

F. K. Brunner und H. Woschitz

Die selbstleuchtende Nivellierlatte

Der Beitrag beschreibt die Möglichkeit, eine selbstleuchtende Nivellierlatte mittels elektrolumineszierender Folien zu realisieren. Durch die homogene Ausleuchtung des Lattencodes ist eine Genauigkeitssteigerung der Ablesungen gegenüber einer externen Beleuchtung zu erwarten.

Selbstleuchtende Nivellierlatte, elektrolumineszierende Folien, Lattenbeleuchtung

1 Einleitung

Bei Höhenübertragungen in Innenräumen, Tunnel und Stollen sowie bei Nacharbeiten im Freien (z.B. Höhenmessungen bei der Erstellung von Bahntrassen der Bauart „Feste Fahrbahn“) ist eine künstliche Beleuchtung der Nivellierlatten unumgänglich. Digitale Nivelliersysteme benötigen eine gleichmäßige Ausleuchtung des vom CCD Array erfassten Lattenabschnittes. Zudem muss die Lattenbeleuchtung die für den Abbildungsprozess am CCD notwendigen Lichtwellenanteile (z.B. NIR) enthalten.

Wegen der unvermeidbaren Arbeiten im Dunkeln existieren natürlich bereits eine Reihe von Einrichtungen zur künstlichen Lattenbeleuchtung. Beispielsweise wird von Solexperts eine sehr effiziente Technik verwendet, bei der direkt neben dem Digitalnivellier eine Lichtquelle angebracht ist (KEPPLER et al., 1996). Verbunden mit dem Zielvorgang wird die Latte mit dem Scheinwerfer beleuchtet. Diese Technik hat für die automatisierte untertägige Deformationsmessung den Vorteil, dass die Beleuchtung und die Stromversorgung nur einmal, nämlich am Nivellierstandpunkt, vorhanden sein muss. Ist der

Scheinwerfer korrekt justiert, wird das Lattenbild symmetrisch zur Zielinie des Nivelliers ausgeleuchtet. Bei Verwendung dieser Technik bei nichtstationären Messungen besteht, vor allem bei längeren Visuren, ein Nachteil darin, dass das Scheinwerferlicht eine sehr große Distanz (Nivellier/Scheinwerfer – Latte – Nivellier/CCD) zurücklegen muss. Wegen der mit der Distanz quadratisch abnehmenden Lichtstärke ist eine entsprechend hohe Leuchtstärke des Scheinwerfers notwendig, die wiederum entsprechende Anforderungen an die Energieversorgung stellt, und dadurch den Arbeitsablauf beim Nivellierstandpunkt beeinträchtigt.

Zur Verkürzung der Distanz, die das Licht der Beleuchtungseinrichtung zurücklegen muss, wurden Lattenbeleuchtungen im Nahbereich des Lattenkörpers entwickelt. Diese werden entweder nahe der Latte aufgestellt oder direkt an den Lattenkörper angebracht. Hierfür werden beispielsweise Leuchtstofflampen verwendet, wie es auch von Trimble (Zeiss) für das DiNi empfohlen wurde (ZEISS, 1997). Der Vorteil von aufsteckbaren Sonderbeleuchtungen ist die Verwendbarkeit von konventionellen Latten. Jedoch erschweren die zum Teil voluminösen und fragilen Beleuchtungseinrichtungen und die mobile Stromversorgung bei der Latte das Hantieren mit den Latten und beeinträchtigen in jedem Fall den Arbeitsablauf.

Von Leica wird eine Lattenbeleuchtung mit einer aufsteckbaren Halogenlampe angeboten. Das Lattenbild wird schräg, wahlweise von oben oder unten, angestrahlt (LEICA, 1994). Mit dem NA3003 sind damit Messungen bis zu einer Reichweite von 40 m möglich. Allerdings verursacht die einseitige, schräge Anstrahlung inhomogene Beleuchtungsverhältnisse. Ingensand (2001) hat diese Problematik untersucht und systematische Verfälschungen der Höhenresultate festgestellt. Die radiometri-

sche Korrektur der Pixelbilder in der Bildverarbeitungssoftware des Nivelliers verbessert diese Situation im allgemeinen.

Ein Bedarf von beleuchteten Nivellierlatten ist daher klar vorhanden. Allerdings haben die bekannten Lösungen gewisse Mängel, die durch die von uns erstmals vorgeschlagene innovative Lösung mit selbstleuchtenden Codeelementen beseitigt werden können. Wir haben daher in einer Machbarkeitsstudie die Nutzbarkeit von elektrolumineszierenden Folien für eine selbstleuchtenden Nivellierlatte untersucht. Im Kapitel 2 werden einige Grundlagen über elektrolumineszierende Folien gebracht. Anschließend werden im Kapitel 3 verschiedene Vorschläge für die selbstleuchtende Nivellierlatte vorgestellt. Einen ersten Eindruck gibt Abb. 1. Die Leistungsfähigkeit wurde mit Funktionsmustern und Untersuchungen mit dem Vertikalkomparator für digitale Nivelliersysteme der TU Graz (WOSCHITZ und BRUNNER, 2003) überprüft. Abschließend werden im Kapitel 4 einige Gedanken zur serienmäßigen Realisierung diskutiert.

