

## Kapitel 2 – Experimenteller Aufbau

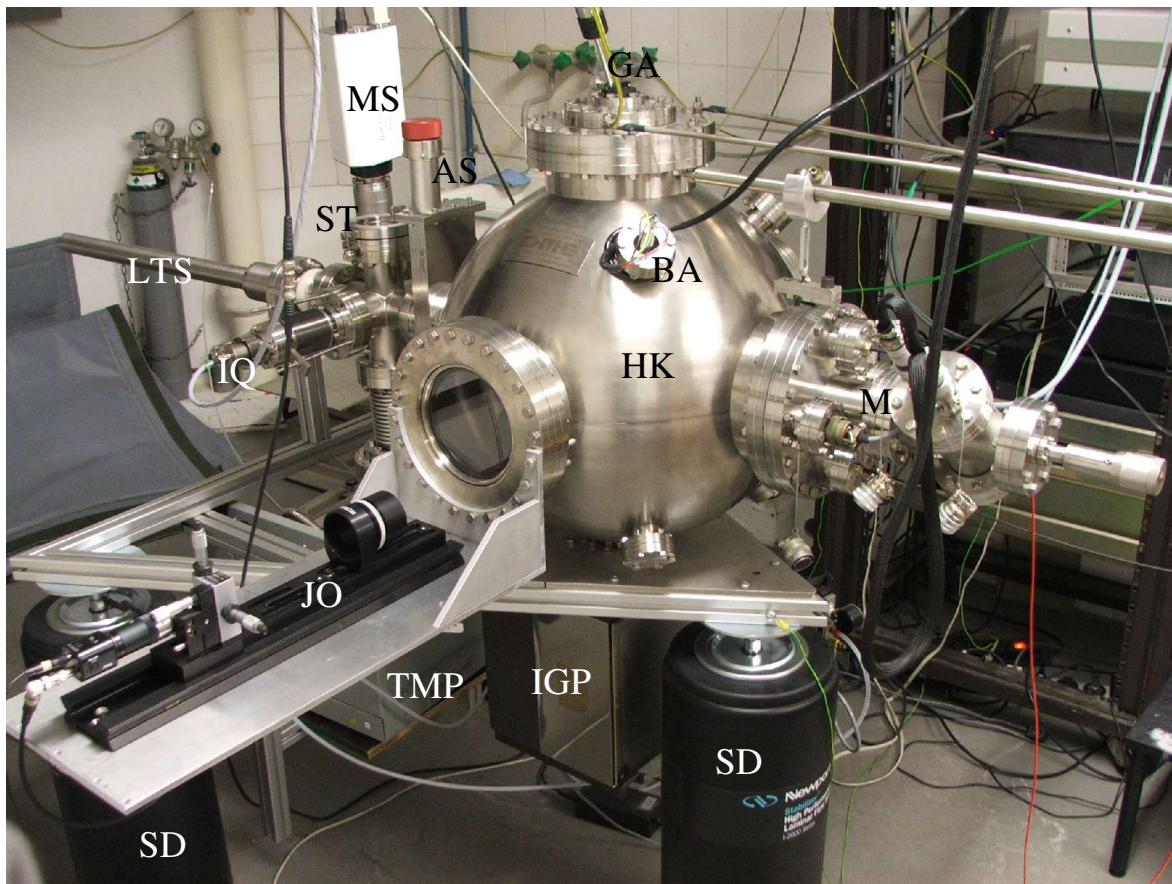


Abb. 2.1 UHV-aSNOM-Anlage. HK Hauptkammer, M Rastertunnelmikroskop, BA Bayard-Alpert-Druckmessgerät, GA Greifarm, AS Absperrschieber, MS Massenspektrometer, ST Schleusentür, LTS Lineartransferstab, IQ Ionenquelle, JO Justageoptik, TMP Turbomolekularpumpe, IGP Ionengetterpumpe, SD Schwingungsdämpfer.

In diesem Kapitel wird der Aufbau der Vakuumkammer, des STM und der Ramanoptik beschrieben. Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über die gesamte Anlage.

An der Hauptkammer ist das UHV-Mikroskop bestehend aus Rastertunnelmikroskop und optischem Aufbau inklusive aller notwendigen elektrischen und Glasfaserdurchführungen horizontal auf einem 10“-Flansch angebracht. Der vordere Flansch trägt ein Fenster, vor dem die Justageoptik positioniert ist.

Im Vorkammerbereich befinden sich ein Lineartransferstab für den Proben- und Spitzen-transfer, eine Schleusentür, eine Gasdosierungseinheit, ein Massenspektrometer, eine Probenheizung und eine Argonionen-Sputterkanone.

Als Pumpen werden Scroll-, Turbomolekular-, eine Ionengetter- und eine Titansublimationspumpe verwendet. Die gesamte Anlage ist an einem Stangensystem befestigt und ruht auf drei pneumatischen Schwingungsdämpfern.

## **2.1 Vakuumkammer**

Das Vakuumsystem ist schematisch in Abbildung 2.2 dargestellt. Es besteht aus einer Hauptkammer mit TERS-Instrument und einem Vorkammerbereich, die durch einen Absperrschieber voneinander getrennt sind.

### **2.1.1 Hauptkammer**

Die kugelförmige Hauptkammer hat einen Radius von 250 mm. Sie verfügt über insgesamt 11 Flansche, von denen drei, darunter ein 10“-Flansch, für spätere Erweiterungen freigelassen wurden. Alle Flansche sind auf das Zentrum der Hauptkammer gerichtet, wo auch die Probenposition liegt. Zur Erleichterung der Montage des Rastertunnelmikroskops mit der optischen Plattform ist außen am oberen Flansch der Kammer ein Stab befestigt, der das Instrument trägt und es in den 10“-Flansch führt, der gegenüber dem Absperrschieber liegt. Am oberen Flansch befindet sich ebenfalls der Greifarm, welcher über einen Hub von

165 mm, einen Bewegungswinkel von 45° und eine Rotationsfreiheit von 360° um die eigene Achse verfügt. Bei geschlossenem Absperrschieber wird die Hauptkammer mit einer Titansublimationspumpe und einer Ionengetterpumpe abgepumpt, wodurch ein Druck im Bereich von  $1 \cdot 10^{-10}$  mbar erreicht wird. Die Druckmessung erfolgt mit einem Bayard-Alpert-Druckmessgerät. Dieses wird während der Experimente abgeschaltet, da sich gezeigt hat, dass die STM-Messungen durch dessen Betrieb gestört werden. Der Druck kann dann anhand der Stromanzeige der Ionengetterpumpe überwacht werden.

