

## **In 125 Millionen Partikelfiltern steckt Bieler Know-how drin – weltweit**

*Jan Czerwinski, Professor an der Berner Fachhochschule in Biel und Experte für Motorenabgase, hat zusammen mit seinem Team Messmethoden und Normen für Abgase von Verbrennungsmotoren und die Technologie für deren Reduktion mitentwickelt. Diese sind heute weltweit Standard. So werden 99.9% der Nanopartikel mit dem Partikelfilter zurückgehalten (vgl. Kasten 1).*

### **5'500 vorzeitige Todesfälle pro Jahr**

Gemäss Angaben der Europäischen Umweltagentur verursachen Luftschadstoffe aktuell jährlich ca. 5'500 vorzeitige Todesfälle in der Schweiz.

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hält dazu fest: «Von allen gesundheitlichen Auswirkungen sind jene auf das Herz und das Kreislaufsystem die bedeutendsten. Sie machen 80% der auf die Luftverschmutzung zurückgeführten Todesfälle aus.»<sup>2</sup>

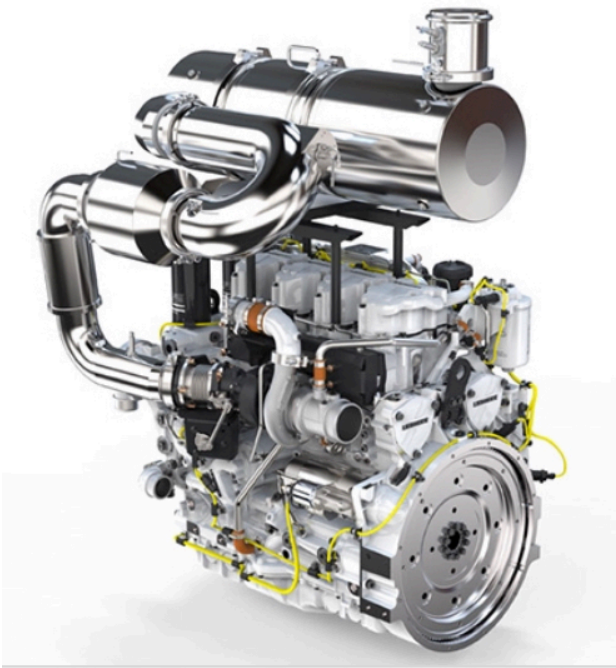
Die Hauptverursacher davon sind die Nanopartikel wie Russ- und Metallpartikel im Abgas von Verbrennungsmotoren. Sie durchdringen die Lungenmembran und treten in den Blutkreislauf und damit in die Organe und Zellen ein. Bei den übrigen 20% der Todesfälle stehen Lungenkrebs und andere Lungenerkrankungen im Vordergrund, die ursächlich auch auf die Wirkung der Feinstpartikel zurückzuführen sind.

### **Fortschritte dank NEAT-Tunnelbau**

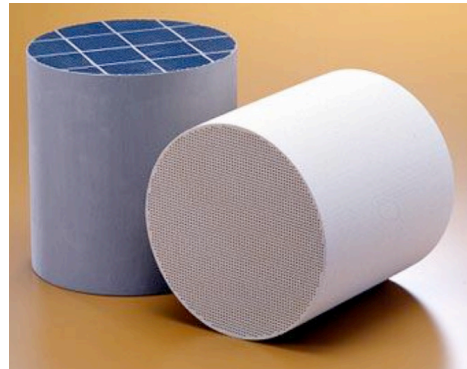
Beim Bau des Neat-Basistunnels musste der geltende Grenzwert der SUVA für die maximal zulässige Konzentration von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für krebserzeugenden Dieselmotoren in der Atemluft unbedingt eingehalten werden. Dazu reichte die maximale Zufuhr von Frischluft bei weitem nicht mehr aus. In der Folge gab die SUVA 1993 einem Projektteam unter der Leitung von Andreas Mayer vom Ingenieurbüro «Technik Thermische Maschinen» TTM den Auftrag, die effizientesten Abgasminderungs-Systeme für die Dieselmotoren der eingesetzten Baumaschinen zu evaluieren und ihre Eignung im Tunnelbau zu testen. In der Testphase von 1994-1998 erwies sich einzig der Partikelfilter für Dieselmotoren als geeignet, die Emission von krebserzeugenden Partikeln bei alten und neuen Motoren um einen Faktor von 100 bis 1000 zu reduzieren. Keine andere Technologie war auch nur annähernd dazu in der Lage. Dies ergaben auch die Messungen von Jan Czerwinski vom Labor für Verbrennungsmotoren und Abgastechnik an der damaligen Ingenieurschule Biel (heute Departement Technik und Informatik der Berner Fachhochschule).