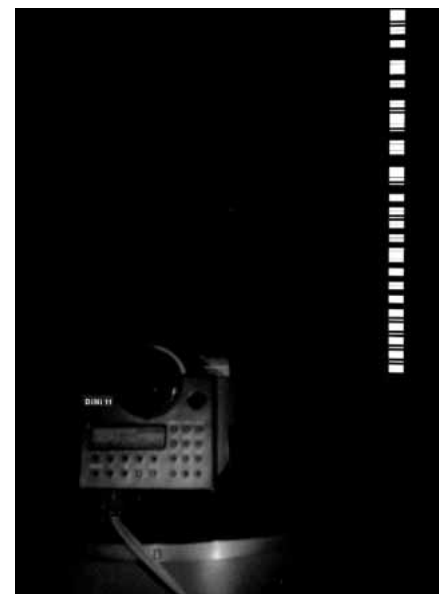


Abb. 1: Die selbstleuchtende Nivellierlatte mit angeleuchtetem DiNi11

2 Das Leuchtmaterial: Elektrolumineszierende Folien

2.1 Allgemeines

Ein atomares System geht in ein höheres Energieniveau über, wenn Energie zugeführt wird. Beim nachfolgendem Rückgang zu einem niedrigeren Energieniveau kann das System elektromagnetische Strahlung erzeugen. Der Strahlungsprozess wird Lumineszenz und, falls die Energiequelle ein elektrisches Feld ist, *Elektrolumineszenz (EL)* genannt (CHADHA, 1993, S. 159). Die Eigenschaft der EL von Phosphorpigmenten wurde bereits 1936 von George Destriau entdeckt. Die Probleme mit dieser Leuchttechnik lagen in der Kurzlebigkeit der damals verfügbaren Phosphore, der geringen Lichtausbeute und im Fehlen transparenter Elektroden (INOUCHI und MITO, 1977, S. 197). Seit wenigen Jahren ist es aber möglich, Leuchtschichten mit langer Lebensdauer herzustellen (INOUCHI, 1977, S. 197), und damit auch große Leuchtflächen zu realisieren. Durchgesetzt haben sich in Dickschichttechnik hergestellte EL-Folien, die mit dem elektrischen Feld einer Wechselspannung angeregt werden.

Eine EL-Folie besteht im Prinzip aus drei Schichten: Der hinteren Leitschicht, der dünnen Leuchtschicht (Dicke < 0.01 mm) und der transparenten vorderen Leitschicht (HENISCH, 1962, S. 6). Zwischen diesen Schichten können noch weitere Hilfsschichten wie z. B. Isolierschichten, Farbschichten oder eine Reflexionsschicht angeordnet sein, siehe Abb. 2. Zum Schutz vor Feuchtigkeit (vor allem der Leuchtschicht), wird die EL-Folie in transparente Kunststoffschichten einlamiert. Bei (anorganischen) EL-Folien ist die sogenannte Phosphorschicht die essentielle Leuchtsubstanz, die meist

aus Zinksulfid (ZnS) besteht. Da reines ZnS nicht zum Leuchten angeregt werden kann (CHADHA, 1993, S. 170), werden in der Regel Aktivatoren wie z. B. Mangan oder Kupfer beige-mischt. Die Anregung erfolgt durch Stoßionisation der Aktivatoren in den Kristallen der Leuchtpigmente (KRYSTEK, 1993, S. 661). Neben ZnS können noch andere Leuchtstoffe, wie z. B. ZnSe oder AlAs, verwendet werden. Die Phosphorschicht verliert mit zunehmender Betriebsdauer ihre Leuchtkraft, weswegen die Lebensdauer einer EL-Folie als Halbwertszeit angegeben wird.

Durch Mischung verschiedener Phosphore kann sowohl das Emissionsspektrum des abgestrahlten Lichtes und dessen Helligkeit verändert, als auch die Lebensdauer beeinflusst werden. Einen Einfluss auf diese Größen haben auch die Spannung und die Frequenz der Stromversorgung. Einfach zu realisierende Leuchtfarben sind z. B. grün, blau, gelb, rot oder infra-rot. Obwohl weißleuchtende Pigmente erst in der Entwicklung sind, können durch Mischung von unterschiedlichen Pigmenten schon heute weißleuchtende EL-Folien durch Überlagerung der einzelnen Emissionsspektren erzeugt werden. Einfluss auf die abgestrahlte Farbe kann auch durch zusätzliche Farbschichten im Aufbau der EL-Folie genommen werden.

Für die Anwendung ist weiters von Interesse, dass EL-Folien Lambert-Strahler sind, d. h. die Leuchtdichte der von der Folie ausgehenden Strahlung unter jedem Blickwinkel gleich ist.

