

DIE ZEIT

19/2005

Ignoranz vom Allerfeinsten

Die Grenzwerte für Feinstäube sind antiquiert, die Messmethoden umstritten. Industrie und Politik filtern mit großem Aufwand den falschen Staub aus der Luft

Von Hans Schuh

Joachim Heyder findet endlich sein Thema in allen Gazetten. Aber der Feinstaubexperte kann sich nicht darüber freuen. Kaum hat die Diskussion über sein Fachgebiet begonnen, ist sie schon auf dem Holzweg. »Dieser Schlagabtausch hat mit dem akuten Problem nichts mehr zu tun«, ärgert er sich. Heyder weiß, dass es sich mit Stäuben genauso verhält wie mit vielen anderen Dingen: Nicht die Masse macht's, sondern die Qualität.

Darum kann sich der ehemalige Direktor des Instituts für Inhalationsbiologie am staatlichen Großforschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (GSF) in Neuherberg bei München mit Rußpartikelfiltern gegen Feinstaub durchaus anfreunden. Wenig bis nichts aber hält er von dem, was Politik, Automobilindustrie und Öffentlichkeit ansonsten diskutieren: Grenzwerte, Messmethoden und Bekämpfungsmaßnahmen orientieren sich lediglich an der Masse des Staubs – nicht aber an seiner Gefährlichkeit für die Gesundheit, der Toxizität.

»Da liegt das Problem«, sagt Heyder und rauft sich angesichts der grassierenden Ignoranz den weißen Vollbart. Das Gewicht einzelner Partikel verrät kaum etwas über deren Toxizität. Über die Gefährlichkeit entscheiden vielmehr deren Inhalt und Form, sprich die Chemie und die Physik der Teilchen, etwa ihre Größe und Gestalt. Wer genau hinschaut, stellt rasch fest, dass in unserer Atemluft ein gigantischer Zoo verschiedenster Partikel schwebt. Physikalisch rekrutiert sich Feinstaub aus dicken Brummern (grobe Fraktion, 10 bis 2,5 Mikrometer dick), Leichtgewichtigen (feine, unter 2,5



Blau: In den oberen Atemwegen und der Luftröhre bleiben vorwiegend große Partikel hängen. Sie werden meist abgehustet

Grün: In den großen Bronchialästen landen weniger Partikel. Auch hier überwiegt die grobe Fraktion

Gelb: In den feineren Lungenästen nimmt der Anteil der ultrafeinen Partikel deutlich zu

Rot: In den feinsten Verästelungen und in den Lungenbläschen findet sich die größte Partikelfracht.

Dabei dominieren die ultrafeinen Partikel. Aus den Lungenbläschen (linkes unten) können Partikel ins Gewebe und sogar in die Blutbahn eindringen

Illustration: Gisela Breuer

Mikrometer) und winzigen Wichten (ultrafeine Fraktion, unter 0,1 Mikrometer). Sie bilden kompakte Kügelchen, gekrümmte Würmchen oder flache Plättchen.

Chemisch enthalten sie Harmloses wie Wüstenstaub oder Meersalztröpfchen, Ätzendes wie Aerosole aus der Landwirtschaft (Ammoniak) oder Industrie (Schwefel- und Stickoxide), Pollen, Sporen, Schuppen, Viren und Bakterien, aber auch giftige Schwermetalle, krebserregende Chemikalien oder eben Dieselruß – eine Mixtur natürlichen, industriellen und kulturellen Ursprungs. Auch dem Laien leuchtet ein: Die Beschreibung dieses allerfeinsten Universums nur durch sein Gewicht ist keine brillante Idee. Jeder Biologe, der die Artenvielfalt in Kilogramm zu messen versuchte, wäre reif für die Psychiatrie.

Dennoch findet Heyder es historisch verständlich, dass man die Feinstäube zunächst über ihre am einfachsten bestimmbare Eigenschaft erfasst hat, ihr Gewicht. »Inzwischen ist die Wissenschaft wesentlich weiter, es ist Zeit für einen Paradigmenwechsel«, fordert der Inhalationsbiologe.

