

Herstellung von Graphen – Eine Anleitung für Lehrer

Luca Banszerus

Juni 2010

Die Nanotechnologie hält zunehmend Einzug in unseren Alltag. Sie ist laut dem Bundesministerium für Bildung und Forschung eine der entscheidenden Schlüsseltechnologien der Hightech-Strategie¹. Allerdings wird die Nanotechnologie in den Schulen weder im Physik- noch im Chemieunterricht ausführlich behandelt. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die wenigsten Schulen über die notwendige Ausstattung (z.B. REM, STM, Lithographiegeräte) verfügen. Hier bietet Graphen die Lösung. Graphen ist eine monoatomare Schicht sp^2 -hybridisierten Kohlenstoffs, die sich über $100\mu\text{m}$ erstrecken kann und damit auf speziellen Wafern unter einem Auflichtmikroskop sichtbar ist². Die Anwendungen des Graphens gehen jedoch weit über die bloße Faszination einer Monolage hinaus. Mit elektrisch kontaktierten Monolagen lassen sich sowohl Feldeffekttransistoren³, als auch sehr sensible Gassensoren⁴ einfach herstellen. Damit eignet sich Graphen ideal, um Schüler in der Schule für die Nanotechnologie zu begeistern. Dieses Paper bietet eine detaillierte Anleitung für die Herstellung und Untersuchung von Graphen in der Schule.

Graphit besteht de facto aus vielen, durch schwache van-der-Waals-Kräfte ($0,07\text{eV}$) aneinander haftenden Graphen-Monolayern. Innerhalb einer Graphenlage sind die Kohlenstoffatome durch kovalente Bindungen ($4,3\text{eV}$) gebunden (Abb. 1). Aufgrund der großen energetischen Diskrepanzen zwischen den kovalenten Bindungen und der van-der-Waals-Kräfte lässt sich Graphen mechanisch aus Graphit isolieren³.

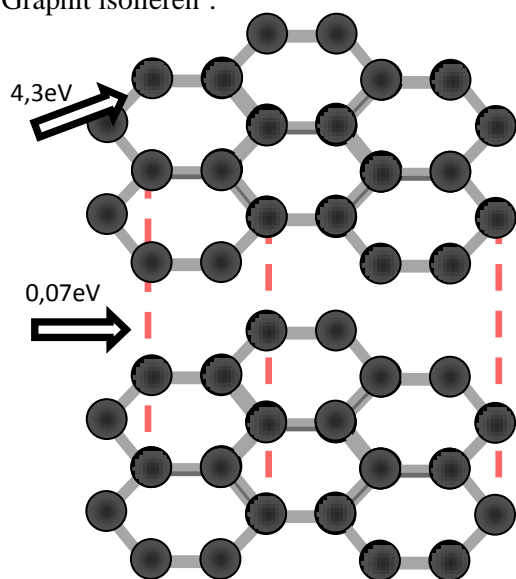


Abb. 1 Graphit besteht aus vielen gestapelten Graphenlagen, die nur sehr leicht aneinander haften.

Für die Herstellung von Graphen ist die sog. Scotch-Tape-Methode sehr gängig, da es sich um ein einfaches Low-Tech-Verfahren handelt.

Man benötigt für den Versuch:

- Einweghandschuhe
- Papier
- Pinzette
- Natürliche Graphitflocken
- Si/SiO₂-Wafer mit 90nm SiO₂-Schicht
- Scotch-Tape oder ein anderes schwach klebendes Klebeband
- Skalpell (optional)
- Aceton (optional)
- Isopropanol (optional)
- N₂(g) aus einer Flasche oder einen Föhn (optional)
- Ein Auflichtmikroskop mit bis zu 400x Vergrößerung

Zuerst sollte man für einen sauberen Arbeitsplatz sorgen, dazu kann man einfach ein weißes Blatt Papier auf dem Tisch auslegen. Zudem sollte man Latexhandschuhe benutzen um das Graphit und das Substrat sauber zu halten. Nun benötigt man das Klebeband. Am besten eignet sich Wafertape,

