

Die Zuverlässigkeit in der schweizerischen Landesvermessung

Autor(en): **Carosio, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **90 (1992)**

Heft 9

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-234862>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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 ETH 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 Vermessungsingenieurs 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 Zuverlässigkeitsniveau zahlenmässig angeben.

Bevor man sich mit dem mathematischen Teil beschäftigt, muss man eine Grundsatfrage 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 α 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, anzeigt.

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

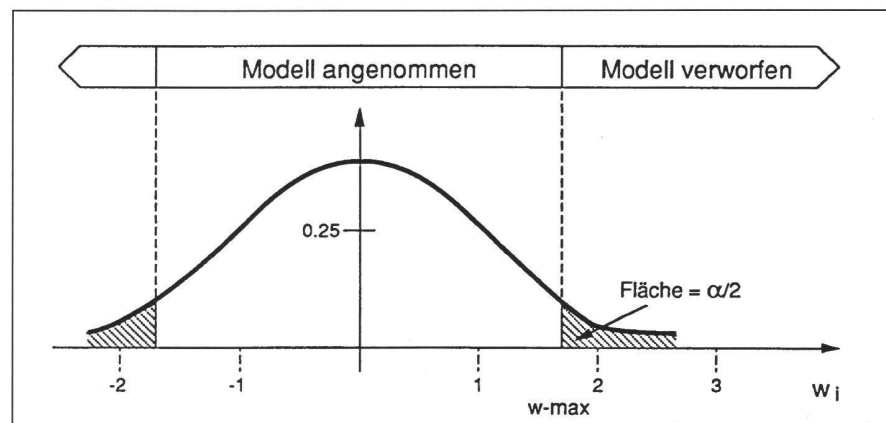


Abb. 1: Annahmebereich für die statistische Variable w_i .

Partie rédactionnelle

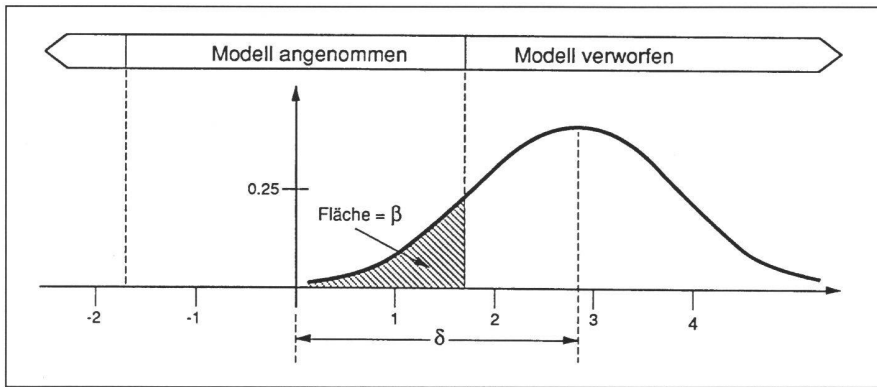


Abb. 2: Risiko eines Fehlers zweiter Art.

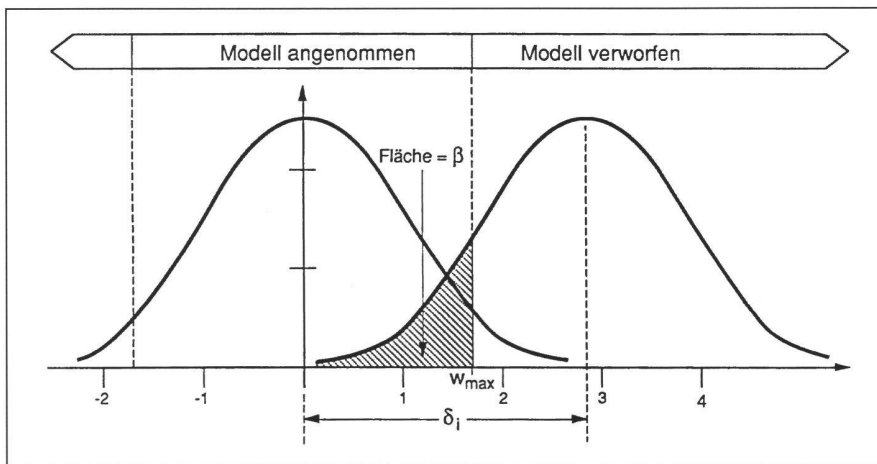


Abb. 3: Dichte der Wahrscheinlichkeit der Variablen w und w^* .

