

# Forschungsspitzen und Spitzenforschung





Prof. Dr. Wulf Fischer  
Gründungsrektor der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg  
(1999–2008)

Christoph Zacharias · Klaus W. ter Horst  
Kurt-Ulrich Witt · Volker Sommer  
Marc Ant · Ulrich Essmann  
Laurenz Mülheims  
Herausgeber

# Forschungsspitzen und Spitzenforschung

Innovationen an der Fachhochschule  
Bonn-Rhein-Sieg

Festschrift für Wulf Fischer

Physica-Verlag

Ein Unternehmen  
von Springer

Prof. Dr. Christoph Zacharias  
Prof. Klaus W. ter Horst  
Prof. Dr. Kurt-Ulrich Witt  
Prof. Dr. Volker Sommer  
Prof. Dr. Marc Ant  
Prof. Dr. Ulrich Essmann  
Prof. Dr. Laurenz Mülheims

Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg  
53754 Sankt Augustin

christoph.zacharias@fh-brs.de  
klaus.terhorst@fh-brs.de  
kurt-ulrich.witt@fh-brs.de  
volker.sommer@fh-brs.de  
marc.ant@fh-brs.de  
ulrich.essmann@fh-brs.de  
laurenz.muelheims@fh-brs.de

Redaktion: Ha-Na Choi

ISBN 978-3-7908-2126-0

e-ISBN 978-3-7908-2127-7

DOI 10.1007/978-3-7908-2127-7

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2009 Physica-Verlag Heidelberg

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungs- pflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

*Herstellung:* le-tex publishing services oHG, Leipzig  
*Umschlaggestaltung:* WMXDesign GmbH, Heidelberg  
*Fotos (Titel):* Eric A. Lichtenscheidt

Gedruckt auf säurefreiem Papier

9 8 7 6 5 4 3 2 1

springer.de

# Geleitwort von Prof. Dr. Andreas Pinkwart

Nichts ist heute wichtiger für eine Region, als ihr Wissenspotenzial und die Kreativität ihrer Bürgerinnen und Bürger für die Zukunftsgestaltung zu nutzen. Denn Innovationen sind der einzige Garant für Wachstum und Beschäftigung. Die Köln-Bonner Region zählt dabei zu den chancenreichsten Standorten in Europa.

Und dazu tragen bei weitem nicht nur die Traditionsuniversitäten und alt-eingesessenen Forschungseinrichtungen bei. Das sieht man sehr gut in der Region Bonn-Rhein-Sieg. Sie hat nach dem Berlin-Umzug von Parlament und Teilen der Bundesregierung bewiesen, wie gut sie Veränderungsdruck umwandeln kann in die positive Dynamik von Fortschritt und Erneuerung. Die Finanzhilfen, die die Region zum Ausgleich erhielt, hat sie erfolgreich genutzt, um sich als Wissenschaftsregion zu profilieren – etwa durch bedeutende Neuansiedlungen wie die Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg. Heute hat die Bonner Region mehr Arbeitsplätze als vor dem Umzug. Und deutschlandweite Rankings bestätigen ihr einen Spitzenplatz bei der Gründungsdynamik.

Die FH Bonn-Rhein-Sieg trägt zu diesem positiven Saldo der Wissensregion sehr engagiert bei. Dass sie mittlerweile ein echter Schrittmacher für Fortschritt in der Region ist, ein Anziehungspunkt für Studierende aus aller Welt, dass sie sich in ihrem Umfeld als FuE-Partner der Wirtschaft sehr schnell einen Namen gemacht hat, dass sie selbstbewusst auf ihre moderne Fachbereichsstruktur und ihre anwendungsorientierte Forschung verweisen kann – all dies verdankt sie zu einem Gutteil ihrem Gründungsrektor, Prof. Dr. Wulf Fischer.

1995 startete die FH ihren Lehrbetrieb in Sankt Augustin und Rheinbach mit jeweils einem Studiengang Wirtschaft und rund 60 Studierenden. Heute gibt es an den mittlerweile drei Standorten Sankt Augustin, Rheinbach und Hennef sechs Fachbereiche, 17 Studiengänge und rund 4.500 Studierende.

Der Auftrag der FH lautete von Anfang an: den Strukturwandel in der Region zu fördern, neue Ausbildungsmöglichkeiten zu schaffen und einen Beitrag zur strukturellen Entwicklung des Wirtschaftsraumes zu leisten. Ein anspruchsvolles Programm, dem sich die FH unter ihrem Gründungsrektor in beispielgebender Weise gewachsen zeigte.

Dafür kann man viele Punkte ins Feld führen, ein paar möchte ich besonders hervorheben:

Sehr wichtig erscheint mir, dass die FH ein überzeugendes individuelles Profil als „unternehmerische Hochschule“ entwickelt hat. Mit großem Erfolg

fördert sie die Existenzgründung ihrer Absolventen und Wissenschaftler. Seit Ende der 90er Jahre sind aus der FH zahlreiche Firmen entstanden; viele dieser Gründungen hat die Hochschule unterstützt und begleitet.

Um in puncto unternehmerischer Geist nichts dem Zufall zu überlassen, sondern eine echte Kultur der Selbständigkeit zu etablieren, hat die FH das zentrale Institut für Existenzgründung und Mittelstandsförderung (IfEM) gegründet. Dieses Institut übernimmt die Querschnittsaufgabe, den Studierenden aller Fachbereiche unternehmerisches Denken und Handeln als Kernkompetenz zu vermitteln. 15 Prozent der Studierenden – so die Perspektive – sollen an den Lehrveranstaltungen teilnehmen.

Hinzu kommt, dass die FH sowohl in Sankt Augustin wie in Rheinbach auf ihrem Gelände den BusinessCampus Rhein-Sieg beheimatet; das ist das Zentrum für Gründung, Ansiedlung und Wachstum junger Unternehmen im Rhein-Sieg-Kreis und in der Wissenschaftsregion Bonn

Angesichts dieses klaren Credos für unternehmerisches Engagement verwundert es nicht, dass die FH Bonn-Rhein-Sieg zu den 23 Hochschulen gehört, die im Dezember 2007 die Innovationsallianz NRW gegründet haben, um ihren Wissenstransfer zu professionalisieren. Sie ist damit Teil des deutschlandweit bisher größten Transferbündnisses von Hochschulen.

Wissenstransfer kann allerdings nur gedeihen, wenn die Substanz von Lehre und Forschung überzeugt. Rektor Fischer und seinen Mitstreiterinnen und Mitstreitern in der FH ist es zu verdanken, dass die FH Bonn-Rhein-Sieg auch in dieser Hinsicht heute sehr gut dasteht. Wie gut, das zeigt dieser Band zu Ehren des ausscheidenden Rektors.

Wer sich schnell entwickelt hat, wie die FH Bonn-Rhein-Sieg, dem würde man verzeihen, wenn er nach einer Phase großer Dynamik und starken Wachstums erst einmal durchatmen wollte. Umso mehr zeichnet es die FH allerdings aus, dass sie das nicht tut. Ein guter Beweis dafür ist das Institut für interdisziplinäre Studien (IfIS). Gegründet 2003 auf Initiative des Rektorats sowie der Fachbereiche Informatik und Wirtschaft, entwickelt das Institut interdisziplinäre Studiengänge und Angebote des weiterbildenden Studiums. Das sorgt für eine gute Perspektive in der Lehre. Auch was die Forschung betrifft, will die FH sich nicht auf dem Erreichten ausruhen, sondern ihr Profil weiter schärfen, bestehende Forschungsschwerpunkte aus- und neue aufbauen – und dies auf Zukunftsfeldern wie Visual Computing oder Nachhaltige Unternehmensentwicklung. Was die FH heute schon in allen Fachbereichen in der angewandten Forschung auf den Platz bringt, von „Litho-Jet-Bohrverfahren“ bis „Sozialversicherungswissenschaft“, von „Kommunikation im Katastrophenschutz“ bis zu modernen Methoden der Materialwissenschaft – das stellt dieser Band vor.

