

# Die Rolle regenerativer Energien bei der weltweiten Elektrizitätserzeugung

Volker Quaschnig, Almería

*In den 90er-Jahren betrug das durchschnittliche weltweite Wachstum des Nettostromverbrauchs knapp 3 %. Mit Ausnahme der Wasserkraft ist der Anteil regenerativer Energien noch sehr gering. So decken überwiegend konventionelle thermische Kraftwerke, die damit mehr als ein Drittel aller energiebedingten weltweiten Kohlendioxidemissionen verursachen, diesen Mehrbedarf. Die meisten regenerativen Kraftwerke verzeichnen jedoch deutlich stärkere Wachstumsraten. Sie können in den nächsten zwei Jahrzehnten den Anteil konventioneller Kraftwerke zurückdrängen und einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz liefern.*



Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenergie in der Nähe von Almería, Spanien; kein Klimaschutz ohne regenerative Energien.

Fotos: V. Quaschnig

**W**irkungsgradverbesserungen bei konventionellen Kraftwerken und die Verwendung kohlendioxidärmerer Brennstoffe wie Erdgas anstelle von Kohle können zwar die spezifischen Treibhausgasemissionen bei der Stromerzeugung reduzieren. Dies wird jedoch durch den steigenden Bedarf wieder kompensiert, so dass nur ein drastischer Ausbau der Nutzung regenerativer Energien langfristig einen wirklichen Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasen leisten kann. Dabei decken die erneuerbaren Energien bereits heute mehr als ein Fünftel des weltweiten Elektrizitätsbedarfs.

Dr.-Ing. habil. V. Quaschnig, Projektleiter für Systemanalyse beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. an der Außenstelle Plataforma Solar de Almería in Spanien. Mit seiner Webseite [www.volker-quaschnig.de](http://www.volker-quaschnig.de) betreibt er auch eine der meist besuchtesten Internetangebote im Bereich der regenerativen Energien und Klimaschutz.

## Die Wasserkraft dominiert den regenerativen Energiemarkt

Der Löwenanteil der regenerativen Elektrizitätserzeugung wird derzeit von der Wasserkraft erbracht. Dabei fällt sowohl die Erzeugung als auch der Anteil am Stromaufkommen in den einzelnen Ländern stark unterschiedlich aus (Tabelle 1 und Bild 1). In den folgenden Betrachtungen wird der Anteil der Nettoerzeugung der Wasserkraft auf den Nettostromverbrauch bezogen. Hierbei sind jedoch Transportverluste, Verluste durch Speicherung z. B. bei Pumpspeicherkraftwerken und Import oder Export von Elektrizität nicht berücksichtigt, sodass der Anteil wie bei Norwegen oder Paraguay auch über 100 % betragen kann. Auch Albanien, Tadschikistan, Kamerun, Kongo, Äthiopien, Sambia, Bhutan oder Nepal decken mit weit über 90 % fast ihren gesamten Elektrizitätsbedarf durch die Wasserkraft.

Theoretisch ließe sich die weltweite Erzeugung aus Wasserkraft in etwa noch vervierfachen. In vielen Gebieten der Erde sind die Potenziale der Wasserkraft hingegen schon weit erschlossen. Auf Grund ihrer starken Eingriffe in die Natur werden Großprojekte wie das im Bau befindliche Dreischluchtenprojekt in China mit 18,2 GW Leistung international stark kritisiert. Naturverträgliche Kleinanlagen werden wegen der deutlich höheren spezifischen Kosten jedoch nur in geringem Umfang errichtet. Dennoch ist zu erwarten, dass die Wasserkraft mittelfristig ihre dominante Stellung unter den Regenerativen behaupten kann.

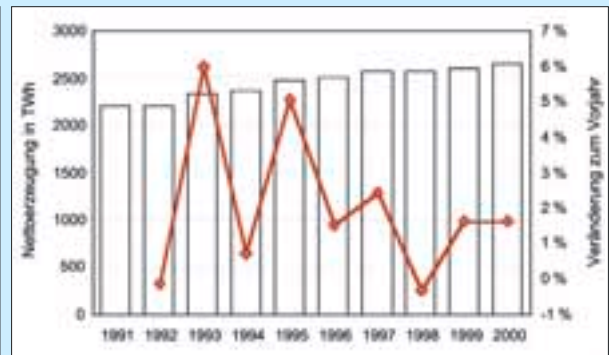
## Die Biomassenutzung weckt große Erwartungen

