

Paper-ID: VGI_196405



Über die Verwendung von Maser und Laser im Bereich der Geodäsie und Photogrammetrie

Franz Ackerl ¹

¹ *Hochschule für Bodenkultur, Wien 19, Peter-Jordan-Straße 82*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **52** (2), S. 41–46

1964

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Ackerl_VGI_196405,  
  Title = {{\U}ber die Verwendung von Maser und Laser im Bereich der Geod{\a}  
    sie und Photogrammetrie},  
  Author = {Ackerl, Franz},  
  Journal = {{\O}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen},  
  Pages = {41--46},  
  Number = {2},  
  Year = {1964},  
  Volume = {52}  
}
```



ÖSTERREICHISCHE ZEITSCHRIFT FÜR VERMESSUNGSWESEN

Herausgegeben vom
ÖSTERREICHISCHEN VEREIN FÜR VERMESSUNGSWESEN

Offizielles Organ

des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Gruppen f. Vermessungswesen),
der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung und
der Österreichischen Gesellschaft für Photogrammetrie

REDAKTION:

emer. o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. H. Rohrer,
o. Prof. Hofrat Dr. phil. Dr. techn. e. h. K. Ledersteger und
ORdVD. Dipl.-Ing. Dr. techn. Josef Mitter

Nr. 2

Baden bei Wien, Ende April 1964

52. Jg.

Über die Verwendung von Maser und Laser im Bereich der Geodäsie und Photogrammetrie

Von *Franz Ackerl*, Wien

In den amerikanisch-englischen wissenschaftlichen Zeitschriften für Physik, Astronomie, Elektronik, Instrumentenkunde, Nachrichtentechnik usw. sind seit 1955 in steigendem Ausmaß Abhandlungen über Maser und später über Laser erschienen, die ab etwa 1960 erkennen ließen, daß Maser und insbesondere Laser voraussichtlich auch für verschiedene Gebiete der Geodäsie und Photogrammetrie von Bedeutung sein würden. Unstreitig gebührt der Vermessungstechnischen Rundschau das Verdienst, mit mehreren Berichten von Prof. *Dr. Wittke* erstmalig der geodätischen Fachwelt Mitteilungen über diese neuartigen Verfahren dargeboten zu haben. Im Bereich der laufenden Unterrichtung naturwissenschaftlich interessierter Kreise, über die Großleistungen der modernen Physik, ist es die auf ein sehr hohes Niveau gebrachte Zeitschrift *Kosmos*, in der Universitätsprofessor *Dr. Werner Braunbek* seit 1959 die Entwicklung von Maser und Laser darstellt. Als Ordinarius für Theoretische Physik an der Universität Tübingen, mit den speziellen Arbeitsgebieten über die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen, Beugungstheorie und nichtlineare Mechanik bietet Prof. *Braunbek* von den die Maser und Laser betreffenden schwierigen Erkenntnissen, Entwicklungen und Ergebnissen in der genannten Zeitschrift ziemlich regelmäßig sehr klare und instruktive Zusammenfassungen.

Die Tatsache, daß in jüngster Zeit Abhandlungen in photogrammetrischen Fachzeitschriften unmittelbar auf die Verwendung von Maser und Laser eingehen, oder Erscheinungen andeuten, die als Laser zu bezeichnen sind, legt es nahe, auch den Lesern dieser Fachzeitschrift das Wesen von Maser und Laser darzustellen.

Ohne Eingang auf die allmähliche Entwicklung, die der hieran Interessierte aus den dargebotenen Literaturangaben entnehmen mag, soll neben den notwendigen Begriffen und ihrer Bedeutung der letzte Stand mit den von ihm gegebenen Möglichkeiten der Verwendung von Maser und Laser betrachtet werden.

