



KARL HEINZ  
BECKURTS-  
STIFTUNG

am 1. Dezember 2014  
Verleihung des  
Karl Heinz Beckurts-Preises 2014



**Prof. Dr. Andreas Marx**

erhält den Karl Heinz Beckurts-Preis 2014 für seine herausragenden Beiträge im Bereich der chemischen Biologie der DNA-Polymerasen. Diese Enzyme sorgen dafür, dass bei einer Zellteilung das Erbmateriale vervielfältigt wird: Die Polymerasen erstellen Kopien der ursprünglichen DNA. Diese können anschließend auf die Tochterzellen verteilt werden.

Andreas Marx hat mit seiner Forschung den Grundstein dafür gelegt, dass DNA-Polymerasen gezielt verändert werden können. Dazu ahmt Marx im Labor die Evolution nach: Mit seinem Team hat er Verfahren entwickelt, mit denen sich Polymerasen im Hochdurchsatz auf Veränderungen durchmustern lassen, die sie für bestimmte Anwendungen – etwa für die Frühdiagnose von Krebs – besonders geeignet machen.

## Marcel Huber

*Es gilt das gesprochene Wort.*



*Sehr geehrte Frau Prof. Kaysser-Pyzalla,  
sehr geehrter Herr Prof. Ullrich,  
sehr geehrte Damen und Herren,*

- Wir alle haben ein **gemeinsames Ziel**: Zusammenarbeit von **Wissenschaft und Wirtschaft** fördern;
- „Innovation Days“ hervorragender Ansatz;
- dazu gehört **Verleihung des Karl-Heinz-Beckurts-Preises**.
- Wir ehren heute **Spitzenforscher Prof. Marx**;
- tun das im Namen eines großen **Vorbilds: Karl-Heinz Beckurts**;
- hat **Symbiose von Wissenschaft und Wirtschaft verkörpert**;
- hat dem Forschungsstandort Deutschland ein Gesicht gegeben;
- wurde **Opfer heimtückischer Mörder**, einer verblendeten und verbrecherischen Ideologie;
- Karl-Heinz-Beckurts-Preis ist **starkes Signal für den Geist der Freiheit, für Forschung und Wohlstand**.
- Wohlstand sichern heißt, immer einen Schritt besser und innovativer sein als die anderen;
- gerade in einer älter werdenden Gesellschaft gilt: Innovation kein Selbstzweck, sondern Grundlage für soziale Sicherheit und Lebensqualität von morgen;
- jede Generation und jeder Einzelne muss sich fragen: Wovon werden wir morgen leben? **Was müssen wir tun, um weiterhin zu den Besten in der Welt zu gehören?**
- Satz des Tesla-Gründers Elon Musk:
- „*Man sollte so schnell mit Innovationen sein, dass man seine früheren Patente selbst entwertet*“;
- **müssen schneller und innovativer werden**;
- Staatsregierung will gemeinsam mit der bayerischen Wirtschaft Anteil der Ausgaben für **Forschung und Entwicklung** auf 3,6 Prozent des BIP steigern;
- nur so sichern wir Wohlstand für unsere Kinder und Enkel.
- **Bildung** ist Nährboden für **Innovationen**;
- Staatsregierung verwendet mehr als ein Drittel des Gesamthaushalts für Bildung;
- 2015/2016 noch einmal **zusätzlich 1,4 Mrd. Euro** für Bildung und Wissenschaft;
- kein anderes Land kann mithalten!
- Qualität von **Forschung und Lehre** ist Magnet für Studenten und Spitzenforscher aus aller Welt;
- von 2005 bis 2013 **Plus von 64 Prozent** bei den **Erstsemestern in MINT-Fächern** erreicht;
- brauchen die besten Wissenschaftler und die besten Ingenieure. Das ist unsere Zukunft!
- Haben gute Startposition: **Unternehmer ist in Bayern Vorbild, nicht Feindbild**;
- Geist der **Sozialen Marktwirtschaft** lebt von Verantwortlichkeit des Einzelnen;
- dafür steht der Name **Karl-Heinz Beckurts**;
- war Visionär und Macher;
- großes **Vorbild für Wissenschaftler und Unternehmer** heute.
- Können aus seinem Pioniergeist lernen;
- er würde der jungen Generation jetzt zurufen: **Bleibt hungrig! Verlasst die ausgetretenen Pfade und hinterlasst eigene Spuren!**
- Diese positive Haltung brauchen wir!

Sehr geehrter Herr Prof. Marx,

- Sie handeln im Geist von Karl-Heinz Beckurts;
- Sie denken und arbeiten interdisziplinär;
- Sie sind „Drittmittelkönig“ und Unternehmer;
- wir brauchen Vordenker und Macher wie Sie!
- wünsche Ihnen alles Gute, weiterhin viel Erfolg und gute Ideen!

Meine Damen und Herren,

- lassen Sie uns gemeinsam arbeiten für einen **starken Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Bayern**, für soziale Sicherheit und Wohlstand;
- lassen Sie uns eine **gute Zukunft** gestalten für die Menschen hier in **Bayern und ganz Deutschland!**



**Marcel Huber**

---

Grußwort des Leiters der Bayerischen Staatskanzlei,  
Staatsminister für Bundesangelegenheiten und Sonder-  
aufgaben

## Anke Kaysser-Pyzalla



*Sehr geehrter Herr Staatsminister,*

*herzlichen Dank für Ihre Grußworte, wir freuen uns sehr, dass Sie heute hier sein können.*

*Es freut mich sehr, dass Frau Beckurts, Herr Prof. Beckurts und Frau Beckurts-Othmer bei uns sind, guten Abend.*

*Begrüßen möchte ich auch die Präsidenten der großen deutschen Forschungsinstitutionen, Herrn Professor Mlynek, Herrn Professor Stratmann und Herrn Professor Bullinger.*

*Ebenfalls begrüßen möchte ich Herrn Professor Hänsch.*

*Sehr geehrte Damen und Herren,*

willkommen zur diesjährigen Verleihung des Karl Heinz Beckurts-Preises. Der Karl Heinz Beckurts-Preis wird im jährlichen Wechsel in München oder Berlin verliehen. In München ist es fast schon Tradition, dass die Preisverleihung in diesen prächtigen Räumen der Residenz stattfindet. Im Namen der Karl Heinz Beckurts-Stiftung möchte ich mich hierfür herzlich bedanken, bei der Bayerischen Staatsregierung und bei Ihnen, Herrn Staatsminister.

Der heutige Abend gilt dem Gedenken an Herrn Karl Heinz Beckurts und seinem zukunftsgerichteten Wirken und der Ehrung des diesjährigen Beckurts-Preisträgers Herrn Marx. - Herr Marx seien Sie und ihre Familie an dieser Stelle herzlich begrüßt, ebenso wie Herr Professor Rüdiger und Herr Apitz als Rektor und Kanzler Ihrer Universität Konstanz.

Die Karl Heinz Beckurts-Stiftung wurde 1987 von der Helmholtz-Gemeinschaft zur Erinnerung an Herrn Prof. Karl Heinz Beckurts gegründet. Er war Wissenschaftler, Wissenschaftsmanager an der damaligen KFA Jülich, dann Manager bei Siemens. Herr Beckurts wurde am 9. Juli 1986 von der RAF ermordet. Karl Heinz Beckurts stand für die Partnerschaft zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Er setzte sich besonders für die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in der Wirtschaft ein. Zu seinem Gedenken prämiieren wir daher jährlich herausragende wissenschaftliche Leistungen, die zu Innovationen und wirtschaftlichen Anwendungen führen. Seit 2012 wird der Karl Heinz Beckurts-Preis im Rahmen der Innovation Days verliehen. In diesem Jahr ausgerichtet durch die Max-Planck-Gesellschaft.

An dieser Stelle möchte ich Sie auch auf ein weiteres Ergebnis der Stiftungsarbeit hinweisen. Die Ergebnisse des Symposiums zum Thema „Wissenschaftsinnovationen im Wandel“ liegen als Buch mit dem Titel „Wie kommt das Neue in Technik und Medizin?“ vor. Herr Prof. Popp, Mitglied des Vorstandes der KHB-Stiftung hat dieses Buch zusammengestellt, vielen Dank dafür. Sie finden die Bücher am Eingang des Saales.

Die Auswahlkomitees der Karl Heinz Beckurts-Stiftung haben es sich auch dieses Jahr mit der Preisträgerauswahl nicht leicht gemacht. An dieser Stelle ein großes Dankeschön an alle Nominierenden, an die Mitglieder des Vorauswahlkomitees und des Kuratoriums und natürlich an die vielen Gutachtenden. Sie alle haben sich für uns Zeit genommen. Mit ihrer Expertise tragen Sie zu einer qualitativ hochwertigen Entscheidung im Sinne des Stiftungsauftrages bei. Wie zukunftsorientiert die Stiftungsgremien sind, hat sich in diesem Jahr gezeigt. Herr Prof. Stefan Hell, der Karl Heinz Beckurts-Preisträger des Jahres 2002, erhielt den Nobelpreis. Großen Anteil an der Moderation des diesjährigen Auswahlprozesses hatte Herr Prof. Bachem als scheidender Vorstandsvorsitzender der Karl Heinz Beckurts-Stiftung, dafür herzlichen Dank.

Unser diesjähriger Preisträger, Andreas Marx von der Universität Konstanz, arbeitet zur chemischen Biologie der DNA-Polymerasen. Er arbeitet interdisziplinär und verbindet Fächer wie Chemie, Biologie, und Biotechnologie. Seine Forschung leistet einen Beitrag dazu, größere Sicherheit bei der Diagnose, Therapie und Prognose von Krankheiten zu gewinnen. Therapien werden dadurch zielgenauer. Damit steigt die Lebensqualität der Erkrankten, Kosten und Leid durch ungenaue Diagnosen werden zunehmend vermieden.

Herr Prof. Ulrich Hübscher von der Universität Zürich wird in seiner Laudatio Herrn Marx als Person vorstellen. Im Anschluss wird Herr Marx selbst die spannenden Details seiner Forschung erläutern.

Die Verleihung des Karl Heinz Beckurts-Preises ist immer auch ein Anlass sich mit den Themen Forschung, Technologie und Innovation auseinander zu setzen. Ich freue mich daher sehr, dass wir Prof. Dr. Joachim Ullrich, Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, für den nun folgenden Festvortrag „Metrologie für Forschung, Technologie und Innovation“ gewinnen konnten. Im Anschluss an den Vortrag werden wir das eigens hierfür komponierte Stück "Metrology" von Herrn Mark Pusker hören.

In diesem Sinne danke ich Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit und wünsche uns allen eine anregende und gelungene Veranstaltung.



**Anke Kaysser-Pyzalla**

---

Begrüßungsansprache der Vorstandsvorsitzenden der Karl Heinz Beckurts-Stiftung

## Joachim H. Ullrich



### „Metrologie für Forschung, Technologie und Innovation“

*Sehr geehrte Festversammlung,  
meine Damen und Herren,*

es ist mir eine große Ehre und eine große Freude, hier und heute über Metrologie sprechen zu dürfen. Ich spreche also über die Wissenschaft vom richtigen Messen. Eine Messung heißt dann richtig, wenn die Messung zurückgeführt ist auf so genannte Normale. Das vielleicht bekannteste dieser Normale ist der internationale Masseprototyp, das Urkilogramm – ein Stück Metall in einem Pariser Tresor. Dort wird es seit 1889 sicher aufbewahrt. Einmal pro Jahr übrigens schaut eine offizielle Delegation nach, ob mit dem Urkilogramm in diesem Tresor noch alles in Ordnung ist.

Dieses „in Ordnung sein“ ist tatsächlich enorm wichtig, hängt doch an diesem kleinen Objekt der Teil der gesamten weltweiten Wirtschaft, der mit Messen und Wägen zu tun hat. Allein in Deutschland sprechen wir in diesem Zusammenhang von rund 200 Millionen Waagen und Messgeräten. Betrachtet man alle Waagen weltweit, so führt nicht zuletzt die Tatsache eines Marktanteils der deutschen Waagenindustrie von 21 % dazu, dass dieses Massestück speziell auch für Deutschland eine besondere Rolle spielt.

Generell sorgt die Rückführung auf allgemein akzeptierte Normale dafür, dass Messergebnisse international vergleichbar werden. Und das trifft nicht nur auf die Masse zu, sondern auf alle Messgrößen, etwa auf die Länge, die Kraft, die elektrische Spannung und so weiter. Einige

Beispiele dazu werde ich gleich anführen. Um weltweit eine einheitliche Basis des Messens zu bekommen, um also eine gemeinsame Sprache des Messens zu sprechen, gibt es die weltumspannende Gemeinschaft der nationalen Metrologieinstitute. In Deutschland hat diese Rolle die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) an ihren beiden Standorten in Braunschweig und Berlin inne. Die PTB wurde vor 128 Jahren als Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) in Berlin gegründet. Ihre Gründungsväter waren Werner von Siemens – heute würde man sagen: als Großsponsor – und Hermann von Helmholtz als der erste Präsident der Reichsanstalt. Beiden zusammen ist die Gründung dieses ersten Metrologieinstituts weltweit zu verdanken. Zugleich war die Reichsanstalt sozusagen das erste Großforschungszentrum in Deutschland. Werner von Siemens als Großindustrieller und Helmholtz als einer der prominentesten Wissenschaftler der damaligen Zeit spannen beide das Feld auf, das die PTB noch heute prägt: Ein Feld, auf dem sowohl die Neugier der Wissenschaft als auch der technologische Innovationsdrang der Wirtschaft beheimatet sind. Und so betreibt die PTB Wissenschaft nicht allein um der Wissenschaft willen, sondern mit einer klaren Zielsetzung für etwas, nämlich für die Wirtschaft und für die Gesellschaft. Dieses Spannungsfeld möchte ich Ihnen etwas näherbringen. Zunächst aber noch ein paar grundsätzliche Worte zur Metrologie.

Die Metrologie ist international. Und dies seit 1875, als ein Staatenvertrag geschlossen wurde, um die gemeinsame Grundlage des Messens zu besiegeln: die internationale Meterkonvention. Deutschland ist hier seit Anfang an dabei und gehört heute zu den allerersten Adressen in der Welt der Metrologie. Inzwischen sind rund 100 Staaten Teil der Meterkonvention. Praktisch jeder Staat mit einer funktionierenden Wirtschaft ist Mitglied und unterhält entsprechend auch ein Metrologieinstitut. Zusammen genommen repräsentieren die Mitgliedsstaaten der Meterkonvention 98 % der Weltwirtschaft. Ein freier, globaler Handel, also auch ein Handel ohne technische Hemmnisse, braucht diese Kooperation, die in der Meterkonvention verbrieft ist. Die Metrologieinstitute tragen damit entscheidend zu einer funktionierenden Infrastruktur für die Wissenschaft und die Wirtschaft bei.

Die messtechnische Grundlage bildet das Internationale Einheitensystem (Le système international d'unités, SI), auf das sich alle Staaten der Meterkonvention geeinigt haben und in dem sieben Basiseinheiten definiert sind, neben dem Kilogramm sind dies die Sekunde, der Meter, das Ampere, die Candela, das Kelvin und das Mol.

In diesem Einheitensystem steht nun eine fundamentale Änderung bevor. Ich hatte Ihnen ja von dem Urkilogrammstück in Paris berichtet. Dieses Urkilogramm wurde in über einhundert Jahren erst dreimal mit offiziellen Kopien und mit nationalen Kopien verglichen. Und hier zeigt sich ein besorgniserregendes Ergebnis: Die Massen schwanken, und tendenziell scheint das Urkilogrammstück relativ zu den anderen etwas leichter zu werden. Auf diesem schwankenden Grund stehen damit alle Massebestimmungen, d.h. alle weltweiten Wägungen. Noch gibt es keine echten wirtschaftlichen Auswirkungen, aber ein wirklich guter Zustand ist das alles nicht. Und sollte das Urkilogrammstück einmal beschädigt oder verloren gehen, hätte die Welt ein echtes Problem.

Dieses hier geschilderte Problem ist nicht allein auf das Kilogramm beschränkt. Auch einige der anderen Basiseinheiten müssen noch mit ungenügenden Definitionen auskommen. Daher hat sich die metrologische Community vorgenommen, eine Neudefinition all der Basiseinheiten vorzunehmen. Das Ziel ist, alle Einheiten auf Naturkonstanten (auf „definierende Konstanten“) zurückzuführen. Was sich allerdings so leicht in einem Satz schreiben lässt, ist eine Aufgabe, die eine große Herausforderung darstellt. Einen Eindruck von dieser Aufgabe werde ich Ihnen gleich vermitteln. Zunächst aber ein Blick in die Vergangenheit.

