



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Forschungslandschaft Leistungselektronik**

Benjamin Frieske

DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Juli 2014



<b>1</b>	<b>STROMbegleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Forschungslandschaft „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ .....</b>	<b>4</b>
2.1	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „LEISTUNGSELEKTRONIK IM ANTRIEBSSTRANG ELEKTRIFIZIERTER PKW“ .....	6
2.2	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „WANDLERTYPEN“ .....	9
2.3	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „WECHSELRICHTER“ .....	11
2.4	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „KONDENSATOREN“ .....	13
2.5	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „HALBLEITER“ .....	15
2.6	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „HALBLEITERMATERIAL – SILIZIUMKARBID (SiC)“ .....	17
2.7	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „HALBLEITERMATERIAL – GALLIUMNITRID (GAN)“ .....	21
<b>3</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>24</b>

# 1 STROMbegleitung

Die „Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität“ (im Folgenden „STROMbegleitung“ genannt) wird im Rahmen der im Jahr 2009 veröffentlichten BMBF-Förderbekanntmachung Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM) durchgeführt und dient der wissenschaftlichen Begleitung und Beforschung der im Rahmen dieser Bekanntmachung gestarteten F&E-Projekte. Das BMBF initiierte mit der Förderbekanntmachung STROM Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Gesamtfahrzeugsysteme, Batterieentwicklung und -integration, Energiemanagement sowie der entsprechenden Werkstoff- und Materialforschung. STROM war, nach Fördervorhaben im Rahmen des Konjunkturpaketes II, die erste Maßnahme zur Umsetzung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“. Die Themen orientieren sich an Empfehlungen externer Experten und sind konsistent mit den Inhalten und Zielen der Arbeitsgruppen „Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration“ und „Batterietechnologie“ der im Jahr 2010 ins Leben gerufenen „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE)<sup>1</sup>.

## Ziele der STROMbegleitung

Im Rahmen der STROMbegleitung werden unterschiedliche Ziele verfolgt, die zusammen ein umfassendes Bild über den Stand der Technik und die Potenziale vielversprechender technologischer Lösungen der Elektromobilität ermöglichen sollen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Identifikation und Analyse aktueller und zukünftiger Trends der Fahrzeugkonzept- und Technologieentwicklung sowie in der Einordnung der deutschen Aktivitäten in den internationalen Kontext. Im Detail orientiert sich die Begleitforschung an den folgenden Forschungsfragen:

- Welche generellen technologischen und marktlichen Trends zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Was ist der State-of-the-art bei den Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und welches zukünftige Entwicklungspotenzial besitzen diese?
- Wie tragen die im Rahmen der STROM-Ausschreibung geförderten Projekte zur Technologieentwicklung bei? Welche Herausforderungen, Grenzen und Hürden bestehen bei der Entwicklung spezieller technischer Lösungen?
- Welchen Stand hat die Technologieentwicklung im nationalen und internationalen Vergleich?
- Welche Förderschwerpunkte können in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden und welche Zielgruppen werden adressiert?
- Welche ökonomischen, ökologischen und technischen Auswirkungen haben die Schlüsseltechnologien auf das zukünftige Gesamtsystem Fahrzeug?
- Wie sehen die Materialintensitäten der Schlüsseltechnologien und Fahrzeugkonzepte aus?

Die wissenschaftlich fundierte Beantwortung der genannten Aspekte und Fragen wird es u.a. erlauben, das Förderprogramm STROM und die beforschten Schlüsseltechnologien in die internationalen Forschungsaktivitäten einzuordnen und Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung staatlicher Förderprogramme und für andere politische Entscheidungen zu geben.

---

<sup>1</sup> Die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) hat zum Ziel, den Markteintritt innovativer Elektrofahrzeuge in systemischer, markt-orientierter und technologieoffener Form zu beschleunigen. Deutschland soll dabei bis zum Jahr 2020 Leitanbieter und Leitmarkt der Elektromobilität werden.

## Aufgaben der Projektpartner zur STROMbegleitung

Das DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF, Berlin) bearbeitet ausgewählte Aspekte des Technologie-Monitorings und beteiligt sich am Arbeitspaket zu den Perspektiven der Elektromobilität (Roadmaps, Förderbindungen) in den USA. Das DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK, Stuttgart) ist hauptverantwortlich für die Durchführung des globalen Technologie-Monitorings und die Erstellung technologischer Trend- und Marktanalysen. Das Wuppertal Institut analysiert Förderprogramme, Perspektiven und Marktentwicklungen in den Regionen OECD-Amerika/USA, OECD-Asien/Japan, OECD-Europa/Europäische Union, China, Rest der Welt/Indien und erarbeitet zudem detaillierte Materialintensitätsanalysen zu Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und zukünftigen Fahrzeugkonzepten.

## 2 Forschungslandschaft „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“

Zur Abbildung der aktuellen Forschungslandschaft im Bereich Leistungselektronik im speziellen Umfeld der Elektromobilität wurden bibliometrische Analysen von globalen Patent- und Publikationsdaten über einen Zeitraum von 2000 – 2012 durchgeführt. Hierfür sind die zugrundeliegenden (Meta-)Informationen referierter wissenschaftlicher Publikationen sowie veröffentlichter Patente in dezidierten Datenbanken per Indikatoren erfasst, strukturiert und harmonisiert worden, um so sowohl quantitative Analysen (Anzahl Patente/ Publikationen) per statistischer Auswertung als auch qualitative Analysen (Inhalte Patente/ Publikationen) über Text und Data Mining Funktionen durchführen zu können.

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Untersuchung 54.687 Publikationen und 93.435 Patente im Bereich Hybrid- und Elektrofahrzeug erfasst, wovon 3.875 Publikationen und 24.018 Patente als für die Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW relevant bewertet und deshalb für die nachfolgende qualitative Inhaltsanalyse herangezogen wurde.

Ziel der Analysen ist zum einen die Identifikation und der Vergleich internationaler Forschungsschwerpunkte und Entwicklungstrends in Bezug auf die Leistungselektronik als Schlüsseltechnologie der Elektromobilität sowie einzelner, ausgewählter Komponenten und Bauteile. Hierbei wird insbesondere auf diejenigen Bauteile fokussiert, die von nationalen und internationalen Experten als besonders relevant für die technische Weiterentwicklung eingeschätzt wurden und an Inhalte des STROM-Programms anknüpfen. Dies sind im Rahmen dieser Untersuchung z.B. passive Bauelemente wie Kondensatoren, v.a. aber aktive Elemente wie Halbleiter und hier im Speziellen neuartige Halbleitermaterialien wie Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN). Zum anderen dient die Analyse dazu, führende Institutionen aus Industrie und Wissenschaft sowie Innovationsnetzwerke und -dynamiken zu identifizieren und letztlich einen Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und technologischer Position unterschiedlicher Länder und Weltregionen zu ermöglichen.

In den Datenbanken zur Leistungselektronik sind insgesamt 661.978 Datenpunkte über verschiedene Dimensionen auswertbar. Die Dimensionen umfassen z.B.:

- Research field
- Technology
- Parameter
- Title
- Abstract
- Keyword
- Citation
- Publication year
- Applicant/ Inventor/ Institution/ Author
- Country/ Worldregion
- International Patent Classification (IPC)

Die Patentanalyse dient als originäres Instrument der strategischen Unternehmensführung der Untersuchung wettbewerbsrelevanter Aktivitäten in definierten Technologiefeldern und zielt als Planungs- und Entscheidungshilfe auf die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für das Technologie-Management ab. Hierfür wird der enge Zusammenhang zwischen Investitionen im Bereich Forschung und Entwicklung (FuE) als Input-Faktor und Patentanmeldungen als Output-Faktor herangezogen. Patente beinhalten per Definition Erfindungen (Inventionen), die über den aktuellen Stand der Technik hinausgehen und in zukünftigen Produkten in konkreter Anwendung (Innovation) mit wirtschaftlichem Interesse Verwendung finden können.

Neben der Nutzung als strategisches Planungstool ist die Patentanalyse ebenfalls geeignet, um technologieorientierte Wettbewerbs- und Trendanalysen darzustellen, wie es im Rahmen dieses Arbeitspapiers durchgeführt wird. Patentinformationen werden damit als Indikatoren genutzt, um technologische Trends und Entwicklungen frühzeitig zu identifizieren sowie die relative Stärke von Technologieposition und Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich von Institutionen, Ländern und/oder Weltregionen zu bewerten.

Neben der Analyse angemeldeter Patente kann auch die Analyse themenspezifisch rezensierter Publikationen als Indikator für F&E-Aktivität interpretiert werden. Beide Methoden sind im Rahmen des Abschlussberichts in Kombination zu verwenden, um ein gesamtheitliches und objektives Bild von internationalen Aktivitäten im Bereich Forschung und Entwicklung aufzuzeigen. Während Publikationen als Medium zur Dokumentation wissenschaftlicher Leistungen insbesondere dem Umfeld von Universitäten und Forschungsinstituten entstammen, werden Patente aufgrund des Aspekts der wirtschaftlichen Verwertung in konkreten Anwendungen eher der Industrie zugeordnet.

Die Methodik im Bereich der Patent- und Publikationsanalyse wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Identifikation und Definition von Technologiefeldern auf System, Komponenten und Bauteilebene (IPC-Klassen, Stichworte, Expertenaussagen)
2. Definition der Such- und Recherchestrategie
3. Datenerhebung
4. Strukturierung und Harmonisierung der Rohdaten
5. Aufbau von Technologie-Datenbanken
6. Analyse der Patent(meta-)informationen
7. Analyse der Patentinhalte mittels Text und Data Mining und Zuordnung zu Forschungs- und Technologiefeldern
8. Bestimmung der relativen Patentposition je Weltregion und Technologiefeld
9. Bestimmung der Patentaktivität und Technologiedynamik je Weltregion und Technologiefeld
10. Bestimmung der Forschungsschwerpunkte je Weltregion und Technologiefeld

Zu den Treibern der Elektromobilität und innovativer Technologien für elektrifizierte PKW zählen insbesondere Länder wie Japan, USA, Deutschland und Frankreich, die mit historisch gewachsen starker Automobil- und Zuliefererindustrie große Anteile an den weltweiten FuE-Investitionen haben und damit auch im Bereich Patente und Publikationen signifikante Aktivitäten zeigen. Länder wie Indien oder China sind zwar aufgrund der schieren Größe des Markts und des Marktpotenzials von Bedeutung, jedoch (noch) keine Vorreiter in der technologischen Entwicklung. Insbesondere bei China aber wird im Rahmen dieser Analysen gezeigt, dass die Innovationsdynamik auch im Bereich von Schlüsseltechnologien der Elektromobilität seit einigen Jahren stark zunimmt.

