

Frank Steinbacher, Martin Pfennigbauer, Andreas Ullrich und Markus Aufleger

Airborne Hydromapping – die luftgestützte Kartierung von Flachwasserbereichen

Luftgestütztes Laserscanning zur flächendeckenden Vermessung der Topografie hat sich in den vergangenen Jahren als äußerst leistungsfähiges Verfahren durchgesetzt. Die politischen Vorgaben (EG-Wasserrahmenrichtlinie) aber auch die weiter zunehmende Bedeutung des Gewässermonitorings (Hochwasserschutz, ökologische Fragestellungen u. a.) begründen einen enormen Bedarf an Vermessungsarbeiten in Stauräumen, Flüssen und Bächen. Gewässersysteme sind einem ständigen Wandel unterworfen, ihr Sohlenverlauf muss somit regelmäßig neu erfasst werden. Die luftgestützte Hydrografie beinhaltet das Potenzial den technischen, wissenschaftlichen und politischen Fragestellungen eine Lösung zu bieten.

1 Motivation

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist auf eine nachhaltige und umweltverträgliche Wassernutzung ausgerichtet und beschreibt Umsetzungsstrategien, die bei der Realisierung dieser Ziele von jedem EU-Mitgliedsland angewendet werden sollen. Unter anderem wird dort die Erstellung und Umsetzung von umfangreichen Flussgebietsmanagementplänen sowie eine umfassende Risikobewertung der verschiedenen Flussgebietseinheiten

verlangt. Die Hydromorphologie, die tatsächliche Beschreibung der Form eines Gewässers (Verlauf, Sohlenstruktur, Sohlensubstrat), stellt hierbei den wichtigsten Bewertungsfaktor dar.

Ein technisches System zur schnellen und flächendeckenden Erfassung der Hydromorphologie der europäischen Binnengewässer trifft damit den Kern der Anforderungen aus der WRRL (**Bild 1**).

Die Möglichkeit, Flachwasserbereiche in einem ähnlich schnellen und kostengünstigen Verfahren vergleichbar der Ver-

messung von Geländeoberflächen durch Befliegung bereitstellen zu können, beinhaltet für alle Interessentengruppen und die Wirtschaft ein großes Potenzial. Für hydrologische, hydrographische, hydrodynamische, morphologische, gewässergütespezifische, wirtschaftliche und politische Betrachtungen von Flachwasserbereichen (Betrieb- und Bewirtschaftung, Schifffahrt, Erhalt und Unterhalt von Flüssen) wird eine realitätsnahe und in sich geschlossene geometrische Darstellung der Sohlenverläufe benötigt.

Neben der Verwendung der gewonnenen Daten für numerische Modelle unterschiedlicher Art (hydrodynamische Modelle, Gewässergütemodelle, Sedimenttransportmodelle, Grundwassermodelle, Klimafolgemodelle) und deren bessere Kalibrierungsmöglichkeit sind Einsatzmöglichkeiten für ein wesentlich umfangreicheres Gebiet denkbar:

- Sohlenveränderungen/Sedimenttransport und Sohleneigenschaften,
- Ergänzung der bisherigen Laserscanningverfahren der Geländeoberfläche,
- Numerische Modellierungen,
- Erfassen von Stauraumverlandungen,
- Gewässermanagement bzw. Habitat Mapping,
- Dokumentation von Renaturierungsauswirkungen,
- Datengrundlage für Beobachtungsdienste,

