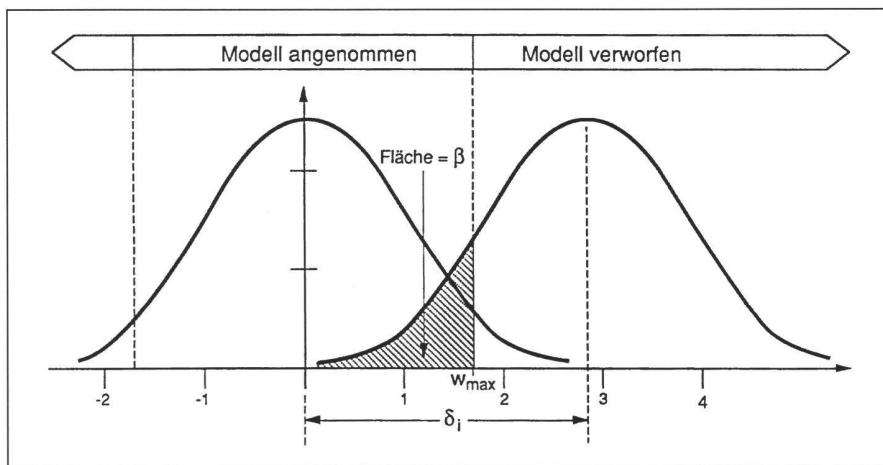


Abb. 3: Dichte der Wahrscheinlichkeit der Variablen  $w$  und  $w^*$ .

ist die Suche nach einem aussergewöhnlichen Konstruktionsfehler des Instrumentes. Die Gefahr muss bekannt sein.

– Man muss entschieden haben, welche Rechenkontrollen (statistische Tests) man einsetzen und mit welchen Toleranzgrenzen man die Arbeit durchführen wird.

Offensichtlich kann ohne Kontrolle der Ergebnisse die beste Messanordnung wenig helfen.

## 3. Die Lösung für die Schweizerische Landesvermessung

Die folgenden Hypothesen sind die Grundlagen des gewählten Zuverlässigkeitssmodells:

- Die Messanordnung ist frei wählbar. Jede Kombination von Messungen ist möglich (Richtungen, Distanzen, GPS, Nivellement usw.).
- Die Berechnung erfolgt mit einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Üblicherweise werden Lage- und Höhennetze getrennt ausgeliert, dies soll aber nicht zwingend sein.

müssen andere Schutzmassnahmen getroffen werden (periodische Eichung, sorgfältige Problemanalyse usw.).

- Die Zuverlässigkeitsanforderungen werden angegeben durch die grösste Koordinatenverfälschung, die noch ertragen werden kann und durch die Wahrscheinlichkeit  $\beta$  des Entgehens eines solchen Fehlers. Diese Angaben müssen vor Beginn der Arbeit vorliegen. Für die Landesvermessung (Lagefixpunkte 1 und Höhenfixpunkte 1 nach der RAV-Terminologie [RAV 1986] ist das Bundesamt für Landestopographie zuständig. Es hat die zulässigen Grenzen als interne Weisungen festgelegt.
- Die Ergebnisse der Ausgleichung sind mit einem Test der standardisierten Verbesserungen ( $w_i = v_i/\sigma_{v_i}$ ) zu prüfen. Der Annahme- und Verwerfungsbereich sind vor der Arbeit festzulegen. In der Regel wird  $w_{\max}$  2.5 oder 3.0 gewählt (Risiko 1% oder 0.3% für jede einzelne Beobachtung).

## 4. Der Test der standardisierten Verbesserungen

Die Praktiker testen seit langem die Resultate einer Ausgleichung, indem sie die Verbesserungen kontrollieren. Diese einfache Methode konnte als Testverfahren für das Zuverlässigkeitssmodell übernommen werden. Man hat sie als statistischen Test formuliert. Die Verbesserungen sind Zufallsvariablen (lineare Funktionen der Beobachtungen) mit Normalverteilung, Erwartungswert = 0 und Standardabweichung