Nach der Wasserkraft erbringt die Biomasse weltweit den zweithöchsten Anteil an der regenerativen Stromerzeugung, wenn auch mit deutlichem Ab-

Land	Nettoerzeugung in TWh	Installierte Leistung in GW	Anteil am Nettoverbrauch
Kanada	152,7	66,9	91,8%
Brasilien	304,5	59,0	84,4%
USA	273,1	46,9	7,5%
China	220,1	70,0	18,2%
Italien	157,8	43,4	20,6%
Norwegen	140,2	27,0	124,6%
Japan	86,6	21,6	9,2%
Schweden	77,8	16,8	55,9%
Indien	75,8	24,5	14,9%
Frankreich	66,7	20,8	16,3%
Venezuela	62,3	13,2	83,6%
Paraguay	53,0	7,4	102,9%
Österreich	41,4	8,0	75,5%
Schweiz	36,5	10,8	89,4%
Anderer	200,6	200,2	14,2%
<b>Welt</b>	<b>2446,1</b>	<b>691,7</b>	<b>19,3%</b>

Stand: Jahr 2000, Quelle: [1]

**Tabelle 1: Länder mit der größten Nettoerzeugung durch Wasserkraft sowie installierte Leistung und Anteil am Nettoverbrauch**



**Bild 1: Entwicklung der weltweiten Stromerzeugung aus Wasserkraft und Veränderung in den letzten Jahren (Daten: [1])**

stand. Im Gegensatz zu den meisten anderen regenerativen Energien sind weltweite Zahlen für die Biomassenutzung nur schwer erhältlich, da sie in vielen Ländern von privaten Erzeugern in kleineren dezentralen Anlagen erfolgt. Der Umfang der weltweiten Nutzung lässt sich am amerikanischen Markt abschätzen. Hier wurden im Jahr 2001 allein mit Holz 36,9 TWh erzeugt, was in der Größenordnung der Wasserkraftnutzung in der Schweiz entspricht.

Inwieweit man die Abfallverbrennung als regenerative Energienutzung ansehen kann, ist stark umstritten. Zwar besteht der Müll aus großen Mengen organischer Reststoffe, aber auch aus Erdölprodukten. Dennoch ordnet die Statistik die energetische Abfallverwertung oftmals bei der Biomasse ein. Die USA erzeugten im Jahr 2001 durch Abfallnutzung 22,8 TWh. Schlägt man diese der Biomasse zu, erbringt sie immerhin 1,6 % der amerikanischen Nettostromproduktion.

Auch andere Länder setzen auf die Biomassenutzung große Hoffnungen. Im gleichen Jahr erzeugte z. B. Spanien durch Biomassenutzung und Hausmüllverbrennung rund 1,9 TWh, was einem knappen % des Nettostrombedarfs entspricht. Die künftigen Ziele des Landes

an der iberischen Halbinsel sind beachtlich. Bis zum Jahr 2010 soll die Produktion auf über 16 TWh gesteigert werden. Ob sich dieses erreichen lässt, ist auf Grund der noch moderaten Steigerungsraten derzeit zu bezweifeln.

Deutschland scheut die Formulierung von derartig ehrgeizigen Zielen. Mit 4,9 TWh beträgt auch hier die Stromerzeugung aus Biomasse und Müll ein knappes % des Stromaufkommens. Schätzt man die weltweite Biomasse- und Abfallnutzung zur Stromerzeugung auf 1,5 % des globalen Nettostromaufkommens ab, liefert die Biomasse rund 200 TWh.

### Geothermie wird oft unterschätzt

Als regenerative Energiequelle mit der dritthöchsten Stromerzeugung deckt die Geothermie rund 0,4 % des weltweiten Stromverbrauchs. Auf den Philippinen hat sie dabei mit fast einem Viertel den größten Anteil an der Versorgung eines Landes. Island und El Salvador folgen mit einem Fünftel des Stromaufkommens. Zusammen mit einem Wasserkraftanteil von gut 80 % basiert die isländische Stromversorgung damit ebenfalls nahezu vollständig auf regenerativen Energien (Tabelle 2).