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 Zuverlässigkeitsmodells:

- 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 Höhenetze getrennt ausgeglichen, dies soll aber nicht zwingend sein.

- Die geodätische Arbeit muss zuverlässig nur im Hinblick auf einzelne grobe Messfehler (falsche Ablesungen, falsche Zielung usw.) sein. Andere Modellfehler sind nicht vorgesehen, das heisst, gegen systematische Instrumentenfehler oder ungenaue oder falsche mathematische Beziehungen

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 β 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 Zuverlässigkeitsmodell übernommen werden. Man hat sie als statistischen Test formuliert. Die Verbesserungen sind Zufallsvariablen (lineare Funktionen der Beobachtungen) mit Normalverteilung, Erwartungswert = 0 und Standardabweichung

$$\sigma_{v_i} = \sigma_0 \cdot \sqrt{q_{v_i}^{(0)}}$$

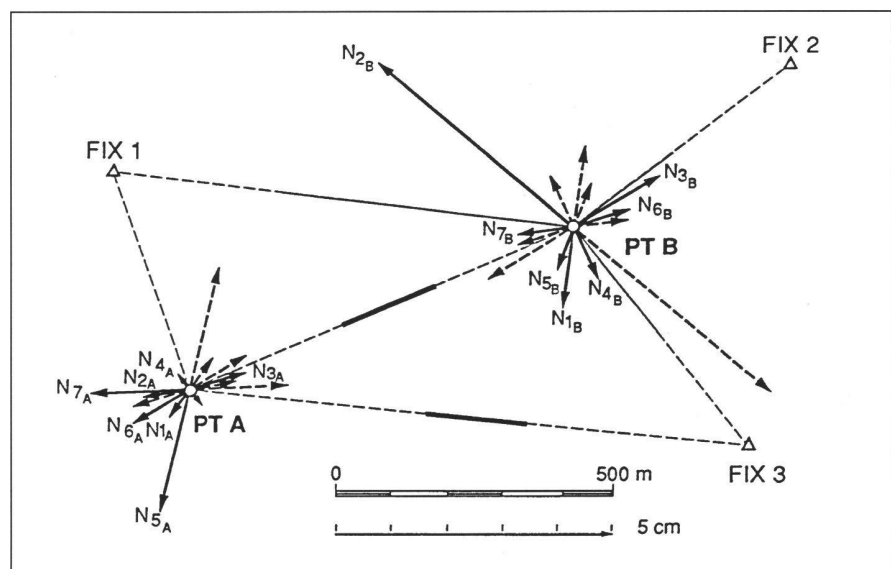


Abb. 4: Einfluss der groben Fehler ∇l_i auf die Koordinaten.

σ_o ist die Standardabweichung der Gewichtseinheit,

$q_{ii}^{(v)}$ das i-te Diagonalelement der Kofaktorenmatrix der Verbesserungen.

Dividiert man die Verbesserungen durch die entsprechenden σ_{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 Zuverlässigkeitsberechnung 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 Δ_{ij} 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 groben Fehler Δ_{ij} verschoben.

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

Man kann den Einfluss eines groben Fehlers Δ_{ij} der i-ten Messung auf die Variable w_i mit folgender Formel (für unkorrelierte Beobachtungen) berechnen [Linkwitz 1960]

$$\begin{aligned} \delta_i &= - \frac{\Delta_{ij}}{\sigma_{vi}} \cdot \frac{q_{iw}^{(v)}}{q_{ii}^{(v)}} \\ &= - \frac{\Delta_{ij}}{\sigma_{ij}} \cdot \sqrt{\frac{q_{iw}^{(v)}}{q_{ii}^{(v)}}} \end{aligned}$$

δ_i ist das Zentrum der Normalverteilung von w_i^* , wenn die entsprechende Messung durch einen groben Fehler Δ_{ij} verfälscht wurde.