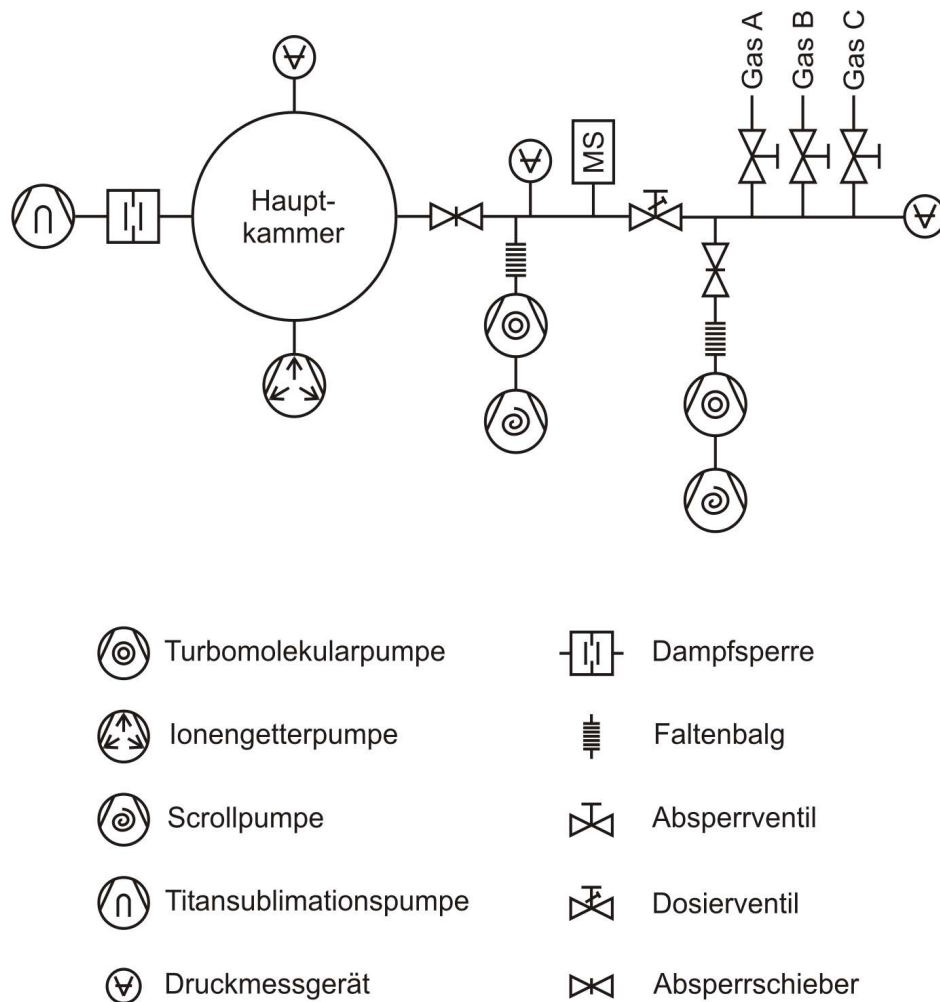


Abb. 2.2 Schematische Darstellung der Vakuumkammer.

---

### **2.1.2 Vorkammer**

Die Vorkammer besteht hauptsächlich aus einem 4,5“-Doppelkreuzstück. Hier ist eine Turbomolekular- mit einer Scrollvorpumpe angeflanscht. Während der Experimente werden diese wegen ihrer Vibrationen abgeschaltet. Über eine Schleusenöffnung können die Probe und eine Spitze am Lineartransferstab eingesetzt werden. Eine Probenpräparation findet in diesem Bereich statt, da ein Gaseinlass in die Hauptkammer die Tunnelspitze verunreinigen würde. Hierzu kann die Probe mit einer SPEX IQE 11-Ionenquelle gesputtert sowie mit einer Halogenlampe, deren Licht über einen goldbedampften, elliptischen Spiegel auf die Probenoberfläche fokussiert wird, auf bis zu 800 °C geheizt werden. Der Lineartransferstab, auf dem die Probe während des Sputterns angebracht ist, ist durch ein Keramikrohr von der restlichen Anlage elektrisch isoliert. Eine Gasdosierung kann mittels einer Dosiereinheit wie in Abbildung 2.2 erfolgen. Außerdem befinden sich im Vorkammerbereich ein Balzers QME 200 Massenspektrometer zur Restgasanalyse sowie ein kombiniertes Pirani- und Kaltkathodendruckmessgerät.

## **2.2 Rastertunnelmikroskop**

Bei dem Rastertunnelmikroskop handelt es sich um eine Modifikation eines Rasterscope-UHV-STM mit einer Rastereinheit vom Typ DME 2590 und einer DualScope C-21-Steuer- einheit von Danish Micro Engineering. Das STM wird über einen Flansch mit einem Durchmesser von 10“ an der Vakuumkammer montiert. An ihm sind zwei Edelstahlstäbe mit einer Länge von je 475 mm angebracht, an denen das STM zur Schwingungsdämpfung über vier Federn aufgehängt ist. Ein Lineartransferstab auf dem STM-Flansch dient zur Verriegelung des STM bei Montage oder Proben- bzw. Spitzentransfer. Der Scanner hat einen maximalen Rasterbereich von  $1,5 \times 1,5 \mu\text{m}^2$ . Er ist mit zwei Stahlträgern verbunden, die die Schnittstelle zur Befestigung der optischen Plattform darstellen. Die Probenposition

liegt 290 mm vom STM-Flansch entfernt. Die Tunnelspitze ist auf den Flansch gerichtet. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 2.3 das STM mit montiertem optischem Aufbau. Das STM kann bei einer maximalen Temperatur von 150 °C ausgeheizt werden.