2.2 Eigenschaften der verwendeten EL-Folie

Die von uns verwendete EL-Folie wird von Lumitech (Austria) hergestellt. Die Leuchtschicht besteht hauptsächlich aus nichttoxischen Zinksulfiden. Die beige-mischten Pig-

mente bewirken, dass die EL-Folie weißlich leuchtet. Abb. 3 zeigt die Intensitätsverteilung mit der Wellenlänge des abgestrahlten Lichtes der EL-Folie bei der gewählten Speis-spannung von 255 VAC und einer Frequenz von 530 Hz. Weitere Kennwerte für die verwendete EL-Folie sind (Firmenangaben):

Betriebstemperatur:

– 20 °C bis + 50 °C

Lebensdauer (Halbwertszeit):

ca. 3000 h

Leuchtdichte:

65 cd/m²

Leistungsaufnahme:

ca. 3.5 mW/cm²

Die verwendete EL-Folie ist gegen Feuchtigkeit geschützt, hat aber eine gewisse UV-Lichtempfindlichkeit. Dieses Problem könnte durch einen adaptierten Aufbau der EL-Folie mit einer weiteren Schutzschicht gelöst werden.

Wir haben einen 31 mm breiten und 0.6 mm dicken Folienstreifen gewählt. Aufgrund seines Aufbaus (durchgehende Kontaktierung über die gesamte Länge mittels zweier paralleler, ca. 0.2 mm dicken, Aluminiumstreifen, die in der Mitte der Folie voneinander isolierend getrennt sind) erzeugt dieser eine homogene Leuchtfläche von 25.4 mm Breite. Die Länge des EL-Streifens kann innerhalb der für Nivellierlatten interessanten Längen beliebig gewählt werden und betrug bei unseren Versuchs-Latten 2.0 m. Die Stromversorgung erfolgt mit einem Akkumulator und einem entsprechenden Wechselrichter. Die Stromaufnahme des gewählten Folienstreifens wurde bei 12 VDC gemessen und beträgt inklu-

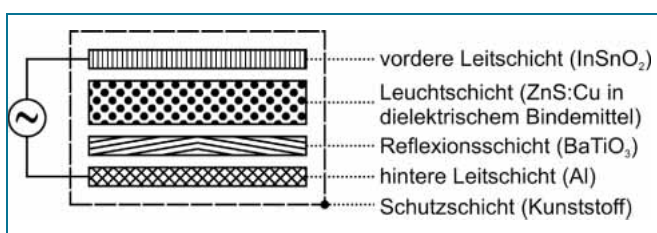


Abb. 2: Schematischer Aufbau einer EL-Folie (nach CHADHA, 1993, S. 162)

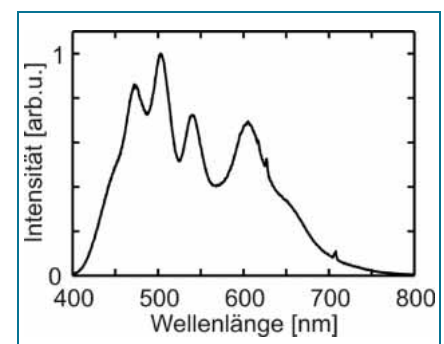


Abb. 3: Gemessene Intensität – Wellenlängenverteilung der EL-Folie bei 255 VAC und 530 Hz

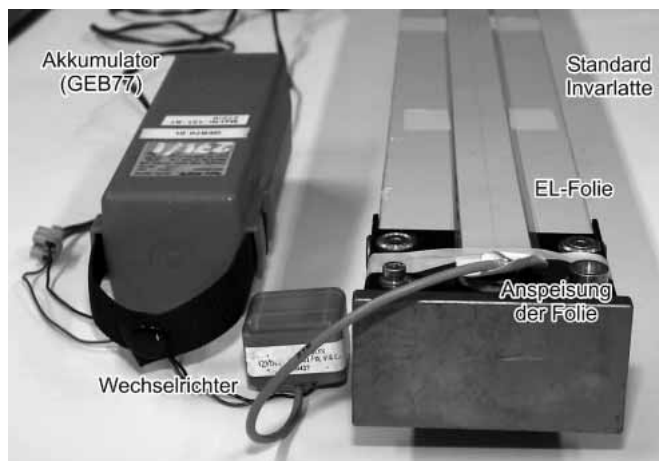


Abb. 4: EL-Folie mit Wechselrichter und Akkumulator

sive des Verlustes des Wechselrichters 0.2A. Ein Eindruck über die EL-Folie und die Größe des verwendeten Wechselrichters wird durch Abb. 4 vermittelt.

Für die EL-Folie wird vom Hersteller der Ausdehnungskoeffizient mit ca. 20 ppm/K in Längsrichtung und ca. 16 ppm/K in Querrichtung angegeben. Hier soll angemerkt werden, dass der Ausdehnungskoeffizient der EL-Folie nahe dem Wert für Aluminium (ca. 24 ppm/K) liegt. Aufgrund des großen Koeffizienten haben wir auch das Aufwärmverhalten nach dem Einschalten der EL-Folie untersucht. Neben der homogenen Helligkeit in Längsrichtung der EL-Folie wird auch eine homogene Wärmeverteilung über die Folienfläche erzeugt. Nach ungefähr 2 h Betrieb hat sich die Folie um 1 K erwärmt und bleibt danach auf konstanter Temperatur.

