

beschichteten TEM-Gitter gebracht. Das Lösungsmittel auf dem Gitter wurde dann mit einem Filterpapier aufgesaugt und so entfernt.

Herstellung der Vesikel: Eine Spatelspitze von **1** (0.001 g, 0.0011 mmol) wurde in dreifach destilliertes Wasser (3 mL) gegeben und 12 h beschallt. Filtrierte (0.45-µm-Filter) und nicht filtrierte Proben wurden durch TEM untersucht.

Eingegangen am 11. März 1999 [Z13146]

International Edition: *Angew. Chem. Int. Ed.* **1999**, 38, 2403–2405

Stichwörter: Fullerene • Nanostrukturen • Supramolekulare Chemie • Vesikel

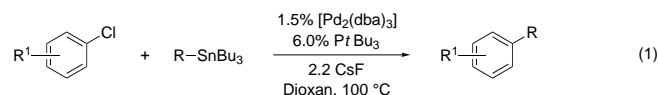
- [1] a) M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, P. C. Eklund, *Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes*, Academic Press, San Diego, **1996**; b) *Fullerenes, Recent Advances in the Chemistry and Physics of Fullerenes and Related Materials* (Hrsg.: R. S. Ruoff, K. M. Kadish), Electrochemical Society, Pennington, NJ, **1995**; c) F. Arias, L. A. Godínez, S. R. Wilson, A. E. Kaifer, L. Echegoyen, *J. Am. Chem. Soc.* **1996**, 118, 6086; d) U. Jonas, F. Cardullo, P. Belik, F. Diederich, A. Gügel, E. Harth, A. Herrmann, L. Isaacs, K. Müllen, H. Ringsdorf, C. Thilgen, P. Uhlmann, A. Vasella, C. A. A. Waldruff, M. Walter, *Chem. Eur. J.* **1995**, 1, 243; e) S. Ravaine, F. Le Pecq, C. Mingotaud, P. Delhaes, J. C. Hummelen, F. Wudl, L. K. Patterson, *J. Phys. Chem.* **1995**, 99, 9551; f) Y. Xiao, Z. Yao, D. Jin, *J. Phys. Chem.* **1994**, 98, 5557; g) K. Chen, W. B. Caldwell, C. A. Mirkin, *J. Am. Chem. Soc.* **1993**, 115, 1193; h) C. J. Hawker, P. M. Saville, J. W. White, *J. Org. Chem.* **1994**, 59, 3503; i) A. M. Cassell, W. A. Scrivens, J. M. Tour, *Angew. Chem.* **1998**, 110, 1670; *Angew. Chem. Int. Ed.* **1998**, 37, 1528.
- [2] a) R. Bullard-Dillard, K. E. Creek, W. A. Scrivens, J. M. Tour, *Biorg. Chem.* **1996**, 24, 376; b) M. Maggini, G. Scorrano, M. Prato, *J. Am. Chem. Soc.* **1993**, 115, 9798.
- [3] D. Myers, *Surfactant Science and Technology*, VCH, New York, **1988**.
- [4] T. Kunitake, Y. Okahata, M. Shimomura, S. Yasunami, K. Takarabe, *J. Am. Chem. Soc.* **1981**, 103, 5401.
- [5] Y. P. Sun, B. Ma, C. E. Bunker, B. Liu, *J. Am. Chem. Soc.* **1995**, 117, 12705.

Die erste allgemein anwendbare Methode zur Stille-Kreuzkupplung von Arylchloriden**

Adam F. Littke und Gregory C. Fu*

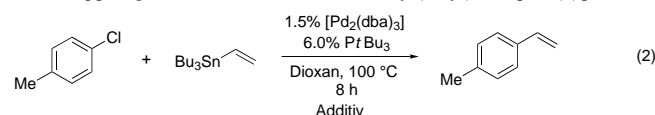
Die Stille-Kreuzkupplung von Organozinnverbindungen mit Aryliodiden, -bromiden und -triflaten (-OSO₂CF₃) ist eine leistungsfähige und weitverbreitete Methode zur C-C-Verknüpfung.^[1] Obwohl die Arylchloride häufiger vorkommen

und billiger sind als die anderen Kupplungspartner,^[2] wurden bisher nur elektronenarme Arylchloride in Stille-Reaktionen eingesetzt.^[3–5] Wir beschreiben im folgenden eine allgemeine Lösung für dieses seit langem bestehende Problem: Die Verwendung von *Pr*Bu₃ als Ligand für Palladium und von CsF zur Aktivierung des Zinnreagens führt zur effizienten Kupplung einer Reihe von Arylchloriden mit einem breiten Spektrum von Organozinnverbindungen [Gl. (1); R¹ = OMe, NH₂, *o*-Me usw.; R = Vinyl, Allyl, Ph, Bu usw.].



