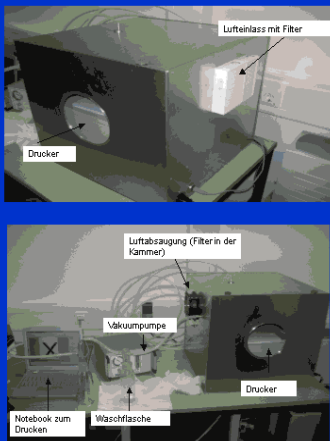


Untersuchungen von Tonerpartikeln

Anja Stelting (Gesamtschule Walddörfer) und Sven Weller (Walddörfer Gymnasium) Hamburg

Laserdrucker und Fotokopierer findet man heute im beruflichen und Freizeitbereich fast überall. Beide Gerätetypen arbeiten mit festen Kohlenstoffpigmentteilchen, die auf das Papier übertragen werden und Größen im Mikrometerbereich haben. Seit Jahren gibt es kontroverse Studien über gesundheitliche Schädigungen durch Toneremissionen. Neuere Untersuchungen berichten auch von noch kleineren Partikeln und Schwermetallverunreinigungen in den Tonern. Wir wollten der Sache auf den Grund gehen und haben mittels verschiedener elektronenmikroskopischer Verfahren Rohtoner und Druckerabluft untersucht. Dabei wurde mittels Röntgenfluoreszenz die elementare Zusammensetzung einzelner Partikel bestimmt. Ist Toner so harmlos wie ein candle-light dinner oder so toxisch wie Asbest?

Die Versuchskammer diente der Gewinnung von emittierten Tonerpartikeln. Dies erfolgte in dem Filter vor dem Ventilator und mittels einer Vakuumpumpe, mit der die Abluft durch eine Waschflasche gesaugt und damit die Partikel im entsalzten Wasser aufgenommen wurden.



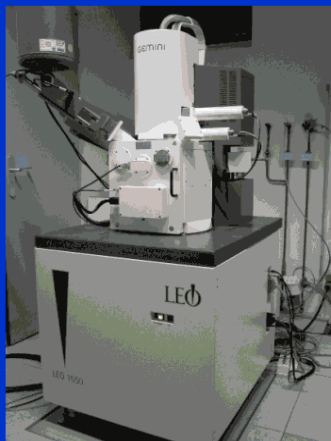
TEM – Transmissionselektronenmikroskop

Hierbei werden die Proben von einem Elektronenstrahl durchleuchtet und dabei ein Bild erzeugt. Elementaranalysen können mit dem EDX Detektor angefertigt werden.



REM – Rasterelektronenmikroskop

Hierbei wird die Probe mit einem Elektronenstrahl abgerastert und die zurückgestreuten Elektronen erzeugen das Bild. Auch hier kann eine EDX Analyse durchgeführt werden.



DLS – Dynamische Lichtstreuung

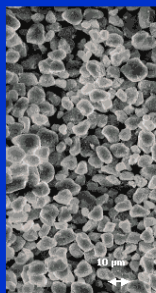
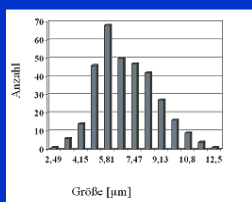
Hierbei wird die Probe mit einem Laser durchstrahlt und das gestreute Licht detektiert. Mittels einer Autokorrelationsanalyse erhält man die Größenverteilung.



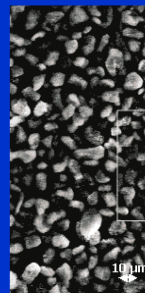
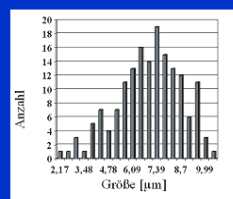
Ergebnisse Rohtoner

REM-Aufnahmen der drei Rohtoner und die dazugehörigen Größenhistogramme. Bei höherer Vergrößerung findet man in allen Proben auf der Oberfläche der Kohlenstoffpigmente noch kleinere Partikel mit Größen im Nanometerbereich.

