

Optimierung von Messkonzepten für Tunnelmessungen unter Wirtschaftlichkeitsaspekten

Motivation

Das Ziel beim Bau eines jeden Tunnels ist es, dass sich die Tunnelvortriebe mit einer vorgegebenen Genauigkeit treffen. Um die geforderte Genauigkeit zu erreichen bzw. einzuhalten wird für das Tunnelnetz eine Netzplanung durchgeführt. Neben der einzuhaltenden Genauigkeit ist vor allem der wirtschaftliche Aspekt des Tunnelnetzes von Bedeutung.

Ziel

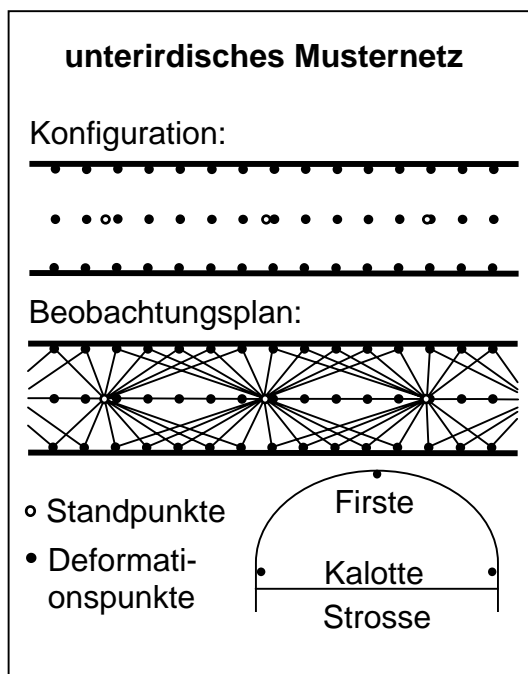
Ziel dieser Diplomarbeit war es, ein Musternetz für die Netzmessungen im Tunnel zu beurteilen und unter Beachtung von Wirtschaftlichkeitsaspekten zu optimieren.

Vorgehensweise

Diese Diplomarbeit wurde in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro intermetric GmbH, Vaihingen und dem Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen der Universität Stuttgart erstellt.

Die Untersuchungen basieren auf einem von dem Ingenieurbüro intermetric GmbH vorgegebenen Musternetz. Da das Ingenieurbüro intermetric GmbH neben den Netzmessungen auch die Deformationsmessungen vornimmt, werden die Deformationspunkte grundsätzlich in die Netzmessung mit eingebunden.

Die Beurteilung und Optimierung des Messkonzeptes beschränkt sich auf das unterirdische Netz, das nach folgenden Kriterien aufgebaut ist.



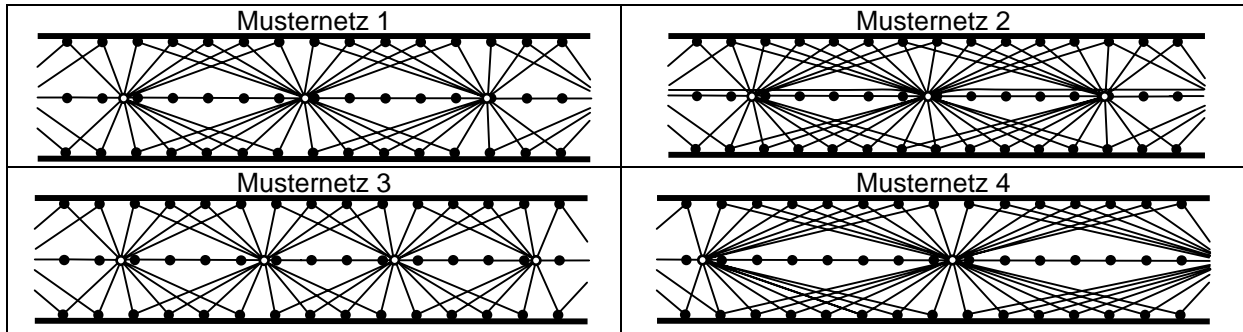
Die Standpunkte zur Netzmessung befinden sich in Tunnelmitte mit einem Abstand von 80m zueinander. Die Standpunkte werden nicht vermarktet. Die Deformationspunkte sind in der Firste, sowie links und rechts an der Kalotte im Abstand von 15m zueinander angebracht.