Vor kurzem entdeckten wir und andere, daß palladiumkatalysierte Kupplungen von Arylchloriden mit Aminen,^[6] Arylboronsäuren,^[7] Ketonenolaten^[8] oder Alkenen^[9] mit dem elektronenreichen und sterisch anspruchsvollen *Pr*Bu₃ als Ligand gelingen. Bei unseren Arbeiten erwies sich [Pd₂(dba)₃]/*Pr*Bu₃ (dba = Dibenzylidenacetone) als besonders wirksames Katalysatorsystem.^[7a, 9a] Leider hatten unsere Versuche, diesen Katalysator in der Stille-Reaktion von *p*-Chlortoluol mit Tributyl(vinyl)zinn einzusetzen, nur begrenzten Erfolg (Tabelle 1, Nr. 1).

Tabelle 1. Wirkung von Additiven auf die [Pd₂(dba)₃]/*Pr*Bu₃-katalysierte Kreuzkupplung von 4-Chlortoluol mit Tributyl(vinyl)zinn [Gl. (2)].



Nr.	Additiv (1.1 Äquiv.)	Ausb. [%] ^[a]
1	–	12
2	TAS-F	4
3	TBAF · 3 H ₂ O	24
4	KF	28
5	CsF	50
6	CsF (2.2 Äquiv.)	59
7	NEt ₃	16
8	Cs ₂ CO ₃	40
9	NaOH	42

[a] Nach 8 h (GC); Mittelwert aus zwei Reaktionen.

Da hypervalente Organozinnverbindungen im allgemeinen reaktiver (nucleophiler) sind als ihre vierwertigen Vorstufen und da Zinn fluorophil ist,^[10] entschlossen wir uns zu untersuchen, ob durch die Zugabe von Fluorid eine effizientere Kreuzkupplung erreicht werden kann, indem die Zinn/Palladium-Transmetallierung möglicherweise erleichtert wird.^[11, 12] Die Methode der Fluorid-Aktivierung wurde von anderen bereits erfolgreich auf verschiedene Kreuzkupplungen angewendet,^[13] aber nicht auf Stille-Reaktionen von Arylchloriden. Kosugi et al. berichteten kürzlich sogar, daß die Stille-Kupplung von Arylchloriden mit dem Katalysatorsystem [Pd(dba)₂]/PPh₃/TBAF nicht gelingt (TBAF = Bu₄NF).^[14] Unsere Untersuchungen ergaben dagegen, daß sich Tris(dimethylamino)schwefel(trimethylsilyl)difluorid (TAS-F) nachteilig auf die Kreuzkupplung mit dem [Pd₂(dba)₃]/*Pr*Bu₃-Katalysatorsystem auswirkt (Tabelle 1,

[*] Prof. Dr. G. C. Fu, A. F. Littke
Department of Chemistry
Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, MA 02139 (USA)
Fax: (+1) 617-258-7500
E-mail: gcf@mit.edu

[**] Diese Arbeit wurde von der Alfred P. Sloan Foundation, von der American Cancer Society, von Bristol-Myers Squibb, von der Camille und Henry Dreyfus Foundation, von der National Science Foundation (Young Investigator Award, mit Mitteln von Merck, Pharmacia & Upjohn, Bayer und Novartis), vom Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (Diplomanden-Forschungsspendium für A.F.L.), von Pfizer sowie von Procter & Gamble gefördert.

Hintergrundinformationen zu diesem Beitrag sind im WWW unter <http://www.wiley-vch.de/home/angewandte/> zu finden oder können beim Autor angefordert werden.