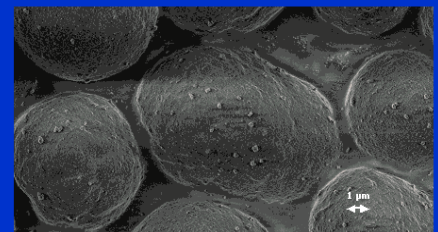
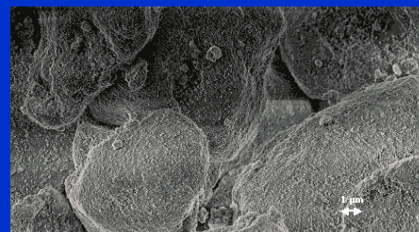
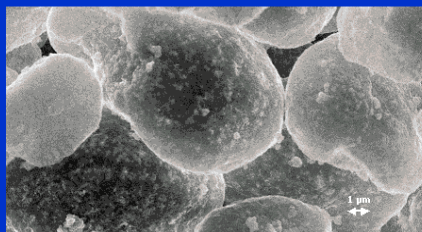
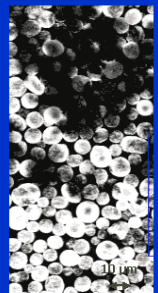
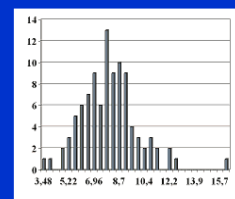
Beim Astar Toner sind die Teilchen unregelmäßig geformt, die mittlere Größe beträgt 5,8 µm.



Beim Kyocera Toner sind die Teilchen ebenfalls unregelmäßig geformt, die mittlere Größe beträgt 7,8 µm.

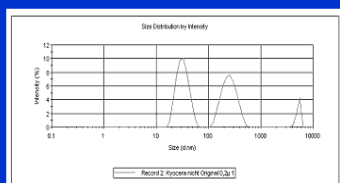


Beim HP Toner sind die Teilchen einheitlich rund geformt, die mittlere Größe beträgt 7,0 µm.

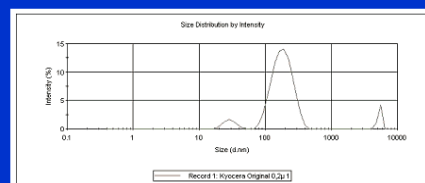


Die Nanopartikel ließen sich durch Aufschlammung in Wasser weitgehend von den größeren Kohlenstoffteilchen ablösen. Die Suspensionen wurden durch ein 200 nm Filter gepresst, so dass nur die Nanoteilchen im Filtrat waren. Deren Größenverteilung wurde mittels Lichtstreuung bestimmt.

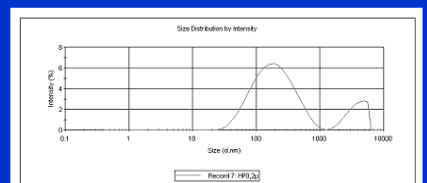
Die Lichtstreuung ergibt eine bimodale Größenverteilung mit Maxima bei 30 und 250 nm.



Die Lichtstreuung deutet hauptsächlich auf Teilchen mit Größen von etwa 200 nm hin, einige kleine Teilchen sind ebenfalls anwesend

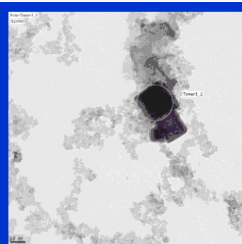
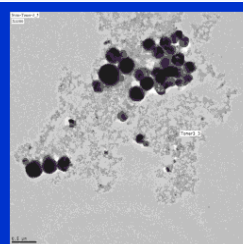
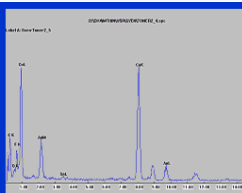
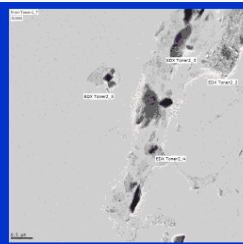
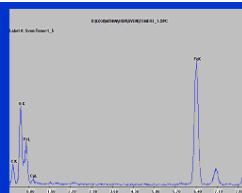
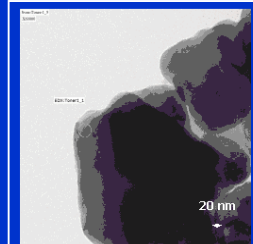


Hier zeigt die Lichtstreuung eine breite Größenverteilung mit Partikeln zwischen etwa 50 und 1000 nm.