Die Grundidee, Konstanten in der Natur für die Definition unserer Maßeinheiten zu verwenden, ist eine sehr alte Idee. Max Planck, einer der Ur-Väter der Quantenmechanik, hat sie als erster sehr klar in einer berühmten Arbeit aus dem Jahr 1900 formuliert. Der Theoretiker Planck war Kurator unserer Vorgängerorganisation, der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR), und er war zugleich sehr eng mit den Experimentatoren der PTR verbunden. An der PTR wurde damals extrem genau die Strahlung eines Schwarzen Körpers gemessen. Und diese Messergebnisse passten einfach nicht zu dem, was die bis dahin akzeptierte Theorie vorhersagte. Die Experimentatoren wendeten sich an Planck, der, so geht die Geschichte, quasi über Nacht das Problem mit einem Geniestreich beseitigte (einen Geniestreich, den Planck selbst einen „Akt der Verzweigung“ nannte), indem er in die Theorie der Strahlung des Schwarzen Körpers eine Größe einführte, die später nach ihm benannt wurde: die Planck-Konstante. Von diesem Augenblick an war die Welt nicht mehr das, was sie zuvor gewesen war – die Welt verlor ihr altes klassisches Gesicht. Die Messungen der PTR und die Arbeit von Max Planck gelten als die Geburtsstunde der Quantenmechanik. Einer fundamentalen

Theorie zur Beschreibung der Welt, die um 1900 herum geboren wurde, Jahrzehnte brauchte, um interpretiert und akzeptiert zu werden, und deren technologische Anwendungen heute mindestens 60 % des Welthandels bestimmen. Aus fundamentaler Physik kann also etwas sehr Praktisches werden. Das nennt man dann Karriere!

In seinen berühmten wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Jahr 1900 über eine „Verbesserung der Wienschen Spektralgleichung“ und zur „Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum“ kommt Planck auf eine mögliche Konsequenz für die physikalischen Einheiten zu sprechen: „Dem gegenüber dürfte es nicht ohne Interesse sein zu bemerken, dass mit Zuhilfenahme der beiden Konstanten  $a$  und  $b$  die Möglichkeit gegeben ist, Einheiten für Länge, Masse, Zeit und Temperatur aufzustellen, welche unabhängig von speziellen Körpern oder Substanzen ihre Bedeutung für alle Zeiten und für alle, auch ausserirdische und aussermenschliche Culturen notwendig behalten.“ Und das ist im Prinzip genau das, was wir jetzt in den nächsten vier bis fünf Jahren in der internationalen Metrologie tatsächlich machen wollen. Wir wollen ein Einheitensystem formulieren, das von allen willkürlichen Dingen befreit ist und sich ganz und gar auf Konstanten bezieht, die in der Natur bzw. in unseren Theorien über sie fest verankert sind.

Das Kilogramm beispielsweise wird in diesem Einheitensystem durch die Kombination dreier Konstanten definiert werden. Ich werde Ihnen gleich noch etwas genauer zeigen, wie das tatsächlich funktioniert. Aber zunächst beginne ich bei einem einfacheren Fall: der Sekunde. Ursprünglich war die Sekunde einmal über den Tageslauf der Erde definiert, indem man die Tageslänge auf insgesamt 86400 Sekunden (also 24 mal 60 mal 60) festlegte. Leider ist unsere Erde keine wirklich genaue Uhr, denn die Tageslänge schwankt und die Rotationsdauer der Erde nimmt über lange Zeiträume gesehen auch noch merklich zu. Aber mit der Erfindung der Atomuhren war hier eine enorme Verbesserung in Sicht. Nun konnte man die Sekunde aus einer viel genaueren Schwingung herauslesen: aus der Schwingung von Elektronen in einem Atom. Als Atomsorte nimmt man (lediglich aus technischen und praktischen Gründen) Cäsium-133, sucht sich in der energetischen Struktur der Elektronenhülle einen elektronischen Übergang als „Uhrenfrequenz“ heraus und kann dann die Sekunde als das 9 192 631 770-fache eben dieser Schwingung definieren. Es wird also der Zahlenwert einer Konstante, hier: der Wert eines elektronischen Übergangs im Cs-Atom, festgelegt, und kann auf dieser Grundlage dann eine Einheit, hier: die Sekunde, durch einen direkten

Zusammenhang mit eben dieser Konstante definieren. Im Prinzip wird so das gesamte neue Einheitensystem funktionieren.

Aber lassen Sie mich noch bei der Zeit, den Atomuhren und den zukünftigen Uhren-Entwicklungen bleiben. Für die nationale Zeit in Deutschland (und wie Sie jetzt wissen: auch für alle anderen Einheiten) ist die PTB verantwortlich. In Braunschweig betreiben wir zu diesem Zweck ein ganzes Ensemble von Atomuhren, die wir im Laufe der letzten Jahrzehnte entwickelt haben. Unsere Uhren, so genannte Primäruhren, bestimmen zu einem sehr großen Teil zugleich auch die Weltzeit. Denn diese wird aus dem Gang von insgesamt 400 weltweit verteilten Atomuhren ermittelt. (Übrigens geschieht dies beim Internationalen Büro für Maß und Gewicht in Sèvres bei Paris, wo auch das schon erwähnte Urkilogramm aufbewahrt wird.) Diese Mittelung erfolgt gewichtet, indem gute Uhren ein hohes Gewicht und etwas weniger gute Uhren ein etwas kleineres Gewicht in dieser Mittelung bekommen. Da die Uhren der PTB extrem genau ticken und da sie dies auch noch überaus verlässlich tun, ist das statistische Gewicht der PTB-Uhren bei der Weltzeit eben besonders hoch.

Die Qualität der Zeit aus den PTB-Uhren hat natürlich Konsequenzen. So sind wir zum Beispiel mit der Koordination der Systemzeit für das Europäische Satellitensystem betraut. Oder wir stellen die Bodenstation für solche Uhren, die in den Weltraum geschossen werden, um auf der Raumstation ISS betrieben zu werden. Und die Entwicklung steht nicht still. Die nächste Uhrengeneration, an der wir gerade sehr intensiv arbeiten, werden so genannte optische Uhren sein. Die elektronischen Pendel, die wir im Atom dabei nutzen, schwingen noch einmal deutlich schneller, nämlich rund hunderttausendmal schneller, als die Pendel in den herkömmlichen Cäsium-Atomuhren. Je schneller das Pendel schwingt, umso präziser lässt sich die Sekunde daraus ablesen. Die Genauigkeiten, die wir mit solchen Uhren erreichen, liegen bei drei mal zehn hoch minus 18! Erst an der achtzehnten Stelle hinter dem Komma erscheint eine von Null verschiedene Ziffer! Als kleines Gedankenexperiment: Wenn Sie eine solche Uhr kurz nach dem Urknall gestartet hätten, würde sie jetzt, also 13 Milliarden Jahre später, gerade mal zwei bis drei Sekunden falsch gehen. Das verstehen wir unter Genauigkeit! Und mit solch genau arbeitenden Messgeräten lassen sich sehr viele interessante Dinge tun, Dinge, die zum Beispiel mit Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie zu tun haben. Hierzu gehört, dass die Zeit kein absolutes Phänomen ist,

sondern beispielsweise von Massen beeinflusst ist. Eine Uhr tickt anders, je nachdem, wo sie sich im Schwerfeld einer Masse befindet. Beispielsweise auf einem Berg anders als in der Tiefebene. Je höher die gravitative Anziehungskraft, umso langsamer tickt die Uhr. (In einem schwarzen Loch bliebe sie stehen – dort vergeht keine Zeit.) Schon wenn Sie eine Uhr um ein paar Zentimeter anheben, sie also etwas weiter vom Erdmittelpunkt entfernen, läuft sie etwas anders. Und auch wenn dieses „etwas anders“ furchtbar klein ist, können wir dies mit unseren guten Uhren registrieren.

Solche Möglichkeiten erregen dann großes Interesse, etwa bei den Geodäten, die solche Uhren als Sensoren verwenden können, als Sensoren für Massebewegungen, wie etwa unterirdische Lava- oder Wasserströme. Wenn, wie geschehen, im Himalaya, in Nordindien, plötzlich das Grundwasser versiegt, könnte man mit solch einer Uhr als Sensor den Weg des Grundwassers aufspüren. Die achtzehnte Stelle hinter dem Komma kann hier also Leben retten!

Es gibt sehr viele, sehr praktische Anwendungen von derartigen Uhren. Aber natürlich lässt sich mit ihnen auch fundamentale Physik betreiben, etwa wenn die Frage beantwortet werden will, ob die fundamentalen Konstanten der Natur tatsächlich Konstanten sind oder ob sie sich ganz allmählich doch verändern. Solche Veränderungen in den Konstanten werden von manchen Astrophysikern und manchen Elementarteilchenphysikern vorhergesagt, worauf ich hier allerdings nicht eingehen will. Worauf ich in diesem Zusammenhang hinaus will, ist, dass man bei solchen Fragestellungen stets Uhrenvergleiche anstellen muss. Bei diesen Uhrenvergleichen ist bei der PTB ein ganz wichtiger Durchbruch gelungen, nämlich die hochgenaue Übertragung von Frequenzen über ganz normale, kommerzielle Glasfasern. Wir können mittlerweile Frequenzen mit einer Genauigkeit von wenigen zehn hoch minus neunzehn übertragen. Dazu haben wir eine Glasfaserstrecke von Hannover zum Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching und wieder zurück aufgebaut, also eine Strecke von rund 2000 Kilometern. Eine weitere Glasfaserstrecke bauen wir gerade nach Paris auf, denn unsere metrologischen Partner in Frankreich können ähnlich gute Uhren wie wir bauen, sodass gerade hier ein Uhrenvergleich sehr zweckmäßig ist.

Nach diesem etwas ausführlichen Exkurs zur Zeit möchte ich auf meine Grundlinie zurückkommen und Ihnen etwas über die anstehenden Neudefinitionen der Einheiten berichten. Die Sekunde ist also bereits jetzt schon über

eine Konstante, die Übergangsfrequenz in einem Atom, definiert. Auch der Meter ist bereits heute schon muster­gültig. Denn der Urmeterstab, an den Sie vielleicht denken, hat längst ausgedient, und die Definition des Meters geschieht, nachdem die Sekunde definiert ist, über die Festlegung der Lichtgeschwindigkeit, sodass heute der Meter die Strecke ist, die das Licht in einem ganz bestimmten Bruchteil von einer Sekunde zurücklegt. Für den Meter werden daher zwei Konstanten benötigt: die definierende Konstante für die Sekunde und dann als Zweites die Lichtgeschwindigkeit (in der ja die Zeit enthalten ist!) im Vakuum.

Schauen wir uns als nächstes die Einheit der Masse, das Kilogramm, an. Um das zu definieren, muss zu den beiden schon erwähnten Konstanten eine dritte hinzu kommen. Die Metrologen haben sich hier auf die Planck-Konstante verständigt, welche die Größe einer Wirkung hat. Jetzt gilt es, diese Konstante so gut wie irgend möglich zu messen, bevor ihr Wert für alle Zeiten festgelegt wird. Dazu laufen weltweit einige sehr ambitionierte Experimente, und eines davon ganz zentral bei uns in der PTB, nämlich das Internationale Avogadro-Projekt. In diesem Projekt wollen wir die Frage beantworten, wie viele Atome für ein Kilogramm benötigt werden. Da es unmöglich ist, so viele Atome in irgendeiner Form einzeln abzuzählen, müssen wir sie vorher in eine geordnete Struktur stecken und hinterher „nur“ diese Struktur auszählen. Und unsere strukturierte Zählmaschine für Atome ist ein perfekter Einkristall aus Silizium, der die Form einer nahezu perfekten Kugel hat. Lassen Sie mich beschreiben, was ich mit „nahezu perfekt“ meine.

Die Topografie dieses kugelähnlichen Kristalls messen wir in einem so genannten Kugelinterferometer, ein Messgerät, das wir in der PTB speziell auf diesen Zweck hin optimiert haben. Die Höhendifferenzen zwischen den Berggipfeln und den Tälern auf dieser Kugel betragen gerade einmal 16 Nanometer. Um Ihnen dies zu veranschaulichen: Wenn Sie die Kristallkugel maßstabsgerecht auf die Größe der Erde skalieren würden, dann betrüge der Höhenabstand zwischen Mount Everest und Marianengraben rund 2 Meter! Diese Erde wäre dann wahrhaft eine Kugel!

In unserer Kristallkugel zählen wir nun, wie viele Siliziumatome sich darin befinden. Wir wiegen die Kugel dann einmal und können also sagen, dass soundso viele Atome eben eine solche Masse auf die Waage bringen. Wir haben damit eine makroskopische Masse (die Masse der Kugel) zurückgeführt auf eine mikroskopische Masse, die Masse

eines Siliziumatoms. Momentan erzählen wir uns bei den Atomen alle 100 Millionen Atome noch um 3. Wohin wir wollen, ist allerdings eine dreimal bessere Genauigkeit von 1 zu 100 Millionen. Und um eben dahin zu kommen, arbeiten wir bei unserer Kristallkugel mit isotopenreinem Material, das wir von unseren Vertragspartnern aus Russland bekommen. Die Experimente gehen gut voran, und ich bin sicher, dass wir die angestrebte Genauigkeit in nächster Zeit erreichen werden.

Lassen Sie mich jetzt noch etwas zur Neudefinition der elektrischen Stromstärke, dem Ampere, sagen. Die bisherige Definition ist eine höchst idealisierte Messvorschrift, in der unendlich lange, unendlich dünne Leiter vorkommen, die in einem genau definierten Abstand zueinander gespannt sein müssen. Wenn der fließende Strom in diesen Leitern eine ganz bestimmte Kraftwirkung zwischen diesen Leitern hervorruft, dann haben wir eine Stromstärke von genau einem Ampere. Eine sehr schwer zu realisierende Definition. In Zukunft könnte es dagegen ganz leicht werden, wenn wir die Stromstärke als fließende Ladungen (die definierende Konstante ist die Elementarladung) interpretieren und daher „nur noch“ zählen müssen, wie viele Elektronen pro Zeiteinheit durch unseren Leiter geflossen sind. Die Schwierigkeit besteht natürlich darin, die den Strom tragenden Elektronen fehlerfrei zu zählen. Dies gelingt uns in ganz speziellen Strukturen, die wir auf unsere Chips aufbringen. Wir lassen die Elektronen in so genannte Quantendots hinein- und hinaustunneln, wobei sich tatsächlich immer nur ein Elektron in einem solchen Quantendot aufhalten kann. Erst wenn es die Struktur verlassen hat, kann das nächste Elektron hinein. Diesen Tunnelprozess der Elektronen können wir mit unseren Schaltungen in gewissem Sinne steuern, sodass uns dieser Zählprozess recht gut gelingt. Auch hier erzählen wir uns alle hundert Millionen Elektronen nur um ein paar wenige.

Was ich Ihnen jetzt hier an einigen Beispielen gezeigt habe, ist das Grundprinzip, auf dem wir das zukünftige Einheitensystem aufbauen wollen. Ein Einheitensystem, das uns für alle Zeiten und für alle Kulturen erhalten bleiben kann, und das die Vision von Max Planck Realität werden lässt.

Das Einheitensystem ist natürlich die Bühne, auf der sich alle metrologischen Dinge abspielen. Und diese metrologischen Dinge berühren uns an allen Ecken und Enden und sind Teil unseres Alltagslebens. Lassen Sie uns einmal in paar Bereiche dieses Alltagslebens schauen, zum Beispiel in die Medizin.

**PTB als Referenz:** Die PTB ist in einem gewissen Sinne dabei, wenn Ihnen eine Blutprobe entnommen wird, um ein Blutbild erstellen zu lassen. Wenn Sie Ihren Arzt fragen, wie genau und zuverlässig denn die Messwerte sind, die er da vom Labor zurückbekommen hat, dann könnte es sein, dass Sie zur Antwort bekommen: „Das hängt vom Labor ab!“ Und das wäre dann eine Antwort, die Sie beunruhigen könnte. Deswegen gibt es seit einigen Jahren in Deutschland als einziges Referenzlabor die PTB, auf das sich die klinischen Labors beziehen können, um eine metrologische Basis auch für die Medizin voranzubringen. Die Messmethoden und die Referenzmaterialien der PTB sorgen damit auch in der Medizin für vertrauenswürdige Messergebnisse.

