
VR-gestützte Planung von geodätischen Netzmessungen

Peter BAUER und Werner LIENHART

Technische Universität Graz · peter.bauer@tugraz.at

Zusammenfassung

Die Planung eines Messkonzepts für ein Monitoringprojekt steht in der heutigen Zeit vor großen Herausforderungen. Abseits der mathematischen Gesichtspunkte verlangen immer komplexer werdende Bauprojekte eine intensive Machbarkeitsstudie und auch unter anderem die Berücksichtigung von ästhetischen Aspekten. Die Schwierigkeit besteht darin, bereits vor Baubeginn und ohne physische Anhaltspunkte das fertige Konzept mit allen Einzelheiten zu definieren.

Abhilfe schaffen hier dreidimensionalen Planungsgrundlagen. In vielen Fällen ist die adäquate Repräsentation des Bauprojekts durch 2D-Pläne nicht mehr gewährleistet, daher sind oftmals detaillierte 3D-Modelle der Konstruktion und des geplanten Innenausbauwerks bereits verfügbar. Diese 3D-Modelle sind unerlässlich für ein erfolgreiches Netzdesign.

Mit konventioneller geodätischer Software stößt man aber bei komplexen 3D-Modellen sehr schnell an die Grenzen der Software. Gibt es viele überlappende Ebenen oder sind große Teile des Projekts überdacht beziehungsweise Untertage so ist eine einfache Handhabung der Daten schwierig. In diesen Fällen erweisen sich das Wegblenden einzelner Regionen oder das Anlegen von Schnitten durch das Modell als sehr zeitintensiv und führt nur bedingt zu einem zufriedenstellenden Ergebnis.

Ein neuer Zugang besteht darin, die Planungsgrundlagen als VR-Applikation zu modellieren und damit den Benutzer direkt in die 3D-Umgebung zu setzen. Dies eröffnet nicht nur einen einfacheren Blickwinkel auf die Situation, sondern gibt dem Benutzer auch einen besseren Eindruck von den örtlichen Gegebenheiten. Der Benutzer kann sich frei im Modell bewegen, auf eine Auswahl an vordefinierter Vermessungsausrüstung zurückgreifen und sie an Ort und Stelle platzieren. Ähnlich wie der erfahrene Geodät auch vor Ort in einer realen Umgebung agieren würde. Diese Umsetzung in einer virtuellen Umgebung ermöglicht bereits in der Planungsphase die Berücksichtigung von Montagevorrichtungen, die Dimensionen der Komponenten und auch die optimale Orientierung von Prismen.

1 Planung von Messkonzepten

Zu Beginn jeder längerfristigen Messplanung sollte eine Besichtigung des Aufgabengebietes vor Ort durchgeführt werden, um einen persönlichen Eindruck der Problemstellung zu erhalten und die Kommunikation mit den beteiligten Personen sicherzustellen. Für die weitere Detailplanung und Festlegung der Standpunkte, Visuren und Monitoringpunkte werden aber

zusätzliche digitale Planungsunterlagen benötigt. Diese werden meist im Büro verarbeitet, da vor Ort die Szenerie meist nur oberflächlich und subjektiv erfasst werden kann.

Hier richtet sich der Detailgrad der Planungsunterlagen nach dem Komplexitätsgrad der Messaufgabe und definiert auch somit die benötigte Funktionalität der Planungssoftware.

In Abbildung 1a wird eine einfache Messsituation gezeigt, wie sie im Freiland oder im Gebirge auftreten kann. Es herrscht ein simples Gelände vor, welches sich durch 2.5D-Freiformflächen leicht modellieren lässt, es ist ausreichend Platz für die Positionierung der Standpunkte vorhanden und ein Großteil der Sichthindernisse lassen sich vor Ort abschätzen.

Die Verfügbarkeit von Digitalen Geländemodellen (DGM) und Oberflächenmodellen (DOM) hat in den letzten Jahrzehnten rapide zugenommen, so stehen diese Basisdaten in vielen Bereichen bereits frei zur Verfügung. Diese Daten können mit konventioneller 3D-Software verarbeitet werden, um manuell Schnitte anzulegen und Kollisionen von Visuren mit dem DGM oder dem DOM zu überprüfen. Eine hochgenaue Definition der Instrumentenhöhen und Zielhöhen ist aufgrund des breiten Platzangebotes für diese manuellen Schnitte meist nicht zwingend notwendig.