Im Folgenden werden beispielhaft einige Auswertungen entlang der verschiedenen Dimensionen dargestellt.

## 2.1 Patent-/ Publikationsanalyse „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“

Zur Analyse der Patentanmeldungen im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ wurde eine dezidierte Patentrecherche in der Patentdatenbank Espacenet des Europäischen Patentamts (EPO) durchgeführt. Hierzu sind insgesamt 52 IPC-(Unter-)Klassen herangezogen (z.B. B60L, B60W, B60K) und z.T. mit einer Stichwortsuche kombiniert worden.

Insgesamt wurden in dem für diese Auswertung relevanten Technologiefeld über 47.000 Patente veröffentlicht, wobei die Märkte Japan (JP), USA (US), China (CN), Europa (EP), Deutschland (DE) und Frankreich (FR) ca. 48% aller Patentschriften verzeichnen konnten (ca. 23.000). Die überwiegende Mehrzahl der Patente, die sich auf Erfindungen im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ im Zeitraum von 2000 bis 2012 beziehen und über den jeweils aktuellen Stand der Technik hinausgehen, wurden in den USA angemeldet (ca. 6.700; 29%), gefolgt von Japan (5.500; 24%) sowie gleichverteilt der Europäischen Union, China und Deutschland mit jeweils ca. 3.400 Patenten und 15% Marktanteil, wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Nur ca. 450 Patentschriften wurden auf dem französischen Markt für IP („Intellectual Property“) publiziert.

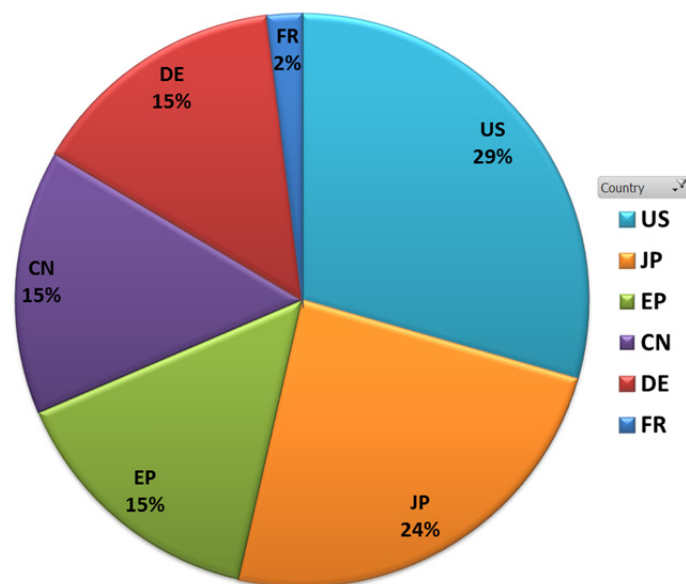


Abbildung 1: Anteil Patente nach Weltregion

Bei einem Vergleich der Offenlegung von Patentschriften im Bereich Leistungselektronik nach Zeit über die Jahre 2000 bis 2012 ist insgesamt ein Anstieg zu verzeichnen, wobei mit 4.293 Patenten der Peak im Jahr 2012 erreicht wurde (siehe Abbildung 2).

Der japanische und US-amerikanische IP-Markt haben bis ins Jahr 2010 jeweils konstant steigende und relativ ähnliche Veröffentlichungszahlen aufzuweisen. Während Japan dann aber auf einem relativ gleichbleibenden Niveau von ca. 700 Patenten pro Jahr stagniert, können sich bis ins Jahr 2012 die USA einen klaren Vorsprung erarbeiten und den Patentoutput auf bis max 1.400 steigern.

Die Bedeutung des chinesischen Marktes wächst kontinuierlich an und löst Deutschland bzw. Europa ab dem Jahr 2010 von Platz 3 ab. Diese Entwicklung gipfelt darin, dass Japan im Jahr 2011 erstmals knapp vom zweiten Platz verdrängt wird.

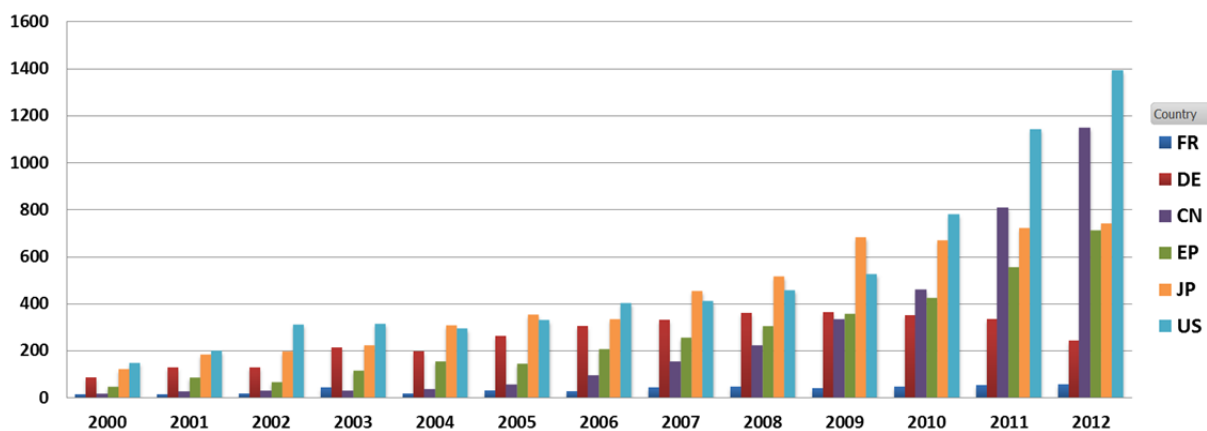
Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Veröffentlichungszahlen um knapp 1.000% zu verzeichnen (430 zu 4.293), wobei insbesondere die USA die schon im Jahr

2000 führende Position in 2010 noch weiter ausbauen konnte und mit 779 die – in Bezug auf die reine Anzahl – meisten Anmeldungen innehat. Dennoch verliert die USA aufgrund der höheren Gesamtzahl an Offenlegungen insgesamt an Marktanteil und pendelt sich im Jahr 2010 bei ca. 29% ein, ein Verlust von knapp 5% innerhalb einer Dekade.

Die Bedeutung des deutschen IP-Markts wurde geschwächt und der Marktanteil von 20% im Jahr 2000 auf 13% verringert. Die reine Anzahl an Patentanmeldungen in Deutschland wuchs in diesem Zeitraum um nur ca. 400%. Der deutsche Markt liegt beim Wachstum dabei zwar vor Frankreich (ca. 300%), aber hinter den USA (530%), Japan (560%), Europa (920%) und insbesondere China (2.870%). Mit Abstand am meisten Dynamik ist damit in China zu beobachten. Hier konnte der Marktanteil innerhalb der letzten 10 Jahre von 3,7% auf 16,8% gesteigert werden. Die reine Anzahl der offengelegten Patentschriften erreicht gleichzeitig 459, im Jahr 2010 der drittbeste Wert.

Bemerkenswert ist die ab diesem Zeitpunkt sich noch einmal rasant verstärkende Dynamik: Innerhalb der dann folgenden 2 Jahre steigert China den Anteil der auf dem eigenen IP-Markt veröffentlichten Patente von 16,8% auf fast 27%, während Japans Anteil von 24% auf nur noch 17% schrumpft. Die USA können den Marktanteil nach Verlusten bis 2010 wiederum steigern und erreichen führende 32% im Jahr 2012.

In Deutschland kann bis 2012 eine konstante Verringerung an Patentanmeldungen identifiziert werden, so dass nach einem Peak im Jahr 2009 nur noch 242 Patente in 2012 im Bereich Leistungselektronik veröffentlicht werden und der Marktanteil um weitere 14% auf nur noch 6% fällt. In Frankreich ist eine nur leichte Steigerung der Gesamtzahl veröffentlichter Patente über die Jahre erkennbar und der Marktanteil stagniert dementsprechend auf einem relativ geringen Niveau zwischen 1,3 und 1,7%.



**Abbildung 2: Anzahl Patente nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die Analyse von Patentanmeldungen und -offenlegungszahlen dient der Identifikation von Aktivitäten und Dynamiken im Vergleich verschiedener Weltregionen, um so z.B. die Bedeutung der jeweiligen IP-Märkte über einen definierten Zeitraum zu vergleichen. Zur Ableitung von Aussagen zur Technologieposition aber ist es notwendig, eine Untersuchung der jeweilig führenden Institutionen innerhalb des Technologiefelds durchzuführen. Dies wird im folgenden Ranking für den Bereich Leistungselektronik im Antriebsstrang aufgezeigt.