Die Hochschule verabschiedet sich mit dieser Publikation über ihre „Forschungsspitzen“ von ihrem Gründungsrektor. Der Band zeigt, was möglich ist in dieser ambitionierten jungen Hochschule. Was könnte ein schöneres Ab-

schiedsgeschenk für denjenigen sein, unter dessen Leitung die Hochschule in den Aufbaujahren ihr Profil entwickelt und ihren Kurs bestimmt hat.

Prof. Fischer war bereits ein erfahrener „Hochschulhase“, als er 1999 nach Sankt Augustin kam. Über 15 Jahre an der FH Hagen, in denen der Physiker zeitweilig Dekan des Fachbereichs Physikalische Technik und Prorektor für Forschungsangelegenheiten war, lagen da bereits hinter ihm, auch einige Jahre als Gründungsrektor der Märkischen FH Iserlohn, als Präsident der FH Rheinland-Pfalz und nach deren Umwandlung als Gründungspräsident der FH Mainz.

Die Hochschule, die Region und das Innovationsland Nordrhein-Westfalen haben von Professor Fischers Erfahrung, seinem Engagement und seiner Kompetenz sehr profitiert. Dafür möchte ich ihm persönlich und im Namen der Landesregierung ganz herzlich danken.

Im Juli 2008

Prof. Dr. Andreas Pinkwart  
Minister für Innovation, Wissenschaft,  
Forschung und Technologie  
des Landes Nordrhein-Westfalen

# Geleitwort von Frithjof Kühn

Die Verabschiedung des geschätzten Gründungsrektors der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg in den Ruhestand fällt mir als Landrat des Rhein-Sieg-Kreises, aber auch persönlich, nach neun Jahren enger, guter und vertrauensvoller Zusammenarbeit nicht leicht.

Insgesamt neun Jahre hat Herr Professor Fischer sehr erfolgreich die Geschicke der FH gelenkt. Leider ist der Abschied nun unvermeidlich und Herr Professor Fischer wird dieses Recht auf eine verdienstermaßen „ruhigere“ Lebensphase auch wahrnehmen wollen. Und das soll er auch!

Ich möchte Herrn Professor Fischer natürlich nicht in den Ruhestand ziehen lassen, ohne seine Verdienste angemessen zu würdigen.

1999 hat er die Aufgabe des Gründungsrektors, der damals noch jungen und im Aufbau befindlichen FH Bonn-Rhein-Sieg übernommen, deren Gründung erst durch den Bonn-Berlin-Ausgleich möglich wurde. Neben den typischen Aufgaben in Forschung und Lehre hatte diese Hochschule auch den besonderen Auftrag, ein Motor für die Strukturentwicklung im Rhein-Sieg-Kreis zu sein. Durch qualifizierte Absolventen sollte sie helfen, den hiesigen Unternehmen dringend benötigte Arbeitskräfte zur Verfügung zu stellen. Sie sollte durch Wissenstransfer und Kooperationen in Forschung und Entwicklung Innovationspotentiale erschließen und sie sollte durch Ausgründungen helfen, unsere Wirtschaftsstruktur durch junge, innovative Unternehmen zu bereichern. Vor diesem Hintergrund hatte und hat der Rhein-Sieg-Kreis ein vitales Interesse am Erfolg dieser Hochschule und an einer engen Zusammenarbeit.

Herr Professor Fischer hat die FH in einer sehr strategisch ausgerichteten Weise geführt und mit Erfolg immer wieder entscheidende Weichenstellungen für ihren Aufbau und ihre systematische Weiterentwicklung vorgenommen. So hat er bei der Hochschulentwicklung im Rahmen des Vier-Säulenmodells aus Wirtschaft, Informatik, Natur- und Ingenieurwissenschaften stets alle Chancen für eine qualitative und quantitative Wachstumsorientierung genutzt, um Risiken, die sich aus kritischen Mindestgrößen ergeben können, für die Hochschule zu vermeiden. Der nicht immer einfachen Situation der Aufteilung dieser Hochschule ist er mit einer erfolgreichen Schärfung unterschiedlicher Profile der drei Standorte Sankt Augustin, Rheinbach und Hennef begegnet.

Bedingt durch den Bologna-Prozess sind inzwischen die bisherigen Diplomabschlüsse durch die internationalen Abschlüsse Bachelor und Master abgelöst worden. Hier war die FH Bonn-Rhein-Sieg Vorreiter und erlangte als erste Hochschule in Nordrhein-Westfalen die für den international anerkannten Bachelor- und Masterstudiengang notwendige Akkreditierung. Inzwischen sind bereits fünf Masterstudiengänge eingerichtet worden.

Stets ist auch der Ausbau des Bereichs der kooperativen Ausbildung von Herrn Professor Fischer unterstützt worden. Es war ihm wichtig, die Lehrangebote der Hochschule zukunftsorientiert und am Bedarf der Unternehmen in der Region zu auszurichten. Dank seiner Unterstützung wurde etwa der kooperative Studiengang Maschinenbau/Mechatronik in Zusammenarbeit mit der IHK Bonn/Rhein-Sieg gemeinsam mit einer Gruppe mittelständischen Unternehmen aus der Region auf den Weg gebracht. Der Bereich der Informatik wurde gemeinsam mit der Fraunhofer Gesellschaft ausgebaut und der neue Masterstudiengang Autonome Systeme auf die besonderen Bedürfnisse der hiesigen Unternehmen ausgerichtet. Auch der in Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung in Hennef durchgeführte Studiengang Sozialversicherung fügt sich hervorragend in diese Linie ein. In Zeiten knapper öffentlicher Mittel ist es ein zukunftsweisender Ansatz, zusätzliche Lehrangebote durch externe Finanzierungsanteile zu ermöglichen.

Bei einem so großen Engagement und einer zukunftsorientierten Weiterentwicklung der Lehrangebote ist es kein Zufall, dass die FH Bonn-Rhein-Sieg auch bei Hochschulrankings hervorragend abschneidet und ebenso bei der Einwerbung von Drittmitteln in Nordrhein-Westfalen weit vorne liegt.

Die unter dem Rektorat von Professor Fischer getroffenen Strukturentscheidungen und die anhaltende Verpflichtung der Hochschule auf ihren besonderen Gründungsauftrag, ein Motor der regionalen Strukturentwicklung zu sein, haben den Rhein-Sieg-Kreis immer motiviert, die enge Zusammenarbeit noch weiter zu vertiefen und auszubauen. Diese Kooperation verfolgt eine gemeinsame Strategie und baut auf die zunehmende Vernetzung unserer wirtschaftsorientierten Aktivitäten.

Als einer der ersten Schritte unserer Zusammenarbeit wurde die Hochschulbibliothek mit der Kreisbibliothek vereinigt. Kreis und Hochschule haben im Jahr 2003 einen Kooperationsvertrag abgeschlossen und sich zur engen Zusammenarbeit im Bereich Gründungsförderung verpflichtet. Beide organisieren seither die SUPRA-Frühstückskonferenzen für Gründer, Unternehmer, Finanzfachleute und Berater. Die Kreiswirtschaftsförderung organisiert für die Wissenschaftsregion Bonn-Rhein-Sieg professionelle Auftritte auf wichtigen internationalen Messen – ein Angebot, das von der FH und ihren Ausgründungen seit Jahren genutzt wird, um Zugang zu den internationalen Märkten zu finden.