**Beispiel Blutzellzählung:** Wir verdünnen das Blut soweit, bis es sich durch Wasserkapillare transportieren lässt, und beleuchten es. Die einzelnen Bestandteile des Blutes streuen das Licht ganz unterschiedlich, d. h. in unterschiedlichen Richtungen und auf unterschiedlichen Wellenlängen, sodass sich schließlich ein mehrdimensionales Bild ergibt, auf dem die Blutbestandteile wie Thrombozyten, Lymphozyten, Granulozyten usw. zu erkennen sind. Mit solchen Messmethoden können wir genau sagen, was sich im Blut befindet und damit eine Referenz für die Laboratorien in den Kliniken anbieten. Und auch hier geht die Forschung weiter, indem wir beispielsweise an einer Miniaturisierung und einem „Referenzlabor auf dem Chip“ arbeiten – z. B. für direkte Messungen noch am Unfallort.

**Herausforderung Proteine:** Die Messung von Proteinen dient in der klinischen Praxis dazu, Krankheiten zu diagnostizieren, wobei auch hier die messtechnische Rückführung ein Problem darstellt. Proteine sind so große Moleküle, dass sie sich mit normalen massenspektroskopischen Methoden nicht detektieren lassen. Daher zerschneiden wir ein Protein in einige charakteristische Teile, führen eine Isotopenmarkierung durch und benutzen ausgeklügelte Verfahren der Massenspektrometrie, um Proteinkonzentrationen, etwa eines Wachstumshormons, im Blutserum zu bestimmen.

**In die Röhre:** Die technische Entwicklung von Kernspin geräten ist längst noch nicht abgeschlossen. In der PTB arbeiten wir beispielsweise mit solchen Geräten bei sehr hohen Frequenzen und sehr hohen Magnetfeldern, also in einem Bereich, der noch fern der Klinik, aber für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen ganz essentiell ist. In einem aktuellen Forschungsprojekt versuchen wir ein quantifizierendes Merkmal für psychische

Krankheiten aufzuspüren. Hierbei messen wir die Konzentrationen und die Orte von Neurotransmittern im Gehirn und vergleichen die Ergebnisse zwischen gesunden und kranken Probanden.

**Magnetisch still:** In der PTB gibt es mehrere Räume oder Laboratorien der Superlative. Einer davon ist ein magnetisch abgeschirmter Raum, aus dem auch das ansonsten allgegenwärtige Magnetfeld der Erde herausgehalten wird. Einen „magnetisch stilleren“ Raum als eben diesen in unserem Institut Berlin wird man nirgends (weder auf der Erde, noch wahrscheinlich im ganzen Universum) finden. In einem solchen Raum lassen sich dann auch ganz besondere Untersuchungen durchführen, wenn man etwa den Transportweg magnetisch markierter Medikamente durch den menschlichen Körper verfolgt oder wenn man die Magnetfelder unserer Gehirnströme messen will. Derart spezielle Messbedingungen eröffnen dann auch zuweilen ganz neuartige Diagnosemöglichkeiten.

Auf der Alltagsbühne der Metrologie geht es jedoch keineswegs nur medizinisch zu. Wechseln wir einmal zu einem ganz anderen Gebiet.

**Land der Riesen:** Denken wir etwa an Brücken- oder Flugzeugbau, an Offshore-Anlagen oder Schaufelradbagger im Tagebau, dann sind auch die auftretenden Kräfte zu bedenken, die jetzt gerne mit der Vorsilbe Mega daherkommen. Gegenwärtig können wir in der PTB mit unseren Kraft-Normalmesseinrichtungen Rückführungen bis zu 16,5 Meganewton durchführen. Die steigenden Anforderungen der Großindustrie lassen jedoch die Kraftwünsche steigen, und so sind wir gerade dabei unsere Kraftskala bis auf 30 oder 50 Meganewton auszubauen, was die Gewichtskraft von 3000 bzw. 5000 Tonnen darstellt.

**Land der Zwerge:** Technologisch expandiert unsere Welt nicht nur ins Große, sondern auch ins extrem Kleine. Je weiter die Miniaturisierung voranschreitet, umso wichtiger wird auch die Messung der entsprechend kleinen Kräfte in dieser Nanowelt. Wenn die Halbleiterindustrie immer noch mehr Strukturen auf ihre gleich groß bleibenden Chips packt, Bauteile immer kleiner werden und auch von Nano-Maschinen die Rede ist, dann spielen Nanokräfte und ihre Messung hier eine wesentliche Rolle. Und in unseren Laboratorien haben wir tatsächlich auch die Möglichkeit (durch die Ausnutzung ganz fundamentaler Prinzipien), solche Nanokräfte zu messen. Zugleich kann in dieser Nanowelt, wenn man ihr denn messtechnisch zu Leibe rückt, aber auch echte Grundlagenphysik betrieben werden. Wir können also nachschauen, ob Sir

Isaac Newton mit seinem Gravitationsgesetz vollständig Recht hat – ob dieses Gesetz also auch in der Nanowelt exakt gilt oder ob nicht vielleicht eine Abweichung festzustellen ist (was manche Physiker vermuten). Es ist immer schön, wenn Experimentatoren die Ideen der Theoretiker mit guten Messungen verifizieren oder falsifizieren können.

Wenn von Miniaturisierung die Rede ist, dann müssen natürlich auch entsprechend kleine Geometrien gemessen werden – eine Aufgabe der dimensionellen Metrologie.

**Nanometer:** Die Mikro- und Nanowelt ist so allgegenwärtig, dass ich hier nahezu willkürlich ein Beispiel herausgreife: eine Einspritzdüse aus einem Automotor. In dieser Düse befinden sich zahlreiche kleine Kanälchen mit einem Durchmesser von jeweils 100 Mikrometern. Um die Fließdynamik in diesen Kanälen zu analysieren, muss man wissen, wie der Kanal innen aussieht, und man muss also die Rauigkeit im Inneren des Kanals messen. Dies ist eine Messaufgabe, die nicht mit Standardtechnik zu meistern ist, sondern spezielle technologische Entwicklungen braucht. Mit den Möglichkeiten der PTB gelingt es hier, die Innenrauigkeit auf Nanometer genau zu messen. Solche messtechnischen Möglichkeiten sind ganz entscheidend für Hightech-Anwendungen etwa in unserer Automobilindustrie, die nicht zuletzt durch technologische Vorsprünge ihre Weltmarktposition (17% des Welthandels) behalten oder ausbauen kann. Weitere Nano-Beispiele aus dem Autosektor sind die Abgasuntersuchung und die ihr zugrunde liegenden Normen. Diese Normen werden zunehmend schärfer und feinsinniger, sodass auch immer kleinere Partikel in den Blick kommen. Nur müssen dazu eben diese Mikro- und Nano-Partikel auch gemessen werden. Sie ahnen es: Ohne die Messtechnik der PTB geht auch hier nichts.

Zum Schluss der Beispiele, mit denen ich Ihnen die Bedeutung einer hochpräzisen Messtechnik für unseren Alltag veranschaulichen wollte, möchte ich es kurz leuchten lassen.

**Mehr Licht:** Derzeit steht die Beleuchtungsindustrie vor einer kleinen Revolution. Nach den Sparlampen kommen jetzt immer mehr LED-Lampen auf den Markt. Diese Lampen benötigen eine ganz andere Charakterisierung als die herkömmlichen. (Auf der Verpackung werden Ihnen ja auch ganz andere Angaben mitgeteilt, als Sie es vermutlich bisher gewohnt waren.) Für solche Lampen und ihre Charakteristika (spektrale Zusammensetzung, Energieeffizienz, etc.) gibt es in der PTB nun spezielle

optische Laboratorien. So kann die deutsche Beleuchtungsindustrie auch ihre modernsten Lampen bei uns charakterisieren und kalibrieren lassen und profitiert damit vom Knowhow einer PTB.

Ich hoffe, Ihnen anschaulich gezeigt zu haben, dass die Metrologie, die Wissenschaft vom Messen, eine notwendige Basis für Forschung, Technologie und Innovation ist. Dass Metrologie die Möglichkeiten für einen weltweiten Handel schafft. Dass eine PTB, also die metrologische Instanz in Deutschland, sich auch um den Verbraucherschutz kümmert, sodass Sie sich auf all die Messungen in Ihrem Alltag verlassen können: auf die Messungen Ihrer Wasser-, Gas- und Stromzähler, auf die Wägungen mit der Supermarktwage und die Angaben an der Zapfsäule Ihrer Tankstelle. Und übrigens auch auf die Geschwindigkeitswerte, wenn Sie im Straßenverkehr einmal „geblitzt“ wurden. Versuchen Sie erst gar nicht zu sagen, das Ergebnis sei zweifelhaft. Es ist es in der Regel nicht. Denn wir in der PTB haben eine Bauartprüfung des Messgeräts durchgeführt.

Ich hoffe, ich konnte Sie überzeugen, dass es notwendig ist, wirklich exzellente metrologische Wissenschaft zu betreiben, um eine Hightech-Industrie angemessen zu unterstützen und um eine Gesellschaft voranzubringen, in der wir alle leben wollen.

Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit.



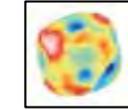
**Joachim H. Ullrich**

Präsident der Physikalisch Technischen Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin



## Metrologie für

- Forschung
- Technologie
- und Innovation



Joachim Ullrich



## Metrologie

- Wissenschaft des richtigen Messens
- Rückführung der Werte auf Normale



Physikalisch-Technische Bundesanstalt

www.ptb.de



## Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Deutschlands nationales Metrologie-Institut



Braunschweig

und Berlin

## Physikalisch-Technische Bundesanstalt



Hermann v. Helmholtz



Werner Siemens, 1887

## Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Meter Konvention: 1875

- nachhaltig
- international
- freier Handel

~ 100 Staaten & Organisationen

~ 98% der Weltwirtschaft

## Das neue System der Einheiten

Basiert auf definierenden Konstanten



Lichtstärke

Masse

Länge

Zeit



Temperatur

Stoffmenge

Elektrischer Strom

1909. Jg. 1.

## ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTE POLAR. BAND I.



PTR-Kurator

Irreversible Strahlungsvorgänge;  
von Max Planck.

Dem gegenüber dürfte es nicht ohne Interesse sein zu bemerken, dass mit Zuhilfenahme der beiden in dem Ausdruck (41) der Strahlungsentropie auftretenden Constanten  $e$  und  $h$  die Möglichkeit gegeben ist, Einheiten für Länge, Masse, Zeit und Temperatur anzustellen, welche, unabhängig von speziellen Körpern oder Substanzen, ihre Bedeutung für alle Zeiten und für alle, auch ausserirdische und aussermenschliche Culturen notwendig behalten und welche daher als „natürliche Maasseinheiten“ bezeichnet werden können.

## Das neue System der Einheiten



Zeit

$$1 \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta \nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}}$$

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

www.ptb.de

Das neue System der Einheiten



**Cäsium-Fontäne**

	$\mu_{\text{Cs}}$	$\mu_{\text{ges. zu TAI}}$
PTB	$2,9 \cdot 10^{-16}$	$3,3 \cdot 10^{-16}$
NIST	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$5,1 \cdot 10^{-16}$
NPL	$2,1 \cdot 10^{-16}$	$3,6 \cdot 10^{-16}$
LNE	$2,8 \cdot 10^{-16}$	$3,8 \cdot 10^{-16}$
INRIM	$1,8 \cdot 10^{-16}$	$4,8 \cdot 10^{-16}$

PTB: Koordination der GÄlileo-Systemzeit  
ACES: Bodenstation

Physikalisch-Technische Bundesanstalt | Braunschweig und Berlin

Das neue System der Einheiten



**Anwendung**

- Technologie: Raumfahrt, High-Tech-Industrie
- Messmethoden: Geodäsie
- Gravitationspotential

→ Systematische Unsicherheit:  
 $\approx 3,3 \cdot 10^{-18}$

**Fundamentale Physik**

- Zeitabhängigkeit von Fundamentalkonstanten
- Test allg. Relativität
- Verschränkung

Physikalisch-Technische Bundesanstalt | Braunschweig und Berlin

Das neue System der Einheiten



**Zukunft: Optische Uhren**

${}^2\text{F}_{7/2} : 4f^{13} 6s^2$   
 $\text{Yb}^+$   
E3 467 nm  
 ${}^2\text{S}_{1/2} : 4f^{14} 6s^1$

37 einzelne Ionen

Physikalisch-Technische Bundesanstalt | Braunschweig und Berlin

Das neue System der Einheiten



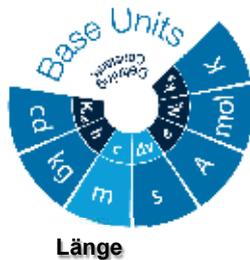
ca. 750 km  
ca. 170 dB

ca. 700 km  
ca. 195 dB

→ PTB-LUH / MPQ Fiber:  $\delta f / f \sim 4 \cdot 10^{-19}$  @ 100 s

Physikalisch-Technische Bundesanstalt | Braunschweig und Berlin

Das neue System der Einheiten



Physikalisch-Technische Bundesanstalt | Braunschweig und Berlin

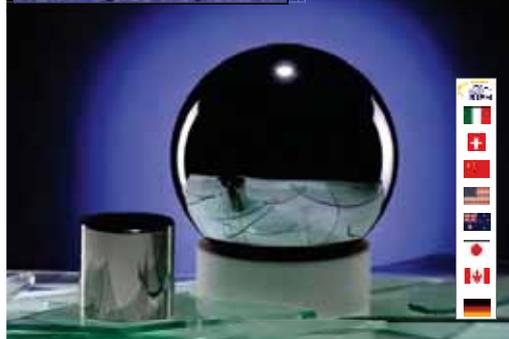
Das neue System der Einheiten



**Masse**  
Avogadro  
Watt-Waage  
Photonen-Rückstoß

→ viele Realisierungsmöglichkeiten

Das Avogadro Experiment



Das Avogadro Experiment

$m_{\text{sphere}} = \frac{8V}{a_{220}^3} \frac{2hR_{\infty}}{ca^2} \frac{\sum_i f_i A_i}{A_i^e}$

relative Masse Si  
relative Masse Elektron

Zahl der Atome  
Elektronen Masse

$u_{\text{rel}}(\alpha) = 3.2 \cdot 10^{-10}$  (CODATA 2010)  
 $u_{\text{rel}}(R_{\infty}) = 5.5 \cdot 10^{-12}$  (CODATA 2010)

LETTER TO THE EDITOR  
The silicon route to a primary realization of the new kilogram

### Das Avogadro Experiment

Abweichung Kugelradius: 16 nm (Berg zu Tal)

### Hin zur Neudefinition...

- 1 Messung <math> < 2 \cdot 10^{-8}</math> (verlangt)
- 2 Messungen <math> < 5 \cdot 10^{-8}</math> (verlangt)
- 2 unabhängige Techniken

→ Realisation in 2018

Konsistenz-Check!