Da die Aussagekraft der reinen Patentanzahl aber beschränkt ist, sollen bei Erstellung des Rankings diejenigen Patentschriften ausgeklammert werden, die gleiche Inhalte in unterschiedlichen Weltregionen schützen bzw. derselben Patentfamilie zugeordnet werden können. So sollen Doppel- oder Mehrfachzählungen vermieden und das Ranking der TOP-Institutionen anhand inhaltlich relevanter Erfindungen (oder Inventionen), die über den jeweiligen State-of-the-Art bestehender Lösungen

hinausgehen, erstellt werden. Abbildung 3 stellt das Ranking der TOP Patentanmelder nach Anzahl der inhaltlichen relevanten Erfindungen dar.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	6.049	JP
2	NISSAN MOTOR	1.977	JP
3	TOYOTA JIDOSHA	1.470	JP
4	HONDA MOTOR	1.208	JP
5	HYUNDAI MOTOR	696	SK
6	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	575	US
7	DENSO	573	JP
8	HITACHI	571	JP
9	HONDA MOTOR	558	JP
10	AISIN AW	530	JP
11	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>496</b>	<b>DE</b>
12	FORD GLOBAL TECH	375	US
13	<b>DAIMLER</b>	<b>345</b>	<b>DE</b>
14	TOSHIBA	319	JP
15	mitsubishi JIDOSHA KOGYO	299	JP
16	MAZDA MOTOR	263	JP
17	<b>ZF FRIEDRICHSHAFEN</b>	<b>248</b>	<b>DE</b>
18	KIA MOTORS	247	SK
19	FUJI HEAVY IND	238	JP
20	<b>BAYERISCHE MOTOREN WERKE</b>	<b>233</b>	<b>DE</b>

**Abbildung 3: TOP20 Patentanmelder im Bereich Leistungselektronik nach Anzahl der Erfindungen**

Im Ranking der führenden Patentanmelder im weltweiten Vergleich belegen asiatische Unternehmen damit 9 Positionen in den TOP10, wobei insbesondere japanische Institutionen weit überlegen und mit einer Gesamtzahl von 14.055 Erfindungen führend sind. Während Toyota (Motor + Jidosha) insgesamt auf 7.591 Inventionen kommt, halten deutsche OEMs 469 inhaltlich relevante Patente und finden sich mit Daimler (inkl. DaimlerChrysler) und BMW auf den Plätzen 13 und 20 wieder.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Robert Bosch GmbH auf Rang 11 mit 496 Inventionen im Portfolio. Die USA ist mit GM (575) und Ford (375) auf Platz 6 bzw. 12 vertreten, Tesla Motors hält 9 Patente im Bereich Leistungselektronik elektrifizierter PKW. Bestplatzierte chinesische Unternehmen sind Chery Automobile und BYD mit 90 bzw 50 Inventionen, gefolgt von der Tsinghua University in Peking mit 40 Erfindungen.



## 2.2 Patent-/ Publikationsanalyse „Wandlertypen“

Innerhalb der untersuchten Patente im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ sind verschiedene Schwerpunktsetzungen erkennbar, die sich z.T. auf konkrete Anwendung im Komponenten- und Bauteilbereiche beziehen und im Folgenden Fokus der Analysen sein werden.

Auf Komponentenebene befasst sich ein Großteil der Erfindungen (5.225; 22%) mit unterschiedlichen Wandlertypen. In einem Hybrid- oder Elektrofahrzeug werden aus unterschiedlichen Gründen mehrere Arten von Stromrichtern benötigt. Geht man von einer Drehstrommaschine als Antriebseinheit aus, so ist ein bidirektionaler Gleich-/Wechselrichter erforderlich, der im motorischen Betrieb die Gleichspannung von der Batterie in Wechselspannung für die elektrische Maschine wandelt und im generatorischen Betrieb umgekehrt die Wechselspannung in Gleichspannung.

Daneben ist in der Regel auch ein Gleichstromwandler erforderlich. Dieser ermöglicht die Aufteilung des Bordnetzes in einen Hochspannungs- und einen Niederspannungsteil mit bedarfsgerechter Spannungsversorgung für Nebenaggregate. Zusätzlich kann so eine stabile Spannungsversorgung auf konstantem Niveau gesichert werden, die unabhängig vom Ladezustand der Batterie ist. Dies erleichtert die Auslegung aller elektrischen Komponenten und insbesondere der elektrischen Maschine. Nicht zuletzt stellt es bei BEV und Plug-in-Hybriden eine weitere wichtige Aufgabe der Leistungselektronik dar, den Strom aus der Steckdose zum Speichern in der Batterie gleichzurichten (Ladegerätfunktionalität).

Wie in Abbildung 4 zu sehen, bilden Erfindungen im Bereich Wechselrichter (Inverter) dabei mit 2.951 den insgesamt größten Anteil ab, gefolgt von Erfindungen im Bereich Gleichstromumrichter (1.352; 26%), Gleichrichter (607; 12%) und Wechselstromumrichter (315; 6%).

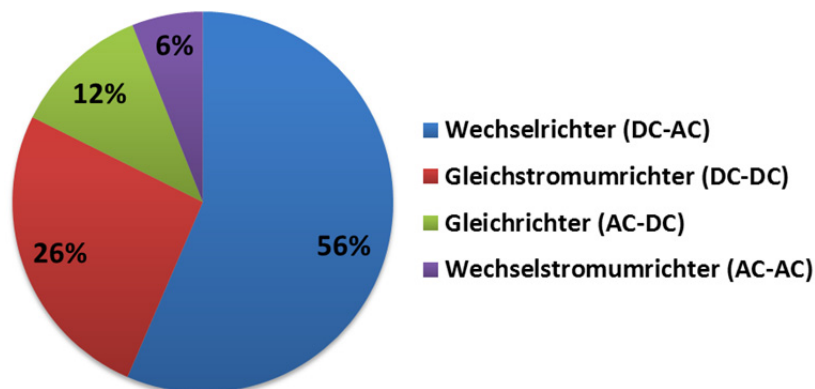


Abbildung 4: Anteil Patente im Bereich "Wandlertypen"

Über alle Wandlertypen hinweg ist auch hier eine Dominanz Japans zu identifizieren, wobei der Anteil von über 65% an allen Patentanmeldungen im Jahr 2000 auf ca. 51% im Jahr 2010 und sogar unter 30% im Jahr 2012 zurückgeht (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Im gleichen Zeitraum bis 2010 verliert der deutsche IP-Markt trotz einer Verdopplung der Patentanzahl knapp 6% Marktanteil und entspricht nur noch 5% des Gesamtmarkts, während auf EU- und US-Ebene der Anteil um jeweils ca. 5% steigt.

Den größten Zuwachs verzeichnet abermals der chinesische Patentmarkt, der die reine Anmeldungszahl von 4 im Jahr 2000 auf 141 in 2010 und 416 im Jahr 2012 steigern konnte. China nimmt damit im Jahr 2012 erstmals Platz 2 hinter Japan ein und verdrängt die USA auf Platz 3. Der Anteil des chinesischen Marktes am Gesamtmarkt steigt von 2% in 2000 auf 13% im Jahr 2010 und 26% in 2012.

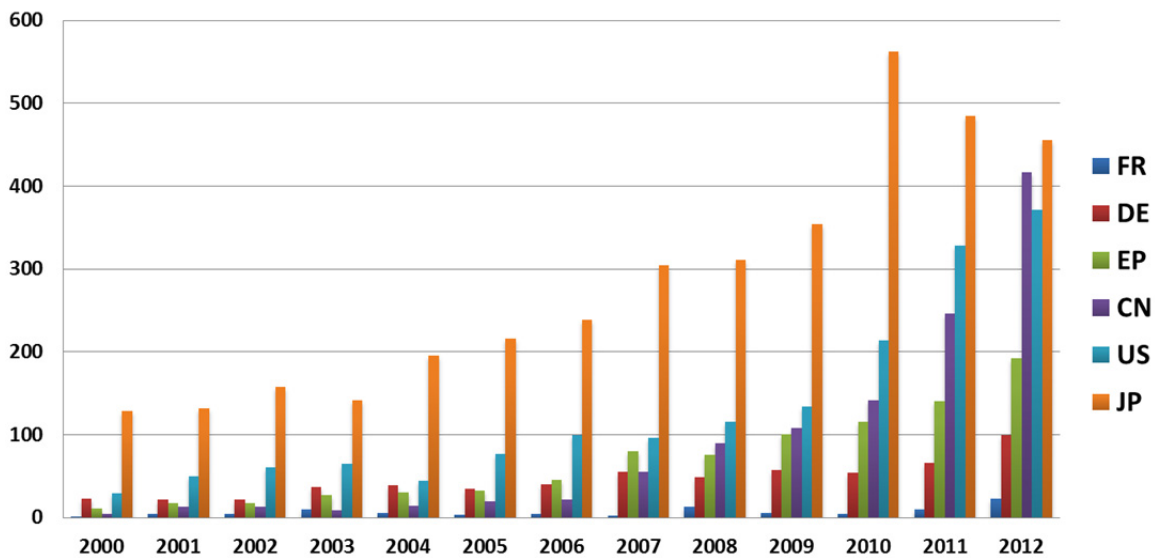


Abbildung 5: Anteil Patente im Bereich "Wandler" nach Weltregion über Zeit, 2000-2012

Eine klare Fokussierung von Forschungsaktivitäten einzelner Weltregionen auf bestimmte Wandlertypen ist laut Abbildung 6 generell nicht erkennbar. Die Aufteilungen von Inverter (zwischen 40% und 60% Anteil), Gleichstromumrichter (17% bis 25%), Gleichrichter (7% bis 14%) und Wechselstromumrichter (6% bis 10%) variieren in relativ geringem Maße bei Vergleich der einzelnen im Rahmen dieser Analyse untersuchten Zeiträume.

Eine leicht verstärkte Schwerpunktsetzung von Deutschland und Japan mit 57% bzw. 59% am Gesamtanteil aller Wandlertypen kann dennoch beim Wechselrichter (Inverter) identifiziert werden.

