

# VU Research Portal

## Photophysics of solar fuel materials

Ravensbergen, J.

2015

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Ravensbergen, J. (2015). *Photophysics of solar fuel materials*.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

# References

- (1) Blankenship, R. E. *Molecular Mechanisms of Photosynthesis*; Blackwell Science Ltd, 2001.
- (2) Youngblood, W. J.; Lee, S.-H. A.; Maeda, K.; Mallouk, T. E. *Acc. Chem. Res.* **2009**, *42*, 1966.
- (3) Moore, G. F.; Blakemore, J. D.; Milot, R. L.; Hull, J. F.; Song, H.-e.; Cai, L.; Schmuttenmaer, C. A.; Crabtree, R. H.; Brudvig, G. W. *Energy Environ. Sci.* **2011**, *4*, 2389.
- (4) Berera, R.; van Grondelle, R.; Kennis, J. T. M. *Photosynth. Res.* **2009**, *101*, 105.
- (5) Polívka, T.; Sundstrom, V. *Chem. Rev.* **2004**, *104*, 2021.
- (6) van Stokkum, I. H. M.; Larsen, D. S.; van Grondelle, R. *Biochim. Biophys. Acta* **2004**, *1657*, 82.
- (7) van Stokkum, I. H. M.; Larsen, D. S.; van Grondelle, R. *Biochim. Biophys. Acta, Bioen.* **2004**, *1658*.
- (8) Snellenburg, J. J.; Laptinok, S.; Seger, R.; Mullen, K. M.; van Stokkum, I. H. M. *JSS* **2012**, *49*, 22.
- (9) Toh, K. C.; Stojkovic, E. A.; van Stokkum, I. H.; Moffat, K.; Kennis, J. T. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2011**, *13*, 11985.
- (10) Förster, T. *Ann. Phys.* **1948**, *437*, 55.
- (11) Scholes, G. D. *Annu. Rev. Phys. Chem.* **2003**, *54*, 57.
- (12) Novoderezhkin, V. I.; van Grondelle, R. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2010**, *12*.
- (13) Marcus, R. A.; Sutin, N. *Biochim. Biophys. Acta, Bioen.* **1985**, *811*, 265.
- (14) Moser, C. C.; Keske, J. M.; Warncke, K.; Farid, R. S.; Dutton, P. L. *Nature* **1992**, *355*, 796.
- (15) Huynh, M. H. V.; Meyer, T. J. *Chem. Rev.* **2007**, *107*, 5004.
- (16) Barry, B. A. *Biochim. Biophys. Acta, Bioen.* **2015**, *1847*, 46.
- (17) Hambourger, M.; Moore, G. F.; Kramer, D. M.; Gust, D.; Moore, A. L.; Moore, T. A. *Chem. Soc. Rev.* **2009**, *38*, 25.
- (18) Hammarström, L.; Styring, S. *Energy Environ. Sci.* **2011**, *4*, 2379.
- (19) van de Krol, R.; Grätzel, M. *Photoelectrochemical hydrogen production*; Springer: London, 2012.
- (20) Joya, K. S.; Joya, Y. F.; Ocakoglu, K.; van de Krol, R. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, *52*, 10426.
- (21) Kanan, M. W.; Nocera, D. G. *Science* **2008**, *321*, 1072.
- (22) Abdi, F. F.; Han, L.; Smets, A. H.; Zeman, M.; Dam, B.; van de Krol, R. *Nat Commun* **2013**, *4*, 2195.
- (23) Moore, T. A.; Gust, D.; Mathis, P.; Mialocq, J. C.; Chachaty, C.; Bensasson, R. V.; Land, E. J.; Doizi, D.; Liddell, P. A.; Lehman, W. R.; Nemeth, G. A.; Moore, A. L. *Nature* **1984**, *307*, 630.
- (24) Frank, H. A.; Cogdell, R. J. *Photochem. Photobiol.* **1996**, *63*, 257.
- (25) Hanley, J.; Deligiannakis, Y.; Pascal, A.; Faller, P.; Rutherford, A. W. *Biochemistry* **1999**, *38*, 8189.