<sup>1</sup> Nanopartikel sind Partikel mit einem Durchmesser zwischen 1 und 1000 Nanometern (nm), wobei  $1000 \text{ nm} = 1 \text{ Mikrometer } (\mu\text{m})$

<sup>2</sup> Felber Dietrich D. «Luftverschmutzung und Gesundheit» BAFU 2014

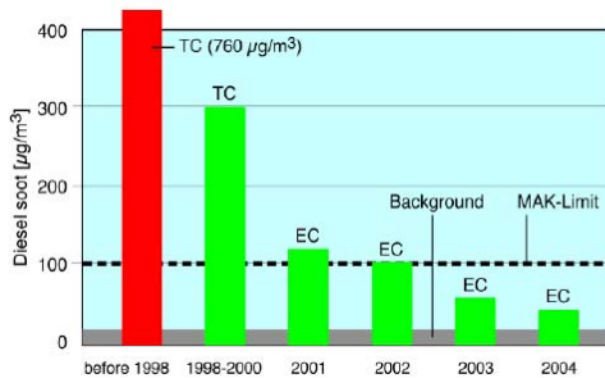


Partikelfilter mit SCR auf einem Baumaschinen-Motor (Quelle: Liebherr, Bulle)

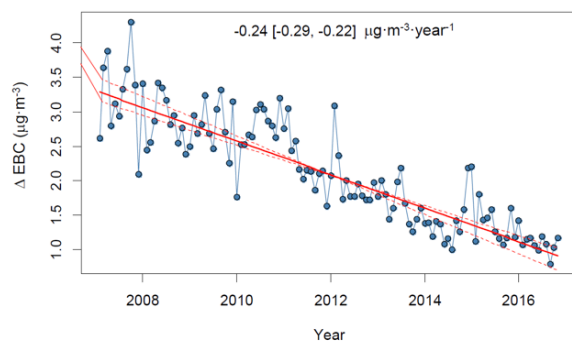


Partikelfilter  
(Ibiden Siliciumcarbid (li), Corning Cordierit (re))

So konnte mit dem Bau des NEAT-Basistunnels am Gotthard 1999 begonnen werden.



Luftqualität in Schweizer Tunnelbaustellen um 95 % verbessert durch Filterobligatorium (Quelle: TTM, Niederrohrdorf)



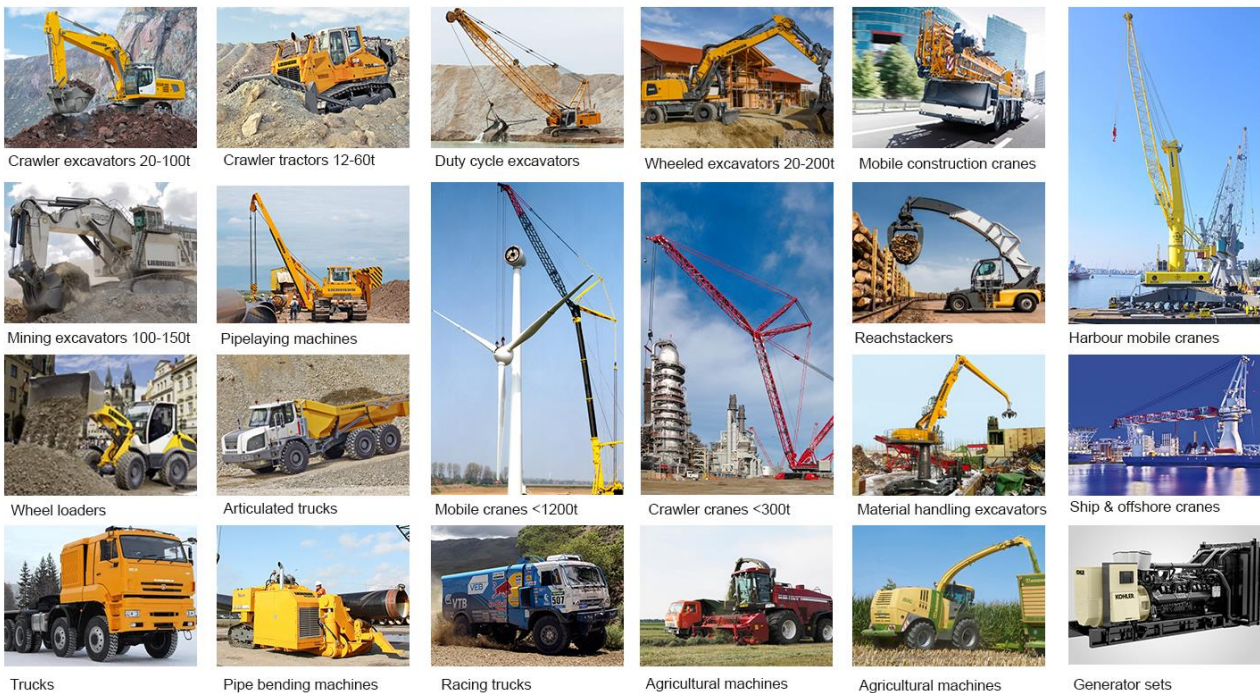
Messungen der Entwicklung von Black Carbon (Russ) an der Autobahn in Härkingen dank Einsatz von Partikelfiltern (Quelle: Christoph Hüglin, EMPA)

Die SUVA hat aufgrund dieser Resultate im Jahr 2000 ein Obligatorium für Partikelfilter im Tunnelbau eingeführt.

