

## Axel Zweck und Dirk Holtmannspötter

# Indien und China blicken in die Zukunft

### Aktuelle Technologieprognosen im Vergleich

L Ä N D E R V E R G L E I C H

Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung hat die Abteilung Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH im Juni 2006 eine Vergleichsstudie internationaler Technologieprognosen vorgelegt. Darin werden aktuelle Technologieprognosen aus insgesamt acht Ländern gegenübergestellt, darunter auch aus Indien und China. Aufgrund des hohen Interesses, das gerade diese beiden Länder auf sich ziehen, werden mit diesem Artikel wesentliche Aussagen der betrachteten indischen und chinesischen Studien einem weiteren Leserkreis zugänglich gemacht. Die gesamte Studie in elektronischer Form kann auf [www.zt-consulting.de/publikationen](http://www.zt-consulting.de/publikationen) unter dem Thema „Vergleich von Technologieprognosen“ kostenlos abgerufen werden.

Zur Einordnung der ausgewerteten Studien steht am Beginn eine kurze Darstellung der bisherigen Aktivitäten beider Länder im Bereich der Technologieprognosen. Darauf folgt eine Inhaltsanalyse aktueller Technologieprognosen aus Indien und China im Hinblick auf die drei Technologiefelder Energie, Biotechnologie/Life Sciences und Nachhaltigkeit/Umwelt.

#### Technologieprognosen in Indien

Der Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC) hat im Jahr 1993 für Indien ein nationales Vorausschauprojekt mit dem Namen „Technology Vision 2020“ begonnen, bei dem Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Forschungs- und Entwicklungsagenturen sowie von Regierungsbehörden mitgewirkt haben. Insgesamt wurden im Rahmen der Studie 17 Sektoren mit über 100 Unterbereichen bearbeitet, die von besonderer Bedeutung für das Land sind. Die Sektoren wurden in drei Kategorien eingeteilt: Technologien mit sozioökonomischen Auswirkungen, Infrastruktur sowie Hochtechnologie. Der Abschlussbericht ist im Jahr 1996 erschienen.

Seit „Technology Vision 2020“ fand kein umfassendes, nationales Vorausschau-Projekt mehr statt. Allerdings werden vom TIFAC regelmäßig neue Studien zu Einzelthemen veröffentlicht. Diese Studien des TIFAC aktualisieren, erweitern, ergänzen und ersetzen in Teilen die 1996 abgeschlossene Studie. Sie präsentieren Ergebnisse einzelner Technologievorausschau-Projekte und Technologiebewertungen sowie technologieorientierter Marktanalysen. Seit 1990 wurden insgesamt 147 solcher Einzelstudien veröffentlicht.

Von den Studien, die in den Jahren 2003 und 2004 erschienen sind, wurden insgesamt sechs Studien für die folgende Inhaltsanalyse ausgewählt: „Fuel Cells“, 2004; „A Survey On The Microarray (Biochips) With A Focus On Technology Transfer“, 2004; „Transgenic Plants – Prospects And Concerns“, 2003; „Transgenic Animal Models“, 2003; „Biodegradable Plastics“, 2003; „Management of Steel Plant Solid Wastes“, 2003.



Sowohl in Indien wie auch in China nehmen Umweltschutz und umfassende Ressourcennutzung an Bedeutung zu.

Foto: Photodisc

### Technologieprognosen in China

Methoden der Technologieprognose, wie sie in den westlichen Ländern üblich sind, werden in China seit Anfang der 1990er Jahre eingesetzt. Die Ergebnisse dieser Aktivitäten flossen bzw. fließen in die jeweiligen Fünf-Jahres-Pläne ein. Bis jetzt wurden drei nationale Technologieprognosen durchgeführt:

- ◆ Mitte der 1990er Jahre wurden im Rahmen des Projekts „Selection of National Critical Technology“ strategische Technologien in den Bereichen I&K, Biologie, Produktions- und Prozesstechnik sowie Materialien identifiziert.
- ◆ 1999 wurde eine Technologieprognose in den Bereichen Landwirtschaft, I&K und Produktions- und Prozesstechnik durchgeführt mit dem Ziel, die für China strategischen Industriezweige zu identifizieren.
- ◆ Schließlich wurde 2002 mit dem Vorausschauprojekt „China's Report Technology Foresight“ begonnen, auf das im Folgenden eingegangen wird.

Im Rahmen einer neuen Strategie zur wirtschaftlichen und technologischen Entwicklung Chinas in den nächsten 20 Jahren wurde eine neue Forschungs- und Entwicklungsstrategie entworfen, die auch in den nächsten Fünf-Jahres-Plan 2006 bis 2010 eingehen soll. Zu diesem Zweck wurde unter Federführung des chinesischen Ministeriums für Forschung und Technologie 2002 ein Vorausschauprojekt angestoßen, das Zukunftsthemen der nächsten zehn Jahre beschreiben soll.

Bislang wurden im Rahmen des Vorausschauprojektes zwei Zyklen abgeschlossen, die jeweils drei Technologiefelder behandeln: Information und Kommunikation (2003), Lebenswissenschaft und Biotechnologie (2003), Neue Materialien (2003), Energie (2004), Ressourcen und Umwelt (2004), Produktionstechnik (2004). Ein weiterer Zyklus mit nochmals drei Technologiefeldern ist in Arbeit: Landwirtschaft, Öffentliche Sicherheit, Gesundheit der Bevölkerung. Methodisch basiert jedes Teilprojekt auf einem zweistufigen Delphi-Verfahren. Bei den abgeschlossenen Teilprojekten wurden insgesamt etwa 3.000 Personen aus Forschung, Universitäten, Unternehmen und staatlichen Einrichtungen einbezogen (pro Technologiefeld waren im Durchschnitt 500 Experten beteiligt). Aus über 1.000 Technologiethemen wurden insgesamt 483 ausgewählt, die für China besonders viel versprechend sind.