- (26) Liao, P.-N.; Pillai, S.; Kloz, M.; Gust, D.; Moore, A. L.; Moore, T. A.; Kennis, J. T. M.; van Grondelle, R.; Walla, P. J. *Photosynth. Res.* **2012**, *111*, 237.
- (27) Walla, P. J.; Linden, P. A.; Hsu, C. P.; Scholes, G. D.; Fleming, G. R. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2000**, *97*, 10808.
- (28) Liao, P.-N.; Pillai, S.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; Walla, P. J. *J. Phys. Chem. A* **2011**, *115*, 4082.
- (29) Tavan, P.; Schulten, K. *Phys. Rev. B* **1987**, *36*, 4337.
- (30) Frank, H. A.; Cua, A.; Chynwat, V.; Young, A.; Gosztola, D.; Wasielewski, M. R. *Photosynth. Res.* **1994**, *41*, 389.
- (31) Polivka, T.; Sundstrom, V. *Chem. Phys. Lett.* **2009**, *477*, 1.
- (32) Gradinaru, C. C.; Kennis, J. T. M.; Papagiannakis, E.; van Stokkum, I. H. M.; Cogdell, R. J.; Fleming, G. R.; Niederman, R. A.; van Grondelle, R. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2001**, *98*, 2364.
- (33) Papagiannakis, E.; Kennis, J. T. M.; van Stokkum, I. H. M.; Cogdell, R. J.; van Grondelle, R. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2002**, *99*, 6017.
- (34) Bautista, J. A.; Connors, R. E.; Raju, B. B.; Hiller, R. G.; Sharples, F. P.; Gosztola, D.; Wasielewski, M. R.; Frank, H. A. *J. Phys. Chem. B* **1999**, *103*, 8751.
- (35) Zigmantas, D.; Hiller, R. G.; Sharples, F. P.; Frank, H. A.; Sundstrom, V.; Polivka, T. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2004**, *6*, 3009.
- (36) Niedzwiedzki, D.; Koscielicki, J. F.; Cong, H.; Sullivan, J. O.; Gibson, G. N.; Birge, R. R.; Frank, H. A. *J. Phys. Chem. B* **2007**, *111*, 5984.
- (37) Niedzwiedzki, D. M.; Chatterjee, N.; Enriquez, M. M.; Kajikawa, T.; Hasegawa, S.; Katsumura, S.; Frank, H. A. *J. Phys. Chem. B* **2009**, *113*, 13604.
- (38) Polivka, T.; Frank, H. A. *Acc. Chem. Res.* **2010**, *43*, 1125.
- (39) Zigmantas, D.; Hiller, R. G.; Sundstrom, V.; Polivka, T. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2002**, *99*, 16760.
- (40) Papagiannakis, E.; Das, S. K.; Gall, A.; van Stokkum, I. H. M.; Robert, B.; van Grondelle, R.; Frank, H. A.; Kennis, J. T. M. *J. Phys. Chem. B* **2003**, *107*, 5642.
- (41) Alexandre, M. T. A.; Luehrs, D. C.; van Stokkum, I. H. M.; Hiller, R.; Groot, M.-L.; Kennis, J. T. M.; van Grondelle, R. *Biophys. J.* **2007**, *93*, 2118.
- (42) Gall, A.; Berera, R.; Alexandre, M. T. A.; Pascal, A. A.; Bordes, L.; Mendes-Pinto, M. M.; Andrianambinintsoa, S.; Stoitchkova, K. V.; Marin, A.; Valkunas, L.; Horton, P.; Kennis, J. T. M.; van Grondelle, R.; Ruban, A.; Robert, B. *Biophys. J.* **2011**, *101*, 934.
- (43) Jailaubekov, A. E.; Song, S.-H.; Vengris, M.; Cogdell, R. J.; Larsen, D. S. *Chem. Phys. Lett.* **2010**, *487*, 101.
- (44) Jailaubekov, A. E.; Vengris, M.; Song, S.-H.; Kusumoto, T.; Hashimoto, H.; Larsen, D. S. *J. Phys. Chem. A* **2011**, *115*, 3905.
- (45) Papagiannakis, E.; van Stokkum, I. H. M.; Vengris, M.; Cogdell, R. J.; van Grondelle, R.; Larsen, D. S. *J. Phys. Chem. B* **2006**, *110*, 5727.
- (46) Cerullo, G.; Polli, D.; Lanzani, G.; De Silvestri, S.; Hashimoto, H.; Cogdell, R. J. *Science* **2002**, *298*, 2395.
- (47) Kosumi, D.; Maruta, S.; Horibe, T.; Nagaoka, Y.; Fujii, R.; Sugisaki, M.; Cogdell, R. J.; Hashimoto, H. *J. Chem. Phys.* **2012**, *137*, 064505.