Die von Herrn Professor Fischer betriebene Profilierung der FH als eine unternehmensorientierte Bildungseinrichtung manifestiert sich auch in der

Durchführung wirtschaftsbezogener Veranstaltungen. So hat sich beispielsweise der jährliche Unternehmenstag der FH inzwischen als *die* Hochschulmesse der Region etabliert.

In diesen bewährten Partnernverbund ist vor vier Jahren auch die Kreissparkasse Köln eingetreten. Hochschule, Kreis und Kreissparkasse haben sich mit Ihrer Unterstützung auch auf institutioneller Ebene zusammengeschlossen und eine gemeinsame GmbH für den Betrieb des BusinessCampus in Sankt Augustin und in Rheinbach gegründet. Die drei Partner bilden über ihre Vertreter auch eine gemeinsame Geschäftsführung des BusinessCampus GmbH, die das Ziel verfolgt, Gründern und jungen Unternehmen optimale Beratung, Ansiedlungs- und Entwicklungschancen unter dem Dach der FH zu bieten.

Mit jährlich über 80 Veranstaltungen der Gründungsakademie Rhein-Sieg unter dem Dach der FH führen diese Partner in den Räumen des Business-Campus ein umfangreiches und erfolgreiches Veranstaltungsprogramm durch.

All diese Beispiele veranschaulichen, wie sehr die FH unter dem Rektorat von Professor Fischer zu einer tragenden Säule der Entwicklungspolitik für eine moderne Wirtschaftsstruktur im Rhein-Sieg-Kreis geworden ist.

Zu einem zentralen Standortfaktor für Unternehmen hat sich auch die Verfügbarkeit gut ausgebildeter Fachleute entwickelt. Durch die anwendungsorientierte Lehre und den Wissens- und Technologietransfer ist die FH ein Motor der Innovation für die hiesige Wirtschaft. Sie unterstützt damit die Erhaltung und Modernisierung der industriellen Struktur des Kreises. Das erfolgreich umgesetzte Konzept einer gut funktionierenden Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft, von Kreis und FH sind herausragende und bleibende Verdienste der engagierten Arbeit von Herrn Professor Fischer als Rektor dieser Hochschule.

Daneben ist es Herrn Professor Fischer immer ein wichtiges Anliegen gewesen, auch die interdisziplinären und sozialen Initiativen im Hochschulleben zu unterstützen. Aktivitäten wie das FH-Radio, die Campus Band, der Chor oder die Theatergruppe waren ihm eine Herzensangelegenheit.

Als Landrat des Rhein-Sieg-Kreises möchte ich Herrn Professor Fischer anlässlich seiner Verabschiedung in den Ruhestand herzlich für sein Engagement danken! Er kann heute mit Stolz auf seine Arbeit und die Entwicklung der FH Bonn-Rhein-Sieg zurückblicken. Der herausragende Einsatz von Professor Fischer hat sich auf die Entwicklung der gesamten Region positiv ausgewirkt.

Persönlich danke ich Herrn Professor Fischer für die enge und gute Zusammenarbeit, in allen uns gemeinsam betreffenden Fragen, die stets von einer vertrauensvollen und sachlichen Atmosphäre begleitet war.

Ein japanisches Sprichwort sagt: „Es gibt ein Bleiben im Gehen, ein Gewinnen im Verlieren, im Ende einen Neuanfang.“ In diesem Sinne wünsche ich Herrn Professor Fischer, dass das Ende der Tätigkeit an der FH Bonn-Rhein-

Sieg, für den Anfang eines spannenden, neuen Lebensabschnitts steht. Alles Gute für die Zukunft!

Im Juli 2008

Frithjof Kühn  
Landrat des Rhein-Sieg-Kreises

# Geleitwort von Bärbel Dieckmann

Die Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg wächst und wächst, links- und rechtsrheinisch. Sie ist mit Betrieben und Institutionen in der Region bestens vernetzt und schon jetzt ein leistungsfähiger Motor für unseren regionalen Arbeitsmarkt. So liefert die FH Bonn-Rhein-Sieg der regionalen Wirtschaft hoch qualifizierte Arbeitskräfte und wichtiges Innovationspotential. Sie steht – um es in den Worten von Professor Wulf Fischer zu sagen – für den Wandel von einer regierungsorientierten Region in eine wirtschaftsorientierte Region.

Zwei Namen hängen untrennbar zusammen mit der dynamischen und erfolgreichen Entwicklung der FH Bonn-Rhein-Sieg. Als Planungsbeauftragter und erster Gründungsrektor hat sich Professor Hubertus Severin mit seinem Pioniergeist und Ideenreichtum große und bleibende Verdienste erworben. Professor Wulf Fischer hat als sein Nachfolger als Gründungsrektor das Profil der FH geschärft und der weiteren Entwicklung die wesentlichen Impulse verliehen.

Wulf Fischer verkörpert dabei auf bemerkenswerte Weise die Verschmelzung von Wirklichkeits- und Möglichkeitssinn. Er ist Pragmatiker mit dem Blick fürs Wesentliche; er weiß um die Bedeutung des Details fürs Ganze, aber er verzettelt sich nicht in Einzelheiten. Sein Blick bleibt nicht an Kirchtürmen hängen, sondern hat einen großen Radius. Er ist Netzwerker wie viele und Brückenbauer wie wenige. Er ist verbindlich, doch nie in jenem rheinischen Sinne, niemandem wehtun zu wollen, sondern im preußischen, verlässlich zu sein und einer Sache auf den Grund zu gehen. Er ruht in sich und kann auf Menschen zugehen. Er kann nachgeben, ohne sich selber dabei etwas zu vergeben. All diese Eigenschaften und Energien flossen in die Gründung und dann vor allem in die Weiterentwicklung der FH ein.

Wulf Fischer hatte vom Anfang an den Gesamtzusammenhang der Forschungsregion im Blick; 2000 setzte er mit der Namensänderung – von der FH Rhein-Sieg zur FH Bonn-Rhein-Sieg – ein klares Signal. Die FH hat dieses Signal von innen wie nach außen bewusst umgesetzt. Professor Fischer war immer Stichwortgeber und dann auch Motor für gemeinsame Plattformen der Wissenschaftsregion; sein Verdienst um die Wissenschaftsnacht als einem gemeinsamen Auftritt der in der Region versammelten Wissenschaftseinrichtungen ist nicht hoch genug einzuschätzen. Von innen heraus ist die FH über die Jahre eine Fülle von Kooperationen eingegangen, die den interdis-

ziplinären und damit natürlich auch innovativen Charakter von Lehre und Forschung entscheidend mitgeprägt haben.

Es ist der Erfahrung und der Souveränität von Wulf Fischer zuzuschreiben, dass die FH Bonn-Rhein-Sieg von vornherein konsequent auf den Berufsfeldbezug gesetzt hat. Der mancherorts zu beobachtenden und dann auch zu beklagenden Versuchung, sich auf eine Kräfte raubende, doch am Ende fruchtlose Rivalität mit der Grundlagenforschung an der Universität oder an spezialisierten Forschungseinrichtungen einzulassen, hat man in St. Augustin klug widerstanden. Stattdessen hat man herkömmliche Curricula via Kooperationen zu interessanten und für den Markt attraktiven Spezialkompetenzen weiterentwickelt; einige dieser Studiengänge genießen inzwischen vordere und vorderste Plätze in betreffenden Rankings.

