

## 4 BERNARD BOLZANO UND CHRISTIAN DOPPLER - EINE FREUNDSCHAFT

### *Karl Forcher und Peter Schuster*

Gegen die Meinung renommierter Physiker und Mathematiker seiner Zeit erkannte Bernard Bolzano sofort den epochalen Wert von Christian Dopplers wellentheoretischer Entdeckung (Doppler-Effekt). Wahrhafte Fortschritte für die Menschheit sind nach Bolzanos Ansicht nur von tatsächlich vorbildlichen, liebenswerten Menschen zu erwarten. So gesehen ist es nur verständlich, dass sich zwischen den beiden eine herzliche Freundschaft entwickelte.

*Christian Andreas Doppler*  
(\* 29. 11. 1803, Salzburg;  
† 17. 3. 1853, Venedig)

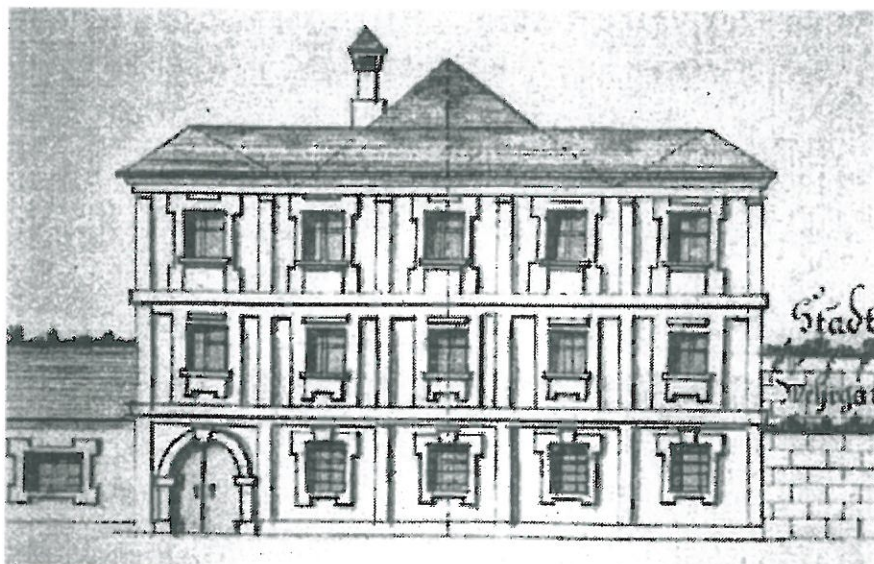


### **Christian Dopplers Leben und Werk**

Christian Andreas Doppler (29.11.1803 Salzburg – 17.3. 1853 Venedig) zählt heute mit Wolfgang Amadeus Mozart zu den weltweit bekanntesten Salzburgern. Die Erkenntnisse von Christian Doppler – der Doppler-Effekt vor allem – sind heute mehr denn je von grundlegender Wichtigkeit für viele Gebiete der Naturwissenschaften, Technik und Medizin. Sie sind erkenntnistheoretisch und für unser Weltbild von besonderer Bedeutung, aber auch aus unserem täglichen Leben heute nicht mehr wegzudenken. Die Familie Doppler, eine Steinmetzdynastie, betrieb das Steinmetzgewerbe in Himmelreich bei Salzburg, um dann in die Neustadt zu kommen und sich im Bereich des heutigen Makartplatzes niederzulassen. An der damals

noch bestehenden Stadtmauer wurde in der jetzigen Theatergasse und am Makartplatz ein Steinmetzbetrieb aufgebaut. Die ursprünglich einstöckigen Gebäude entlang der Stadtmauer beherbergten die notwendigen Werkstätten, zu denen neben den typischen Lager- und Arbeitsräumen eines Steinmetzes auch eine Schmiede gehörte. 1791 wurde ein Plan zur Aufstockung eines Gebäudes eingereicht. In diesem neuen Haus befanden sich neben den Räumen zur Planung und Verwaltung des Unternehmens auch die Wohnräume der Familie Doppler. Dieses Haus, heute Makartplatz 1, war eines der ganz wenigen Häuser, die in Salzburg in dieser unruhigen Zeit gebaut wurden. Es ist heute das einzige Haus in der ganzen Stadt Salzburg, das mit seiner Fassade aus dem frühen Klassizismus in seiner gesamten Bausubstanz seit damals nahezu unverändert erhalten ist.

*Geburtshaus von  
Christian  
Doppler;  
Salzburg,  
Makartplatz 1  
Originalzeich-  
nung 1791*



Der Steinmetz Doppler war ein wirtschaftlich erfolgreiches Unternehmen, was sich nicht nur durch die drei Standorte Makartplatz, Griesgasse und Himmelreich manifestiert, sondern für jedermann erkennbar, auch an den Signaturen an den Grabdenkmälern, beispielsweise auf dem Sebastiansfriedhof an der Linzergasse. In genau diesem Friedhof befindet sich auch die große, prunkvolle Grabstätte der Familie Doppler, die man natürlich auch als »Werbung« für den Steinmetzbetrieb auffassen kann. Hauptsächlich wurden die berühmten und bekannten Salzburger Dekorgesteine Untersberger Marmor und Adneter Marmor verwendet. Am Untersberg hatten die Doppler



sogar selbst einen Steinbruch gepachtet, ebenso wie am damals noch salzburgischen, heute bayerischen Högl, wo der graue Flyschsandstein gebrochen wurde. Dieser wurde wegen seiner Hitzebeständigkeit als Stützen für die Salzsudpfannen in Hallein benötigt. Außerdem wurden die Treppen im Dopplerhaus am Makartplatz 1 aus diesem Material gefertigt.

