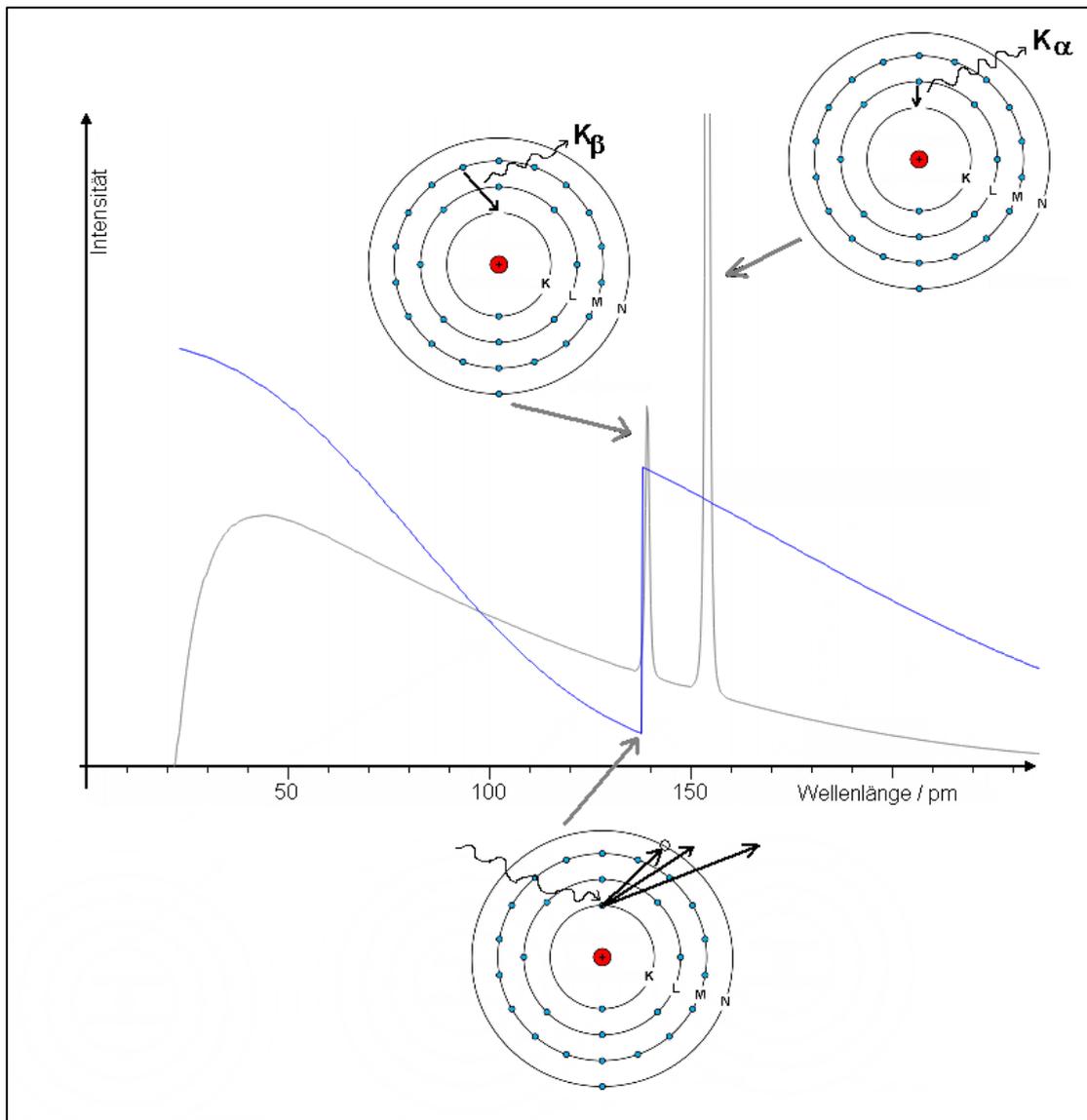


## 1. Charakteristische Linien $K_\alpha$ und $K_\beta$ :

Ein Elektron der Röntgenröhre prallt mit hoher Geschwindigkeit auf ein Kupferatom ( $Z = 29$ ) und schlägt aus der K-Schale ein Elektron heraus. Die entstandene Lücke kann durch ein Elektron der L-Schale aufgefüllt werden oder durch ein Elektron der M-Schale. Im ersten Fall entsteht die  $K_\alpha$ -Strahlung und im zweiten die  $K_\beta$ -Strahlung, die eine etwas höhere Energie (kleinere Wellenlänge) besitzt, als die  $K_\beta$ -Linie.