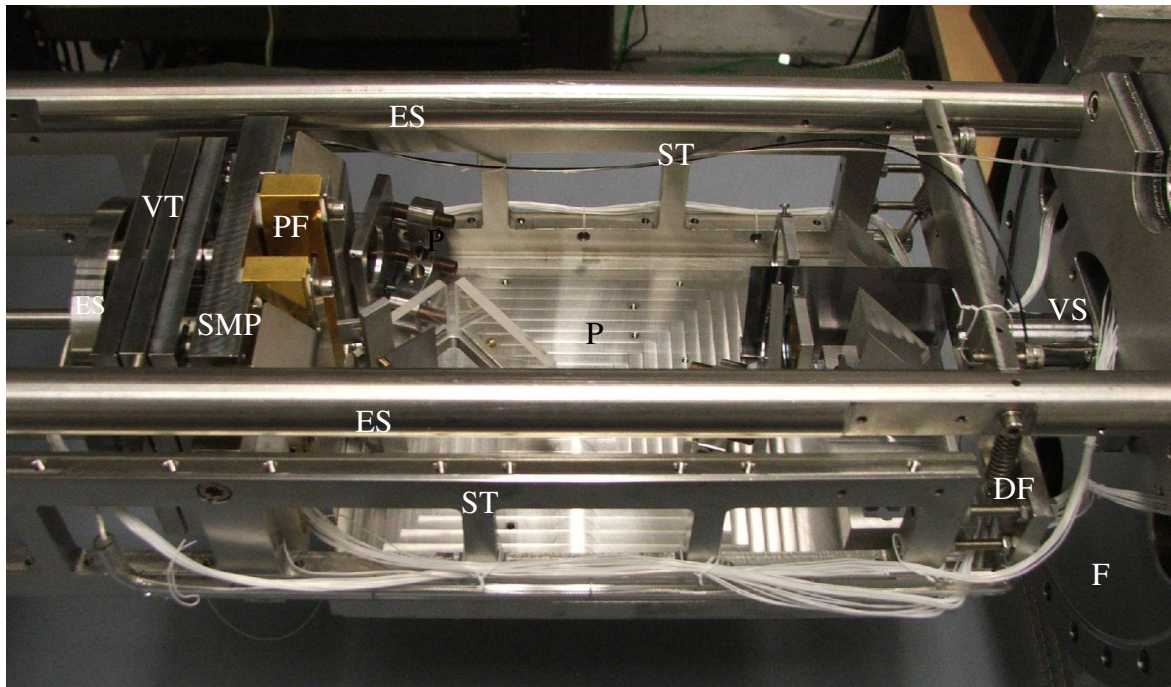
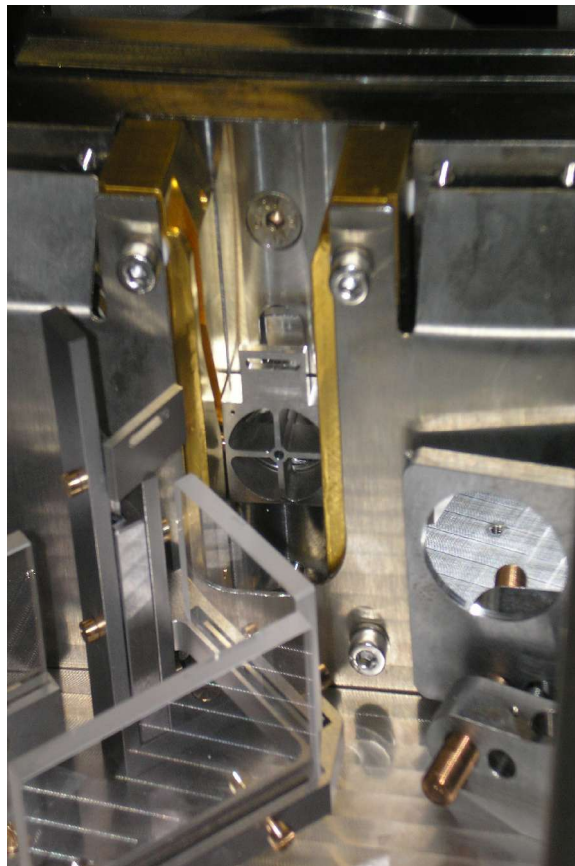


Abb. 2.3 Rastertunnelmikroskop mit montiertem optischem Aufbau. P Plattform, ES Edelstahlstab, ST Stahlträger, DF Dämpfungsfeder, F Flansch, PF Probenhalterführung, VT Verstelltisch, SMP Scannermontageplatte, VS Verriegelungsstab.

### 2.2.1 Proben- und Spitzentransfer

Zum Proben- und Spitzentransfer wird der Absperrschieber geschlossen und der Vorkammerbereich mit Stickstoff belüftet. Das STM wird verriegelt und der Parabolspiegel komplett zurückgefahren, um eine Beschädigung des Spiegels durch die Probe auszuschließen. Der Probenhalter wird in einen der beiden Einschübe am Lineartransferstab eingesetzt. Die

Spitze wird in einen Spitzenhalter gesteckt, der aus einem Edelstahlröhrchen mit einer Magnetscheibe zur Fixierung der Spitze im STM-Scanner besteht. Der Spitzenhalter wird mit einem speziellen Werkzeug in die Richtung des Lineartransfers gebracht, wo er an den Transferstab übergeben wird. Anschließend wird die Vorkammer evakuiert und das Schleusenventil geöffnet. Der Probenhalter wird mit dem Greifarm aufgenommen und in die dafür vorgesehenen Führungsschienen am STM geschoben. In Abbildung 2.4 ist der eingesetzte Probenhalter von der Rückseite zu sehen. Die Spitze wird mit dem Transferstab von hinten in den Scanner geschoben und mit dem Greifarm vom Stab gelöst. Der Transferstab wird in die Vorkammer zurückgefahren und der Absperrschieber wieder geschlossen.



*Abb. 2.4 Position des Probenhalters in den Führungsschienen des STM.*

## 2.2.2 Probenhalter

Der Probenhalter, der in Zusammenarbeit mit der Firma DME entworfen wurde, hat einen Grundkörper von 20 x 20 x 8 mm. An ihm stehen seitlich zwei Zylinder vor, die in die Führungsschienen des STM passen. Oben befindet sich ein Schlitz für die Manipulation mit dem Greifarm. An der Vorderseite sind drei Keramikabstandhalter zur elektrischen Isolation gegen die Tunnelspitze mit Wasserglas angeklebt. Die elektrische Verbindung der Probe erfolgt über den Kontakt des Probenhalters mit den Führungsschienen des STM. Die Probe wird mit einer M1-Schraube in einem Rohr mit 3 mm Außendurchmesser und 0,75 mm Wandstärke befestigt. Die Länge des Rohres richtet sich nach der Dicke der Probe, um den richtigen Abstand zur Tunnelspitze zu gewährleisten. Im optischen Aufbau ist die Probenoberfläche zum Parabolspiegel gerichtet, d. h., das Laserlicht trifft zunächst auf die Rückseite des Probenhalters bzw. tritt durch dessen drei oder vier Öffnungen in den Parabolspiegel und wird von ihm auf die Probe fokussiert.

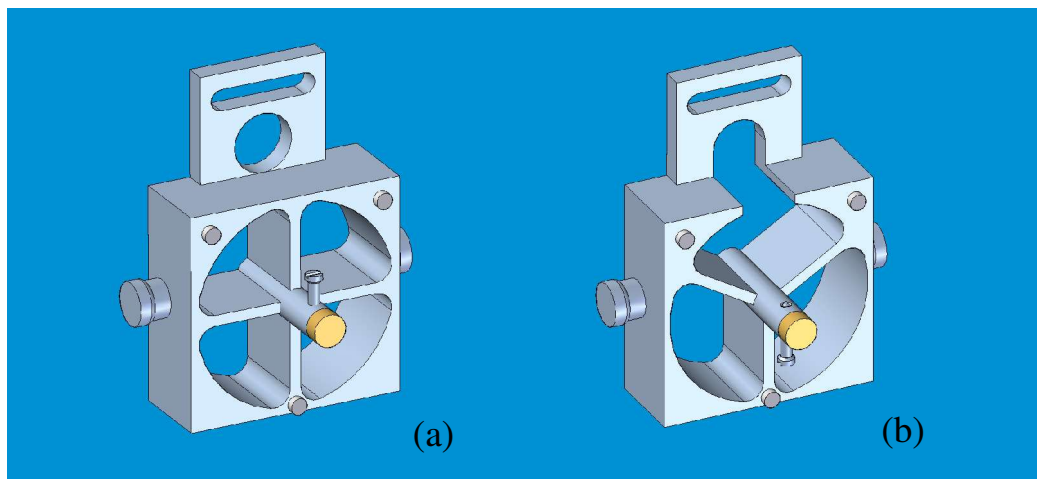


Abb. 2.5 Vorderansicht des Probenhalters (a). Variante 1 und (b) Variante 2.