Noch vor gut zehn Jahren ging man vom klassischen Dosis-Wirkungs-Prinzip aus: Die Toxizität eines Partikels nimmt mit steigender Größe zu, eine hohe Masse verursacht hohe Schäden. Diese Alltagsweisheit entpuppt sich im Reich des Allerfeinsten als falsch. »Die neuere Forschung führt zum umgekehrten Schluss: Je kleiner die Partikel, umso gefährlicher sind sie für Menschen«, sagt der Wissenschaftler. Das hat Folgen. Sind die Feinsten die Gemeinsten, dann führt schlichtes Messen von Partikelmassen auf den Holzweg. Denn zur Masse tragen hauptsächlich die größeren Partikel bei, während die gefährlicheren ultrafeinen Teilchen kaum Gewicht auf die Waage bringen.

Wer die Straße fegt, tut noch lange nichts für die Gesundheit

Den Irrsinn der Debatte verdeutlicht eine einfache Rechnung: Ein Partikel von 8 Mikrometer Durchmesser wiegt genauso viel und wäre nach dem heutigen Massestandard genauso gefährlich wie 512 Millionen ultrafeine Partikel mit 0,01 Mikrometern. Dennoch beruht der seit diesem Jahr verschärfte EU-Grenzwert für die Feinstaubbelastung der Luft (maximal 50 Mikrogramm pro Kubikmeter an 35 Tagen pro Jahr) auf dem wissenschaftlich überholten Massekriterium.

Fegte man beispielsweise durch feuchte Straßenreinigung oder Rußkatalysatoren vorwiegend dicke Staubpartikel aus der Luft, dann wäre der EU-Grenzwert erfüllt. Hurra? Nein, Trugschluss. Die vorschriftsmäßige Luft ist womöglich genauso gesundheitsgefährdend wie die dreckige. Heyder fordert eine präzisere Analytik, die neben der chemischen und biologischen Zusammensetzung der Partikel auch deren Zahl und die Größe ihrer Oberfläche berücksichtigt: »Es sind vor allem ihre Oberflächen, die ultrafeinen Partikeln außergewöhnliche Brisanz verleihen.«

Das klingt abstrakt und wissenschaftlich. Im Grunde aber verbirgt sich dahinter eine uralte Weisheit. Beispiel Nahrungsaufnahme: Kerne und Körner sind gesund und nahrhaft, doch wer sie unzerkaut verschluckt, der scheidet sie weitgehend unverdaut wieder aus. Darum wurde Kauen zur Siegerstrategie der Evolution. Zermalmen der Nahrung vergrößert deren Oberfläche; Verdauungssäfte, -enzyme und -bakterien können auf breiter Front angreifen und die Nährstoffe besser erschließen. Das Mahlen von Mehl verfeinert den Prozess noch. Doch der Stoff für leckere Backwaren macht als

Schwebstaub Menschen krank (Bäckerallergie) und entpuppt sich in seiner feinsten Form sogar als Sprengstoff. Mehlstaubexplosionen haben schon zahlreiche Mühlen gesprengt. Eine der gewaltigsten in Deutschland zertrümmerte 1979 die Bremer Rolandsmühle. Vierzehn Tote waren zu beklagen und ein Schaden von rund hundert Millionen Mark. Was verwandelt Nahrung in eine tödliche Gefahr? Ihre riesige Oberfläche.

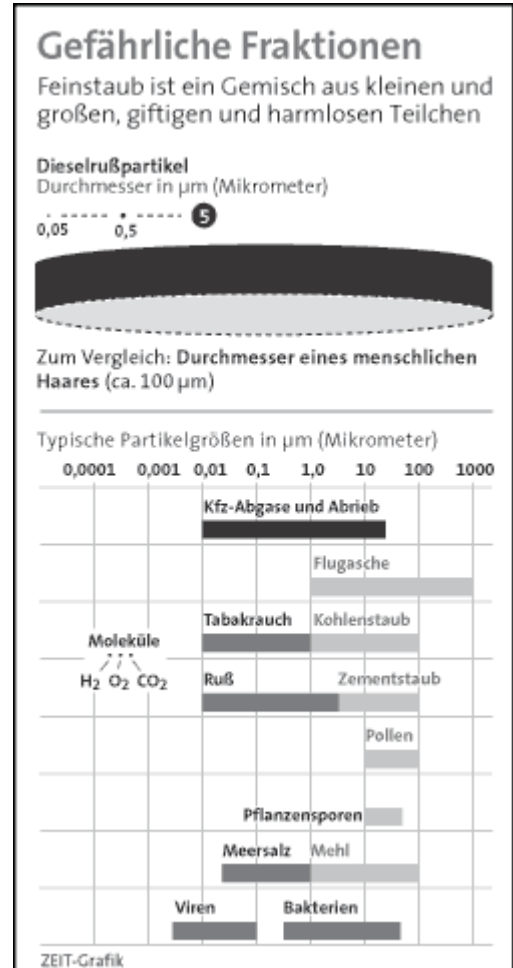
Mit seiner riesigen Oberfläche bietet Staub dem Sauerstoff der Luft eine extrem große Angriffsfläche, der Abbrand beschleunigt sich bis zur Explosion. Generell können feinste Partikel aller brennbaren Stoffe zu Staubexplosionen führen. So hat etwa Kohlenstaub in Gruben zahllose Kumpel getötet, sogar Aluminiumpulver kann explodieren. Die ultrafeine Welt, deren Teilchen kleiner als 100 Nanometer groß sind (dies entspricht 0,1 Mikrometer), steckt voller Überraschungen.