Das Wort MASER entstand aus einigen Anfangsbuchstaben der englischen Bezeichnung „Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ = Mikrowellen Verstärkung durch angeregte induzierte (erzwungene) Ausstrahlung. Für den Übergang von dem Bereich eigentlicher Mikrowellen auf Infrarot- und sichtbares Licht, bringt der Ersatz des Wortes „Microwave“ durch „Light“ die Abkürzung LASER, als Bezeichnung für das derzeit modernste und zu einem hohen Stand entwickelte Verfahren zur Verstärkung von bereits bestehender oder induzierter Strahlung infraroten und sichtbaren Lichtes. Um zu erkennen und sich zu versichern, daß die Beschäftigung mit diesem Gegenstand nutzbringend ist, sei darauf hingewiesen, daß die mit der Entwicklung der Laser offenbar am weitesten fortgeschrittene Bell Telephone Company, USA, einen Laser erzeugte, der im Impulsbetrieb eine Strahlungsleistung von 0,01 W . . . 0,1 W auf rund 300 KW steigert und Nachrichtensendungen über 40 km ermöglichte¹⁾.

Die große und sprunghaft steigende Bedeutung von Maser und Laser auch für die Geodäsie und Photogrammetrie ergibt sich deutlich bei der Durchsicht der fachwissenschaftlichen Bücher und Abhandlungen der letzten Jahre und Monate.

Als Beispiel sei auf das Buch von *G. Veis*, *The Use of Artificial Satellites for Geodesy*, Amsterdam 1963, hingewiesen, dessen besonders interessante Teile noch in dieser Zeitschrift zum Referat kommen werden. Die Zeitschrift „Photogrammetric Engineering“ bringt im Heft 5 des Jahres 1963 einen umfangreichen aktuellen Bericht mehrerer Autoren „Report on Remote Reconnaissance“, der zuerst in genauer, aber auch leichtverständlicher Art die elektronischen Grundlagen darstellt, um hernach in einem eigenen Abschnitt „Matter and Energy Interactions in Masers and Lasers“ viele Erscheinungen zu klären, die z. B. im Bereich der Infrarot-Strahlung, im Zusammenhang mit der Photographie von Chlorophyll-Trägern, bisher anders gedeutet wurden. Die Abhandlung von R. Burkhardt, Untersuchungen zur Verbesserung von Anaglyphenbildern, in letzterschienenem Heft 4 (1. 12. 1963) von „Bildmessung und Luftbildwesen“ bringt mit dem Bild 1 auf S. 192 im Wesen die Darstellung des Lasers, ohne daß diese Bezeichnung direkt gebraucht wird.

Der große Umfang verfügbarer Literatur über Maser und Laser wird durch ein in den Bibliographischen Mitteilungen der Bibliothek der Universität Jena veröffentlichtes Verzeichnis dargetan, das zum Thema mehr als 500 bis Ende 1962 erschienene Arbeiten nennt.

Eine ansehnliche Zahl von ihnen hat ganz offenbar jene Grundlagen für die Entwicklung insbesondere des Lasers geboten, die für alle Verfahren der Nachrichtenübermittlung durch Lichtsignale laufender Satelliten für geodätische Zwecke schon benutzt wurden oder in Planung sind. Besonders interessante Mitteilungen und Ergebnisse werden von jenen Invited Papers gebracht, die von der Kommission V der Österreichischen Gesellschaft für Photogrammetrie (Prof. *Hubeny*) dem Zehnten Internationalen Kongreß für Photogrammetrie in Lissabon 1964 vorgelegt werden.

Maser und Laser sind im Prinzip nach Molekularverstärker²⁾, die unter besonderen Umständen — gemeinhin unter dem Begriff der Rückkopplung bekannt —

¹⁾ Kosmos 1963, Heft 4, S. 164.

²⁾ *W. Braumbek*, Molekularverstärker, Kosmos 1959, Heft 10, S. 427 ff.