Christian Andreas Doppler wurde am 29. November 1803 um 14.00 Uhr im Haus Makartplatz 1, in Salzburg geboren. Der Vater von Christian Doppler war Johann Evangelist Doppler, Steinmetzmeister und die Mutter Theresia Doppler, geborene Seeleuthner. Christian Doppler wuchs in dem Steinmetzbetrieb auf, besuchte die Volksschule und arbeitete im elterlichen Gewerbe mit. Er fertigte Zeichnungen an und versuchte sich auch an der Umsetzung seiner Entwürfe. Der Vater Johann E. Doppler musste jedoch erkennen, dass der junge Christian über eine für den schweren Beruf eines Steinmetzes viel zu schwache körperliche Konstitution verfügte und für diesen Beruf nicht geeignet war. Also fragte er den jungen Professor für Mathematik und Physik am Salzburger Lyceum, Simon Stampfer, um Rat. Stampfer, ein großer und völlig zu Unrecht weitgehend unbekannter Salzburger Naturwissenschaftler, erkannte das große mathematische und physikalische Talent von Christian Doppler und riet dem Vater, die weitere Ausbildung des Sohnes zu veranlassen. Christian Doppler besuchte die Deutsche Normalschule in Linz, der damaligen Kreishauptstadt. Nach dem Abschluss übersiedelte er 1821 nach Wien, wo er die Studien der Mathematik, Physik und Geometrie am Polytechnischen Institut, der heutigen Technischen Universität, aufnahm. Nach dem erfolgreichen Abschluss musste Doppler nach Salzburg zurückkehren, um hier am Lyceum bei Stampfer die Matura nachzuholen. Nach der Hälfte der vorgeschriebenen 6 Semester hatte Doppler diese Aufgabe bewältigt und schloss die philosophischen Studien ebenfalls in Salzburg an. Neben diesen Aufgaben erlernte er noch die modernen Fremdsprachen Englisch, Französisch und Italienisch. Zudem absolvierte er eine kaufmännische Ausbildung zum Handelsbuchhalter. 1829 kehrte nach Wien zurück und trat am Poly-

technischen Institut eine Assistentenstelle beim Mathematiker Professor Burg an. Obwohl Doppler sich dort in Lehre und Forschung bewährte und seine ersten wissenschaftlichen Arbeiten veröffentlichte, musste er das Polytechnische Institut 1833 verlassen, da Verträge für Assistenten nur bis maximal vier Jahre verlängert werden konnten.

Im biedermeierlichen Österreich hatten die Naturwissenschaften keinen besonders hohen Stellenwert und so war es Christian Doppler unmöglich, eine adäquate Anstellung als Wissenschaftler zu finden. Er hielt sich finanziell als Handelsbuchhalter einer Manufaktur in Bruck an der Leitha über Wasser, war jedoch mit seiner persönlichen Situation völlig unglücklich. Daher fasste er den Entschluss, in die USA auszuwandern. Um sich die Reise finanzieren zu können, musste er jedoch sein gesamtes Hab und Gut verkaufen. Besonders schmerzlich muss für einen jungen Wissenschaftler in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Veräußerung all seiner Bücher gewesen sein.

Bereits auf der Reise erhielt er zwei Stellenangebote als Professor an höheren Schulen. Er schlug das Angebot aus Bern in der Schweiz aus und entschied sich aus patriotischen Gründen für die schlechter bezahlte Stelle als Professor für Mathematik und Handelsbuchhaltung an der Ständischen Realschule in Prag. Nach der Übersiedelung nach Prag 1835 und mit der fixen Anstellung auch finanziell abgesichert, heiratete er die Tochter eines Salzburger Goldschmiedemeisters, Mathilde Sturm. Aus dieser Verbindung sollten in der Folge 5 Kinder entstammen.

Die für Christian Doppler wissenschaftlich fruchtbarste Zeit in Prag begann er als supplierender Professor für Mathematik und Physik am Polytechnischen Institut, heute Technische Universität Prag im Jahre 1838. Drei Jahre später wurde er zum Ordentlichen Professor für Mathematik und Physik berufen und Mitglied der Böhmisches Akademie der Wissenschaften. Am 25. Mai 1842 stellte er sein Hauptwerk »Über das farbige Licht der Doppelsterne«, in dem er den Dopplereffekt beschreibt, vor.



Er verfasste in der Folge eine Vielzahl von Werken, bis er mit seiner Familie 1847 Prag verlässt und nach Schemnitz in Westungarn, heute Slowakei, geht. An der dortigen Bergakademie wird er Bergrat und Professor für Mathematik, Physik und Mechanik. Vor dem Ungarnaufstand flüchtet die Familie schon 1848 nach Wien, wo Doppler am Polytechnischen Institut Simon Stampfer als Professor für praktische Geometrie nachfolgt.

Am 17. Jänner 1850 wird Christian Doppler vom jungen Kaiser Franz Josef per Dekret zum Direktor des neugegründeten Physikalischen Institutes an der Universität Wien berufen. Er beschäftigt sich nun hauptsächlich mit der Suche nach einem Institutsgebäude, das er in Erdberg findet, sowie mit der Einrichtung des neuen Institutes, für das er ein ausführliches Statut einschließlich Dienstinstruktionen für die Mitglieder des Instituts entwirft und auch die Aufnahme von Stipendiaten vorsieht. Unter seinen Studenten befindet sich Gregor Mendel, der spätere Entdecker der Gesetze der Vererbungslehre, dem er privat Nachhilfestunden gibt, um ihn für die Lehramtsprüfung vorzubereiten. Bereits 1852 muss Christian Doppler, schwer von seiner Lungenerkrankung, deren Anfänge vermutlich schon in seiner Kindheit im staubigen Steinmetzbetrieb zu suchen sind, gezeichnet, nach Venedig reisen, um dort Linderung zu suchen.

Am 17. März 1853 verstirbt Christian Andreas Doppler in den Armen seiner eilig herbeigereisten Frau in Venedig. Am Friedhof San Michele wird von italienischen Physikern bereits im Oktober 1853 ein Denkmal für Christian Doppler errichtet. Der Ort seines Grabes ist unbekannt.

Der Doppler-Effekt  
 $\Delta f = F_0 \cdot v/c$



Für das Auftreten des Doppler-Effektes sind Wellen, die von einem Sender ausgesendet und von einem Empfänger aufgenommen werden, und eine Relativbewegung zwischen Sender und Empfänger maßgeblich.

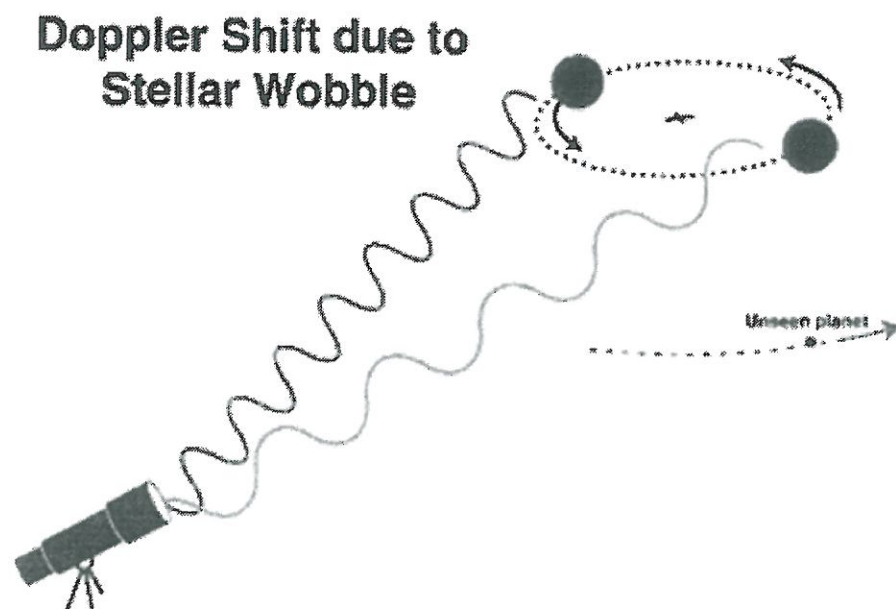
Bewegt sich der Sender zum Empfänger, oder der Empfänger zum Sender hin, werden die ausgesandten Wellen »gestaucht« wahrgenommen. Es kommt zu einer Frequenzerhöhung der empfangenen Wellen.