3 Selbstleuchtende Nivellierlatte

3.1 Konstruktionsmöglichkeiten

Die neue Idee besteht nun darin, die Nivellierlatte nicht wie bisher zu beleuchten, sondern direkt die „weißen“ Felder des Lattencodes mittels einer EL-Folie „zum Strahlen“ zu bringen: eine *selbstleuchtende Nivellierlatte*. Zur Zeit sehen wir zwei ökonomisch realisierbare Möglichkeiten, eine selbstleuchtende Nivellierlatte herzustellen: a) die EL-Folie direkt mit den schwarzen Codeelementen zu „bedrucken“, oder b) das schwarze Lattenbild als Maske vor der EL-Folie zu gestalten.

Die **Bedruckung** der EL-Folie könnte direkt im Siebdruckverfahren hergestellt werden. Dabei kann eine Positionstoleranz von 0.2 mm eingehalten werden (W. FISCHER, 2001, persönliche Mitteilung). Diese Technik ist daher für Kunststoff- oder Aluminiumlatten geeignet. Der genannte Ausdehnungskoeffizient der EL-Folie von ca. 20 ppm/K lässt Aluminium, das einen Ausdehnungskoeffizienten von ca. 24 ppm/K hat, als günstiges Material für den Lattenkörper erscheinen, falls die bedruckte EL-Folie direkt mit dem Aluminiumlattenkörper verklebt werden sollte. Die Latten wären aber aufgrund der beschränkten Positionsgenauigkeit der Code-Elemente nur für Nivelllements mit geringen bis mittleren Präzisionsanforderungen geeignet. In jedem Fall wäre es sinnvoll, den temperaturbedingten Maßstab mit einer Temperaturkompensation (z. B. Modellierung mittels des Temperatursensors im Nivellier) zu korrigieren. Aber auch dann kann kaum eine höhere Präzision einer Lattenablesung als 0.2 mm erreicht werden.

Durch die Trennung des Codes von der EL-Folie lässt sich eine höhere Positionsgenauigkeit der Codeelemente erreichen. Dies ist durch Abdeckung der EL-Folie mit einer **Maske** relativ einfach realisierbar. Gedacht ist dabei an ein dünnes Invarband, aus dem die „strahlenden“ Felder mit einem Präzisionsfertungsverfahren entfernt, z. B. mit einem Laserstrahl ausgeschnitten, werden. Die Invarmaske samt EL-Folie kann dann in ähnlicher Weise verwendet werden wie die herkömmlichen Invarbänder in den Invarlatten, Industrielatten und Invarmaßstäben.

Damit wird diese selbstleuchtende Nivellierlatte besonders für Präzisionsanwendungen geeignet sein.

3.2 Versuchsmuster und experimentelle Untersuchungen

3.2.1 Siebdruck

In dieser Phase der Machbarkeitsstudie wurde die direkte Bedruckung der EL-Folie durch die Verwendung einer transparenten Kunststoffschicht vor der EL-Folie ersetzt, um die Folie danach auch noch für andere Untersuchungen verwenden zu können. Wir haben einen 2000 mm langen, 60 mm breiten und 1 mm dicken transparenten Polycarbonatstreifen verwendet, der mit Siebdruck mit dem Leica Code (schwarze Codeelemente) bedruckt wurde. Der Leica Code wurde gewählt, da die Leica NA-Digitalnivelliere wegen des notwendigen NIR Anteils des Lichts als die kritischsten eingeschätzt wurden. Die EL-Folie wurde hinten an den Polycarbonatstreifen angepresst, wobei der aufgedruckte Code in Richtung Nivellier angebracht wurde, um einen Versatz der außeraxialen Messstrahlen infolge Brechung am Polycarbonatstreifen zu vermeiden. Die Untersuchung der Funktionsfähigkeit dieses Versuchsmusters erfolgte im Messlabor der TU-Graz mit unserem Vertikalkomparator (WOSCHITZ und BRUNNER, 2003) bei ausgeschalteter Laborbeleuchtung. Es wurde ein Leica NA3003 bei den Distanzen 3.3 m und 19.9 m verwendet. Eine längere Visurweite wurde bei diesen Untersuchungen nicht verwendet, um den von den Lattenenden unbeeinflussten Bereich (Beispiele siehe WOSCHITZ und BRUNNER, 2002) bei 30% der Lattenlänge zu halten. Weitere Tests zeigten die volle Funktionsfähigkeit auch bei einer Distanz von 30 m. Es wurde der Bereich zwischen 0.1 m und 1.9 m gemessen, wobei das Abtastintervall 25 mm betrug. Abb. 5 zeigt die Resultate der Systemkalibrierung, wobei für den 2 m langen selbstleuchtenden Codestreifen die Residuen der SOLL-IST Differenzen zur Regressionsgeraden in μm dargestellt sind. Der Lattenmaßstab, der durch das Fertigungsverfahren des bedruck-