Im Gegensatz dazu ist in Abbildung 1b eine komplexere Messsituation dargestellt. Zum einen können die überlappenden 3D-Geometrien mit konventionellen 3D-Viewern in ihrer Gesamtheit nur schwer abgedeckt werden und die hohe Anzahl an Visuren zu den Monitoringpunkten und zu Referenzpunkten gestalten das manuelle Anlegen von Schnitten als sehr aufwendig. Zum anderen muss die Messplanung durch das stark begrenzte Platzangebot einen erhöhten Detailgrad aufweisen, damit die Visuren noch garantiert werden können, wenn das Konzept in die Wirklichkeit übertragen wird. Hier müssen bereits in der Konzeptphase die endgültigen Zielhöhen und Ausrichtung der Prismen, die Dimensionen und Montagemöglichkeiten der Vermessungsgeräte und auch die nötigen Kabelführungen für die Versorgung genau definiert werden.

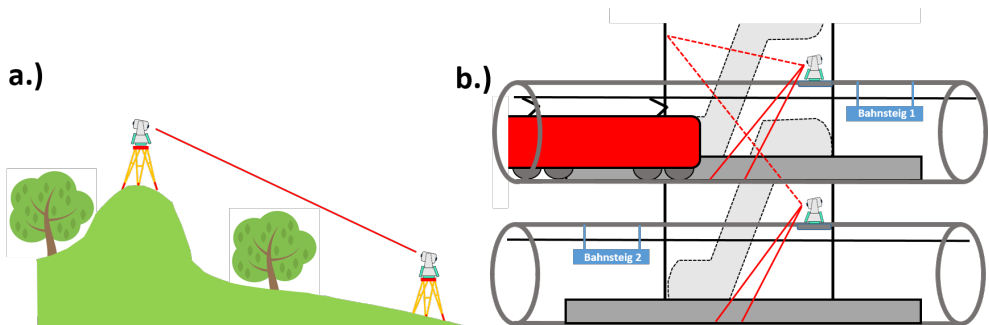


Abb. 1: Schematische Darstellung von einer Messsituation a) im Freiland und b) in einem Bauwerk

Hier besteht durch moderne Entwicklungsumgebungen die Möglichkeit die Messplanung von den meist zweidimensionalen Ansätzen direkt auf das 3D-Modell zu verlagern und in 3D zu betrachten. Das bietet nicht nur die Möglichkeit den Detailgrad der Planung zu erhöhen, sondern auch zukünftige Strukturen zu berücksichtigen, da hier auf die 3D-Modelle von Architekten und Planern zurückgegriffen werden kann.

Dies birgt auch gleichsam die größte Herausforderung für die Zukunft, denn mit dieser Art der Konzeptplanung steigen die Ansprüche an das zugrunde liegende 3D-Modell, welches bis jetzt in der Architektur oft nur den Ansprüchen der Visualisierung genügen musste, jedoch liegen aufgrund des vermehrten Einsatzes von BIM immer mehr detaillierte 3D-Modelle von der Planung vor (DVW 2017).

2 Virtual Reality und Gamification

Die immer größere Gewichtung von 3D-Daten in der Geodäsie fordert die erhältlichen Softwarelösungen. Die Unterhaltungsindustrie besitzt hier eine Vielzahl an Konzepten und Erfahrungswerten wie am besten mit 3D-Inhalten interagiert wird und setzt dabei auch Maßstäbe. Daher werden immer mehr Konzepte aus der Welt der Videospiele auf technische Inhalte angewendet. Dieser Trend ist als Gamification bekannt (DETERDING et al. 2011).

Entwicklungsumgebungen, welche für die Erstellung von Videospielen konzipiert waren, setzen sich in der Forschung und Entwicklung immer weiter durch, da sie ein objektorientiertes Umfeld bieten um 3D-Modelle adäquat einzubinden und über Code-Schnittstellen miteinander zu verknüpfen. Darüber hinaus lassen sich in diesen Entwicklungsumgebungen leicht Bezugssysteme realisieren und es existieren Physiksysteme für z. B. Gravitation, Licht und Schatten und Kollisionen zwischen Objekten.