welches man beim Kauf der Wafer gleich mitkaufen kann. Falls dies nicht verfügbar ist, bietet sich Scotch-Tape an, welches man in vielen Schreibwarenläden kaufen kann. Man beginnt, indem man einen ca. 10cm langen Streifen Wafertape an beiden Enden ca. 1cm umfaltet. Nun legt man mit der Pinzette eine Graphitflocke auf das Tape (Abb.2). Das Tape wird anschließend gefaltet. Es ist wichtig, dass man an dieser Stelle sehr stark mit dem Daumen auf das Graphit drückt und eventuelle Luftblasen mit der Pinzette herausreißt. Nachdem man das Tape sehr langsam (!) wieder auseinandergefaltet hat, sollte man den Vorgang wiederholen, bis das gesamte Tape mit Graphit bedeckt ist. Wenn man das Stück Tape gegen das Licht hält sollte man bereits Stellen erkennen können, an denen das Graphit leicht transparent zu werden beginnt. Diese Stelle sollte man nun auf ein zweites Stück Tape drücken, und wieder die Blasen herausreißen. Nachdem man das Tape abgezogen hat, wiederholt man den Ausdünnungsprozess, bis auch das zweite Stück Tape komplett bedeckt ist. Wenn man nun auch das zweite Stück Tape gegen das Licht hält sollte man sich eine Stelle aussuchen, die relativ große transparente Stücke aufweist. Diese Stelle klebt man nun auf den Si/SiO₂-Wafer. Hier sollte man nun mit dem Finger das Tape festdrücken und mit sehr wenig Kraft die Blasen aus dem Tape reißen. Es ist wichtig, dass man das Tape nun sehr langsam von dem Wafer abzieht um das Graphen nicht zu beschädigen. Auf dem Wafer sollte man mit bloßem Auge bereits Partikel erkennen können. Wenn man Scotch-Tape anstatt des Wafer Tapes benutzt hat und das Graphen auch elektrisch kontaktieren möchte, sollte man den Wafer an dieser Stelle von Klebstoffrückständen reinigen, indem man ihn jeweils für eine Minute erst in ein Becherglas mit Aceton und dann in ein Becherglas mit Isopropanol legt. Wenn man den Wafer aus dem Isopropanolbad nimmt, sollte man ihn möglichst schnell mit Stickstoff oder mit einem Föhn trockenblasen. Anschließend kann man den Wafer unter einem Auflichtmikroskop untersuchen. Dabei gilt: Je geringer der Kontrast zum Waferhintergrund, desto

dünnere die Schicht. Bei den gelblich glänzenden Partikeln auf dem Wafer handelt es sich um Graphit, das deutlich dicker als 50nm ist.

Das Graphit kann man bei der NGS Naturgraphit GmbH als „Graphenium Flocken“ kaufen. Bereits 1-2g sollten für einen Versuch mit einer 25-köpfigen Klasse voll ausreichen. Falls das Graphen im Anschluss kontaktiert werden soll, empfiehlt es sich das teurere Graphit zu kaufen, da die Größe der Graphenlage deutlich zunimmt und so eine Kontaktierung mit schulischen Mitteln möglich ist.

Bezugsquellen:

NGS Naturgraphit GmbH

Homepage: <http://www.graphit.de/>

Die Si/SiO₂-Wafer kann man im Internet unter:

<http://www.mtixtl.com/>

oder

http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_elektrotechnik_und_informationstechnik/ihm

kaufen. Beim Kauf sollte man folgende Eckdaten angeben:

- Siliziumwafer <100>
- Bordotiert (für FETs)
- Thermisches Oxid 90nm dick
- In 2x2cm Stücke geschnitten
- Die Größe des Wafers hängt dann natürlich von der Kursgröße ab.

Tipps und Anregungen:

- Der Wafer und das Graphit sollten nur mit der Pinzette berührt werden.
- Man kann bei schlechten Ergebnissen den Wafer reinigen, indem man ihn mit einem in Aceton getränkten Taschentuch abreibt
- Um Graphit zu sparen, kann man auch neues Wafertape auf altes Wafertapes drücken, dort wo noch sehr dickes Graphit liegt.
- Um Graphen auf dem Wafer zu suchen, muss der Wafer mit einem Auflichtmikroskop abgerastert werden. Man zudem sollte eine „Landkarte“ der Wafer unter dem Mikroskop zeichnen, um das Graphen zu einem späteren Zeitpunkt wiederzufinden.
- Da Sauerstoff mit dem Graphit interkaliert, werden die Graphenflakes größer, wenn man Sauerstoff auf das Tape leitet.
- Es macht Sinn, eine Probenbox anzulegen, so dass man die Proben unterscheiden kann
- Normalerweise wird Graphen in Reinräumen hergestellt, deshalb ist es wichtig auf Sauberkeit zu achten
- Ein Gramm Graphit sollte zur Herstellung von 20-30 Proben reichen.