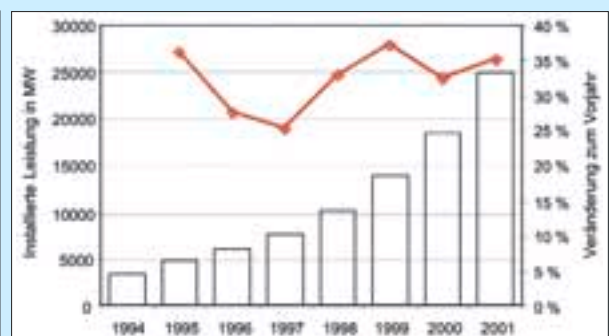
### Windkraft weist ein stürmisches Wachstum auf

Mit 25 bis 35 % verzeichnet die Windkraft derzeit die größten Wachstumsraten unter den Regenerativen (Bild 2). Mit 0,3 % ist ihr Anteil am Elektrizitätsverbrauch derzeit noch etwas geringer als der der Geothermie (Tabelle 3). Noch in diesem Jahr wird die Windkraft die Geothermie vom dritten Platz verdrängen. In gut fünf Jahren holt sie dann bei gleichbleibenden Zuwachsraten die Biomasseerzeugung ein. Ende dieses Jahrzehnts könnte dann die Windkraft hinter der Wasserkraft mit einem Anteil von knapp 3 % an der weltweiten Stromerzeugung die mit Abstand zweitgrößte regenerative Energiequelle sein. Um die Wasserkraft vom regenerativen Thron stoßen zu können, benötigt die Windkraft aber selbst bei weiterhin optimistisch hohen Wachstumsraten noch mindestens 15 bis 20 Jahre.

Land	Erzeugung in TWh	Installierte Leistung in MW	Anteil am Nettoverbrauch
USA	15,47	2.228	0,4%
Philippinen	9,18	1.905	24,3%
Mexiko	3,68	865	3,1%
Indonesien	4,58	748	5,3%
Italien	4,80	892	1,6%
Japan	3,53	549	0,4%
Niederlande	2,27	438	6,8%
Island <sup>1)</sup>	1,45	202	20,7%
El Salvador	0,80	161	19,5%
Costa Rica	0,59	143	10,0%
Anderer	1,62	298	0,0%
<b>Summe</b>	<b>49,57</b>	<b>8.229</b>	<b>0,4%</b>

<sup>1)</sup> Stand 2000, Quelle: [2]  
<sup>2)</sup> Stand: Halbjahr 2002, Quelle: [3]  
<sup>3)</sup> Standjahr 2000, Quelle: [1]  
<sup>4)</sup> Erzeugung und Leistung Stand 2001, Quelle: [4]

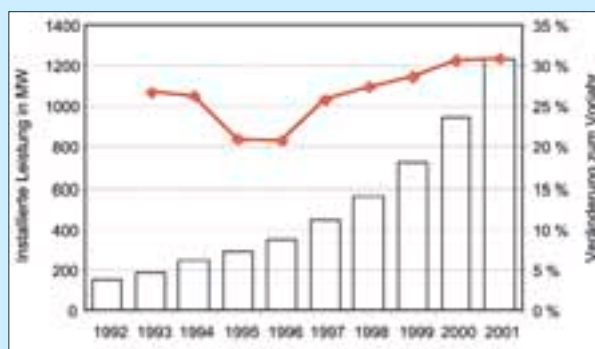
**Tabelle 2: Elektrizitätserzeugung und installierte Leistung von Geothermie sowie Anteil am Nettoverbrauch**



**Bild 2: Entwicklung der weltweiten installierten Windkraftleistung und Veränderung in den letzten Jahren (Daten: [9])**

Land	Erzeugung in TWh	Installierte Leistung in MW	Anteil am Nettoverbrauch
Deutschland	11,5	8 734	2,1%
Spanien	7,2	3 590	3,6%
USA	5,8	4 245	0,2%
Dänemark	4,3	2 456	12,7%
Indien	2,4	1 456	0,5%
Italien	1,8	700	0,4%
Großbritannien	0,9	525	0,2%
Niederlande	0,9	523	0,9%
China	0,7	406	0,1%
Griechenland	0,6	358	1,2%
Anderer	3,0	1 964	0,0%
<b>Summe</b>	<b>38,3</b>	<b>24 917</b>	<b>0,3%</b>

\* Stand 2001, Quellen [2] & [3], eigene Berechnungen  
 \*\* Stand 2001, Quelle [2]  
 \*\*\* basierend auf 2000, Quelle [1]



**Tabelle 3: Elektrizitätserzeugung und installierte Leistung der Windkraft sowie Anteil am Nettoverbrauch**

**Bild 3: Entwicklung der weltweiten installierten Photovoltaikleistung und Veränderung in den letzten Jahren (Daten: [11])**