Untersuchungen von Tonerpartikeln

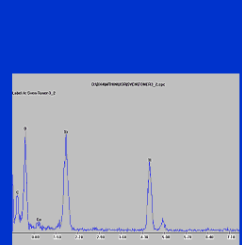
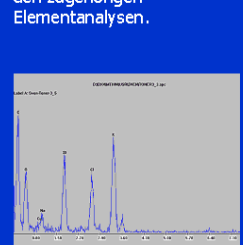
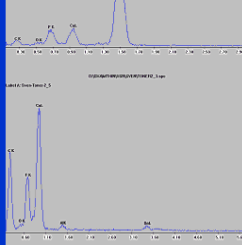
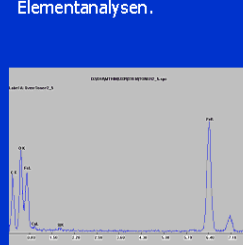
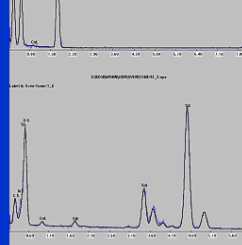
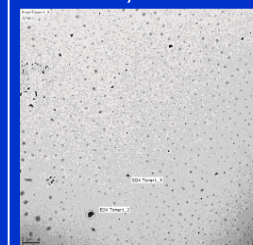
Anja Stelling (Gesamtschule Walddörfer) und Sven Weller (Walddörfer Gymnasium) Hamburg



TEM Aufnahmen des Astar Toners mit den zugehörigen Elementanalysen.

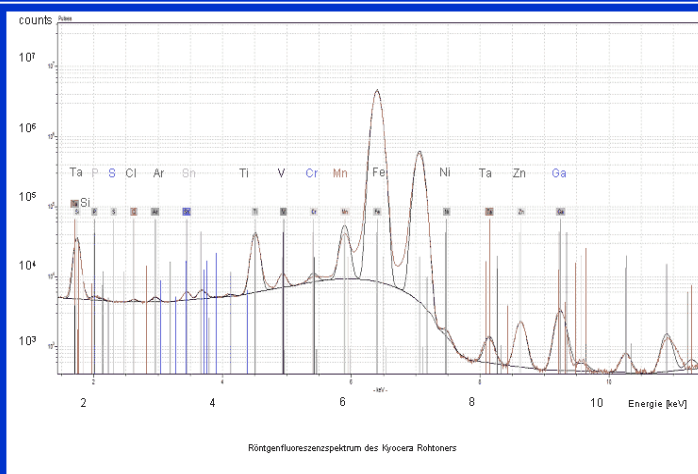
TEM Aufnahme des Kyocera Toners mit den zugehörigen Elementanalysen.

TEM Aufnahmen des Hewlett-Packard Toners mit den zugehörigen Elementanalysen.



Röntgenfluoreszenzanalyse

Der Kyocera Rohntoner wurde mittels Röntgenfluoreszenzanalyse untersucht, wodurch auch Spurenelemente nachgewiesen werden konnten. Wir finden praktisch alle Elemente aus den elektronenmikroskopischen Untersuchungen wieder.



Element	Line	Conc./mg/kg
Si	K12	68127.504
P	K12	402.363
S	K12	552.544
Cl	K12	251.729
Ar	K12	265.961
Ti	K12	5141.429
V	K12	Not detected
Cr	K12	318.908
Mn	K12	2435.869
Fe	K12	242440.776
Ni	K12	8.576
Zn	K12	15.970
Ga (IS)	K12	98.425
Sn	L1	833.817
Ta	L1	20.971

Untersuchungen der Abluft

Im REM sieht man Partikel auf den Filternetzen, die jedoch bei längerer Beobachtung im REM verdampfen (Siehe Bild 2 -> Bild 3). Hierbei handelt es sich also um öltartige organische Substanzen (wahrscheinlich aus dem Fixierer). Die Druckleistung war nicht groß genug um auch noch Tonerpartikel nachweisen zu können.

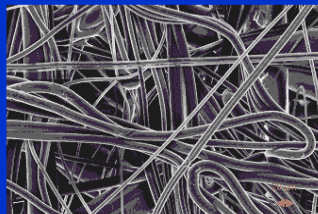


Bild 1

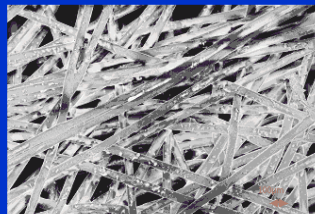


Bild 2

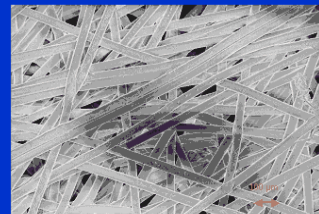


Bild 3

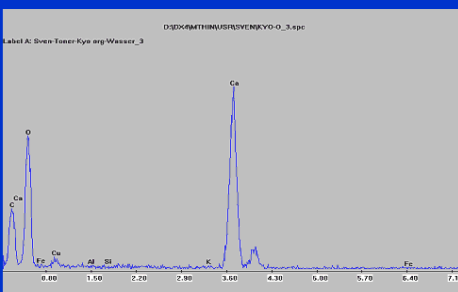


Bild 4

Bei den Astar und Hewlett-Packard Tonern konnten aufgrund der zu geringen Druckleistung keine tonerspezifischen Elemente in den Waschflaschen nachgewiesen werden.