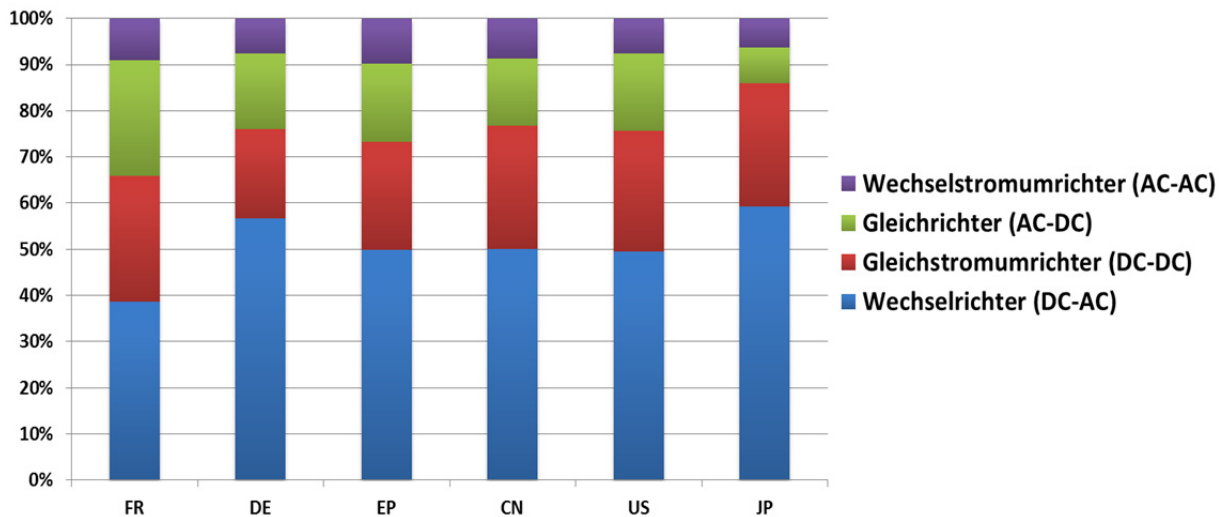


Abbildung 6: Anteil Patente nach „Wandlertypen“ über Weltregion

## 2.3 Patent-/ Publikationsanalyse „Wechselrichter“

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Wechselrichter stehen, ist Japan im untersuchten Zeitraum bei der Gesamtanzahl ebenfalls klar führend. Abbildung 7 lässt jedoch eine bemerkenswerte Veränderung über die Zeit erkennen: Während der japanische Patentmarkt im Jahr 2000 noch fast 70% aller Anmeldungen verzeichnen konnte, schrumpft dieser Anteil bis 2010 auf unter 55% und innerhalb der nächsten 2 Jahre bis 2012 sogar auf unter 30%.

Der Gesamtmarkt im Bereich Inverter ist innerhalb von 12 Jahren um über 660% gewachsen, die Anzahl der in Japan angemeldeten Patente gleichzeitig aber nur um ca. 280%. Im Vergleich dazu konnte China den Anteil der Patentschriften aber kontinuierlich ab dem Jahr 2006 steigern und bezüglich der reinen Anzahl veröffentlichter Patente im Jahr 2012 erstmals die USA von Platz 2 verdrängen. Der Anteil am Gesamtmarkt wuchs so von ca. 2% im Jahr 2000 auf über 11% in 2010 und sogar 27% in 2012.

Der Anteil Deutschlands ist dagegen über die letzten 12 Jahre in einem Bereich von 6% bis 7% relativ konstant.

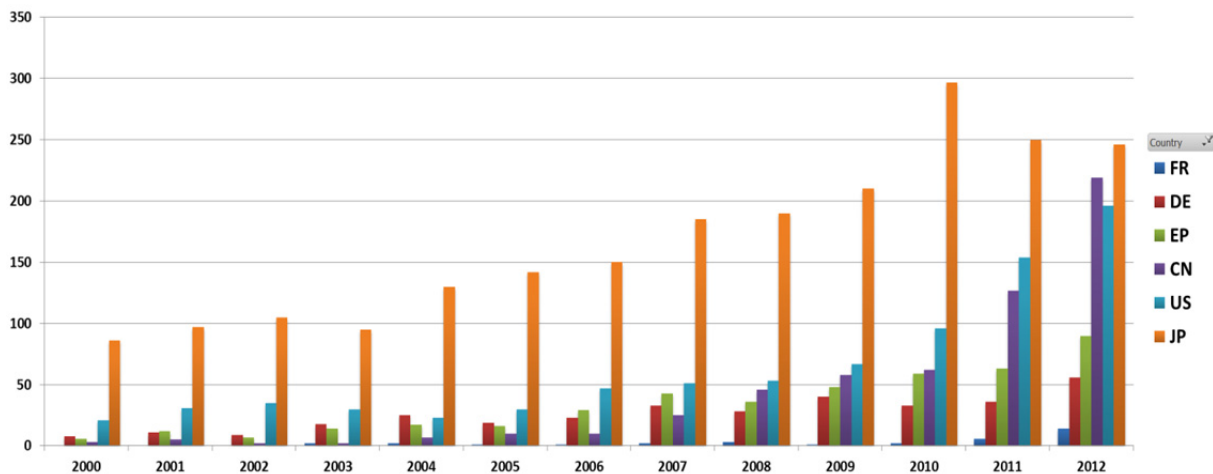


Abbildung 7: Anzahl Patente im Bereich Wechselrichter nach Weltregion über Zeit

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder im Bereich der Inverter belegen asiatische Institutionen laut Abbildung 8 die ersten 10 Ränge, wobei insbesondere japanische Unternehmen mit einer Gesamtzahl von 2.047 Erfindungen führend sind.

Während allein der Toyota-Konzern mit Toyota Motor und Toyota Jidosha auf insgesamt 856 inhaltlich relevante Inventionen kommt, sind deutsche OEMs in den TOP20 überhaupt nicht vertreten. Die stärkste Position aus deutscher Sicht in diesem Technologiefeld haben die Tier1-Zulieferer Siemens und Bosch, die gemeinsam 58 inhaltlich relevante Erfindungen (156 Patente) im Portfolio haben. Sie finden sich damit auf den Plätzen 13 (Siemens AG) und 14 (Robert Bosch GmbH) wieder.

Die bestplatzierten deutschen OEMs sind Daimler (inkl. DaimlerChrysler) mit 13, Volkswagen und BMW mit jeweils 6 und Porsche mit 2 Inventionen. Die USA ist mit Ford (15) und Tesla (3) vertreten. Bestplatzierte chinesische Automobilhersteller sind Chery Automobile und BYD mit 14 bzw. 3 Inventionen.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	667	JP
2	HITACHI	198	JP
3	NISSAN MOTOR	197	JP
4	TOSHIBA	193	JP
5	TOYOTA JIDOSHA	189	JP
6	HONDA MOTOR	159	JP
7	DENSO	136	JP
8	MITSUBISHI DENKI	105	JP
9	HYUNDAI MOTOR	98	SK
10	AISIN AW	76	JP
11	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	61	US
12	FUJI ELECTRIC	43	JP
13	<b>SIEMENS</b>	<b>31</b>	<b>DE</b>
14	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>27</b>	<b>DE</b>
15	KIA MOTORS	25	SK
16	FUJI HEAVY IND	23	JP
17	HINO MOTORS	23	JP
18	RAILWAY TECHNICAL RES INST	23	JP
19	MAZDA MOTOR	22	JP
20	MEIDENSHA	20	JP

**Abbildung 8: TOP20 Patentanmelder im Bereich Wechselrichter nach Anzahl der Erfindungen**

Erweitert man nun allerdings das Suchfeld im Bereich Wechselrichter auch auf Patentanmeldungen und Erfindungen, die sich nicht speziell auf elektrifizierte PKW und die Leistungselektronik im Antriebsstrang beziehen und damit auch Forschungsaktivitäten betrachtet, die z.B. im Bereich Luft- und Raumfahrt, Energie oder Schiene existieren, so verstärkt sich das Bild der starken technologischen Position Asiens und speziell Japans noch.

Jedoch können damit z.T. andere Institutionen die führenden 20 Positionen einnehmen, wie in folgender Abbildung 9 zu sehen ist. Mitsubishi Denki springt bei dieser weiteren Analyse von Rang 8 auf Platz 1 der Rangliste, Toshiba von 4 auf 2 und Matsushita Electric Industries (bzw. die Panasonic Corporation) nimmt Rang 3 ein. Einziges nicht-asiatisches Unternehmen in dieser Analyse ist Siemens, das mit 507 Inventionen Platz 16 belegt und sich damit in den TOP20 halten kann, während Bosch von Platz 14 auf 40 abrutscht.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	2366	JP
2	TOSHIBA	1967	JP
3	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1897	JP
4	HITACHI	1798	JP
5	TOYOTA MOTOR	1455	JP
6	DENSO	1024	JP

7	SAMSUNG ELECTRONICS	1006	SK
8	MATSUSHITA ELECTRIC WORKS	974	JP
9	FUJI ELECTRIC	834	JP
10	LG ELECTRONICS	812	SK
11	SANYO ELECTRIC	705	JP
12	PANASONIC	604	JP
13	NISSAN MOTOR	586	JP
14	SHARP	548	JP
15	DAIKIN IND	514	JP
16	<b>SIEMENS</b>	<b>507</b>	<b>DE</b>
17	MEIDENSHA	503	JP
18	HYNIX SEMICONDUCTOR	476	SK
19	YASKAWA ELECTRIC	474	JP
20	NEC	454	JP

**Abbildung 9: TOP20 Patentanmelder im Bereich Wechselrichter ohne Einschränkung auf elektrifizierte PKW nach Anzahl der Erfindungen**

## 2.4 Patent-/ Publikationsanalyse „Kondensatoren“

Bei einer weiteren Analyse von Patentschriften – nun auf Bauteilebene – liegt der Fokus der Forschungen auf passiven Bauelementen wie Kondensatoren und aktiven Bauelementen wie Halbleiter. Das wichtigste Nicht-Halbleiter-Bauelement der Leistungselektronik stellt der Kondensator dar, der u.a. zur Spannungsglättung benötigt wird. Da bei hohen Spannungen auch hohe Kapazitäten benötigt werden, nehmen Kondensatoren ein verhältnismäßig großes Bauvolumen in Anspruch und haben somit einen deutlichen Einfluss auf die erreichbare Leistungsdichte. Als Bauweisen kommen Folienkondensatoren und Elektrolytkondensatoren zum Einsatz.

Im Bereich Kondensatoren für die Leistungselektronik nach Weltregion und über den Zeitraum 2000 bis 2012 ist insgesamt ein kontinuierlicher Anstieg der Patentzahlen zu verzeichnen, wobei mit 431 Patenten der Peak im Jahr 2012 erreicht wurde, wie in Abbildung 10 zu sehen.