$$\sigma_{v_i} = \sigma_0 \cdot \sqrt{q_{vv}^{(ii)}}$$

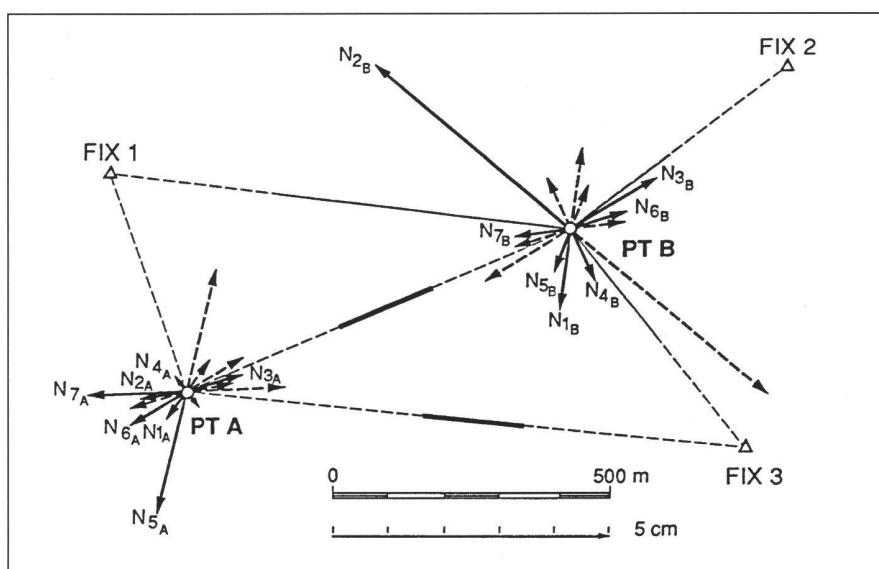


Abb. 4: Einfluss der groben Fehler  $\nabla l_i$  auf die Koordinaten.

$\sigma_o$  ist die Standardabweichung der Gewichtseinheit,  
 $q_{vv}^{(ii)}$  das i-te Diagonalelement der Kofaktorenmatrix der Verbesserungen.  
 Dividiert man die Verbesserungen durch die entsprechenden  $\sigma_{vi}$ , so erhält man die standardisierten Verbesserungen.

$$w_i = \frac{v_i}{\sigma_{vi}}$$

mit Normalverteilung, Erwartungswert = 0 und  $\sigma_w = 1$ . Das Verhalten einer normalverteilten Grösse ist bekannt und man kann Testgrenzen  $w_i$ -max festlegen, mit welchen nach der Ausgleichung die  $w_i$  jeder Messung geprüft werden. Man wählt z.B.  $w_i$ -max = 2.5, wenn man ein Risiko  $\alpha = 1\%$  für jede Beobachtung in Kauf nimmt. Der Test wird für alle Beobachtungen wiederholt und wenn alle  $w_i \leq w_i$ -max sind, wird das Modell angenommen, andernfalls wird das Modell verworfen, und man muss mit der Suche nach Fehlern beginnen.

Die genaue Wahrscheinlichkeit, dass man im ganzen Netz mindestens einmal bei richtigen Beobachtungen irrtümlicherweise auf Fehlersuche geht, wird für die Zuverlässigkeitberechnung nicht benötigt.

## 5. Die innere Zuverlässigkeit

Die Berechnung der Zuverlässigkeit findet in einer zweiten Phase statt, in welcher man die Empfindlichkeit des statistischen Tests im Hinblick auf den befürchteten Modellfehler prüft [Carosio 1990]. Dafür analysiert man den Einfluss jedes eventuellen Modellfehlers auf die Testvariable, um zu sehen, welche Auswirkungen sich bemerkbar machen.

Als möglicher Modellfehler wird ein grober Fehler an einer beliebigen Beobachtung angenommen. Der gegenseitige Einfluss von mehreren Fehlern des Modells wird ausgeschlossen.

Falls bei der i-ten Messung ein grober Fehler  $\Delta_{li}$  vorhanden ist, wird die dazugehörige standardisierte Verbesserung  $w_i$  (Testvariable) in  $w_i^*$  verändert. Da die  $w_i^*$  ebenfalls von den zufälligen Fehlern beeinflusst werden, ist  $w_i^*$  auch eine Zufallsvariable (normalverteilt mit Varianz 1). Der Erwartungswert ist nicht mehr 0, er wird um den grossen Fehler  $\Delta_{li}$  verschoben.