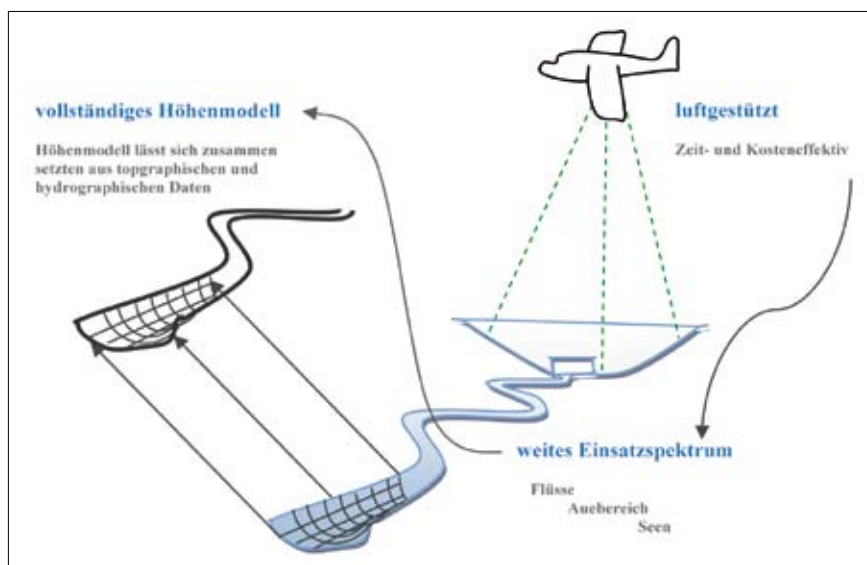


Bild1: Eine multidisziplinäre Vermessungstechnik – Airborne Hydromapping

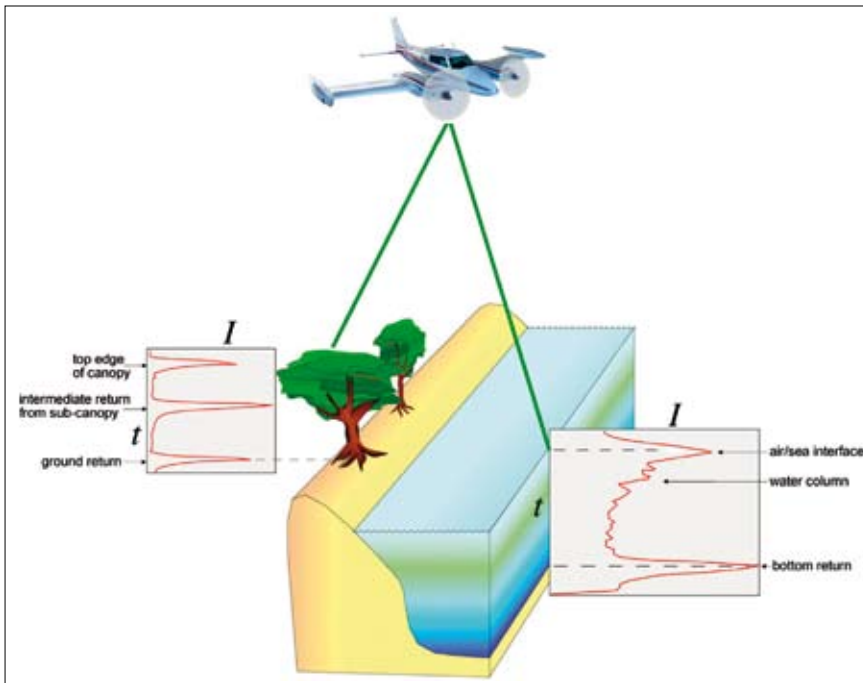


Bild 2: Durch Kombination des terrestrischen und hydrographischen Scan-Verfahrens können zukünftig in idealer Weise die Geländeoberfläche und wassergefüllte Strukturen erfasst werden (Quelle: USGS, <http://lidar.cr.usgs.gov>)

- Bewirtschaftung von Schifffahrtsstraßen,
- Hochwasserschutz und Gefahrenkarten,
- HQ- und Pegelreferenzierung,
- Abflussgeschwindigkeiten aus Wasserstand-Abfluss-Beziehungen.

Am Arbeitsbereich Wasserbau der Universität Innsbruck wird derzeit in Kooperation mit der Firma RIEGL Laser Measurement Systems an den Grundlagen für ein Laserscansystem geforscht, das weltweit das erste speziell für Binnengewässer konzipierte Hydromapping-Messsystem darstellt und den Anforderungen gerecht werden soll, die derzeitigen und zukünftigen Ansprüche an die Aktualität, Qualität, Verfügbarkeit und Dichte von Daten unter ebenfalls wirtschaftlichen Gesichtspunkten gewährleisten zu können.