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

σ_{ij} und σ_{vi} sind die Standardabweichung (mittlerer Fehler) der Messung und der Verbesserung.

Dabei gilt

$$\sigma_{vi} = \sqrt{\frac{q_{iw}^{(v)}}{q_{ii}^{(v)}}} \cdot \sigma_{ij}$$

Wenn für jede Beobachtung der grösste noch unschädliche grobe Fehler Δ_{ij} bekannt wäre, könnte man das entsprechende Risiko β_i berechnen und die Zuverlässigkeitsfrage (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 Δ_{ij} werden muss, damit das Risiko, dass der Fehler entgeht noch annehmbar ist. Das annehmbare Risiko β ist vorzugeben (z.B. $\beta = 5\%$) und der so hergeleitete grobe Fehler wird mit ∇_{ij} bezeichnet. Man spricht von inneren Zuverlässigkeitsindikatoren, welche für jede Messung die kleinsten groben 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 Zuverlässigkeitsindikatoren ∇_{ij}) 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 wiederverwendet 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 unbekannt Parameter einer vermittelnden Ausgleichung werden mit der folgenden Formel berechnet:

$$(X - X_0) = (A^T P A)^{-1} A^T P (l - l_0) = R (l - l_0)$$

In dieser Formel repräsentiert der Vektor l 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 l müssen die Messungen durchgeführt werden. In l_0 sind die Werte enthalten, die die ausgeglichenen Messungen

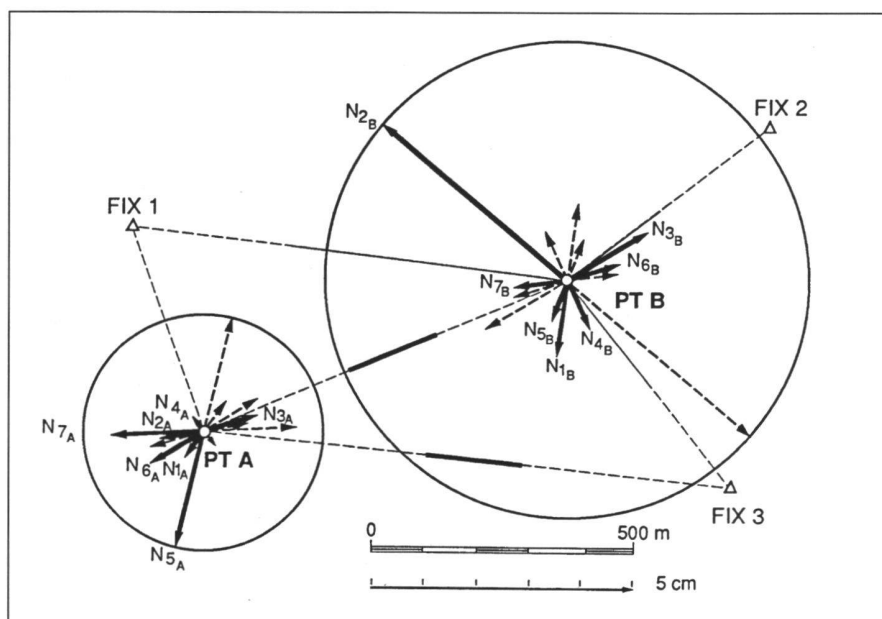


Abb. 5: Der Zuverlässigkeitskreis.