Derjenige Teil der Verteilung von  $w_i^*$ , der sich im früher festgelegten Annahmebereich befindet, ist wichtig, denn er zeigt die Wahrscheinlichkeit  $\beta$ , dass die Realisierung der Testvariable in den Annahmebereich fällt, obwohl das Modell falsch ist. Es handelt sich um das Risiko des Fehlers zweiter Art.  $\beta$  kann mit der Funktion der Normalverteilung berechnet werden.

Man kann den Einfluss eines grossen Fehlers  $\Delta_{li}$  der i-ten Messung auf die Variable  $w_i$  mit folgender Formel (für unkorrelierte Beobachtungen) berechnen [Linkwitz 1960]

$$\delta_i = - \frac{\Delta_{li}}{\sigma_{vi}} \cdot \frac{q_{vv}^{(ii)}}{q_{ii}^{(ii)}}$$

$$= - \frac{\Delta_{li}}{\sigma_{li}} \cdot \sqrt{\frac{q_{vv}^{(ii)}}{q_{ii}^{(ii)}}}$$

$\delta_i$  ist das Zentrum der Normalverteilung von  $w_i^*$ , wenn die entsprechende Messung durch einen grossen Fehler  $\Delta_{li}$  verfälscht wurde.

$q_{vv}^{(ii)}$  und  $q_{ii}^{(ii)}$  sind die entsprechenden Diagonalelemente der Kofaktorenmatrizen der Verbesserungen und der Messungen.

$\sigma_{li}$  und  $\sigma_{vi}$  sind die Standardabweichung (mittlerer Fehler) der Messung und der Verbesserung.

Dabei gilt

$$\sigma_{vi} = \sqrt{\frac{q_{vv}^{(ii)}}{q_{ii}^{(ii)}}} \cdot \sigma_{ii}$$

Wenn für jede Beobachtung der grösste noch unschädliche grosse Fehler  $\Delta_{li}$  bekannt wäre, könnte man das entsprechende Risiko  $\beta_i$  berechnen und die Zuverlässigkeitfrage (ist  $\beta_i \leq \beta$  annehmbar), beantworten. Da dies nicht der Fall ist, kehrt man die Formulierung in gleicher Weise um wie beim klassischen Zuverlässigkeitsmodell von Baarda [Baarda 1968] und man berechnet, wie gross der Fehler  $\Delta_{li}$  werden muss, damit das Risiko, dass der Fehler entgeht noch annehmbar ist. Das annehmbare Risiko  $\beta$  ist vorzugeben (z.B.  $\beta = 5\%$ ) und der so hergeleitete grosse Fehler wird mit  $\nabla_{li}$  bezeichnet. Man spricht von inneren Zuverlässigkeitssindikatoren, welche für jede Messung die kleinsten grossen Fehler angeben, die man mit genügender Wahrscheinlichkeit noch entdecken kann.

## 6. Die Zuverlässigkeit der Koordinaten (äussere Zuverlässigkeit)

Die bisherigen Ausführungen hatten die Berechnung der Zuverlässigkeit der einzelnen Beobachtungen (innere Zuverlässigkeitssindikatoren  $\nabla_{li}$ ) als Ziel.

Die Vermessungsarbeit bezweckt aber in der Regel die Bestimmung von anderen hergeleiteten Parametern (z.B. Koordinaten), die das eigentliche Resultat darstellen und in Zukunft wieder verwendet werden. Für die Anwender eines Vermessungswerkes ist es letzten Endes irrelevant, wie gut die einzelnen Messungen kontrolliert sind. Wichtig für ihn ist zu wissen, wie zuverlässig die Koordinaten (und die anderen Parameter) sind.