auch als Molekulargeneratoren, d. h. zur Erzeugung und Induktion von hochfrequenten Schwingungen benutzt werden können.

Die Erforschung der Molekularverstärker begann im Jahr 1955 an der Columbia Universität New York mit den grundlegenden Arbeiten und Versuchen der drei Mikrowellenforscher *Gordon, Townes* und *Zeiger*. Der damals entwickelte Molekülstrahl-Maser verwendete Ammoniakmoleküle unter nur in Laboratorien, nicht aber in der Praxis, herstellbaren Verhältnissen.

Schon wenige Jahre später waren diese behindernden Schwierigkeiten (wie etwa die zur Erreichung einer entsprechenden Verstärkung notwendigen sehr tiefen Temperaturen) überwunden. Eine der ersten praktischen Anwendungen eines Masers für astronomische Zwecke brachte das Forschungszentrum der US-Marine, mit dem in Washington aufgestellten 50-Fuß-Radioteleskop. Der im Brennpunkt des Parabolspiegels des Teleskops verwendete Maser ermöglichte den Empfang von äußerst energiewachen Signalen aus dem Weltraum, mit denen u. a. Oberflächentemperaturen der erdnächsten Planeten Venus und Mars bestimmt werden konnten. Der Verfahrens-Grundzug ist indessen bis zu den heute verwendeten Festkörper-Masern im Wesen derselbe geblieben und nur durch unterdessen eingetretene erweiterte Kenntnisse über die Molekularstruktur verschiedener Elemente verfeinert und perfektioniert worden.

Für alle Moleküle ist ein Grundzustand der niedrigsten Energie gegeben, über dem jedoch — je nach Art des Elementes — ein oder auch mehrere Ebenen liegen, mit Molekülen einer geringfügig vom Grundzustand höheren Energie. Durch Energiezufuhr können Moleküle zum Übergang in ein sehr nahe liegendes höheres Niveau gezwungen (stimulated) werden. Veranlaßt man dann durch geeignete auslösende Maßnahmen und Einflüsse, z. B. durch Bestrahlung mit einer bestimmten Frequenz oder durch Einwirkung eines Magnetfeldes von bestimmter Stärke usw. den Abfall der im höheren Niveau zahlreicheren Moleküle in ein tieferes Niveau, so wird Energie frei, in Form einer Strahlung von bestimmter Frequenz. Im Fall des bei den ersten Versuchen verwendeten Ammoniak-Molekülstrahl-Masers wurde durch besondere Verfahren³⁾ Abstrahlung mit einer Frequenz von 24000 MHz (Mega Hertz) (rund 1,25 cm Wellenlänge) erzwungen. Die Erforschung des Verhaltens der Kristallformen von bestimmten Verbindungen — im besonderen Fall von Kaliumchromcyanid — führte später zur Feststellung des Vorhandenseins von drei (wohl nur wenig verschiedenen) Energiezuständen, wenn der genannten Verbindung eine geringfügige Menge von Kaliumkobaltcyanid beigelegt wird. Veranlaßt man vorerst die im Grundniveau befindlichen Moleküle durch Einstrahlung einer bestimmten Energiemenge E zum Aufsteigen in das höchste Niveau, so wird durch den nachfolgenden Übergang der Chromionen vom höheren in das tiefere Niveau eine Energiemenge $k \cdot E$ frei, wobei Faktoren bis $k = 1000$ erreicht wurden.

Sehr wesentlich ist aber, daß es sich hiebei um eine typische Schmalbandverstärkung handelt; es können lediglich Strahlungen verstärkt werden, deren Frequenzen sehr nahe bei der benützten Molekülfrequenz liegen. Eine Erhöhung der Breite des Frequenzbandes läßt sich nur durch Verkleinerung der Verstärkung erreichen.

³⁾ A. a. O.²⁾, S. 428.