- (48) Ruban, A. V.; Berera, R.; Illoaia, C.; van Stokkum, I. H. M.; Kennis, J. T. M.; Pascal, A. A.; van Amerongen, H.; Robert, B.; Horton, P.; van Grondelle, R. *Nature* **2007**, *450*, 575.
- (49) Wilson, A.; Punginelli, C.; Gall, A.; Bonetti, C.; Alexandre, M.; Routaboul, J.-M.; Kerfeld, C. A.; van Grondelle, R.; Robert, B.; Kennis, J. T. M.; Kirilovsky, D. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2008**, *105*, 12075.
- (50) Tian, L.; van Stokkum, I. H. M.; Koehorst, R. B. M.; Jongerius, A.; Kirilovsky, D.; van Amerongen, H. *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133*, 18304.
- (51) Berera, R.; van Stokkum, I. H. M.; d'Haene, S.; Kennis, J. T. M.; van Grondelle, R.; Dekker, J. P. *Biophys. J.* **2009**, *96*, 2261.
- (52) Holt, N. E.; Zigmantas, D.; Valkunas, L.; Li, X. P.; Niyogi, K. K.; Fleming, G. R. *Science* **2005**, *307*, 433.
- (53) Ahn, T. K.; Avenson, T. J.; Ballottari, M.; Cheng, Y. C.; Niyogi, K. K.; Bassi, R.; Fleming, G. R. *Science* **2008**, *320*, 794.
- (54) Frank, H. A.; Brudvig, G. W. *Biochemistry* **2004**, *43*, 8607.
- (55) Fukuzumi, S. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2006**, *79*, 177.
- (56) Kodis, G.; Herrero, C.; Palacios, R.; Mariño-Ochoa, E.; Gould, S.; de la Garza, L.; van Grondelle, R.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; Kennis, J. T. M. *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108*, 414.
- (57) Berera, R.; Herrero, C.; van Stokkum, I. H. M.; Vengris, M.; Kodis, G.; Palacios, R. E.; van Amerongen, H.; van Grondelle, R.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; Kennis, J. T. M. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2006**, *103*, 5343.
- (58) Kloz, M.; Pillai, S.; Kodis, G.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; van Grondelle, R.; Kennis, J. T. M. *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133*, 7007.
- (59) Kloz, M.; Pillai, S.; Kodis, G.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; van Grondelle, R.; Kennis, J. T. M. *Chem. Sci.* **2012**, *3*, 2052.
- (60) Williams, R. M.; Zwier, J. M.; Verhoeven, J. W. *J. Am. Chem. Soc.* **1995**, *117*, 4093.
- (61) Guldi, D. M. *Chem. Soc. Rev.* **2002**, *31*, 22.
- (62) Macpherson, A. N.; Liddell, P. A.; Kuciauskas, D.; Tatman, D.; Gillbro, T.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L. *J. Phys. Chem. B* **2002**, *106*, 9424.
- (63) Marino-Ochoa, E.; Palacios, R.; Kodis, G.; Macpherson, A. N.; Gillbro, T.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L. *Photochem. Photobiol.* **2002**, *76*, 116.
- (64) Berera, R.; van Stokkum, I. H. M.; Kodis, G.; Keirstead, A. E.; Pillai, S.; Herrero, C.; Palacios, R. E.; Vengris, M.; van Grondelle, R.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; Kennis, J. T. M. *J. Phys. Chem. B* **2007**, *111*, 6868.
- (65) Holt, N. E.; Kennis, J. T. M.; Dall'Osto, L.; Bassi, R.; Fleming, G. R. *Chem. Phys. Lett.* **2003**, *379*, 305.
- (66) Holt, N. E.; Kennis, J. T. M.; Fleming, G. R. *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108*, 19029.
- (67) Connelly, J. P.; Muller, M. G.; Bassi, R.; Croce, R.; Holzwarth, A. R. *Biochemistry* **1997**, *36*, 281.
- (68) Kennis, J. T. M.; Gobets, B.; van Stokkum, I. H. M.; Dekker, J. P.; van Grondelle, R.; Fleming, G. R. *J. Phys. Chem. B* **2001**, *105*, 4485.
- (69) Wróbel, D.; Graja, A. *Coord. Chem. Rev.* **2011**, *255*, 2555.