Die unbekannten Parameter einer vermittelnden Ausgleichung werden mit der folgenden Formel berechnet:

$$(X - X_0) = (A^T P A)^{-1} A^T P (I - I_0) = R (I - I_0)$$

In dieser Formel repräsentiert der Vektor  $I$  die Beobachtungen (Richtungen, Distanzen usw.), die Matrix  $A$  spiegelt die Geometrie der Messanordnung wieder, während die Matrix  $P$  die Messgenauigkeit angibt. Die Matrizen  $A$  und  $P$  sind von vornherein bekannt; zur Bestimmung des Vektors  $I$  müssen die Messungen durchgeführt werden. In  $I_0$  sind die Werte enthalten, die die ausgeglichenen Messungen

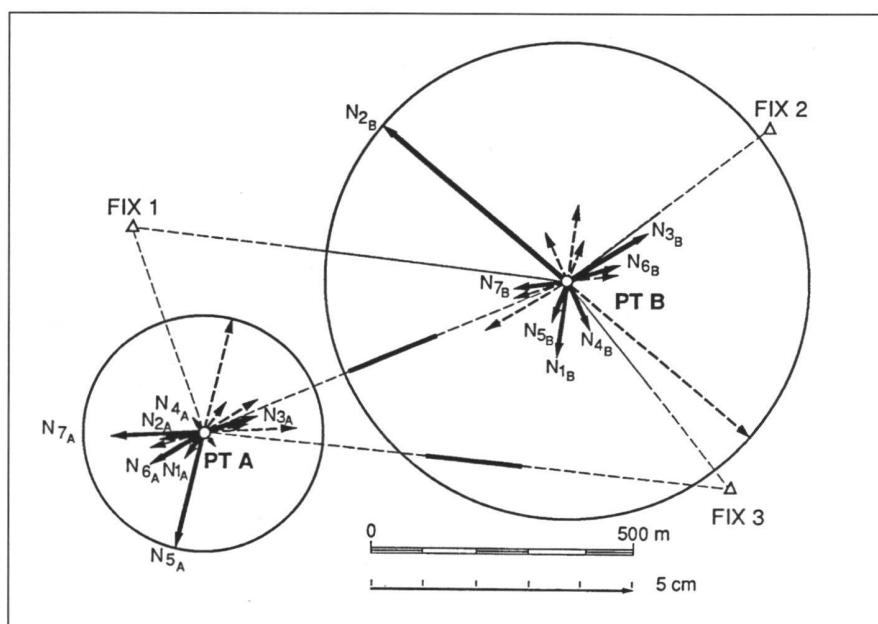


Abb. 5: Der Zuverlässigkeitssystem.

# Partie rédactionnelle

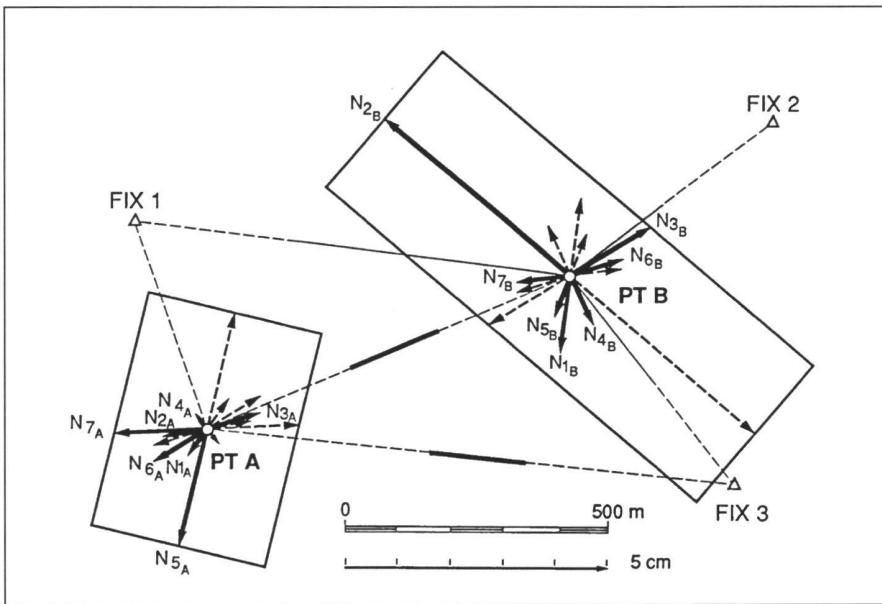


Abb. 6: Das Zuverlässigkeitssrechteck.

haben sollten, wenn die Näherungskoordinaten (und die anderen Näherungsbe-kannten)  $X_0$  fehlerfrei wären. Der Vektor  $X$  enthält schliesslich die Unbekannten (Koordinaten, Orientierungsunbekannten usw.).