Bewegt sich hingegen der Sender vom Empfänger weg, oder der Empfänger vom Sender, werden die Wellen »gedehnt« wahrgenommen. Es kommt zu einer Frequenzerniedrigung beim Empfangen der Wellen.

So wird beispielsweise das Motorengeräusch eines Rennwagens beim Annähern höher, beim Entfernen des Autos jedoch tiefer gehört.

$$\Delta f = f_0 \cdot v / c$$

Frequenzänderung = Ausgangsfrequenz mal Bewegungsgeschwindigkeit durch Ausbreitungsgeschwindigkeit.



Der Dopplereffekt gilt für alle Arten von Wellen und bei jeder Frequenz, wie Doppler bereits in seiner Arbeit postuliert hatte. In allen



weiteren Abhandlungen bemühte sich Doppler, Wege zu einer Messung des nach seiner Theorie zu erwartenden Effektes vorzuschlagen, bzw. bekannte astronomische Daten in seinem Sinn zu deuten.

Christian Doppler erlitt das Schicksal vieler großer Geister: Der Doppler-Effekt fand in seiner Lebenszeit keine wissenschaftliche Anerkennung. Nur seine beiden Freunde, nur Karl Kreil sowie der Astronom Benedikt Sestini gaben ein positives Urteil. Besonders der Wiener Professor Josef Petzval behauptete, dass es nicht möglich sei, etwas so Bedeutsames in einer Arbeit von acht Seiten, die noch dazu nur auf einfachen Gleichungen beruhte, darzustellen. »Ohne Anwendung von Differentialgleichungen könne man unmöglich in die ›große Wissenschaft‹ eintreten.« Auch der Direktor der Sternwarte Dorpat, Professor Mädler, der nicht nur ein prominenter Astronom, sondern auch ein bekannter populärer Schriftsteller war, benutzte jede Gelegenheit zur Widerlegung der Ansichten Dopplers. »Die Doppler-Formeln mögen auf anderem Wege praktisch geprüft werden: die Astronomie kann kein Prüfungsobject dafür bieten«, sagte er noch 1861.

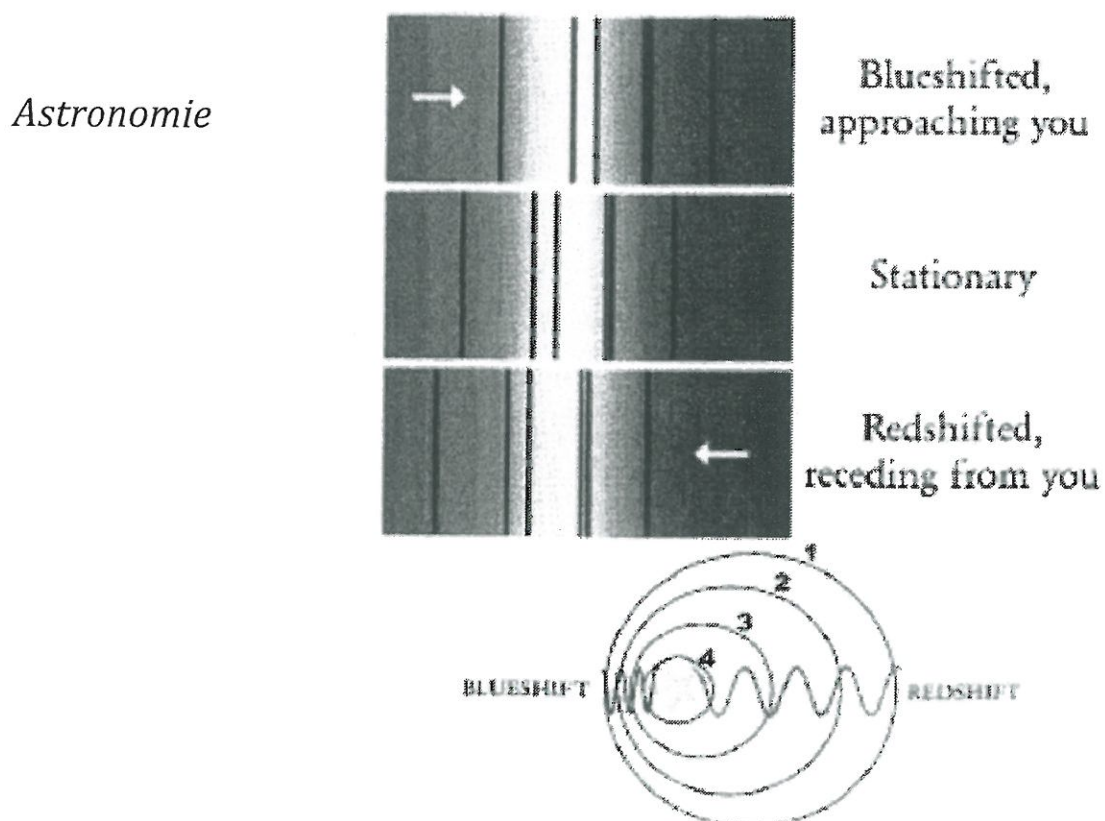
1845 führte der junge niederländische Physiker Christoph Buys Ballot ein Experiment durch, um seine Zweifel an der Doppler'schen Theorie zu bestätigen. Er postierte Musiker (Hornisten), bei denen Übung im Unterscheiden von kleinen Tonintervallen vorausgesetzt werden konnte, auf einem offenen Eisenbahnwaggon und auch entlang der Bahnstrecke zwischen Utrecht und Maarsen. Diese Eisenbahn konnte auf der ebenen Strecke eine Geschwindigkeit von 40 Meilen pro Stunde erreichen. Er ließ die Musiker auf dem Zug einen bestimmten Ton spielen, der von den Musikern am Bahndamm bei Annäherung um einen Halbton höher und bei Entfernung des Zuges um einen Halbton tiefer gehört wurde. Der gleiche Effekt wurde erzielt, wenn die stationären Musiker spielten und die bewegten Musiker auf dem Zug die Tonhöhe protokollierten. Buys Ballot setzte also die trainierten Ohren von Musikern sozusagen als Frequenzmessgeräte ein, da es zu jener Zeit noch keine Frequenzmeßgeräte gab.