Der entscheidende Faktor aber ist, dass in diesen Umgebungen über Schnittstellen Technologien wie Virtual Reality und Augmented Reality eingebunden werden können und somit neue Ansätze für die Interaktion mit Daten erforscht werden können.

Dabei kann auf erprobte Bausteine für Menüführung und Navigation in 3D-Daten aus der Videospielindustrie zurückgegriffen werden. Dieser Prozess des Anwendens von Konzepten aus der Videospielwelt auf komplexe technische Anwendungen wird „Gamification“ genannt und ist ein Prozess, welcher beinahe alle Bereiche der heutigen Gesellschaft betrifft.

Vor allem die Virtual Reality birgt das Potenzial mit den immer komplexer werdenden 3D-Modellen umgehen zu können. Der Begriff Virtual Reality (VR) beschreibt ein System, das dazu benutzt wird, dreidimensionale Inhalte einer Person aus der „Ich“-Perspektive zugänglich zu machen damit der Benutzer 3D-Sachverhalte erleben kann als wäre er vor Ort. Der Nutzer kann über einen Monitor, der am Kopf fixiert wird, in die Simulation eintauchen. Dabei wird permanent die Position und Orientierung dieses Head Mounted Display (HMD) von einem Positionierungssystem entweder über outside-in tracking (Abb. 2b) oder inside-out tracking (Abb. 2c) bestimmt. Über Peripheriegeräte, wie z. B. Controller oder mit Gestensteuerung, kann mit den Daten interagiert werden. In Abbildung 2a sind exemplarische die Komponenten eines gängigen VR-Systems dargestellt, welches auf dem Konzept des outside-in trackings mit Basisstationen basiert

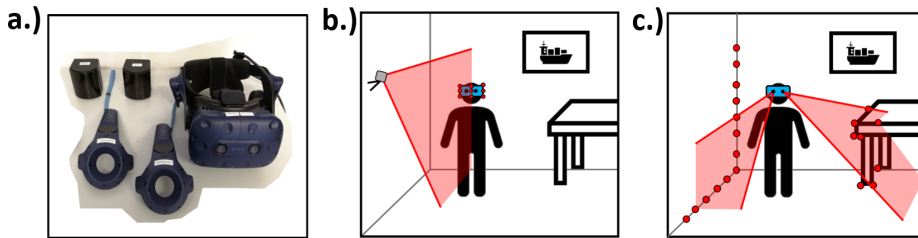


Abb. 2: a) Komponenten des VR-Systems HTC Vive Pro und Schema des b) outside-in trackings und c) des inside-out trackings

Je nach Anwendung muss entschieden werden, ob Basisstationen im Raum für eine höhere Genauigkeit montiert werden sollen, oder ob das einfache Setup eines inside-out trackings (hier befindet sich die gesamte Sensorik am HMD) ausreicht.

In der Virtual Reality werden rein virtuelle Inhalte dem Benutzer vermittelt und sie unterscheidet sich somit von der *Augmented Reality* (AR) wo die virtuellen Inhalte als Overlay der Wirklichkeit dienen. Werden reale und greifbare Objekte in der Simulation sowohl in VR als auch in AR miteinbezogen spricht man in beiden Fällen von Mixed Reality (MR) (MILGRAM & KISHINO 1994).

3 Integration von VR in eine geodätische Netzplanung

Die Herausforderung bei der Anwendung von Konzepten aus der Unterhaltungsindustrie auf technische Inhalte ist, dass sie für andere Funktionalitäten entworfen wurden. Bei technischen Softwarelösungen herrschen Eingabemasken in tabellarischer Form vor, welche mit Maus und Keyboard leicht befüllt werden können. Im Gegensatz dazu sind die meisten Interaktionskonzepte in der Welt der Videospiele objektorientiert und werden durch Schalter, Spracherkennung oder Augenkontakt ausgeführt.

Aus diesem Grund lassen sich geodätische Softwarelösungen nicht 1:1 in die Virtual Reality übertragen ohne grundlegend die mathematische Interaktion mit Messdaten neu zu definieren.

Es gibt aber Arbeitsschritte im Ablauf einer geodätischen Planung in denen gerade dieser objektorientierte Ansatz gefragt ist und die mathematische Interaktion auf das nötige Minimum reduziert werden kann. Es ist daher zielführender Symbiosen und Schnittstellen zu schaffen, anstatt ein künstliches Bedienungskonzept aufzuzwingen, um auch den Experten seiner gewohnten Arbeitsumgebung nicht zu entreißen.