Das damalige Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) hat mit dem Erlass der Luftreinhalte-Verordnung LRV 1985 den Kampf gegen die Emissionen von Luftschadstoffen aus Industrie und Gewerbe, aber auch aus dem Strassenverkehr aufgenommen. Kurz darauf hat die Schweiz als einer der ersten Staaten in Europa den 3-Wege-Katalysator für Neuwagen und das Bleifrei-Benzin gesetzlich verankert.

### Gesundheitsgefährdende und krebserzeugende Abgase auch ausserhalb des Strassenverkehrs

Etwa zehn Jahre später zeigte sich, dass die Abgase aus Maschinen mit Verbrennungsmotoren auch abseits der Strassen ("Offroad") in der Schweiz beträchtliche Dimensionen angenommen hatten (vgl. Kasten 2). Deshalb wurden 1998 erstmals auch Bestimmungen zur Emissionsminderung bei Baumaschinen und Arbeitsgeräten mit Benzinmotoren (wie Motorsägen oder Rasenmäher) in die LRV aufgenommen.



### Offroad-Maschinen und -Fahrzeuge auf Baustellen (Quelle Liebherr Bulle)

Ebenso ist nach Einstufung durch die Weltgesundheitsorganisation WHO 1987 sowie der SUVA 1994 Dieselruß 1998 als krebserzeugender Luftschadstoff in die LRV aufgenommen worden.

Die für den Offroad-Bereich verantwortlichen Mitarbeitenden des BUWAL - darunter der Verfasser - stiessen mitten in der Erprobungsphase der Partikelfilter zum Projektteam für die NEAT-Baumaschinen, dem sogenannten VERT-Projekt (VERT: «Verminderung der Emissionen von Realmaschinen im Tunnelbau»). Rasch wurde klar, dass der Partikelfilter - als effizienteste Lösung für den Tunnelbau - auch für Baumaschinen auf Baustellen im Freien die effektivste Methode zur Abgasminderung ist, und zwar für neue wie für bereits in Betrieb befindliche Baumaschinen. Der Physiker Dr. Anton Stettler, Sektionschef für Luftreinhaltung beim BUWAL, hat alles daran gesetzt, dass die Off-

road-Maschinen in der Schweiz mit Diesel-Partikelfiltern ausgerüstet werden. Elektronische Einspritzsysteme und schwefelarmer Diesel erleichterten die Einführung der neuen Technologie. Um die Einführung der Abgasminderung im Offroad-Bereich in der Schweiz zu realisieren, war es unabdingbar, dass ein Abgas-Messlabor im Auftrag des BUWAL umfangreiche Tests und Messungen an Diesel- und Benzinmotoren zur Bestimmung der Effizienz der Abgasnachbehandlung durchführte. Die Methoden dazu mussten teilweise erst entwickelt werden. Mit Jan Czerwinski von der Automobilabteilung und dem Abgaslabor der damaligen Ingenieurschule Biel hatte das VERT-Team einen kompetenten und zielstrebigem Mitstreiter auf seiner Seite. Angesichts der grossen Herausforderungen war die aktive und engagierte Mitwirkung des unabhängigen und erfahrenen Labors für Verbrennungsmotoren und Abgastechnik – die «Abgasprüfstelle Biel/Nidau» ein entscheidender Erfolgsfaktor.

### **Skeptische Autobranche – offene Bieler**

Dies war zu einer Zeit, in welcher die automobiltechnischen Kreise Diskussionen um das Gesundheitsrisiko von Abgasen und die Notwendigkeit der Abgasnachbehandlung eher vermieden. Den Kunden sollte die Freude an der individuellen Mobilität nicht getrübt werden.

Auch etliche Abgas-Messlabors, die zertifiziert sind, um die Emissionen für die Zulassung neuer Fahrzeugtypen und die Zulassung von Einzelimporten zu messen, pflegten in aller Regel ein gutes Verhältnis zu den Fahrzeugherstellern. Ein intensiver Informationsaustausch und auch Aufträge aus der Automobilwirtschaft bildeten die Grundlage dafür. Dass diese Haltung für die Branche schliesslich zu einem massiven wirtschaftlichen Bumerang wurde, zeigte später in aller Klarheit der sogenannte «VW-Skandal».

Die Abgasprüfstelle in Biel indessen zeigte sich offen für die Belange des Umweltschutzes und engagierte sich intensiv für die Entwicklung neuer Technologien zur Eliminierung der Schadstoffe.

### **Von der Partikelmasse zur Partikelzahl**

Die frühere Methode der Messung der Partikelmasse (PM) genügte zur genauen Bestimmung des Partikelanteils in den Abgasen nicht mehr. Mit dem Übergang zur Messung der Partikelzahl (PN) ergab sich eine 1'000 Mal höhere Genauigkeit bei der Bestimmung der Partikel im Abgas (vgl. Kasten 3). Erst so konnte der grosse Nutzen der Partikelfilter bewiesen werden – insbesondere auch im Bezug auf die Nanopartikel, die ins Blut gelangen können. Messlabors, die Aufträge von BUWAL oder SUVA im Rahmen des VERT-Projekts übernehmen wollten, mussten sich daher mit neuen Messsystemen ausrüsten und auch Messverfahren mitgestalten.