Die Ergebnisse der Foresight-Studien zeigen, dass China nur in etwa 4 % der genannten Technologiethemen auf höchstem Weltniveau bzw. auf dem Niveau der Industriestaaten liegt. Bei etwa 87 % der Technologiethemen hat China im Vergleich zu den technologieführenden Nationen einen Rückstand von etwa fünf Jahren und bei 9 % der Themen sogar einen Rückstand von sechs bis zehn Jahren.

Die im Foresight-Prozess beteiligten Experten schlagen eine zweigleisige Strategie zur Weiterentwicklung der identifizierten Technologiethemen vor: Für etwa 63 % der Technologiethemen wird eine unabhängige chinesische Forschung und Entwicklung gefordert (vor allem für die Technologiefelder Energie, Umwelt und Ressourcen, Material- sowie Produktionstechnik) während die verbleibenden 37 % durch gemeinsame Forschung mit anderen Ländern vorangetrieben werden sollten (vor allem bei I&K-Themen). Für das Technologiefeld Biotechnologie wird eine Kombination aus eigener und gemeinschaftlicher Forschung vorgeschlagen.

Die vollständigen Abschlussberichte zu den bereits abgeschlossenen Teilprojekten des chinesischen Vorausschauprozesses liegen bislang nur im chinesischen Original vor. Im November 2005 wurde eine englische Zusammenfassung dieser Berichte vom National Research Center

**Im Rahmen einer neuen Strategie zur wirtschaftlichen und technologischen Entwicklung Chinas in den nächsten 20 Jahren wurde eine neue Forschungs- und Entwicklungsstrategie entworfen, die auch in den nächsten Fünf-Jahres-Plan 2006 bis 2010 eingehen soll. Zu diesem Zweck wurde unter Federführung des chinesischen Ministeriums für Forschung und Technologie 2002 ein Vorausschauprojekt angestoßen, das Zukunftsthemen der nächsten zehn Jahre beschreiben soll.**

for Science and Technology for Development (NRCSTD) veröffentlicht, die die Grundlage für die folgende Inhaltsanalyse bildet.

Die beteiligten Experten wurden unter anderem nach der Bedeutung der verschiedenen Technologiefelder im Hinblick auf die folgenden Aspekte befragt:

- ◆ Wirtschaftlicher Nutzen,
- ◆ Einfluss auf die High-Tech-Industrie,
- ◆ Einfluss auf die traditionelle Industrie,
- ◆ Beitrag zum Umweltschutz und zur umfassenden Ressourcennutzung,
- ◆ Erhöhung der Lebensqualität.

Außerdem wurde für alle Technologiethemata die Einschätzung zur allgemeinen Wichtigkeit abgefragt. Im Folgenden werden für jedes Technologiefeld die qualitativen Aussagen zu den oben genannten fünf Aspekten wiedergegeben sowie jeweils die zehn wichtigsten Technologiethemata nach Einschätzung der Experten.

### Inhaltsanalyse

Bei Betrachtung der ausgewählten Technologieprognosen und der darin angesprochenen Technologiefelder ist eine hohe Übereinstimmung der Interessensgebiete zwischen China und Indien festzustellen. Diese Übereinstimmung soll näher belegt werden durch die exemplarische Inhaltsanalyse der drei Technologiefelder Energie, Biotechnologie und Life Sciences sowie Nachhaltigkeit und Umwelt. Beim Vergleich der Technologieprognosen zeigen sich große Unterschiede im Hinblick auf die verwendete Methodik, die direkten Einfluss auf die Qualität der inhaltlichen Aussagen haben und damit auch auf deren Vergleichbarkeit. Die betrachteten indischen Studien sind echte Technologieanalysen. Sie analysieren wohldefinierte Technologiethemata hinsichtlich der jeweils relevanten Faktoren, wie z.B. Entwicklungsstand und Forschungsaktivitäten im internationalen Vergleich, Anwendungsfelder, Akteure und Handlungsoptionen für Indien. Bei den chinesischen Studien wurde ein zweistufiges Delphi-Verfahren genutzt. Die so generierten Aussagen sind methodenbedingt überwiegend stichwortartig, stark schematisiert und zusammenhangslos. Dies schränkt die Möglichkeiten einer weitergehenden Analyse deutlich ein.

### Energie – Indien

Die Studie „Fuel Cells“ des TIFAC von Februar 2004 befasst sich mit Brennstoffzellen. Das Interesse an diesem Thema wird folgendermaßen erläutert: Auf Grund der stetig wachsenden Wirtschaft sieht sich die indische Regierung mit einer stark ansteigenden Nachfrage nach Elektrizität konfrontiert. Um dieser Nachfrage gerecht zu werden, bemüht sich die Regierung, die Kapazitäten zur Stromerzeugung auszubauen und setzt dabei auf Kernenergie, Wasserkraft sowie auf konventionelle, thermische Kraftwerkstechnik, wobei die Kontrolle des Schadstoffausstoßes nur wenig berücksichtigt wird. Trotz der Anstrengungen zum Ausbau der Kapazitäten kann die Nachfrage nicht gedeckt werden, sodass es insbesondere im Sommer immer wieder zu Stromausfällen kommt. Um dennoch eine ununterbrochene Stromversorgung in Bürogebäuden und Fabriken sicherzustellen, werden üblicherweise Dieselgeneratoren vor Ort eingesetzt, die zur Luftverschmutzung beitragen und von denen eine Lärmbelastung ausgeht. Die emissions- und geräuscharme Stromerzeugung in Brennstoffzellen erscheint vor diesem Hintergrund als eine attraktive Option für Indien. Daneben wird auch die Verwendung von Brennstoffzellen in Fahr-