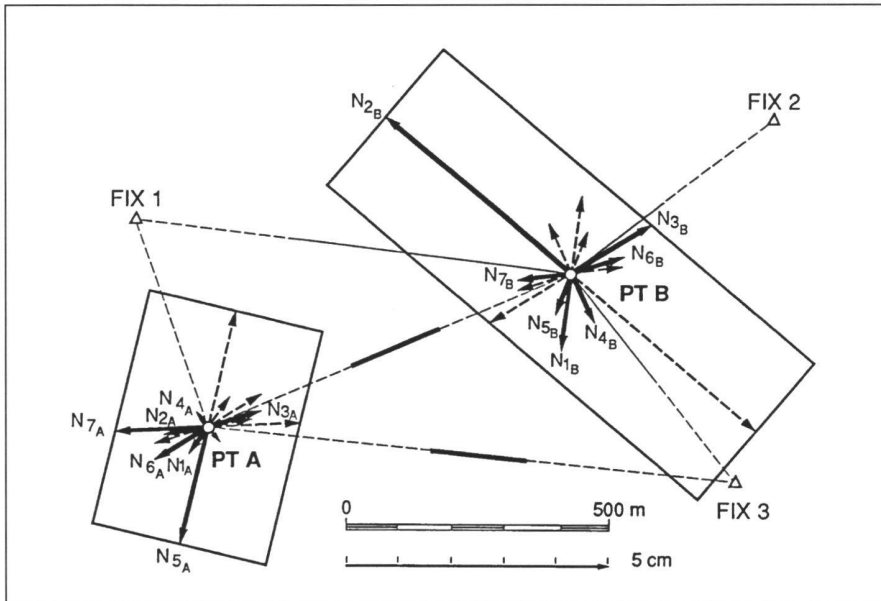


Abb. 6: Das Zuverlässigkeitsrechteck.

haben sollten, wenn die Näherungskoodinaten (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 Koor-
dinaten jedes allfälligen groben Messfeh-
lers bestimmen, indem man, für jeden Feh-
ler getrennt, den Einfluss einer Verfä-
lschung ∇l_i (innerer Zuverlässigkeitsindika-
tor der i -ten Beobachtung gemäss Kap. 5)
auf die Koordinaten berechnet.

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

Der Vektor ∇l (i) enthält nur einen einzigen
Term ungleich Null, da man angenommen
hat, dass nur ein grober Fehler ∇l_i auf-
treten kann.

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

Dieser Einfluss wird durch die Verschie-
bungsvektoren N_{iA} , N_{iB} , ... der auszuglei-
chenden Punkte A, B, ... angegeben, de-
ren Koordinaten im Vektor N (Δy_A , Δx_A ,
 Δy_B , Δx_B ...) enthalten sind. Natürlich
wäre es auch möglich, den Einfluss auf die
anderen Unbekannten (z.B. Orientie-
rungsunbekannte) zu berechnen.

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

$$\begin{matrix} N_{iA} \\ N_{iB} \end{matrix} \begin{Bmatrix} \Delta y_A \\ \Delta x_A \\ \Delta y_B \\ \Delta x_B \\ \vdots \\ \vdots \end{Bmatrix} = R \cdot \begin{Bmatrix} 0 \\ \nabla l_i \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

(u,1) (n,1)

zusätzlichen Punkt entsprechen demzu-
folge $2n$ Vektoren.

Selbstverständlich gilt das, was bis jetzt
anhand von planimetrischen Beispielen
gezeigt wurde, analog auch für die Höhen-
messung. 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 Zuverlässigkeitsindika-
toren werden erst brauchbar, wenn man
sie in leicht interpretierbare Form darstellt.
Die Indikatoren ∇l_i der inneren Zuverläs-
sigkeit lassen sich am einfachsten in nume-
rischer Form in der Abrisstabelle dar-
stellen. Da zu jeder Beobachtung ein ∇l_i -
Wert berechnet wird, muss dafür nur eine
zusätzliche Kolonne in der Tabelle vorge-
sehen werden.

Die Auswirkung der ∇l_i auf die Koor-
dinaten (äussere Zuverlässigkeit) ergibt für jeden
Punkt $2n$ Vektoren. Eine tabellarische Dar-
stellung ist für eine so grosse Anzahl
Werte nicht mehr sinnvoll. Auch eine gra-
phische Darstellung der $2n$ Vektoren
scheint wenig geeignet, da Hunderte von

Vektoren ebenfalls schwer zu interpretie-
ren sind.

Es stellt sich die Frage, wie die grosse An-
zahl Vektoren mit möglichst wenig Infor-
mationsverlust zusammengefasst werden
kann.

Für die Anwendungen der Landesvermes-
sung sowie der amtlichen Vermessung
können drei Lösungsvarianten vorge-
schlagen werden:

Der Zuverlässigkeitskreis

Nach der Bestimmung der n Einflussvek-
toren der einzelnen ∇l_i (mit positiven Vorzei-
chen) bestimmt man für jeden Punkt den
grössten Vektor, (∇y , ∇x) unter den berech-
neten.