Der erste Drei-Niveau-Kristall-Laser bestand aus einem synthetisch hergestellten Rubinkristall, der in Stabform von 1 cm Stärke und 5 cm Länge verwendet wurde. Bei der praktischen Ausführung befand sich der Rubinstab in der Achse einer als Spirale ausgebildeten Entladungsröhre, deren Gasfüllung auf Abstrahlung von grünem Licht mit 550 nm (5500 Å) Wellenlänge abgestimmt ist. Durch Einstrahlung von rotem Licht mit der größten Wellenlänge von 694,3 nm, am einen Ende des Laserkristalls, bei gleichzeitiger Bestrahlung des Laserkristalls mit dem genannten grünen Licht aus der ihn umgebenden Entladungsröhre, tritt am anderen Ende des Laserkristalls verstärktes rotes Licht aus.

Neben dieser Verstärker-Wirkung kann auch eine Generator-Wirkung herbeigeführt werden, durch eine besondere Ausbildung des Rubinkristalls. Ähnlich dem beim Maser zur Verstärkung der Mikrowellen erforderlichen Resonator (Hohlraum-Resonator) wird der Rubinkristall mit einem Resonator für Lichtwellen ausgestattet. Dieser Resonator entsteht zwischen den Endflächen des Kristalls, die hochgenau eben und senkrecht zur Strahlungsrichtung geschliffen werden, in einem Abstand, der einem hohen ganzzahligen Vielfachen jener Wellenlänge entspricht, die induziert werden soll. Der erforderliche Resonator entsteht durch schwache Verspiegelung dieser zueinander hochgenau parallelen Endflächen.

Bei der oben dargestellten Bestrahlung des Laserkristalls mit grünem Licht wird das erzeugte rote Licht so lange zwischen den Spiegelflächen des Resonators reflektiert, bis die gewählte Dichte der Verspiegelung den Austritt eines bestimmten Teiles des induzierten roten Lichtes freigibt. Das nun ausgestrahlte kohärente Licht hat besondere Eigenschaften. Es wird zufolge der Tatsache, daß alle Teile des Rubinkristall-Gitters in der gleichen Phase schwingen, nicht nur stärkstens gebündelt in ganz bestimmter Richtung ausgestrahlt, sondern ist auch Licht mit einem sehr eng begrenzten Frequenzbereich, bei sehr großer Frequenzkonstanz. Alle konventionellen Lichtquellen, bei denen Atome durch Zuführung von Energie, etwa in Form von thermischen oder elektrischen Auslösungen, zur Strahlung gebracht werden, liefern inkohärentes Licht, da alle Atome voneinander unabhängig in zufälliger Phasenlage strahlen.

Die neuesten Fortschritte waren durch die Entdeckung von Laserkristallen gegeben, die nicht nur 3, sondern 4 Energieniveaus besitzen und damit eine Erhöhung der Laserwirkung erzielen lassen. Darüber hinaus sind Gas-Laser konstruiert worden, bei denen elektrische Entladungen in bestimmten — im letzten Zug der Entwicklung geheimgehaltenen — Gasen die zur Ermöglichung der Laserwirkung notwendige Energie liefern. Selbstverständlich ist auch hier kohärente Laser-Strahlung nur dadurch erreichbar, daß die Gasentladung in einem Resonator der oben beschriebenen Art stattfindet.

Im Stand der Entwicklung zum Ende des Jahres 1963 war bei Kristall-Lasern eine Bündelung von 3' und bei Gas-Lasern von weniger als 1/2' erreicht, wobei sichtbares Licht von etwa 10^{14} Hz mit einer Konstanz von 1 bis 2 Hz mehrere Sekunden lang dauernd abgestrahlt wurde. Die bei kontinuierlicher Strahlung noch sehr geringe Leistung erfordert unter Umständen besondere Kühlungsmaßnahmen⁴⁾, die von der

⁴⁾ Journal of Applied Physics, Bd. 33, 1962, S. 828. Kosmos 1963, Heft 4, S. 164.