Die Verwendung der Virtual Reality Technologie bringt den größten Nutzen, wenn sie zu einem der interaktiven Teil der Netzplanung wird, siehe Abbildung 3. Hier können in der VR-Simulation Näherungskoodinaten für ein Netzdesign auf Basis detaillierter 3D-Modelle erstellt werden. Dies bietet den Vorteil, dass diese Vorplanung aus technischer Sicht schon in die Realität übertragbar wäre. Damit ist sichergestellt, dass nur mit Netzanordnungen gearbeitet wird, welche auch durchführbar sind. Für die Optimierung des Netzdesigns wird das

aktuelle Design im Anschluss aus der VR-Simulation exportiert und kann in die gewohnte Software-Umgebung importiert werden.

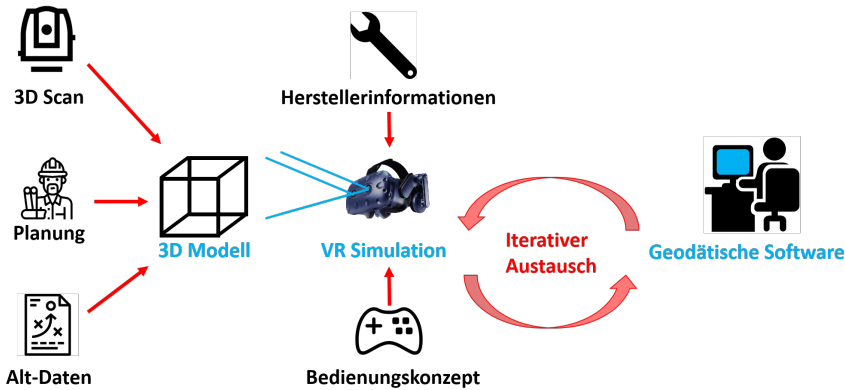


Abb. 3: Workflow für komplexe 3D-Netzplanung mit VR-Unterstützung

Nach der Optimierung sollte das vorläufige Netzdesign wieder in die VR-Simulation importiert werden um zu sehen ob das optimierte Konzept noch umsetzbar ist und auch um die Montage der einzelnen Komponenten genauer zu planen. Dieses Vorgehen kann durchaus ein iterativer Prozess sein bis eine passende Lösung gefunden wird. Deshalb wird davon auch der Einsatz der VR-Technologie in der Geodäsie abhängen, ob diese Schnittstelle in Zukunft softwareseitig von den Herstellern zufriedenstellend gelöst wird.

4 Umsetzung einer geodätischen VR-Planungssoftware

4.1 Geodätische VR-Software

In der Geodäsie gibt es einige wenige Erfahrungen mit Virtual Reality, vor allem im Zusammenhang mit Schulung und Ausbildung von Azubis. So wurde zu diesem Thema im Juli 2020 von der Michigan Technological University eine VR-Software vorgestellt, in der Studierende „virtuelle Außendienstlerfahrung“ mit Vermessungsgeräten sammeln sollten (LEVIN et al. 2020).

Für den wirklichen Einsatz von VR-Technologie in einem geodätischen Arbeitsablauf über die Visualisierung hinaus existierten noch keine Vergleichswerte. Um den in Abbildung 3 skizzierten Workflow auf Praxistauglichkeit untersuchen zu können, musste daher zuerst in einer Game-Engine, in unserem Fall Unity, eine experimentelle Software eigens hierfür entwickelt werden

4.2 Produktkatalog

Als Basis für diese geodätische VR-Simulation wurden zuerst alle benötigten Komponenten in 3D modelliert und in Unity eingebunden. Für diesen Schritt wurde für die 3D-Modellierung teilweise auf verfügbare 3D-Modelle zurückgegriffen (z. B. Sketchfab) und nach Bedarf entsprechend den Konstruktionszeichnungen der Hersteller neu konstruiert. Die Objekte

wurden mit Attributen versehen und auch mit entsprechenden Funktionalitäten ausgerüstet, wie bewegliche Stativbeine oder die Gelenke der Konsolen.