### **Abscheidegrad von 99,9% - keine Sekundäremissionen**

Bald nahm das Abgaslabor in Biel unter der Leitung von Jan Czerwinski eine zentrale Rolle bei der Einführung des Partikelfilters in der Schweiz ein. Zuerst ging es darum, eine Eignungs- und Zulassungsprüfung für neue Partikelfilter-Systeme zu entwickeln. Grund dafür war, dass nur Partikelfilter-Systeme zur Anwendung gelangen sollten, die den Standard der "Best Available Technologie" BAT erfüllen. Dies entsprach einer Abscheidung von mindestens 98%. Heute, 20 Jahre später, ist der Standard für die Abscheiderate bei einem Faktor 1000. Damit beträgt der Abscheide- oder Wirkungsgrad

99.9%.

Neue Partikelfiltersysteme müssen auch einen Langzeittest durchlaufen. Die Partikelabscheidung darf mit der Alterung nicht merklich abnehmen.

Schliesslich waren die Systeme auch auf möglicherweise neugebildete «Sekundäremissionen» zu untersuchen. Im chemischen "Reaktor" Partikelfilter musste je nach verwendeten katalytischen Substanzen mit der Bildung neuer chemischer Verbindungen – im Extremfall sogar mit Dioxin - gerechnet werden. Dies muss mit 100%-iger Sicherheit ausgeschlossen werden können. Mit der Prüfung auf solche Sekundäremissionen hat sich Jan Czerwinski zusammen mit Dr. Norbert Heeb und dessen Team der Abteilung Advanced Analytical Technologies der EMPA Dübendorf weltweit einen Namen gemacht. Bis heute haben mehr als 70 neue Partikelfilter-Systeme diese umfangreiche Eignungsprüfung erfolgreich durchlaufen. Entstanden sind daraus weit über 200 wissenschaftliche Arbeiten - gemeinsam mit den Universitäten Bern und Fribourg, der EMPA, der ETH und TTM. Viele dieser Entwicklungs-Projekte konnten nur dank der Unterstützung von Daniel Zürcher, Sektionschef und Verantwortlicher für den Technologiefonds der Abteilung Ökonomie und Innovation des BAFU, realisiert werden.

### **Biologisches Labor in der Abgasprüfstelle**

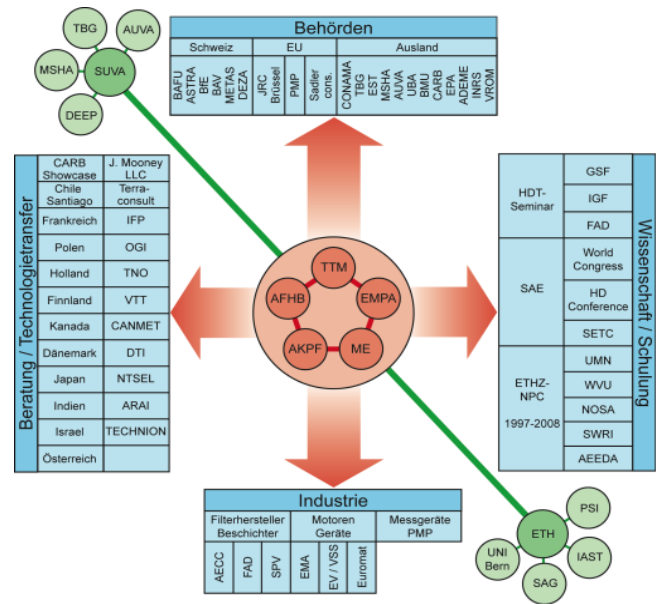
Zu diesem Zweck wurde ein biologisches Labor für Zelltoxikologie direkt neben dem Fahrzeug-Abgasprüfstand im Bieler Labor aufgebaut. Erstmals weltweit hat Dr. Loretta Müller-Urech (heute am Department for BioMedical Research, begleitet von Prof. Dr. Peter Gehr, ex-Direktor des Instituts für Anatomie, beide Universität Bern) die wichtigsten Zellkategorien der Lunge - nämlich Epithelzellen, Makrophagen und dendritische Zellen – in einem speziellen Verfahren, den sog. «Tripelzell-Expositionsmodellen», unterschiedlichen Abgas-Arten und -Konzentrationen direkt hinter dem Auspuff ausgesetzt und so deren Toxizität untersucht.

In Biel war man auch für alle anderen Fragestellungen offen: An eigens dafür eingerichteten Prüfständen wurde die Emissionsminderung bei 2-Takt-Motoren von Motorsägen und Motorrollern und die Eignung des 100 Mal weniger schädlichen Gerätebenzins (ohne krebserzeugendes Benzol) für diese Geräte untersucht. Die Qualitätsanforderungen für das „Gerätebenzin“ wurden damals in der Schweizer Norm SN 181161 festgeschrieben – eine der zahlreichen Pionierleistungen der Schweiz auf diesem Sektor. Heute ist das genormte Gerätebenzin Standard für handgeführte Geräte mit Benzinmotoren.