1860 gelingt Ernst Mach die Konstruktion eines Apparates zur Prüfung des Doppler-Prinzips und damit der erste Nachweis im La-

bor unter reproduzierbaren Bedingungen. Die ersten exakten Bestimmungen der Radialgeschwindigkeiten von Sternen aufgrund der Spektrallinienverschiebungen, also mit Hilfe des Doppler-Effektes, gelang dem Direktor des Astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam, Hermann Carl Vogel 1892. Der Nachweis des Doppler-Effektes im irdischen Bereich gelang Johann Stark 1905. Er erhielt dafür 1919 den Nobelpreis.

Doch obwohl der experimentelle Beweis für die Doppler-Theorie früh geglückt war, blieb seine Theorie noch lange höchst umstritten. Erst in einer umfassenden Theorie, in der Relativitätstheorie Einsteins, wurde sie in ihrer Konsequenz für das Licht und seine Frequenz voll verstanden. Die Doppler-Theorie wird durch die Relativitätstheorie so verallgemeinert, dass sie auch relativistischen Geschwindigkeiten voll Rechnung trägt. Der Doppler-Effekt gibt der Relativitätstheorie damit auch ihre wertvollste Bestätigung.

## Einige moderne Anwendungen des Doppler-Effektes

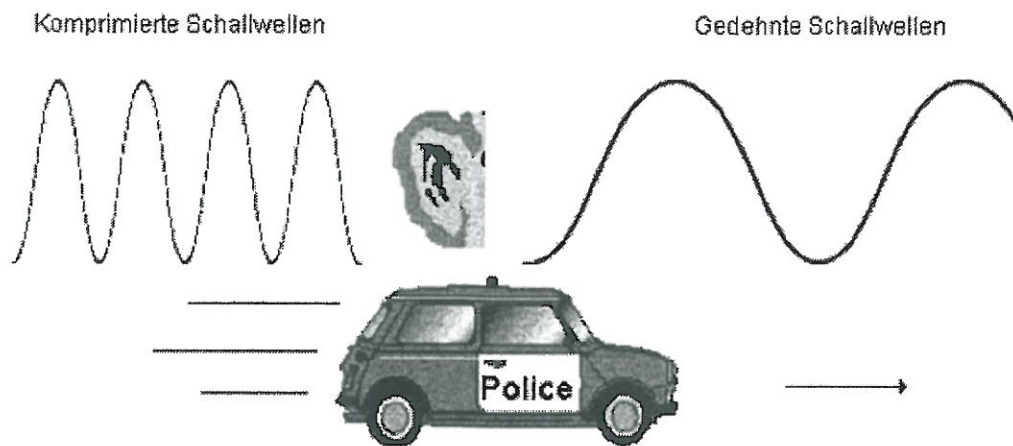




Bis zum heutigen Tage sind die Erkenntnisse der modernen Astronomie ohne Doppler-Effekt völlig undenkbar. Alle Bewegungen im All sind uns nur durch die Doppler-Beziehung zugänglich geworden, die uns die radiale Geschwindigkeit der Objekte direkt im linearen Maß (in Kilometer pro Sekunde) liefert. Ob dies nun das Rotationsverhalten oder die Topographie der Planeten betrifft, die Bahn- und Massebestimmung von Doppelsternsystemen, die Entfernungsbestimmung extragalaktischer Sternsysteme oder die räumliche Verteilung der Galaxien. Auch die Entdeckung des interstellaren Gases geht auf den Doppler-Effekt zurück.

Die Messung erfolgt mittels der für jedes chemische Element typischen Auslöschungslinien, der Fraunhofer'schen Linien, im Spektrum des Sternenlichtes. Sind diese Linien in Richtung des roten Bereiches im Spektrum verschoben, die sogenannte Rotverschiebung, heißt das laut Doppler-Prinzip, dass die Lichtwellen »gedehnt« bei uns ankommen. Der Stern bewegt sich also von uns weg, und je nach Ausmaß der »Dehnung« der Lichtwellen kann man aber auch die Geschwindigkeit dieser Bewegung messen. Betrachtet man die Lichtwellen der Sterne fremder Galaxien, so wird man feststellen, dass die Lichtwellen »gedehnt« bei uns ankommen, und je entfernter die Galaxie, mit um so größerer Geschwindigkeit fliegt sie von uns weg, um so stärker ist also auch die Rotverschiebung. Doppelte Entfernung bedeutet doppelte Geschwindigkeit, dreifache Entfernung dreifache Geschwindigkeit. Das Tempo der Flucht ist proportional zur Entfernung. Diese Beobachtungen von Edwin Hubble aus 1929, die man seither das Hubblesche-Gesetz bezeichnet, begründete die Urknall-Theorie und leitete damit eine neue Ära der Kosmologie ein: Am Beginn war das Weltall sozusagen bei unendlich hoher Temperatur und unendlich großer Dichte auf unendlich kleinem Raum konzentriert. Seit dem als »Urknall« bezeichneten explosionsartigen Vorgang vor etwa 15 bis 20 Milliarden Jahren dehnt sich das Universum aus, verliert an Energie und wird ständig kälter.

## Verkehrsradar:

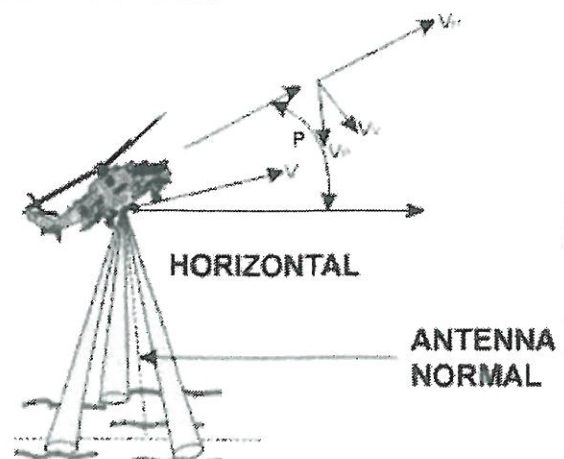


### Der Dopplereffekt

Die Schallwellen eines sich nähernden Autos klingen höher, da sie gestaucht sind. Wenn es vorbeigefahren ist, werden die Schallwellen länger, wodurch der Ton tiefer wird.