**Dr. Dr. Axel Zweck ist Leiter der Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH.**



**Dr. Dirk Holtmannspötter ist Mitarbeiter der Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH.**

zeugen als interessant angesehen. Als weitere Anwendungen werden genannt: Stromversorgung von tragbaren Elektrogeräten sowie die kombinierte Strom- und Wärmeversorgung von Wohnungen insbesondere in Siedlungen abseits des Versorgungsnetzes. Es werden sechs wesentliche Typen von Brennstoffzellen betrachtet:

- ◆ Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC),
- ◆ Alkalische Brennstoffzelle (Alkaline Fuel Cell, AFC),
- ◆ Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC),
- ◆ Phosphorsäure-Brennstoffzelle (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC),
- ◆ Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC),
- ◆ Festoxid-Brennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC).

Die folgende Tabelle 1 stellt die Anwendungen möglicher indischer Kunden hinsichtlich der präferierten Brennstoffe sowie der dahinter stehenden Technologie dar.

Anwendungen	Brennstoff	Technologie
Fahrzeuge	Wasserstoff	PEMFC
Raumfahrt	Wasserstoff	AFC
Tragbare Geräte	Methanol	DMFC
Stationäre Stromversorgung	Erdgas	PAFC
Stationäre Stromversorgung	Erdgas	MCFC
Stationäre Stromversorgung	Benzin, Erdgas	SOFC

**Tabelle 1: Anwendungen möglicher indischer Kunden hinsichtlich der präferierten Brennstoffe sowie der dahinter stehenden Technologie**

Für die Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie in Indien wurde folgende Roadmap aufgestellt:

- ◆ 2006: PEMFC für tragbare Anwendungen;
- ◆ 2007: Brennstoffzellenbusse mit komprimiertem Wasserstoff als Brennstoff und Metallhydriden als Wasserstoffspeicher;
- ◆ 2009: DMFC für tragbare Anwendungen;
- ◆ 2010: Demonstration von Brennstoffzellenfahrzeugen;
- ◆ 2013: MCFC für verstreute Stromerzeugung;
- ◆ 2015: SOFC für die Anwendung in Fahrzeugen;
- ◆ 2018: Brennstoffzellen für die Stromerzeugung in ländlichen Regionen;
- ◆ 2020: Etablierung einer Wasserstoffinfrastruktur;
- ◆ 2022: Kommerzialisierung der Brennstoffzelle.

### Energie – China

Im Technologiefeld Energie wird von Technologien zur Energieerhaltung in Gebäuden der größte sowie von anderen Energieerhaltungstechnologien ein großer wirtschaftlicher Nutzen erwartet.

**In China ist die Kohleindustrie hauptsächlich traditionell ausgerichtet. Deswegen sind Technologien zur Kohlenutzung wichtig für die traditionelle Industrie. Weiterhin sind auch Technologien zur Energieeinsparung in Gebäuden, in der Industrie sowie in Verkehrssystemen von großer Bedeutung für die traditionelle Industrie.**

Energieeinsparungen durch technologischen Fortschritt werden als sehr wichtig betrachtet, um die Energieeffizienz zu erhöhen, den Energieverbrauch zu senken und somit einen größeren wirtschaftlichen Nutzen erzielen zu können. Die Studienautoren erwarten von fortgeschrittenen Technologien zur Kohlenutzung, Technologien zur Kernkraftnutzung, erneuerbaren Energien und neuen Energietechnologien den größten Einfluss auf die High-Tech-Industrie. Entwicklungen von neuen Technologien werden die Effizienz traditioneller Energienutzung (beispielsweise von Kohle) verbessern sowie die industrielle Nutzung erneuerbarer und neuer Energien vorantreiben. All diese Technologien werden zur Diversifizierung und zur Effizienz der Energienutzung beitragen.

In China ist die Kohleindustrie hauptsächlich traditionell ausgerichtet. Deswegen sind Technologien zur Kohlenutzung wichtig für die traditionelle Industrie. Weiterhin sind auch Technologien zur Energieeinsparung in Gebäuden, in der Industrie sowie in Verkehrssystemen von großer Bedeutung für die traditionelle Industrie. Wind- und Solarenergie sowie andere regenerative Energien leisten einen großen Beitrag zum Umweltschutz und zur umfassenden Ressourcennutzung. Ebenso wichtig sind Technologien zur Reduzierung der von Kohlekraftwerken verursachten Verschmutzung für die Umwelt. Da Kohle Chinas Hauptenergiequelle ist, werden Technologien zur sauberen Kohlenutzung als strategisch wichtig für den Umweltschutz hervorgehoben.