Es gibt zwei Varianten, die sich in der Geometrie der Bohrungen für das Licht unterscheiden. In Variante 1 (Abbildung 2.5 (a)) befindet sich die Probe im Mittelpunkt eines Kreuzes, in Variante 2 (Abbildung 2.5 (b)) im Mittelpunkt eines Sterns mit einem Winkel von  $120^\circ$  zwischen den drei Stegen. In beiden Fällen beträgt die Wandstärke der Stege 1 mm und der Radius der kreisförmigen Bohrung 19,5 mm. Für den hier verwendeten Laserstrahl bedeutet dies, dass bei Variante 1 64 % und bei Variante 2 67 % der Lichtintensität an der Rückseite des Halters tatsächlich auf die Probe treffen.

Durch die zusätzliche Bohrung im oberen Bereich des Halters fällt Licht auf die plane Vorderfläche des Spiegels. Die Reflexion des parallelen Strahls an der Spiegelfront wird für die Justage des Parabolspiegels benötigt.

## 2.3 Optischer Aufbau

Der optische Messaufbau ist in Abbildung 2.6 schematisch dargestellt. Um eine hohe Auflösung mit dem SPM zu erreichen, sind zwei Kriterien besonders zu beachten. Das Mikroskop muss gegen Raum- und sonstige mechanische Schwingungen isoliert sein, und die Verbindung von Spitze und Probe sollte möglichst starr sein. Für eine konstante Fokussierung des Laserlichts auf den Spitzenscheitel mit dem Parabolspiegel müssen aber letzterer und die SPM-Rastereinheit ebenfalls äußerst stabil miteinander verbunden sein. Da die Position des Tunnelkontakts nach einem Spitzenwechsel aber meist um einige Mikrometer verändert ist, muss der Parabolspiegel ebenso justierbar sein, um die erneute Fokussierung auf die Spitze zu ermöglichen. Für einen scharfen Fokus benötigt der Parabolspiegel eine präzise Strahlführung. Daher muss er gemeinsam mit den wesentlichen Teilen der Optik in einem stabilen Aufbau integriert werden, und zwar zwischen Spitzenrastereinheit und Probe. Um all diesen Anforderungen gerecht zu werden, sind SPM, Parabolspiegel und alle Komponenten der Ramanoptik auf einer gemeinsamen Plattform angebracht, die sich in der UHV-Kammer befindet. Der Parabolspiegel ist an einem Verstelltisch befes-



tigt, an dessen Basisplatte die SPM-Rastereinheit so montiert ist, dass die Spitze durch eine Bohrung im Parabolspiegel von hinten in dessen Hohlraum eingeführt wird. Dadurch wird eine stabile Kopplung zwischen Parabolspiegel und Spitze bei gleichzeitiger Justierbarkeit gewährleistet. Der gesamte Aufbau ist zur Schwingungsdämpfung in der Vakuumkammer an Federn aufgehängt.

Als Anregungslicht wird die linear polarisierte Strahlung eines HeNe-Lasers mit einer Wellenlänge von 633 nm und einer Leistung von 20 mW verwendet. Die Leistung kann über eine Blende auf den gewünschten Wert reduziert werden. Das Laserlicht wird mit einem Laserstrahlkoppler auf das Ende eines entsprechenden Singlemode-Lichtwellenleiters mit einer numerischen Apertur von 0,11 fokussiert, der in die Vakuumhauptkammer durchgeführt wird. Dort wird das Licht nach Austritt aus der Faser von einem Kollimationsobjektiv zu einem parallelen Strahl aufgeweitet, der in die Ramanoptik eintritt. Das Ramanstreulicht wird mit einem weiteren Kollimationsobjektiv in eine Multimodefaser mit einem Transmissionsbereich von 180–1100 nm, einer numerischen Apertur von 0,22 und einem Kerndurchmesser von 50  $\mu\text{m}$  eingekoppelt, die es aus der Vakuumkammer in einen SPEX Triplemate Spektrometer mit stickstoffgekühlter Princeton Instruments SPEC-10 CCD-Kamera führt. Das Streulicht wird dort mit einem Kollimationsobjektiv zunächst zu einem parallelen Strahl mit einem Durchmesser von 13 mm aufgeweitet und anschließend durch eine Achromatlinse mit einer Brennweite von 50 mm auf den Eingangspalt des Spektrographen abgebildet.

Für rasternahfeldmikroskopische Aufnahmen werden alle Pixel des beobachteten Ausschnitts des Spektrums auf der CCD-Fläche zusammengefasst, wodurch die Auslesedauer der Daten wesentlich verkürzt wird. Die Integrationszeit der einzelnen Messungen muss mit der Rastergeschwindigkeit des Rastertunnelmikroskops abgestimmt werden, d. h., die Dauer für die Aufnahme einer Linie mit dem STM muss ein ganzzahliges Vielfaches der Dauer der Aufnahme eines Messpunktes mit der CCD-Kamera betragen. Zu Beginn jeder Scanlinie wird die Aufnahme der Spektren und des STM-Bilds über einen von der Steuereinheit des STM ausgegebenen Spannungspuls synchronisiert.