Man kann dann den Einfluss auf die Koordinaten jedes allfälligen groben Messfehlers bestimmen, indem man, für jeden Fehler getrennt, den Einfluss einer Verfälschung  $\nabla l_i$  (innerer Zuverlässigkeitssindikator der i-ten Beobachtung gemäss Kap. 5) auf die Koordinaten berechnet.

Wird der Vektor  $l - l_0$  der vorherigen Formel durch einen Vektor  $\nabla l$  (i) ersetzt, welcher ausser der i-ten Komponente ( $= \nabla l_i$ ) lauter Nullen enthält, so kann der Einfluss eines groben Fehlers  $\nabla l_i$  (der i-ten Beobachtung) auf die Koordinaten aller Punkte ermittelt werden.

Der Vektor  $\nabla l$  (i) enthält nur einen einzigen Term ungleich Null, da man angenommen hat, dass nur ein grober Fehler  $\nabla l_i$  auftritt.

$$N = (A^T P A)^{-1} A^T P \cdot \nabla l \text{ (i)} = R \cdot \nabla l \text{ (i)}$$

Dieser Einfluss wird durch die Verschiebungsvektoren  $N_{iA}, N_{iB}, \dots$  der auszugleichenden Punkte A, B, ... angegeben, deren Koordinaten im Vektor N ( $\Delta y_A, \Delta x_A, \Delta y_B, \Delta x_B, \dots$ ) enthalten sind. Natürlich wäre es auch möglich, den Einfluss auf die anderen Unbekannten (z.B. Orientierungsunbekannte) zu berechnen.

Mit den (n-1) verbleibenden  $\nabla l_i$  kann analog vorgegangen werden. Man erhält so für jeden unbekannten Punkt ein Bündel von n Vektoren. Wegen der Linearität des Gleichungssystems verursacht ein grober Fehler von  $-\nabla l_i$  einen Vektor, der demjenigen von  $+\nabla l_i$  entgegengesetzt ist. Jedem

$$\begin{aligned} N_{iA} & \left\{ \begin{bmatrix} \Delta y_A \\ \Delta x_A \\ \Delta y_B \\ \Delta x_B \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \nabla l_i \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right. \\ N_{iB} & \left\{ \begin{bmatrix} \Delta y_A \\ \Delta x_A \\ \Delta y_B \\ \Delta x_B \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right. \end{aligned}$$

zusätzlichen Punkt entsprechen demzufolge 2 n Vektoren.

Selbstverständlich gilt das, was bis jetzt anhand von planimetrischen Beispielen gezeigt wurde, analog auch für die Höhenmessung. In diesem Fall handelt es sich jedoch um ein eindimensionales Problem, bei welchem die Verschiebungsvektoren N in Richtung der Z-Achse zeigen.

## 7. Darstellung der äusseren Zuverlässigkeit

Alle beschriebenen Zuverlässigkeitssindikatoren werden erst brauchbar, wenn man sie in leicht interpretierbare Form darstellt. Die Indikatoren  $\nabla l_i$  der inneren Zuverlässigkeit lassen sich am einfachsten in numerischer Form in der Abrissstabelle darstellen. Da zu jeder Beobachtung ein  $\nabla l_i$ -Wert berechnet wird, muss dafür nur eine zusätzliche Kolonne in der Tabelle vorgesehen werden.

Die Auswirkung der  $\nabla l_i$  auf die Koordinaten (äussere Zuverlässigkeit) ergibt für jeden Punkt 2 n Vektoren. Eine tabellarische Darstellung ist für eine so grosse Anzahl Werte nicht mehr sinnvoll. Auch eine graphische Darstellung der 2 n Vektoren scheint wenig geeignet, da Hunderte von

Vektoren ebenfalls schwer zu interpretieren sind.

Es stellt sich die Frage, wie die grosse Anzahl Vektoren mit möglichst wenig Informationsverlust zusammengefasst werden kann.

Für die Anwendungen der Landesvermessung sowie der amtlichen Vermessung können drei Lösungsvarianten vorgeschlagen werden:

### Der Zuverlässigkeitsskreis

Nach der Bestimmung der n Einflussvektoren der einzelnen  $\nabla l_i$  (mit positiven Vorzeichen) bestimmt man für jeden Punkt den grössten Vektor, ( $\nabla y, \nabla x$ ) unter den berechneten.