Die Beobachtungen werden zwischen den Standpunkten und zu allen Deformationspunkten die zwischen dem vorherigen und dem nächsten Standpunkt liegen durchgeführt (Musternetz 1). Jede Beobachtung enthält die Messungen der Horizontalstrecke, des Zenitwinkels und des Horizontalwinkels. Zur Stützung der Richtung im unterirdischen Netz wird aufgrund von mehrjähriger praktischer Erfahrung jeweils nach 1km Vortrieb eine Kreismessung durchgeführt.

Zur Optimierung des unterirdischen Netzes werden am Messkonzept Variationen an der Konfiguration der Standpunkte, sowie Reduktionen am Beobachtungsplan vorgenommen.

Dazu wird die Anordnung des Musternetz 1 variiert. Das Musternetz 2 enthält zusätzlich übergreifende Messungen. Es werden Beobachtungen zum übernächsten und

vorletzten Standpunkt durchgeführt. Zudem wird die erste Reihe an Deformationspunkten, die über den vorletzten und den übernächsten Standpunkt hinausreicht, mit beobachtet. Für das Musternetz 3 und 4 variiert der Abstand der Standpunkte. Für das Musternetz 3 beträgt der Abstand der Standpunkte 60m und für das Musternetz 4 sind die Standpunkte im Abstand von 100m voneinander angeordnet.



Um den Kostenaufwand der Netze zu minimieren wird die Anzahl der Beobachtungen reduziert. Die in dieser Diplomarbeit vorgenommenen acht verschiedenen Arten von Reduktionen sollen im Folgenden kurz aufgezeigt werden:

- a: gegebener Beobachtungsplan
- b: gegebener Beobachtungsplan ohne Beobachtungen zwischen den Standpunkten
- c: gegebener Beobachtungsplan ohne Beobachtungen zu den Firstpunkten
- d: nur Beobachtungen zu jeder zweiten Deformationspunktreihe und zwischen den Standpunkten
- e: nur Beobachtungen zu den Deformationspunkten in der Firste und zwischen den Standpunkten
- f: Polygonzug
- g: Polygonzug mit übergreifenden Messungen
- h: gegebener Beobachtungsplan ohne Beobachtungen zwischen den Standpunkten und zu den Deformationspunkten in der Firste

Für die dabei entstehenden $4 \times 8 = 32$ Netzvarianten wird eine Netzplanung durchgeführt. Jede Netzvariante wird einmal mit und einmal ohne Kreismessung ausgeglichen.

Abschließend erfolgt die Analyse der Netzplanung anhand der Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsparameter aus der Ausgleichung, sowie unter Nutzung der Kostenrechnung und damit anhand wirtschaftlicher Aspekte.

Für die Tunnelvermessung spielen hauptsächlich zwei Genauigkeitsparameter eine entscheidende Rolle, die relative Durchschlagsgenauigkeit und die mittlere Koordinatengenauigkeit. Die wichtigsten Zuverlässigkeitsparameter sind die Redundanzanteile.

Eine Aufgabe der Tunnelmessung ist, dass sich die beiden Vortriebe mit einer vorgegebenen relativen Durchschlagsgenauigkeit treffen. Die vom Ingenieurbüro intermetric GmbH in der Regel zu realisierende relative Durchschlagsgenauigkeit beträgt 1cm/km.