- (70) Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L. *J. Photochem. Photobiol. B* **2000**, *58*, 63.
- (71) Hiroshi, I.; Kiyoshi, H.; Tsuyoshi, A.; Masanori, A.; Seiji, T.; Tadashi, O.; Masahiro, S.; Yoshiteru, S. *Chem. Phys. Lett.* **1996**, *263*, 545.
- (72) Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; Devadoss, C.; Liddell, P. A.; Hermant, R.; Nieman, R. A.; Demanche, L. J.; DeGraziano, J. M.; Gouni, I. *J. Am. Chem. Soc.* **1992**, *114*, 3590.
- (73) Megiatto, J. D.; Antoniuk-Pablant, A.; Sherman, B. D.; Kodis, G.; Gervaldo, M.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; Gust, D. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2012**, *109*, 15578.
- (74) BullardDillard, R.; Creek, K. E.; Scrivens, W. A.; Tour, J. M. *Bioorg. Chem.* **1996**, *24*.
- (75) Golding, J.; Hamid, N.; MacFarlane, D. R.; Forsyth, M.; Forsyth, C.; Collins, C.; Huang, J. *Chem. Mater.* **2001**, *13*.
- (76) Berera, R.; van Grondelle, R.; Kennis, J. T. M. *Photosynth. Res.* **2009**, *101*, 105.
- (77) van Stokkum, I. H. M.; Larsen, D. S.; van Grondelle, R. *Biochim. Biophys. Acta, Bioen.* **2004**, *1657*, 82.
- (78) Guldi, D. M.; Prato, M. *Acc. Chem. Res.* **2000**, *33*, 695.
- (79) Zhang, J. P.; Inaba, T.; Watanabe, Y.; Koyama, Y. *Chem. Phys. Lett.* **2000**, *331*, 154.
- (80) Zhang, J. P.; Inaba, T.; Watanabe, Y.; Koyama, Y. *Chem. Phys. Lett.* **2000**, *332*, 351.
- (81) Koyama, Y.; Kakitani, Y.; Miki, T.; Christiana, R.; Nagae, H. *Int. J. Mol. Sci.* **2010**, *11*, 1888.
- (82) Jeevarajan, J. A.; Wei, C. C.; Jeevarajan, A. S.; Kispert, L. D. *J. Phys. Chem.* **2011**, *100*, 5637.
- (83) Palacios, R. E.; Kodis, G.; Herrero, C.; Ochoa, E. M.; Gervaldo, M.; Gould, S. L.; Kennis, J. T. M.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L. *J. Phys. Chem. B* **2006**, *110*, 25411.
- (84) Berera, R.; Moore, G. F.; van Stokkum, I. H. M.; Kodis, G.; Liddell, P. A.; Gervaldo, M.; van Grondelle, R.; Kennis, J. T. M.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L. *Photochem. Photobiol. Sci.* **2006**, *5*, 1142.
- (85) Bonetti, C.; Alexandre, M. T. A.; van Stokkum, I. H. M.; Hiller, R. G.; Groot, M. L.; van Grondelle, R.; Kennis, J. T. M. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2010**, *12*, 9256.
- (86) Angerhofer, A.; Bornhäuser, F.; Gall, A.; Cogdell, R. J. *Chem. Phys.* **1995**, *194*, 259.
- (87) Polivka, T.; Zigmantas, D.; Sundstrom, V.; Formaggio, E.; Cinque, G.; Bassi, R. *Biochemistry* **2002**, *41*, 439.
- (88) Polivka, T.; Zigmantas, D.; Herek, J. L.; He, Z.; Pascher, T.; Pullerits, T.; Cogdell, R. J.; Frank, H. A.; Sundstrom, V. *J. Phys. Chem. B* **2002**, *106*, 11016.
- (89) Cong, H.; Niedzwiedzki, D. M.; Gibson, G. N.; LaFountain, A. M.; Kelsh, R. M.; Gardiner, A. T.; Cogdell, R. J.; Frank, H. A. *J. Phys. Chem. B* **2008**, *112*, 10689.
- (90) Polivka, T.; Pullerits, T.; Frank, H. A.; Cogdell, R. J.; Sundstrom, V. *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108*, 15398.