Art des verwendeten Lasers abhängen. Im Impulsbetrieb, wobei nach jedem äußerst kurzdauernden Impulsblitz der Laser den entsprechenden Blitz kohärenten Lichtes ausstrahlt, arbeiten fast alle Laser ohne Kühlung, bei gewöhnlichen Temperaturen. Die Überlegenheit der Leistung der Laserstrahlung gegenüber jeder anderen inkohärenten Strahlung wird sogleich erkennbar, wenn man sich eine solche durch das äußerst enge Bündel und Frequenzintervall der Laserstrahlung begrenzt denkt. Jener Anteil der aus der Gesamtstrahlung anderer konventioneller Strahlungsquellen, von einem solchen Kegel von höchstens 3' Öffnungswinkel umfaßt wird, ist mehrere millionenmal kleiner als die Laserstrahlung.

Im Impulsverfahren waren schon 1962 Strahlungsstöße von 300 KW in einer Mikrosekunde erreichbar und zufolge der engen Bündelung konnten im Brennpunkt eines Hohlspiegels Leistungen von mehreren Milliarden KW/cm² erzeugt werden. Dies ist rund einmilliardemal mehr, als sich durch Fokussierung der direkten Sonnenstrahlung erreichen läßt. Die ausgiebigste Verwendung der heute verfügbaren Laser, insbesondere der Gas-Laser mit Induktion über Entladung in Caesium-Dampf, Helium, Xenon usw., dürfte derzeit im Gebiet der Nachrichtenübermittlung liegen. Wegen der hohen Frequenzen aller Laserstrahlen und ihrer besonders großen Frequenzkonstanz können nämlich durch Modulation verhältnismäßig leicht viele verschiedene Nachrichtenkanäle gleichzeitig benützt werden; jedenfalls wesentlich mehr und straffer arbeitende, als die Radiowellen mit ihrer geringeren Frequenz darbieten.

Abgesehen von jenen Anwendungen der Laser, bei den für Versuche im Bereich der analytischen Photogrammetrie abgeschossenen Raketen⁵⁾ und bei den in Umlauf gewesenen oder noch befindlichen Satelliten für Forschungszwecke⁶⁾, deren Lichtblitze im Bereich der USA-Test-Projekte u. a. photographisch festgehalten oder visuell beobachtet wurden, sind nun auch mehr erdgebundene Anwendungen von Maser und Laser für geodätische Zwecke aktuell geworden. Genau so, wie sich für den Bereich der elektrischen Mikrowellen-Distanzmesser die Möglichkeit der Verwendung von Maser darbietet, drängt sich bei den elektro-optischen Entfernungsmessern sinngemäß der Gebrauch von Laser auf. Jedenfalls schon deshalb, weil die für den praktischen Gebrauch unvermeidliche Mitnahme von Motoraggregaten nicht gerade angenehm ist.

Die hier gegebenen Möglichkeiten sind unabsehbar erfolgversprechend, wenn man erfährt, daß bei einem als Mecometer bezeichneten elektro-optischen Distanzmesser eine Leistung von 36 W mit einer 12-Volt-Batterie erzielt werden konnte. Das von dem englischen Physiker *K. D. Froome* entwickelte Gerät verwendet im Resonator ein Ammoniumphosphat-Kristall, das von einem elektrischen Feld im Impulsbetrieb angeregt wird und erlaubt die Messung von Distanzen größer als 10 m, ohne daß eine obere Grenze genannt wird, mit einer Genauigkeit von weniger als 1.10⁻⁷.

⁵⁾ *Duane C. Brown*, A treatment of analytical photogrammetry, RCA Data Reduction Technical Report Nr. 39, Air Force Missile Test Center, Patrick Air Force Base, Florida.

Duane C. Brown, Photogrammetric flare triangulation, RCA Data Reduction Technical Report Nr. 46, Air Force Missile Test Center, Patrick Air Force Base, Florida.