### **Nachhaltiger Erfolg dank unkomplizierter Kooperation**

Die Zusammenarbeit des VERT-Projektteams und von BUWAL/SUVA mit dem Abgaslabor von Jan Czerwinski war optimal und geschah sozusagen auf Zuruf, ohne dass man kostbare Zeit verlor. Ohne diese unkomplizierte Zusammenarbeit im Nanopartikelnetzwerk wäre die Einführung des Partikelfilters in so kurzer Zeit in der Schweiz nicht möglich gewesen und vermutlich hätte dann die Einführung der Partikelfiltertechnologie als weltweiter Standard der Abgasnachbehandlung bei modernen Fahrzeugen aufgrund der fehlenden Bündelung der Kräfte gar nicht erfolgen - oder dann erst viel später - können.





Prof. Dr. Jan Czerwinski beim Referieren über die Struktur des VERT-Projektteams mit allen beteiligten Stellen (Foto von Anja Horisberger)

Aufgrund der grossen Erfolge der neuen Technologie im NEAT-Tunnel hat die SUVA im Jahr 2000 ein Obligatorium für Partikelfilter untertage eingeführt. Das BUWAL hat 2002 eine Richtlinie für Partikelfilter auf Baumaschinen übertage erlassen. Das entsprechende Obligatorium in der Luftreinhalteverordnung LRV gilt seit 2009. Die Technologie wurde rasch auch bei den Bussen des ÖV nachgerüstet und die nach der Jahrtausendwende in Mode gekommenen Autos mit Dieselmotoren wurden von den umweltbewussten Schweizern bereits vor dem Obligatorium bis gegen 90% freiwillig mit Partikelfiltern geordert.

Peugeot hat den ersten PKW mit Partikelfilter – den „605 FAP“ (filtre à particules), ermutigt durch die positiven Erfahrungen der Schweiz - ab 2000 in Serie geliefert (der Chefentwickler von Peugeot, Chief Engineer Dr. G. Belot des PSA-Konzerns, hat dies dem Autor persönlich bestätigt). Ab 1997 startete das neue Management von Peugeot eine umfassende Erneuerung ihrer Dieselmotoren. Dies umfasste Hochdruck-Einspritzung, Common-Rail-Einspritzung, elektronisches Motormanagement und Diesel-Partikelfilter. Peugeot hat den Entscheid für Dieselpartikelfilter gefällt, obwohl dafür noch keine gesetzliche Notwendigkeit bestanden hat. PSA hatte verstanden, dass die europäischen Kunden umweltfreundliche Fahrzeuge wünschen. Als der Erfolg der Diesel-Partikelfilter auf dem Schweizer Testmarkt unübersehbar war, mussten Schritt um Schritt alle Automobilhersteller solche Modelle anbieten.

## Nanopartikel-Netzwerk

Seit 1997 wird an der ETH Zürich jährlich die «Nanopartikel-Konferenz» abgehalten, dieses Jahr bereits zum 23. Mal und mit 380 Teilnehmenden und 48 Referenten aus 34 Ländern. Dem Leitungsgremium gehört auch Jan Czerwinski an, der über ausgezeichnete internationale Kontakte zu Wissenschaftlern des Nanopartikel-Netzwerks verfügt.

Einerseits wurde mit dieser Konferenz das Wissen um die gesundheitlichen Risiken und die neuen Messmethoden für Nanopartikel vertieft und andererseits wurde die Technologie der durch die

Abgasprüfstelle der Berner Fachhochschule in Biel geprüften Partikelfilter weltweit verbreitet.

Dass die Nanopartikel aus Verbrennungsmotoren ein viel grösseres Problem darstellen als anfänglich angenommen wurde - dass sie das dringendste Problem der lokalen Luftreinhaltung überhaupt sind - zeigen folgende Sachverhalte:

### **Erwiesenermassen krebserregend und Herz-Kreislauf-schädigend**

Von den Tausenden vorzeitiger Todesfälle durch Luftverschmutzung pro Jahr in der Schweiz werden etwa 20% durch Erkrankungen der Lunge wie Lungenkrebs, chronische obstruktive Bronchitis (Chronic Obstructive Pulmonary Disease COPD), Asthma und ähnliche Erkrankungen verursacht.

Die Internationale Agentur für Krebsforschung IARC der Weltgesundheitsorganisation WHO hat am 12.6.2012 die Neueinstufung von Dieselabgas in die Gruppe 1 («erwiesenermassen krebserregend für Menschen») bekanntgegeben. Inzwischen wissen wir, dass auch Alzheimer, Parkinson und Diabetes davon ausgelöst oder verstärkt werden können.

Das Bundesamt für Umwelt (heute BAFU) hat bekannt gegeben, dass 80% der Todesfälle durch Luftschadstoffe die Folge von Herzinfarkten und Hirnschlägen sind und insbesondere durch Partikel ausgelöst werden und betont: "Besonders gefährlich ist der Feinstaub, weil er tief in die Lunge eindringt und dort Entzündungen auslösen kann. Die Folgen dieser Entzündungen sind im ganzen Körper zu finden, so gibt es vermehrt Ablagerungen in den Arterien, was das Risiko für Herzinfarkte steigt.»<sup>2</sup>