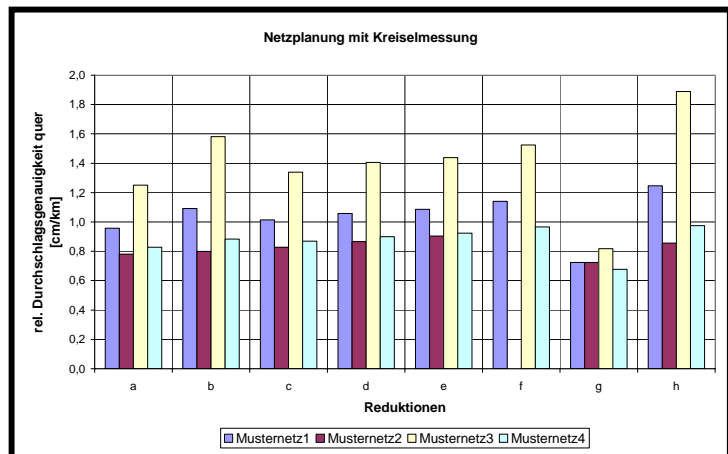
Die Ermittlung der Kosten bzw. des Zeitbedarfs für die einzelnen Musternetze und Reduktionen wurde vereinfacht vorgenommen. Aus den Personalkosten für den Außendienst, den Dienstleistungskosten der Kreismessung, die von einer externen Firma durchgeführt werden, sowie der Dauer der einzelnen Arbeitsschritte, die aufgrund von Erfahrungswerten und des Messprotokolls ermittelt wurden, wird die Gesamtdauer für eine Messung des unterirdischen Netzes bestimmt. Aus der Gesamtdauer kann dann wiederum, bei bekanntem Stundensatz, die Kosten für die Netzmessung berechnet werden. Für diese Diplomarbeit wird die Kostenrechnung nur anhand der Dauer der Netzmessung analysiert.

Analyse der Netzplanung:

Die Analyse der Netzvarianten hat gezeigt, dass Kreismessungen eine erhebliche Genauigkeitssteigerung mit sich bringen und bei den gegebenen Musternetzen nur durch den Einsatz einer Kreismessung die geforderte relative Durchschlagsgenauigkeit von 1cm/km eingehalten werden kann.

Betrachtet man den relativen Durchschlagsfehler mit Kreismessung für alle Variationen und Reduktionen so lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Je weniger Beobachtungen durchgeführt werden desto schlechter ist der Durchschlagsfehler.
Ausnahme: Reduktion g, dies ist auf die übergreifenden Messungen zurückzuführen.
- Das Musternetz 3 hat in jeder Reduktion im Vergleich zu den anderen Musternetzen den größten Durchschlagsfehler.
- Das Musternetz 2 weist innerhalb der Reduktionen a, b, c, d, e und h bzw. das Musternetz 4 innerhalb der Reduktionen f und g den kleinsten Durchschlagsfehler auf.
- Der kleinste Durchschlagsfehler wird für das Musternetz 4 und die Reduktion g erzielt.

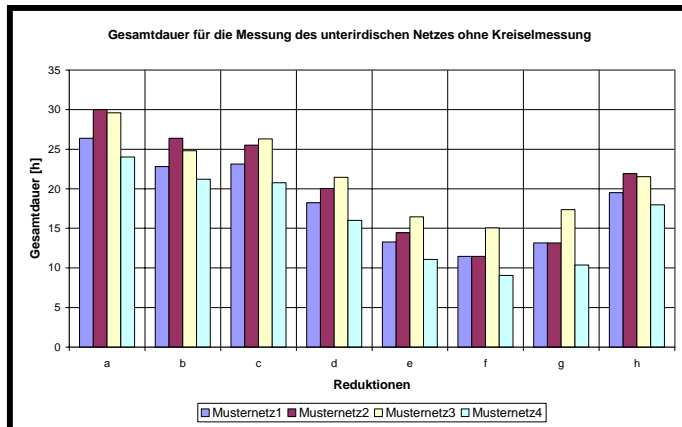


Dieses Verhalten zeigt sich auch für die mittlere Koordinatengenauigkeit. Die mittlere Koordinatengenauigkeit für Netzmessung mit Kreismessungen liegt im Bereich von ca. 2cm und 0,8cm. Aus diesem Grund wurde nicht weiter auf die mittlere Koordinatengenauigkeit eingegangen.