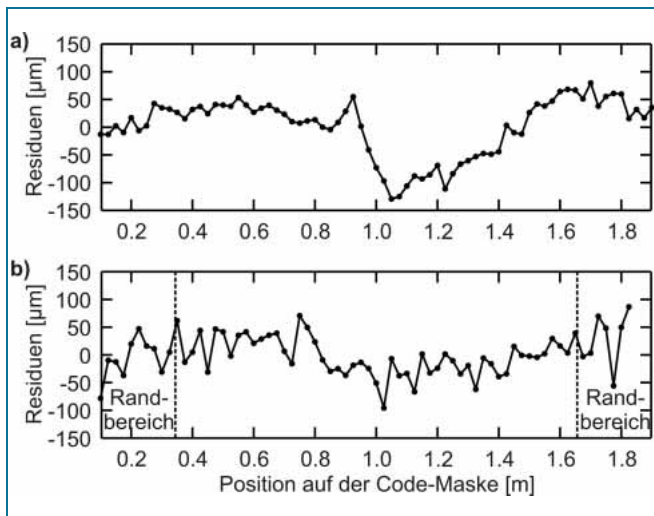


Abb. 5: Höhenabweichungen beim Experiment „Siebdruck“ bei den Entfernungen (a) 3.3 m und (b) 19.9 m mit einem Leica NA 3003

ten Code-Polycarbonatstreifens verursacht wurde, ist im Entwicklungsstadium nicht von Bedeutung und wird daher nicht gezeigt. In Abb. 5a ist deutlich die Stoßstelle durch das Aneinanderfügen der 1 m langen Siebdruckschablonen bei der Herstellung zu erkennen, das den Übergang im Bereich um 1 m verursacht. Bei der Entfernung von 3.3 m ist der vom Nivellier abgebildete Bereich der Latte 11 cm groß und infolge des vom Nivellier verwendeten Auswerteverfahrens treten die Höhenabweichungen nicht abrupt, sondern innerhalb dieses Bereichs auf. Bei 20 m ist die Stoßstelle aufgrund des größeren vom Nivellier verwendeten Lattenabschnittes (70 cm) nur mehr schwer zu erkennen. Des weiteren ist in Abb. 5a eine Maßstabsdifferenz der beiden Siebdruckschablonen zu sehen. Trotzdem bleiben die Restabweichungen unter der mit 0.2 mm angegebenen Fertigungsgenauigkeit (W. FISCHER, 2001, persönliche Mitteilung) des Siebdruck-Musters. Bei der 20 m Entfernung (Abb. 5b) weisen die Restabweichungen eine stärkere Variation auf, als bei 3.3 m. Dadurch sind auch die systematischen Verfälschungen im Randbereich der Latte (unsymmetrisches Pixelbild) kaum zu erkennen. Dieses Verhalten ist für das verwendete Nivellier typisch, und nicht durch unser selbstleuchtendes Funktionsmuster bedingt.

Generell konnte mit den in Abb. 5 gezeigten Resultaten experimentell nachgewiesen werden, dass die EL-Folie auch genügend Licht im IR-Bereich abstrahlt, um das Leica

NA 3003 betreiben zu können. Die erreichbare Präzision ist in jedem Fall besser als 0.05 mm, und wenn man von den fertigungsbedingten Unzulänglichkeiten des Funktionsmusters absieht, lässt sich die erreichbare Präzision sicherlich noch steigern, was ein absolut zufriedenstellendes Ergebnis darstellt.

3.2.2 Metallmaske

Für das Versuchsmuster einer Metallmaske wurde aus praktischen Gründen Nirosta verwendet, und nicht wie eigentlich beabsichtigt Invar. Für die Interpretation der Experimente in dieser Entwicklungsphase ergibt sich dadurch keine Einschränkung, da die Messungen im thermisch stabilen Labor durchgeführt wurden. Aus Kostengründen wurde nur eine 750 mm lange Metallmaske gefertigt. Für dieses Versuchsmuster wurde der Zeiss Code verwendet, um die Funktionalität der selbstleuchtenden Latte auch mit den Trimble Geräten zu verifizieren. Die Metallmaske wurde mit einem Ätzverfahren hergestellt und anschließend geschwärzt. Die Relativpositionen der geätzten Code-Kanten stimmen laut Hersteller im 0.01 mm Bereich mit den Sollpositionen überein, jedoch weist die Maske eine Skalierung auf. Die EL-Folie wurde von hinten an die Metallmaske angepresst. Wir haben die Dicke der Maske mit 0.2 mm gewählt, damit nur geringe Abschattungen der leuchtenden Codeelemente durch die Kanten auftreten können. Dadurch kommt es mit den Trimble Digitalnivellieren zu

einem Höhenfehler von höchstens 0.01 mm.