Angesichts der in den letzten Jahren aufgetretenen Probleme großer Energienetze in den USA werden Sicherheits- und Schutzsysteme für ultragroße Stromnetze als wichtige Technologie für eine verbesserte Lebensqualität betrachtet. Ebenso tragen Technologien zur Beseitigung von Emissionsverschmutzung durch Kohleverfeuerung bei der Stromerzeugung zur Verbesserung der Lebensqualität bei. Die zehn wichtigsten Technologiethemen im Feld Energie sind:

- ◆ Technologien zur Ausbeutung von Öl- und Gasfeldern in der Tiefsee;
- ◆ Sicherheits- und Schutzsysteme für große Stromnetze;
- ◆ Druckwasserreaktoren mit thermischer Leistung im Gigawatt-Bereich;
- ◆ Polygeneration auf der Basis von Kohlevergasung;
- ◆ Technologien, um nukleare Sicherheit und Strahlungssicherheit zu garantieren;
- ◆ Technologien zur Steigerung der Ausbeuterate bei Öllagerstätten;
- ◆ Technologien zur direkten und indirekten Kohleverflüssigung;
- ◆ Solarbatterien;
- ◆ Prüftechnik und Design für einen chinesischen Prototypen eines schnellen Brüters;
- ◆ Analyse des Energieverbrauchs in Gebäuden und energieoptimierte Gebäudeplanung.

### **Biotechnologie und Life Sciences – Indien**

Biochips sind der Schwerpunkt einer Studie des TIFAC von Februar 2004 mit dem Titel „A Survey on the DNA Microarray (Biochips) with Focus on Technology Transfer“. In der Studie werden die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten von Biochips hervorgehoben, unter anderem Genexpressionsanalysen in der funktionellen Genomik, DNS-Sequenzierung, Analyse von Einzelnukleotid-Polymorphismen und Punktmutationen, Charakterisierung von Mutationen, Anwendungen in der landwirtschaftlichen Biotechnologie, Diagnostik von Erkrankungen, Entdeckung von Zielmolekülen in der Medikamentenentwicklung, Analyse der Wirkung von Medikamenten und Toxinen im Allgemeinen und bei einzelnen Patienten. Als zukünftige Trends bei den Biochips werden die folgenden Entwicklungslinien betont:

**Angesichts der in den letzten Jahren aufgetretenen Probleme großer Energienetze in den USA werden Sicherheits- und Schutzsysteme für ultragroße Stromnetze als wichtige Technologie für eine verbesserte Lebensqualität betrachtet. Ebenso tragen Technologien zur Beseitigung von Emissionsverschmutzung durch Kohleverfeuerung bei der Stromerzeugung zur Verbesserung der Lebensqualität bei.**

- ◆ Speziell entwickelte DNS-Chips werden dazu genutzt werden, um das Genom abzurastern und Einzelnukleotid-Polymorphismen zu detektieren.
- ◆ Reduktion der Größe der DNS-Punkte auf dem Chip und bessere Scanner werden es erlauben, größere Teile des Genoms auf einem Chip abzudecken.
- ◆ Kleinere Probenvolumina werden es ermöglichen, kleine Mengen von spezialisierten Zellen – wie sie etwa durch Laser-Mikrodissektion gewonnen werden – ohne Einsatz einer RNA-Verstärkung zu analysieren.
- ◆ DNS-Chips können zum Aufbau von Datenbanken genutzt werden, die es erlauben, Genexpressionsmuster mit dem Patientenstatus zu korrelieren und so Aussagen zur Wirksamkeit von Therapien zu gewinnen.
- ◆ Ein weiterer wichtiger Trend besteht im Übergang zu integrierten Biochips, die die Funktionen der Filtration, der Flüssigkeiten-Handhabung, der Mischung von Reagenzien, der Polymerase-Kettenreaktion und sogar der Kapillarelektrophorese beinhalten können. Treiber für diese Entwicklung ist der Bedarf von pharmazeutischen Firmen, Hochdurchsatz-Verfahren zur Wirkstoffsuche schnell, parallel und mit minimalem Einsatz an Reagenzien einzusetzen.
- ◆ Übergang von der Fluoreszenzmarkierung zum elektrischen Nachweis: Die Fluoreszenzmarkierung ist aufwändig, sie kann das Ergebnis verfälschen und sie verursacht Kosten auf Grund des erforderlichen Einsatzes empfindlicher und teurerer Detektoren. Daher wäre es sehr wünschenswert, die Hybridisierung einer bestimmten Stelle auf dem Chip auf anderem Wege (möglichst durch ein elektrisches Signal) nachweisen zu können. Gleichzeitig soll sich dabei idealerweise das Ausmaß der Hybridisierung quantifizieren lassen und keine Modifizierung der Probe vor der Hybridisierung nötig sein. Zur Erreichung dieses Ziels sind bereits große Anstrengungen erfolgt, die bislang für einige Ansätze die prinzipielle Machbarkeit gezeigt haben. Allerdings ist noch offen, ob der erforderliche Durchsatz und eine ausreichende Empfindlichkeit erzielt werden können.

Die Situation in Indien wird wie folgt eingeschätzt: Es bestehen in Indien erste Erfahrungen mit der Biochiptechnologie, vor allem in renommierten nationalen Forschungseinrichtungen, aber auch an Universitäten. Für die Zukunft wird global ein starkes Marktwachstum erwartet und eine parallel dazu verlaufende Entwicklung in Indien. Gegenwärtig gibt es jedoch keine eigene Technologieentwicklung in Indien und nur stark eingeschränkte Möglichkeiten zur Ausbildung von Personal. Das Ziel der Studie war es, die Kosten und Bedingungen für einen Technologietransfer nach Indien zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurden etwa 300 Unternehmen kontaktiert (allerdings mit einem sehr geringen Rücklauf). Auf Grund dieses geringen Interesses ausländischer Unternehmen an einem Technologietransfer resümiert der Studienautor daher, dass eine eigene Technologieentwicklung in Indien wünschenswert sei. Diese wird als ein schwieriges jedoch nicht unmögliches Unterfangen bewertet. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass der gegenwärtige Stand der Technik noch genügend Raum für Verbesserungen aufweist. Genannt werden z.B. bessere Substratmaterialien, eine stärkere Automatisierung und die Adaptierung des Chip-Formats für neue enzymatische Techniken.