Der Kreis um den dazugehörigen Neu-
punkt mit

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

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

Als Zusatzinformation können die Num-
mern der Beobachtung, die für die Bestim-
mung des Kreisradius massgebend war
sowie die Richtung des grössten Vektors
dienen.

Die Zuverlässigkeitskreise sind vom ver-
wendeten Koordinatensystem unabhän-
gig.

Die orientierten Zuverlässigkeitsrechtecke

Die Zuverlässigkeitskreise erlauben nicht
mehr zu erkennen, ob die Vektoren der
Fehlereinflüsse auf die Koordinaten eine
besondere Orientierung haben. Um die-
sen Nachteil zu beheben, kann man den
Kreis durch ein Rechteck ersetzen [Bur-
nand 1990]. Der grösste Vektor gibt die
Richtung der grossen Seite des Rech-
tecks (Azimut von NA) und dessen halbe
Länge (NA) an. Die kleine Seite des Rech-
tecks (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 senk-
rechten Komponente.

Wie die Zuverlässigkeitskreise sind die
orientierten Rechtecke vom Koordinaten-
system unabhängig.

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

Die Beobachtungen, die für die Bestim-
mung von NA bzw. NB massgebend wa-
ren, sollten mit dem Rechteck angegeben
werden. Dadurch wird die Beurteilung we-
sentlich erleichtert.

Die nach den Trägheitsachsen orientierten Rechtecke

Es gibt Sonderfälle (mehrere gleiche Feh-
lereinflussvektoren), in welchen die Rech-
tecke, die nach dem grössten Vektor orien-

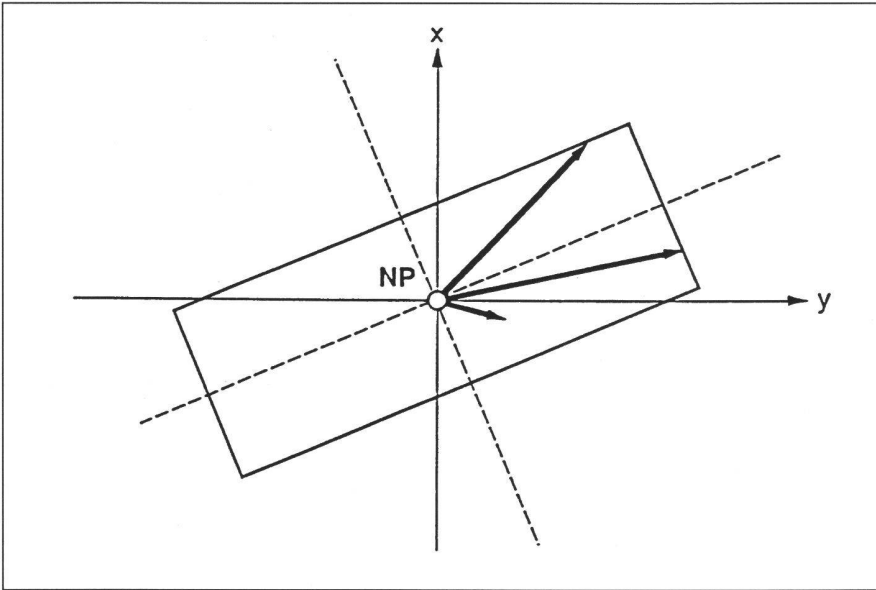


Abb. 7: Das Zuverlässigkeitsrechteck kann nach den Trägheitsachsen der Fehlervektoren orientiert werden.

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 Zuverlässigkeitsmodelle

Die Berechnung der in den vorhergehenden Kapiteln vorgestellten Zuverlässigkeitsindikatoren 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 ausgeglichen 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 Zuverlässigkeitsbetrachtung einbezogen. Die bisherigen Erfahrungen [Vogel 1990] haben gezeigt, dass sich vor allem die Zuverlässigkeitsrechtecke 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 Zuverlässigkeitsmodell der schweizerischen Landesvermessung,

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

A. Carosio, E. Gubler, H. Chablais: 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. Chablais, 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