2 Technik

Laserscanningsysteme werden für eine flächenhafte Erfassung der Geländeoberfläche von Flugzeugen oder Hubschraubern aus eingesetzt („Airborne Laser Scanning“, **Bild 2**). Die Entfernung zur Geländeoberfläche wird ermittelt, indem die Laufzeit eines kurzen Laserlichtimpulses gemessen wird. Unter Berücksichtigung der Lichtgeschwindigkeit und der benötigten Zeit von der Aussendung des Signals, über die Reflektion an der Ober-

fläche bis zur Detektion des Lichtstrahls kann die Distanz berechnet werden. Durch Verknüpfung der Ergebnisse einer Vielzahl solcher Entfernungsmessungen und zugehörigen Messungen der Scanwinkel mit der Position und Lage des Flugzeugs zum jeweiligen Zeitpunkt der Messung, kann ein 3-D-Modell der Geländeoberfläche erstellt werden. Für Landoberflächen

kommen Laser mit einer Wellenlänge um 800 nm oder 1 500 nm zum Einsatz. Eine akzeptable Transparenz des Wassers für den Laserstrahl, eine Grundvoraussetzung für die Erfassung der Sohle, ist nur im blaugrünen Wellenlängenbereich (400 nm bis 600 nm) gegeben. Die tatsächliche Transparenz bzw. Dämpfung variiert stark je nach Wasserart. Die Höhe des Wasserkörpers ermittelt sich aus der Entfernungsdifferenz der Sohlenoberfläche, ermittelt durch einen Laserpuls typisch bei einer Wellenlänge von 532 nm, und einem an der Wasseroberfläche reflektierten Impuls sowie unter Berücksichtigung der Strahlgeometrie und der Brechung an der Wasseroberfläche.

3 Versuchsreihen

Das Projekt „Airborne Hydromapping“ wird im Rahmen einer Förderung der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) vom Arbeitsbereich Wasserbau der Universität Innsbruck und der Firma RIEGL Laser Measurement Systems umgesetzt. Innerhalb von zwei Jahren soll ein Messsystem entwickelt werden, das den genannten Anforderungen entspricht. Hierfür wurden Messkampagnen entworfen, die in einem ersten Schritt die bisher noch unbekanntenen Randbedingungen für das technische Konzept aufzeigten, um in der zweiten Projektphase ein auf die Anforderungen abgestimmtes,



Bild 3: Vor-Versuchssystem



Bild 4: Laser an Hebebühne über dem Wasserbassin

opto-elektronisches Lasersystem umsetzen zu können.

3.1 Messreihe 1

Ziel der ersten Messreihe war es, mit Hilfe eines „Vor-Versuchssystems“ (**Bild 3**) Informationen über den Einfluss einer Wasserschicht mit z. B. verschiedener Schichthöhe oder Trübungsgrad auf die Echosignale des Laserstrahls zu gewinnen. Für

diese Vorversuche wurde zunächst kein Entfernungsmesser im eigentlichen Sinne verwendet sondern ein Breadboard-Aufbau. Die Schlüsselkomponenten waren ein gepulster Laser mit einer Emission bei 532 nm (grün), ein hochempfindlicher Empfänger zur Aufnahme der Echosignale und ein breitbandiges Digitalspeicheroszilloskop zur Aufzeichnung der Signalverläufe. Die weitere Verarbeitung