Nr. 2), während die Zugabe anderer Fluoridquellen wie TBAF·3H₂O und KF günstig ist (Nr. 3 und 4). Das wirksamste der von uns untersuchten Fluorid-Additive ist CsF (Nr. 5), wobei die Effizienz durch Erhöhung der CsF-Menge von 1.1 auf 2.2 Äquivalente noch verbessert werden kann (vgl. Nr. 5 und 6). Schließlich stellten wir fest, daß auch Nichtfluorid-Additive (z.B. NEt₃, Cs₂CO₃ und NaOH)^[15–17] die Kreuzkupplung beschleunigen, allerdings nicht so effizient wie CsF (vgl. Nr. 7–9 und 5).

Unter unseren optimierten Reaktionsbedingungen (1.5% [Pd₂(dba)₃]/6% PrBu₃/2.2 Äquiv. CsF) gelingen Stille-Kreuzkupplungen mit zahlreichen Arylchloriden (Tabelle 2).^[18, 19]

Tabelle 2. Anwendungsbereich der [Pd₂(dba)₃]/PrBu₃-katalysierten Stille-Kreuzkupplung: Variation des Arylchlorids [Gl. (3)].

Nr.	Arylchlorid	T [°C]	t [h]	Ausb. [%] ^[a]
1		80	12	87
2		100	23	80
3		100	48	82 (90)
4		100	48	61
5		100	36	71 (84)

[a] Ausbeute an isoliertem Produkt; Mittelwert aus zwei Reaktionen. Werte in Klammern sind gaschromatographisch bestimmte Ausbeuten im Falle flüchtiger Produkte.

So können elektronenarme (Nr. 1), elektronisch neutrale (Nr. 2) und elektronenreiche Arylchloride (Nr. 3) in guter Ausbeute zu den Kupplungsprodukten umgesetzt werden; eine Ausnahme bildet *p*-Chloranilin, das *p*-Aminostyrol nur in mäßiger Ausbeute gibt (Nr. 4). Ebenso wie andere Kreuzkupplungen^[20] verläuft auch unsere Reaktion mit elektronenärmeren Halogeniden rascher. Auch sterisch anspruchsvolle Arylchloride können unter den beschriebenen Bedingungen in einer Stille-Reaktion umgesetzt werden (Nr. 5).

Wir haben festgestellt, daß nicht nur ein breites Spektrum von Arylchloriden, sondern auch eine Vielzahl zinnorganischer Reagentien Stille-Kreuzkupplungen in Gegenwart von [Pd₂(dba)₃]/PrBu₃/CsF eingehen. Für diese Untersuchung konzentrierten wir uns auf Reaktionen von *p*-Chloranisol – ein wegen seines Elektronenreichtums recht anspruchsvolles Substrat. Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, konnten wir 1-Ethoxyvinyl-, Allyl- und Phenylgruppen in ausgezeichneter Ausbeute mit *p*-Chloranisol verknüpfen (Nr. 1–3). Interessanterweise gelingt unter diesen Bedingungen sogar die effiziente

Tabelle 3. Anwendungsbereich der [Pd₂(dba)₃]/PrBu₃-katalysierten Stille-Kreuzkupplung: Variation des Organozinnreagens [Gl. (4)].

Nr.	R	Ausb. [%] ^[a]
1		98
2		87
3		94
4		82

[a] Ausbeute an isoliertem Produkt; Mittelwert aus zwei Reaktionen.

Übertragung von Alkylgruppen (Nr. 4),^[21] die im allgemeinen sehr träge Reaktionspartner bei Stille-Kupplungen sind.^[1]

Ein aus rein praktischer Sicht großer Nachteil vieler Stille-Reaktionen besteht darin, das gewünschte Produkt vom zinnorganischen Rückstand abzutrennen.^[11b, 22] Um dieses Problem zu lösen, wurde eine Reihe eleganter Methoden entwickelt, darunter die Verwendung fluorhaltiger Zinnreagentien, wobei die Trennung durch eine Verteilung zwischen einer fluorigen und einer organischen Phase erfolgt.^[23] Die Reinigung des unter unseren Bedingungen gebildeten Reaktionsprodukts ist kein Problem, vermutlich weil in situ unlösliches Bu₃SnF entsteht.^[24]

Wir haben hier eine Lösung für ein altes Problem der Stille-Chemie vorgestellt: die Entwicklung einer allgemein anwendbaren Methode für die Kreuzkupplung von Arylchloriden. Das von uns entdeckte Katalysatorsystem stützt sich sowohl auf PrBu₃, von dem wir annehmen, daß es die Reaktivität des Palladiumkatalysators erhöht, als auch auf CsF, das unserer Ansicht nach die Reaktivität der Organozinnverbindung steigert. Mit diesem neuen Katalysatorsystem aus handelsüblichen Reagentien gelingen nun Stille-Reaktionen zahlreicher Arylchloride mit einem breiten Spektrum von Zinnverbindungen.