Professor Wulf Fischer scheidet zum Jahresende 2008 aus dem Amt; andere führen seine Arbeit fort. Solche Übergänge haben immer etwas Herausforderndes. Doch „der kluge Mann baut vor“, sagt das Dichterwort – das gilt natürlich in besonderem Maße für die Zeit, in der jemand das von ihm initiierte und geprägte Geschehen nicht mehr unmittelbar bestimmen und gestalten kann. Wir können Wulf Fischer einen glücklichen Ruhestand wünschen, weil wir alle wissen, dass er sein Haus wohl bestellt verlässt und dafür Sorge getragen hat, dass die FH Bonn-Rhein-Sieg uns allen weiterhin ein überaus verlässlicher Partner ist.

Für die großartige Arbeit, die Professor Wulf Fischer geleistet und mit der er unsere gemeinsame Sache, die Stärkung der Wissenschafts- und Wirtschaftsregion Bonn-Rhein-Sieg/Ahrweiler, vorangetrieben hat, sind wir ihm von Herzen dankbar.

Im Juli 2008

Bärbel Dieckmann  
Oberbürgermeisterin der Stadt Bonn

# Geleitwort von Prof. Dr. med. Rupert Gerzer

Im letzten Jahr habe ich abends einige Male Herrn Fischer mit dem Auto von der Fachhochschule am Standort Sankt Augustin in die Südstadt Bonns mitgenommen. Es regnete oder war nach einer längeren Sitzung zu spät fürs Radfahren. So konnte ich ihn, nachdem ich ja erst vor einem Jahr mit ihm in Kontakt gekommen war, auch persönlich etwas näher kennenlernen.

Jedes Mal war die Fahrt viel zu kurz – versteht es Herr Fischer doch, in seiner bescheidenen Art seinen Gesprächspartner Schritt für Schritt so in seinen Bann zu ziehen, dass man einfach gespannt ist, wie es weitergeht. Und das Hauptthema war auch tatsächlich, wie es mit der – bzw. man meint eher, mit seiner – FH weitergeht.

Ein wenig hat er mir auch über sein Vorleben beim Aufbau der FH Rheinland-Pfalz verraten, aber eigentlich nur als Einleitung zum Hauptthema: Die Zukunft der FH Bonn-Rhein-Sieg. Für mich wichtige Lektionen eines sehr erfolgreichen Machers – der aber gar nicht als Macher auftritt. Dabei geht es um das Hauptziel: Wie schafft es die FH, so zu wachsen und weiter zu gedeihen, dass die Absolventinnen und Absolventen optimal auf das spätere Berufsleben vorbereitet sind und erfolgreiche Berufslaufbahnen einschlagen.

Schlagworte dafür sind allen voran Vernetzung mit der Industrie, Unterstützung der Gründung von Firmen aus der FH heraus, attraktive und interdisziplinäre Studienplatzangebote, Familiengerechtigkeit, regionale Zusammenarbeit, Internationalität und Zusammenarbeit mit strategisch wichtigen internationalen Partneruniversitäten.

Man kann schon zusammenfassen: Glückliche Hochschule, die einen Gründungsdirektor wie Herrn Fischer hat.

Ich selber hätte einen Wunsch: Hoffentlich gelingt es, Herrn Fischer weiterhin – z.B. als „Botschafter“ insbesondere im Bereich der internationalen Zusammenarbeit – in die Hochschule einzubinden.

Zunächst bedanke ich mich sehr bei ihm für die geleistete Arbeit, wünsche ihm das Beste – natürlich auch im Sinne der Hochschule mit weiterer Zusammenarbeit – und der Hochschule, dass die Fortune der Hochschule so treu bleibt wie unter seiner Führung.

Juli 2008

Prof. Dr. med. Rupert Gerzer  
Vorsitzender des Hochschulrats

# Inhaltsverzeichnis

**Geleitwort von Prof. Dr. Andreas Pinkwart..... V**

**Geleitwort von Frithjof Kühn ..... IX**

**Geleitwort von Bärbel Dieckmann ..... XIII**

**Geleitwort von Prof. Dr. med. Rupert Gerzer ..... XV**

*Teil 1: Fachbereich Wirtschaftswissenschaften Sankt Augustin*

**Das Litho-Jet-Bohrverfahren ..... 5**

*Franz W. Peren*

**Ökonomie der digitalen Wirtschaft.....17**

*Reiner Clement*

**IT-Offshoring: Entscheidungsprozess..... 27**

*Andreas Gadatsch*

**Forschungsprojekt Web 2.0..... 37**

*Jens Böcker und Britta Classen*

*Teil 2: Fachbereich Informatik*

**Entwicklung eines elektronischen Mutterpasses ..... 51**

*G. Noelle, R. Herpers, D. Hellmuth und R. Christ-Köhler*

**FIVIS – Bicycle Simulator in the Immersive Visualisation  
Environment “Immersion Square” ..... 61**

*R. Herpers, W. Heiden, M. Kutz, D. Scherfgen, U. Hartmann,  
J. Bongartz, and O. Schulzyk*

<b>Visual Computing an der FH Bonn-Rhein-Sieg .....</b>	<b>69</b>
<i>Wolfgang Heiden, Rainer Herpers und André Hinkenjann</i>	
<b>Zuverlässige Ad-Hoc-Kommunikation mobiler Endgeräte mit satellitengestützter Internet-Anbindung im Katastrophenschutz.....</b>	<b>77</b>
<i>K. Jonas, N. Jung, M. Cremer, S. Diob, T. Islam, Y. Slimi und M. Wessel</i>	
<b>Educational Robotics: On the Role of Robotics in Learning and Education .....</b>	<b>83</b>
<i>Gerhard K. Kraetzschmar</i>	
<b>Referenzmodell für den Entwurf hochakzeptabler technischer Anwendungen .....</b>	<b>91</b>
<i>Karl W. Neunast</i>	
<b>Performance Optimizations in Embedded System Design .....</b>	<b>101</b>
<i>Paul G. Plöger</i>	
<b>Zero-Day und Less-than-Zero-Day Vulnerabilities und Exploits .....</b>	<b>113</b>
<i>Hartmut Pohl</i>	
<b>Autonomous Design of Experiments for Learning by Experimentation .....</b>	<b>125</b>
<i>Erwin Prassler, Björn Kahl, Timo Henne, Alex Juarez, and Monica Reggianni</i>	
<b>Hand and Finger Protection for Circular Saws.....</b>	<b>137</b>
<i>Dietmar Reinert, Norbert Jung, and Oliver Schwaneberg</i>	

*Teil 3: Fachbereich Elektrotechnik, Maschinenbau,  
Technikjournalismus*

**Mathematische Modellbildung und numerische Methoden  
zur Strömungs-, Transport- und Reaktionssimulation in  
Netzwerken ..... 151**

*Gerd Steinebach*

**Podcasts – Wesen und Funktion einer konvergenten  
Medienform ..... 165**

*Andreas Schümchen und Thorsten Sellheim*

**A New Generation of Highly Efficient Light Sources ..... 175**

*Robert Scholl*

*Teil 4: Fachbereich Wirtschaft Rheinbach*

**Zur Wettbewerbssituation kleiner und mittelständischer  
Unternehmen in der BRD – Implikationen für das  
strategische Controlling ..... 195**

*Klaus Deimel*

**Cluster in der Gesundheitswirtschaft und deren  
Vernetzung ..... 207**

*Bernd Ebel*

**Managementkonzepte und Managementmoden ..... 219**

*Dietmar Fink und Bianka Knoblach*

**Evaluation als Treiber nachhaltiger Effizienzsteigerung im  
regionalen Beschäftigungsnetzwerk ..... 231**

*Oded Löwenbein und Karsten Heinrich*

**Neue Ansätze zur Abbildung von Ausfallrisiken in der  
externen Rechnungslegung von Banken ..... 241**

*Stephanie Mehl, Wilhelm Schneider und Tobias Amely*

**Der Wasser-Sektor in Sub-Sahara Afrika und die Bedeutung der Weltbank..... 253**

*Wiltrud Terlau*

**Der Sozialkonstruktivismus als epistemologische Grundposition in der angewandten Management- und Organisationsforschung ..... 263**