Der Kreis um den dazugehörigen Neupunkt mit

$$\text{Radius} = \sqrt{\nabla y^2 + \nabla x^2}$$

enthält alle anderen Einflussvektoren und kann daher als guter Indikator für die Zuverlässigkeit der Koordinaten betrachtet werden.

Als Zusatzinformation können die Nummern der Beobachtung, die für die Bestimmung des Kreisradius massgebend war sowie die Richtung des grössten Vektors dienen.

Die Zuverlässigkeitsskreise sind vom verwendeten Koordinatensystem unabhängig.

### Die orientierten Zuverlässigkeitssrechtecke

Die Zuverlässigkeitsskreise erlauben nicht mehr zu erkennen, ob die Vektoren der Fehlereinflüsse auf die Koordinaten eine besondere Orientierung haben. Um diesen Nachteil zu beheben, kann man den Kreis durch ein Rechteck ersetzen [Bur-nand 1990]. Der grösste Vektor gibt die Richtung der grossen Seite des Rechtecks (Azimut von NA) und dessen halbe Länge (NA) an. Die kleine Seite des Rechtecks (halbe Länge NB) wird so bestimmt, dass alle Vektoren der Fehlereinflüsse im Rechteck enthalten sind. NB stammt von dem Vektor mit der grössten zu NA senkrechten Komponente.

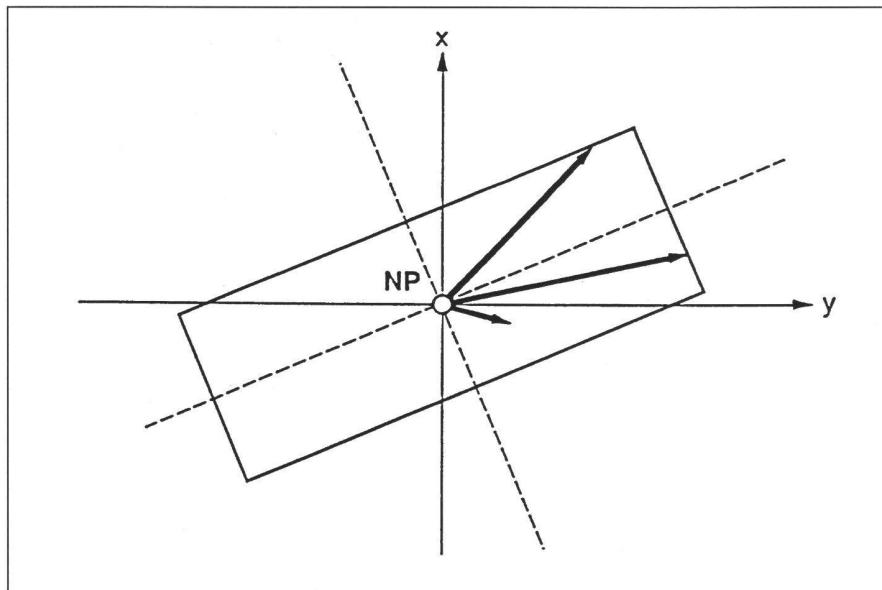
Wie die Zuverlässigkeitsskreise sind die orientierten Rechtecke vom Koordinatensystem unabhängig.

Tabellarisch können die Zuverlässigkeitssrechtecke mit 3 Werten (NA, NB, Azimut von NA) angegeben werden.

Die Beobachtungen, die für die Bestimmung von NA bzw. NB massgebend waren, sollten mit dem Rechteck angegeben werden. Dadurch wird die Beurteilung wesentlich erleichtert.

### Die nach den Trägheitsachsen orientierten Rechtecke

Es gibt Sonderfälle (mehrere gleiche Fehlereinflussvektoren), in welchen die Rechtecke, die nach dem grössten Vektor orien-



**Abb. 7: Das Zuverlässigkeitstrechteck kann nach den Trägheitsachsen der Fehlervektoren orientiert werden.**

tiert sind, eine unstetige Funktion der Beobachtungen werden. Das heißt, dass eine kleine Beobachtungsänderung zu einer sprunghaften Änderung der Orientierung des Rechtecks führen kann.