Eingegangen am 23. April 1999 [Z13310]

International Edition: *Angew. Chem. Int. Ed.* **1999**, 38, 2411–2413

Stichwörter: Homogene Katalyse • Kreuzkupplungen • Palladium • Stille-Reaktion

- [1] a) J. K. Stille, *Angew. Chem.* **1986**, 98, 504–519; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1986**, 25, 508–524; b) V. Farina, V. Krishnamurthy, W. J. Scott, *Org. React.* **1997**, 50, 1–652; c) T. N. Mitchell in *Metal-catalyzed Cross-coupling Reactions* (Hrsg.: F. Diederich, P. J. Stang), WILEY-VCH, New York, **1998**, Kap. 4; d) zum Mechanismus siehe A. L. Casado, P. Espinet, *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, 120, 8978–8985.
 [2] V. V. Grushin, H. Alper, *Chem. Rev.* **1994**, 94, 1047–1062.
 [3] a) V. Farina, V. Krishnamurthy, W. J. Scott, *Org. React.* **1997**, 50, 12–16; b) Lit. [1c].
 [4] Die niedrige Reaktivität von Arylchloriden bei Kreuzkupplungen wird im allgemeinen ihrer geringen Neigung zur oxidativen Addition an Pd⁰ zugeschrieben. Für eine Diskussion siehe Lit. [2].
 [5] Ni⁰-katalysierte Kreuzkupplung von Arylhalogeniden (einschließlich Arylchloriden) mit Organozinnverbindungen: E. Shirakawa, K. Yamasaki, T. Hiyama, *Synthesis* **1998**, 1544–1549.