### Das neue System der Einheiten

Elektrischer Strom

### Das neue System der Einheiten

Mise en pratique CCEM 2009/11:

(b) ..mittels Pumpe für einzelne Elektronen

$$I = \langle n \rangle e f = 100 \text{ pA} @ \sim 1 \text{ GHz}$$

Halbleiter SET

$\Delta I/I \sim 10^{-6}$

### Das neue System der Einheiten

SET-Pumpe mit integrierter Fehlerkorrektur

$\Delta I/I \dots 10^{-8}$

GaAs SET pump

metallic SET detector

### Das neue System der Einheiten

...für alle Zeiten und Culturen...

www.ptb.de

### Metrologie für

- Forschung
- Technologie
- und Innovation

Joachim Ullrich

Th. Hänsch  
Physik-Nobelpreis 2005  
Ehrenkurator der PTB

### Forschung, Technologie und Innovation

Beispiel: Kleines Blutbild

Standardisierte Blutprobemessung

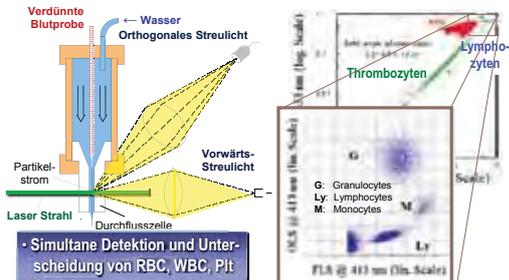
Teilnahmepflicht an Interlaboratests für klinische Labors in Deutschland

PTB-Normalmesseinrichtung Blutzellen-Zählung: Bestimmung der Konzentrationen aller Blutzellen mit kleinsten Unsicherheiten

PTB

- weltweit einziges Referenzlabor für Hämatologie
- Referenzwerte für Interlaboratests
- Basis für Qualitätssicherung von ca. 3000 klinischen Labors in D
- zukünftig: Messtechnik und Normen für Stammzellen & Viren

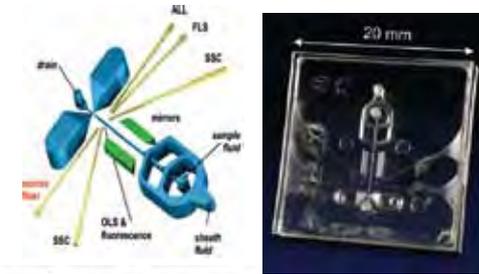
Forschung, Technologie und Innovation 



• **Simultane Detektion und Unterscheidung von RBC, WBC, Plt**  
 • **Analysegeschwindigkeit: ca. 5000 Zellen / s**

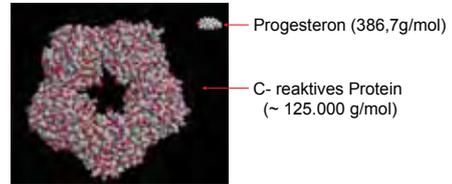
Forschung, Technologie und Innovation 

• **Mikro-Durchflusszytometrie: am Unfallort!**



Forschung, Technologie und Innovation 

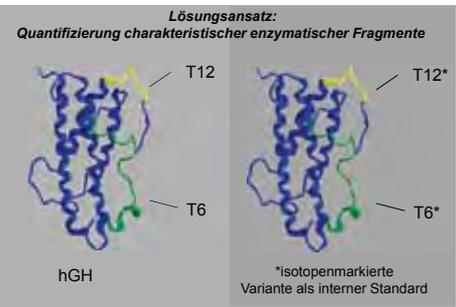
Herausforderungen der Proteinquantifizierung  
 klassische Isotopenverdünnungs-Massenspektrometrie (ID-MS)  
 nicht übertragbar: relative Massenauflösung meist unzureichend



Progesteron (386,7g/mol)  
 C-reaktives Protein (~ 125.000 g/mol)

Forschung, Technologie und Innovation 

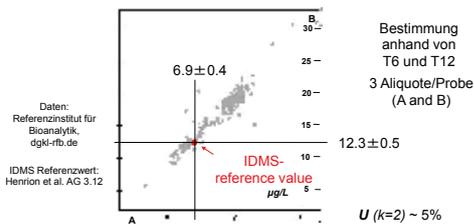
Lösungsansatz:  
 Quantifizierung charakteristischer enzymatischer Fragmente



hGH  
 T6  
 T12  
 T12\*  
 T6\*  
 \*isotopenmarkierte Variante als interner Standard

Forschung, Technologie und Innovation 

Wachstumshormon (hGH, 22k Variante) in Blutserum:  
 weltweit erstes anerkanntes Primärmessverfahren für Proteine in Serum



Forschung, Technologie und Innovation 

Bediensicherheit; 7 Tesla MRT

EMRP-Projekt: "MRI Safety"  
 • 2012 – 2015  
 • PTB, INRIM, VSL, King's College

Hohe spektroskopische Auflösung  
 • Neurotransmitter im Gehirn  
 • Zusammenarbeit mit Charité



7-T-MRT (Berlin Hochfeld Einrichtung)

Forschung, Technologie und Innovation 



Forschung, Technologie und Innovation 

Ultra-Niedrigfeld MEG ↔ Hochfeld MRT



BMSR-2

Berliner magnetisch geschirmter Raum:  
 • Statisches Restfeld ~ 1nT  
 • 7-fache passive magnetische Schirmung  
 • Aktive Spulen-Schirmung

Forschung, Technologie und Innovation 

**Ultra-Niedrigfeld MEG**

- Magnetische Nanoteilchen
- Magnetfelder im Gehirn

Optische Magnetometer bei Raumtemperatur

304 Kanal SQUID

Berliner magnetisch geschirmter Raum:

- Statisches Restfeld  $\sim 1\text{nT}$
- 7-fache passive magnetische Schirmung
- Aktive Spulen-Schirmung

SQUID mit NMR Spulen

Forschung, Technologie und Innovation 

16,5 MN-Maschine der PTB



Forschung, Technologie und Innovation 

Erweiterung auf 50 MN-System

Rückführung mit Build-up-System

16,5 MN-Maschine der PTB

30 MN-Maschine der MPA BS

Forschung, Technologie und Innovation 

...nicht-Newton'sche Kräfte?

Wolfram-Draht

Scheiben-Pendel

Laser-Interferometer

$$V = -\frac{G_N m_1 m_2}{r} [1 + \alpha e^{-r/\lambda}]$$

A. A. Gerard et al. PRL 2010

- Nano Kraft & Transfer-Standard
- Wechselwirkungskräfte:
  - Casimir-Kräfte
  - Licht-Kräfte
  - Gravitation: kleine Abstände

$$\delta F_N(f_{\text{res}}) = \delta F \cdot \sqrt{\frac{f}{f_{\text{res}}}} = 10^{-24} \text{ N}$$

Forschung, Technologie und Innovation 

- Kalibrierung: Laser-tracker, -radar, -scanner, indoor- GPS...
- Qualitätssicherung im Großmaschinenbau

**Construction**

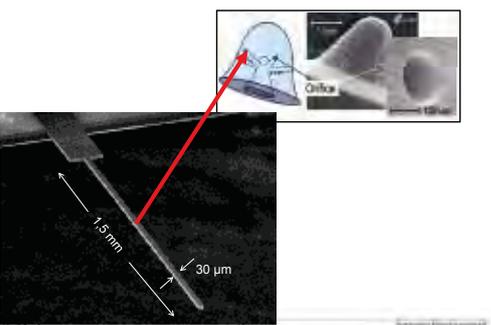
Measurement Volume: 10 m x 3 m x 6 m

Length invariant reference lengths via temperature stabilised CFK-rods tension-free mount at wall

**PTB services**

- In-Situ-calibration of length references ( $U = \pm 5 \mu\text{m}$ )
- Length invariant reference length through test instructions according to guide lines
- 3D length deviation  $E$  (Laser tracker specification: e.g.  $E \leq \pm (20 \mu\text{m} + 5 \mu\text{m/m})$ )

Forschung, Technologie und Innovation 



Forschung, Technologie und Innovation 

PTB Profilschanner

Untersuchung des Rauigkeitsprofils von Einspritzdüsen

Mobilität: DE 17% des Welthandels

Forschung, Technologie und Innovation 

• Hochstabile Aerosole für Rußpartikel-Messgeräte

GERINGE Rußkonzentration

HOHE Rußkonzentration

EURO 5b & 6 Abgasnormen → neue Messtechniken für Rußpartikel

• PTB: weltweit einmalige Prüfanlagen, hochstabil einstellbare Rußgeneratoren

EMRP- ENV02 / PTB - ASA = 2011 - 2014 / seit 2010

- Partikelgrößen: 10 nm bis 220 nm
- Trübungskoeffizient über 3, Partikelanzahl über 5 Dekaden variierbar
- Korrelation von Trübungskoeffizient und Partikelmassenkonzentration sowie Bestimmung der Zähleffizienz

- Validierung verschiedener Partikelmessmethoden
- Vorbereitung der Bauartzulassung neuer AU-Messgeräte

Forschung, Technologie und Innovation 



W40 light bulb

LED traffic light

Forschung, Technologie und Innovation 

Charakterisierung von LEDs und OLEDs



...ein Multi-Milliarden Zukunftsmarkt!



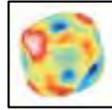
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)

**Metrologie ist die Basis für**

- Forschung

- Technologie

- und Innovation



Exzellente metrologische Wissenschaft

Hightech Industrie & Gesellschaft

Joachim Ullrich

## Ulrich (Ueli) Hübscher



*Sehr geehrte Familie Beckurts,  
sehr geehrte Frau Vorsitzende Kaysser-Pyzalla,  
sehr geehrter Herr Staatsminister Huber,  
meine sehr verehrten Damen und Herren,*

es ist mir eine grosse Ehre, die Laudatio für Prof. Andreas Marx für den Karl Heinz Beckurts-Preis 2014 halten zu dürfen. Das Forschungsgebiet von Prof. Marx umfasst die DNA-Polymerasen. Diese Enzyme waren vor dreissig Jahren Exoten, die kaum Beachtung fanden. Durch die Entdeckung der Polymerasenkettenreaktion (PCR) ist das heutige Marktvolumen dieser DNA-Polymerase basierten Technologien im zweistelligen Milliardenbereich pro Jahr.

### Zum Lebenslauf:

Prof. Marx studierte von 1988-1994 Chemie an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und an der Ruhr-Universität Bochum, wo er die Diplomarbeit bei Prof. Welzel abschloss. Von 1991-1992 war ERASMUS-Student an der University Sussex, in Großbritannien. Von 1994-1997 promovierte er bei Professor Giese an der Universität Basel, Schweiz, mit dem Prädikat summa cum laude.

In dieser Zeit im Jahre 1996 traf ich Herrn Marx zum ersten Mal auf einem Kongress in Ascona. Es entwickelte sich eine gute Zusammenarbeit mit einer sehr wichtigen DNA-Polymerase, der HIV1 reversen Transkriptase. Dieses Enzym ist das wichtigste Target der HIV1 Therapie. In dieser Zusammenarbeit sind zwei sehr ansprechende gemeinsame Publikationen entstanden.

Von 1997-1999 war Herr Marx Postdoktorand bei Professor Yamamoto an der Nagoya University in Japan und von 2000-2003 Habilitand am Kekulé-Institut für Organische Chemie und Biochemie an der Rheinisch Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn, wo er auch 2003 habilitierte. Seit Januar 2004 ist Herr Marx W3 Professor für Organische und Zelluläre Chemie an der Universität Konstanz. Zwischen 2010-2013 bekleidete er das Amt des Prorektors der Universität Konstanz.

### Welches sind nun die Forschungsimpulse, die Prof. Marx für die industrielle Innovation geleistet hat?

An Hand dreier Beispiele die in den letzten Jahren erarbeitet wurden, möchte ich dies illustrieren:

1. Die Forschung von Prof. Marx konnte durch die Kombination von Chemie und Biologie neue **hochselektive Detektionssysteme von Einzelnukleotid-Mutationen im menschlichen Genom** entwickeln. Er hat DNA-Polymerasen mit speziellen Eigenschaften im Reagenzglas evolviert. Dazu gehört die spezifische Einzelnukleotid-Mutationen im Genom z.B die hochsensitive Methylierungs-Diagnostik, die rascher und billiger ist als die herkömmlichen Methoden.
2. Die Forschung von Prof. Marx hat im Weiteren **neue Wege in der quantitativen RNA-Diagnostik** hervorgebracht. Hier wurden wiederum DNA-Polymerasen mit geeigneten Eigenschaften entwickelt. Es gibt nun eine DNA-Polymerase, die den direkten quantitativen RT-PCR Nachweis von RNA aus Blutproben ohne vorherige Aufreinigung erbringen kann. Somit können RNA-Viren bei vielen Infektionskrankheiten wie z.B. das Ebola-Virus problemlos quantitativ bestimmt werden.
3. Als drittes möchte ich den **direkten Nachweis des epigenetischen Markers 5methyl-Cytosin erwähnen**. Es gibt nun eine spezielle DNA-Polymerase, die den direkten Nachweis von 5mC im Genom ermöglicht. Der 5mC-Nachweis zeichnet sich als eine wertvolle Vorsorge-Methode zur Früherkennung von Krebs ab. Insbesondere und ausschließlich durch eine frühe Erkennung von Krebs kann mit einer verbesserten Heilungschance gerechnet werden. Der neue 5mC-Nachweis ist einfacher, schneller, robuster und sensitiver als vergleichbare konventionelle und kommerziell erhältliche Methoden.

Diese drei Beispiele zeigen klar die Impulse auf, die Prof. Marx für die industrielle Innovation erbracht hat.

Abschliessend möchte ich noch erwähnen, dass Prof. Marx seit 2002 insgesamt 7,150 Mio/Euro Drittmittel eingeworben und dazu noch die Spin-Off Firma, die sich „myPOLS Biotech“ nennt, gegründet hat. Besonders hervorheben möchte ich noch, dass Prof. Marx ein Advanced Grant des Europäischen Forschungsrates (ERC) zugesprochen wurde. Dies ist die höchste Auszeichnung, die der Europäische Forschungsrat verleiht. Das Projekt wird mit rund 2,5 Millionen Euro gefördert. Die daraus entstehenden Patente sollen an die Spin-off Firma „myPOLS Biotec“ lizenziert werden.

Lieber Andy, ich gratuliere dir ganz herzlich zum Karl Heinz Beckurts-Preis und wünsche dir weiterhin alles Gute für die Zukunft.

Vielen Dank meine Damen und Herren für ihre Aufmerksamkeit.



**Ulrich (Ueli) Hübscher**

---

Leiter des Instituts für Veterinärbiochemie und  
Molekularbiologie der Vetsuisse-Fakultät Zürich i.R.

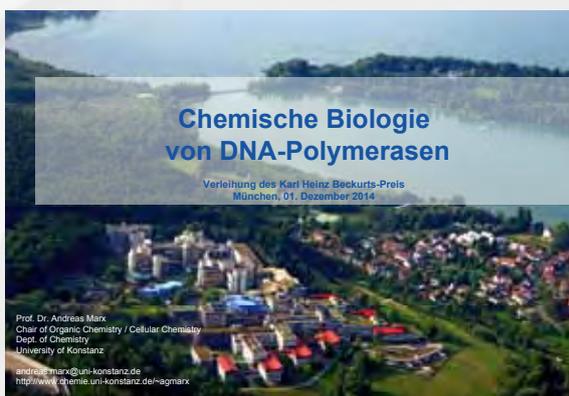
## Prof. Dr. Andreas Marx



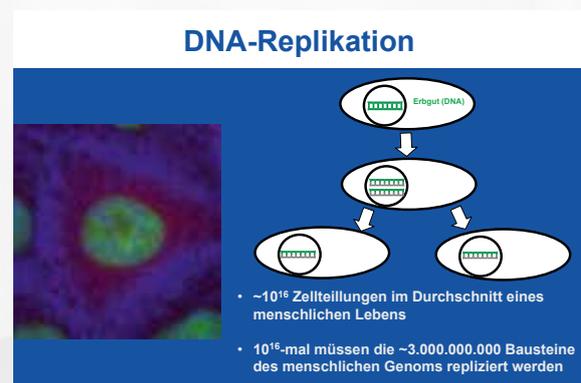
*Sehr geehrte Frau Beckurts, lieber Kollege Beckurts, verehrte Gäste.*

Zunächst möchte ich mich für die Auszeichnung mit dem Karl Heinz Beckurts-Preis herzlich bedanken. Es ist mir eine sehr große Ehre und es fällt mir schwer, dies in Worten auszudrücken. Der Preis ist für mich die Krönung unserer langjährigen Arbeiten, die ich Ihnen im Folgenden näher bringen möchte.

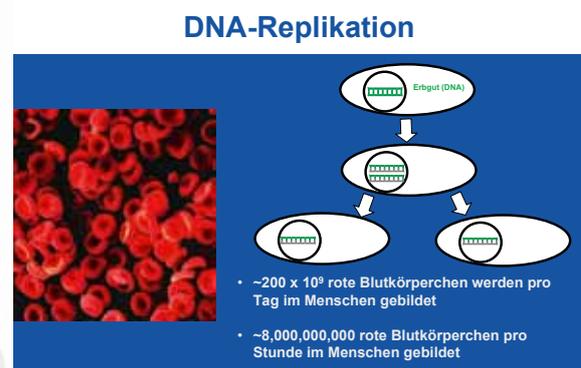
Wie Sie dem Titel meines Vortrags entnehmen können, befassen wir uns mit DNA-Polymerasen. Diese Enzyme möchte ich Ihnen im Folgenden vorstellen.