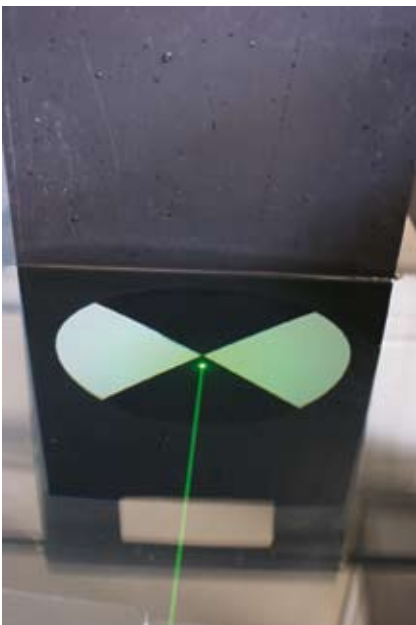


Bild 5: Messstrahl auf einer Secchischeibe

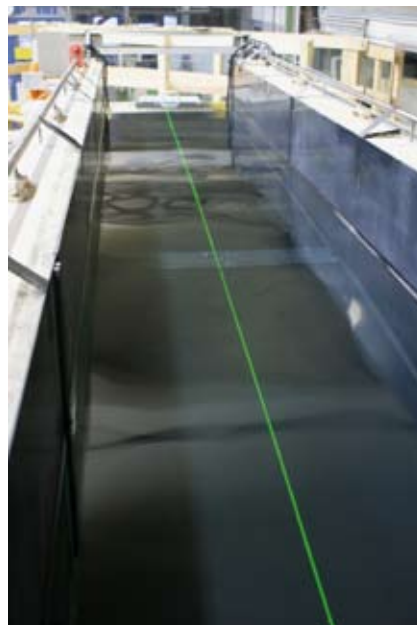


Bild 6: Messstrahl in Versuchsrinne

und Analyse erfolgte dann auf einem PC. Der Laser wurde an einer Hebebühne befestigt und blickte aus ca. 22 m auf ein künstliches Wasserbassin (**Bild 4**). Die Messreihe beinhaltete Betrachtungen zu unterschiedlichen Messtiefen, unterschiedlichen Positionierungshöhen des Lasers, unterschiedlichen Bodenzielen, verschiedenen Trübungszustände des Wassers sowie der Aufräumung der Wasseroberfläche (Wellen).

3.2 Messreihe 2

Die Ergebnisse der ersten Messreihe stellen die Grundlage für die Entwicklung eines weiteren Messkonzeptes dar. Die einzelnen Tests zielten auf die Gewinnung von erweiterten Erkenntnissen hinsichtlich maximaler Messtiefe und dem Einfluss von Trübungen ab. Hierfür wurde eine horizontale Rinne mit 16 m Messlänge des Wasserbaulabors herangezogen. In der Messrinne wurde ein Wasserumwälzsystem technisch umgesetzt, das eine gleich bleibende Trübung der Wassersäule auf ihrer ganzen Länge gewährleisten sollte. Verschiedene Trübezustände des Wassers und wesentlich größere Messtiefen im Vergleich zur ersten Messreihe konnten somit simuliert werden.

Die bisher maximal ermittelte Messtiefe in klarem Wasser betrug die durch die Messrinne zur Verfügung stehenden 16 m. Um auch für die zukünftige Anwendung der Messtechnik bereits im Vorfeld eine Abschätzung über die Anwendbarkeit bei einem Gewässer treffen zu können, wurde zur Referenzierung der „Messzustände“ eine sogenannte Secchischeibe verwendet (**Bilder 5 und 6**). Die Secchischeibe ermöglicht es zukünftig, über einen mit dem Auge auswertbaren Messablauf eine Aussage über den Trübezustand des Gewässers zu treffen und daraus auf die Verwendbarkeit des Lasers schließen zu lassen. Die Secchischeibe ist ein bereits im 19. Jahrhundert entwickeltes limnologisches Hilfsgerät zur raschen und einfachen Ermittlung der Sichttiefe. Eine in vier Sektoren schwarz und weiß eingefärbte Kreisscheibe wird solange im Wasser abgesenkt bis zu ihrem visuellen Verschwinden. Die dafür nötige Wassertiefe wird als Secchi-Sichttiefe bezeichnet.

3.3 Messreihe 3

Bereits die Ergebnisse der ersten Messreihe legten einen Testeinsatz der Technik an einem natürlichen Gewässer nahe. Hier-