Während der japanische IP-Markt insgesamt die meisten Patentanmeldungen zu verzeichnen hatte (1.089) und die USA mit 493 Patenten insgesamt auf Platz 2 steht, wächst die Bedeutung des chinesischen Marktes ab dem Jahr 2006 kontinuierlich an und löst die USA erstmals im Jahr 2010 vom zweiten Rang ab, um im Jahr 2012 die Spitzenposition sogar vor Japan zu erreichen. Auch Deutschland und Europa können die jeweilige Anzahl an Patentschriften ab dem Jahr 2008 steigern, aber mit 7% bzw. 10% Anteil an den Gesamtveröffentlichungen über den kompletten Zeitraum nur einen Bruchteil der Gesamtanmeldungen verzeichnen.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Anmeldezahlen um knapp 500% zu verzeichnen (54 zu 269), wobei insbesondere Europa und China die jeweiligen Positionen in 2010 weiter verstärken konnten und eine Steigerung des Marktanteils um 10% bis 12% realisierten. Japan und die USA verloren im gleichen Zeitraum trotz der Erhöhung der reinen Anzahl an im jeweiligen Land angemeldeten Patenten um 330% und 360% Marktanteile in Höhe von 20% (Japan) und 8% (USA). Im Jahr 2012 hat Japan nur noch 26% Marktanteil und damit einen Gesamtverlust von 40 Prozentpunkten, ist damit aber dennoch um einen Faktor 4 stärker als der deutsche IP-Markt.

Insgesamt konnte die Veröffentlichungszahl in Deutschland von nur 2 im Jahr 2000 auf 29 im Jahr 2012 gesteigert werden. Viel dynamischer stellt sich die Situation in China dar, wo von der gleichen Basis im

Jahr 2000 ausgehend bereits 117 Patente in 2012 im Bereich der Kondensatoren offengelegt wurden, eine Steigerung von ca. 5.800%.

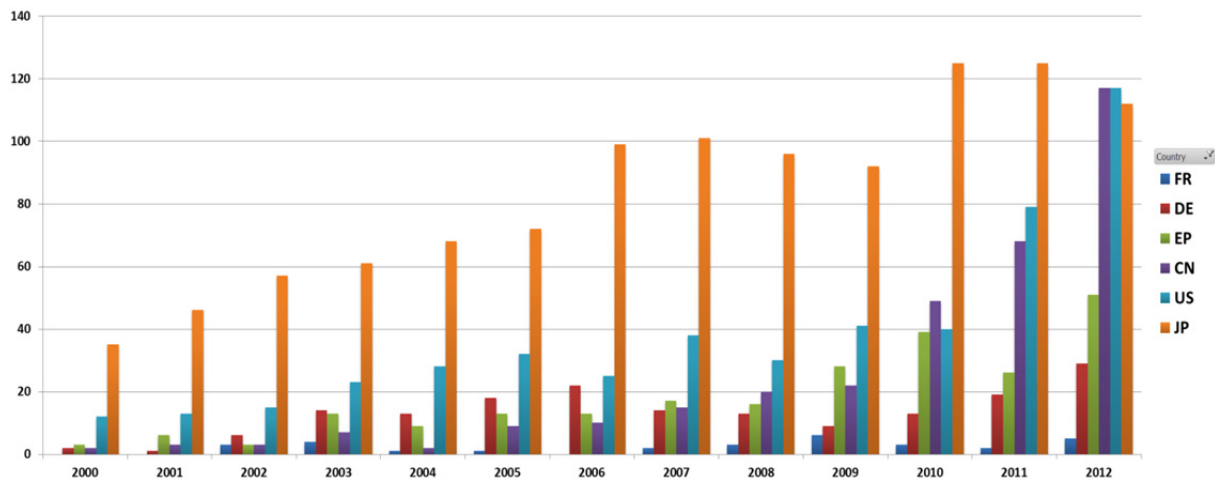


Abbildung 10: Anzahl Patente im Bereich Kondensator nach Weltregion über Zeit

Im Ranking der führenden Patentanmelder im weltweiten Vergleich belegen japanische Unternehmen 17 Positionen in den TOP20 und sind dabei mit einer Gesamtzahl von 973 Erfindungen führend (siehe Abbildung 11). Während Toyota Motor mit 277 Inventionen bestplatziertes japanischer OEM ist, folgen mit Honda, Nissan und Mazda 3 weitere Automobilhersteller auf den Plätzen 2, 4 und 17. Deutsche OEMs befinden sich mit Volkswagen (8), BMW (8), Daimler (6) sowie Audi und Porsche (jeweils 2) auf hinteren Plätzen.

Bestplatzierte deutsche Unternehmen in dieser Rangliste sind Siemens (22 Erfindungen, 53 Patente) auf Platz 11 und Bosch (11 Erfindungen, 20 Patente) auf Rang 23.

In den USA sind die Unternehmen GM (16 Inventionen), Ford (7) und Chrysler (3) auf den TOP3 und im Bereich Patentanmeldungen für Kondensatoren am breitesten aufgestellt. In China führt die Tsinghua Universität die Rangliste mit 5 Erfindungen an, gefolgt von Chery Automobile mit 2.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	277	JP
2	HONDA MOTOR	191	JP
3	TOYOTA JIDOSHA	75	JP
4	NISSAN MOTOR	69	JP
5	TOSHIBA	67	JP
6	HITACHI	66	JP
7	HYUNDAI MOTOR	54	SK
8	MITSUBISHI DENKI	38	JP
9	DENSO	32	JP
10	NISSAN DIESEL MOTOR	30	JP
11	<b>SIEMENS</b>	<b>22</b>	<b>DE</b>
12	AISIN AW	19	JP

13	MATSUSHITA ELECTRIC IND	18	JP
14	FUJI ELECTRIC	18	JP
15	MEIDENSHA	18	JP
16	SANYO ELECTRIC	17	JP
17	MAZDA MOTOR	15	JP
18	FUJI HEAVY IND	12	JP
19	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	11	US
20	KOMATSU	11	JP

**Abbildung 11: TOP20 Patentanmelder im Bereich Kondensator nach Anzahl der Erfindungen**

Wird auch hier eine vergleichende Analyse mit erweitertem Suchfeld durchgeführt, also keine Einschränkung im Bereich von Kondensatoren auf den Antriebsstrang elektrifizierte PKW vorgenommen, lassen sich über 115.000 Erfindungen identifizieren. Führend bei dieser Untersuchung ist Matsushita (Japan) mit 4.722 Inventionen, gefolgt von Hynix Semiconductor (Südkorea, 3.379) und Murata Manufacturing (Japan, 3.206). Siemens (899), Infineon (898) und Bosch (321) sind die bestplatzierten deutschen Unternehmen.

## 2.5 Patent-/ Publikationsanalyse „Halbleiter“

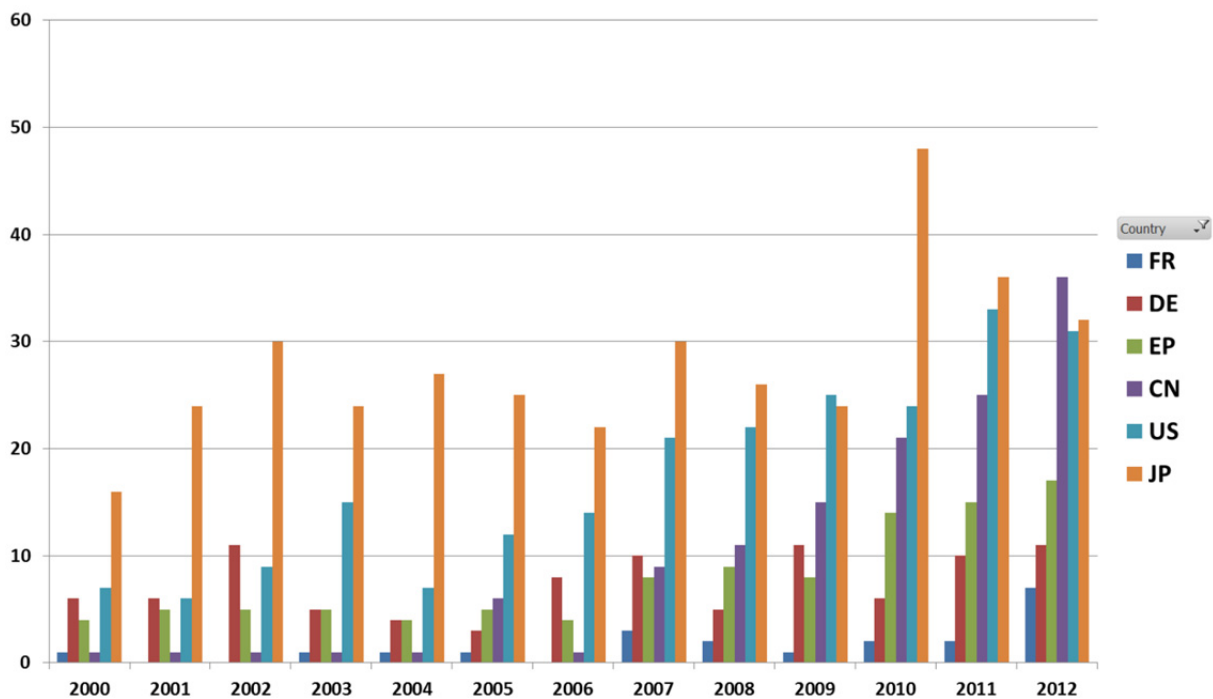
Im Bereich der aktiven Bauelemente der Leistungselektronik stehen insbesondere Halbleiter im Fokus der Forschung. Für die Funktion der Leistungselektronik sind Schalterelemente nötig, die hohe Ströme mit hoher Frequenz schalten können. Hierzu kommen praktisch ausschließlich Halbleiter-Bauelemente zum Einsatz.

Als eigentlichen Halbleiter-Schalter werden im automobilen Bereich Transistoren eingesetzt. Dabei können grundsätzlich drei verschiedene Bauweisen unterschieden werden: Bipolartransistoren (BPT), Feldeffekttransistoren (FET) und Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode (IGBT). Im automobilen Bereich sind damit vor allem IGBT und – bei niedrigerem elektrischen Leistungsbedarf – MOSFET (engl. metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) relevant.

Insgesamt sind im Zeitraum von 2000 bis 2012 939 Patente im Bereich Halbleiter für die Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW angemeldet worden. Der japanische Markt nimmt dabei ca. 40% aller Veröffentlichungen ein, gefolgt von den USA mit knapp 25%, China (14%), Europa (11%) und Deutschland (10%), siehe Abbildung 12.