⁶⁾ *S. H. Laurila — W. A. Heiskanen*, Geodesy in Space Age, Ohio State University, Institute of Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Publication Nr. 15.

Eine ausführliche Beschreibung ist enthalten in „Geodesija i Kartografija“, 1963, Heft 8, S. 62ff., und ein Referat findet man in „Vermessungstechnik“ 1963, Heft 12, S. 476.

Es wäre sehr schön, wenn etwa das Geodimeter, dessen schon anfänglich gegebene gute Verwendbarkeit durch die Einführung der Quecksilber-Höchstdrucklampe sehr wesentlich gesteigert wurde, auch noch durch die Benützung eines Lasers vom schweren Aggregat befreit und dadurch leichter transportabel würde.

Welch große Bedeutung man anderswo der Entwicklung der Lasertechnik beißt, geht aus Mitteilungen hervor, die jene Geldsummen ausweisen, mit denen die Erforschung der Laser z. B. in den USA angetrieben wird, mit der Begründung, daß die Entdeckung des Laser-Prinzips — ein Ergebnis der Grundlagenforschung — für das Verteidigungswesen, für die industrielle Technik auf den verschiedensten Gebieten, für Nachrichtenwesen, Ortung und Entfernungsmessung, Datenverarbeitung, Chemie und selbst für die Medizin, größte Bedeutung gewonnen hat. Die Wellenlängen mit denen jetzt gearbeitet wird, liegen nicht mehr nur im Spektralbereich von Ultrarot und Rot, sondern reichen bereits über Grün hinaus ins Blau.

In den USA teilen sich rund 500 Industrie- und Regierungslaboratorien planvoll in die erforderlichen Arbeiten und Untersuchungen. Die Aufwendungen hierfür betragen im Jahr 1963 rund 60 Millionen Dollars. Insgesamt hat die US-Regierung bisher mehr als eine Milliarde Dollar für Arbeiten auf dem Gebiet der Laser-Forschung und -Entwicklung zur Verfügung gestellt⁷⁾.

Über die Entwicklungsarbeiten zu Laser-Geräten in der Deutschen Demokratischen Republik unterrichtet eine eben erschienene Abhandlung⁸⁾. Sie bringt neben präzisen Angaben über die verwendeten Materialien, graphische Darstellungen über die Lage der benutzten Einstrahlung und der erreichten Laserstrahlung sowie Abbildungen des in Jena entwickelten Laser-Gerätes. Hinweise über die möglichen Anwendungen der Flächenleistungsdichte von 10^7 W cm^{-2} , z. B. in der Schweißtechnik, aber auch in der Medizin usw., ergänzen den Bericht.

⁷⁾ Elektronik. Zeitung Nr. 2/1964, S. 6 (Electronics Weekly, London).

⁸⁾ M. Berndt, W. Grassme, E. O. Koch, W. Meinel, Laser-Geräte und Laser-Resonatoren aus Jena, Jenaer Rundschau (Sonderheft Leipziger Frühjahrsmesse 1964).

Eine Analyse des Rückwärtseinschneidens (Untersuchung des Arbeitsaufwandes)

Von *Hellmuth Brunner*, Vöcklabruck

1. Einleitung:

Durch das Bestreben, in Österreich den Grenzkataster einzuführen, der sich rein technisch auf ein Festpunktnetz stützt, wird der Geometer, der sich mit Grundbuchmessungen befaßt, sich weit öfters vor die Notwendigkeit gestellt sehen, einen Rückwärtseinschnitt zu verwenden, als dies bisher der Fall war. Während nun der Vorwärtsschnitt durch Verwendung der Doppelrechenmaschine eine ideale Auswertungsmöglichkeit erhalten hat, sodaß diese Aufgabe zum Einmaleins des Praktikers geworden ist, so hat der RS nicht jene Anwendungsfreudigkeit erlangt, welche er