Beginnen möchte ich bei der DNA-Replikation. Das Erbgut, die DNA, einer jeden Zelle muss vor deren Teilung verdoppelt werden. Im „durchschnittlichen“ menschlichen Leben finden rund 10.000.000.000.000.000 Zellteilungen statt. Dies bedeutet, dass die 3 Milliarden Bausteine des menschlichen Genoms 10.000.000.000.000.000-mal repliziert werden müssen! Dies sind sehr große Zahlen und auch ist ein „durchschnittliches menschliches Leben“ schwer zu überschauen.

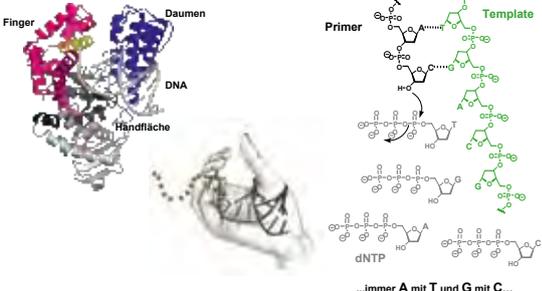


Einfacher ist es, wenn wir uns nur einen einzelnen Tag anschauen. An einem Tag werden rund 200 Milliarden rote Blutkörperchen durch einen komplizierten Prozess gebildet. Am Anfang dieses Prozesses steht die DNA-Replikation. Dies bedeutet, dass in einer Stunde in einem jeden Menschen, ob alt oder jung, mindestens rund 8 Milliarden Zellteilungen pro Stunde stattfinden.



Die Erbgut- bzw. DNA-Synthesemaschinen der Zelle sind die DNA-Polymerasen. Diese Eiweißstoffe synthetisieren die gesamte DNA in der Natur! Diese Eiweißstoffe sind Enzyme, die die Struktur einer halbgeöffneten Hand einnehmen. Mit dieser Hand wird die DNA umfasst. Bemerkenswert ist, dass diese Enzyme je nach dem was der Elternstrang, auch Templatstrang genannt, vorgibt, aus einer Mischung von vier Bausteinen, den dNTPs, genau das komplementäre „herausfischt“. So finden sich immer A mit T und G mit C zusammen.

**DNA-Polymerasen sind die Erbgut-Synthesemaschinen der Natur!**



DNA-Polymerasen sind neben ihrer interessanten Biologie auch für zahlreiche Anwendungen interessant. Wie sie sehen besteht doch ein beachtliches Marktvolumen. Warum ist dies so? Ein sehr großes Anwendungsfeld ist die Polymerasekettenreaktion, kurz. PCR. Mittels PCR lassen sich einfache Kopien von DNA-Fragmenten in kürzester Zeit millionenfach vervielfältigen. Dies wiederum eröffnet viele sehr wichtige Anwendungen, z. B. für die Klonierung, Diagnostik oder Forensik.

**DNA-Polymerasen finden zahlreiche Anwendungen....**

...geschätztes Marktvolumen: mehr als 8 Mrd. EURO\*

**Warum?**

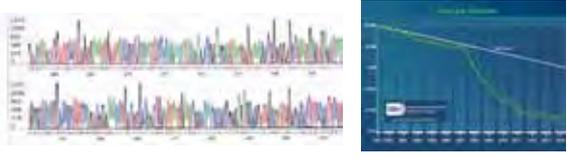
Durch DNA-Polymerasen kann DNA mittels der Polymerase-Kettenreaktion (PCR) vervielfältigt werden!

\*Quelle: Polymerase Chain Reaction (PCR) In Medical Application - An Analytical Report, 2009-2015, Research & Markets, Dublin

Ein weiteres Feld für Anwendungen von DNA-Polymerasen ist die Genom-Sequenzierung. Mittels dieser lässt sich die Abfolge der DNA-Bausteine aufklären. Hier hat es in der Vergangenheit sehr große Innovationen gegeben, sodass die Sequenzierung eines humanen Genoms nun weniger als 1000 Euro kostet. Vor 10 Jahren waren die Kosten noch signifikant höher.

**Anwendungen DNA-Polymerasen**

- Polymerase-Kettenreaktion (PCR)
- Aufklärung der Abfolge der DNA-Bausteine (Sequenzierung)

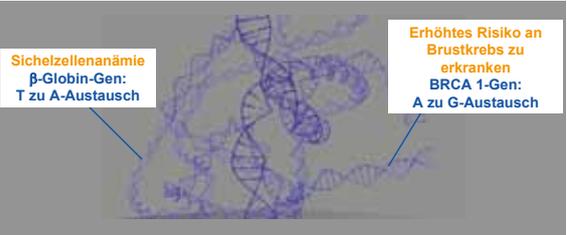


Im Folgendem möchte ich zwei Einsatzgebiete beschreiben. Zunächst widme ich mich der Aufklärung von Mutationen oder von Einzelnukleotid-Polymorphismen. Es zeigte sich, dass der Austausch von nur einem Baustein in der DNA durch einen anderen signifikante Auswirkung haben kann. Dies kann z. B. Krankheiten bzw. Prädispositionen für Krankheiten bedingen oder Medikamentenunverträglichkeit erwirken. Zwei Beispiele sind hier aufgeführt.

**Einsatzbeispiel I**

Aufklärung von Mutationen oder von Einzelnukleotid-Polymorphismen

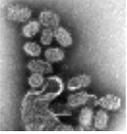
- Austausch von nur einem Baustein in der DNA durch einen anderen kann signifikante Auswirkung haben z.B. Krankheiten bzw. Prädispositionen für Krankheiten bedingen oder Medikamentenunverträglichkeit erwirken!



Zum anderen werden viele Pathogene durch Nachweis der Anwesenheit ihres Erbguts mittels PCR detektiert.

**Einsatzbeispiel II**  
Nachweis der Anwesenheit des Erbguts eines Pathogens z.B. eines Virus

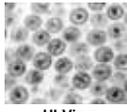
- PCR ist eine Standardmethode zur Detektion von Viren!



Influenzavirus



Norovirus



HI-Virus



Ebola-Virus

Bildquelle: Wikipedia

Es ist erstaunlich, dass viele DNA-Polymerasen natürlichen Ursprungs für Anwendungen geeignet sind. Denn es ist festzuhalten, dass die natürliche Evolution DNA-Polymerasen nicht für moderne Anwendungen optimiert hat sondern wohl eher für das Überleben in ihrem natürlichen Habitat.

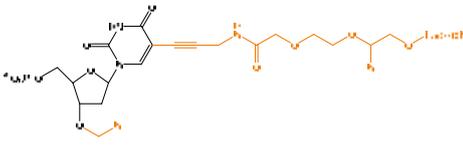
**Die natürliche Evolution hat DNA-Polymerasen nicht für modern Anwendungen optimiert!**



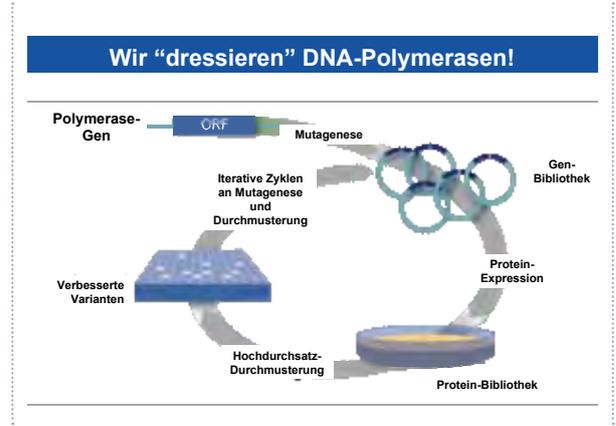
Wieder möchte ich zwei Beispiele nennen: Die natürliche Evolution braucht eine ausgewogene Fehlerbehaftung der DNA-Replikation: Zu viele Fehler sind schlecht für die Integrität des Genoms; gar keine Fehler lässt keine Evolution und damit Anpassung an Umweltänderungen zu. Aber für manche Anwendungen wäre eine fehlerfreie DNA-Polymerase ideal!

Moderne Sequenzierungsverfahren sind auf den Einsatz und die Prozessierung von modifizierten, unnatürlichen Bausteinen durch DNA-Polymerasen angewiesen! Und diese Bausteine sind hochgradig modifiziert: Die Modifikationen sind in orange gezeigt. DNA-Polymerasen wurden für deren Prozessierung durch die Natur nicht vorbereitet.

- **Natürliche Evolution braucht eine ausgewogene Fehlerbehaftung der DNA-Replikation:** Zu viele Fehler sind schlecht für die Integrität des Genoms; gar keine Fehler lässt keine Evolution und damit Anpassung an Umweltänderungen zu.  
**Aber für Anwendungen wäre eine fehlerfreie DNA-Polymerase ideal!**
- **Moderne Sequenzierungsverfahren sind auf den Einsatz und die Prozessierung von modifizierten, unnatürlichen Bausteinen durch DNA-Polymerasen angewiesen!**



Hier knüpfen unserer Arbeiten an: wir optimieren DNA-Polymerasen für Anwendungen. Dabei erhalten wir nicht „nur“ nützliche Proteine sondern lernen dabei auch etwas über die Funktionsweisen und Struktur der DNA-Polymerasen. Wie gehen wir vor? Wir mutieren zunächst das Gen des Enzyms und bewirken so, dass später eine ganze Reihe an Varianten von DNA-Polymerasen gebildet werden. Diese durchmüsten wir dann nach den gewünschten Eigenschaften. Oft iterieren wir die Abfolge an Mutagenese – Durchmusterung – Selektion, um zu verbesserten Varianten zu gelangen. Im Folgenden nun zwei Beispiele aus unserem Labor.



Viele Viren, die von Interesse sind, besitzen ein RNA-Genom. Mit RNA als Templat können DNA-Polymerasen, wie sie in der Strandrad-PCR eingesetzt werden, nicht umgehen; sprich: sie können RNA nicht in DNA umschreiben.

**Beispiel I:**  
DNA-Polymerase mit reverser Transkriptase Aktivität

**RNA - DNA**      **DNA - DNA**

Influenzavirus      Norovirus      HI-Virus      Ebola-Virus

**Viele Viren haben RNA-Genom!**

Bildquelle: Wikipedia

In dem zweiten Beispiel haben wir eine DNA-Polymerase „gezähmt“. Wir haben sie so mutiert, dass sie kleinste Variationen im Genom mittels PCR diskriminieren kann! Dieses Enzym, genannt R660V, liefert z. B. nur dann Produkt wenn ein G an einer bestimmten Position im Genom der Vorlage ist.

**Beispiel II:**  
Zählung der widerspenstigen DNA-Polymerase

**Factor II prothrombin humane gDNA (WHO International Standards)**

--C-- PCR  
--G-- PCR

oder

--C-- PCR  
--A-- PCR

M. Drum, R. Kranaster, C. Ewald, R. Blasczyk, A. Marx  
PLoS ONE 2014, 9, e96640.

Daher werden in Standard-Verfahren zum Nachweis von RNA-Viren zwei Enzyme eingesetzt. Eine Reverse Transkriptase schreibt zunächst RNA in DNA um. Dieses Enzym ist jedoch nicht thermostabil. Daher wird ein zweites Enzym für die PCR benötigt. Wir haben nun ein Enzym entwickelt, das beide enzymatischen Eigenschaften, reverse Transkriptase- und PCR-Aktivität, in einem einzigen Enzym beheimatet. Mit diesem Enzyme, hier als Hit 2 bezeichnet, gelingt es nun, RNA in einem einzigen Schritt nachzuweisen.

Vor kurzem habe ich mich dann entschlossen mit einem meiner besten ehemaligen Doktoranden, Dr. Ramon Kranaster, und meiner wunderbaren Frau eine Firma zu gründen. So vertreiben wir nun die von uns entwickelten Enzyme und weitere innovative Produkte über myPOLS Biotec.

**DNA-Polymerase mit reverser Transkriptase-Aktivität**

**Standard-Verfahren:**

**Unser Ansatz:**

N. Blatter, K. Bergen, O. Nolte, W. Walle, K. Diederichs, J. Mayer, M. Wieland, A. Marx  
Angew. Chem. Int. Ed. 2013, 52, 11935-9.

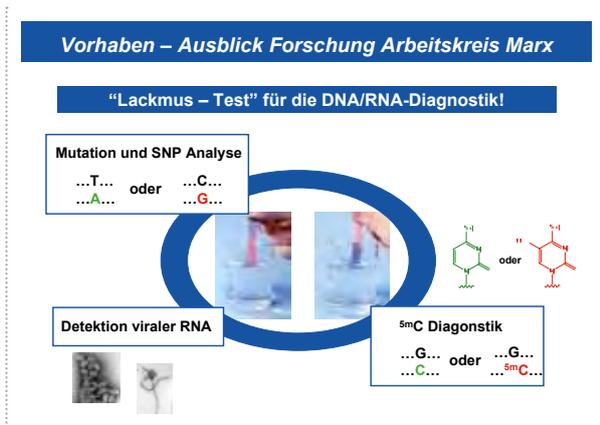
**myPOLS**  
DNA and RNA Polymerase Reagents, Applications and Services

**A FREE KIT**

[www.mypols.com](http://www.mypols.com)

Aber unsere anwendungsorientierte Forschung endet nicht mit den bisher entwickelten Systemen. Wir wollen einen Schritt weitergehen. Ziel ist es, einen „Lackmus-Test“ für die Nucleinsäure-Diagnostik zu entwickeln. Dieser Test soll es zukünftig erlauben, virale RNA oder aber auch kleinste Veränderungen im Genom wie Mutationen oder Methylierungen mit dem „bloßem Auge“, also ohne kostenintensive Geräte, zu detektieren. So wollen wir einen Beitrag leisten, Kosten für die Diagnostik zu senken, ohne dabei deren Qualität zu kompromittieren.

Mein besonderer Dank an diesem heutigen Tage gilt natürlich der Karl Heinz Beckurts-Stiftung. Die Auszeichnung durch sie ist mir nicht nur eine besondere Ehre sondern zugleich auch Ansporn, mit unserer Forschung in diesem Sinne fortzufahren. Herzlichen Dank!



Zum Ende möchte ich nun einigen Personen und Institutionen danken. Mein größter Dank geht an meine zahlreichen äußerst motivierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Ohne deren Engagement und Kreativität wäre nur wenig möglich. Ich danke „meiner“ wunderbaren Universität Konstanz, hier vertreten durch Herrn Rektor Rüdiger, Herrn Kanzler Apitz und Dekan Herrn Scheffner. Dann sind meine großartigen Kooperationspartner zu danken. Die Filme wurde von Samra Obeid erstellt. Ferner danke ich diesen Institutionen, für ihre fortwährende Unterstützung.

**Many thanks...**

**Collaborations**

Martin Scheffner  
 Wolfram Welte, Kay Diederichs  
 Thomas U. Mayer, Marina Rubini (Konstanz)  
 Ulrich Hübscher (Zürich)  
 Floyd Romeberg (La Jolla)

Samra Obeid  
**sciShots**  
 Scishots.online@gmail.com

Boehringer Ingelheim Fonds  
 Studienstiftung des Deutschen Volkes  
 Carl-Zeiss-Stiftung  
 DAAD  
 Alexander von Humboldt-Stiftung  
 Beilstein Stiftung

**DFG**  
**erc**  
**BADEN-WÜRTTEMBERG STIFTUNG**

Prof. Dr. Andreas Marx

Beckurts-Preisträger 2014

## **Anke Kaysser-Pyzalla**

*Sehr geehrte Damen und Herren,*

Musikalisch begleitet haben uns heute die Saxophonisten Jan Grinbert, Florian Leuschner, Mark Pusker und Moritz Stahl von der Hochschule für Musik und Theater München. Herzlichen Dank an Sie und Herrn Prof. Engel für dieses gelungene musikalische Rahmenprogramm.

Seit vielen, vielen Jahren plant und organisiert Frau Stahlberg umsichtig und kompetent als guter Geist der Karl Heinz Beckurts-Stiftung diesen Tag und leitet das Stiftungsbüro. Im Namen des Vorstandes und ich denke – ich spreche auch im Namen der Familie Beckurts – möchte ich mich an dieser Stelle ganz herzlich für ihr Tun und Wirken bedanken.

Wir werden jetzt gemeinsam für den Empfang in den Kaisersaal gehen, zu dem uns dankenswerterweise die Bayerische Staatskanzlei einlädt. Hier wünsche ich uns allen einen schönen Ausklang dieses Abends.