Jedoch sind bedeutende Verschiebungen über die Jahre zu erkennen. Während Japan im Jahr 2000 noch 45% aller Patentanmeldungen verzeichnen konnte und bis 2010 nur einen kleinen Anteil verlor (42%), fällt der Markt in den kommenden beiden Jahren auf nur noch einen Anteil von 24% ab. Die in China angemeldeten Patente steigen ab dem Jahr 2007 kontinuierlich auf insgesamt 36 im Jahr 2012, so dass dieser Markt mit 27% die führende Position vor Japan und den USA (23%) einnimmt.

Der deutsche Markt stagniert in diesem Zeitraum mit 3 bis 11 Patentanmeldungen pro Jahr und verliert im Vergleich der Jahre 2000 und 2010 12% Marktanteil.



**Abbildung 12: Anzahl Patente im Bereich Halbleiter nach Weltregion über Zeit**

Wie Abbildung 13 zeigt sind auch im Bereich der Halbleiter japanische Institutionen mit Abstand führend. Unter den bestplatzierten 10 Patentanmeldern befinden sich nur Hyundai (Südkorea), GM (USA) und Daimler (Deutschland) auf den Plätzen 7,8 und 10, die nicht aus Japan kommen. Toyota führt wiederum die Liste mit insgesamt 107 angemeldeten und veröffentlichten Patentschriften an.

Als Zulieferer konnten Siemens und Bosch mit 73 und 33 Patenten im eigenen Portfolio bzw. 14 und 9 inhaltlich relevanten Erfindungen auf den Plätzen 12 und 17 eingeordnet werden. Daimler (inkl. DaimlerChrysler) hat 15 Erfindungen in diesem Bereich geleistet und ist bestplatziertes deutscher OEM. Audi, Volkswagen und BMW haben jeweils eine Erfindung im Portfolio.

Insgesamt nur 16 Inventionen können chinesische Institutionen vorweisen, wobei die Tianjin Santroll Electric Automobile Technology Co. Ltd. mit 3 Erfindungen führend ist. BYD und Chery Automobile haben jeweils eine Invention zum Patent angemeldet. In den USA folgen nach GM mit 15 Erfindungen Ford (4) und Chrysler (3) auf den Plätzen 2 und 3.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	82	JP
2	HITACHI	48	JP
3	HONDA MOTOR	32	JP
4	TOSHIBA	30	JP
5	TOYOTA JIDOSHA	25	JP
6	NISSAN MOTOR	18	JP
7	HYUNDAI MOTOR	17	SK
8	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	15	US
9	DENSO	15	JP



10	DAIMLER	15	DE
11	MITSUBISHI DENKI	14	JP
12	SIEMENS	14	DE
13	FUJI ELECTRIC	13	JP
14	TOYODA AUTOMATIC LOOM WORKS	11	JP
15	SUMITOMO ELECTRIC IND	10	JP
16	HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS	8	JP
17	ROBERT BOSCH	9	DE
18	AISIN AW	6	JP
19	NIPPONDENSO	6	JP
20	TOSHIBA TRANSPORT ENG	6	JP

**Abbildung 13: TOP20 Patentanmelder im Bereich Halbleiter nach Anzahl der Erfindungen**

Bei einer Erweiterung des Suchfelds auf alle Patente und Inventionen im Bereich Halbleiter – ohne Einschränkung auf den Bereich elektrifizierter PKW – verschiebt sich das Bild führender Institutionen auf dem Technologiefeld in Richtung Südkorea: Hier ist Hynix Semiconductor (Südkorea) mit 9.324 Erfindungen führend, gefolgt von Toshiba (8.742, Japan) und Samsung Electronics (8.226, Südkorea). IBM als bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen folgt auf Platz 9 mit 3.732 Erfindungen im Portfolio. Infineon führt das Ranking der deutschen Patentanmelder mit 2.738 an (im Gesamtranking auf Platz 14), gefolgt von Siemens (971) und Qimonda (433, mittlerweile insolvent).

Die beiden abschließenden Analysen befassen sich mit neuartigen Materialien für Halbleiter, und hier insbesondere mit Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN).

## 2.6 Patent-/ Publikationsanalyse „Halbleitermaterial – Siliziumkarbid (SiC)“

Von besonderer Bedeutung für die Leistungselektronik sind die verwendeten Halbleitermaterialien. Bei der Verwendung von monokristallinem Silizium, dem derzeit am häufigsten eingesetzten Werkstoff, besteht eine Beschränkung der Einsatztemperatur auf ca. 175 °C. Damit ergibt sich sowohl ein erheblicher Kühlungsbedarf, der die erzielbare Leistungsdichte reduziert, als auch eine Beschränkung der Haltbarkeit und Schaltfrequenz, da die letztlich Wärme abgebenden Schaltverluste frequenzabhängig sind.

Ziel ist es daher, Halbleitermaterialien zu verwenden, die möglichst hohe Temperaturen vertragen können. Mögliche Alternativen stellen beispielsweise Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) dar, die deutlich höhere Temperaturen ermöglichen (bis zu 600°C) und darüber hinaus günstigere Schalteigenschaften besitzen und höhere Schaltfrequenzen realisieren können. Problematisch sind hingegen die höheren Kosten, die vor allem durch die aufwändigere Waferherstellung und Kristallzüchtung bedingt sind. Allerdings ist hier eine deutlich sinkende Tendenz festzustellen: Während im Falle von Siliziumkarbid die Kosten im Jahr 2007 noch etwa hundertmal so hoch waren, betrug der Faktor im Jahr 2013 nur noch 3 bis 6 im Vergleich zu Silizium (Si).<sup>2</sup> Unter Berücksichtigung der positiven Einflüsse auf das Gesamtsystem (Kühlauflaufwand, verkleinerte Spulen wegen höherer Schaltfrequenz) könnten mit SiC-Halbleiterelementen unter günstigen Rahmenbedingungen sogar geringere Systemkosten als mit Si erzielt werden.

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich SiC als Halbleitermaterial für die Leistungselektronik stehen, ist Japan (1.284 Patente) im untersuchten Zeitraum bei der Gesamtanzahl führend, dicht gefolgt von den USA (1.096). Beide Länder liegen über den gesamten Zeitraum bei der Anzahl der Patentanmeldungen jeweils eng beieinander, wobei Japan

<sup>2</sup> Vgl. Zühlke, K. (<http://www.elektroniknet.de/distribution/design-in/artikel/99817>)

insbesondere ab dem Jahr 2007 die führende Position übernimmt und die Patentanmeldungen jedes Jahr kontinuierlich steigert, wie in Abbildung 14 erkennbar.

Einen bemerkenswerten Sprung ist in China im Jahr 2012 zu beobachten, hier wurde die Patentzahl um mehr als das Doppelte erhöht. China festigt damit die erstmals im Jahr 2009 und nachfolgend in 2011 von der EU eroberte dritte Position und baut den Vorsprung stark aus. Auch Deutschland kann die Anzahl der Patentanmeldungen bis ins Jahr 2006 steigern, stagniert dann jedoch in einem Bereich von 20-25 Patenten pro Jahr. Nur 11 Patentansprüche wurden im gesamten Zeitraum in Frankreich publiziert.

Im direkten Vergleich der Jahre 2000 und 2010 konnte Japan den Anteil am Gesamtmarkt von 28% auf ca. 40% ausbauen, gleichzeitig verliert der US-amerikanische IP-Markt 15 Prozentpunkte innerhalb einer Dekade. Während China bis 2010 kaum Veränderungen im Marktanteil erreichen konnte (7% im Jahr 2000; 9% in 2010) erhöht sich ab diesem Zeitpunkt die Dynamik rasant, so dass der Anteil an Patentanmeldungen in China einen Wert von über 20% erreicht.

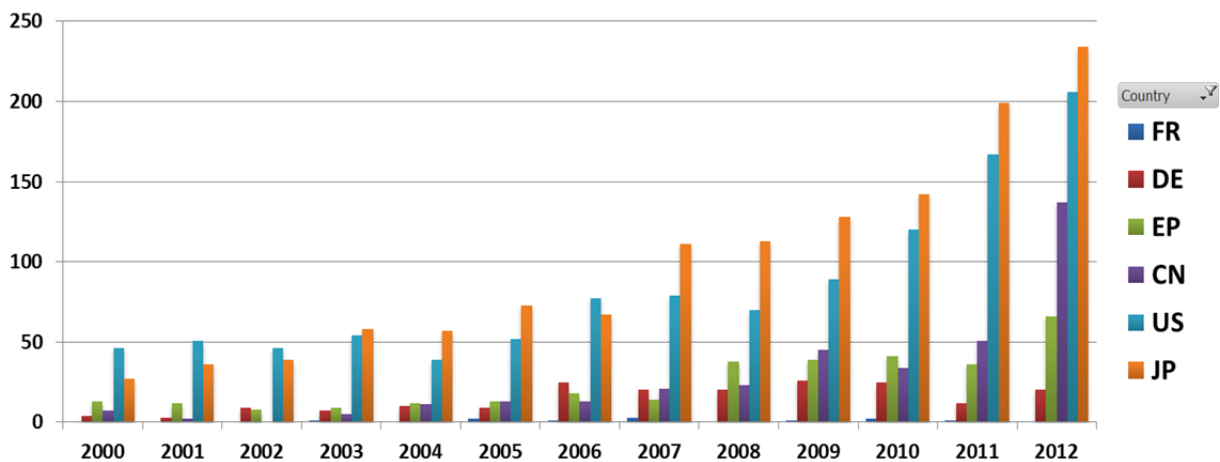


Abbildung 14: Anzahl Patente im Bereich SiC nach Weltregion über Zeit

Wie im Bereich der Halbleiter sind japanische Institutionen auch im speziellen Feld Halbleitermaterial (SiC) führend und belegen 9 von 10 Plätzen in den TOP10, (siehe Abbildung 15). Denso (178 Erfindungen) steht dabei vor Sumitomo Electric (167), Mitsubishi (123), Nissan (95), Matsushita Electric (89) und Toshiba (70), bevor auf Platz 7 das erste nicht-japanische Unternehmen mit Cree (66) folgt. Bemerkenswert ist, dass trotz des sehr speziellen Technologiefelds und Forschungen auf Halbleiter-Materialebene sowohl Nissan als auch Toyota in der Rangliste zu finden sind. Insgesamt 126 Institutionen konnten identifiziert werden, die in Japan Forschung zum Thema SiC betreiben.