## 2. Entstehung der K-Absorptionskante bei der Durchstrahlung einer Kupferfolie:

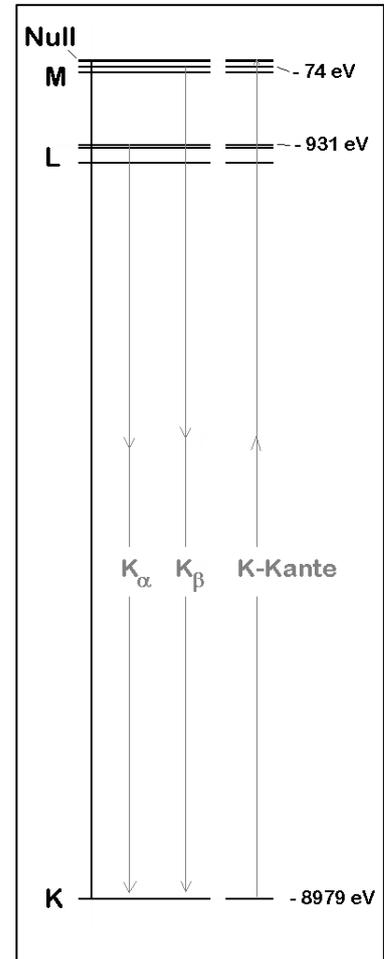
Ein dünnes Kupferblech wird mit kontinuierlicher Röntgenstrahlung durchstrahlt. Die blaue Kurve zeigt die Durchlässigkeit (Transmission) der Strahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Wenn wir die Kurve von rechts nach links betrachten, also beim langwelligen (niederenergetischen) Ende beginnen und zu kürzeren (energiereichen) Wellenlängen

gehen, erkennen wir, dass die Kupferfolie die Strahlung immer besser durchlässt. Dies ist nicht überraschend, denn es leuchtet ein, dass die Strahlung immer besser durchkommt, je energiereicher (kurzwelliger) sie ist. Plötzlich aber sinkt die Durchlässigkeit extrem ab. Diese plötzliche Abnahme der Durchlässigkeit wird als **K-Kante** bezeichnet.

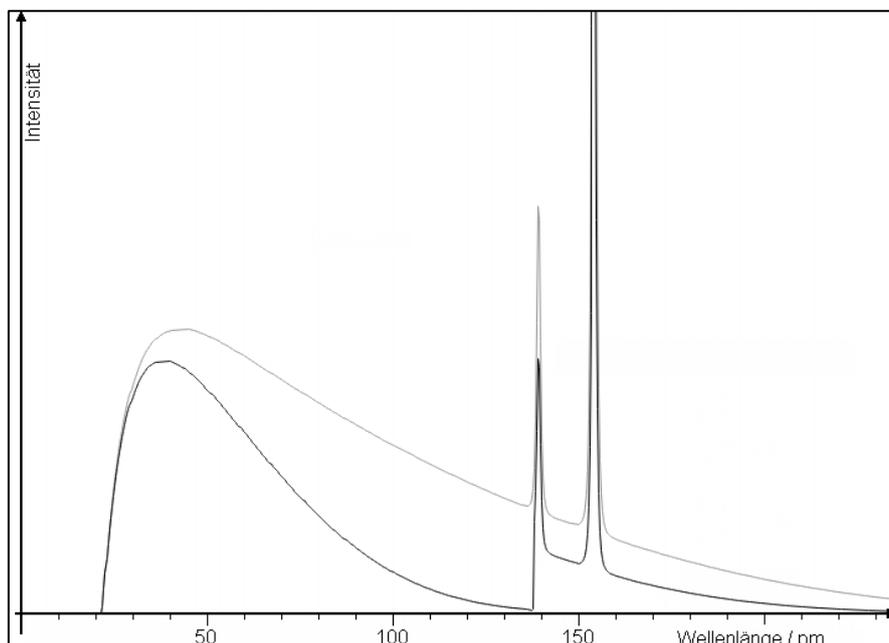
An dieser Stelle haben die Röntgenphotonen nämlich eine Energie, die genau dem Übergang von der K-Schale in die nächste, nicht besetzte Schale, in diesem Fall in die N-Schale, entspricht. Das K-Elektron wird gehoben und die Energie des Röntgenphotons vollständig absorbiert (Photoeffekt). Diese K-Kante liegt im Wellenlängenspektrum immer links von der  $K_{\beta}$ -Linie, also im etwas energiereicheren Abschnitt, da der Übergang von K nach N energetisch größer ist als der Übergang von K nach M (ein Übergang der nicht möglich ist, da die M-Schale ja besetzt ist). Da das Energieniveau auf der N-Schale nur einige wenige eV unter dem Nullniveau liegt (-7,7 eV), wird die Energie der K-Kante üblicherweise als die Ionisierungsenergie eines K-Elektrons festgelegt, also die Energie, die notwendig ist, dass Elektron vom K-Niveau ins Kontinuum zu heben. Bei Kupfer wird daher die K-Kante mit genau 8979 eV angegeben.