*Marc Ant*

*Teil 5: Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften Rheinbach*

**A Security Assistance System Combining Person Tracking with Chemical Attributes and Video Event Analysis..... 277**

*C. Becher, G.L. Foresti, P. Kaul, W. Koch, F.P. Lorenz, D. Lubczyk, C. Micheloni, C. Piciarelli, K. Safenreiter, C. Siering, M. Varela, S.R. Waldvogel, and M. Wieneke*

**Chemical Structures of Thermal Stable Long-Chain n-Alkyl Amines Used in Corrosion Inhibiting Formulations in Water-Steam and Heating Water Systems in the Power Industry ..... 297**

*Gerd Knupp, Peter Kusch, Marian Kozupa, and Maria Majchrzak*

**Identification of Polymeric Residues in Recycled Aluminium by Analytical Pyrolysis-Gas Chromatography-Mass Spectrometry ..... 307**

*Peter Kusch, Wolfgang Fink, Dorothee Schroeder-Obst, and Volker Obst*

**Quasi Static Indentation Measurements: A Tool for Micro-mechanical Investigations of Interfaces in Polymer Materials.....315**

*Bernhard Möglinger, Volker Herrmann, and Claus Unseld*

**Adult Human Mesenchymal Stem Cells as Source for Future Tissue Engineering..... 329**

*Edda Tobiasch*

**Antiphospholipid Syndrome Patients Display Reduced  
Titers of Soluble CD21 in Their Sera Irrespective of  
Circulating Anti-β2-Glycoprotein-I Autoantibodies..... 339**

*Anjana Singh, Miri Blank, Yehuda Shoenfeld, and Harald Illges*

*Teil 6: Fachbereich Sozialversicherung*

**Herzfrequenzvariabilität als Indikator mentaler  
Anspannung..... 353**

*Johannes Mockenhaupt*

**Die Sozialversicherungswissenschaft als  
Integrationswissenschaft ..... 365**

*Laurenz Mülheims, Karin Hummel, Christian Rexrodt,  
Susanne Peters-Lange und Johannes Mockenhaupt*

*Teil 7: Institut für Existenzgründung und Mittelstandsförderung  
(IfEM)*

**Der Erfolg interdisziplinärer Gründungslehre am Beispiel  
der FH Bonn-Rhein-Sieg ..... 389**

*Christoph Zacharias, Ha-Na Choi und Sarah Luna Weaver*

**Mobile Business ..... 405**

*Christoph Wamser*

**Über die Autoren ..... 419**

**Teil 1:**  
**Fachbereich Wirtschaftswissenschaften**  
**Sankt Augustin**

*Der 1995 mit der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg gegründete Fachbereich Wirtschaftswissenschaften hat sich von Beginn an dem Primat der Lehre verschrieben. Auch nach 13 Jahren erfolgreicher Arbeit steht das Kollegium entschlossen hinter dem Ziel, die Studierenden gründlich auszubilden und in ihrem Lern- und Reifungsprozess zu unterstützen. Die Fachhochschulen erfüllen den wichtigsten Teil ihrer Transferaufgabe mit gut ausgebildeten Absolventinnen und Absolventen. Sie sind hierzu nicht nur wegen ihrer seit 1971 anhaltenden Tradition, sondern auch durch ihre personellen, organisatorischen und sachlichen Voraussetzungen hervorragend geeignet. Es wäre unklug, einem maßgeblichen Erfolgsfaktor – aus Unachtsamkeit oder durch bewusste Neugewichtung der Aufgaben – die Wirkung zu nehmen.*

*Gleichwohl widmet sich auch der Fachbereich Wirtschaftswissenschaften in Sankt Augustin mit Fleiß und Fortune der Forschung, der Entwicklung und dem Technologietransfer. Die in dieser Festschrift dokumentierten Beispiele zeigen einen kleinen, feinen Ausschnitt aus der Breite der Aktivitäten. Warum sind uns Forschung, Entwicklung und Technologietransfer neben der Lehre wichtig?*

*Erstens: Zu den Einstellungsvoraussetzungen der Professorinnen und Professoren an Fachhochschulen gehört neben der wissenschaftlichen Qualifikation und der pädagogischen Eignung eine mindestens fünfjährige berufliche Tätigkeit nach Abschluss des Hochschulstudiums. Die meisten halten auch nach ihrer Berufung engen Kontakt zur beruflichen Praxis. Sie kennen die aktuellen, aber auch sich für die Zukunft abzeichnenden Problemstellungen der Unternehmen und verfügen über theoriebasierte Methoden, um die Probleme unter realen Randbedingungen zu lösen. Sie sind also in besonderer Weise befähigt, wissenschaftliche Erkenntnisse nicht nur zu entwickeln, sondern auch nutzbar zu machen.*

*Zweitens: Gute Hochschullehre gründet neben kluger Didaktik und pädagogischem Engagement darin, dass die Lehrenden ihr Fach sicher beherrschen und ihre Aussagen wissenschaftlich begründen. Manche fachlich gebotene Differenzierung muss zwar didaktisch zweckmäßiger Reduktion zum Opfer fallen. Damit sich aber bei den Studierenden nicht vereinfachende, vordergründige oder unbegründete Erklärungsmuster einstellen und verfestigen, sollten sie von Anfang an am Prozess der Erkenntnisgewinnung teilhaben und schrittweise an wissenschaftliches Denken gewöhnt werden. Erleben die Studierenden,*

- dass die wissenschaftliche Methodik Denkstrukturen erzeugt, mit denen das Detailwissen eingeordnet, verknüpft und besser behalten werden kann, und*
- dass die wissenschaftliche Methodik innovative und langfristig tragfähige Lösungen für praktische Probleme hervorbringt,*

dann sind sie auch für anstrengende Analysen und abstrakte Kategorien zu motivieren.

Mit anwendungsbezogener Forschung und Entwicklung bewahren die Hochschullehrerinnen und Hochschullehrer ihre Fähigkeit, Anschaulichkeit, Praxisbezug und Wissenschaftlichkeit „unter einen Hut“ zu bringen und die Lehrinhalte an aktuelle Entwicklungen der beruflichen Praxis und der Wissenschaft anzupassen.

Prägender Faktor in Lehre, Studium und Forschung an Fachhochschulen ist die wechselseitige Durchdringung von Theorie und Praxis. Zum einen werden wissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden überwiegend unter dem Gesichtspunkt des Anwendungsbezugs ausgewählt und genutzt, zum anderen sind vorwiegend solche betriebspraktischen Probleme Gegenstand der Hochschularbeit, deren Bewältigung wissenschaftlicher Methodik, Systematik und Begründung bedarf.

Lehre, Studium und Forschung beschränken sich nicht auf die Einübung und Pflege gesicherten Fachwissens im Sinne eines „aus der Praxis für die Praxis“. Sie dienen vielmehr dem Erwerb und der Weiterentwicklung fachübergreifender Handlungskompetenz, verstanden als Fähigkeit, praktische Probleme zu erkennen, zu analysieren und zielorientiert zu lösen. Theorien und wissenschaftliche Methoden helfen dem Praktiker, die Komplexität der Realität zu ordnen, zukünftige Entwicklungen rechtzeitig zu erkennen und eine Basis für wirksames Handeln in Situationen zu finden, die ihm in dieser Form erstmals begegnen.

Mephisto weckt mit Absicht Zweifel: „Wer kann was Dummes, wer was Kluges denken, das nicht die Vorwelt schon gedacht?“ (Faust II, Vers 6809 f.) Es ist an uns, den Zweifel zu widerlegen, indem wir altes Dummes vermeiden und neues Kluges ermöglichen.