Deutsche OEMs sind in der gesamten Rangliste nur durch Daimler mit 2 Inventionen im Portfolio vertreten, und sowohl in Frankreich, den USA als auch in China gibt es keinen einzigen OEM, der auf diesem Gebiet Schutzrechte beansprucht. Als Zulieferer konnten Siemens und Infineon mit 101 bzw. 57 Patenten im eigenen Portfolio bzw. 30 und 21 inhaltlich relevanten Erfindungen auf den Plätzen 13 und 17 eingeordnet werden. Die TOP4 in Deutschland nach Siemens und Infineon komplettieren SiCED Electronics mit 73 Patenten (15 Inventionen) und Bosch mit 6 Patenten (5 Inventionen). Insgesamt forschen 19 verschiedene Institutionen in Deutschland an diesem Thema.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	DENSO	178	JP
2	SUMITOMO ELECTRIC IND	167	JP
3	MITSUBISHI DENKI	123	JP
4	NISSAN MOTOR	95	JP
5	MATSUSHITA ELECTRIC IND	89	JP
6	TOSHIBA	70	JP
7	CREE	66	US
8	FUJI ELECTRIC	74	JP
9	NATIONAL INST ADVANCED IND SCI & TECH	57	JP
10	PANASONIC	44	JP
11	HITACHI	41	JP
12	TOYOTA MOTOR	37	JP
13	<b>SIEMENS</b>	<b>30</b>	<b>DE</b>
14	FUJITSU	25	JP
15	KANSAI ELECTRIC POWER	25	JP
16	SANYO ELECTRIC	23	JP
17	<b>INFINEON TECH</b>	<b>21</b>	<b>DE</b>
18	INTL BUSINESS MACHINES	20	US
19	ROHM	18	JP
20	GEN ELECTRIC	17	US

**Abbildung 15: TOP20 Patentanmelder im Bereich SiC nach Anzahl der Erfindungen**

In den USA sind neben Cree und IBM weitere 72 Unternehmen in der Forschung aktiv, z.B. General Electric (18 Erfindungen), Micron Technology (15), die Semisouth Laboratories (15) und Texas Instruments (13). China stellt insgesamt 26 Institutionen, wobei mit der Xidian University (14), Semiconductor Manufacturing International (14) und der China Electronics Technology Group (7) die TOP3 identifiziert werden konnten. Bemerkenswert ist, dass eine Universität das Ranking in China anführt.

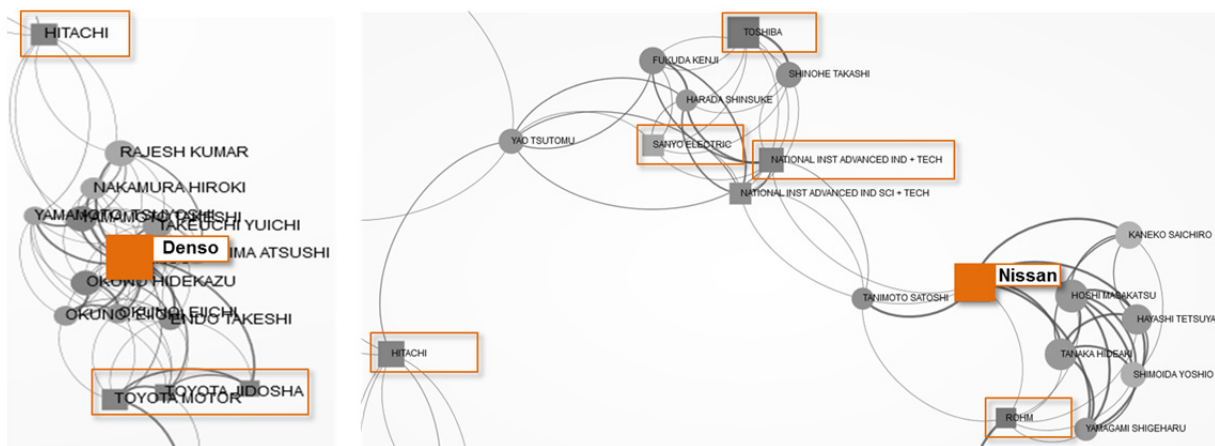


**Abbildung 16: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich SiC nach Weltregion**

Neben einer Untersuchung der geographischen Verteilung können über eine Patentanalyse auch Kooperations-tätigkeiten und gemeinsame Forschungs- bzw. Innovationsnetzwerke und -dynamiken identifiziert werden. Hierzu werden Verbindungen einzelner Institutionen oder Erfinder über Patente hinweg visualisiert (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18).

Während Denso als führende Institution im Bereich SiC im Innovationsnetzwerk über verschiedene Patente sowohl mit Hitachi (Rang 11) als auch Toyota Motor, Toyota Jidosha und Toyota Central R&D Labs vernetzt ist, scheint Sumitomo Electric auf Rang 2 Forschungsaktivitäten und Technologieentwicklungen eher ohne Kooperationsaktivitäten zu forcieren, eine Verbindung ist hier nur zu Kansai Electric Power zu identifizieren.

Nissan hingegen scheint in der Forschungsarbeit relativ stark vernetzt zu sein, Verbindungen sind sowohl zu Rohm als auch zum Institute of Advanced International Science, zu Toshiba und zu Sanyo Electric erkennbar. Über letztere Verbindung ist auch im Innovationsnetzwerk von Nissan wiederum Hitachi vorzufinden.



**Abbildung 17: Innovationsnetzwerk im Bereich SiC – Denso (JP) und Nissan (JP)**

Die führenden Institutionen aus Deutschland und den USA im Bereich SiC sind über Patentschriften in der Zusammenarbeit weit weniger vernetzt, wie in Abbildung 18 ersichtlich.

Während Verbindungen bei Siemens insbesondere zu Infineon und SiCED Electronics bestehen und in zweiter Ebene auch IBM und Qimonda Teil des Netzwerks sind (bzw. waren), kann beim US-amerikanischen Unternehmen Cree im Rahmen dieser Analyse nur die Zusammenarbeit mit ABB identifiziert werden. Mit der aber relativ hohen Anzahl an Patenten im Portfolio von Cree im Bereich SiC (fast 500) weist dies auf eine relativ defensiv ausgerichtete, das Know-How schützende Patentstrategie hin.

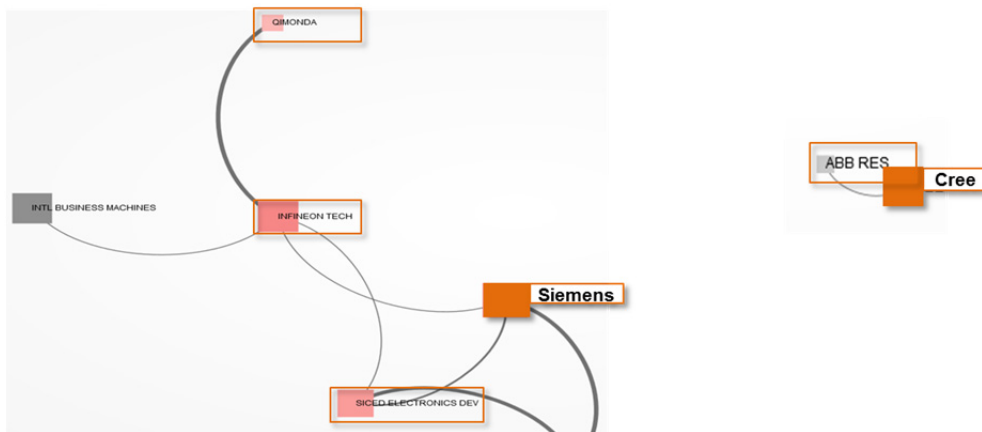


Abbildung 18: Innovationsnetzwerk im Bereich SiC – Siemens (DE) und Cree (US)

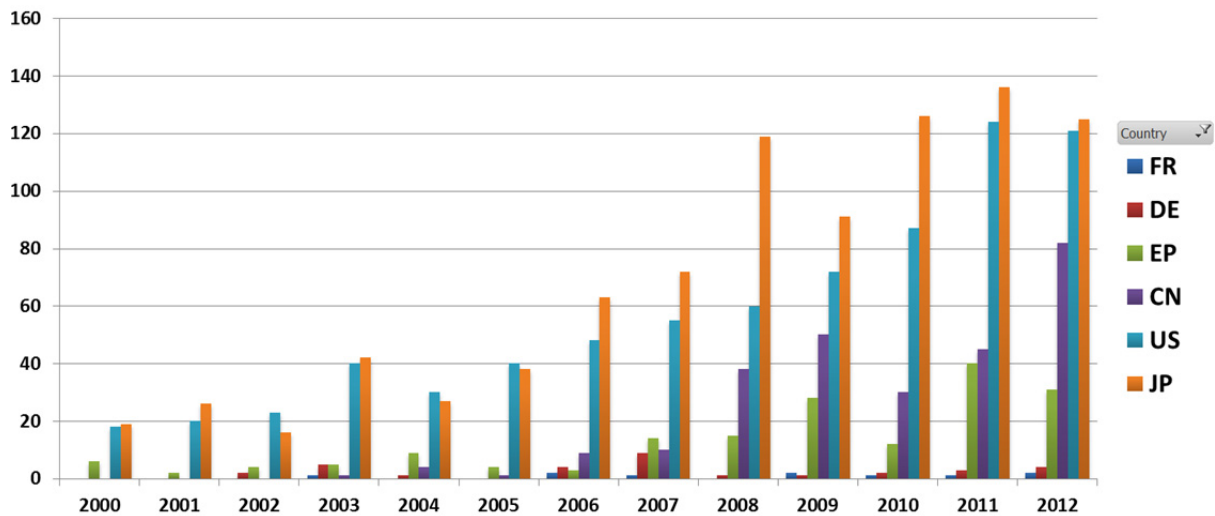
## 2.7 Patent-/ Publikationsanalyse „Halbleitermaterial – Galliumnitrid (GaN)“

Bei der Analyse der Offenlegung von Patentschriften, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich GaN als Halbleitermaterial für die Leistungselektronik stehen, ist Japan mit 900 Patenten über den gesamten Zeitraum der Jahre 2000 – 2012 bei der reinen Patentanzahl führend, während die USA mit ca. 740 Patenten den zweiten Rang einnimmt. Beide Länder melden über den gesamten Zeitraum jeweils eine relativ ähnliche Anzahl an Patenten an, jedoch kann sich Japan ab dem Jahr 2007 konstant auf der Spitzenposition behaupten und insbesondere in den Jahren 2008 und 2010 einen signifikanten Vorsprung erarbeiten, wie Abbildung 19 aufzeigt.