Um diese Eigenschaft zu beseitigen, kann man das Rechteck anstatt nach dem grössten Vektor nach den Trägheitsachsen aller Fehlereinflussvektoren orientieren [Wicki 1991]. Die halben Seitenlängen sind dann so zu bestimmen, dass alle Vektoren im Rechteck enthalten sind.

Da die befürchtete Unstetigkeit hauptsächlich in konstruierten Beispielen auftritt (genau symmetrische Figuren), wurde diese dritte Variante vorläufig nicht weiter verfolgt.

## 8. Die Anwendung der Zuverlässigkeitstheorie

Die Berechnung der in den vorhergehenden Kapiteln vorgestellten Zuverlässigkeitssindikatoren ist ziemlich einfach, aber die Wiederholung für die Punkte eines Netzes und für mehrere Varianten erfordert trotzdem einen beträchtlichen Arbeitsaufwand.

Es ist also offensichtlich, dass die praktische Anwendung dieser Methoden an einen Computer (gross oder klein) gebun-

den ist, für den man die entsprechenden Programme beschaffen kann.

Das vorgestellte Modell wurde daher in der Triangulationssoftware LTOP integriert und den gegenwärtigen Bedürfnissen angepasst. Das Beobachtungssortiment von LTOP wurde erweitert, damit GPS-Beobachtungen, absolute Koordinatenbeobachtungen usw. ebenfalls ausgewählten werden können. Damit können Koordinatenfehler ebenfalls als Beobachtungsfehler betrachtet werden (allerdings wird nur eine Koordinate als möglicherweise fehlerhaft angenommen) und werden daher, wenn auch näherungsweise, in die Zuverlässigkeitsschätzung einbezogen.

Die bisherigen Erfahrungen [Vogel 1990] haben gezeigt, dass sich vor allem die Zuverlässigkeitstrechtecke besonders gut bewährt haben, und man wird sie mit Vorteil als leicht interpretierbare Indikatoren für die Zuverlässigkeit geodätischer Arbeiten einsetzen.

### Literatur:

- W. Baarda: A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks, Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, 2/5, 1968.
- Th. Burnand: Das Zuverlässigkeitstheorie der schweizerischen Landesvermessung,

Bericht Nr. 169, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1990.

A. Carosio, E. Gubler, H. Chablain: Journée d'étude du 15 octobre 1986 à l'EPFL sur les thèmes précision et fiabilité des travaux de mensuration, IGM-EPFL, SSMAF, SVIGGR, Polycopié EPFL.

A. Carosio: Verfahren der multivariaten Statistik zur Beurteilung der Resultate und der Zuverlässigkeit geodätischer Messsysteme. In: Mitteilungen aus dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, Nr. 35, 1983.

A. Carosio: Die Theorie der Zuverlässigkeit im Vermessungswesen, Bericht Nr. 169, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1990.

R. Conzett: Fehlertheorie und Ausgleichsrechnung, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1981.

H. Dupraz: Théorie des erreurs 2, Polycopié EPFL.

W. Grossman: Grundzüge der Ausgleichsrechnung, Springer Verlag, Berlin 1969.

E. Gubler: Programmbeschreibung zum Programm LTOP, Bundesamt für Landestopographie, Bulletin Nr. 18, 1989.

W. Höpcke: Fehlerlehre und Ausgleichsrechnung, De Gruyter Verlag, Berlin 1980.

K. Linkwitz: Über die Systematik verschiedener Formen der Ausgleichsrechnung, Zeitschrift für Vermessungswesen, 5/1960.

RAV: Expertenbericht Fixpunkte, Schlussbericht 1985 (R. Ammann, H. Dupraz, E. Gubler).

RAV: Vermessungsfixpunkte, Expertenbericht 1986, R. Ammann, H. Chablain, O. Kölbl, M. Rickenbacher.

B. Vogel: Praktische Erfahrungen in der Fixpunktbestimmung, Bericht Nr. 169, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1990.

F. Wicki: Zuverlässigkeitstheorie, Beurteilungskriterien für die Zuverlässigkeit von geodätischen Netzen, Bericht Nr. 176, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1991.

### Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. Alessandro Carosio  
Institut für Geodäsie  
und Photogrammetrie  
ETH-Hönggerberg  
CH-8093 Zürich