

Entstehung und Korrektur der sphärischen Aberration von Elektronenlinsen

Die sphärische Aberration (Öffnungsfehler) von runden Elektronenlinsen ist unvermeidbar, weil die Brechkraft der äußeren Bereiche dieser Linsen stärker ist als die der achsennahen Bereiche (Abb. 1). Infolge dieses Verhaltens wird jeder Punkt der Objektebene in ein Scheibchen abgebildet dessen Radius die Auflösung des Bildes bestimmt. Die äußeren Bereiche der Linsen können nicht abgeblendet werden, weil man aufgrund der Welleneigenschaft der Elektronen große Öffnungswinkel θ benötigt, um zu verhindern, dass die sogenannte Beugung die Auflösung begrenzt.

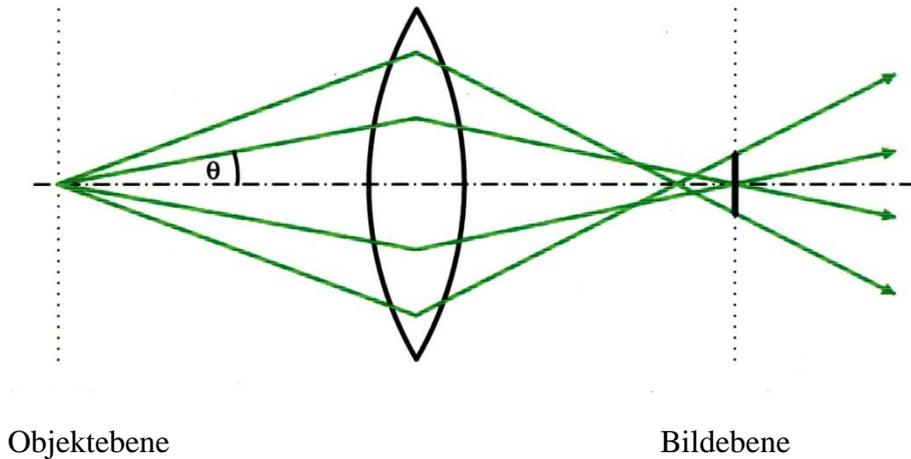


Abb.1: Schematischer Verlauf der Elektronen, die von der Objektmitte ausgehen und von einer runden Elektronenlinse fokussiert werden

Prinzip des Korrektors zur Behebung der sphärischen Aberration

Das in Abbildung 2 skizzierte korrigierte System ist zusammengesetzt aus der Objektivlinse, dem Transfer-Duplett und dem Korrektor. Dieser besteht aus zwei gleichen Rundlinsen im Abstand der doppelten Brennweite f der Linsen und zwei Sextupolen. Die Rundlinsen kehren den Strahlengang der achsennahen Strahlen um und bilden den ersten Sextupol S_1 mit der Vergrößerung -1 seitenverkehrt auf den zweiten Sextupol S_2 ab, wodurch sich die unrunder Fehleranteile der Sextupole kompensieren. Dagegen addieren sich die runden Fehleranteile, die entgegengesetzt zu denen der Rundlinsen sind. Damit wirkt der Korrektor für die achsenfernen Bahnen wie eine Zerstreuungslinse deren Stärke so eingestellt wird, dass die sphärische Aberration des Gesamtsystems behoben ist. Die zerstreuernde Wirkung des Korrektors auf die äußeren Elektronenbahnen ist in Abbildung 3 veranschaulicht.