Fast alle Beobachtungen aller Musternetze und Reduktionen wiesen eine hohe Zuverlässigkeit von größer 30% auf. Nur die Beobachtungen zu Zielpunkten, die nahe an einem Standpunkt liegen, zeigten schlechte Zuverlässigkeitsparameter. Dies kann jedoch dadurch begründet werden, dass weitere Beobachtungen nichts zur Genauigkeitssteigerung und damit auch nichts zur Kontrolle dieser Beobachtungen beigetragen haben. Die standpunktnahen Beobachtungen weisen daher für die hier gegebenen Musternetze und Reduktionen immer eine schlechte Zuverlässigkeit auf, gerade weil sie genau gemessen werden können. Eine Verbesserung der Zuverlässigkeit für die standpunktnahen Beobachtungen durch Änderungen im Messkonzept

brachte ihrerseits wieder eine Verschlechterung der Genauigkeit und/oder einen erhöhten Kostenaufwand mit sich. So dass diese Varianten nicht weiter analysiert wurden und für die weiteren Betrachtungen für die Musternetze 1, 2, 3 und 4 akzeptiert wurde, dass die standpunktnahen Beobachtungen eine schlechte Zuverlässigkeit aufweisen.

Des Weiteren sollte das Musternetz unter Wirtschaftlichkeitsaspekten optimiert werden. Die Einsparungen im Zeit- und damit Kostenaufwand der einzelnen Musternetze



und Reduktionen konnten durch die Kostenanalyse nochmals verdeutlicht werden.

Die Differenz zwischen der zeitaufwändigsten Netzmessung und der Netzmessung mit dem geringsten Zeitaufwand liegt bei 20h. Wie durch die Aufgabenstellung der Diplomarbeit angenommen, ist der Zeit- und Kostenaufwand daher, ein für die Optimierung relevanter Faktor.

Ergebnis:

Unter allen Musternetzen und Reduktionen wurde das Musternetz 2e mit Kreismessung als das wirtschaftlichste Netz, das gleichzeitig die Genauigkeitsforderung einhält, ermittelt. Für das Musternetz 2e liegen allerdings nur Beobachtung zu den Deformationspunkten in der Firste und zwischen den Standpunkten vor. Für Deformationsmessungen interessieren in der Regel aber auch die Deformationen links und rechts an der Kalotte. Damit wurde unter diesen Bedingungen das Musternetz 2d mit Kreismessung als das wirtschaftlichste Netz ermittelt. Allerdings liegen für die Deformationsmessungen hier nur Werte im Abstand von 30m vor, da für das Musternetz 2d nur jede zweite Deformationspunktreihe beobachtet wird. Sollen nun für die Deformationsmessungen Werte im Abstand von 15m vorliegen, so zeigt sich das Musternetz 2h mit Kreismessung als das wirtschaftlichstes Netz. Für das Musternetz 2h ist jedoch zu beachten, dass Deformationspunkte nur links und rechts an der Kalotte vorliegen.

Müsste die Deformationsmessung nicht in die Netzmessung integriert werden, so wäre das Musternetze 1g bzw. das Musternetz 2g die wirtschaftlichste Netzvariante.

Abschließend lässt sich daher feststellen, dass wenn die Deformationspunkte in die Netzmessung mit eingebunden werden sollen, das Musternetz 2h das wirtschaftlichste Netz bildet. Die Standpunkte sollten daher 80m voneinander entfernt liegen. Die Beobachtungen sollten zu den Deformationspunkten links und rechts an der Kalotte, zwischen dem vorherigen und dem nächsten Standpunkt, sowie zur ersten Reihe an Deformationspunkten, die über den vorletzten und den übernächsten Standpunkt hinausreicht, durchgeführt werden.