Nach Feierabend mögen wir getrost der Verführung des Mephisto erliegen: „Grau, teurer Freund, ist alle Theorie, und grün des Lebens goldner Baum.“ (Faust I, Vers 2038 f.) Am Ende aber erkennen wir doch: „Das schönste Glück des denkenden Menschen ist, das Erforschliche erforscht zu haben und das Unerforschliche ruhig zu verehren“ (Johann Wolfgang von Goethe gemäß Max Hecker, Hrsg.: Goethe, Maximen und Reflexionen, Bd. 21 der Schriften der Goethe-Gesellschaft, Weimar 1906, Textstelle 1207).

Prof. Klaus W. ter Horst, Dekan des Fachbereichs

# Das Litho-Jet-Bohrverfahren

## Eine notwendige Bedingung für die ökonomische Machbarkeit geothermischer Energiesysteme

*Franz W. Peren*

Fachbereich Wirtschaftswissenschaften Sankt Augustin

### 1 Einleitung<sup>1</sup>

Mit zunehmender Knappheit fossiler Brennstoffe und sich zeitigender Akzeptanzprobleme nuklearer Energie gewinnen regenerative Energieträger an wachsender Bedeutung. Unter diesen nimmt die Erdwärme eine besondere Stellung ein, da sie – im Gegensatz zu anderen regenerativen Energien – global, kontinuierlich und auch längerfristig mit großen Potenzialen verfügbar ist.

Eine ausreichende und effiziente Nutzung der Erdwärme könnte wahrscheinlich in hohem Maße dazu beitragen, die aktuellen und anstehenden **ökonomischen** sowie **ökologischen Probleme** der Menschheit zu mindern oder gar partiell zu lösen. Hierzu müßte jedoch in entsprechendem Umfang und **ökonomisch machbar** die kontinentale Erdkruste als praktisch unerschöpfliche Energiequelle sinnvoll genutzt werden. Aus den Erkenntnissen kontinentaler Tiefbohrungen wissen wir, dass unsere Kontinentalkruste im mittleren Drittel (10 – 30 km) aus einem praktisch unerschöpflichen Prozessdampfspeicher besteht, der es theoretisch allen Ländern dieser Erde erlaubt, aus eigenen Ressourcen Hochtemperatur-Geothermie-Kraftwerke nach dem Hot-Dry-Rock-Prinzip zu betreiben, wo auch immer Bedarf an Wärme und Strom vorhanden ist.

Zu diesem Zweck sind jedoch **neue geothermische Energiesysteme** zu entwickeln, die im Vergleich zur bisherigen Nutzung von Erdwärme einen **Quantensprung in technischer und ökonomischer Machbarkeit** erfor-

---

<sup>1</sup> Der vorliegende Aufsatz basiert vorwiegend auf den Ergebnissen und textliche Ausführungen von Foralith AG (1998), Schaumann G. (2002), Paschen H., Oertel, D., Grünwald R. (2003) sowie Peren F.W. (2004) und der dort verwendeten Literatur. Deren Ergebnisse und Ausführungen sind im Folgenden sinnvoll zusammengefasst, ohne dass sie nochmals einzeln zitiert werden.

dern. Die wesentlichen technischen Elemente, die zur Schaffung solcher Systeme zur geothermischen Strom- und/oder Wärmeerzeugung erforderlich sind, sind gegenwärtig durch einen recht unterschiedlichen Entwicklungsstand gekennzeichnet. Der primäre **gegenwärtige Engpass** ist die **Bohrtechnik**.

**Die Bohrtechnik – als Schlüsseltechnologie**, da notwendige Bedingung einer ökonomischen Machbarkeit – ist auf der Basis der Rotarybohrtechnik aufgrund der langjährigen Erfahrung in der Erdöl-/Erdgasindustrie praktisch technologisch ausgereift. Jedoch reicht dies zur Erschließung produktiver Tiefen zum Erreichen einer **ökonomischen Machbarkeit** geothermischer Energiesysteme nicht aus. Hier bedarf es einer vollkommen andersartigen, innovativen Bohrtechnik.

Ein sinnvolles Verfahren, das sowohl den technischen Ansprüchen herkömmlicher Methoden genügt, als auch die ökonomischen Ansprüche hinsichtlich Kosten und Zeit erfüllen könnte, scheint das sogenannte in der Slowakei und in Deutschland entwickelte **Litho-Jet-Bohrverfahren** zu sein. Seine technischen Vorteile erstrecken sich vor allem auf das Nutzen natürlicher Gegebenheiten des Gesteins im Untergrund, was sowohl ein relativ schnelles, energiesparendes Vorgehen gewährleistet, als auch ein gerades, zielgerichtetes Vorgehen erlaubt.

## 2 Die ökonomisch relevanten Rahmenbedingungen

Ob geothermische Energiesysteme in absehbarer Zeit wirtschaftlich wettbewerbsfähig im Vergleich zu existierenden Technologien werden können, hängt vor allem von zwei Umständen ab:

1. von der Brennstoffpreisentwicklung und
2. von dem Einsatz einer wirtschaftlich sinnvollen und technisch innovativen Bohrtechnologie. Aktuell erscheint hier sehr wahrscheinlich nur das Litho-Jet-Bohrverfahren die gewünschten und notwendigen ökonomischen Effekte leisten zu können.

Zudem kann auch unterstellt werden, dass sich mittelfristig die Kostensituation für die geothermische Wärmegestehung verbessern wird, infolge der sich allgemein in den Industriestaaten offensichtlich zu wandelnden Energiepolitiken sowie durch eine mögliche Kostendegression infolge eines verstärkten Zubaus von geothermischen Anlagen in Europa.

Die in dieser Arbeit gemachten Sensitivitätsanalysen und Kostensimulationen beruhen auf einem mittelfristigen, exemplarischen Markt-Entwicklungs-Szenario für Deutschland. Danach lautet die Annahme, dass dort in den nächsten ca. 15 Jahren jährlich etwa 20 geothermische Wärmeerzeugungsanlagen mit je ca. 50 GWhth/a Wärmeleistung bis 100°C mit einem Investitionsvolumen von ca. 200 Mio. €/a errichtet werden. Von dem in der Literatur ange-

nommenen Potenzial von ca. 1.000 PJ/a = 278 TWhth/a wären dann bis 2020 ca. 3 % ausgeschöpft. Bezieht man dies auf den entsprechenden Endenergiebedarf für die in Frage kommende Nutzwärme von ca. 3.774 PJ/a = 1.050 TWhth/a , so entspricht dies ca. 1 %. Dieses Szenario ist als optimistisch anzusehen. Es entspricht jedoch den allgemein von Experten gemachten Prognosen, die in 2005 eine jährliche geothermisch-hydrothermale Wärmegegewinnung in Deutschland von 500 GWhth erwarten.

Zur Einschätzung der wahrscheinlich mittelfristig zu erwartenden Wärmegegestehungskosten aus Geothermischen Energiesystemen in Deutschland – ohne Einsatz eines innovativen Bohrverfahrens (Stichwort: Litho-Jet-Bohrtechnologie) – sei auf nachfolgende, aus den Sensitivitätsuntersuchungen abgeleitete Tabelle 1 verwiesen.