Die Verkehrspolizei überwacht die Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von Fahrzeugen mit Radaranlagen (Radar = RADio Detecting And Ranging), die entweder an festen Standorten montiert sind oder auch mobil in Fahrzeugen untergebracht werden können. Diese Geräte senden elektromagnetische Wellen (Radarwellen) mit einer bekannten Frequenz aus. Von einem Fahrzeug werden die Radarwellen reflektiert, damit wird dieses Fahrzeug zum Sender der reflektierten Wellen. Nähert sich das Fahrzeug der Sende- und Empfangseinheit, wird die Frequenz durch den Doppler-Effekt erhöht empfangen. Entfernt sich das Fahrzeug hingegen von dem Radargerät, wird die Frequenz der reflektierten Wellen erniedrigt. Durch einen Vergleich der bekannten Ausgangsfrequenz mit der empfangenen Frequenz kann mit dem Doppler-Gesetz genau die Geschwindigkeit des Fahrzeuges errechnet werden.

*Autonome Geschwindigkeitsmessung von Flugzeugen  
Doppler-Navigationsverfahren*





Die Geschwindigkeit ist ein wichtiger Parameter bei der Navigation. Ein Flugzeug kann nur seine Geschwindigkeit relativ zur Luft direkt messen, bei Gegen-, Seiten- oder Rückenwind kommt es aber zu erheblichen Fehlmessungen. Sendet man Radarwellen zum Boden, werden diese dort reflektiert und zum Flugzeug zurückgesendet. Aufgrund der durch den Doppler-Effekt verursachten Frequenzverschiebung zwischen abgestrahlten und empfangenen Wellen, kann die tatsächliche Geschwindigkeit über dem Boden und der Abdriftwinkel direkt an Bord gemessen und aus diesen Daten mit Hilfe eines Computers der zurückgelegte Weg und auch der momentane Standort genau bestimmt werden. Damit hat die Luftfahrt ein von Bodenstationen unabhängiges Navigationsverfahren. Auch im umgekehrten Fall kann der Luftraumbeobachter die Geschwindigkeit von fliegenden Objekten durch die Doppler-Frequenzverschiebung der Radarwellen feststellen.

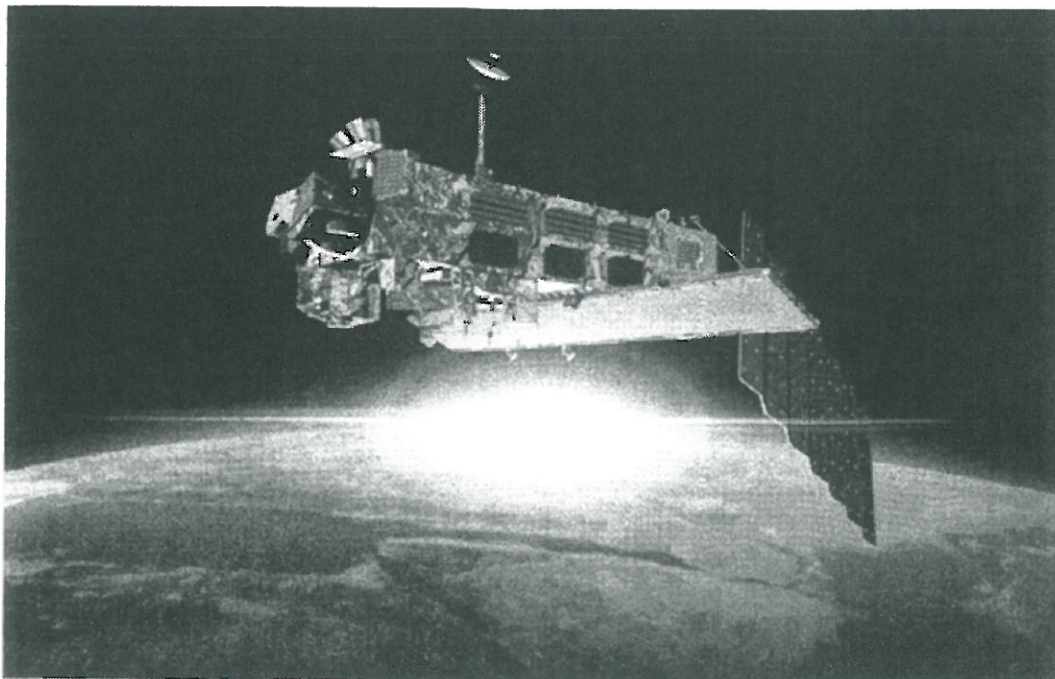
Eine wichtige Navigationshilfe für die Luftfahrt ist das Dopplervor (Very high frequency omnidirectional radio range), das die Luftstraßen markiert und ohne die die rasante Entwicklung der Luftfahrt nicht möglich gewesen wäre. Eine zentrale Antenne, die das Bezugssignal sendet, ist von 50 festen, im Kreis mit 13,5 m Durchmesser aufgestellten Antennen umgeben, an die nacheinander, kurzzeitig ein variables Signal geschaltet wird. So wird eine Kreisbewegung erstellt. Das variable Signal erzeugt eine Phasenverschiebung zum Bezugssignal, mit deren Hilfe auch geringste Kursabweichungen Fluglagenunabhängig festgestellt werden können, die sowohl zur Informationsdarstellung für den Piloten wie auch zur automatischen Flugführung genützt werden.

Um Reflexionen in hügeligen und gebirgigen Gebieten auszuschalten, wird nun auch die Doppler-Frequenzverschiebung des variablen Signals erfasst. Es läuft kurz auf das Flugzeug zu und entfernt sich dann wieder von ihm. An Bord werden zyklische Frequenzveränderungen beobachtet, die eine reflexionssichere und damit Hindernisunabhängige Navigation garantieren.

Bei der Satellitennavigation senden spezielle Satelliten ständig Funksignale auf einer genau bekannten Sendefrequenz, die zur Navigation ausgewertet werden. Dem Benutzer eines solchen Systems wird die genaue Bahn und die Weltzeit vom beobachteten Satelliten mitgeteilt. Zur Abstandsmessung wird der Doppler-Effekt ausgenutzt, der aufgrund der Satellitenbewegung als Änderung der Empfangsfrequenz beim Beobachter auftritt. Anhand der gegen die Zeit aufgetragenen Frequenzkurve (Doppler-Kurve) lässt sich der Zeitpunkt der größten Annäherung bestimmen, zu dem die Verbindungslinie Satellit – Beobachter senkrecht zur Satellitenbahn steht. Ein Netz von Bodenstationen überwacht die Satellitenbahnen, und eine Zentrale berechnet laufend die Bahndaten, die dem Satelliten über Funk zur Erneuerung der Speicherdaten übermittelt werden. 1995 begannen die ESA, die europäische Kommission und die Flugsicherungsorganisation Eurocontrol das gemeinsame Programm ESN (Europ. Satellitennavigation), das die Satellitennavigation für die Steuerung des Luft-, Wasser- und Landverkehrs auch für zivile Anwender voll nutzbar machen soll.