In einer Studie des TIFAC vom Juni 2003 werden Zukunftsperspektiven und Bedenken im Zusammenhang mit transgenen Pflanzen diskutiert (Originaltitel: „Transgenic Plants – Prospects and Concerns“). Im Jahr 1996 wurden schädlingsresistente transgene Pflanzen weltweit erstmals kommerziell angebaut. Fünf Jahre später dann auch in Indien. (Die mit transgenen Pflanzen bebaute weltweite Fläche verteilt sich auf folgende Länder: USA (68 %), Argentinien (22 %), Ka-

**Es bestehen in Indien erste Erfahrungen mit der Biochiptechnologie, vor allem in renommierten nationalen Forschungseinrichtungen, aber auch an Universitäten. Für die Zukunft wird global ein starkes Marktwachstum erwartet und eine parallel dazu verlaufende Entwicklung in Indien. Gegenwärtig gibt es jedoch keine eigene Technologieentwicklung in Indien und nur stark eingeschränkte Möglichkeiten zur Ausbildung von Personal.**

nada (6 %), China (3 %).) Die Forschung an transgenen Pflanzen in Indien wird gegenwärtig ausschließlich von öffentlichen Forschungseinrichtungen getragen. Die Aktivitäten im privaten Sektor beschränken sich auf die konventionelle Kreuzung verfügbarer transgener Pflanzen mit einheimischen Arten. In Indien herrscht eine – von den Autoren begrüßte – positive Grundhaltung zur gentechnischen Veränderung von Pflanzen und es wird darin eine unerlässliche Ergänzung zur konventionellen Pflanzenzucht gesehen. Sowohl die Regierungspolitik als auch das wissenschaftliche Klima im Land unterstützen die Anwendung von biotechnologischen Werkzeugen, einschließlich der Transgenik, als Mittel zur nachhaltigen Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität.

International betrachtet wird als Ausgangspunkt der Entwicklungen die Verbesserung landwirtschaftlicher Eigenschaften von Nutzpflanzen benannt: Schädlingsresistenz, Herbizidresistenz, Virustoleranz und verlängerte Haltbarkeit der produzierten Feldfrüchte. Es wird erwartet, dass auch in den nächsten Jahren der Forschungsschwerpunkt auf eine verbesserte Pflanzenproduktivität und eine größere Belastbarkeit der Pflanzen (Schädlinge, Krankheiten, Mangelsituationen) gerichtet sein wird. In Indien wird Handlungsbedarf gesehen für intensivere Arbeiten an der Erhöhung der Schädlingsresistenz von Pflanzen. Eine Resistenz gegenüber Bakterien und Pilzen wurde durch die Transgenik bisher noch nicht erreicht – hier gibt es aber viel versprechende Ansätze, die Erfolge in der nahen Zukunft erwarten lassen. Herbizidresistenz war dagegen in Indien bisher nicht von Interesse. Als Grund dafür wird angeführt, dass die Anbauflächen in Indien durchschnittlich eher klein sind und eine Herbizidresistenz deswegen keine wirtschaftlichen Vorteile für die Anbauer bringt.

Nach Ansicht der Studienautoren deuten alle Indikationen darauf hin, dass in den kommenden Jahren die Anstrengungen zunehmend darauf zielen werden, die Produktqualität der Feldfrüchte zu verbessern. Verbesserung der Gehalte an Proteinen, Fetten, Kohlehydraten und anderen wichtigen Nährstoffen wie Vitaminen, Provitaminen und Mineralstoffen werden demnach angestrebt. In Indien ist die Beseitigung der Mangelernährung allgemein von hohem Interesse und speziell bei Kindern sowie werdenden bzw. stillenden Müttern. Hier werden Lösungsansätze in transgenen Pflanzen mit erhöhtem Nährstoffgehalt gesehen.

Für die Studienautoren ist es jenseits allen Zweifels, dass in nicht allzu ferner Zukunft Pflanzen zu den attraktivsten Bioreaktoren gemacht werden. Diese Bioreaktoren werden essbare Impfstoffe, Antikörper, Bioplastik, hochgesättigte Fette für industrielle Zwecke, Pharmazeutika und eine Vielzahl anderer metabolischer Produkte von wirtschaftlicher Bedeutung erzeugen können. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass pflanzliche Bioreaktoren völlige andere Formen der Kultivierung, Prozessierung und Biosicherheit erfordern werden als die konventionelle landwirtschaftliche Pflanzenproduktion.

Die Kenntnis der Genome von Arabidopsis (2000) und Reis (2003) haben nach Einschätzung der Studienautoren völlig neue Dimensionen des Verständnisses der Gen- und Genomstruktur sowie der Genfunktion eröffnet. In diesem Zusammenhang wird auf die hohe Bedeutung von Schutzrechten für geistiges Eigentum hingewiesen. Zwar sind DNS-Sequenzen per se nicht patentierbar, wohl aber, sobald ihnen eine Funktion zugeordnet ist. Es wird erwartet, dass Indien vor diesem Hintergrund stark von der funktionellen Genomik profitieren kann, insbesondere weil es über eine enorme Biodiversität verfügt.