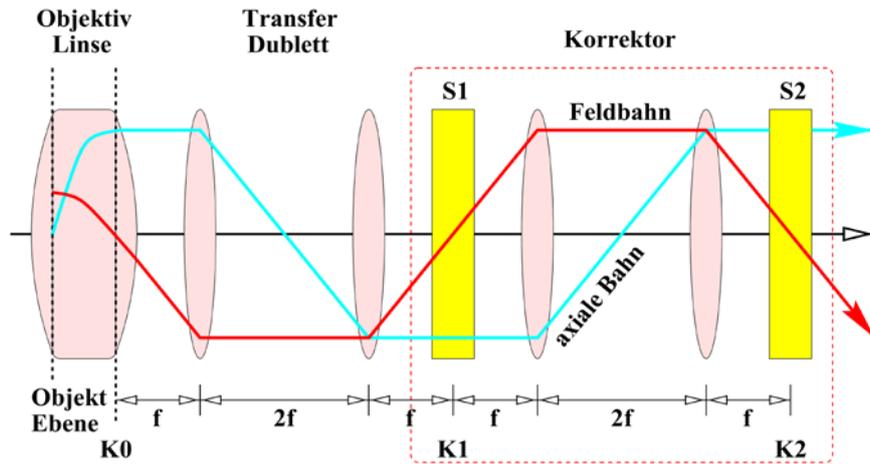


Abb. 2: Verlauf zweier ausgezeichnete achsennaher Elektronenbahnen in einem korrigierten System, bestehend aus der runden Objektivlinse einem teleskopischen Rundlinsen-Transfer-Duplett und dem Sextupolkorrektor. Das gesamte System ist der Hauptbestandteil fast aller korrigierten kommerziellen Elektronenmikroskope.

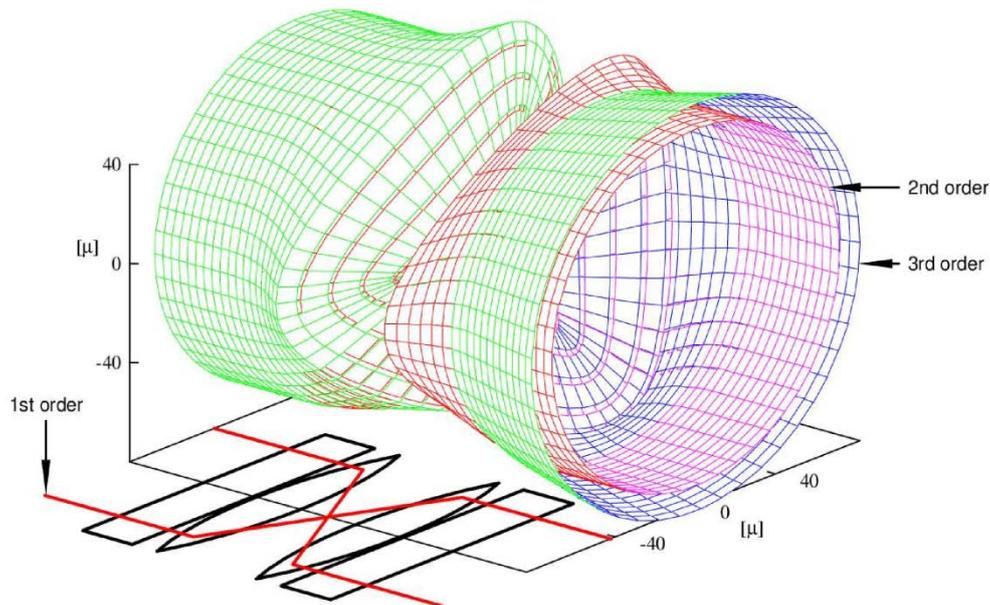


Abb. 3: Wirkung des Sextupolkorrektors auf Elektronen, die parallel zu seiner Achse einfallen und in erster Ordnung (achsennah) wieder achsenparallel austreten. Die unrunder Abweichungen (2nd order) heben sich auf. Die runden Abweichungen (3rd order) verlaufen hinter dem Korrektor auf einem Kegel und erzeugen in der Bildebene eine negative sphärische Aberration, die proportional zum Kegelwinkel ist. Dieser Winkel, und damit die sphärische Aberration, lassen sich durch geeignete Wahl der Sextupolstärke so einstellen, dass die sphärische Aberration der Rundlinsen des gesamten Systems kompensiert wird.