### *ENVISAT*

#### *Der Doppler-Effekt in der Raumfahrt*



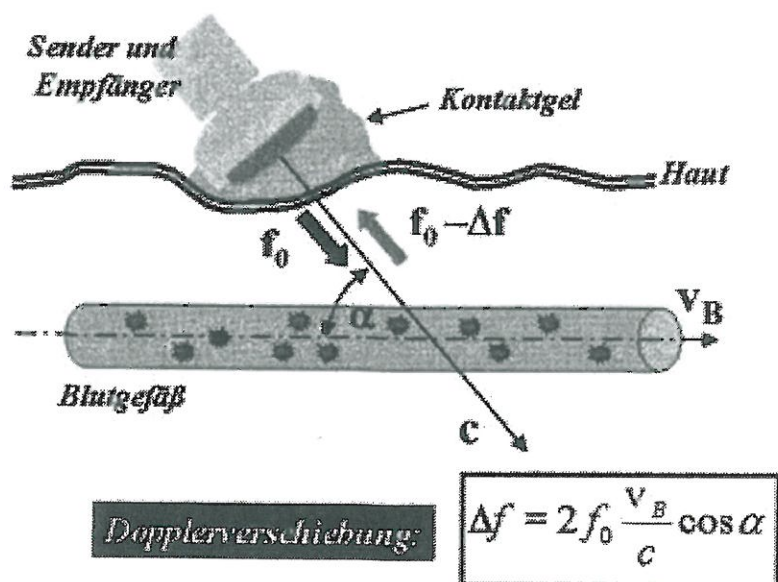


Die Bedeutung des Doppler-Effektes in der Raumfahrt soll nur an einigen besonders typischen Beispielen aufgezeigt werden, da sie überwiegend aus dem Bereich der militärischen Raumfahrt stammen. Bereits bei der ersten gesteuerten Großrakete, der in Peenemünde entwickelten Rakete A-4, bei der die Geschwindigkeit auf 0.05 % eingehalten werden musste, wurde für die Geschwindigkeitsmessung eine auf 30 MHz arbeitende Doppler-Anlage entwickelt. Die Rakete strahlte mit einem Bordsender das empfangene und frequenzverdoppelte Signal zur Bodenstation zurück, wo es mit dem verdoppelten Originalsignal in Phase und Frequenz verglichen wurde. Entsprach die Frequenzverschiebung der geforderten Geschwindigkeit, schaltete ein Sender das Triebwerk ab. Die Doppleranlage wurde dann weiterentwickelt und ist noch heute nach denselben Prinzipien in Verwendung. Sie arbeitete so auch bei den Voyager-Sonden. Bei den ersten Satelliten-Starts bestimmte man die Bahn nur mittels astronomischer Messungen. Erst 1958 gelang es, mit Doppler-Messungen mit nur einer Bodenstation die Bahnelemente einer Satellitenbahn vollständig zu bestimmen. 1960 kam man auf die Idee, die Methode umzukehren. Bei bekannter Satellitenbahn konnte die Position der Bodenstation, das heißt der streng geheime Startplatz, bestimmt werden, woran die Militärs besonders interessiert waren. Das TRANSIT-System war damit entstanden, das 1967 für die zivile Nutzung freigegeben wurde. Bei Raumsonden wird die Radialgeschwindigkeit ebenfalls mittels Doppler-Effekt bestimmt.

## Dopplereffekt

### Doppler-Ultraschall in der Medizin

- **Darstellung von Fluss**
- **Geschwindigkeitsbestimmung von Blut**
- **Anwendung in Herz und Gefäßen**



$\Delta f$	=	Dopplerverschiebung (30Hz-15kHz)
$f_0$	=	eingestrahlte Frequenz
$\alpha$	=	Einstrahlwinkel
$v_B$	=	Strömungsgeschwindigkeit

Die weltweit bekannteste Anwendung des Doppler-Effektes stellt die Doppler-Ultraschalluntersuchung dar. Bei einer Ultraschalluntersuchung werden Schallwellen in den Körper gesendet. Die Frequenz dieser Wellen liegt deutlich über der menschlichen Hörgrenze und beträgt zwischen 2 und 10 MHz. Die Schallwellen werden von verschiedenen Geweben unterschiedlich reflektiert. Die reflektierten Wellen werden in Grauskalenbilder umgewandelt, die dem Arzt einen unblutigen Blick ins Innere des Körpers ermöglichen. Der Doppler-Effekt kommt wiederum bei der Messung von Geschwindigkeit zum tragen. Die Schallwellen werden dabei von den roten Blutkörperchen im fließenden Blut reflektiert. Analog zum Geschwindigkeitsradar

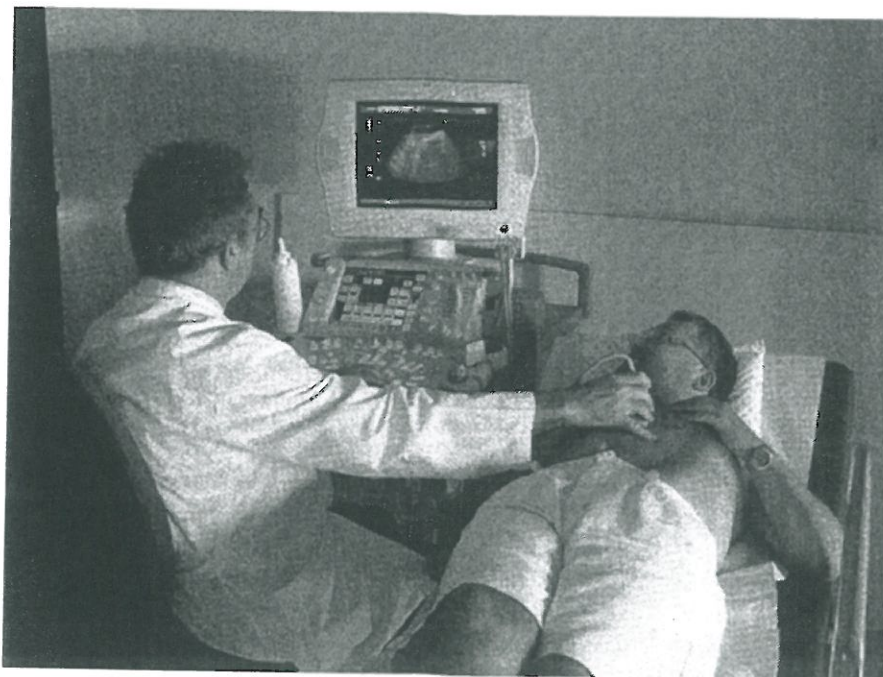


der Polizei werden sie damit zu Wellensendern, und je nachdem wie stark gestaucht bzw. gedehnt, d.h. mit welcher Frequenz im Vergleich zur Ausgangsfrequenz die reflektierten Wellen empfangen werden, können sowohl Blutflussrichtung aber vor allem auch die Blutflussgeschwindigkeit genau bestimmt werden.