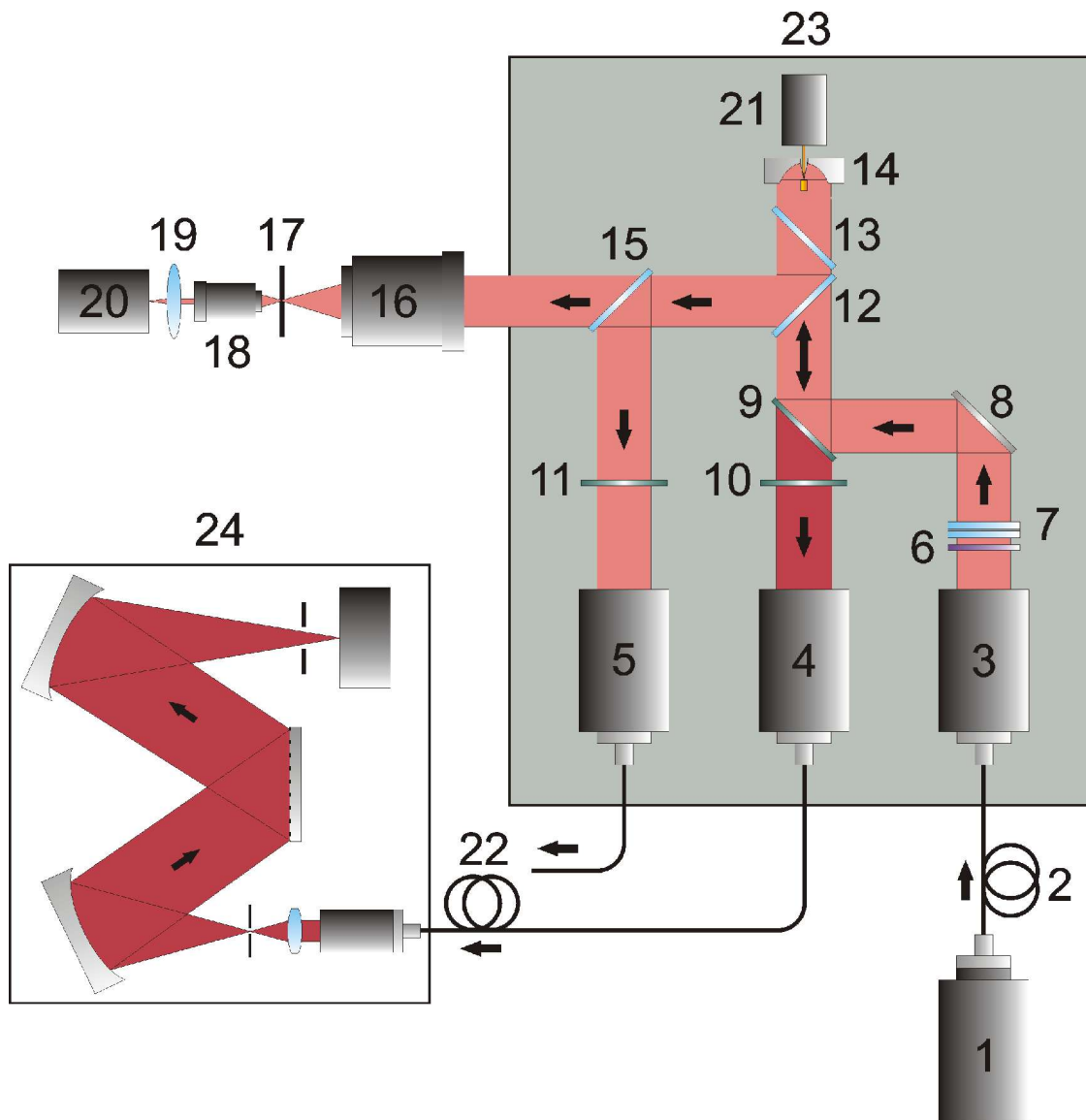


Abb. 2.6 Schematische Darstellung des optischen Aufbaus des Nahfeldmikroskops. 1 HeNe-Laser mit Shutter und Faserkoppler, 2 Singlemodeglasfaser mit Vakuumdurchführung, 3-5 Kollimationsobjektive, 6 Laserlinienfilter, 7 Polarisationsumwandler, 8 Planspiegel, 9-11 Ramankantenfilter, 12, 15 Strahlteilerplatten, 13 Planplatte, 14 Parabolspiegel, 16 Kameraobjektiv, 17 Lochblende, 18 Mikroskopobjektiv, 19 Linse, 20 CCD-Kamera, 21 STM-Rastereinheit, 22 Multimodeglasfaser mit Vakuumdurchführung, 23 UHV-Kammer, 24 Spektrometer.

### 2.3.1 Optische Plattform

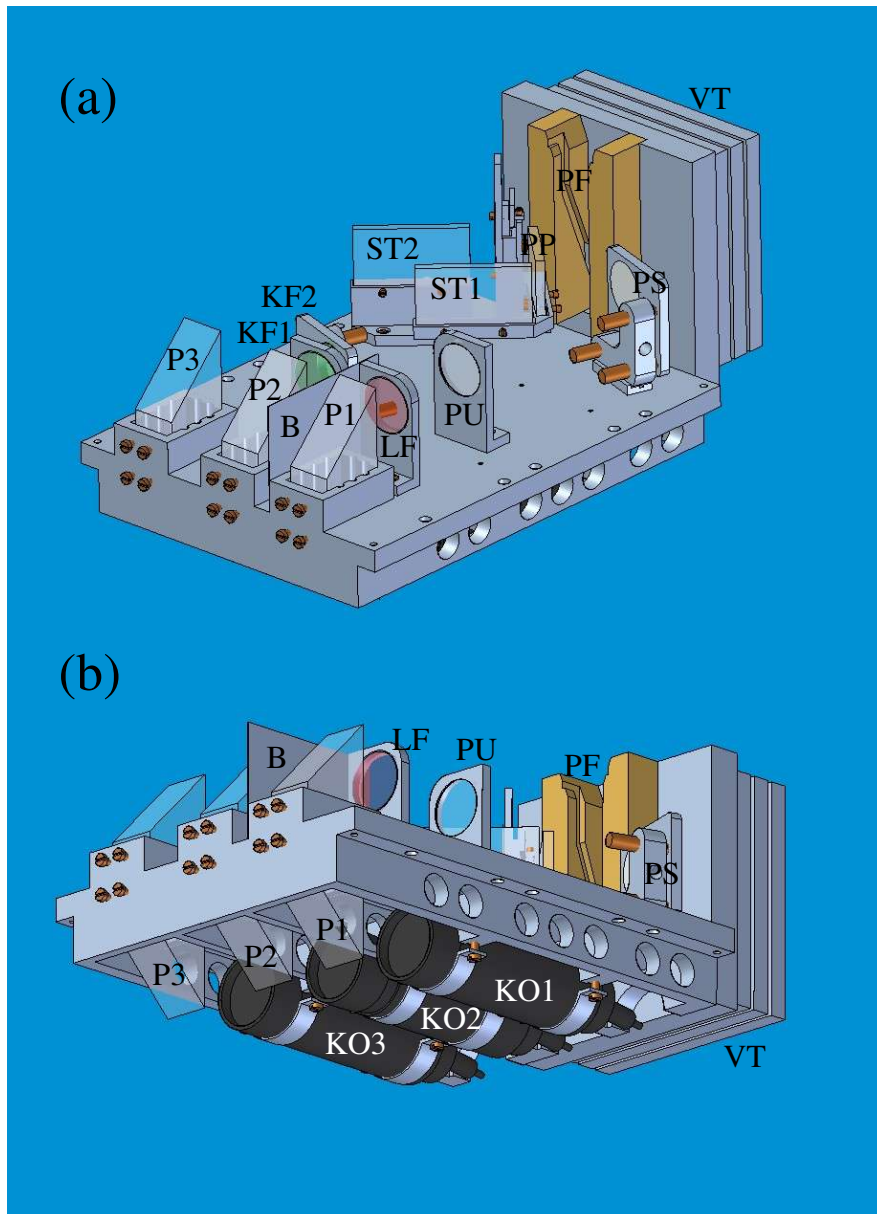


Abb. 2.7 Optische Plattform; (a) Oberseite, (b) Unterseite. P1-P3 Glasprismen 1-3, LF Laserlinienfilter, PU Polarisationsumwandler, PS Planspiegel, KF1-KF2 Kantenfilter 1-2, ST1-ST2 Strahlteiler, PP Planplatte, PF Probenhalterführung, VT Verstelltisch, B Blende, KO1-KO3 Kollimationsobjektive 1-3.