Die universelle Einsetzbarkeit der VR-Software wäre dann gegeben, wenn ein standardisiertes Austauschformat mit den Herstellern erstellt werden würde. Der anschließende Austausch von funktionalen 3D-Modellen mit Attributen mit einer Game-Engine ist aber eine Problemstellung, die bereits von BIM-Anwendungen bekannt ist. Hier sei an dieser Stelle an die Lösungsansätze aus diesem Bereich verwiesen (CHEN et al. 2020).

Für die Evaluierung des Konzepts einer VR-Planung wurden bis jetzt eine Totalstation ein Laserscanner und mehrere Möglichkeiten der Stabilisierung implementiert. So ist grundsätzlich die Postierung auf einem Stativ, zwei verschiedenen Konsolen und einem Vermessungspfeiler möglich. Als Ziel Typ steht ein Miniprisma zur Verfügung, welches auf einer Zwangszentrierung oder über einen Bolzen an/auf einer allgemeinen Fläche positioniert werden kann (Abb. 4).

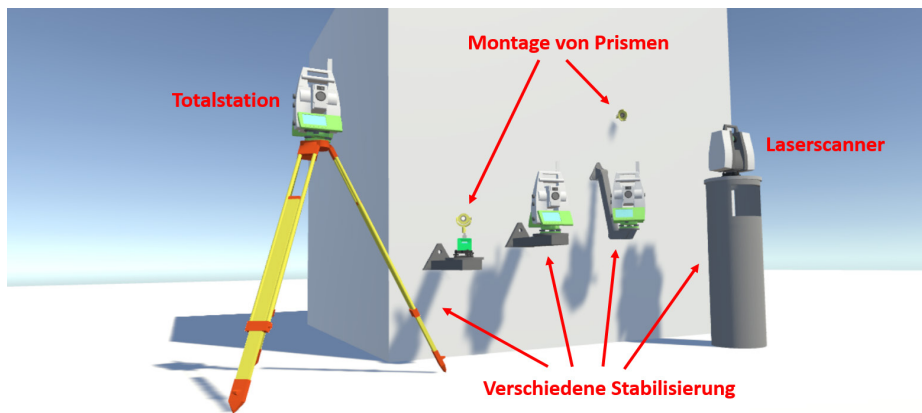


Abb. 4: Einsetzbare Vermessungsausrüstung in der VR-Planungssoftware

4.3 Navigation, Menüführung und Interaktion

Ein Großteil der VR-Systeme unterstützt 6 Freiheitsgrade, daher kann die Bewegung und die Orientierung des Kopfes (Sichtfeld) direkt auf das 3D-Modell übertragen werden. Hier ist die Raumgröße der limitierende Faktor für die Benutzerbewegung. Um auch eine Navigation in den Daten darüber hinaus zu ermöglichen werden Controller benötigt.

Ein Controller gibt dem Benutzer die Möglichkeit mit dem 3D-Modell zu interagieren. Der Controller wird in der Hand geführt und besitzt Tasten/Touchpads die mit den Fingern betätigt werden können. Auch werden die 6 Freiheitsgrade der Bewegung für dieses Peripheriegerät erfasst, was das Zeigen auf Objekte und Schalter ermöglicht. Unterstützt wird dieses Zeigen durch einen virtuellen Laserpointer. Im Anschluss an das Auswählen mit dem Laserpointer wird die Aktion durch Tastendruck bestätigt.

Die einfachste Form der Navigation ist das Teleportieren durch die Daten. Mit dem Laserpointer wird auf einen gewünschten Ort gezeigt und durch Tastendruck verändert sich umgehend der Standpunkt. Dieses Konzept ist die bevorzugte Navigationsmethode der Unter-

haltungsinstrumente, da hier das Problem der Motion Sickness geringgehalten werden kann (CHANG et al. 2020). Die Langzeitnutzung wird drastisch erhöht, weil der Benutzer weniger Unwohlsein verspürt. Dafür gibt es hier eine Einschränkung in der freien Bewegung und gleichsam mit dem realistischen „Erleben“ des 3D-Modells.

Im Gegensatz dazu steht das freie Fliegen durch das Modell. Dies bietet vor dem Gesichtspunkt der Betrachtung die meisten Möglichkeiten. Jedoch ist die Langzeitnutzung hier drastisch eingeschränkt, da sich Motion Sickness rasch einstellt.