- [4] F.Schedin, et al. “**Detection of individual gas molecules adsorbed on graphene**”. Nature Mater. 6, 652–655 (2007)
- [5] <http://www.youtube.com/watch?v=rphiCdR68TE>
- [6] http://www.uni-leipzig.de/~nfp/Publications/2006/Diplomarbeit_Martin_Rothermel/mr-diplomarbeit2006.pdf, 11
- [7] <http://www.jufo.stmg.de/2008/Graphen/Graphen.pdf>
- [8] <http://www.jufo.stmg.de/2010/Graphene/Graphene.pdf>

Luca Banszerus geb. Dez. 1991
ist derzeit Schüler des **St. Michel-Gymnasiums in Bad Münstereifel**.

2008 und 2010 wurde er bei **Jugend forscht** mit einen **Bundessieg** ausgezeichnet.

Kontakt unter:

lucabanszerus@googlemail.com



- [1] <http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>
- [2] P.Blake, et al. “**Making graphene visible**,” Appl. Phys. Lett. 91, 063124 (2007)
- [3] K.Novoselov, et al. “**Electric field effect in atomically thin carbon films**.” Science 306, 666–669 (2004)

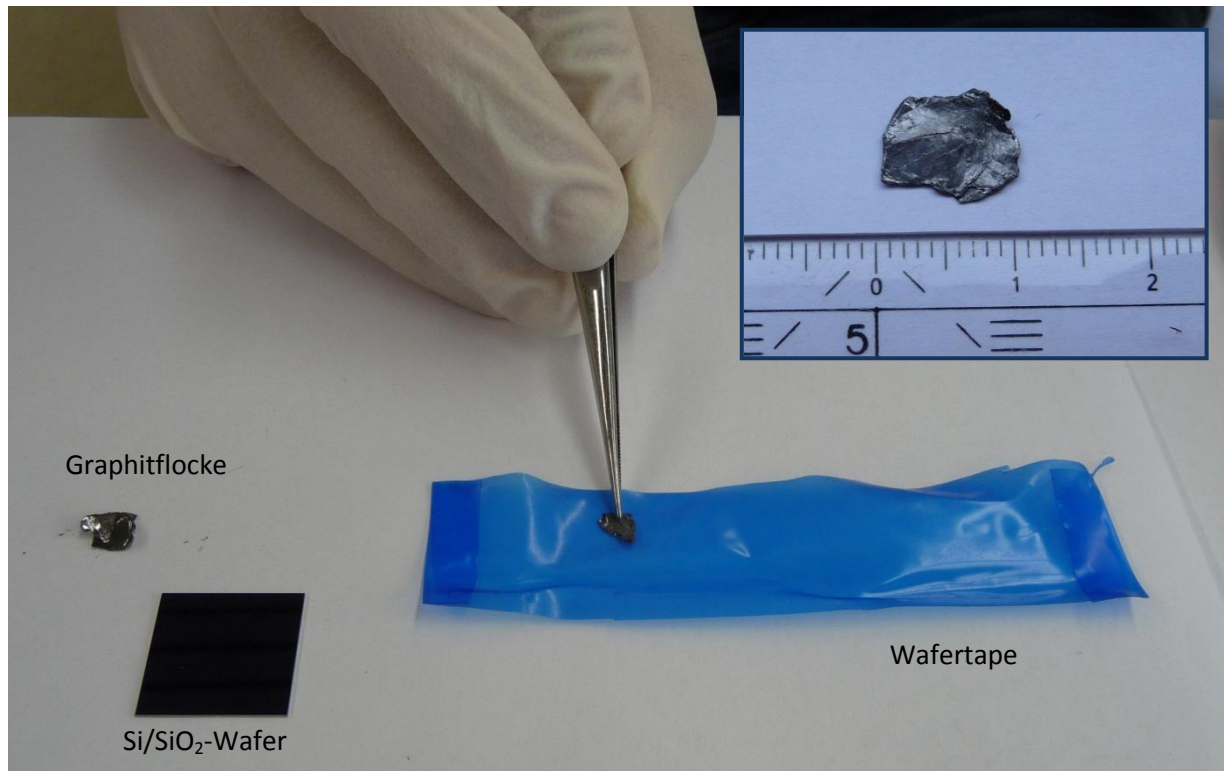


Abb. 2 Graphitflocke wird auf das Wafertape gedrückt

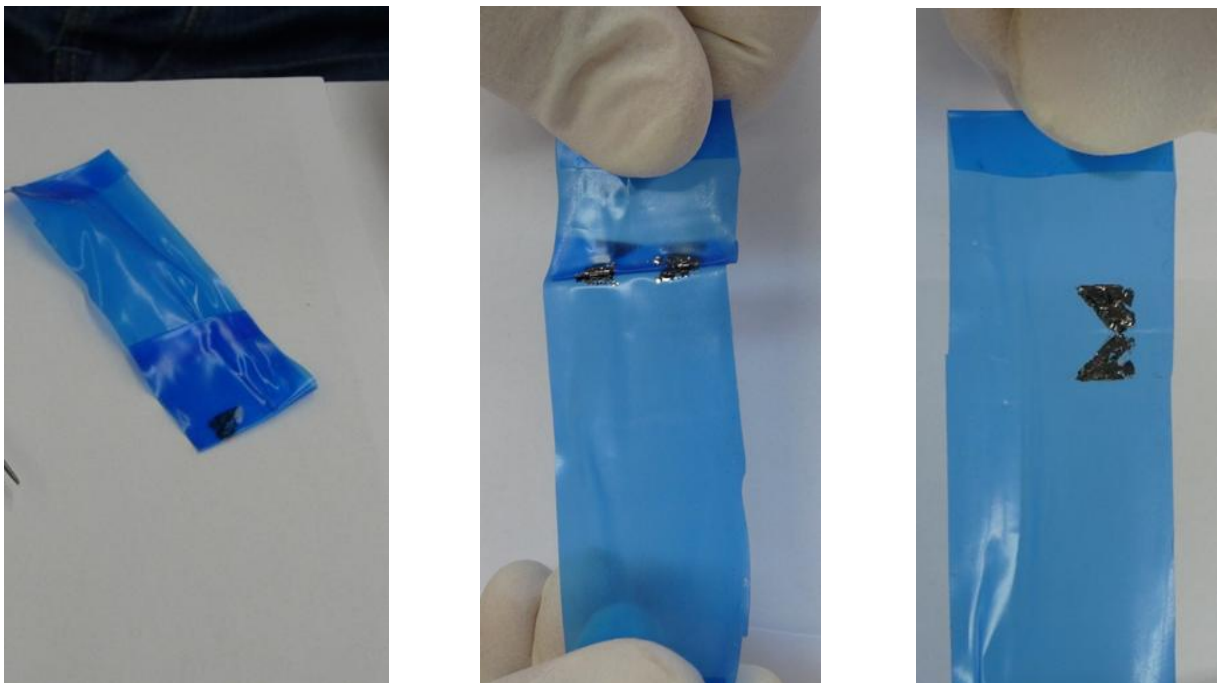


Abb. 3 Ausdünnung des Graphits mittels Wafertape

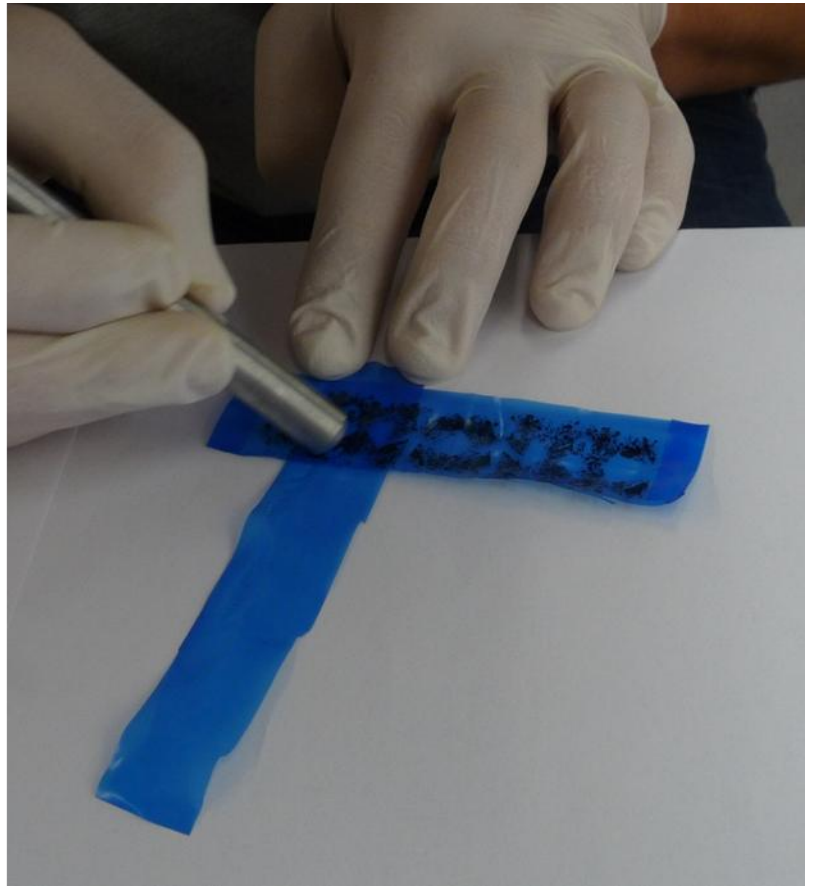


Abb. 4 Transport auf ein zweites Stück Wafertape

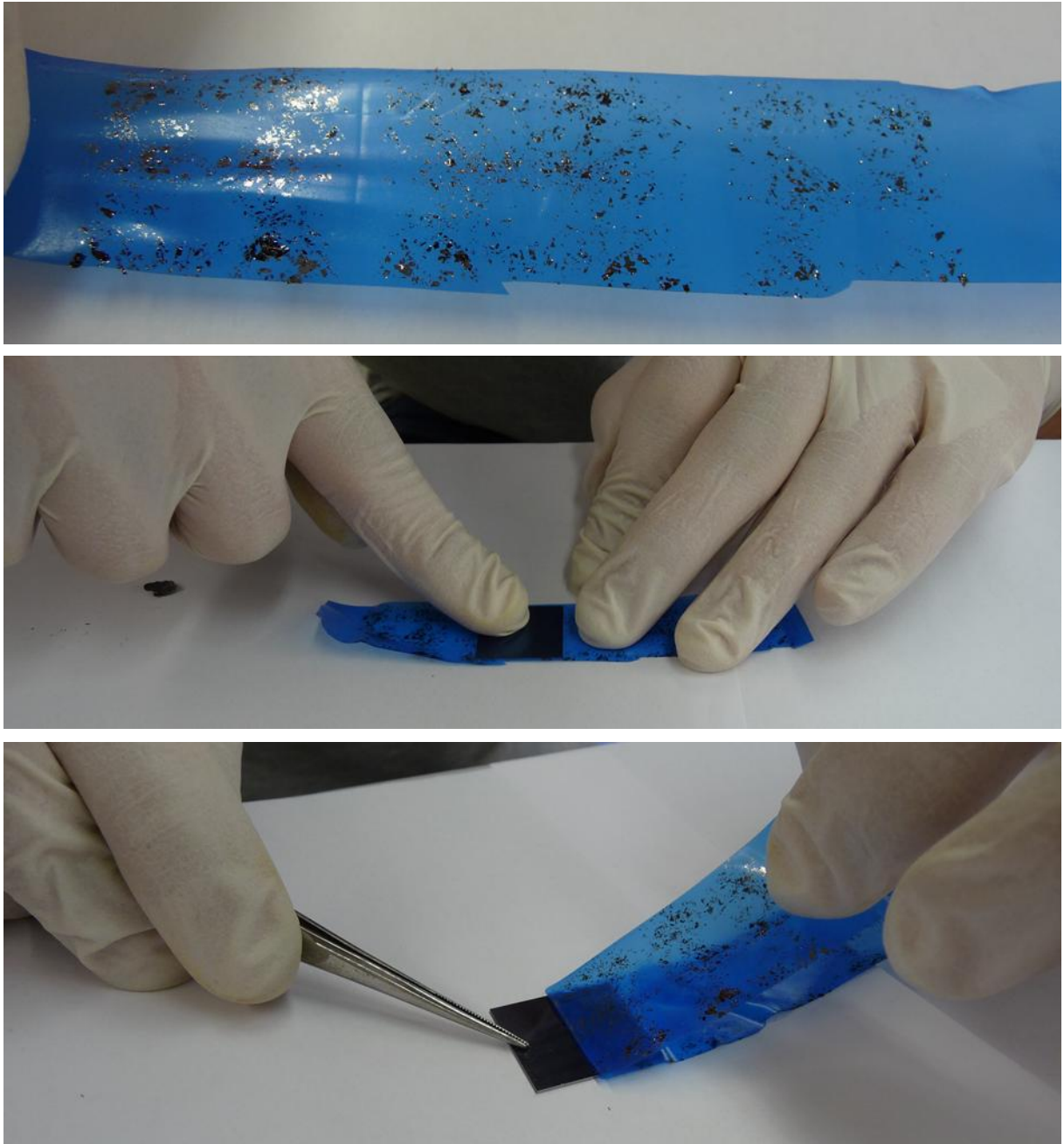


Abb. 5 Das ausgedünnte Graphit wird nun auf den Wafer gedrückt. Nachdem alle Luftblasen beseitigt sind, wird das Tape sehr langsam abgezogen.