Entscheidend dabei ist aber, dass sich der Ausbau der Windkraftnutzung nicht nur auf einige wenige Länder beschränkt. Zwar stehen in vielen Ländern Windkraftanlagen, doch haben diese bislang lediglich in Dänemark einen zweistelligen Anteil an der Stromversorgung. Anderenorts bewegt sich dieser Anteil im Promillebereich. Drei Viertel der weltweiten Windleistung stehen in den vier Ländern Deutschland, Spanien, USA und Dänemark. Dabei verfügen auch andere Länder wie Großbritannien über gigantische Potenziale, die theoretisch mehr als den gesamten Elektrizitätsbedarf des Landes decken könnten.

von kleinen Inselanlagen. Netzgekoppelte Systeme werden in einigen Ländern wie Japan, Deutschland oder Spanien durch Gesetze oder staatliche Programme gefördert.

Elektrizitätsbedarf der Erde durch solarthermische Kraftwerke zu decken. In Mittel- oder Nordeuropa hingegen macht die Errichtung solarthermischer Kraftwerke keinen Sinn, da auf Grund des deutlich geringeren direkten Solarstrahlungsanteils hier die Kosten exorbitant höher sind. In Sonnengürtel der Erde produzieren solarthermische Kraftwerke hingegen durchaus zu interessanten Kosten. Mittelfristig könnten sie es sogar mit fossilen Kraftwerken aufnehmen.

Da die Erzeugung der Windkraft je nach Windangebot stark schwankt, können Windkraftanlagen nur einen geringen Anteil an gesicherter Leistung zur Verfügung stellen. Darum dürfte die Erzeugung aus Windkraft in den einzelnen Ländern auf maximal 20 bis 30 % beschränkt bleiben, wenn nicht globale Verbundnetze oder Speichermöglichkeiten künftig für einen Ausgleich sorgen. Das könnte bedeuten, dass die hohen Zuwachsraten der Windkraft spätestens im nächsten Jahrzehnt wieder sinken.

Auch die Photovoltaik weist in den letzten Jahren Zuwachsraten von 30 % auf (Bild 3), befindet sich aber noch auf einem deutlich niedrigeren Niveau als die Windkraft, sodass sie selbst bei weiter hohen Wachstumsraten in den nächsten zehn Jahren noch keinen bedeutenden Anteil an der Weltstromversorgung bekommen wird (Tabelle 4). Auch im Jahrzehnt danach wird die Photovoltaik vermutlich erst die heutige Bedeutung der Windkraft erlangen. Langfristig sind die Potenziale der Photovoltaik jedoch gigantisch. Gelingt es, die Kosten in den nächsten beiden Jahrzehnten auf die anderer regenerativer Energien oder noch mehr zu drücken, könnte sie bis zum Jahr 2050 zu einer der wichtigsten regenerativen Energienquelle aufsteigen.

Gegenüber der Photovoltaik und der Windkraft weisen sie noch einen weiteren Vorteil auf: Verhältnismäßig einfach lassen sich Speicher in solarthermische Kraftwerke integrieren. Je nach Speichergroße können diese auch nachts oder in Schlechtwetterperioden Strom liefern. In den 80er-Jahren zu Zeiten der Ölkrise errichteten die USA in Kalifornien solarthermische Kraftwerke mit einer Leistung von 354 MW, die seitdem erfolgreich betrieben wurden. Mit einer jährlichen solaren Stromerzeugung von rund 0,6 TWh decken sie damit 0,004 % des weltweiten Strombedarfs.

### Hohe Kosten und enorme Potenziale bei der Photovoltaik

Die Photovoltaik lässt sich prinzipiell nahezu überall auf der Erde einsetzen, auch wenn der Ertrag in Mitteleuropa deutlich niedriger als z. B. in Afrika ausfällt. Hauptvorteile der Photovoltaik sind die Modularität und mögliche Gebäudeintegration. So könnten allein Anlagen auf verfügbaren Dächern und Gebäudefassaden in Deutschland gut 25 % des Strombedarfs decken [10]. Die hohen Kosten erlauben hingegen derzeit nur einen wirtschaftlichen Betrieb

### Zehn Jahre Pause beim Ausbau der solarthermischen Stromerzeugung

Mittel- und langfristig weckt auch die solarthermische Stromerzeugung große Hoffnungen. Ein % der verfügbaren Fläche in der Sahara würden theoretisch ausreichen, um den gesamten