Eine Studie des Biotech Consortium India Limited (BCIL) im Auftrag des TIFAC mit dem Titel „Transgenic Animal Models“ von Januar 2003 befasst sich mit transgenen Tiermodellen und beschreibt u. a. den gegenwärtigen F&E-Stand und das zukünftige Anwendungspotenzial in Indien. Es werden sieben Anwendungsgebiete benannt, die unterschiedlich weit entwickelt sind:

**Für die Studienautoren ist es jenseits allen Zweifels, dass in nicht allzu ferner Zukunft Pflanzen zu den attraktivsten Bioreaktoren gemacht werden. Diese Bioreaktoren werden essbare Impfstoffe, Antikörper, Bioplastik, hochgesättigte Fette für industrielle Zwecke, Pharmazeutika und eine Vielzahl anderer metabolischer Produkte von wirtschaftlicher Bedeutung erzeugen können. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass pflanzliche Bioreaktoren völlige andere Formen der Kultivierung, Prozessierung und Biosicherheit erfordern werden als die konventionelle landwirtschaftliche Pflanzenproduktion.**

**Stichwörter****Technologieprognosen****Zukunftsstudien****Vergleichsstudie****Indien****China**

- ◆ Grundlagenforschung: Untersuchung fundamentaler Aspekte der Genexpression und -entwicklung von Säugetieren;
- ◆ Krankheitsmodelle: Etablierung von Modellsystemen für die Untersuchung menschlicher Erkrankungen;
- ◆ Tests: Ausführung von verschiedenen Tests, wie z. B. für Impfstoffe, Toxizitätsuntersuchungen;
- ◆ Produktion von Therapeutika: Expression pharmazeutisch wichtiger Proteine in Tiermilch;
- ◆ Landwirtschaft: Manipulation der Eigenschaften von Vieh;
- ◆ Xenotransplantation: als Quelle von Organen zur Transplantation.

Es wird die Erwartung geäußert, dass mit Blick auf die Vorteile und die enormen Potenziale dieser gegenwärtigen und neu entstehenden Anwendungen mit einem beträchtlichen Anstieg der Nutzung transgener Tiere zu rechnen ist und zwar weltweit – einschließlich Indien. Es wird darauf hingewiesen, dass im Vergleich zu den globalen Entwicklungen die Forschung an transgenen Tieren in Indien jedoch noch am Anfang steht. In Anbetracht der hohen Entwicklungskosten wird erwartet, dass zur Deckung der lokalen Erfordernisse neben den einheimischen Quellen auch Importe zum Tragen kommen. Allerdings gehen die Studienautoren davon aus, dass der tatsächliche Fortschritt nicht allein von den wissenschaftlichen Entwicklungen, sondern auch von sozialen und ethischen Anliegen abhängen wird.

**Biotechnologie und Life Sciences – China**

Die beteiligten Experten erwarten, dass der Einsatz der Biotechnologie in der Medizin und die Agrarbiotechnologie den größten wirtschaftlichen Nutzen bringen werden. Technologien aus diesen beiden Bereichen werden ebenfalls den größten Einfluss auf die High-Tech-Industrie und die traditionelle Industrie haben. Genannt werden Technologien der menschlichen funktionellen Genomik als Treiber für die High-Tech-Industrie sowie Biotechnologien zum Umweltschutz als Treiber für traditionelle Technologien. Technologien zur Aufbereitung von Umweltschadstoffen, transgene Technologien sowie der Einsatz von Biotechnologie im agrar-industriellen Umfeld werden als wichtig für die nachhaltige Entwicklung Chinas angesehen.

Der Einsatz von Biotechnologien in der Medizin bietet eine Vielzahl neuer Methoden, von denen in der Studie eine Erhöhung der Lebensqualität und Lebenserwartung der Bevölkerung erwartet wird. Besonders hervorgehoben werden neue Diagnosemöglichkeiten für (Infektions-)Krankheiten und neue Synthesemethoden für Medikamente. Die Studie benennt folgende für die Zukunft wichtige Biotechnologien und Trends:

- ◆ Schnelltest- und Diagnose-Reagenzien für wichtige und infektiöse Erkrankungen;
- ◆ Technologie zur Behandlung von Umweltschadstoffen;
- ◆ Erforschung der funktionellen Genomik des Menschen;
- ◆ Pharmazeutische Biotechnologie (inklusive Impfstoffe);
- ◆ Erforschung der funktionellen Genomik von krankheitserregenden Mikroorganismen;
- ◆ Standardisierung der Qualitätskontrolle bei Medikamenten und Verwaltung der Standards;
- ◆ Erforschung der Ausbreitungsmechanismen, Vorbeugung und Behandlung von Infektionskrankheiten und deren molekularen Mechanismen;



- ◆ Erforschung der funktionellen Genomik bei Pflanzen;
- ◆ Sicherheitstechnologie bei biotischen und transgenen Produkten und Lebewesen;
- ◆ Technik zur Herstellung genetisch veränderter Pflanzen.

### Nachhaltigkeit und Umwelt – Indien

Biologisch abbaubares Plastik ist der Gegenstand einer gemeinsamen Studie des TIFAC und der National Research Development Corporation (NRDC) vom Februar 2003 (Originaltitel: „Biodegradable Plastics“). Zwar liegt in Indien der Pro-Kopf-Verbrauch an Plastik mit etwa 3 Kilogramm deutlich unter dem Wert in entwickelten Ländern von etwa 30 bis 40 Kilogramm. Dennoch ist der Plastikverbrauch in absoluten Zahlen recht hoch und es wird ein weiterer Anstieg des Verbrauchs erwartet. Die Studienautoren weisen auf den hohen Ressourcenverbrauch durch Plastik und die massiven Umweltprobleme hin, die insbesondere durch unsachgemäß entsorgtes Plastikmaterial verursacht werden. Deswegen werden die Wiederverwendung von Plastik, das Recycling aber auch die Vermeidung von langlebigen Plastikabfällen als wichtiges Anliegen betrachtet.