**Tabelle 1.** Wahrscheinlich mittelfristig zu erwartende Wärmegegestehungskosten aus geothermischen Energiesystemen in Deutschland

<b>2500 m – Gradient: 3,5 C/100 m</b>				
<b>Gesamtleistung: 14,6 MWth</b>				
<b>Wärmegegestehungskosten: 26 €/MWth</b>				
Gesamtinvestition	5,5 – <b>11,05</b> – 13 Mio. €	21	<b>26</b>	28
Bohrkosten	2,3 – <b>4,5</b> – 5,4 Mio. €	24	<b>26</b>	27
Zinssatz	2 – <b>6</b> – 10 %	23	<b>26</b>	30
Vollbenutzungsstunden	2000 – <b>6000</b> – 8000 h/a	53	<b>26</b>	23
Thermalwasserförderung	25 – <b>75</b> – 100 m³/h	40	<b>26</b>	24
Bohrkostenreduktion	<b>-15 %</b>		<b>25</b>	

Quelle: Schaumann G. (2002), S. 32 i.V.m. Anhang 2

Die **ökologischen Auswirkungen** geothermischer Stromerzeugung sind aus gegenwärtiger Sicht relativ gering und überschaubar. Bei allen in dieser Arbeit quantitativ untersuchten Umwelteffekten – Treibhauseffekt, Versauerung, Primärenergieverbrauch – liegt die Geothermie ähnlich günstig wie andere regenerative Optionen zur Stromerzeugung. Besonders bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen schneidet sie wesentlich besser ab als die Stromerzeugung aus Erdgas (Faktor 5) oder Steinkohle (Faktor 10).

### 3 Die ökonomische Machbarkeit geothermischer Energie

Die wirtschaftliche Bedeutung geothermischer Energie für die Erzeugung von elektrischem Strom ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Das größte Potenzial für eine geothermische Energiegewinnung resultiert aus der terrestrischen Wärme, die in trockenen und weitgehend wasserundurchlässigen heißen Gesteinen des Untergrunds (Hot-Dry-Rock[HDR]-Systeme) gebunden ist. Zwar wurden in der Vergangenheit bereits Tiefen bis zu 10.000 m

und mehr erfolgreich erbohrt, die durch die gegenwärtige Bohrtechnologie definierte technische und auch ökonomische Grenze schätzen geologische Experten jedoch bei rund 7.000 m Tiefe.

Grundsätzlich, d.h. unabhängig von der Wirtschaftlichkeit des eingesetzten Bohrverfahrens, sind nachfolgende Folgerungen an ein HDR-System für eine wettbewerbsfähige Erzeugung von Strom zu stellen:

- Die Gesteinstemperatur im Untergrund sollte bei einer (Förder-)Tiefe von bspw. fünf Kilometern mindestens 180°C betragen, um einen noch wirtschaftlich wie technisch sinnvollen Wirkungsgrad für die Wärme-Kraftwandlung zu gewährleisten.
- Die effektiv nutzbare Wärmeaustauschfläche im Untergrund sollte mindestens drei Quadratkilometer umfassen.
- Die Öffnungsweite der als Wärmetauscher dienenden Risse sollte mindestens 1,5 mm betragen, damit der Energieinput für die Wasserzirkulation wirtschaftlich ist.
- Das Verhältnis zwischen minimaler und maximaler Hauptspannung im Untergrund sollte größer sein als 0,75, damit das System stabil und ohne signifikante Wasserverluste betrieben werden kann.
- Die Zirkulationsrate sollte optimal bemessen sein. Bei einer Wärmeaustauschfläche von bspw. 5 km<sup>2</sup> erscheint eine Zirkulationsrate von 75 bis 100 l/s wirtschaftlich optimal.

Insgesamt lassen Modellrechnungen hier außergewöhnlich günstige Stromgestehungskosten erwarten. Unter der Annahme realistischer Leistungsdaten des (unterirdischen) HDR-Systems erscheinen Stromerzeugungskosten von rund 0,107 €Cent pro Kilowattstunde als durchaus realistisch (vgl. hierzu Abbildung 3). Allerdings gilt dies nur unter der Annahme, dass die Leistungen des HDR-Wärmeaustauschers über längere Zeit stabil sind, was in praxi noch zu beweisen ist. Andererseits stehen HDR-Systeme erst am Anfang ihrer Entwicklung.

Für einen wettbewerbsfähigen Betrieb von HDR-Systemen sind vor allem nachfolgende, bis dato noch nicht erfüllte Forderungen zu erfüllen:

- Erzeugung bzw. Stimulation von Wärmeaustauschflächen im geeigneten Untergrund mit einer Ausdehnung von 5 km<sup>2</sup> und mehr; bisher wurden in Soultz-sous-Forêts etwa 3 km<sup>2</sup> erreicht.
- Zirkulationsraten durch den HDR-Wärmeaustauscher von 50 bis 100 l/s; bis dato wurden nur 20 bis 30 l/s realisiert.
- Fließwiderstände im (unterirdischen) HDR-System von etwa 1 bar pro l/s; in Soultz-sous-Forêts wurden bspw. etwa 3 bar pro l/s gemessen.

**Tabelle 2.** Die wirtschaftliche Bedeutung geothermischer Energie

Typ	Kennzeichen	technologische Probleme (Stand)	Umweltbelastung	Derzeitige Nutzung	Erschließungspotential
Wärme aus dem flachen Untergrund	zwischen 8 und 100m Tiefe beträgt die Bodentemperatur ohne jahreszeitliche Schwankungen 10°C bis 16°C.	hohe Installationskosten, schlechter Wärmetausch im Boden (z.B. ca. 50 W pro Meter Bohrung)	keine	ca. 2.000 Einzelanlagen in der Schweiz	Versorgung dezentraler Wohneinheiten mit Raumwärme; überall anwendbar; bessere Nutzung der Elektrizität für Raumheizung
hydrothermale natürliche konvektive Systeme	Wasser / Dampfgefüllte, permeable Reservoirgesteine der obersten Kruste im Bereich geothermischer Anomalien; an junge Magmaintrusionen im Untergrund gebunden				
Heißdampf		(vollentwickelt, wirtschaftlich)	durch nicht kondensierbare Gase, vor allem CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> ; mittlere CO <sub>2</sub> -Belastung 50 g/KWh also 1/20 der Belastung in Kohlekraftwerken; H <sub>2</sub> S wird durch Stretford-Prozess gebunden und beseitigt	Erzeugung elektrischer Energie, derzeit in The Geysers und in Larderello installierte Kraftwerkskapazität rund 3.300 MW	trockene Dampflagerstätten sind auf wenige, von jungen Vulkanismus geprägte Zonen der Erde beschränkt; bei weiterer Erschließung solcher Zonen könnte in einigen Ländern der gesamte Elektrizitätsverbrauch dadurch gedeckt werden; einzelne Lagerstätten deuten nach mehrjährigem Betrieb Erschöpfungsanzeichen an
Heißwasser (bis 90°C)	Wassergefüllte, permeable Reservoirgesteine im Bereich anomaler geothermischer Anomalien im Untergrund	Korrosion und Ausfällungen in allen Kraftwerkskomponenten durch hohe Mineralgehalte, vor allem Chloride, Sulfate, Karbonate und Fluoride (vollentwickelt, wirtschaftlich)	durch nicht kondensierbare Gase CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> ; CO <sub>2</sub> -Belastung ist gering (50 g/KWh); H <sub>2</sub> S wird durch das Stretford Verfahren entfernt.	Erzeugung elektrischer Energie bei Temperaturen über 180°C, weltweit ca. 3500 MW installierte Leistung; wenige Lokationen z.B. Wairakei, Philippinen und Kenya.	In vielen vom Vulkanismus geprägten Zonen existieren ausgedehnte Lagerstätten; sie werden heute bereits z.T. genutzt; ihre Nutzung könnte jedoch erheblich gesteigert werden, wenn Korrosions- und Ausfällungsprobleme bewältigt werden.