Der Verfall der Ölpreise stoppte diese Entwicklung. Durch eine Neufassung des spanischen Einspeisegesetzes sind die finanziellen Rahmenbedingungen für den Neubau neuer Kraftwerke auf der iberischen Halbinsel geschaffen

Land	Erzeugung in TWh	Installierte Leistung in MW	Anteil am Nettoverbrauch
Japan	0,35	452,2	0,037 %
Deutschland	0,12	194,7	0,023 %
USA	0,20	167,8	0,005 %
Australien	0,04	37,6	0,020 %
Niederlande	0,01	20,5	0,012 %
Schweiz	0,01	17,6	0,027 %
Spanien	0,02	15,6	0,008 %
Mexiko	0,02	15,0	0,006 %
Frankreich	0,01	13,9	0,003 %
Kanada	0,01	8,8	0,001 %
Anderer	0,25	290,3	0,004 %
<b>Summe</b>	<b>1,03</b>	<b>1 270,0</b>	<b>0,008 %</b>

\* Stand 2001, eigene Berechnungen  
 \*\* Stand 2001, Quellen [10]  
 \*\*\* basierend auf 2000, Quelle [11]

**Tabelle 4: Elektrizitätserzeugung und installierte Leistung der Photovoltaik sowie Anteil am Nettoverbrauch**

worden. Auf Grund der nötigen Planungs- und Bauzeiten ist jedoch frühestens in 2 bis 3 Jahren mit der Inbetriebnahme neuer Anlagen zu rechnen. Selbst bei optimistischen Annahmen wird damit die solarthermische Stromerzeugung den Promillebereich bis Ende des Jahrzehnts nicht verlassen.

### Kein Klimaschutz ohne regenerative Energien

Mit Ausnahme der Wasserkraft weisen alle hier beschriebenen regenerativen Energien höhere Wachstumsraten als der Nettostromverbrauch auf. Tabelle 5 zeigt die Entwicklung bis zum Jahr 2020, wenn die Zuwachsraten der letzten Jahre fortgeschrieben werden. Da sie jedoch noch einen sehr geringen Anteil an der Stromversorgung haben, können sie die Zunahme des Verbrauchs in den nächsten zehn Jahren nicht kompensieren.

Bis zum Jahr 2010 wird deshalb die Erzeugung aus konventionellen Kraftwerken um 25 % ansteigen. Dies bedeutet eine weitere Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen, denn Einsparungen durch den Ersatz alter ineffektiver Anlagen durch emissionsärmere Kraftwerke können dieses Wachstum nicht kompensieren. Eine mögliche Verbrauchsreduzierung durch die rationellere Verwendung vom Strom könnte zwar diese für das Klima negative Entwicklung bremsen, erscheint aus heutiger Sicht jedoch wenig wahrscheinlich.

	aktuelle Erzeugung in TWh und Anteil %	jährliche Steigerung %	Erzeugung in TWh und Anteil im Jahr 2010	Erzeugung in TWh und Anteil im Jahr 2020
Wasserkraft	2.649,1 (14,3%)	+ 2,1 %	3.329 (16,6%)	3.936 (16,6%)
Biomasse	200 (1,1%)	+ 9,0 %	434 (2,1%)	1.028 (4,4%)
Geothermie	49,6 (0,3%)	+ 3,2 %	66 (0,3%)	87 (0,4%)
Windkraft	38,3 (0,2%)	+ 32,3 %	475 (2,3%)	7.800 (33,4%)
Photovoltaik	1,0 (0,005%)	+ 26,3 %	8 (0,04%)	87 (0,4%)
Solarthermie	0,6 (0,003%)	+ 30,0 %	3 (0,01%)	40 (0,2%)
<b>Summe</b>	<b>2.938,6 (15,4%)</b>		<b>4.317 (21,7%)</b>	<b>12.978 (55,5%)</b>
Nettostromverbrauch	13.719,1 (74,6%)	+ 2,7 %	17.907 (88,3%)	23.374 (100%)

Tabelle 5: Aktuelle Erzeugung und Projektion bis zum Jahr 2020 bei Fortschreibung der aktuellen Zuwachsraten

Dennoch wird der Anteil der regenerativen Energien bis zum Jahr 2010 leicht zunehmen. Vor allem Biomasse und Windkraft haben an dieser Entwicklung einen wichtigen Anteil. Bis zum Jahr 2020 ließe sich dann die Leistung konventioneller Kraftwerke stabilisieren oder leicht reduzieren. Bei gleichzeitigem Rückgang der spezifischen Emissionen der fossilen Kraftwerke könnte dann auch eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Elektrizitätsbereich erzielt werden. Wichtig wäre hierbei jedoch, dass die bisherigen Steigerungsraten gehalten oder sogar noch übertroffen werden. Kommt es z. B. bei Windkraft zu einem Wachstumsrückgang, muss dieser durch die Solarenergie oder Biomasse kompensiert werden. Anderenfalls rücken alle Klimaschutzziele in unerreichbare Ferne.