Mit dieser Methode können – ohne schädliche Nebenwirkungen – Verschlüsse (es wird keine Geschwindigkeit mehr gemessen) und Verengungen (an den Engstellen muss das Blut mit höherer Geschwindigkeit fließen) der Blutgefäße genau lokalisiert werden. Wo genau eine solche Engstelle oder Verstopfung eines Gefäßes vorliegt ist sowohl bei Vorbeugemaßnahmen gegen Schlaganfall und Herzinfarkt als auch bei der Nachsorge von entscheidender Bedeutung. Mit speziellen Einrichtungen können auch ansonsten schwer zugängliche Stellen, wie Gefäße im Gehirn, untersucht werden.

Bei pränatalen Untersuchungen mit dem Doppler-Ultraschall wird die Versorgung von Fötus und Placenta untersucht.

Die behandelnden Ärzte können dann über die weitere Therapiemöglichkeiten fundiert entscheiden.



Es gibt noch viele weitere Anwendungen von Dopplers Entdeckungen, etwa das Doppler-Radar als Hilfsmittel für den Wetterdienst oder die Satellitengeodäsie. In der modernen Wissenschaft und Technik erfolgt auch die Temperaturmessung von Gasen mithilfe des Doppler-Effektes. Untersuchungen mit dem Mößbauer-Effekt, der den Doppler-Effekt zur gezielten Frequenzabstimmung von Gamma-Strahlen benutzt, werden in der Chemie, Festkörper- und Kernphysik durchgeführt; weiters spielt der Doppler-Effekt in der Laser-Doppler-Anemometrie (LDA) eine bedeutende Rolle. Das LDA-Verfahren ist ein optisches Meßverfahren in durchsichtigen Gasen oder Flüssigkeiten.

## 2. Doppler und Bolzano



*Simon Stampfer*  
1790–1864



*Bernard Bolzano*  
1781–1848



*Franz Exner*  
1802–1853

Das Leben Dopplers wurde von einigen für ihn sehr wichtigen Persönlichkeiten geprägt: Simon Stampfer, Bernard Bolzano und Franz Exner. Simon Stampfers Rolle als Förderer des jungen Genies wurde schon behandelt. In Franz Exner, dem Prager Philosophieprofessor und Schulorganisator, fand Doppler einen tätigen Unterstützer und lebenslangen Freund.



*Bernard Bolzano* ist seit seiner Studienzeit an der Prager Universität als genialer Mathematiker bekannt. Bei seiner Berufswahl entscheidet er sich für die Theologie und tritt sein Amt als Professor der Religionswissenschaften an der philosophischen Fakultät der Karls-Ferdinands-Universität im Jahre 1805 an. Am 19. Feber 1815 wird er als Ordentliches Mitglied in die 1774 als »Prager Gelehrte Gesellschaft« gegründete, spätere *Königlich-Böhmische Gesellschaft der Wissenschaften* aufgenommen und wurde im Jahr 1819 ihr Direktor.

In den dreißiger Jahren, als Exner nach Prag kam, lebte Bernard Bolzano nicht in Prag. In einer gemeinsamen Anstrengung von Kaiser und Kirche war er am 24. Dezember 1820 als Professor der Religionswissenschaften abgesetzt worden und erhielt Schreib- und Predigtverbot, das streng überwacht wurde. Als Bolzano am 12. März 1823 Anna Hoffmann, geborene Janotyk von Adlerstein, kennenlernte, entspann sich eine tiefe Freundschaft, in die auch der Gemahl Annas, der Gutsbesitzer Josef Hoffmann, einbezogen wurde. Von 1823 bis 1830 treffen sie einander fast täglich in Prag. Die Sommermonate verbringen sie auf dem Landgut der Hoffmanns im südböhmischen Těchobuz. Von 1830 bis 1841 ziehen die Hoffmanns und auch Bolzano ganz auf das Gut in Südböhmen. Ende 1841 verlassen die schwer erkrankte Anna Hoffmann, ihr Gatte und Bolzano Těchobuz und ziehen wieder nach Prag. Nach Anna Hoffmanns Tod kehrt Josef Hoffmann wieder auf sein Gut zurück, Bernard Bolzano bleibt in Prag und wohnt wieder im Haus seines Bruders in der Zeltnergasse. In seinen letzten Lebensjahren hält Bolzano zahlreiche Vorträge an der Königlich-Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, die in deren Akten erscheinen. Von 1841 bis 1842 ist er Geschäftsführer der philosophischen Sektion, 1841 bis 1845 Geschäftsführer der mathematischen Sektion der Gesellschaft, 1842 bis 1843 wieder Direktor der Akademie.

Bolzano hatte Dopplers Leistung sofort in ihrer Tragweite erkannt. Und er, selbst hervorragender Physiker, dessen dynamischer

Atomismus seiner Zeit weit voraus war,<sup>1</sup> trägt nun tatkräftig zur Verbreitung und Anerkennung der Lehren Dopplers bei: Er veröffentlicht zwei rein physikalische Arbeiten, die in den *Annalen der Physik und Chemie* (Poggendorfs Annalen) in Leipzig erscheinen, im Jahr 1843 und 1847.<sup>2</sup>

1837 gelingt es Bolzano, eine Arbeit Dopplers zur analytischen Geometrie gegen einigen Widerstand seiner Kollegen in den Abhandlungen der Königlich-Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften zur Erscheinung zu bringen. Im Jahre 1840 wird Christian Doppler auf Vorschlag Bolzanos zum außerordentlichen Mitglied der Gesellschaft ernannt. 1842 trägt dieser in der naturwissenschaftlichen Sektion der Königlich-Böhmischen Gesellschaft »über die merkwürdige Erscheinung des farbigen Lichtes der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels« vor, also über seine wissenschaftliche Großtat. Anwesend sind Bolzano und fünf weitere Mitglieder. Die Arbeit wird bei Borrosch und André in Prag gedruckt. Bolzano bezieht sich darauf in seiner Arbeit von 1843: »Ein paar Bemerkungen über die neue Theorie in Herrn Professor Christian Doppler's Schrift: ›Uiber das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels‹«. Darin verteidigt er dieses Prinzip gegen verschiedene Einwände. (Die Königlich-Böhmische Akademie sah auch noch die vollständige Anerkennung dieses Prinzips in Physik und Astronomie durch Ernst Mach, 1867 bis 1895 Professor der Physik in Prag.)