Beim Kyocera Originaltoner konnten schon bei unserer Druckleistung Partikel aus dem Rohntoner in der Waschflasche nachgewiesen werden. Wir fanden die Elemente Gold, Silicium, Chlor, Kupfer, Aluminium, Eisen, Kalium und Titan.

Weitere Untersuchungen der Waschflaschen erfolgten mit DLS. Exemplarisch ist hier das Ergebnis des Kyocera Originaltoners gezeigt (Siehe Bild 8). Partikel mit Größen von 200 nm, was sich mit den TEM Untersuchungen deckt.

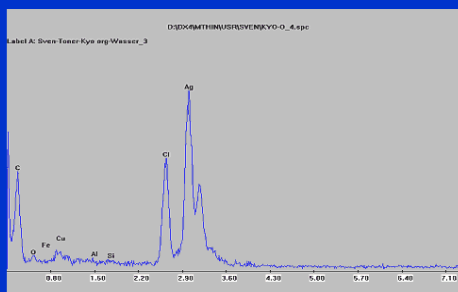


Bild 5

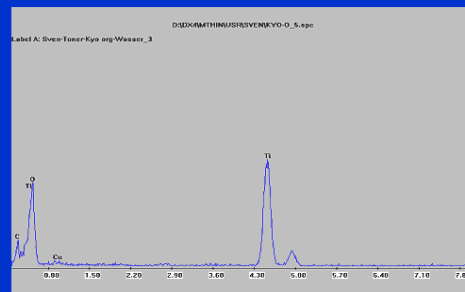


Bild 6

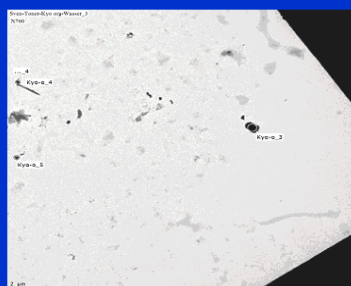


Bild 7

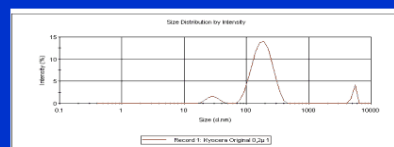


Bild 8

Untersuchungen von Tonerpartikeln

Anja Stelling (Gesamtschule Walddörfer) und Sven Weller (Walddörfer Gymnasium) Hamburg

Fazit

- Im Rohtoner befinden sich neben den mikrometergroßen Kohlenstoffpigmenten eine ganze Reihe metallischer oder metall-oxidischer Nanopartikel, die schon durch Aufschlänmen freigesetzt werden können.
- Der Verdacht liegt nahe, dass bei der Herstellung auch Elektronikschrott „recycled“ wird.
- Einige nachgewiesene Elemente sind hoch toxisch und allergen.
- Bei einem Toner lassen sich solche Partikel auch in der Abluft nachweisen.
- Tonerstaub ist nicht so harmlos wie ein candle-light dinner.
- Ob eine Gefahr wie von Asbest ausgeht, müssen weitere Studien mit professioneller Gasprobenentnahme zeigen.

Toner	Nachgewiesene Elemente
HP	Eisen, Strontium und Titan
Kyocera	Gold, Zinn, Silicium, Kupfer, Nickel, Eisen, Aluminium und Fluor
Astar	Eisen, Titan, Zinn und Silicium

Lösungsansätze

- Die Hersteller verzichten auf jegliche Zusatzstoffe und entwickeln einen „sauberen“ Toner
- Räume müssen eingerichtet werden, in denen eine gute Abluft herrscht, so dass Arbeitgeber und Arbeitnehmer nicht mehr den Emissionen ausgesetzt sind.
- Filtermethoden entwickeln, mit denen es möglich ist die kleinen Partikel aufzufangen.

Danksagung

Wir danken dem Institut für Physikalische Chemie der Universität Hamburg, in dem wir die Untersuchungen durchführen konnten. Unser besonderer Dank gilt Herrn Andreas Kornowski für die elektronenmikroskopischen Aufnahmen, wertvolle Diskussionen und die Einführung in die Präparationstechnik, Herrn Ulli Tromsdorf für die Einweisung in die DLS-Apparatur sowie Herrn Frank Bürli und der feinmechanischen Werkstatt des Instituts für die Anfertigung der Prüfkammer nach unseren Vorgaben. Großer Dank geht auch an die Firmen Mondi und Freudenberg für die Bereitstellung von Druckern, Kartuschen, Papier und Filtern.