Was macht Dieselruß und Buchenholz zu krebserregenden Stoffen?

Auf dem Internationalen Wiener Motorensymposium vergangene Woche wollte man Überraschungen nicht kennen. Elektronikprobleme im Pkw? Unsinn! Klaus Egger, Vorstandsmitglied des Zulieferers Siemens-VDO: »Die Wahrscheinlichkeit, liegen zu bleiben, ist in den letzten 30 Jahren von 3,5 auf 0,5 Prozent gesunken.« Pkw-Emissionen? BMW-Mann Norbert Metz stellte die Frage: »Ein gelöstes Problem?« Und wusste die Antwort: Ja. Nur die Stickoxide sollten ein bisschen weniger werden. Und der Ruß, da müsse man die Grenzwerte raufsetzen. Apropos Ruß. »Es gibt keine arbeitsmedizinischen Belege dafür, dass Dieselruß krebserregend ist«, beruhigte Joachim Bruch von der Universität Essen das Publikum. Und sollte er doch schädlich sein, dann aber jedenfalls 100-mal weniger als herumfliegender Sand.

Die 1000 versammelten Ingenieure arbeiten dennoch an den scheinbar nicht vorhandenen Problemen weiter: Elektronikbauteile sollen zuverlässig werden. Jeder plagt sich mit Emissionen herum, nicht nur die DaimlerChrysler-Ingenieure. Sie wollen Dieselautos zusätzlich mit Harnstoff (!) betreiben, um die strengen US-Emissionsrichtlinien zu erfüllen. Und in der Begleitausstellung dominierten dicke glänzende Töpfe – Rußfilter.

Tatsächlich gibt es für Forscher und Entwickler noch viel zu tun. Das meiste in der Nanowelt der kleinsten Teilchen ist unverstanden, ihre Chemie, Physik und die Nanomedizin sind junge Forschungsfelder. »Mit den Nanopartikeln kommen wir in ein Gebiet mit neuer Qualität«, sagt Joachim Heyder. Warum wirken Eichen- und Buchenholz, Inbegriffe des Soliden und Nützlichen, plötzlich eindeutig krebserregend, wenn Menschen sie als Schwebstaub einatmen? Warum erzeugt Ruß bei Ratten Krebs, aber bei



Hamstern und Hunden nicht? Warum ZEIT-Grafik

korrelieren hohe Feinstaubbelastungen der Atemluft mit einem solch breiten Spektrum an Atemwegs-, Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen? Killt der Dieselruß tatsächlich fast 20000 Menschen jährlich in Deutschland, oder machen noch andere Faktoren den Feinstaub scharf, etwa das Zusammenspiel mit gasförmigen Luftverunreinigungen?

»Wir verstehen die Partikelwirkung erst ansatzweise, deshalb herrscht hier erheblicher Forschungsbedarf«, sagt der Inhalationsbiologe Heyder. Er warnt davor, dass »Milliardeninvestitionen in die Luftreinhaltung das gesundheitspolitische Ziel weitgehend verfehlen könnten, weil man die falschen Parameter misst. Sind nämlich die ultrafeinen Partikel die Hauptgefahr, dann brauchen wir völlig andere Grenzwerte«.

Unsere Problemzone ist die Lunge. Mit all ihren Bläschen verfügt sie über eine riesige Oberfläche: Die 140 Quadratmeter entsprechen etwa einem Tennisplatz. Damit filtern wir ungewollt die Atmosphäre und deponieren jeden Tag durchschnittlich 100 Milliarden Partikel in der Lunge. Unmittelbar unter dieser Deponiefläche fließt das Blut, lediglich getrennt von einer hauchdünnen Gewebeschicht. Sie ist nur einen halben Mikrometer (oder 500 Nanometer) dick, schließlich soll der Sauerstoff aus der Atemluft möglichst leicht in den roten Lebenssaft hinüberdiffundieren.