Aus Stabilitätsgründen wurde die optische Plattform mit einer Grundfläche von 170 x 220 mm in der feinmechanischen Werkstatt des Fritz-Haber-Instituts aus einem Edelstahlblock gefräst bzw. erudiert. Bei der Konstruktion wurde auf die Entlüftung entstehender Kontaktflächen geachtet, um mit Luft gefüllte Hohlräume im Vakuum zu vermeiden.

Um den Aufbau platzsparend zu gestalten, sind die optischen Bauteile sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite der Plattform angebracht. Zeichnungen der optischen Plattform mit allen Komponenten sind in den Abbildungen 2.7 (a) und (b) zu sehen. Das Licht wird durch drei 45°-Glasprismen, die mit einer Antireflexionsbeschichtung für Wellenlängen von 630–980 nm versehen sind, von einer Seite auf die andere umgelenkt. Diese werden jeweils mit vier Schrauben auf der Rückseite gegen einen Viton-Ring gedrückt, durch dessen Flexibilität sie verstellbar sind. Auf der Unterseite befinden sich die Kollimationsobjektive der Strahlaufweitungsoptik. Die übrigen Bauteile der Ramanoptik und die STM-Rastereinheit sind auf der Oberseite angebracht.

### **2.3.2 Strahlaufweitungsoptik**

Bei den Kollimationsobjektiven für die Aufweitung des Laserlichts zu einem parallelen Strahl und zur Fokussierung des Streulichts auf die Multimodefaser handelt es sich um vakuumtaugliche Sonderanfertigungen der Firma Schäfter & Kirchhoff, Hamburg. Sie verwenden achromatische Gadium-Linsen mit einer Brennweite von 100 mm, einer Apertur von 27 mm und einer Antireflexionsbeschichtung für einen Wellenlängenbereich von 630–980 nm. Sie sind über eine Exzentrerschraube fokussierbar und verfügen über einen 8°-schräggestellten FC-APC-Anschluss für Lichtwellenleiter mit Neigungsjustierung. In Verbindung mit der verwendeten Singlemodefaser erzeugen die Kollimationsobjektive bei korrekter Einstellung einen achszentrierten, rotationssymmetrischen und parallelen Lichtstrahl mit Gaußscher Intensitätsverteilung und einem Durchmesser von 21,3 mm. Der

Strahldurchmesser bezieht sich auf den  $1/e^2$ -Wert (13,5 %-Niveau) der Gaußschen Verteilung.

### 2.3.3 Parabolspiegel

Der Parabolspiegel wurde von der Firma Rodenstock Präzisionsoptik, München, aus einer Aluminiumlegierung gedreht. Er hat eine Brennweite von 4 mm und einen halben Öffnungswinkel von  $95,7^\circ$ . Der Durchmesser auf Höhe des Fokus beträgt 16 mm. Die plane Vorderfläche des Spiegelkörpers ist senkrecht zur Spiegelachse poliert. Die Spiegeloberfläche zeigt Abweichungen von der Idealform von bis zu 160 nm, die Qualität liegt also etwa bei  $\lambda/4$  (Abbildung 2.8). Eine noch bessere Qualität der Oberfläche ist leider nicht erhältlich. Der Spiegel hat eine zentrale Bohrung mit einem Durchmesser von 3 mm. Aufgrund der Bohrung gelangt Licht unter einem Einfallswinkel von  $21\text{--}90^\circ$  auf eine Probe im Fokus.

Ein parabolischer Spiegel fokussiert einen parallelen Einfallsstrahl ohne sphärische Aberration auf einen Punkt. Eine präzise Übereinstimmung der Propagationsrichtung des Lichtstrahls und der optischen Achse des Parabolspiegels ist dafür essentiell. Eine Abweichung von  $0,006^\circ$  bedeutet bereits eine Abnahme der Maximalintensität im Fokus auf die Hälfte und bewirkt eine starke Asymmetrie der Feldverteilung [88, 89].

Der Parabolspiegel ist an einem Tisch montiert, der mit Hilfe von fünf Piezomotoren, die über eine minimale Schrittgröße von  $\sim 100$  nm verfügen, eine Verstellung in den drei Raumrichtungen und eine Verkippung in drei Richtungen ermöglicht.

Durch die Verwendung von Laserlicht mit radialer Polarisation wird eine besonders große longitudinale Komponente des elektrischen Felds [90], die entscheidend für die Feldverstärkung einer Tunnelspitze ist, im Fokus eines Parabolspiegels mit hoher numerischer Apertur erreicht [88, 89, 91, 92]. Die große longitudinale Komponente kommt durch Fokussierung von Licht unter einem hohen Einfallswinkel zustande. Bei linearer Polarisation

weisen von gegenüberliegenden Seiten des Spiegels aufeinandertreffende Strahlen eine gegensätzliche Polarisationsrichtung auf, weshalb die longitudinale Komponente im Zentrum des Fokus weitgehend ausgelöscht wird. Bei radial polarisierter Beleuchtung beträgt das Verhältnis von longitudinal zu lateral polarisierter Intensität 14,3 [88].

Ein weiterer Vorteil der radial polarisierten Strahlung ist, dass sie zu einem kleineren Punkt fokussiert werden kann [92-95].