### Literatur

[1] US Department of Energy, Energy Information Administration (DOE/EIA): International Energy Annual 2000. Washington 2002.

[2] Dickson, M.; Fanelli, M.: Power from geothermal energy. Renewable Energy World Vol. 4 No 4, July-August 2001, pp. 210-217.

[3] Dickson, M.; Fanelli, M.: Power and heat from geothermal energy. Renewable Energy World Vol. 5 No 4, July-August 2002, pp. 216-221.

[4] Statistics Iceland: Iceland in Figures 2002. Reykjavik 2002.

[5] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE: Boletín IDAE No. 4, 2002, Eficiencia Energética y Energías Renovables. Madrid 2002.

[6] Danish Energy Authority: Energy Statistics 2001. Kopenhagen 2002

[7] US Department of Energy, Energy Information Administration (DOE/EIA): Annual Energy Review 2001. Washington 2002.

[8] Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke VDEW: Sieben Prozent Ökostrom. Internet: www.strom.de 2002.

[9] BTM Consult: World Market Update. Ringkøbing, verschiedene Jahrgänge.

[10] Quaschnig, V.: Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung für Deutschland im 21. Jahrhundert. VDI-Fortschritts-Berichte, Reihe 6, Nr. 437, Düsseldorf 2000 (download unter www.volker-quaschnig.de)

[11] IEA-PVPS: Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2001.



## H2Expo präsentiert neue Wasserstoff-Speicherverfahren

Wasserstoff gilt bereits heute als der Energieträger der Zukunft. Es ist jedoch immer noch offen, welche Speichertechniken sich bei den verschiedenen Einsatzgebieten durchsetzen werden. Soll Wasserstoff zukünftig gasförmig, flüssig oder gebunden in Metallhydriden transportiert und gelagert werden? Oder wird sich die Nano-Technologie als die Speichertechnik mit dem größten Potential erweisen? Dieses Thema ist ein Schwerpunkt auf der **H2Expo, der 3. Internationalen Fachmesse für Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie, die vom 9. bis 11. Oktober 2003 auf dem Hamburger Messegelände** ihre Tore öffnet. Zahlreiche Gasunternehmen, Tankhersteller und Zulieferfirmen werden ihre unterschiedlichen Speichermethoden präsentieren, um mit Vertretern aus Wirtschaft, Politik, Forschung und Industrie sowie Anwendern über die weitere Entwicklungsmarschroute zu diskutieren.

Gleich zwei Neuerungen gibt es in der „Kryogen-Abteilung“ und zwar bei der Speicherung von flüssigem Wasserstoff (LH<sub>2</sub>), bei der die auf der H2Expo vertretene Wiesbadener Linde AG führend ist. Die erste Neuent-

wicklung ist ein formoptimiertes Speichersystem, das relativ wenig Raum beansprucht und beispielsweise in den Unterboden von Fahrzeugen eingebaut werden kann. Das zweite Novum ist die Fahrzeug-Integration eines LH<sub>2</sub>-Zylindertanks mit verbesserter Isolation. Die Standzeit dieses Behälters ist von bisher fünf auf jetzt 12 Tage heraufgesetzt worden. Ermöglicht wird dies durch einen zusätzlichen Kühlmantel, der den Innentank umschließt und von tiefkalter, verflüssigter Luft (-191 °C) durchströmt wird. Erste erfolgreiche Versuche mit diesem Prinzip konnten bereits durchgeführt werden, so dass jetzt geplant ist, einen derartigen Tank zu Testzwecken in ein Fahrzeug einzubauen.

Auf der Fachmesse H2Expo werden namhafte Aussteller aus Europa, Asien und Nordamerika präsent sein. Sie zeigen Neuheiten aus den Bereichen Wasserstoff-Erzeugung, Speicherung, Infrastruktur, Brennstoffzellen-Techniken, Anwendungen, Projekte und vieles mehr.

Weitere Informationen gibt es unter [www.h2expo.de](http://www.h2expo.de)