- [6] a) M. Nishiyama, T. Yamamoto, Y. Koie, *Tetrahedron Lett.* **1998**, 39, 617–620 (ein Beispiel); b) Verwendung anderer elektronenreicher Phosphane in Pd⁰-katalysierten Aminierungen von Arylchloriden: N. P. Reddy, M. Tanaka, *Tetrahedron Lett.* **1997**, 38, 4807–4810; B. C. Hamann, J. F. Hartwig, *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, 120, 7369–7370; D. W. Old, J. P. Wolfe, S. L. Buchwald, *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, 120, 9722–9723.
- [7] a) A. F. Littke, G. C. Fu, *Angew. Chem.* **1998**, 110, 3586–3587; *Angew. Chem. Int. Ed.* **1998**, 37, 3387–3388; b) Verwendung anderer elektronenreicher Phosphane in Pd⁰-katalysierten Suzuki-Reaktionen von Arylchloriden: F. Firooznia, C. Gude, K. Chan, Y. Satoh, *Tetrahedron Lett.* **1998**, 39, 3985–3988; D. W. Old, J. P. Wolfe, S. L. Buchwald, *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, 120, 9722–9723.
- [8] M. Kawatsura, J. F. Hartwig, *J. Am. Chem. Soc.* **1999**, 121, 1473–1478.
- [9] Heck-Reaktionen: a) A. F. Littke, G. C. Fu, *J. Org. Chem.* **1999**, 64, 10–11. b) K. H. Shaughnessy, P. Kim, J. F. Hartwig, *J. Am. Chem. Soc.* **1999**, 121, 2123–2132; c) Verwendung anderer elektronenreicher Phosphane in Pd⁰-katalysierten Heck-Reaktionen von Arylchloriden: Y. Ben-David, M. Portnoy, M. Gozin, D. Milstein, *Organometallics* **1992**, 11, 1995–1996; M. Portnoy, Y. Ben-David, D. Milstein, *Organometallics* **1993**, 12, 4734–4735.
- [10] *Chemistry of Tin* (Hrsg.: P. J. Smith), Blackie, New York, **1998**.
- [11] a) Tetrabutylammoniumdifluortriphenylstannat wurde z. B. als wirksames Phenylierungsmittel in Stille-Reaktionen von Aryltriflaten beschrieben: A. G. Martinez, J. O. Barcina, A. de F. Cerezo, L. R. Subramanian, *Synlett* **1994**, 1047–1048; b) E. Fouquet, M. Pereyre, A. L. Rodriguez, *J. Org. Chem.* **1997**, 62, 5242–5243; E. Fouquet, A. L. Rodriguez, *Synlett* **1998**, 1323–1324.
- [12] Beispiele für eine erhöhte Reaktivität bei Stille-Reaktionen durch intramolekulare Koordination eines Nucleophils an ein Organozinnreagens: a) E. Vedejs, A. R. Haight, W. O. Moss, *J. Am. Chem. Soc.* **1992**, 114, 6556–6558; b) J. M. Brown, M. Pearson, J. T. B. H. Jastrzebski, G. van Koten, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1992**, 1440–1441; c) V. Farina, *Pure Appl. Chem.* **1996**, 68, 73–78; d) E. Fouquet, M. Pereyre, A. L. Rodriguez, *J. Org. Chem.* **1997**, 62, 5242–5243.
- [13] a) Elektronenarme Arylchloride mit Organosiliciumverbindungen: K.-i. Gouda, E. Hagiwara, Y. Hatanaka, T. Hiyama, *J. Org. Chem.* **1996**, 61, 7232–7233; b) Arylhalogenide (-bromide, -iodide) mit Organosiliciumverbindungen: T. Hiyama in *Metal-catalyzed Cross-coupling Reactions* (Hrsg.: F. Diederich, P. J. Stang), WILEY-VCH, New York, **1998**, Kap. 10; c) Arylbromide und -triflate mit Organoborverbindungen: S. W. Wright, D. L. Hageman, L. D. McClure, *J. Org. Chem.* **1994**, 59, 6095–6097.
- [14] K. Fugami, S.-y. Ohnuma, M. Kameyama, T. Saotome, M. Kosugi, *Synlett* **1999**, 63–64.
- [15] Stille-Kreuzkupplungen von Arylbromiden und -iodiden in Gegenwart von Hydroxid: A. I. Roshchin, N. A. Bumagin, I. P. Beletskaya, *Tetrahedron Lett.* **1995**, 36, 125–128.
- [16] Hiyama-Kreuzkupplungen in Gegenwart von Hydroxid: E. Hagiwara, K.-i. Gouda, Y. Hatanaka, T. Hiyama, *Tetrahedron Lett.* **1997**, 38, 439–442. Siehe auch: C. Mateo, C. Fernandez-Rivas, D. J. Cardenas, A. M. Echavarren, *Organometallics* **1998**, 17, 3661–3669.
- [17] Die Umsetzung mit NaOH als Base verlief nicht ganz so glatt wie die Reaktion mit CsF.
- [18] Allgemeine Vorschrift: Unter Argon oder N₂ werden eine Lösung des Arylchlorids (1.0 mmol; in 0.5–0.6 mL Dioxan) und eine Lösung von PrBu₃ (0.060 mmol; in 0.4–0.5 mL Dioxan) nacheinander in ein Schlenk-Rohr mit [Pd₂(dba)₃] (0.015 mmol) und CsF (2.2 mmol) überführt. Danach wird das Organozinnan (1.05 mmol) mit einer Spritze zugegeben, das Schlenk-Rohr verschlossen und im 80–100 °C heißen Ölbad 12–48 h gerührt. Das Reaktionsgemisch wird dann auf Raumtemperatur abgekühlt, mit Et₂O verdünnt und durch Silicagel filtriert. Nach gründlichem Waschen des Filtermaterials mit Et₂O, Vereinigen der Etherphasen und Einengen im Vakuum wird das Produkt durch Flash-Chromatographie gereinigt.
- [19] Anmerkungen: a) Diese Kreuzkupplungen scheinen nicht sehr luft- oder feuchtigkeitsempfindlich zu sein. Die Umsetzungen können beispielsweise in analysenreinem Dioxan durchgeführt werden, durch das Argon geleitet wurde. b) Ohne [Pd₂(dba)₃] oder PrBu₃ fand keine Reaktion statt (<2 % Umsatz). c) Die Reaktionen verlaufen auch mit nur 1.1 Äquiv. CsF und nur 3.6 % PrBu₃ vollständig, aber langsamer als