Bild 7: Befestigung des Lasersystems an einer Innbrücke

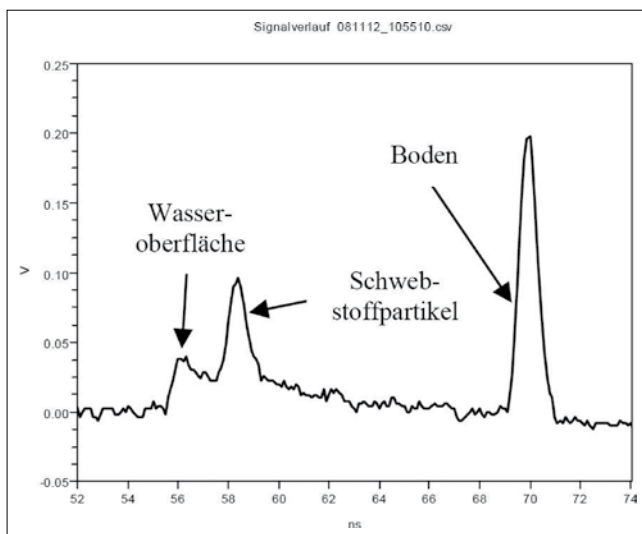


Bild 8: Auswertung der ermittelten Signale

für wurde ein Fließquerschnitt am Inn ausgewählt, der auf einer Autobrücke eine Positionierung des Versuchsaufbaus über dem Gewässer ermöglichte. Der Versuchsaufbau wurde über einen Adapter an der Brücke befestigt, was einen einfachen Versuchsablauf für verschiedene Messszenarien (Auftrittswinkel Wasser-oberfläche, Anpeilung verschiedener Gewässertiefen im Inn, Anpeilung verschiedener Bereiche der Oberflächenrauheit, Wellenbildung) ermöglichte (Bilder 7 und 8).

4 Ergebnisse und Ziele

Das luftgestützte Laserscanning als Grundkonzept für die zeit- und kostengünstige Erfassung der Sohlenoberflächen, dem damit verbundenen Querschnitt des Gewässers und einer weiteren Erfassung von Eigenschaften des Fließgewässers ist jedem anderen Technikansatz überlegen, stellt aber eine große technische Herausforderung dar. Die bereits gewonnenen Erkenntnisse die-

Wassermanagement verstehen

WWW.VIEWEGTEUBNER.DE



Grambow, Martin

Wassermanagement

Integriertes Wasser-Ressourcenmanagement von der Theorie zur Umsetzung

2008. XII, 291 S. mit 33 Abb. u. 15 Tab. Geb. EUR 39,90
ISBN 978-3-8348-0383-2

Wassermanagement ist eine der ganz großen aktuellen und zukünftigen globalen Herausforderungen. Das Buch führt in die Thematik ein und zeigt theoretisch fundierte und dennoch praxisnahe Lösungen auf, um komplexe Problemstellungen bei Wasser-Infrastrukturmaßnahmen zu bewältigen. Es kann so gleichzeitig dem internationalen Berater wie dem jungen Akademiker Anregungen für die Herangehensweise an komplizierte Problemstellungen im Wassersektor geben.

Ja, ich bestelle

Fax +49(0)611.7878 - 420

Exemplare **Wassermanagement**
ISBN 978-3-8348-0383-2 EUR 39,90

Firma 321 08 568

Name, Vorname

Abteilung

Straße (bitte kein Postfach)

PLZ | Ort

Datum | Unterschrift

Geschäftsführer: Dr. Ralf Birkelbach, Albrecht F. Schirmacher AG Wiesbaden HRB 9754

TECHNIK BEWEGT.



Änderungen vorbehalten. Erhältlich im Buchhandel oder beim Verlag, zuzüglich Versandkosten

nen nun der entsprechenden Entwicklung bzw. Anpassung der opto-elektronischen und opto-mechanischen Sensorik. Das wasserwirtschaftliche Einsatzspektrum ist vielseitig und wird maßgeblich durch jahreszeitliche oder charakteristische Eigenschaften des Gewässers bestimmt. Auf Grundlage der Messergebnisse können folgende Aussagen skizziert werden:

- Die Genauigkeit der Messergebnisse liegt im Zentimeterbereich.
- Verlässlich messbar ist, was sichtbar ist. Messtiefen von wenigen Zentimetern (z. B. Auebereiche) bis mehreren Metern sind möglich (z. B. Stauräume).
- Jahreszeitliche und charakteristische Eigenschaften des Gewässers bedingen

bestmögliche Messzeiträume. Die Sechischeibe kann als Vorab-Bewertungskriterium herangezogen werden.

- Die Trübung gilt als maßgebender Mess-einfluss. Trübungen durch Schwebstoff sind besser diskretisierbar als Trübungen durch Sedimenttransport.
- Zwei-Lasersysteme werden für eine zuverlässige Ermittlung der Wasseroberfläche benötigt (Signalauswertung des grünen Lasers bei ruhigen Wasseroberflächen oder Wellen nicht verlässlich).
- Die Streuung des Laserstrahls im Wasser ist größer als in Luft. Die Unterscheidung kleiner Messziele ist wesentlich stärker von Technik und Betrieb des Lasers beeinflusst.