Offenbar sickern auch ultrafeine Teilchen rasch in dieses Gewebe ein – und gelangen vermutlich bis ins Blut. Das könnte Blutdruck, Herzschlag und Blutgerinnung verändern, Herzinfarkte und Schlaganfälle erklären, die gehäuft bei erhöhter Staubbelastung durch Straßenverkehr auftreten. Neuerdings werden direkte Auswirkungen der Partikel auf das Gehirn diskutiert. Ob sie direkt über den Kanal des Riechnervs oder über die Blut-Hirn-Schranke in den Schädel gelangen, ist offen.

In der Fachwelt wird Heyders Kritik am EU-Grenzwert und an der reinen Massemessung prinzipiell bestätigt. Längst messen die Amerikaner neben der groben Feinstaubfraktion vor allem die feinen Partikel unter 2,5 Mikrometern und setzen auch Grenzwerte für die feine Fraktion.

Nasse Waschlappen sind nach EU-Norm gefährlicher als trockene

Auch die EU hat das Problem erkannt und die Arbeitsgruppe CAFE (Clean Air for Europe) eingesetzt, um die Revision bestehender Richtlinien zu prüfen. In einem CAFE-Bericht heißt es, es gebe »stärkere Hinweise, dass Teilchen kleiner als 2,5 Mikrometer der Hauptgrund für Gesundheitseffekte« seien. Deshalb sollten wie in den USA künftig die feineren Partikel zum wichtigsten Maßstab werden. Der Bericht verschweigt auch nicht, dass die derzeitigen Messmethoden für Feinstäube umstritten sind. Verschiedene Techniken führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die Abweichungen betragen bis zu 30, manchmal sogar 50 Prozent. Für hohe Fehlerquoten sorgt zudem der Einfluss von Feuchtigkeit und flüchtigen Substanzen auf das Gewicht des Feinstaubes. So beeinflusst die Temperatur die Messung flüchtiger Substanzen wie Kohlenwasserstoffe (Benzindämpfe) oder Ammoniumnitrat. Bei Kälte gehen diese Schädlinge in die Falle, bei Hitze durch die Lappen.

Zudem sind feine Partikel Kondensationskeime für Regentröpfchen. Je nach Luftfeuchtigkeit kommt somit unterschiedlich viel Gewicht auf die Messgeräte. Feinstaub wirkt wie ein Waschlappen, an der Nebelküste wird er feucht und schwer, in spanischen Wüstengebieten bleibt er trocken und leicht. Messungen am gemeinsamen Forschungszentrum der EU im

italienischen Ispra haben gezeigt, dass das Gewicht von Feinstaubfiltern stark schwankt, je nachdem ob sie bei strömendem Regen oder bei Trockenheit »besaugt« wurden. Die heikle Preisfrage, welcher »Waschlappen« gefährlicher sei, der trockene oder der nasse, findet dank EU-Norm eine klare Antwort: der schwere.

Der Meteorologe Stefan Jacobi gehört zu den CAFE-Experten der EU. Er bestätigt die prinzipiellen Messprobleme, verweist aber darauf, dass es in der Feinstaubdebatte verschiedene legitime Standpunkte gebe: »Je nachdem welchen Hut man da aufhat, muss man unterschiedlich argumentieren.« Wissenschaftler wie Heyder decken Schwächen und Fehlerquellen auf. Epidemiologen hingegen sollen frühzeitig Gesundheitsgefahren identifizieren – sie nehmen Ungewissheiten in Kauf. Die Politik wiederum, sagt Jacobi, müsse einen gerichtsfesten Kompromiss zwischen Vorbeugungsmaßnahmen, verursachten Kosten und Unsicherheit finden. Noch seien die Belege, dass ultrafeine Partikel die Hauptübeltäter seien, wissenschaftlich zu wenig erhärtet, um politische Konsequenzen zu ziehen.