unter den in Lit. [18] beschriebenen Bedingungen. d) Die Reaktion verläuft mit PCy₃ langsamer als mit PrBu₃, mit dem elektronenreichen und sterisch gehinderten Tris(2,4,6-trimethoxyphenyl)phosphan findet keine Reaktion statt. e) Kreuzkupplungen in THF verlaufen ähnlich effizient wie in Dioxan; Reaktionen in Toluol sind etwas langsamer. f) [Pd(OAc)₂] ist als Katalysatorvorstufe weniger geeignet als [Pd₂(dba)₃]. g) Bei diesen Stille-Kupplungen können auch geringere Katalysatormengen eingesetzt werden; die Ausbeuten sind dann etwas niedriger. So liefert die Kreuzkupplung von 4-*n*-Butyl-1-chlorbenzol mit Tributyl(vinyl)zinn in Gegenwart von 0.25 % [Pd₂(dba)₃] und 1.0 % PrBu₃ das Produkt 4-*n*-Butylstyrol in 67 % Ausbeute.

- [20] *Metal-catalyzed Cross-coupling Reactions* (Hrsg.: F. Diederich, P. J. Stang), WILEY-VCH, New York, **1998**.
- [21] Bei den Stille-Kreuzkupplungen der anderen in Tabelle 3 aufgeführten Organozinnan findet kein nennenswerter Butyltransfer statt (<2 %).
- [22] Zu einer allgemeinen Diskussion über das Problem der Abtrennung der Reaktionsprodukte von den zinnorganischen Rückständen siehe: D. Crich, S. Sun, *J. Org. Chem.* **1996**, 61, 7200–7201.
- [23] M. Hoshino, P. Degenkolb, D. P. Curran, *J. Org. Chem.* **1997**, 62, 8341–8349; D. P. Curran, *Angew. Chem.* **1998**, 110, 1230–1255; *Angew. Chem. Int. Ed.* **1998**, 37, 1174–1196.
- [24] a) Die Zugabe eines Fluorids (z. B. KF) nach Beendigung einer Reaktion ist eine verbreitete Methode, um Organozinnhalogenid-Verunreinigungen zu entfernen: D. Milstein, J. K. Stille, *J. Am. Chem. Soc.* **1978**, 100, 3636–3638; J. E. Liebner, J. Jacobus, *J. Org. Chem.* **1979**, 44, 449–450. b) Stille und Scott berichteten, daß bei der Zugabe von CsF zu Kreuzkupplungen von Vinyltriflaten mit Organozinnverbindungen ca. 80 % des Zinns entfernt werden: W. J. Scott, J. K. Stille, *J. Am. Chem. Soc.* **1986**, 108, 3033–3040. c) Unter unseren Bedingungen konnten wir nach Beendigung der Reaktion kein Bu₃SnCl nachweisen.

Ein hochaktiver Katalysator für Aminierung und Suzuki-Kupplung von Arylchloriden bei Raumtemperatur**

John P. Wolfe und Stephen L. Buchwald*

Palladium-katalysierte Aminierungen^[1] und Suzuki-Kupplungen^[2] haben in vielen Bereichen der Organischen Synthese breite Anwendung gefunden. Der Hauptgrund hierfür ist, daß diese Reaktionen die Knüpfung von C(sp²)-C(sp²)-Bindungen

[*] Prof. Dr. S. L. Buchwald, Dr. J. P. Wolfe
Department of Chemistry
Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, MA 02139 (USA)
Fax: (+1) 617-253-3297
E-mail: sbuchwal@mit.edu

[**] Diese Arbeit wurde von den National Institutes of Health (GM 58160 und GM 34917) und vom National Cancer Institute (Training grant Nr. CI T32CA09112) gefördert. Außerdem danken wir den Firmen Pfizer, Merck und Novartis für zusätzliche finanzielle Unterstützung. J.P.W. dankt der Organic Division der American Chemical Society für ein von der Firma Schering-Plough gestiftetes Stipendium. Weiterhin danken wir Dr. Ken Kamikawa für die Durchführung erster Experimente zur katalytischen Aminierung von Arylchloriden bei Raumtemperatur, Dr. Bryant Yang für die Durchführung der Experimente Nr. 1 und 2 in Tabelle 2 sowie Dr. Robert Singer für die Durchführung von Experiment Nr. 3 in Tabelle 2.



Hintergrundinformationen zu diesem Beitrag sind im WWW unter <http://www.wiley-vch.de/home/angewandte/> zu finden oder können beim Autor angefordert werden.