**Anke Kaysser-Pyzalla**

---

Vorstandsvorsitzende der Karl Heinz Beckurts-Stiftung

**Vorstand:**

Prof. Dr. Anke Kaysser-Pyzalla (Vorsitzende)  
Wissenschaftl. Geschäftsführerin  
Helmholtz Zentrum Berlin für Material und Energie

Prof. Dr. Siegfried Russwurm (stellv. Vorsitzender)  
Mitglied des Zentralvorstands der Siemens AG,  
München

Prof. Dr. Manfred Popp  
Vorsitzender des Vorstandes des  
Forschungszentrums Karlsruhe i. R.

**Kuratorium:**

Ina Beckurts, Ehrenmitglied  
München

Prof. Dr. Petra Ahrweiler  
Direktorin der Europäischen Akademie  
Bad Neuenahr-Ahrweiler

Prof. Dr. Tobias Beckurts  
Chefarzt am Krankenhaus der  
Augustinerinnen, Köln

Prof. Dr. Kirsten Bobzin  
Leiterin des Instituts für Oberflächen-  
technik, RWTH Aachen

Prof. Dr. Karl Joachim Ebeling  
(Sprecher des Kuratoriums)  
Präsident der Universität Ulm

Dr. Ulrike Fuchs  
Fraunhofer IWES, Kassel

Prof. Dr. Sibylle Günter  
Wissenschaftliche Direktorin des  
Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik  
Garching

Prof. Dr. Axel Haase  
Direktor des Zentralinstituts für Medizin-  
technik der Technischen Universität München

Prof. Dr. Herbert Jäckle  
Direktor am Max Planck Institut für  
Biophysikalische Chemie, Göttingen

Prof. Dr. Thisbe K. Lindhorst  
Direktorin am Otto-Diels-Institut der  
Universität Kiel

Prof. Dr. Jürgen Mlynek  
Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft  
Deutscher Forschungszentren, Berlin

Prof. Dr. Cynthia A. Volkert  
Direktorin an der Fakultät für Physik der  
Universität Göttingen

Prof. Dr. Regine von Klitzing  
Direktorin am Institut für Chemie der  
Technischen Universität Berlin

Prof. Dr. Doris Wedlich  
Chief Science Officer am  
Karlsruher Institut für Technologie

Prof. Dr. Margret Wintermantel  
Präsidentin der Hochschulrektoren-  
Konferenz, Bonn

Prof. Dr. Jürgen Wolfrum  
Geschäftsf. Direktor BIOQUANT  
Heidelberg

**Bereich: Physik**

Dr. Monika Mattern-Klosson, Oerlikon Leybold, Köln  
Prof.Dr. Hilbert v. Löhneysen, Karlsruher Inst. f.Technol.

**Bereich: Maschinenbau/Verfahrenstechnik**

**Automatisierungstechnik**

Prof.Dr. Lucienne Blessing, Uni-Luxemburg  
Prof.Dr. Peter Gumbsch, Fraunhofer IWM, Freiburg

**Bereich: Biologie/Biochemie**

Prof.Dr. Ursula Klingmüller, DKFZ Heidelberg  
Prof.em. Dr. Peter Herrlich, FLI, Jena  
Prof.Dr. D. Scheel, Leibniz-Instit.f.Pflanzenbiochem., Halle

**Bereich: Mathematik/Informatik/Datenverarb.**

Prof.Dr. Georg Bretthauer, Karlsruher Inst.f.Technologie  
Prof.Dr. Arndt Bode, TU München

**Bereich: Elektrotechn./Mikroelektronik**

Prof.Dr. Markus Amann, W.Schottky Inst., TU München

**Bereich: Chemie/Materialwissenschaft**

Prof.em. Dr. C.D. Eisenbach, Univ. Stuttgart  
Prof.Dr. Dieter Jahn, Echingen  
Prof.Dr. Wolfram Sander, Ruhr Univ.Bochum  
Prof.Dr. Brigitte Voit, Inst.f.Polym.forsch, Dresden

**Bereich: Medizin**

Prof.em. Dr. Franz Hofmann, TU München  
Prof.Dr. R. Hohlfeld, Klinikum Großhadern, LMU München  
Prof.Dr. Heike Allgayer, Med.Fakult. Mannheim, Uni HD

**Bereich: Wirtschaftswissenschaften**

N.N.

**2014**

**Prof. Dr. Andreas Marx**  
(Konstanz)

erhält den Karl Heinz Beckurts-Preis 2014 für seine herausragenden Beiträge im Bereich der chemischen Biologie der DNA-Polymerasen. Diese Enzyme sorgen dafür, dass bei einer Zellteilung das Erbmateriale vervielfältigt wird: Die Polymerasen erstellen Kopien der ursprünglichen DNA. Diese können anschließend auf die Tochterzellen verteilt werden. Andreas Marx hat mit seiner Forschung den Grundstein dafür gelegt, dass DNA-Polymerasen gezielt verändert werden können. Dazu ahmt Marx im Labor die Evolution nach: Mit seinem Team hat er Verfahren entwickelt, mit denen sich Polymerasen im Hochdurchsatz auf Veränderungen durchmustern lassen, die sie für bestimmte Anwendungen – etwa für die Frühdiagnose von Krebs – besonders geeignet machen.

**2013**

**Prof. Dr. Markus Gross**  
(Zürich)

erhält den Karl Heinz Beckurts-Preis 2013 für seine herausragenden Beiträge im Bereich des Visual Computing und den Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Modellierung, Simulation und Animation. Er hat mit seinem wissenschaftlichen Wirken einen bedeutenden Zweig der Informationstechnologie geprägt. Gleichzeitig hat er auf eindrucksvolle Weise seine industrielle Innovationskraft unter Beweis gestellt – in der Unterhaltungsindustrie ebenso wie durch mehrere erfolgreiche Firmenausgründungen.

**2012**

**Dr. Uwe Franke**  
**Dr. Stefan Gehrig**  
**Dr. Clemens Rabe**  
(Stuttgart)

erhalten gemeinsam den Karl Heinz Beckurts-Preis 2012 für das von ihnen entwickelte „6D-Vision“-Verfahren, das den Fahrer künftig in sehr komplexen und unübersichtlichen Verkehrssituationen wie Baustellen oder Kreuzungen unterstützen kann. Damit soll die Zahl der Unfälle im Straßenverkehr wesentlich reduziert werden.

**2011**

**Prof. Dr. Thomas Wiegand**  
**Dr. Detlev Marpe**  
**Dr. Heiko Schwarz**  
(Berlin)

erhalten gemeinsam den Karl Heinz Beckurts Preis 2011 für maßgebliche Fortschritte auf dem Gebiet der Videokodierung. Sie haben H.264/MPEG4-AVC inklusive einiger Erweiterung entwickelt, der sich seitdem als internationaler Standard etabliert hat. H.264/MPEG4-AVC verbessert die Videokodierung insbesondere für mobiles Fernsehen, Videos auf dem Handy oder Filme auf DVD. Er ermöglicht hohe Komprimierungsraten ohne Qualitätsverluste – und durch deutlich höhere Übertragungsraten als alle vorausgegangenen Standards. Er findet weltweit Anwendung in nahezu allen videofähigen Endgeräten.

**2010**

**Prof. Ernst Bamberg** (Frankfurt)  
**Prof. Georg Nagel** (Würzburg)  
**Prof. Peter Hegemann** (Berlin)

werden für die Entdeckung lichtgesteuerter Ionenkanäle und ihren Einsatz in der Neurobiologie geehrt. Dank ihrer Arbeiten können einzelne Nervenzellen mit Hilfe optischer Signale an- und ausgeschaltet werden. Ihre Entdeckung bietet ein enormes klinisches Potenzial für zahlreiche biomedizinische Anwendungsfelder, z. B. für die Behandlung und Heilung neurologischer Krankheiten wie Parkinson oder Epilepsie.

**Dr. Stephan Lutgen**  
**Dr. Désirée Queren**  
**Dr. Adrian Avramescu**  
(Regensburg)

erhalten gemeinsam den Beckurts-Preis 2010 für die Entwicklung hoch effizienter, grün emittierender Laserdioden. Mit ihnen lassen sich erstmals äußerst kompakte Lasersysteme aufbauen, die für Mobiltelefone, Kameras oder Laptops revolutionäre Anwendungen versprechen. Die auch im internationalen Vergleich herausragende Entwicklung bietet ein großes Marktpotenzial, ihre Marktreife wird in Kürze erwartet.

**2009**

**Professor Dr. Franz Josef Giessibl**  
(Regensburg)

Universität Regensburg, erhält den Beckurts-Preis 2009 für die Erfindung und Entwicklung eines Sensors, der Oberflächen mit atomarer Auflösung abtasten kann. Damit wurde die Basis für ein hoch auflösendes Mikroskop geschaffen, das neue Einblicke in die Natur des Kleinen ermöglicht. Der qPlus Sensor wird heute schon in zahlreichen Feldern eingesetzt, so etwa bei der dreidimensionalen Abbildung chemischer Kräfte, der Bestimmung der bei der Herstellung kleinster Strukturen aus Einzelatomen wirkenden Kräfte, oder der Messung elektrostatischer Kräfte, die durch die Ladung eines einzelnen Elektrons auf einem bestimmten Atom wirken. Im Jahre 2000 wurde in Deutschland das Patent für den Sensor erteilt.

Mittlerweile produzieren und vermarkten verschiedene deutsche Unternehmen Mikroskope für vielfältige Einsatzmöglichkeiten, die auf dem Patent des qPlus Sensors beruhen.

**Professor Dr. Eberhart Zrenner**

(Tübingen)

Universitätsklinikum Tübingen, erhält den Beckurts-Preis 2009 für seine herausragenden Forschungsergebnisse bei der Erforschung, Entwicklung und klinischen Erprobung des weltweit ersten subretinalen elektronischen Netzhautimplantats. Dieses stellt bei erblindeten Menschen Sehleistung wieder her, die bis hin zur Erkennung von Buchstaben und Wörtern reicht. Hierbei wird ein Chip mit 1500 lichtempfindlichen Dioden, Verstärkern und Elektroden unter die Netzhaut eingepflanzt, der das Bild in ein Raster von elektrischen Impulsen umwandelt und über Netzhautneurone an das Gehirn weiterleitet. Im Zuge einer ersten klinischen Pilotstudie erhielten seit 2005 elf Patienten das von ihm und seinen Partnern entwickelte System implantiert. Hiermit konnte Zrenner für die weltweite Retina-Implantat-Forschung den grundlegenden Beweis erbringen, dass elektronische Netzhautimplantate machbar sind und blinden Patienten die Orientierung sowie Lokalisation und Erkennung von Gegenständen bis hin zur Buchstabengröße von Zeitungüberschriften ermöglichen kann.

**2008**

**Prof. Dr.-Ing. Ahmad-Reza Sadeghi**

(Bochum)

Ruhr-Universität Bochum, erhält den Beckurts-Preis 2008 für die Entwicklung von Konzepten zur praktischen Anwendung von Trusted Computing, deren Nutzen sich in realen Anwendungen bereits bewiesen hat. Trusted Computing ist eine aufkommende Technologie, die neue Wege eröffnet, um die Sicherheit von Computerplattformen zu erhöhen. Ihr Ansatz ist es, herkömmliche IT-Systeme um vertrauenswürdige Komponenten zu erweitern. Das von Professor Sadeghi entwickelte Hauptkonzept bezieht sich auf die so genannte eigenschaftsbasierte Attestierung, welche IT-Systemen ermöglicht, Außenstehende von gegebenen Sicherheitseigenschaften des Systems zu überzeugen. Sadeghi ist einer der internationalen IT-Sicherheitsexperten, denen es gelungen ist, in kürzester Zeit ein neues Forschungsgebiet zu etablieren und zugleich einen Technologietransfer zu ermöglichen, bei dem eine neue Schlüsseltechnologie bis hin zur Produktreife umgesetzt werden konnte.

**Prof. Dr. Thomas Scheibel**

(Bayreuth)

Universität Bayreuth, erhält den Beckurts-Preis 2008 für seine herausragenden Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Biotechnologie, Biochemie und Proteinbasierter Materialien. Erstmals konnte dank seiner Arbeiten ein außergewöhnliches Naturprodukt, die von Spinnen produzierten Spinnenseidenproteine, auf biotechnologischem Wege hergestellt werden. Dieses in Festigkeit und Dehnbarkeit außergewöhnliche faserförmige Naturmaterial ist stabiler als die meisten Kunstfasern, ist biokompatibel und antiallergen, hat aber aufgrund fehlender geeigneter Produktionsverfahren bisher noch keinen Einzug in Industrie und Technik gefunden. Mittlerweile wurde das umfangreiche Portfolio durch die Technische Universität München in die neu gegründete AMSILK GmbH eingebracht.

**Prof. Dr. Peter H. Seeberger**

(Zürich)

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, erhält den Beckurts-Preis 2008 für die Entwicklung neuer Methoden zur automatisierten Synthese komplexer Zucker-Antigene. Mit der automatisierten Kohlenhydrat-Synthese hat Prof. Seeberger die Voraussetzungen für die Weiter- und Neuentwicklung von zuckerbasierten Medikamenten und Impfstoffen geschaffen. Seine Arbeiten haben bereits zu zahlreichen synthetischen Vaccinen geführt, die zuvor aus natürlichen Quellen nicht in ausreichender Menge oder Reinheit isoliert werden konnten. Weitere Beispiele sind die chemische Synthese von Heparin und die Entwicklung eines möglichen Impfstoffes gegen die Tropenkrankheit Leishmaniose. Auch bei Prof. Seeberger erfolgte die Transformation der wissenschaftlichen Erkenntnis in die technische Anwendung durch eine Firmengründung.

**2007**

**Professor Dr. Thomas Tuschl**

(New York)

Rockefeller University, New York, erhält den Beckurts-Preis 2007 für seine Arbeiten zur Entwicklung eines bahnbrechenden Verfahrens in der Genforschung, der so genannten RNA-Interferenz, und den darauf basierenden erfolgreichen Patenten. RNA (Ribonukleinsäure) setzt in Zellen genetische Informationen in Proteine um und greift in die Genregulation ein. Mit Hilfe der RNA-Interferenz ist es möglich, einzelne Gene zu deaktivieren („abzuschalten“). Auf der Grundlage seiner Forschungsarbeiten entstanden zwei bedeutende Patente, die von mehreren Firmen in Europa und den USA lizenziert wurden und schon zu beträchtlichen Umsätzen führen. Mögliche künftige Anwendungen des Verfahrens liegen in der Behandlung von Tumoren und Erbkrankheiten.

**Professor Dr. Axel Ullrich**

(Martinsried)

Max-Planck Institut für Biochemie, Martinsried, erhält den Beckurts-Preis 2007 für richtungweisende wissenschaftliche Arbeiten, die zur Entwicklung und Zulassung modernster Krebsmedikamente geführt haben. Bereits in den 80er Jahren führten seine Arbeiten zur Entwicklung von Humulin (Humanes Insulin zur Behandlung von Diabetes), dem weltweit ersten mit gentechnischen Methoden entwickelten und biotechnologisch hergestellten Therapeutikum. Durch die Grundlagenforschung von Professor Ullrich konnten zwei weitere Medikamente entwickelt werden, die heute in der Krebstherapie Einsatz finden: Herceptin® und Sutent®. Axel Ullrich hat nicht nur in der Grundlagenforschung wesentlich zur Entwicklung der internationalen biotechnologischen Forschung beigetragen, sondern war auch Mitbegründer von vier Biotech-Unternehmen und bereitete so den Weg für den Transfer der Entdeckungen in die Entwicklung von Therapeutika.

2006

**Professor Dr. Johannes Buchmann**

(Darmstadt)

erhält den Beckurts-Preis für seine Forschungsarbeiten zur langfristigen Sicherheit elektronischer Signaturen und deren praktische Umsetzung. Sie sind das elektronische Äquivalent zur eigenhändigen Unterschrift in der Computer-Welt, eine Art digitales Siegel. Diese Signatur bestätigt die Echtheit eines Dokuments. Elektronische Signaturen spielen heute eine zentrale Rolle in der Computersicherheit. Gewährleistet wird beispielsweise die Sicherheit von Homebanking-Anwendungen oder Gesundheitskarten. Eine einzige neuartige mathematische Idee kann schlagartig alle elektronischen Signaturen unsicher machen. Deshalb widmete Buchmann sich der Erfindung, Erforschung und Implementierung alternativer Signaturverfahren. 2003 wurde seine Software FlexiTrust, die den schnellen Austausch kryptographischer Methoden unterstützt, in Kooperation mit T-Systems und dem Deutschen Zentrum für Künstliche Intelligenz bei der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post eingeführt. Sie sichert damit alle qualifizierten Signaturen in Deutschland ab. Auch das Bundesamt für die Sicherheit in der Informationstechnik verwendet FlexiTrust für die Zertifizierung der ab 2006 gültigen Reisepässe.