Wie auch bei den Untersuchungen zu SiC als Halbleitermaterial kann China die Patentanmeldungen von 2007 bis 2008 signifikant steigern und den dritten Platz vor der EU erobern. Deutschland hingegen kann im Rahmen dieser Analyse kaum nennenswerte Patentzahlen vorweisen und bewegt sich mit einem Marktanteil von nur einem Prozent auf einem konstant niedrigen Niveau.

Im Vergleich der Jahre 2000 und 2010 konnte der Output an Patenten im Bereich GaN insgesamt um einen Faktor 6 gesteigert werden, im Vergleich zu 2012 sogar um einen Faktor 8. Japan verlor dabei bis 2012 einen Anteil am Gesamtmarkt von 10% und besitzt im Jahr 2012 insgesamt 34%.

Auch die USA haben im gleichen Zeitraum ca. 9% Marktanteil verloren und können in 2012 ca. 33% aller Patentanmeldungen für sich beanspruchen. China, im Jahr 2000 noch ohne Patentanmeldung im GaN-Bereich, kann im Jahr 2010 bereits 30 Anmeldungen verzeichnen, im Jahr 2012 steigert sich die reine Anzahl auf über 80. Der chinesische IP-Markt verdoppelt damit den Anteil im Vergleich zu 2010 und kommt auf 22%.



**Abbildung 19: Anzahl Patente im Bereich GaN nach Weltregion über Zeit**

Im Bereich der Halbleiter-Materialien und im speziellen GaN dominieren japanische Institutionen die Technologieentwicklung beinahe vollkommen. Die einzigen nicht-japanischen Unternehmen innerhalb der TOP 20 sind die Xidian University aus China auf Rang 16 mit 20 Erfindungen und Cree (USA) auf Rang 17 mit 19 Erfindungen.

Auch hier ist es bemerkenswert, dass ein OEM auf der Ebene der Materialforschung aktiv und unter den führenden Institutionen bei Forschungsaktivitäten aufzufinden ist. Toyota Motor steht mit 38 Erfindungen auf Platz 9 der Rangliste, hinter den Toyota Central R&D Labs auf Rang 8 mit 39 Erfindungen. Insgesamt 84 Unternehmen entwickeln in Japan GaN-Technologien und melden Schutzrechte auf Erfindungen an, wie in Abbildung 21 ersichtlich.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	FURUKAWA ELECTRIC	77	JP
2	SUMITOMO ELECTRIC IND	68	JP
3	MATSUSHITA ELECTRIC IND	66	JP
4	TOSHIBA	64	JP
5	FUJITSU	49	JP
6	NIPPON TELEGRAPH	44	JP
7	SHARP	40	JP
8	TOYOTA CENTRAL R & D LABS	39	JP
9	TOYOTA MOTOR	38	JP
10	PANASONIC	35	JP
11	ROHM	35	JP
12	OKI ELECTRIC IND	32	JP
13	EUDYNA DEVICES	25	JP
14	HITACHI	25	JP
15	SONY	21	JP
16	XIDIAN UNIV	20	CN
17	CREE	19	US

18	SANKEN ELECTRIC	19	JP
19	TOYODA GOSEI	19	JP
20	NEC	18	JP

**Abbildung 20: TOP20 Patentanmelder im Bereich GaN nach Anzahl der Erfindungen**

Die Verteilung der in den verschiedenen Weltregionen aktiven Institutionen zeigt ein ähnliches Bild wie bei Siliziumkarbid als Halbleitermaterial. In Deutschland sind insgesamt 11 Institutionen aktiv, darunter auch Daimler (bzw. DaimlerChrysler) mit einer Erfindung im Bereich GaN. Auf Platz 1 in Deutschland befindet sich der Forschungsverbund Berlin (3), gefolgt von Siemens (2) und EADS (2).

Die USA sind mit insgesamt 77 Institutionen bei Schutzrechten im Bereich des Halbleiter-Materials in der Forschung aktiv, wobei Cree mit 19 Erfindungen die Rangliste anführt, gefolgt von International Rectifier (16) und der University of California (12). In China können insgesamt 23 Institutionen identifiziert werden, wiederum mit der Xidian University auf Rang 1 (20), gefolgt von der University of Electronic Science and Technology (17) und dem Institute of Microelectronics der Chinese Academy of Sciences (17).



**Abbildung 21: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich GaN nach Weltregion**

Im Rahmen dieser Untersuchung sind insgesamt mit Toyota und Daimler nur 2 OEMs in diesem Forschungsbereich schutzrechtlich aktiv, die überwiegende Mehrzahl an inhaltlich relevanten Inventionen entstammt der Entwicklung von Zulieferern, Forschungsinstituten und Universitäten.

Interessant ist zudem, dass ein länderübergreifendes Innovationsnetzwerk bei GaN-Technologien über gemeinsame Erfindungen überhaupt nicht erkennbar ist. Zudem sind die untersuchten Netzwerke auch innerhalb eines Landes eher geschlossen und konzentrieren sich auf die Zusammenarbeit von einigen wenigen, nationalen Institutionen, wie Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen.

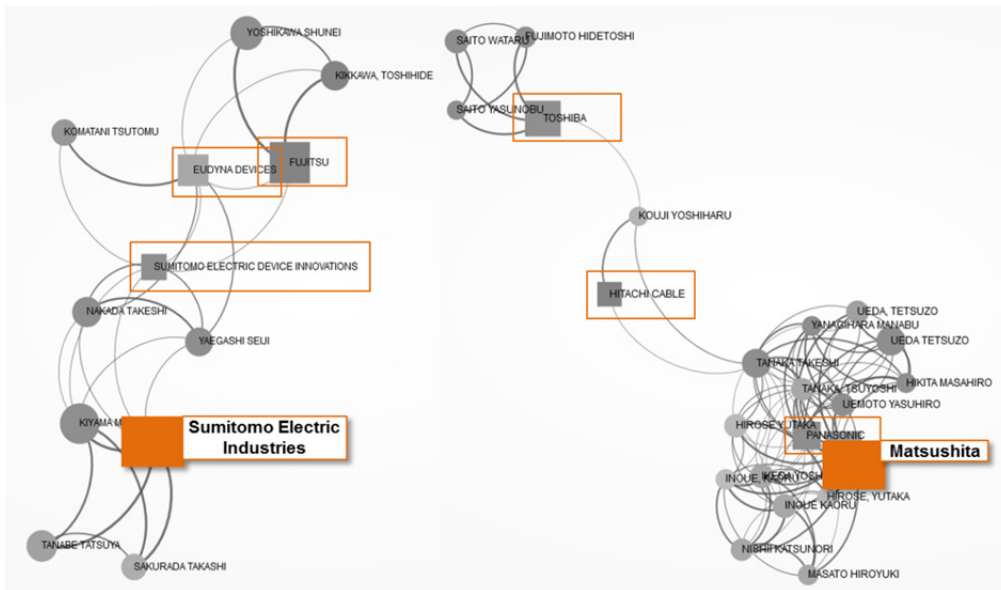


Abbildung 22: Innovationsnetzwerk im Bereich GaN – Sumitomo Electric Industries (JP) und Matsushita (JP)

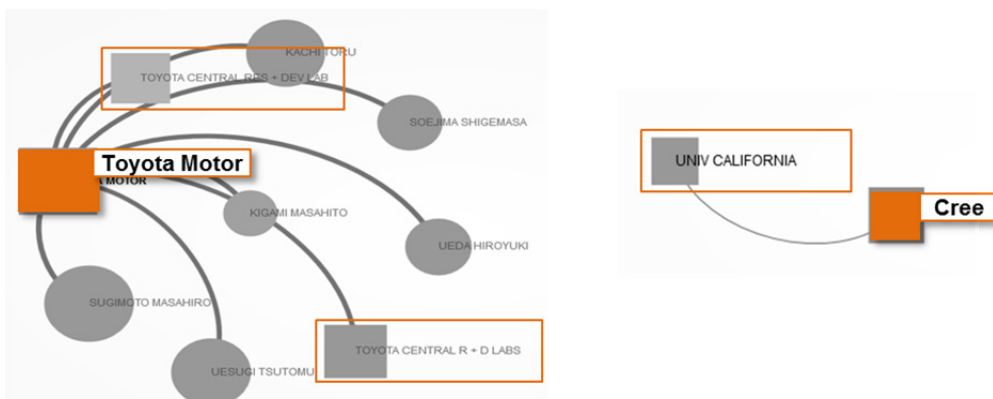


Abbildung 23: Innovationsnetzwerk im Bereich GaN – Toyota Motor (JP) und Cree (US)

### 3 Ausblick

Die dargestellten Auswertungen zu Patent-/ Publikationsanalysen werden im Rahmen des Technologie-Monitorings der STROMbegleitung dazu verwendet, die Forschungslandschaft im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ zu untersuchen und Thesen zum Stand der Technik, Forschungsschwerpunkten, der technologischen Position und Wettbewerbsfähigkeit einzelner Weltregionen abzuleiten, um so die Grundlage für Handlungsempfehlungen zu erarbeiten.

Die untersuchten Themenfelder orientieren sich insbesondere an den im Rahmen der einzelnen STROM-Projekte behandelten Themengebieten und Interessen der STROM-Teilnehmer und werden im weiteren um Analysen im Bereich „Elektrische Maschine“ sowie aus den Regionalstudien, insbesondere mit Analysen zu Förderschwerpunkten und -strategien im internationalen Vergleich ergänzt.





**DLR Institut für Fahrzeugkonzepte**

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

Benjamin Frieske

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 623

Telefax +49 (0)711 6862 258

[Benjamin.Frieske@dlr.de](mailto:Benjamin.Frieske@dlr.de)