Derzeit streitet die Automobilindustrie mit der EU heftig über die künftige Abgasnorm Euro V. »Es geht um Milliarden«, sagt Axel Friedrich vom Bundesumweltamt. Dennoch argumentieren die Kontrahenten mit überholten Parametern. Der zulässige Partikelaustritt pro Fahrzeug für das Jahr 2010 soll in Milligramm je gefahrenem Kilometer festgelegt werden. Fällt dieser Wert sehr streng aus, wie es Umweltschützer verlangen, dann können einzig die teuren und besonders effizienten Partikelfilter die Vorgaben erreichen. Sie vernichten die schweren und die ultrafeinen Partikel gleichermaßen.

Eine laschere Norm könnten auch weniger wirksame und billigere Rußkatalysatoren (statt Filter) erfüllen. Die würden zwar den Gewichtsvorgaben entsprechen, aber sie pusteten viele der kritischen ultrafeinen Teilchen in die Umwelt. So senkt die Bekämpfung vorwiegend das Gewicht und kaum die Gefahr des Feinstaubes. Erich Wichmann, Direktor des Instituts für Epidemiologie der GSF, nennt ein weiteres Beispiel verfehlter Staubfängerei: »Wenn man die Straßen vermehrt reinigt, erwischt man vorwiegend die grobe Staubfraktion.« Dann lässt sich zwar der EU-Grenzwert besser einhalten, aber an der Gesundheitsgefahr ändert das wenig. Der Epidemiologe verweist auf ein anderes Phänomen namens scavenging: »Ultrafeine Partikel neigen dazu, sich an gröbere Teilchen anzuheften, und verschwinden damit teilweise aus der Luft.« Die Brummer unter den Stäuben fegen also mit reinigendem Effekt durch die Feinfraktion und halten deren Zahl im Zaum. Das erklärt auch, warum die feinsten Stäube in »gereinigter« Luft sogar zunehmen können. Und warum sich der Ruß in Autoreifen bei weitem nicht so stark auswirkt wie Dieselruß. »Beim Abrieb hat der Reifen intensiven Kontakt mit dem gröberen Straßenstaub, dabei bleibt der Ruß hängen«, erklärt der Epidemiologe.

Ein klassisches Beispiel dafür, dass sich die Feinstaubmenge reduzieren, sich gleichzeitig die Partikelzahl aber konstant halten kann, ist Erfurt. Alte DDR-Staubquellen aus Industrie und Heizungen wurden durch den Verkehr ersetzt. Die Gesundheitsprobleme nahmen nicht ab, sondern verschoben sich in westliche Muster.

Die Nanowelt hat eigene Gesetze. Sie haben sich bei den Kommunal- und Umweltpolitikern noch nicht herumgesprochen.

Wichmann bekennt sich dazu, als Epidemiologe nur relative Wahrheiten verkünden zu können. Aber er verspricht, in Deutschland seien durch

Wegfiltern von Dieselruß jährlich 17.000 Todesfälle vermeidbar. Er weiß, dass seine Zunft wiederholt zu viel versprochen hat, etwa als man dem Smog, dem sauren Regen oder dem Ozon den Kampf ansagte. Der ging jeweils in die richtige Richtung; er brachte vielen Menschen Erleichterung. Aber nie die erhoffte große Problemlösung. Deshalb ist die Luft heute sauberer – birgt aber immer noch Killer. Erwischt man nun mit dem Dieselruß den größten Schwereöter? Wenn nicht, gilt die Epidemiologie künftig als jene Kunst, die stets die volle Wahrheit verspricht, aber nur das halbe Versprechen hält.

Chronik

Gegen den Staub

Im April 1999 erlässt die EU drei Richtlinien für Luftschadstoffe, darunter Feinstaub

Im September 2002 wird das Bundes-Immissionsschutzgesetz entsprechend geändert

Bis 2005 erarbeiten die Städte Luftreinhaltepläne. Der Anteil der Dieselaautos hat sich in fünf Jahren bei Neuzulassungen verdoppelt, erste Warnungen vor drohenden Grenzwertüberschreitungen

Im Januar 2005 tritt die Feinstaubrichtlinie in Kraft. 50 Mikrogramm pro m³ dürfen nur an 35 Tagen pro Jahr überschritten werden

Von Ende März an melden nach München und Stuttgart weitere Städte in rascher Folge das Überschreiten der Grenzwerte

Mitte April schätzt die WHO die vermeidbaren Todesfälle durch Partikel auf jährlich 17000 in Deutschland

Von 2010 an verschärft sich die Richtlinie für Feinstäube drastisch. Sogar Experten der EU warnen, die neuen Grenzwerte seien trotz strikter Maßnahmen unerfüllbar