**Dr. Maximilian Haider** (Heidelberg)**Prof. Dr. Harald Rose** (Darmstadt)**Prof. Dr. Knut Urban** (Jülich)

Dr. Maximilian Haider, CEOS GmbH, Heidelberg, Professor Dr. Harald Rose, früher Institut für Angewandte Physik der Technischen Universität Darmstadt sowie Professor Dr. Knut Urban, Direktor am Institut für Festkörperforschung des Forschungszentrums Jülich, erhalten den Karl Heinz Beckurts-Preis für ihre gemeinsamen bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet der Elektronenoptik. Die für diese Technik bisher eingesetzten elektromagnetischen Linsen weisen starke Abbildungsfehler auf, welche in Elektronenmikroskopen zu erheblichen Einschränkungen bei der erreichbaren Auflösung führen. Den drei Preisträgern ist es erstmals gelungen, ein elektromagnetisches Korrekturlement zu entwickeln und zu bauen, das ähnlich einer Brille die Abbildungsfehler der Objektivlinse eines Elektronenmikroskops korrigieren kann. Das von ihnen mit einem solchen Korrekturlement ausgerüstete kommerzielle Elektronenmikroskop erreicht atomares Auflösungsvermögen. Es erlaubt die Beobachtung von Atomarten, beispielsweise Sauerstoff, die bislang der Mikroskopie verschlossen waren und ermöglicht die Vermessung atomarer Strukturen auf besser als ein Milliardstel Zentimeter genau. Das aus der Arbeit der Preisträger hervorgegangene Startup-Unternehmen CEOS ist bislang der einzige und weltweit exklusive Lieferant der Korrektursysteme.

2005

**Professor Dr. Friedrich Kremer**

(Leipzig)

für seine exzellenten Arbeiten auf dem Gebiet der breitbandigen dielektrischen Spektroskopie sowie deren industriellen Umsetzung. Diese Methode stellt heute neben der NMR-Spektroskopie und der dynamischen Lichtstreuung eine dominierende experimentelle Technik dar. Die breitbandige dielektrische Spektroskopie wird in vielfältiger Weise genutzt, um die molekulare Dynamik in weicher Materie und Festkörpern zu studieren. Durch die Aktivitäten von Kremer ist die dielektrische Spektroskopie heutzutage eine breitbandige Methode geworden, die einen Frequenzbereich von 10<sup>-3</sup> bis 10<sup>9</sup> Hertz überstreicht.

**Professor Dr. Arne Skerra**

(Freising-Weihenstephan)

für seine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet des Protein-Designs. Anticaline gehören zu einer durch Protein-Design gewonnenen neuen Klasse von Biomolekülen mit weitreichenden Anwendungen in der Medizin, Biotechnologie, Bioanalytik und biowissenschaftlichen Forschung, die von Skerra erstmals entwickelt wurden. Diese Anticaline bieten eine Alternative zu konventionellen wie auch rekombinierten Antikörpern und weisen zahlreiche technologische Vorteile auf.

**Professor Dr. Clemens Zierhofer**

(Innsbruck)

für seine überragenden Leistungen auf dem Gebiet der Innenohrprothesen. Er hat wichtige Beiträge zur Weiterentwicklung von sogenannten Cochlea Implantaten geleistet und dabei insbesondere durch Einführung neuer Techniken und Geräte die Funktion dieser Implantate maßgeblich verbessert. Menschen mit Gehörlosigkeit als Folge des Ausfalls der Haarzellen des Innenohrs, die mechanische Vibrationen in elektrische Signale umwandeln, kann heute in vielen Fällen mit Hilfe von Cochlea Implantaten geholfen werden.

2004

**Prof. Dr. Markus Amann****Dr. Markus Ortsiefer**

(München)

Für ihre richtungsweisenden Arbeiten auf dem Gebiet der optischen Sensorik und Datenübertragung sowie deren industriellen Umsetzung. Amann und Ortsiefer entwickelten in beeindruckend kurzer Zeit neuartige oberflächenemittierende Laserdioden in dem für die faseroptische Nachrichtenübertragung, die Gasanalyse und die Umweltmesstechnik besonders wichtigen nahen Infrarotbereich. Herkömmliche Laserdioden können Wellenlängenbereiche oberhalb 1,5 Mikrometern nicht abdecken; mit den von Amann und Ortsiefer entwickelten und von VERTILAS gefertigten Laserdioden stehen heute hochwertige Laserdioden im Wellenlängenbereich von 1,3 bis 2 Mikrometern zur Verfügung. Weltweit konnte mit dieser patentierten Entwicklung sofort eine führende Stellung im Bereich der Oberflächenemitter erzielt werden.

**Prof. Dr. Gerhard Höfle**

**Prof. Dr. Hans Reichenbach**

(Braunschweig)

für ihre excellenten Arbeiten in der Naturstoffforschung. Die Arbeiten Höfles und Reichenbachs auf dem Gebiet der Sekundärmetaboliten aus Myxobakterien ermöglichten die Erschließung neuartiger Naturstoffklassen, die zum Beispiel bei der Behandlung verschiedener Krebsarten zum Einsatz kommen können. Die einmalige Kenntnis und das beharrliche Arbeiten Reichenbachs mit den schwer zugänglichen Myxobakterien haben die Untersuchungen Höfles, eines der erfolgreichsten Naturstoffchemiker unserer Zeit, überhaupt erst möglich gemacht. Eine prominente, von Gerhard Höfle entdeckte, neuartige Naturstoffklasse sind die Epothilone, die zukünftig als Antitumormittel Anwendung finden sollen.

**Prof. Dr. Hans Lehrach**

(Berlin)

für seine überragenden Leistungen auf dem Gebiet der Genomforschung. Als einer der Koordinatoren des deutschen Humangenomprojekts, Mitglied im internationalen HUGO-Komitee und des Fachbeirats der Deutschen Ressourcenzentrum für Genomforschung GmbH, war er maßgeblich an der Entzifferung des menschlichen Genoms beteiligt. Hierbei sind sowohl seine wissenschaftlichen Leistungen als auch seine Aufgabe als Projekt-Koordinator zu nennen. Basis hierfür sind Lehrachs langjährige Forschungsaktivitäten im Bereich der Genomanalyse; im besonderen Maße seine Arbeiten zur systematischen Genomanalyse mit Hilfe von innovativen Hochdurchsatztechnologien, vor allem der Microarray-Technik, und der Bioinformatik.

**2003**

**Prof. Dr. Michael Karas**

(Frankfurt)

**Prof. Dr. Franz Hillenkamp**

(Münster)

für ihre Arbeiten auf dem Gebiet der Massenspektrometrie, in jüngster Zeit eine der wichtigsten Analysemethoden für die Biologie und Biochemie. Die von ihnen entwickelte Methode MALDI zählt zu den fundamentalen methodischen Entwicklungen der Bioanalytik und hat die modernen Biowissenschaften revolutioniert. Bei MALDI wird die Probe in einer geeigneten Matrix aus kleinen organischen Molekülen eingebettet. Mittels eines Lasers werden die Moleküle der Probe aus dieser Matrix desorbiert, ionisiert und im Massenspektrometer analysiert.

**Prof. Dr. Thomas Lengauer**

(Saarbrücken)

Für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Grundlagenforschung in theoretischer und angewandter Informatik. In eindrucksvoller Weise wird der Weg von der Grundlagenforschung über die Realisierung und Umsetzung der Ideen bis hin zur Anwendung weltweit genutzter Software und kommerziell erfolgreicher Produkte demonstriert. Aufgrund der interdisziplinär angelegten Arbeiten werden Brücken zu anderen Fächern wie der Elektrotechnik, der Chemie und Biologie geschlagen.

**Dr. Wilma K.-Weyrather**

**Dr. Michael Scholz**

**Dr. Michael Krämer**

(Darmstadt)

für ihre Arbeiten auf dem Gebiet der Tumorthherapie mit Ionenstrahlen. Das Team erarbeitete dafür die biologische Grundlage in Experimenten, setzten diese in ein theoretisches Modell um und integrierte die Ergebnisse in die Bestrahlungsplanung für Tumorpatienten. Die neuartige Biologie-basierte Bestrahlungsplanung erzielte für inoperable und strahlenresistente Tumore Erfolge, die die anderer Therapien weit übersteigen.

**2002**

**Prof. Dr. Christoph Bräuchle**

(München)

für seine Arbeiten auf dem Gebiet bildgebender Verfahren zur Visualisierung von Virus-Infektionen. Mit Hilfe seines revolutionären Verfahrens kann der Infektionsweg einzelner Virusteilchen in lebenden Zellen direkt verfolgt werden. Viren werden mit einer molekularen „Lampe“ versehen und durch Einzelmolekül-Fluoreszenzmikroskopie abgebildet.

**Dr. Stefan Hell**

(Göttingen)

für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Mikroskopie. Seine Entwicklungen führten zu bahnbrechenden Ergebnissen: in der Lichtmikroskopie konnte die über viele Jahrzehnte unverrückbare Auflösungsgrenze um das Vielfache überwunden werden. Jetzt können auch Strukturen im 10 Nanometer-Bereich aufgelöst werden. Insbesondere für die Biologie eröffnet dies neuartige Beobachtungsmöglichkeiten.

**Dr. Walter Krenkel**

(Stuttgart)

für seine Arbeiten auf dem Gebiet der keramischen Verbundwerkstoffe. Er entwickelte das sogenannte Flüssigsilicierverfahren zur Herstellung keramischer Verbundwerkstoffe. Ursprünglich für zukünftige Raumtransporter entwickelt, gilt es heute als das vielversprechendste Herstellungsverfahren für keramische Industrieprodukte, eine Vielzahl erfolgreicher Bremsentwicklungen wurden bereits durchgeführt.

**2001**

**Prof. Dr. Karsten Buse**

(Bonn)

für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Angewandten Optik. Vor allem bei der Untersuchung photorefraktiver Kristalle hat er bahnbrechende wissenschaftliche Ergebnisse erzielt. Zu den herausragenden Ergebnissen gehört ein Modell, das alle physikalischen Mechanismen und Phänomene der Photorefraktion korrekt vorhersagt, und die optische Fixierung von Volumen hologrammen in photorefraktiven Kristallen. Photorefraktive Kristalle werden als schmalbandige Wellenlängenfilter in der Telekommunikation eingesetzt. Sie spielen als sogenannte durchstimmbare Multiplexer eine ganz wesentliche Rolle beim Aufbau künftiger Glasfasernetze. Herr Buse nimmt an der Entwicklung dieses interessanten Marktes aktiv mit der von ihm an führender Stelle mitgegründeten Firma „Ondax“ teil, die innerhalb sehr kurzer Zeit eine gute Marktposition hat.

**Prof. Dr. Wolfgang Baumeister**

(München)

für seine Arbeiten zu Entwicklung der Elektronentomographie, einer Methode, die vor allem die zelluläre Strukturbioogie revolutionieren wird. Zusammen mit seinen Mitarbeitern hat er in mehr als 10 Jahren systematischer Arbeit den Nachweis geliefert, dass in Eis gebettete Zellorganellen oder ganze Zellen, die weder chemisch fixiert noch kontrastiert sind, mit molekularer Auflösung dreidimensional rekonstruiert werden können. Die von ihm mit seinen Mitarbeitern entwickelten Mustererkennungsverfahren ermöglichen es, Proteinkomplexe bekannter Struktur in den Volumina ganzer Zellen zu identifizieren und zu lokalisieren. Damit liefert die Elektronentomographie Einblicke in die supramolekulare Organisation der Zelle. Professor Baumeisters erfolgreiche Bemühungen um den Technologietransfer sind durch langjährige Zusammenarbeit mit einem Hersteller von Elektronenmikroskopen und einer Ausgründung aus seiner Arbeitsgruppe belegt.

2000

**Prof. Dr. Günter Kappler**

(München)

für seine umfassende Transferleistung wissenschaftlich-technischer Vorarbeiten als Ordinarius des Lehrstuhls für Flugantrieb der Technischen Universität München in die industrielle Umsetzung zur erfolgreichen Entwicklung schadstoffarmer Verbrennungsverfahren und reaktionskinetischer Untersuchungen entstand die Konzeption einer Triebwerkfamilie für Geschäftsreiseflugzeuge. Als Geschäftsführer der 1990 gegründeten BMW Rolls Royce GmbH gelang ihm mit Hilfe eines internationalen Teams von etwa 800 Ingenieuren innerhalb weniger Jahre die hochinnovativen Triebwerke bis zur Serienreife und Flugzulassung zu entwickeln. Die neue Triebwerkfamilie konnte sich sofort gegen die starke internationale Konkurrenz behaupten und ist weiter auf dem Markt erfolgreich.

**Prof. Dr. Andreas Plückthun**

(Zürich)

für herausragende Arbeiten zur gezielten Synthese von Antikörpern. Durch seine grundlegenden Arbeiten zum „Protein-Engineering“ ist es ihm gelungen, neue Methoden zur Herstellung von Antikörpern zu entwickeln, die zunehmend für neuartige diagnostische und therapeutische Anwendungen benötigt werden. Mit neuen Methoden der kombinatorischen Biologie konnte Herr Plückthun die Voraussetzungen für eine vollsynthetische humane Antikörperbibliothek schaffen. Die von ihm 1992 mitgegründete Firma MorphoSys ist eines der ersten und erfolgreichen Beispiele für die kommerzielle Umsetzung der Gentechnologie durch neue Unternehmensgründungen in Deutschland.

**Prof. Dr. Dr. h.c. Wolfgang Wahlster**

(Saarbrücken)

für seine herausragenden Leistungen auf dem Gebiet der Sprachtechnologie, die auf einer engen Verbindung von Informatik und Linguistik basieren. Seine richtungsweisenden Arbeiten haben die Mensch-Technik-Interaktion für die Endanwender vereinfacht und verbessert. Die von ihm und seiner Arbeitsgruppe entwickelten natürlichsprachlichen Dialogsysteme mit dynamischer Benutzermodellierung können bestehende Hemmschwellen von Computerlaien bei der Nutzung der Informationstechnologie abbauen und leisten so einen wichtigen Bei-

trag zur Nutzerfreundlichkeit der Technik in der Wissensgesellschaft. Der gelungene Transfer der neuartigen Verfahren zur maschinellen Verarbeitung von Spontansprache und zur automatischen Multimedia-generierung hat zu zahlreichen neuen Produkten und Firmengründungen geführt.

1999

**Prof. Dr. Heinz-Otto Peitgen**

(Bremen)

für seine Arbeit zur segmentorientierten Chirurgie. Ziel seiner Arbeiten zur Leberdiagnose ist es, Lebertumoren, die mit einem der bildgebenden Verfahren der Medizin entdeckt wurden, in ihrer Lage genau zu beschreiben. Das medizinische Entscheidungsproblem, welche Teile der Leber der Chirurg verletzen muss, um den Tumor zu finden und zu entfernen, wird dabei auf das mathematisch anspruchsvolle Segmentationsproblem zurückgeführt. Die von Herrn Peitgen und seiner Arbeitsgruppe entwickelten Rechenverfahren führten zu dem ersten kompletten radiologischen „Software-Assistenten“ für den Chirurgen. Da mit seiner Hilfe die Operation genau geplant werden kann, konnten mit seiner Hilfe bislang unoperable Lebertumore erfolgreich entfernt werden.

**Prof. Dr. Roland Wiesendanger**

(Hamburg)

für die Weiterentwicklung der Rastertunnelmikroskopie und der damit verbundenen Untersuchungsverfahren. Sie machen das Rastertunnelmikroskop – das unter Ausnutzung des quantenmechanischen Tunneleffekts eine Oberfläche bis zu 10 millionenfach vergrößert abbilden kann zu einer hochpräzisen Sonde. Mit ihrer Hilfe lassen sich unterschiedlichste Materialien und Oberflächen auf atomarer Skala sichtbar machen und sogar verändern. Gewünschte Strukturen können so maßgeschneidert aus kleinsten Elementen, aus einzelnen Atomen, aufgebaut werden. Die Methoden und Geräte, die in Herrn Wiesendangers Arbeitsgruppe und häufig in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt wurden, ebneten damit den Weg in die Nanotechnologie, eine der Zukunftstechniken des 21. Jahrhunderts.