- (91) Gradinaru, C. C.; van Stokkum, I. H. M.; Pascal, A. A.; van Grondelle, R.; van Amerongen, H. *J. Phys. Chem. B* **2000**, *104*, 9330.
- (92) Gobets, B.; Kennis, J. T. M.; Ihalainen, J. A.; Brazzoli, M.; Croce, R.; van Stokkum, I. H. M.; Bassi, R.; Dekker, J. P.; van Amerongen, H.; Fleming, G. R.; van Grondelle, R. *J. Phys. Chem. B* **2001**, *105*, 10132.
- (93) Imahori, H.; Cardoso, S.; Tatman, D.; Lin, S.; Noss, L.; Seely, G. R.; Sereno, L.; deSilber, J. C.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; Gust, D. *Photochem. Photobiol.* **1995**, *62*, 1009.
- (94) Fujitsuka, M.; Luo, C.; Ito, O.; Murata, Y.; Komatsu, K. *J. Phys. Chem. A* **1999**, *103*, 7155.
- (95) Carbonera, D.; Di Valentin, M.; Agostini, G.; Giacometti, G.; Liddell, P. A.; Gust, D.; Moore, A. L.; Moore, T. A. *Appl. Magn. Reson.* **1997**, *13*, 487.
- (96) Carbonera, D.; Di Valentin, M.; Corvaja, C.; Agostini, G.; Giacometti, G.; Liddell, P. A.; Kuciauskas, D.; Moore, A. L.; Moore, T. A.; Gust, D. *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, *120*, 4398.
- (97) Di Valentin, M.; Bisol, A.; Agostini, G.; Fuhs, M.; Liddell, P. A.; Moore, A. L.; Moore, T. A.; Gust, D.; Carbonera, D. *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*, 17074.
- (98) Di Valentin, M.; Bisol, A.; Agostini, G.; Moore, A. L.; Moore, T. A.; Gust, D.; Palacios, R. E.; Gould, S. L.; Carbonera, D. *Mol. Phys.* **2006**, *104*, 1595.
- (99) Kuciauskas, D.; Liddell, P. A.; Moore, A. L.; Moore, T. A.; Gust, D. *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, *120*, 10880.
- (100) Novoderezhkin, V. I.; Dekker, J. P.; van Grondelle, R. *Biophys. J.* **2007**, *93*, 1293.
- (101) Romero, E.; van Stokkum, I. H. M.; Novoderezhkin, V. I.; Dekker, J. P.; van Grondelle, R. *Biochemistry* **2010**, *49*, 4300.
- (102) Novoderezhkin, V. I.; Romero, E.; Dekker, J. P.; van Grondelle, R. *Chemphyschem* **2011**, *12*, 681.
- (103) Rochaix, J.-D. *Annual Review of Plant Biology* **2014**, *65*, 287.
- (104) Goss, R.; Lepetit, B. *J. Plant Physiol.* **2015**, *172*, 13.
- (105) de Bianchi, S.; Ballottari, M.; Dall'Osto, L.; Bassi, R. *Biochem. Soc. Trans.* **2010**, *38*.
- (106) Miloslavina, Y.; Wehner, A.; Lambrev, P. H.; Wientjes, E.; Reus, M.; Garab, G.; Croce, R.; Holzwarth, A. R. *FEBS Lett.* **2008**, *582*, 3625.
- (107) Bode, S.; Quentmeier, C. C.; Liao, P.-N.; Hafi, N.; Barros, T.; Wilk, L.; Bittner, F.; Walla, P. J. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2009**, *106*, 12311.
- (108) Maiuri, M.; Snellenburg, J. J.; van Stokkum, I. H. M.; Pillai, S.; Carter, K. W.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L.; van Grondelle, R.; Cerullo, G.; Polli, D. *J. Phys. Chem. B* **2013**, *117*, 14183.
- (109) Pillai, S.; Ravensbergen, J.; Antoniuk-Pablant, A.; Sherman, B. D.; van Grondelle, R.; Frese, R. N.; Moore, T. A.; Gust, D.; Moore, A. L.; Kennis, J. T. M. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2013**, *15*, 4775.
- (110) Bensasson, R. V.; Land, E. J.; Moore, A. L.; Crouch, R. L.; Dirks, G.; Moore, T. A.; Gust, D. *Nature* **1981**, *290*, 329.
- (111) Ogunsipe, A.; Maree, D.; Nyokong, T. *J. Mol. Struct.* **2003**, *650*, 131.