Damit sind wir bei den Nanopartikeln aus Verbrennungsmotoren als Hauptverursacher angelangt. Ihr Durchmesser beträgt weniger als 100 Nanometer (nm). Nur solche und kleinere Nanopartikel sind in der Lage, die Lungenmembrane zu durchdringen und in den Blutkreislauf einzudringen - was dazu führt, dass einerseits die Zähflüssigkeit (Viskosität) des Blutes erhöht wird und damit die Neigung zur verstärkten Blutgerinnung (Blutgerinnsel, Thromben, Thromboembolien u.a.) ansteigt. Andererseits können Ablagerungen und damit Verengungen in den Blutgefässen gebildet werden. Kann das Blut nicht ungehindert zirkulieren, werden Herz und Gehirn nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Sowohl die Erhöhung der Zähflüssigkeit des Blutes als auch Gefässverengungen können das Risiko für Herzinfarkte und Hirnschläge erhöhen. Dies alles spricht für die Nanopartikel als Hauptverursacher der vorzeitigen Todesfälle durch Luftschadstoffe.

### **Schweizer Standard wird weltweit übernommen**

Die Europäische Union EU hat sich vom Wissen und den Erfahrungen, die in der Schweiz erarbeitet worden sind, überzeugen lassen. Sie hat die Partikelanzahl-Messung 2007 als Standard eingeführt. Wesentlich dafür war das Engagement des Physikers Dr. Markus Kasper (heute Technology Transfer Officer an der EMPA Dübendorf). Damals hat er als CEO von «Matter Engineering» das Messgerät «Nanomet» produziert, welches für den weltumspannenden Ringversuch zur Einführung von Partikelanzahl-Messgeräten in Abgas-Messlabors entscheidend wurde. Das Schweizer Engagement hat damit dazu geführt, dass bis heute weltweit hochgerechnet ca. 125 Mio. Partikelfilter auf der ganzen Welt zur Abgasnachbehandlung bei Verbrennungsmotoren eingebaut worden sind. Auch China und Korea haben die Vorschriften übernommen. Indien wird ab Januar 2020, Kolumbien ab 2023, diese Grenzwerte einführen (vgl. Kasten 4).

Dieser Durchbruch wurde massgeblich durch die Aktivitäten des VERT-Projektteams und des Nanopartikel-Netzwerkes möglich. Eine Schlüsselrolle kommt dabei Jan Czerwinski und seinem Team des

Labors für Verbrennungsmotoren und Abgastechnik der FH Biel zu. Auch Dipl. Ing. Dr. med. h.c. Andreas Mayer, der national und international der unbestrittene Verantwortliche für die Einführung des Partikelfilters ist, betont, dass die Verdienste von Jan Czerwinski an der FH Biel nicht hoch genug eingeschätzt werden können.

An dieser Stelle sei ein grosser Dank an Fredy Sidler, den früheren Rektor der FH Biel, gerichtet. Ohne seine wertvollen Beiträge wäre dieser Artikel nicht zustande gekommen.

### Kasten 1

#### **Prof. Dipl. Ing. Dr. Jan Czerwinski**

Zur Jubiläums-Feier hat Prof. Dipl. Ing. Dr. Jan Czerwinski am 13. Juni 2019 einen kleinen Kreis von befreundeten Fachleuten an die Berner Fachhochschule in Biel geladen, um mit ihnen das 40-jährige Bestehen des Labors für Verbrennungsmotoren und Abgastechnik, der sog. «Abgasprüfstelle», zu feiern. Dieses Ereignis verdient, ausführlicher gewürdigt zu werden, da Prof. Czerwinski mit seinem Team national wie auch international grosse Anerkennung für seine bedeutenden Beiträge für die Einführung des Partikelfilters zur Abscheidung der gesundheitsschädigenden Nanopartikel aus dem Motorenabgas und weiterer Technologien erhalten hat.

Jan Czerwinski ist in der polnischen Stadt Krakau aufgewachsen und hat dort Maschinenbau studiert, bevor er an der Technischen Universität Wien das Diplom als Maschinenbau-Ingenieur erwarb und am Institut für Verbrennungsmotoren zum Doktor promovierte. 1989 wechselte er als Dozent und Forscher an die Ingenieurschule Biel. Nach 30 Jahren als Professor an der Abteilung Automobiltechnik und Leiter des Abgas-Prüflabors hat die Stabsübergabe an seinen Nachfolger Prof. Danilo Engelmann stattgefunden.