**Prof. Dr. Lothar Willmitzer**

(Golm)

für richtungsweisende Arbeiten in der pflanzlichen Gentechnologie und der molekularen Pflanzenphysiologie. Seine Forschung umfasst die Aufklärung von Stoffwechselwegen, die Entdeckung von Genaktivierung und -kontrolle, sowie die Entwicklung von Strategien zur gezielten Ausschaltung von Genen bei Pflanzen. Die von Willmitzer geschaffenen Grundlagen haben ein tieferes Verständnis der Pflanzenphysiologie ermöglicht und mündeten 1994 in seiner Berufung an das neu gegründete Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie. Die Fähigkeit des Preisträgers, die gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse in wirtschaftlich realisierbare Konzepte fließen zu lassen, führte neben der Gründung zweier Firmen zu einer Erweiterung der Biotechnologie um einen grünen, einen pflanzlichen Zweig.

1998

**Prof. Dr. Lutz Claes**

(Ulm)

für die Entwicklung von Hilfsmaßnahmen für Menschen mit erkranktem Bewegungsapparat. Hierzu gehören unter anderem Stifte aus Polyaktid, mit denen Knochenbrüche verbunden werden. Die sich im Körper auflösenden Stifte können die operative Entfernung des Implantats überflüssig machen. Eine von ihm entwickelte Hüftgelenksprothese soll dem Problem sich lockernder Prothesen entgegenarbeiten. Diese Entwicklungen bzw. Weiterentwicklungen verbessern die Patientenversorgung und bieten damit den beteiligten Firmen gesteigerte Wettbewerbsvorteile.

**Prof. Dr. Christoph von der Malsburg**

**Prof. Dr. Werner von Seelen**

(Bochum)

für ihre Arbeiten zur Hirnforschung und deren Übertragung auf intelligente technische Systeme. Beide sind das maschinelle Erkennen von Gesichtern, etwa zur automatisierten Zugangskontrolle in Sicherheitsbereichen oder – für kriminalistische Zwecke – die weltweit erste computergestützte Lichtbilddatenbank. Anhand eines Phantombildes, Fotos oder Videofilm – Ausschnitts kann sie Gesichter vollautomatisch vergleichen und identifizieren. Ein weiteres Beispiel ist die Steuerung mobiler Roboter, die sich visuell orientieren – lernfähige Maschinen, die in einer natürlichen Umgebung komplexes Verhalten zeigen sollen. Beide Wissenschaftler haben ihre Arbeiten mit industriellen Partnern in konkrete technische Anwendungen umgesetzt.

**Prof. Dr. Jürgen Wolfrum**

(Heidelberg)

für die Entwicklung von Messverfahren mit Hilfe von Laserlicht, wie z. B. die Nutzung von Laserstrahlen zur Untersuchung von Verbrennungsprozessen. Die beteiligten Stoffe lassen sich durch Laserlicht spezifisch anregen und damit beobachten. So gewinnt man ein genaues Bild der hochkomplexen chemischen Prozesse. Anwendung fand dies – in Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen – zur Untersuchung der unerwünschten Stickoxid-Bildung in Automotoren oder zur Prozesssteuerung bei der Müllverbrennung. Die Laserdiagnostik wird hier zur genauen Einstellung der Luftzufuhr benutzt. So lassen sich Schadstoffemissionen verringern und Energiegewinn erhöhen. Stets vereinigen seine Arbeiten grundlagenorientierte Forschung mit direkter technischer Anwendung.

1997

**Prof. Dr. Wilhelm Barthlott**

(Bonn)

für die Untersuchung des Anti-Haftmechanismus an pflanzlichen Oberflächen und ihre Anwendung in der Entwicklung neuer – unverschmutzbarer – Werkstoffe. Die Ergebnisse botanischer Grundlagenforschung haben ergeben, dass z. B. die Blätter der Lotusblume nicht nur vollkommen unbenutzbar mit Wasser sind, sondern dass an ihnen auch keinerlei Schmutzpartikel festhaften können. Raue Oberflächen bleiben erstaunlicherweise sauberer als glatte, wenn bestimmte Strukturen beibehalten werden. Der „Nachbau“ dieser unverschmutzbaren Oberflächen soll zu neuen Verfahren in der Herstellung von Lacken, Fassadenbeschichtungen und Dachbedeckungen führen.

**Prof. Dr. Karl Joachim Ebeling**

(Ulm)

für die Entwicklung neuartiger Vertikallaserdioden für die optische Datenübertragung.

Anders als übliche Laserdioden senden diese Vertikallaserdioden das Laserlicht nicht seitlich, sondern aus der Oberfläche. Dies ermöglicht wesentlich einfacher handhabbare und billigere Anwendungen. Die weltweite Entwicklung der Vertikallaserdioden wurde maßgeblich mitbestimmt und ist inzwischen eng in die Entwicklung eines Prototyps in einem Industrieunternehmen eingebunden. Die deutsche Industrie wird in die Lage versetzt, konkurrenzfähige Produkte mit Vertikallaserdioden anzubieten.

**Prof. Dr. Brigitte Wittmann-Liebold**

**Dipl.-Ing. Christian Wurzel**

(Berlin und Teltow)

für die Entwicklung eines Analysesystems, mit dem kleinste Mengen von Proteinen und Peptiden untersucht werden können. Mit Hilfe dieses Systems ist es möglich, mit geringsten Mengen an Gewebeproben bestimmte Krankheiten und ihre verschiedenen Stadien zu erkennen. Statt bislang 30 bis 150 Milligramm genügen schon Mikrogramm für eine Untersuchung. Der hierfür entwickelte Mikrochip wurde bereits patentiert und soll zur Marktreife gebracht werden.

1996

**Prof. Dr. Timm Anke**

(Kaiserslautern)

**Prof. Dr. Wolfgang Steglich**

(München)

erforschten bislang unbekannte Naturstoffe aus Pilzen. Bei ihrer Suche nach neuartigen Molekülen mit ungewöhnlichen Eigenschaften wollten sie klären, ob sich Pilz-Inhaltsstoffe als Arznei- oder Pflanzenschutzmittel eignen oder als Vorbilder für synthetische Varianten dienen können. Der gelungene Transfer von der Hochschule zur industriellen Anwendung hat inzwischen zu einer völlig neuen Stoffklasse von Agrarfungiziden geführt.

**Prof. Dr. Gerd Hirzinger**

(Oberpfaffenhofen)

entwickelte Sensortechniken und Steuerungsverfahren für Roboter mit breitem Einsatzspektrum: Leistungssteigerung bei Industrierobotern, Steuerung eines Roboters im Weltraum oder Einsatz im medizinischen wie auch im 3D-graphischen Bereich. Hier fand Technologietransfer aus einer Großforschungseinrichtung in idealer Weise statt.

**Prof. Dr. Wolfgang Schlegel**

(Heidelberg)

entwickelte neue Verfahren zur Strahlenbehandlung von Tumorpatienten. Er hat die modernen und leistungsfähigen Diagnose-Verfahren der Magnetresonanz- und Positronenemissions-Tomografie für die dreidimensionale Tumorbestrahlung nutzbar gemacht und damit eine neue Qualität in der Bestrahlungsplanung erreicht.

1995

**Prof. Dr. Hermann Bujard**

(Heidelberg)

hat Untersuchungen zum Mechanismus der Genwirkung durchgeführt, mit denen es möglich wurde, Gene höherer Organismen mit bakteriellen Schaltern zu versehen. Es ist zu erwarten, dass dank dieser Arbeit die somatische Gentherapie einen neuen Entwicklungsschub erleben wird.

**Dr. Arnd Greiling****Dr. Wolfgang Stolz**

(Marburg/Lahn)

entwickelten neuartige, wesentlich verbesserte Ausgangssubstanzen zur Herstellung von III/V Halbleiterbauelementschichten. Das verbesserte Ausgangsmaterial ist erheblich weniger giftig als das bisher verwendete. Es wurden insbesondere der Wissenstransfer von der Universität zur industriellen Nutzung gewürdigt.

**Dr.-Ing. Helmut Klausing**

(München)

hat entscheidende Arbeiten bei der Entwicklung eines hochauflösenden Radars für Hubschrauber geleistet. Sie bieten einen Lösungsweg für ein bis heute ungelöstes Problem, den Allwetter-Einsatz von Hubschraubern. Die Entwicklung wird als Musterbeispiel für Technologietransfer aus einer Forschungseinrichtung in die industrielle Innovation angesehen.

1994

**Prof. Dr. Kurt Mehlhorn**

(Saarbrücken)

sind herausragende wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der Datenstrukturen und Algorithmen zu verdanken, die auch in die industrielle Praxis umgesetzt wurden. Wichtige Anwendungsgebiete werden heute von diesen Arbeiten wesentlich mitgeprägt.

**Dipl.-Phys. Stefan Miltenyi**

(Bergisch-Gladbach)

**Prof. Dr. Andreas Radbruch**

(Köln)

haben gemeinsam neue Verfahren zur Analyse und Isolierung einzelner, vor allem seltener Zellen entwickelt, die von großer diagnostischer und therapeutischer Bedeutung sind und in Deutschland und den USA industriell verwertet werden.

**Prof. Dr. Frieder Scheller**

(Potsdam)

hat wegweisende Arbeiten auf dem Gebiet der Biosensoren aufzuweisen. Er steht für eines der seltenen Beispiele eines gelungenen Ost-West-Technologietransfers in der Vorwendezeit und ist auch weiterhin sehr erfolgreich um die wirtschaftliche Verwertung seiner Entwicklungen bemüht.

1993

**Prof. Dr. Klaus Brockhoff**

(Kiel)

hat den Forschungs- und Entwicklungsbereich (FuE) der Industrie betriebswirtschaftlich analysiert und die Wechselwirkung zwischen diesem Bereich und dem Rest des Unternehmens offengelegt. Seine Arbeiten bedeuten einen Durchbruch bei der Überwindung der Schnittstelle zwischen FuE und Produktion.

**Dr. Jens Frahm**

(Göttingen)

hat Verfahren der kernmagnetischen Resonanz-Spektroskopie entwickelt, die in der Medizin über die anatomische Darstellung hinausgehend völlig neuartige Einblicke in metabolische und funktionelle Vorgänge im lebenden Organismus ermöglichen. Viele wichtige medizinische Anwendungen sind durch seine wissenschaftlichen Beiträge geprägt.

**Prof. Dr. Herbert Gajewski**

(Berlin)

hat Techniken zur mathematischen Modellierung, zur analytischen Behandlung und zur numerischen Simulation von naturwissenschaftlichen und technischen Prozessen entwickelt, die sowohl in der Wissenschaft als auch ganz besonders in der Industrie beim Entwurf elektronischer Bauelemente mit großem Nutzen eingesetzt werden.

1992

**Prof. Dr. Peter H. Seeburg**

(Heidelberg)

hat zum ersten Mal ein menschliches Hormon, das Wachstumshormon, im Labor gentechnisch synthetisiert und das Verfahren zur industriellen Reife entwickelt. Damit und mit weiteren Arbeiten ist es Herrn Seeburg gelungen, auf dem Gebiet der Gentechnik Brücken von der Grundlagenforschung zur industriellen Praxis zu schlagen.

**Prof. Dr. Dieter Seitzer**

(Erlangen)

ist durch Arbeiten zur Datenreduktion von digitalisierten Signalen und zu deren mikroelektronischer Realisierung für Anwendungen im Audio- und Videobereich hervorgetreten. Ein entscheidendes Element war dabei die Berücksichtigung der physiologischen Eigenschaften der Sinneskanäle.

**Prof. Dr. Sigmar Wittig**

(Karlsruhe)

hat sich durch grundlegende Arbeiten auf dem Gebiet der Gasturbinenentwicklung ausgezeichnet. Dabei ging es um gute Ausnutzung der Primärenergie, Minimierung der Schadstoffemissionen und Optimierung der Werkstoffe. Er hat damit ganz wesentlich zum Einsatz der Gasturbine in der Kraftwerkstechnik beigetragen.

1991

**Prof. Dr. Hans-Herbert Brintzinger**

(Konstanz)

**Prof. Dr. Walter Kaminsky**

(Hamburg)

haben mit grundlegenden Arbeiten über lösliche Ziegler-Katalysatoren einerseits einen entscheidenden Beitrag zum Verständnis ihrer Wirkungsweise geleistet und andererseits neue Katalysatoren entwickelt, mit deren Hilfe die Polymerisation von Alpha-Olefinen in homogener Phase gelang.

**Prof. Dr. Hans Georg Musmann**

(Hannover)

hat mit grundlegenden Arbeiten über Quellencodierung für die digitale Nachrichtenübertragung, die sich auch in wichtigen internationalen Standardisierungsempfehlungen niedergeschlagen haben, einen bedeutenden Beitrag zur modernen Nachrichtentechnik geleistet.

**Dr. Dietmar Temmler**

(Frankfurt/Oder)

hat ein innovatives Verfahren zur Herstellung von Silizium-Speicherzellen entwickelt, dessen Kern die Entkoppelung der logischen Funktion und der Speicherfunktion ist. Dieses Verfahren hat die Chance, eine wichtige Rolle in der industriellen Fertigung zu spielen.

1990

**Prof. Dr. Gerd Herziger**

(Köln)

hat mit seinen grundlegenden Arbeiten auf dem Gebiet der Lasertechnik und des Einsatzes von Laseranlagen und -verfahren in der Fertigungstechnik das Bild der Lasertechnik in der Bundesrepublik ganz wesentlich mitgeprägt.

**Prof. Dr. Karl-Heinz Hoffmann**

(München)

**Prof. Dr. Martin Grötschel**

(Berlin)

haben ein über die Grenzen Deutschlands hinaus bekanntes Institut an der Universität Augsburg aufgebaut, in dem sie und ihre Mitarbeiter mit großem Erfolg mathematischen Methoden, vor allem für die industrielle Praxis, entwickelt haben.

**Prof. Dr. Dieter Oesterhelt**

(München)

entdeckte, dass das Bacteriorhodopsin wie eine lichtgetriebene Ionenpumpe funktioniert und machte damit erstmals die Umwandlung von Licht in biologisch verwertbare Energie einer näheren Untersuchung in einer Substanz zugänglich. Diese Arbeiten werden von der Industrie mit aktivem Interesse verfolgt.

1989

**Prof. Dr. Horst Albach**

(Koblenz)

hat sich durch sein wissenschaftliches Lebenswerk als Betriebswirt als großer Anreger seines Fachs ausgewiesen. Durch seine Arbeit zieht sich wie ein roter Faden das Bemühen, wissenschaftliche Erkenntnisse auch in die wirtschaftliche und wirtschaftspolitische Praxis zu überführen.

**Prof. Dr. José L. Encarnação**

(Darmstadt)

hat ein graphisches Programmiersystem entwickelt, das von größter wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Bedeutung ist und sich dank des Engagements und Geschicks seines Autors auch als internationaler Standard durchgesetzt hat.

**Prof. Dr. Albrecht Fleckenstein**

**Prof. Dr. Gisa Fleckenstein-Grün**

(Freiburg)

haben ihr gemeinsames Lebenswerk der Untersuchung und pharmakologischen Ausarbeitung des von ihnen entdeckten Kalzium-Antagonismus gewidmet. Die auf der Grundlage dieser Forschungsergebnisse zum Teil von ihnen selbst mitentwickelten Medikamente haben ungezählten Menschen das Leben erleichtert oder sogar gerettet.







**HERAUSGEBER:** Stiftungsbüro der Karl Heinz Beckurts-Stiftung  
Boltzmannstr. 2 · D-85748 Garching b. München · Germany · Telefon: 089 3299-2232  
Internet: [www.beckurts-stiftung.de](http://www.beckurts-stiftung.de) · E-Mail: [Christina.Stahlberg@ipp.mpg.de](mailto:Christina.Stahlberg@ipp.mpg.de)

**Redaktion:** Christina Stahlberg

**Bildrechte :** Dr. Ulrich Schwenn · VIPLA · München

Durch ihre Zusage erklärten sich die Teilnehmer der Veranstaltung mit der Veröffentlichung von Bild- und Tonaufnahmen einverstanden.