Auch dieses Versuchsmuster einer selbstleuchtenden Latte wurde nach der Methode der Systemkalibrierung mit dem Vertikalkomparator der TU-Graz überprüft. Für die Messungen bei den Distanzen 3.0 m und 29.6 m wurde ein Zeiss DiNi 11 verwendet, wobei die Laborbeleuchtung wie zuvor abgeschaltet war. Das Abtastintervall wurde aufgrund des relativ kurzen Versuchsmusters mit 3 mm festgelegt. Die Systemkalibrierung wurde für den Lattenabschnitt von 0.05 m bis 0.70 m durchgeführt. Abb. 6 zeigt die Resultate der experimentellen Überprüfung der Leistungsfähigkeit dieses Versuchsmusters als Restabweichungen zur Regressionsgeraden. Wenn wir von den systematisch verfälschten, 15 cm großen, Randbereichen absehen, so treten bei 3 m Distanz maximale Abweichungen von der Regressionsgeraden von 0.01 mm auf, und bei 30 m Distanz 0.04 mm. Diese Restabweichungen liegen in der gleichen Größenordnung wie jene Werte, die wir mit sehr starker Lattenbeleuchtung (Standardbeleuchtung des Vertikalkomparators) und herkömmlichen Invarlatten erhalten haben (z. B. WOSCHITZ et al., 2003). Auch diese Resultate sind sehr erfolgversprechend und lassen es möglich erscheinen, auch Präzisionslatten in der Ausführung „selbstleuchtende Latte“ herstellen zu können.

Neben den Laboruntersuchungen haben wir das Funktionsmuster „Metallmaske“ bei einem Feldtest in der Übergangsperiode von der Dämmerung in die Dunkelheit im Vergleich zu einer standardmäßigen Invarlatte untersucht. Dabei wurde ein Zeiss DiNi11 verwendet. Um die Ergebnisse nicht durch Fremdlicht zu beeinflussen, wurde ein schattiger Messort fernab künstlicher Beleuchtung ausgewählt. Die beiden Latten wurden nebeneinander in einer Entfernung von 40 m zum Nivellier aufgestellt, was der typischen größten Distanz beim technischen Präzisionsnivelllement entspricht. Die Beleuchtungsstärke wurde mit einem digitalen Luxmeter gemessen. Die Resultate des Versuchs sind in Abb. 7 gezeigt. Ab 50 lx können keine Messungen mehr zur normalen Invarlatte

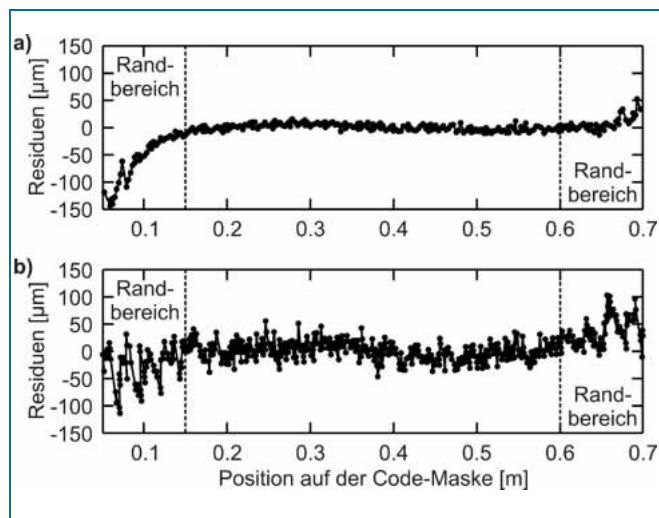


Abb. 6: Residuen der Höhenabweichungen beim Experiment „Metallmaske“ bei den Entfernungen (a) 3.0 m und (b) 29.6 m mit einem Zeiss DiNi 11

durchgeführt werden, während Messungen zum Funktionsmuster unserer selbstleuchtenden Latte noch immer brauchbare Resultate ergeben. Die Abnahme der Höhenwerte (Abb. 7a) sind für beide Lattentypen ähnlich und betragen ca. 0.6–0.8 mm. Dieser Höhenänderungswert ist überraschend groß, aber durch Refraktionsänderung erklärbar. In der Messperiode änderte sich der Refraktionskoeffizient nahe dem Boden von einem negativen zu einem positiven Wert. Allerdings ist es noch möglich, dass der Refraktionseffekt durch Beleuchtungseinflüsse des nicht perfekt aufgebauten Funktionsmusters (z. B. Abstand zwischen Maske und EL-Folie) überlagert wird.

Knapp vor Sonnenuntergang (vertikale, strichlierte Linien in Abb. 7) verdoppelt sich die Messzeit zu den beiden Lattentypen, Abb. 7c. Danach bleibt sie für das Funktionsmuster „Metallmaske“ konstant, wogegen sie für die normale Invarlatte weiter ansteigt, bis keine Messung mehr möglich ist.