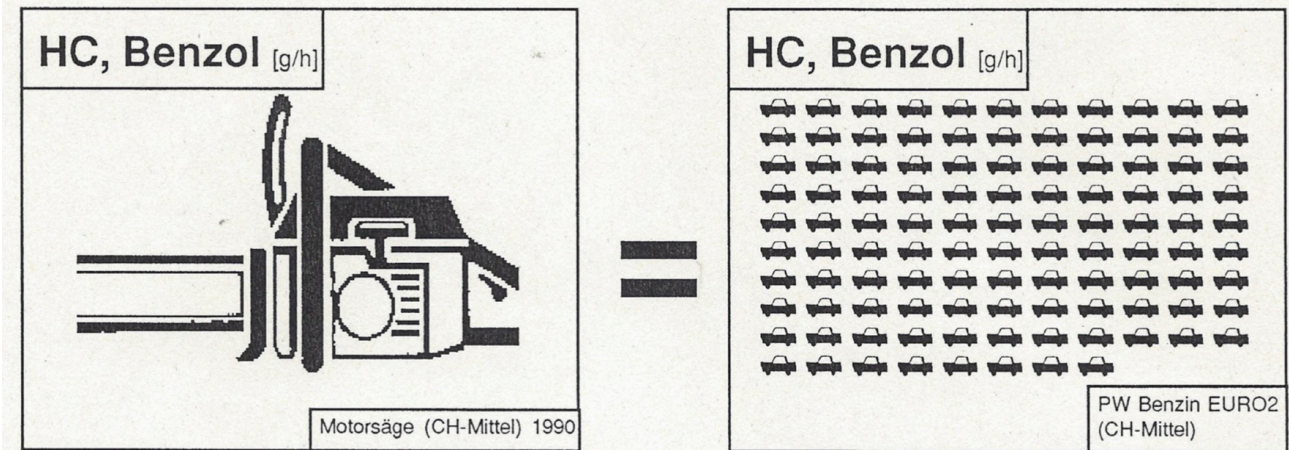
Das Labor für Verbrennungsmotoren und Abgastechnik ist 1979 vom sich damals für das Thema engagierenden Prof. Paul Wittwer als «Umweltlabor für die Automobilabteilung» am Hauptsitz der ISB in Biel eröffnet worden. 1985 bezog die Abgasprüfstelle das neue Gebäude in Nidau, welches bereits 1990 um eine 2. Halle erweitert worden ist.

### Kasten 2:

#### **Die hohen Abgasemissionen der Offroad-Maschinen**

Diese Emissionen stammen von den Dieselmotoren von Baumaschinen, Lokomotiven und Schiffen u.a. Aber auch die Benzinmotoren der kleinen Arbeitsgeräte wie Motorsägen und Rasenmäher - insbesondere 2-Takter - stossen grosse Mengen schädlicher Abgase aus (die Konzentration des krebserzeugenden Benzols im Abgas einer Motorsäge war mehr als 100 Mal höher als im Abgas eines PKW mit 3-W-Katalysator; vgl. Bild unten). Dies war umso stossender, als es für solche Maschinen damals – im Gegensatz zu Strassenfahrzeugen - gar keine Grenzwerte gab. Aus diesem Grund wurden in die Neuauflage der LRV von 1998 unter Ziffer 87 und 88 formell auch die Ziele aufgenommen, dass künftig insbesondere die besonders gesundheitsgefährdenden Emissionen von Baumaschinen und kleinen Arbeitsgeräten, wie Motorsägen und Laubbläsern, reduziert werden müssen. Dies sowohl durch Massnahmen bei den Motoren als auch bei den Treibstoffen.





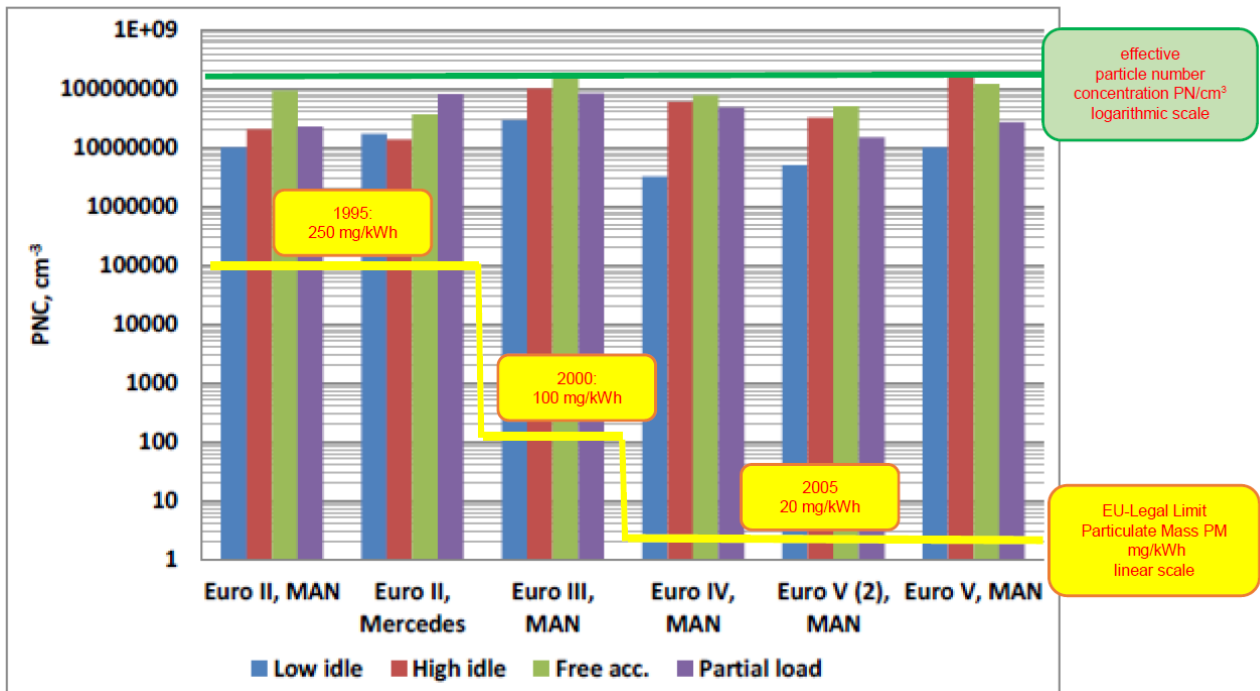
**Benzolkonzentration im Abgas Vergleich Motorsäge – PKW (Quelle BUWAL 1998)**