Hat das Röntgenphoton eine größere Energie als 8979 eV (also eine kleinere Wellenlänge als die K-Kante), wird ein K-Elektron auch ins Kontinuum gehoben und erhält die restliche Energie als Bewegungsenergie mit, so wie es die Theorie des Photoeffekts beschreibt.

Da die Wahrscheinlichkeit der Wechselwirkung (Photoeffekt) mit zunehmender Energie sinkt, wird die Kupferfolie für Wellenlängen, die kleiner als die der K-Kante sind, wieder durchlässiger für Röntgenstrahlung – die Transmission steigt nach links wieder an, wie man im Diagramm oben erkennen kann. Das untere Diagramm zeigt den Verlauf der Intensität, nachdem die Strahlung eine Kupferfolie von 0,013mm Dicke durchlaufen hat.



Termschema für Kupfer (Z=29)

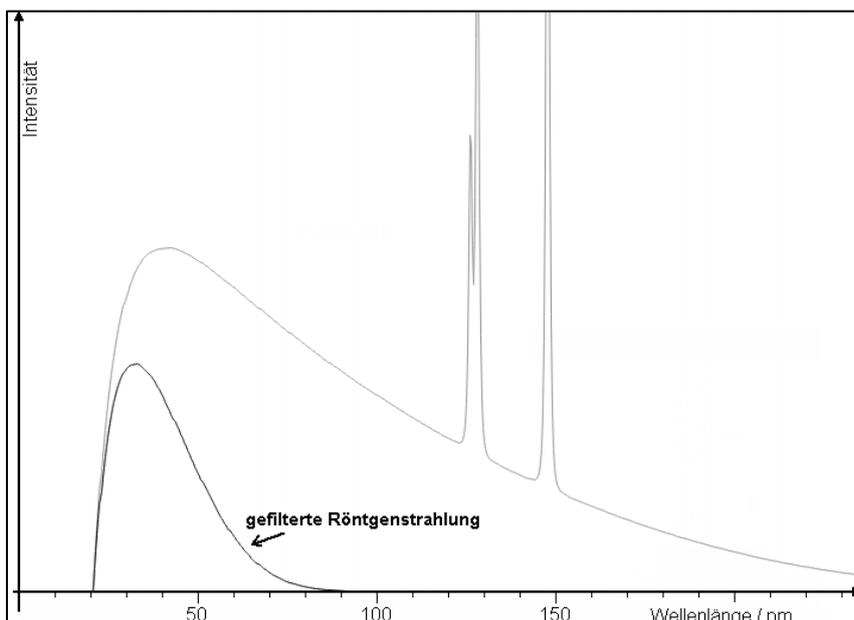
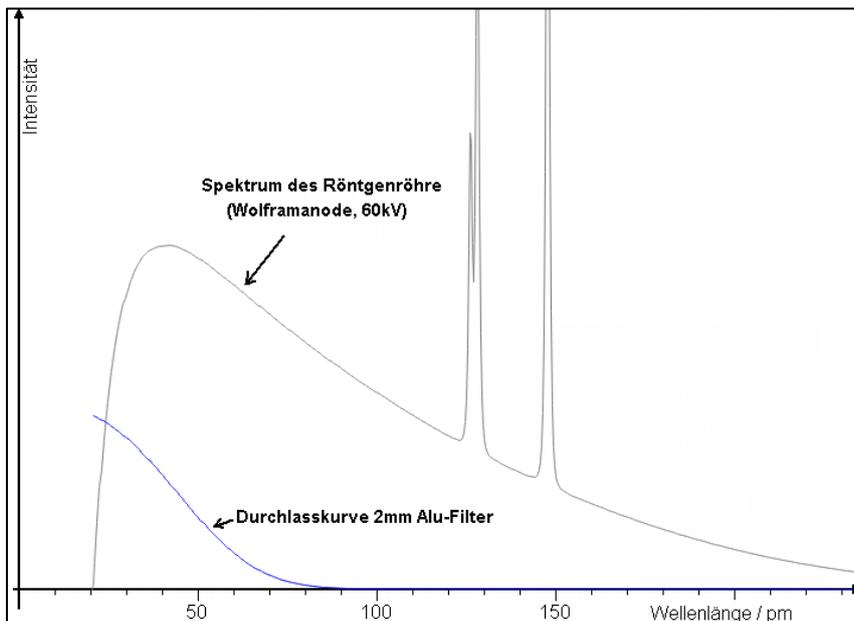