1843 wird Doppler als ordentliches Mitglied in die Gesellschaft aufgenommen. In ihren Abhandlungen erscheinen von 1842 bis 1848, also im wesentlichen unter den Auspizien Bolzanos, Dopplers grundlegende Arbeiten über sein Prinzip. Bolzano veröffentlicht im

---

<sup>1</sup> Vgl. Hans-Jürgen Treder, Bolzanos Ansichten und Arbeiten zur Physik. In: *Bernard Bolzano 1781-1848. Studien und Quellen*. Berlin: Akademie-Verlag 1981, 161-167.

<sup>2</sup> Zu Bolzanos Arbeiten vgl. BGA E 2/1, Suppl. 2; zu Dopplers Arbeiten vgl. Helmuth Grössing und Karl Kadletz, *Christian Doppler (1803-1853)* Bd. 1. Wien-Köln-Weimar: Böhlau 1992.



Jahre 1847 eine zweite Arbeit in den *Annalen der Physik und Chemie*: »Christ. Dopplers neueste Leistungen auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Apparatenlehre, Akustik, Optik und optischen Astronomie«. Darin kommentiert er Dopplers Arbeiten von 1842 bis 1847. Dabei ist folgendes bemerkenswert:

Bolzano war von Anfang an überzeugt von Dopplers Genie. Dennoch enthalten seine Ausführungen implizite Kritik an dessen Ausführungen, und zwar durch eine korrektere und vorsichtiger Darstellung von Dopplers eigenen Behauptungen!<sup>3</sup> In Fragen der höheren Mathematik waren Bolzano und Doppler nicht immer einer Meinung. Christian Doppler, der geniale Physiker, konnte mit Bolzanos philosophischer Art, Mathematik zu betreiben, wenig anfangen. Sowohl Doppler als auch der Mathematiker Ferdinand Heßler lehnten Bolzanos philosophische Betrachtungsweise ab.<sup>4</sup> Michael Josef Fesl, Bolzanos Schüler und treuer Freund, kritisiert Bolzano gegenüber in einem Brief aus dem Herbst 1842, dass Christian Doppler und Franz Exner sich seinen Arbeiten gegenüber ziemlich gleichgültig verhielten. Bernard Bolzano weist ihn heftig zurück und rückt zurecht: »Wie falsch ist dies, wie parteiisch und ungerecht! Als ob den Leistungen Dopplers, Heßlers [Physiker und Mathematiker, damals in Prag] Palackýs [damals Sekretär der Königlich Böhmisches Gesellschaft der Wissenschaften] und anderer nur das Geringste entginge nur darum, weil sie kein Interesse und vielleicht auch kein Talent für meine spekulativen Forschungen haben.«<sup>5</sup>

Der Freundschaft, die Bolzano für den jungen Kollegen empfand – und seinem Einsatz für ihn – konnte ein solches Missverständnis nichts anhaben. Es verbanden sie Gemeinsamkeiten, die viel weiter reichten. Es war ihr gemeinsames Eintreten für die »gute Sache der

---

<sup>3</sup> Treder, Bolzanos Ansichten und Arbeiten, 163.

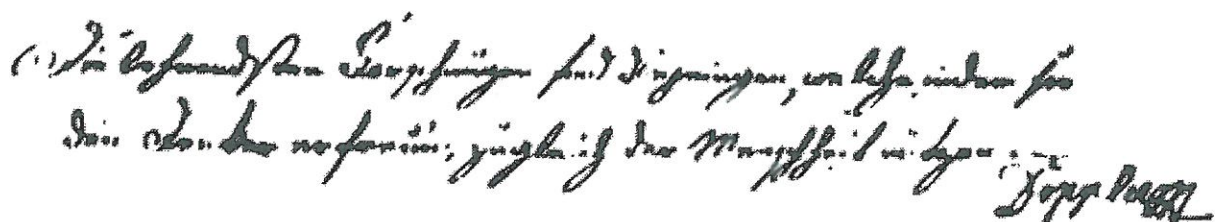
<sup>4</sup> Vgl. Eduard Winter, *Bernard Bolzano. Ein Lebensbild* BGA E 1, 33f.

<sup>5</sup> Eduard Winter und Wilhelm Zeil, *Wissenschaft und Religion im Vormärz. Der Briefwechsel Bernard Bolzanos mit Michael Josef Fesl 1822–1848*. Hg. v. E. Winter und W. Zeil unter Mitarbeit von I. Zeil. Berlin (Ost): Akademie-Verlag, 321–323.

Menschheit«, wie das in Bolzanos Freundeskreis hieß. Das hatte mit ihrer gemeinsamen, mitteleuropäischen Enkulturation zu tun:

Das »oberste Sittengesetz«, das Bolzano so eindeutig formuliert hatte und das er immer mit einem Gesetz des Fortschreitens (in Weisheit, Tugend und Glückseligkeit) verband, galt unausgesprochen auch für den jungen Physiker. Dessen Forschergeist war unermüdlich darauf aus, durch technische Erfindungen und Einrichtungen das allgemeine Wohl zu fördern. – Ein allgemeines Wohl, das, noch ganz im Sinne josephinischen Gedankenguts verstanden, konkreten, also im Alltagsleben spürbaren *Nutzen* bringt. Für Bolzano ist immer der *Beweggrund* des Fortschreitens entscheidend, und das kann für ihn nur ein uneigennütziger, ethischer sein: »Aus einem sittlichen Grunde also, um seine eigene sittliche Vollkommenheit zu erhöhen, kann man und soll man philosophische Logik studieren«, rät er, und ist überzeugt, »daß wahre und wichtige Fortschritte auf dem Gebiete der Wissenschaften, vollends der Philosophie, nur von Personen gemacht werden können, die eines wahrhaft liebenswürdigen Charakters sind«. <sup>6</sup> Bolzanos ethisches Prinzip, tatsächlich durchgehalten, würde dafür sorgen, dass das Wohl *jedem einzelnen* Mitglied der Gesellschaft – und nicht nur einigen wenigen – zugute kommt ...

Christian Doppler notiert das einmal so:



(1) Die lohnendsten Forschungen sind diejenigen, welche, in dem sie den Denker erfreuen, zugleich der Menschheit nützen.

„Die lohnendsten Forschungen sind diejenigen, welche, in dem sie den Denker erfreuen, zugleich der Menschheit nützen.“

---

<sup>6</sup> Bolzano *Was ist Philosophie?* BGA IIA 12/3, 24.