Ein Mittelweg ist das Navigieren am Modell über die Controller. Ein vorwärts und seitwärts bewegen entlang des Modells erfolgt über das Betätigen des Touchpads am Controller. Dies führt zum praktikabelsten Ergebnis, da durch die freie Bewegung die Benutzererfahrung realistisch bleibt und das Unwohlsein durch geringe virtuelle Beschleunigungen gemindert werden kann. Neben der Navigation werden die Controller auch für die Interaktion mit der Simulation genutzt. Alle implementierten Methoden können in einem Aktionsmenü am Controller (siehe Abb. 5) ausgewählt werden. Die Statusmeldungen und Attribute der Objekte können ebenso durch Auswahl mit dem Laserpointer abgerufen werden.



Abb. 5: Menüführung zur Auswahl von Elementen aus dem Produktkatalog

4.4 Geodätische Funktionalität der Software

Die Vermessungsausrüstung kann über die Auswahl im Menü über den Laserpointer im Modell platziert werden. Dabei interagiert das platzierte Objekt mit dem 3D-Modell und den bereits vorhandenen Objekten. So passen sich die Beine des Statives dem Gelände an oder die Auslenkung der Gelenke der Konsole wird entsprechend angepasst.

Beim Setzen von Totalstationen und Prismen können diese miteinander verbunden werden, um die Visurlinien abzubilden. Mit dem Anlegen der Visuren wird auch die Hierarchie der Ziele als Objektpunkt oder als Referenzpunkt bestimmt. Auch Visuren zwischen Standpunkten sind möglich um Polygonzüge abzubilden.

Der Vorteil dieser Software ist, dass die angelegten Visuren automatisch geprüft werden, ob sie den implementierten Rahmenbedingungen entsprechen. Somit bekommt der Benutzer direkt nach dem Setzen eines Prismas die Information über etwaige Probleme mit der Konfiguration und kann seine Platzierung entsprechend verändern.

In Abbildung 6 wird eine Totalstation auf einem Vermessungspfeiler gezeigt und die entsprechenden Referenzmessungen zu den Anschlusszielen. Die gültigen Visuren werden in Blau dargestellt. Weiterhin ist zu sehen, dass die Visur welche mit dem 3D-Modell kollidiert in Rot hervorgehoben wird.

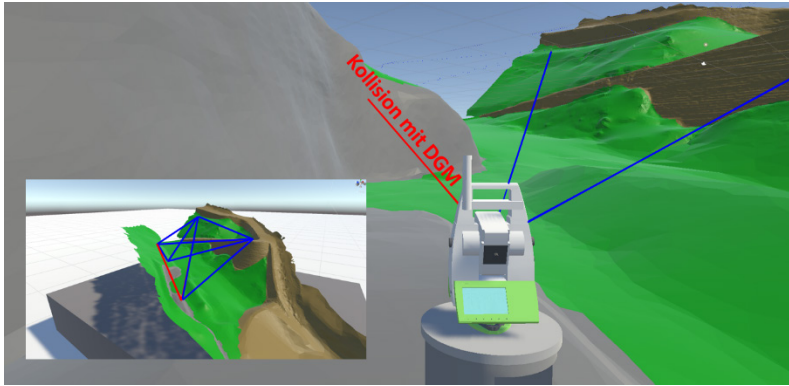


Abb. 6: Automatisierte Visurkontrolle in der VR-Planungssoftware

In dieser 3D-Umgebung ist aber auch möglich die Qualität der Visuren aufgrund sensorischer Effekte zu beurteilen. Es ist bekannt, dass die Orientierung des Prismas und der resultierende Einfallswinkel der Visurline eine signifikante Auswirkung auf die Genauigkeit der Messungen haben (LACKNER & LIENHART 2016). Wird daher ein Prisma von mehreren Standpunkten eingesehen ist die Orientierung des Prismas im Raum entscheidend für die Messgenauigkeit. Hier kann auf Basis der Netzgeometrie eine ideale Ausrichtung auf die mittlere Position aller relevanten Standpunkte berechnet werden. In Abbildung 7 ist eine typische Kennlinie einer Prismenverdrehung eines Miniprismas Typ GMP101 mit einem TM50 bei ca. 25 m abgebildet. Auf Basis solcher Kennlinien kann anschließend ein Schwellwert definiert werden, ab welchem Einfallswinkel eine Visur für ungültig erklärt wird, da sie die Genauigkeitsanforderungen nicht mehr erfüllt.