- (112) Savolainen, J.; van der Linden, D.; Dijkhuizen, N.; Herek, J. L. *J. Photochem. Photobiol. A* **2008**, *196*, 99.
- (113) Balevicius, V., Jr.; Gelzinis, A.; Abramavicius, D.; Valkunas, L. *J. Phys. Chem. B* **2013**, *117*, 11031.
- (114) Nakamura, S.; Nagao, R.; Takahashi, R.; Noguchi, T. *Biochemistry* **2014**, *53*, 3131.
- (115) Noguchi, T. *Biochim. Biophys. Acta, Bioen.* **2015**, *1847*, 35.
- (116) Rhile, I. J.; Markle, T. F.; Nagao, H.; DiPasquale, A. G.; Lam, O. P.; Lockwood, M. A.; Rotter, K.; Mayer, J. M. *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 6075.
- (117) Mayer, J. M.; Rhile, I. J.; Larsen, F. B.; Mader, E. A.; Markle, T. F.; DiPasquale, A. G. *Photosynth. Res.* **2006**, *87*, 3.
- (118) Concepcion, J. J.; Brennaman, M. K.; Deyton, J. R.; Lebedeva, N. V.; Forbes, M. D. E.; Papanikolas, J. M.; Meyer, T. J. *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, *129*, 6968.
- (119) Irebo, T.; Johansson, O.; Hammarström, L. *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 9194.
- (120) Bronner, C.; Wenger, O. S. *J. Phys. Chem. Lett.* **2011**, *3*, 70.
- (121) Lachaud, F.; Quaranta, A.; Pellegrin, Y.; Dorlet, P.; Charlot, M.-F.; Un, S.; Leibl, W.; Aukauloo, A. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2005**, *44*, 1536.
- (122) Reece, S. Y.; Hodgkiss, J. M.; Stubbe, J.; Nocera, D. G. *Phil. Trans. R. Soc. B* **2006**, *361*, 1351.
- (123) Megiatto Jr, J. D.; Méndez-Hernández, D. D.; Tejada-Ferrari, M. E.; Teillout, A.-L.; Llansola-Portolés, M. J.; Kodis, G.; Poluektov, O. G.; Rajh, T.; Mujica, V.; Groy, T. L.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L. *Nature Chemistry* **2014**, *6*, 423.
- (124) Weinberg, D. R.; Gagliardi, C. J.; Hull, J. F.; Murphy, C. F.; Kent, C. A.; Westlake, B. C.; Paul, A.; Ess, D. H.; McCafferty, D. G.; Meyer, T. J. *Chem. Rev.* **2012**, *112*, 4016.
- (125) Chen, J.; Kuss-Petermann, M.; Wenger, O. S. *Chem. Eur. J.* **2014**, *20*, 4098.
- (126) Moore, G. F.; Megiatto, J. D.; Hamburger, M.; Gervaldo, M.; Kodis, G.; Moore, T. A.; Gust, D.; Moore, A. L. *Photochem. Photobiol. Sci.* **2012**, *11*, 1018.
- (127) Hammes-Schiffer, S.; Stuchebrukhov, A. A. *Chem. Rev.* **2010**, *110*, 6939.
- (128) Hazra, A.; Soudackov, A. V.; Hammes-Schiffer, S. *J. Phys. Chem. Lett.* **2011**, *2*, 36.
- (129) Kütt, A.; Movchun, V.; Rodima, T.; Dansauer, T.; Rusanov, E. B.; Leito, I.; Kaljurand, I.; Koppel, J.; Pihl, V.; Koppel, I.; Ovsjannikov, G.; Toom, L.; Mishima, M.; Medebielle, M.; Lork, E.; Rösenthaller, G.-V.; Koppel, I. A.; Kolomeitsev, A. A. *J. Org. Chem.* **2008**, *73*, 2607.
- (130) Kaljurand, I.; Kütt, A.; Sooväli, L.; Rodima, T.; Mäemets, V.; Leito, I.; Koppel, I. A. *J. Org. Chem.* **2005**, *70*, 1019.
- (131) Prato, M.; Maggini, M. *Acc. Chem. Res.* **1998**, *31*, 519.
- (132) Petsalakis, I. D.; Tagmatarchis, N.; Theodorakopoulos, G. *J. Phys. Chem. C* **2007**, *111*, 14139.
- (133) Costentin, C.; Robert, M.; Savéant, J.-M. *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 4552.