Wir haben das Funktionsmuster „Metallmaske“ auch benutzt, um die erreichbare Reichweite im Freien bei Nacht zu bestimmen. Diese lag bei kompletter Dunkelheit mit dem DiNi11 über 100 m.

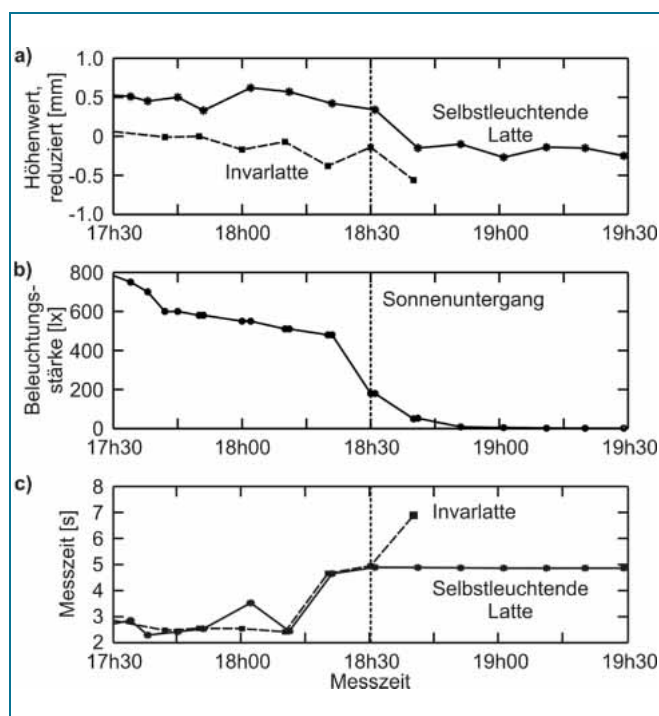


Abb. 7: Übergang von der Dämmerung in die Dunkelheit: (a) Höhenwerte, (b) Beleuchtungsstärke, (c) Dauer der Messung

4 Gedanken zur Realisierung

Der Vollständigkeit halber wollen wir kurz berichten, dass wir auch die indirekte Beleuchtung des Invarbandes mit zwei symmetrisch angeordneten EL-Folienstreifen getestet haben. Die Versuche haben trotz doppelter Beleuchtungsstärke wegen der Reflexion des Lichtes eine wesentlich schlechtere Lichtintensität am CCD Array ergeben als bei der Verwendung der selbstleuchtenden Nivellierlatte mit der Metallmaske. Daher wurde die Möglichkeit der indirekten Beleuchtung mit EL-Folien nicht weiter verfolgt, obwohl dies eine sehr einfache Realisierungsmethode für eine homogene Lattenbeleuchtung wäre.

Wir konnten zeigen, dass die von uns vorgeschlagene Anwendung von EL-Folien den Bau von selbstleuchtenden Nivellierlatten ermöglicht. Obwohl wir in unseren Experimenten nur Codelatten untersucht haben, ist diese neue „Beleuchtungstechnik“ selbstverständlich auch für jede andere Lattenteilung anwendbar.

Der geringe Energieverbrauch der EL-Folie ermöglicht die Verwendung eines kleinen Akkumulators, der zusammen mit dem Wechselrichter problemlos in die Latte integrierbar ist. Da kein zusätzliches Equipment bei der Latte benötigt wird, wird der Arbeitsablauf nicht beeinträchtigt.

Die EL-Folien machen ein homogenes Leuchten des Lattenbildes möglich, wenn die Kontaktierung über die gesamte Länge der Folie geführt wird. Wegen der zur Zeit noch etwas störenden, begrenzten Lebensdauer einer EL-Folie (ca. 3000 Stunden) könnten folgende Überlegungen nützlich sein: Sicherlich ist ein in den Lattengriff integrierter elektrischer Ein/Aus-Schalter eine sinnvolle Vorrichtung zur Reduktion der Betriebszeiten und dient nebenbei auch der Schonung des Akkumulators. Trotzdem wird bei extremen Einsätzen der selbstleuchtenden Latte infolge der Alterung der EL-Folie ein Tausch dieser notwendig werden. Bei der Bauart „Invarmaske“ ist dies sehr einfach zu realisieren, da die EL-Folie ja nur an die Rückseite der Invarmaske angepresst wird, und daher ein Austausch dieser leicht realisierbar sein wird.



Ob die Maske aus dem in der Praxis akzeptierten Invar oder einem alternativen Material, wie z. B. kohlefaserverstärkter Kunststoff, bestehen soll, werden künftige Entwicklungen und ökonomische Überlegungen zeigen. Denkt man an die Zeitersparnis bei der Messung, so sollten sich auch andere Bauformen, wie z. B. die Integration des Code-Musters in die EL-Folie, durchsetzen können, obwohl hier sicher noch Entwicklungsarbeit zu leisten ist.