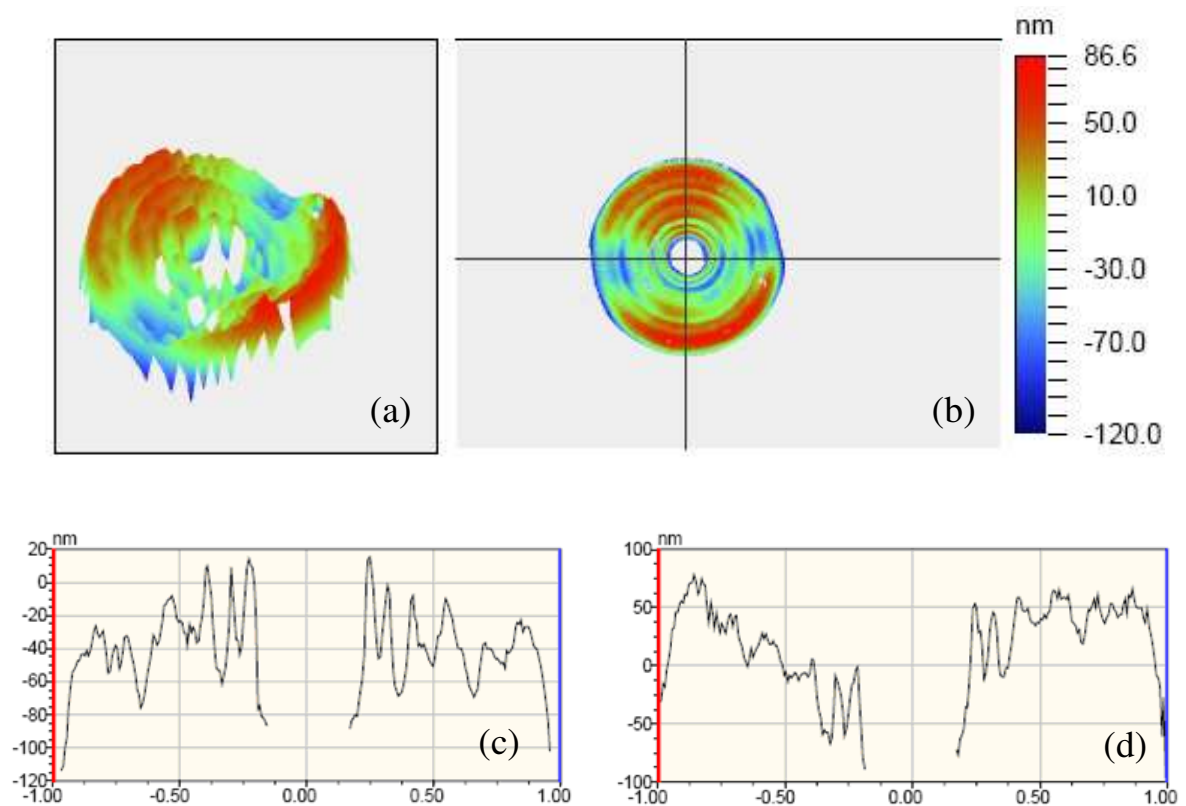


Abb. 2.8 Abweichung der Oberfläche des Parabolspiegels von der Sollform. (a) 3-dimensionale Ansicht, (b) Aufsicht, (c) horizontales Profil, (d) vertikales Profil.

Um in dem hier beschriebenen Aufbau mit radial polarisiertem Licht arbeiten zu können, muss dieses in der Vakuumkammer erzeugt werden, da die Singlemodefaser nur für den Transport von linear polarisiertem Licht geeignet ist. Die einfachste Möglichkeit zur Er-

zeugung von pseudoradial polarisierter aus linear polarisierter Strahlung ist das Einbringen eines Polarisationsumrichters in den aufgeweiteten Laserstrahl [94, 96, 97]. Der Umrichter besteht, wie in Abbildung 2.9 gezeigt, aus vier Halbwellenplatten, eine in jedem Quadranten, die jeweils so angeordnet sind, dass das Feld radial gerichtet ist. Die vier Segmente sind aus einer Halbwellenfolie geschnitten und zwischen zwei Planplatten geklemmt. Die Schnittkanten erzeugen durch Streuung und Beugung einen kreuzförmigen Schatten im Laserstrahl. Bringt man diese Schatten mit den Schatten der kreuzförmigen Stege des Probenhalters (Variante 1) zur Deckung, lassen sich Verluste im Einfallstrahl minimieren. Durch Drehung um  $45^\circ$  kann mit demselben Verzögerer alternativ eine azimutale Polarisation eingestellt werden, die hauptsächlich ein transversales Feld im Fokus erzeugt [88, 89, 91, 92].

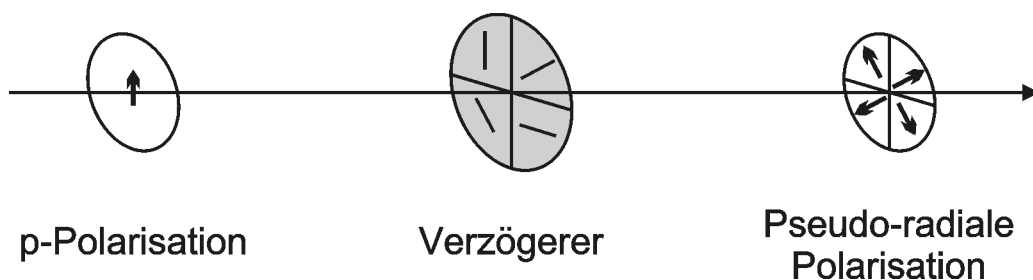


Abb. 2.9 Funktionsweise des Polarisationsumwandlers.

### 2.3.4 Ramanoptik

Der Strahlengang in der Ramanoptik ist in Abbildung 2.10 dargestellt. Die Strahlhöhe liegt bei 20 mm auf der Unterseite und 35 mm auf der Oberseite der Plattform. Im Messmodus befinden sich Strahlteiler 1 und die Planplatte oberhalb des Strahlengangs. Beide können mit dem Greifarm aus dem Strahlengang entfernt und für die Messung in der oberen Position verriegelt werden. Das Laserlicht aus der Singlemodefaser wird vom Kollimationsobjektiv 1 aufgeweitet und über Glasprisma 1 auf die Oberseite der Plattform umge-

lenkt. Es durchläuft den Laserlinienfilter und den Polarisationsumwandler und fällt auf den aluminiumbeschichteten Planspiegel. Von dort trifft es unter einem Einfallswinkel von  $8^\circ$  auf Kantenfilter 1 (Anmerkung: Grundsätzlich kann dieser Einfallswinkel frei gewählt werden; bei Kantenfilter 1 wird nur die hohe Reflektivität der Laserlinie am Kantenfilter ausgenutzt. Selbst bei einem großen Einfallswinkel ist diese noch ausreichend. Die eigentliche Trennung des Ramanstreulichts von der Laserwellenlänge erfolgt mit Kantenfilter 2).