**Tabelle 2 (Fortsetzung)**

Typ	Kennzeichen	technologische Probleme (Stand)	Umweltbelastung	Derzeitige Nutzung	Erschließungspotential
Warmwasser (< 90°C)	Wassergefüllte, permeable Sedimente als Lagerstätten in Gebieten mit erhöhten geothermischen Tiefenstufen im Untergrund, meist tiefe Sedimentbecken.	z.T. hohe Mineralisation (vollentwickelt, z.T. wirtschaftlich)	unbedeutend	für Heizungs- und Prozesswärme im Pariser Becken, Neubrandenburg bei Temperaturen über 60°C; für Thermalbäder oder Gewächshäuser mit zunehmender Bedeutung bei Temperaturen bis 60°C	Geothermalwasser kann in vielen tiefen Sedimentbecken erwartet werden; bestehende Heißwasserzentralen im Pariser Raum oder in Nordostdeutschland arbeiten an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit und ersetzen Kraftwerkskapazitäten und tragen so zur Umweltverbesserung bei; die Nachfrage nach Thermalbädern steigt in den Industrieländern; ausgedehntere Nutzung in der Landwirtschaft

Quelle: Rummel F., Kappelmeyer O. (1993), S. 21

- Wasserverluste im Untergrund von 10 % und weniger; dies wurde mehrfach erreicht, ist jedoch entscheidend von den tektonischen Bedingungen vor Ort abhängig.
- Der Einsatz eines wirtschaftlichen, innovativen Bohrverfahrens als Schlüsseltechnologie, da notwendige Bedingung einer ökonomischen Machbarkeit.

Die wesentlichen **technischen Elemente**, die zur Schaffung eines integrierten Gesamtsystems zur geothermischen Strom- und/oder Wärmeerzeugung erforderlich sind, sind gegenwärtig durch einen recht unterschiedlichen Entwicklungsstand gekennzeichnet (vgl. Abbildung 4).

Die **Bohrtechnik** ist auf der Basis der Rotarybohrtechnik aufgrund der langjährigen Erfahrung in der Erdöl-/Erdgasindustrie praktisch technologisch ausgereift. Jedoch reicht dies zur Erschließung produktiver Tiefen zum Erreichen einer ökonomischen Machbarkeit geothermischer Energiesysteme nicht aus. Die Bedingungen in Tiefen spätestens ab ca. 7.000 m sind für konventionelle Bohrtechniken jedoch mit solch enormen Investitionskosten verbunden, dass bei deren Nutzung die ökonomische Machbarkeit des Gesamtsystems dann nicht mehr gewährleistet wäre. Hier bedarf es einer vollkommen anders-

**Tabelle 3.** Stromerzeugungskosten alternativer Energieträger

Energieart	€ Cent/kWh
Erdöl	3 – 4
Erdgas	3 – 4
Nuklearenergie	1 – 2
Wasserkraft	7 – 9
Windkraft	6 – 9
Steinkohle	3 – 4
Braunkohle	3
Solar	6 – 10
Biomasse	6 – 7
Photovoltaik	58
HDR-System	0,107

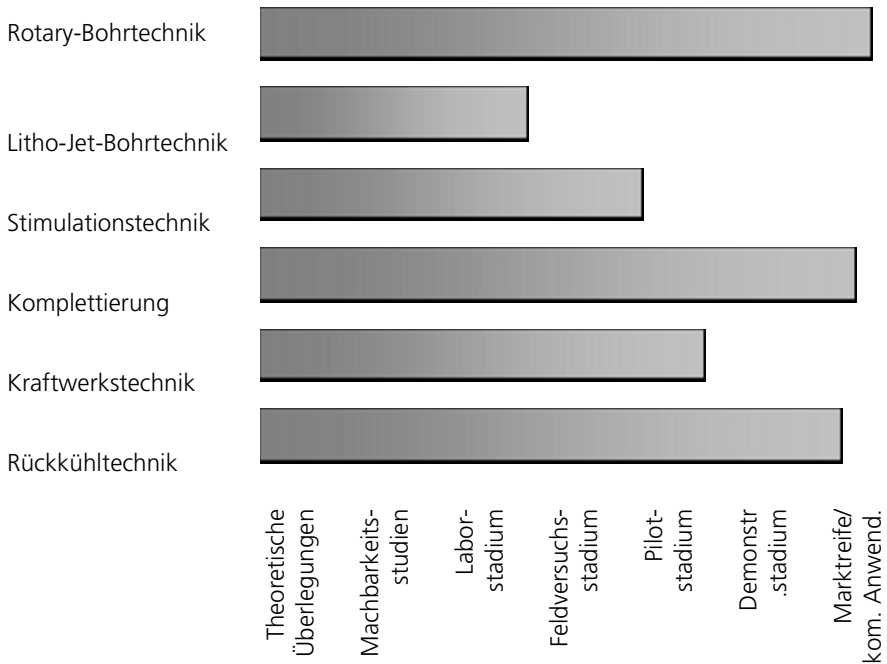
Quellen: In Anlehnung an Kaltschmitt M., Nill M., Schröder G., Rogge S. (2002), S. 139 ff.; Heinoth K. (1997), S. 364 sowie eigene Schätzungen

artigen, innovativen Bohrtechnik. Aktuell erscheint nur das **Litho-Jet-Bohrverfahren** die notwendigen ökonomischen Bedingungen erfüllen zu können.

Die **zentralen Kosten** für die Erstellung geothermischer Energiesysteme resultieren gegenwärtig aus den aktuell sehr kostenintensiven **Bohrarbeiten**. Dies gilt für die Implementierung von Erdwärmesonden (EWS) und erst recht für den Bau tiefer Brunnen. Der Engpass einer ökonomischen Machbarkeit geothermischer Anlagen liegt eindeutig auf einer technisch und wirtschaftlich sinnvoller Bohrtechnologie.

Die Beurteilung der grundsätzlich für die Erschließung von geothermischen Ressourcen in Frage kommenden Bohrtechniken und Entwicklungstendenzen lassen für die relevanten, aktuell geltenden Kostenanforderungen den Schluss zu, dass für EWS- und Geothermiebohrungen *in konventionellen Teufenbereichen* kurz- und mittelfristig prinzipiell folgende Technologien für eine ökonomisch sinnvolle Machbarkeit primär in Frage kommen:

- Rollenbohrwerkzeuge mit Düsen (optimierte Rotarywerkzeuge),
- PDC-Werkzeuge,
- Pneumatischer Imlochhammer,
- Hydraulischer Imlochhammer.



Quellen: In Anlehnung an Kaltschmitt M., Schröder G., Rogge S. (2002), S. 1 ff. sowie eigene Schätzungen

**Abb. 1.** Entwicklungsstand einzelner Systemkomponenten geothermischer Kraft- bzw. Heizkraftwerke

Für die Erschließung von *großen Teufen* für die strategisch interessanten und relevanten Geothermie-Bereiche Hot-Dry-Rock (HDR), Hot-Wet-Rock (HWR) oder Deep-Heat-Mining (DHM) – Teufen von  $\geq 4.000$  m – scheint vor allem unter ökonomischen Gesichtspunkten nur das **Schmelzbohren** und hier speziell nur eine **Litho-Jet-Technologie** sinnvoll.

Die Untersuchung der herrschenden Bohrverfahren zeigt vor allem folgende Ergebnisse:

- Bei Teufen bis zu 200 m – EWS-Bereich – ist das pressluftgetriebene **Imlochhammer-Bohrverfahren** immer approximativ doppelt so schnell wie eine Rotary-Spülbohrung.
- Bei **Imlochhammer-Bohrungen** nimmt der Bohrfortschritt mit der Tiefe ab (ROP: 0 – 30 m = 50 m/h,  $\sim 100$  m = 43 – 37 m/h,  $\sim 200$  m = 30 – 20 m/h).