### Kasten 3

#### **Die Partikelzählung ist 1000 Mal genauer als die Messung des Partikelgewichtes**

Vor der LRV1998 wurden die Partikelemissionen aufgrund der Partikelmasse (PM) in [g/km] oder für Nutzfahrzeuge [g/kWh] bestimmt. Mit der Messung der Partikelanzahl (PN) in [PN/cm<sup>3</sup>] oder [PN/km] resp. [PN/kWh] im Grössenbereich der Lungengängigkeit < 500 nm konnte die hohe Wirksamkeit des Partikelfilters nachgewiesen werden. Die Messungen an LKW haben gezeigt, dass die Partikelmasse von 250 mg/kWh 1996 (Euro II) innert 12 Jahren um mehr als das Zehnfache auf 20 mg/kWh (Euro V, 2008) gesenkt worden ist. Die Messung der Partikelanzahl ergab jedoch ein ganz anderes Bild: von Euro II bis Euro V wurde im Mittel durchgehend derselbe Mittelwert von ca. 10 Mio. Partikel/cm<sup>3</sup> (Sättigungsgrenze) gemessen (vgl. Bild unten). Die Methode der Anzahlmessung ist gegenüber der Messung der Masse 1'000 Mal empfindlicher und hat gezeigt, dass die motorinternen Massnahmen einzig dazu geführt haben, dass die Grösse der Russpartikel drastisch abgenommen hat - ihre Anzahl ist mit ca. 10 Mio. Partikel/cm<sup>3</sup> Abgas jedoch immer etwa in derselben Grössenordnung geblieben. Kleine Partikel weisen ein grösseres Gesundheitsrisiko auf, weil sie die Lungen- und Zellmembranen leichter durchdringen können. Somit hatte die früher als einzige Methode etablierte Masse-Messung zu einer Entwicklung im Motorenbau ohne Partikelfilter geführt hat, welche - nach dem heutigen Stand des Wissens - eigentlich als "misleading" bezeichnet werden muss.

## Anzahl-Messung versus Masse-Messung für Partikel



(Quelle: Tartakowski Technion, Haifa)

### Kasten 4

#### Grenzwerte nach der Partikelanzahl führen in der EU zum Partikelfilter

Diese neue Messtechnik und die positiven Erfahrungen mit dem Partikelfilter - offroad und onroad - im Testmarkt Schweiz haben die EU schliesslich dazu veranlasst, solche Grenzwerte - basierend auf der Partikel-Anzahl - einzuführen, die nur mit Partikelfiltern eingehalten werden können.

Diese gelten in der gesamten EU - und auch in der Schweiz - für alle neuen Diesel-PKW und leichten Diesel-Nutzfahrzeuge seit 2013 (Euro 5b). Für LKW sind sie seit 2014 in Kraft (Euro VI). Für Benzin-PKW und leichte Benzin-Nutzfahrzeuge mit Direkteinspritzung gelten sie seit 2015/16 (Euro 6b). Für den Offroad-Bereich hat die EU ebenfalls die neuen Anzahlgrenzwerte der LRV von der Schweiz übernommen, die für neue Baumaschinen und alle anderen neuen Maschinen und Offroad-Fahrzeuge mit Dieselmotoren ab 2017 auch Partikelfilter verlangen.

\* Max Wyser hat das Studium an der Automobilabteilung der Fachhochschule Biel absolviert, auf Partikelfilter diplomiert und Partikelfilter untersucht. Für die Firma +GF+ Schaffhausen hat er die Literaturstudie „Stand der Technik und Gesetze zu Partikelfiltern weltweit“ verfasst. Leider bestand 1987 nirgends der politische Wille zur Einführung des Partikelfilters, obwohl schon damals die kanzerogene Wirkung des Dieselmotors im Raum stand. Erst mit der Erprobung von Partikelfiltern zum Bau der NEAT war auch die Motorentechnologie bereit für den Partikelfilter. Der Autor hat sich auf gesundheitsgefährdende Emissionen spezialisiert und war beim Bundesamt für Umwelt BUWAL zuständig für die Einführung des Partikelfilters bei Baumaschinen in der Schweiz, nachdem er die Abteilung Luftreinhaltung des BUWAL davon überzeugen konnte, dass mit dem VERT-Projekt für die NEAT der Nachweis erbracht worden ist, dass Partikelfilter für Dieselmotoren Stand der Technik seien, die "Best Available Technology" BAT darstellen und somit unbedingt auch auf Baustellen an der Oberfläche bei neuen und älteren Maschinen einzusetzen sind. Weil Dieselmotoren krebserzeugend sind, müssen gemäss LRV nicht nur vorsorgliche sondern verschärfte Emissionsbegrenzungen umgesetzt werden.