Zur Realisierung der selbstleuchtenden Nivellierlatte wurde eine Kooperation mit dem Marktführer für nivellistisches Vermessungszubehör angestrebt. Die Fa. Nestle und Fischer zeigte sich sehr interessiert an unserer Entwicklung und arbeitet zur Zeit an der serienmäßigen Umsetzung, an der wir mit unserer Kalibrieranlage weiter teilnehmen werden.

Danksagung

Wir danken der Firma Lumitech GmbH, insbesondere den Herren R. Zotter und C. Hochfilzer, für die Unterstützung mit den EL-Folien, der Firma Nestle und Fischer für die Anfertigung der codierten Acrylstreifen der ersten Tests, und Herrn Ing. R. Lummerstorfer, der die Experimente mit großem Engagement durchgeführt hat.

Literatur

- BRUNNER, F. K., WOSCHITZ, H. (2001) Kalibrierung von Messsystemen: Grundlagen und Beispiele. In HEISTER, H. und STAIGER, R. (Eds.) „Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik“, DVW Schriftenreihe 42: 70–90.
- CHADHA, S. S. (1993) Power Electroluminescence. In KITAI, A. H. (Ed.) „Solid State Luminescence“, Chapman&Hall, London.
- INGENSAND, H. (2001): Systematische Einflüsse auf praktische Messungen mit dem Tachymeter und Digitalnivellier. In HEISTER, H. und STAIGER, R. (Eds.) „Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik“, DVW Schriftenreihe 42: 120–137.
- INOUCHI, T., MITO, S. (1977) Phosphor Films. In PANKOVE, J.I. (Ed.) „Electroluminescence“, Springer Verlag, Heidelberg.

HENISCH, H. K. (1962) Electroluminescence. Pergamon Press, Oxford.

LEICA (1994) Lattenbeleuchtung GEB89. Leica Produktinformation 1/94.

KEPPLER, A., MEISSL, A., NATEROP, D. (1996) Automatische Bauwerksüberwachung mit motorisierten Digitalnivellieren. In BRANDSTÄTTER, G., BRUNNER, F. K., SCHELLING, G. (Eds.) Ingenieurvermessung 96, Band 1, Dümmler Verlag: A9/1-A9/10.

KRYSTEK, M. (1993) Optische Strahlung und ihre Messung. In NIEDRIG, H. (Hrsg) Bergmann Schäfer – Lehrbuch für Experimentalphysik, Bd. 3 Optik, 9. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin.

WOSCHITZ, H., BRUNNER, F. K. (2002) System Calibration of Digital Levels – Experimental Results of Systematic Effects. In KOPÁČSIK, A. and KYRINOVICŠ, P. (Eds.): Proc. INGEO2002 – 2nd Int. Conference of Engineering Surveying, Bratislava, November 2002: 165–172.

WOSCHITZ, H., BRUNNER, F. K., HEISTER, H. (2003) Scale Determination of Digital Levelling Systems using a Vertical Comparator. Z. f. Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement 128: 11–17.

WOSCHITZ, H., BRUNNER, F. K. (2003) Development of a Vertical Comparator for System Calibration of Digital Levels. Österr. Z. f. Vermessung und Geoinformation, 81: 68–76.

ZEISS (1997) Produktinformation: Digitalnivelliere DiNi von Carl Zeiss bei geringem Lichtangebot. AVN 104: 334–335.

Anschrift der Verfasser:

Univ. Prof. Dr. FRITZ K. BRUNNER,
Dr. HELMUT WOSCHITZ,
Technische Universität Graz,
Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme
Steyrergasse 30, A-8010 Graz
{fritz.brunner, helmut.woschitz}
@tugraz.at

Zusammenfassung

Bei Höhenübertragungen, die untertägig oder bei Nacht mit Digitalnivellieren durchgeführt werden, ist eine Beleuchtung der Code-Latten unumgänglich. Zur Zeit bekannte kommerzielle Produkte haben gewisse Mängel: Sie leuchten entweder die Latte

ungleichmäßig aus, oder sind zu unhandlich.

In einer Machbarkeitsstudie für eine Alternative zur Lattenbeleuchtung wurden auf der Basis von elektrolumineszierenden Folien einige Funktionsmuster einer „selbstleuchtende Nivellierlatte“ gebaut und untersucht. Die Ergebnisse versprechen, dass in Zukunft durch die selbstleuchtenden Nivellierlatte die Höhenübertragung im Dunkeln komfortabler und, als Folge der homogenen Ausleuchtung des Lattencodes, präziser durchgeführt werden können.

Abstract

In engineering applications digital levels are commonly used for height transfers during the night, indoors or when working underground. In these circumstances, it is essential to artificially illuminate the coded staffs. Currently available commercial products for staff illumination suffer from non-uniform illumination and cumbersome usage.

As an alternative, we have developed a “self-illuminated levelling staff” using an electroluminescent tape. For different types of digital levels, we investigated prototypes using the TU-Graz vertical comparator for system calibration. Using such a self-illuminated staff, height transfers in the dark might become more comfortable, and additionally, the homogeneous illumination of the code-elements will make the levelling results more accurate.