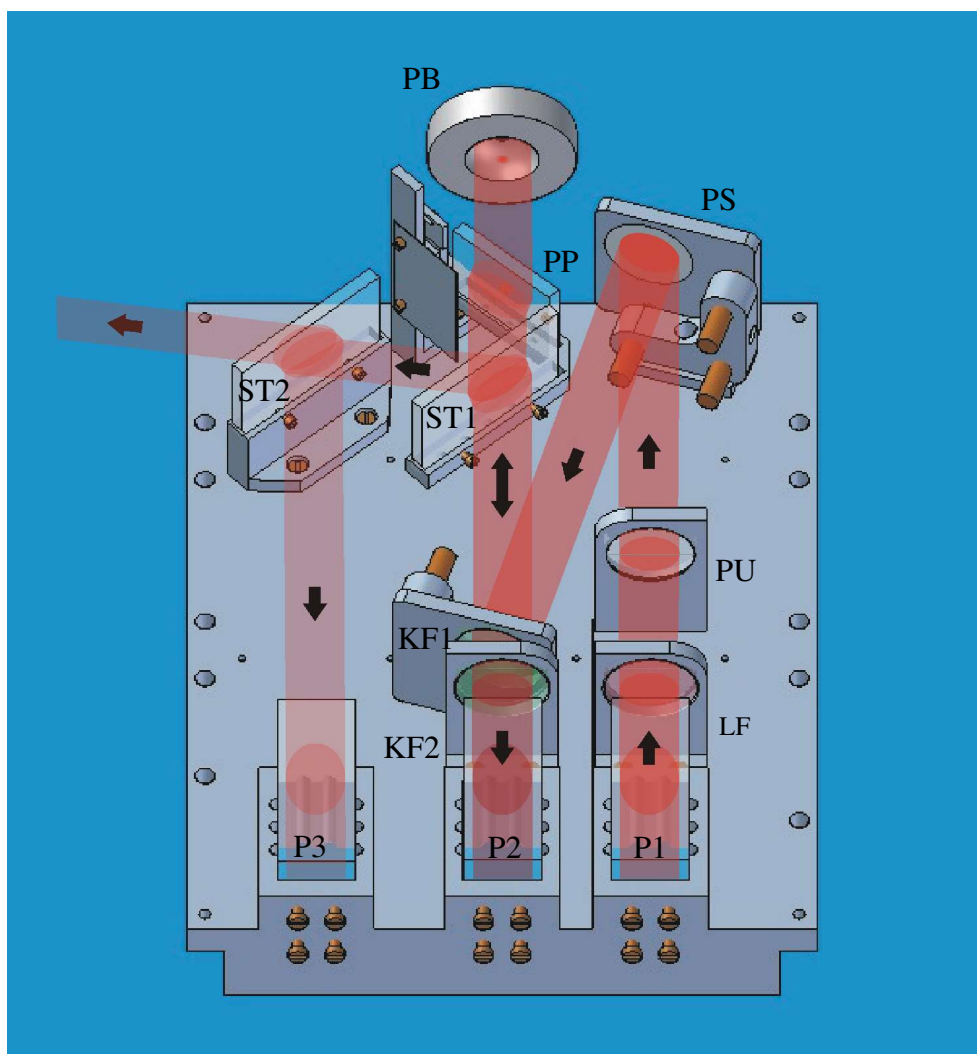


Abb. 2.11 Strahlengang in der Ramanoptik. P1-P3 Glasprismen 1-3, LF Laserlinienfilter, PU Polarisationsumwandler, PS Planspiegel, KF1-KF2 Kantenfilter 1-2, ST1-ST2 Strahlteiler 1-2, PP Planplatte, PB Parabolspiegel.



Kantenfilter 1 reflektiert den Strahl auf den Parabolspiegel, der das Licht auf den Tunnelkontakt der Spitze zur Probenoberfläche fokussiert. Aus dem langwelligeren Ramanstreu-licht aus dem Fokus erzeugt der Parabolspiegel einen parallelen Strahl, der dann beide Kantenfilter durchläuft. Nachdem es von Prisma 2 auf die Unterseite der Plattform umge- lenkt worden ist, wird es von Kollimationsobjektiv 2 in eine Multimodefaser eingekoppelt und gelangt zur Spektralanalyse in das Spektrometer.

Um zu verhindern, dass an den optischen Bauteilen gestreutes Laserlicht in das Spektro- meter gelangt, ist zwischen den beiden Prismen auf der Oberseite eine Blende aus Edel- stahlblech angebracht.

Im Strahlengang treten Verluste durch begrenzte Transmission bzw. Reflexion an den Fil- tern und Spiegeln, Kopplung mit den Glasfasern sowie Abschattung durch den Proben- halter auf. So gelangen insgesamt etwa 40–45 % der Laserintensität auf die Probe.

Bei den verwendeten Kantenfiltern handelt es sich um UHV-taugliche RazorEdge-Long Pass-Filter von Semrock mit einer Kante bei 633 nm. In dem beschriebenen Aufbau ist Kantenfilter 2 senkrecht zur optischen Achse positioniert. So können Ramanverschiebun- gen oberhalb  $150\text{ cm}^{-1}$  beobachtet werden. Auf der Plattform sind Bohrungen für eine alter- native Position des Kantenfilters 2 vorgesehen, die um  $8^\circ$  zur optischen Achse schräge- stellt ist. Dadurch wird zwar die Transmission der Laserwellenlänge etwas erhöht, es kön- nen aber auch Banden mit noch geringerer Ramanverschiebung detektiert werden.

Die Ausheiztemperatur der Ramanoptik darf aufgrund der Glasfaserdurchführungen eine Temperatur von  $80^\circ\text{C}$  nicht überschreiten.

Glasprisma 3 sowie das dazugehörige Kollimationsobjektiv werden für Ramanmessungen nicht unmittelbar benötigt. Mit ihnen kann über die beiden Strahlteiler abgelenktes Licht in eine zweite Multimoderfaser eingekoppelt und aus der Vakuumkammer geführt werden. Dies kann beispielsweise zur zeitgleichen Detektion der Ramanintensität eines weiteren Wellenlängenbereichs bei der Ramanmikroskopie mit einer Photodiode oder einem Photo- multiplifier dienen.

### 2.3.5 Justageoptik

Zur Justage des Kantenfilters 1 und des Parabolspiegels werden der Strahlteiler und die Planplatte in den Strahlengang gebracht. Das von der Probenoberfläche bzw. von der planen Vorderebene des Parabolspiegels reflektierte Licht wird durch den Strahlteiler teilweise gespiegelt und kann durch seitlich angebrachte Fenster beobachtet werden. Die Planplatte korrigiert den am Strahlteiler auftretenden Strahlversatz. Ein Teil des Lichtes wird an der Oberfläche der Planplatte reflektiert und würde den Justagestrahl überlagern. Daher ist an dem Halter des Strahlteilers und der Planplatte eine Edelstahlplatte befestigt, die dieses Bild abschattet. Der aus der Kammer geführte Lichtstrahl wird mit einer externen Justageoptik betrachtet, welche auf einer am seitlichen Fenster angeflanschten Plattform angebracht ist. Der parallele Strahl wird mit einem Kameraobjektiv auf eine Lochblende fokussiert und mit einem Mikroskopobjektiv zu einem parallelen Strahl mit kleinerem Durchmesser aufgeweitet. Dieser wird auf eine CCD-Fläche abgebildet. Für die Fokussierung auf die Tunnelspitze kann das an ihr gestreute Licht besser sichtbar gemacht werden, indem die hellere Reflexion an der Spiegelfront mit einer Irisblende ausgeblendet wird.