## Anwendung von Filtern bei Röntgenstrahlung

### Beispiel 1: Röntgen von Knochen - Aufhärtung der Strahlung erwünscht

Beim Röntgen von Knochen ist in der diagnostischen Medizin die Unterdrückung des langwelligeren (energiearmen) Teils des Spektrums erwünscht, weil die energiearmen Photonen bereits im weichen Körpergewebe (Muskeln, Fett, Blut) des Patienten absorbiert werden und kaum zur Bilddarstellung der Knochen beitragen, aber die Strahlenbelastung des Patienten unnötig erhöhen.

Die untere Abbildung zeigt das Spektrum einer Röntgenröhre, die eine Anode aus dem Metall Wolfram enthält und mit einer Spannung von  $U=60\text{ kV}$  betrieben wird. Die Filterkurve von 2mm Aluminium ist ebenfalls abgebildet. Man erkennt, dass das Aluminium alle Wellenlängen, die größer sind als etwa  $80\text{ pm}$  fast vollständig unterdrückt. Wendet man den Filter an, ergibt sich das zweite Diagramm mit dem resultierenden Spektrum. Die Strahlung enthält nur noch kürzere Wellenlängen, die das weiche Gewebe gut durchdringen können, im Knochen (Kalzium) aber absorbiert werden. Durch die Aufhärtung der Strahlung entsteht ein kontrastreiches Röntgenbild.



## Beispiel 2: Mammographie – weiche Röntgenstrahlung erwünscht

Das Röntgen der weiblichen Brust (Mammographie) dient der Krebsvorsorge. Da Tumorge-  
webe und Brustgewebe im Röntgenbild nur schwer voneinander zu unterscheiden sind und  
sich viele bösartige Karzinome bereits in ihrer Entstehungsphase durch sehr kleine Kalkabla-  
gerungen (Kalzifizierungen) verraten können, versucht man, besonders diesen Mikrokalk (Klei-  
ner als 0,5 mm) im Röntgenbild darzustellen.

Der beste Kontrast entsteht dabei bei weicher bis mittlerer Röntgenstrahlung. Kurzwellige und  
sehr langwellige Anteile der Strahlung sollen daher unterdrückt werden. Zudem wird dadurch  
die Strahlenbelastung für die Patientin deutlich verringert. Typische Röntgenanlagen zur  
Mammographie verwenden Röhren mit Molybdän-Anoden, kleine Anodenspannungen (28 bis  
33 kV) und Filterfolien aus Molybdän (hier 0,03 mm). Wendet man einen solchen Filter aus  
Molybdän an, entsteht das untere Spektrum. Man erkennt deutlich, dass nur ein schmaler  
Wellenlängenbereich des Spektrums durchgelassen wird. Dieser ist günstig für eine kontrast-  
reiche Darstellung von vermeintlichen Kalzifizierungen im Brustgewebe.