Frank Steinbacher, Martin Pfennigbauer, Andreas Ullrich and Markus Aufleger

Airborne Hydromapping – Area-wide Surveying of Shallow Water Areas

Reservoir sedimentation and river degradation, water flow and water level dynamics, structure and zone variations of rivers and riparian areas – in order to gage, to state and to research, the continuously or at least repetitively monitoring of our inshore waters is essential. The new European Water Framework Directive determines the regular, repeated monitoring as a fixed constant for surveillance, operation, investigation and reference. Hydrographic profile measurements are the basis for every close to reality study and task. Conventional methods like mechanical or sonic systems require major labour input and time. With the intention to provide an area-wide surveying of shallow water areas (reservoir beds, river beds, lake beds) the technique of laser ranging and LIDAR (Light Detection And Ranging) has been adopted and is further explored to extend its capabilities to shallow waters. The distance to an object is determined by measuring the time of flight of the laser pulses from the sensor to the objects and back. To capture things below the water surface a green laser wavelength has to be selected matching the transmittance window of water. Supplementing information about intensity and the modifications in waveform of the laser echo pulses are necessary to interpret the recorded signals.

Франк Штайнбахер, Мартин Пфеннингбауер, Андреас Ульрих и Маркус Ауфлегер

Airborne Hydromapping - картографирование районов мелководных потоков с помощью авиации

Метод лазерного сканирования с помощью авиации для осуществления топографических замеров на больших площадях зарекомендовал себя в прошедшие годы в качестве чрезвычайно эффективной методики. Не только политические „установки“ („Рамочная директива ЕС по управлению водными ресурсами“), но и усиливающееся значение мониторинга водных потоков (противопаводковая защита, экологические проблемы и пр.) обосновывают чрезвычайную потребность в проведении измерительных работ в области водохранилищ, рек и малых водных потоков. Водные системы подвержены постоянным изменениям, и потому необходимо постоянно заново определять течение русел. Метод составления гидрографических карт с помощью авиации представляет собой большой потенциал для решения технических, научных и политических проблем.

- Die Vermessung erfolgt in ähnlicher Geschwindigkeit wie die derzeitigen Befliegungsvermessung und liefert zudem im Gegensatz zur klassischen Querprofilaufnahme ein geschlossenes Höhenmodell der Gewässerstruktur.
- Die Integration der Laserscantechnologie erfolgt in einer kompakten Geräteeinheit (ca. 500 x 250 x 250 mm) und wird mit einem Gewicht von ca. 25 kg für den Einsatz auf bereits bestehende Flugplattformen ausgerichtet.

5 Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Airborne Hydromapping“ werden ab Herbst 2009 ergänzende Messreihen an einem Großversuchsstand der Universität Innsbruck durchgeführt. Das neu angepasste Lasersystem soll durch die Nachbildung künstlich geschaffener Gewässerstrukturen weiter untersucht, kalibriert und validiert werden. Im Anschluss des bis zum Frühjahr 2010 ausgelegten Forschungsprojektes wird mit der Umsetzung der Technik für den luftgestützten Einsatz gerechnet.

Autoren

Dipl.-Ing. Frank Steinbacher
Prof. Dr.-Ing. Markus Aufleger

Arbeitsbereich Wasserbau
Universität Innsbruck
Technikerstr. 13a
6020 Innsbruck
Österreich
frank.steinbacher@uibk.ac.at
markus.aufleger@uibk.ac.at

DI Dr. Martin Pfennigbauer
DI Dr. Andreas Ullrich

RIEGL Laser Measurement Systems
Riedenburgstr. 48
3580 Horn
Österreich
martin.pfennigbauer@riegl.co.at
andreas.ullrich@riegl.co.at

Literatur

- [1] Guenther, Gary C.: Airborne Lidar Bathymetry, 2004.
- [2] NASA (Hrsg.): Development of an Airborne Laser Bathymeter. Technical Note, 1975.
- [3] Wright, Wayne C.; Brock, John C.: EAARL: EAARL: A lidar for mapping shallow coral reefs and other coastal environments. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Miami, 20.-22.May 2002.
- [4] Wagner, W.; Ullrich, A.: Waveform analysis techniques in airborne laser scanning, 2007.