Vor diesem Hintergrund wird das Potenzial von biologisch abbaubarem Plastik für Indien untersucht. Als biologisch abbaubar werden Materialien bezeichnet, die unter dem Einfluss von Mikroorganismen entweder in Kohlendioxid und Wasser oder in Methan und Wasser verwandelt werden und dies sowohl unter aeroben als auch anaeroben Bedingungen. Die folgenden Beispiele für neue Sorten von Bioplastik werden aufgeführt:

- ◆ Stärke-basiertes Bioplastik ist das derzeit kostengünstigste Biopolymer. Es lässt sich sowohl durch Film-Extrusion als auch im Spritzguss verarbeiten.
- ◆ Biopolymere auf Basis von Sojabohnen: Im Labor konnte gezeigt werden, dass sich Sojaprotein durch moderne Extrusions- und Spritzgussverfahren prozessieren lässt.
- ◆ Viele wasserlösliche Biopolymere, wie Stärke, Gelatine, Sojaprotein, Kasein und Zein, bilden nach geeigneter Plastifizierung flexible Filme.
- ◆ Triglyceride können durch Glasfaser-Verstärkung die Basis für haltbare, robuste Komposite mit Einsatzmöglichkeiten bei landwirtschaftlichen Geräten, im Automobilbau sowie als Baumaterial bilden. Neben Glasfasern können auch Naturfasern, z.B. aus Jute, Hanf, Flachs, Holz und sogar aus Stroh oder Heu, verwendet werden.
- ◆ Polyhydroxyalkonate werden durch Bodenbakterien produziert und können im Boden, in Kompost oder im marinen Sediment natürlich abgebaut werden.
- ◆ Polymilchsäure hat sich zu einem signifikanten, kommerziellen Polymer entwickelt. Sie eignet sich für transparente Verpackungen und biomedizinische Anwendungen, wie etwa für Nähte und prothetische Materialien.

Als potenzielle Märkte für biologisch abbaubares Plastik in Indien werden die Sektoren Agrarindustrie, Verpackungsindustrie, Biomedizin, Gartenbau, Molkerei-Industrie identifiziert. Nach einer im Rahmen der Studie durchgeführten Umfrage werden jedoch die meisten Plastikhersteller ihre Produktion nicht freiwillig auf biologisch abbaubare Plastikprodukte umstellen. Außerdem weisen die Studienautoren darauf hin, dass Plastik-Recycling für ein Land wie Indien wichtiger ist als biologische Abbaubarkeit von Plastik. Deswegen wird es als notwendig angesehen, zu untersuchen, welche Auswirkungen die Mischung von abbaubaren und nicht abbaubaren Plastiktorten während des Recyclings hat.

### Keywords

---

technology prognoses

---

future studies

---

comparative study

---

India

---

China

---

**summary**

**India and China are currently of great general interest. Technology prognoses from these countries may provide clues to the scientific and technological interests which are to be expected. Starting from a short presentation of previous activities of both countries in the area of technology prognoses, the paper analyses the content of current technology prognoses from India and China with respect to the three technology fields of energy, biotechnology and life sciences as well as sustainability and environment.**

Der Umgang mit den festen Abfallstoffen von Stahlwerken wird in einer 2003 erschienen Studie der Firma Mecon Limited im Auftrag des TIFAC mit dem Titel „Management of Steel Plant Solid Wastes“ untersucht. Die Herausforderung für den Werkstoff Stahl im neuen Millennium besteht nach Aussage der Studienautoren nicht mehr darin, seine Kapazität zur Generierung von Wachstum zu beweisen, sondern darin, zu zeigen, dass es ein Material mit Zukunft ist, das sich fest in das Konzept der nachhaltigen Entwicklung integrieren lässt. Die intrinsische Eignung von Stahl zum vollständigen Recycling bildet dafür eine gute Ausgangsbasis. Aufgabe der Stahlindustrie bleibt es vor diesem Hintergrund, sämtliche Abfallstoffe einer einträglichen Anwendung zuzuführen. Auch aus Gründen der Kosteneffizienz gewinnen diese Überlegungen an Interesse, da sich so neue Geschäftsmöglichkeiten für die Stahlindustrie ergeben können.

In der betrachteten Studie werden die Materialflüsse von neun generischen Stahlwerkstypen analysiert und die Zusammensetzungen und Anteile der festen Abfallstoffe erfasst, die bislang ungenutzt deponiert werden. Darauf aufbauend werden neben Maßnahmen zur Abfallvermeidung auch kommerziell etablierte und wirtschaftlich rentable Technologien zur Nutzung dieser Stahlwerksabfälle identifiziert. Im Hinblick auf toxische Abfallstoffe wird dabei angemerkt, dass gesetzliche Regelungen erforderlich sind, um geeignete Kostenanreize zu setzen. Es werden zwei Gruppen von Technologien unterschieden: Nutzung der Abfallstoffe in der Herstellung konventioneller Produkte und die Konversion der Abfallstoffe in neue Produkte. In der ersten Gruppe wird hauptsächlich auf die Möglichkeiten der Nutzung von Schlacke und Flugasche in Zement und anderen Baumaterialien verwiesen. Als neue Produkte benennt die Studie beispielsweise:

- ◆ Glasbildende Materialien und Gläser;
- ◆ Rückgewinnung von Zink und Zinkoxidkristallen;
- ◆ Glaskeramik;
- ◆ Eisenoxidpulver;
- ◆ Keramische Wand- und Bodenfliesen;
- ◆ Fliesen aus synthetischem Granit;
- ◆ Verschleißfeste keramische Produkte;
- ◆ Lärm und Hitze isolierende Platten;
- ◆ Naturfaserverstärkte Türen und Fensterläden;
- ◆ Dachpappe.