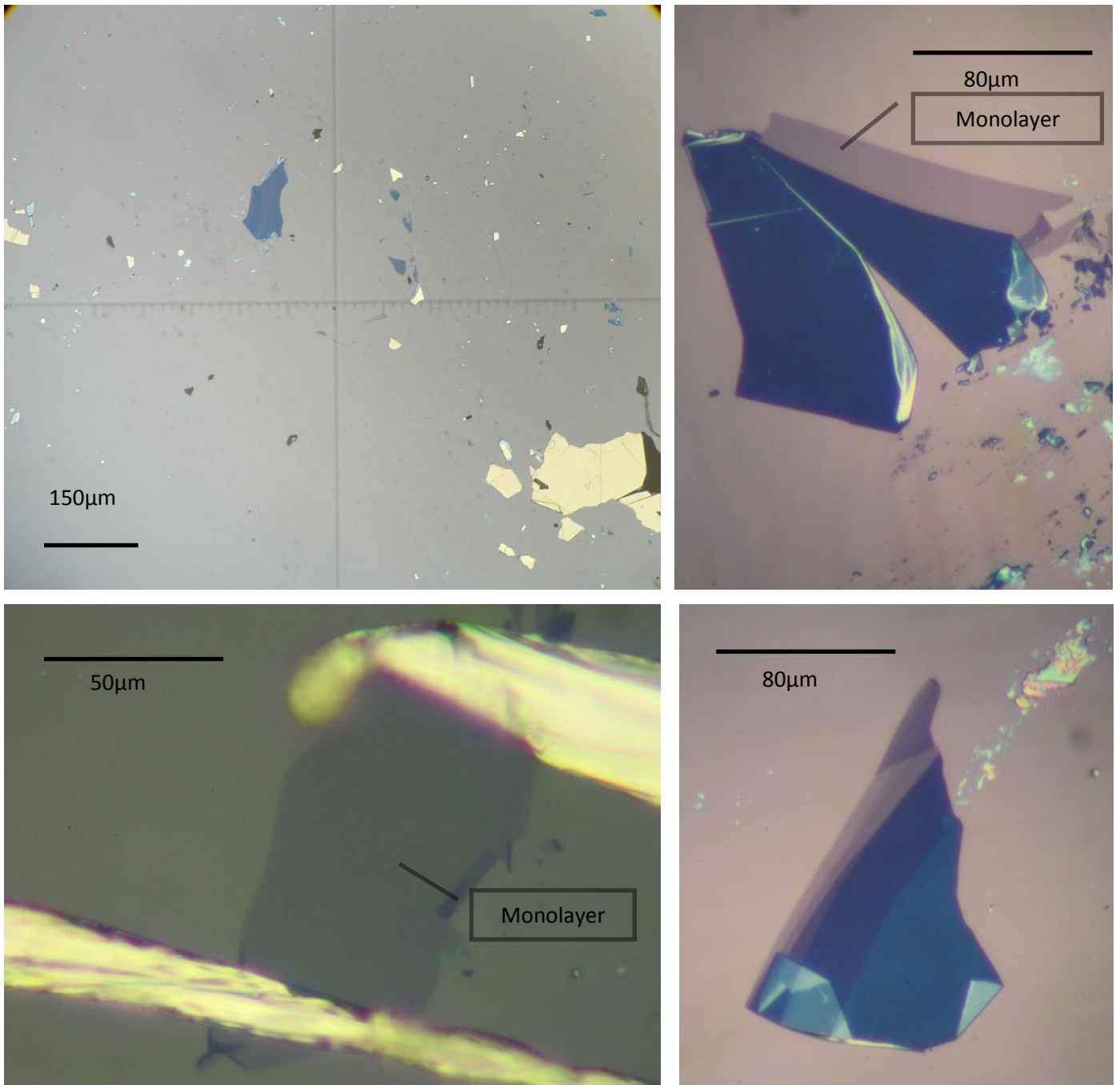


Abb. 6 Graphit und Graphen unter dem Auflichtmikroskop
oben links: viel Graphit unter niedriger Vergrößerung
unten links : kontaktierter Monolayer
rechts: Multilayer mit Few-layer-Graphen und Monolayer