Die Studienautoren kommen zu dem Schluss, dass ein F&E-Programm sowohl möglich als auch nötig ist, um die Stahlindustrie zu einer abfallfreien Branche zu machen.

**Nachhaltigkeit und Umwelt – China**

Die Umwelttechnologien mit dem höchsten wirtschaftlichen Potenzial sind nach Einschätzung der Experten Technologien zur Aufbereitung von Abfall und Abwasser sowie Technologien zur Rohstoffexploration. Technologien zur Erschließung und Ausbeutung von maritimen Öl- und Gasressourcen sowie von Mineralien werden als besonders wichtig für die Entwicklung der High-Tech-Industrie in China angesehen. Daneben sind die marine Biotechnologie und Techniken zur Wassereinsparung in der Landwirtschaft wichtig für die High-Tech-Industrie in China. Die oben genannten Technologien spielen ebenfalls eine wichtige Rolle in der Verbesserung und Trans-

formation der traditionellen Industrie. Naturgemäß haben Technologiethemen aus dem Bereich Ressourcen und Umwelt generell eine große Bedeutung für den Umweltschutz und die umfassende Ressourcennutzung. Technologien zur Reduzierung der städtischen Luftverschmutzung, zur Wassereinsparung und zur Wiederaufbereitung von verschmutztem Wasser werden für die nachhaltige Entwicklung Chinas als besonders bedeutsam angesehen.

Für die Steigerung der Lebensbedingungen und -qualität sind Technologien für die Wasserver- und -entsorgung besonders wichtig, wie beispielsweise: Kontrollsysteme für die Wasserverschmutzung, Technologien zur Wasserbehandlung, Trinkwassersicherheit, Nutzung der Wasseraufbereitung. Ebenfalls wichtig zur Steigerung der Lebensqualität sind Technologien zur Beseitigung und Verwertung von Abfällen. Die wichtigsten Umwelttechnologien sind:

- ◆ Technologien zur Klärung und Wiederaufbereitung von städtischen Abwassern;
- ◆ Umfassende Technologien zur Vorbeugung und Behandlung komplexer Luftverschmutzungen in Städte-Clustern;
- ◆ Technologien für die Wiederaufbereitung von Wasser und zur Überprüfung der Wasserqualität;
- ◆ Technologien zur Überprüfung der Trinkwassersicherheit;
- ◆ Demonstratoren und Technologien zur Abfallbehandlung;
- ◆ Technologien zur Überwachung der Risiken für Grubengas- und Kohlenstaubexplosionen in Bergwerken und zu deren Vorbeugung;
- ◆ Bewertungs-, Prognose- und Frühwarnsystem für die Umweltsicherheit;
- ◆ Technologie zur Wiederverwendung von Industrieabwasser und Forschung an Technologien zur Wassereinsparung in der Industrie;
- ◆ Identifizierung großer Erzlagerstätten in (Kontinental-)China durch das Verstehen der erzbildenden Prozesse und die Lokalisierung der wichtigen metallogenetischen Gürtel;
- ◆ Schlüsseltechnologie zur Erschließung und Ausbeutung von Tiefseeöl und -gas.

### Fazit

Die aggregierte Sicht auf die untersuchten Studien ergibt ein klares Fazit: Nachhaltigkeit und Umwelt erweisen sich als das Leitthema. Grund für diese hohe Bedeutung sind unter anderem Aspekte der Globalisierung von Wirtschaft und Technologie, deren Zusammenhänge und Probleme in den Studien aus Indien besonders deutlich und nachdrücklich ausgesprochen wird: Die Globalisierung und die Öffnung der Märkte führen zu einem hohen Wettbewerbsdruck. Wer im internationalen Wettbewerb bestehen will, muss schon allein aus Kostengründen die zur Verfügung stehenden Ressourcen (einschließlich der Energie) möglichst effizient nutzen. Dies wiederum resultiert in einem hohen Bedarf an technologischen Innovationen.

Gleichzeitig führen die Ausweitung der industriellen Produktion und die Verbesserung des Lebensstandards zu ernststen Umweltproblemen. Die gleichen Themen finden sich (wenngleich auch in eher stichwortartiger Form) in den chinesischen Technologiestudien: Sauberkeit von Luft und Wasser, Vermeidung von Abfällen, Ressourceneffizienz. Im Bereich der Energieversorgung erscheint nach den chinesischen Technologiestudien allerdings die Sicherstellung der Versorgung einen gewissen Vorrang vor der Umweltfreundlichkeit zu besitzen.

**Die aggregierte Sicht auf die untersuchten Studien ergibt ein klares Fazit: Nachhaltigkeit und Umwelt erweisen sich als das Leitthema. Grund für diese hohe Bedeutung sind unter anderem Aspekte der Globalisierung von Wirtschaft und Technologie, deren Zusammenhänge und Probleme in den Studien aus Indien besonders deutlich und nachdrücklich ausgesprochen wird: Die Globalisierung und die Öffnung der Märkte führen zu einem hohen Wettbewerbsdruck.**

### Kontakt:

**Dr. Dr. Axel Zweck**  
**Future Technologies Division of VDI-TZ**  
**Graf-Recke-Strasse 84**  
**40239 Düsseldorf**  
**Tel.: + 49 (0)2 11/62 14-5 72**  
**Fax: + 49 (0)2 11/62 14-1 39**  
**E-Mail: zweck@vdi.de**  
**www.zukuenftigetechnologien.de**