- (134) Edwards, S. J.; Soudackov, A. V.; Hammes-Schiffer, S. *J. Phys. Chem. A* **2009**, *113*, 2117.
- (135) Ravensbergen, J.; Abdi, F. F.; van Santen, J. H.; Frese, R. N.; Dam, B.; van de Krol, R.; Kennis, J. T. M. *J. Phys. Chem. C* **2014**, *118*, 27793.
- (136) Kennis, J. T. M.; Groot, M.-L. *Curr. Opin. Struct. Biol.* **2007**, *17*, 623.
- (137) Migliore, A.; Polizzi, N. F.; Therien, M. J.; Beratan, D. N. *Chem. Rev.* **2014**, *114*, 3381.
- (138) Cox, N.; Pantazis, D. A.; Neese, F.; Lubitz, W. *Acc. Chem. Res.* **2013**, *46*, 1588.
- (139) Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L. *Faraday Discuss.* **2012**, *155*, 9.
- (140) Moore, G. F.; Hambourger, M.; Gervaldo, M.; Poluektov, O. G.; Rajh, T.; Gust, D.; Moore, T. A.; Moore, A. L. *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 10466.
- (141) Megiatto, J. D.; Patterson, D.; Sherman, B. D.; Moore, T. A.; Gust, D.; Moore, A. L. *Chem. Commun.* **2012**, *48*, 4558.
- (142) Chumakov, D. E.; Khoroshutin, A. V.; Anisimov, A. V.; Kobrakov, K. I. *Chem Heterocycl Comp* **2009**, *45*, 259.
- (143) Biswas, N.; Umapathy, S. *J. Chem. Phys.* **2003**, *118*, 5526.
- (144) Horng, M. L.; Gardecki, J. A.; Papazyan, A.; Maroncelli, M. *J. Phys. Chem.* **1995**, *99*, 17311.
- (145) Cowan, A. J.; Durrant, J. R. *Chem. Soc. Rev.* **2013**, *42*, 2281.
- (146) Han, L.; Abdi, F. F.; van de Krol, R.; Liu, R.; Huang, Z.; Lewerenz, H. J.; Dam, B.; Zeman, M.; Smets, A. H. *ChemSusChem* **2014**, *7*, 2832.
- (147) Zhao, Z.; Li, Z.; Zou, Z. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2011**, *13*, 4746.
- (148) Kudo, A.; Omori, K.; Kato, H. *J. Am. Chem. Soc.* **1999**, *121*, 11459.
- (149) Liang, Y.; Tsubota, T.; Mooij, L. P. A.; van de Krol, R. *J. Phys. Chem. C* **2011**, *115*, 17594.
- (150) Pilli, S. K.; Furtak, T. E.; Brown, L. D.; Deutsch, T. G.; Turner, J. A.; Herring, A. M. *Energy Environ. Sci.* **2011**, *4*, 5028.
- (151) Seabold, J. A.; Zhu, K.; Neale, N. R. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2014**, *16*, 1121.
- (152) Abdi, F. F.; van de Krol, R. *J. Phys. Chem. C* **2012**, *116*, 9398.
- (153) Abdi, F. F.; Firet, N.; van de Krol, R. *ChemCatChem* **2013**, *5*, 490.
- (154) Kim, T. W.; Choi, K.-S. *Science* **2014**, *343*, 990.
- (155) Yoshihara, T.; Katoh, R.; Furube, A.; Tamaki, Y.; Murai, M.; Hara, K.; Murata, S.; Arakawa, H.; Tachiya, M. *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108*, 3817.
- (156) Tamaki, Y.; Furube, A.; Murai, M.; Hara, K.; Katoh, R.; Tachiya, M. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2007**, *9*, 1453.
- (157) Cowan, A. J.; Tang, J.; Leng, W.; Durrant, J. R.; Klug, D. R. *J. Phys. Chem. C* **2010**, *114*, 4208.
- (158) Barroso, M.; Pendlebury, S. R.; Cowan, A. J.; Durrant, J. R. *Chem. Sci.* **2013**, *4*, 2724.
- (159) Pesci, F. M.; Cowan, A. J.; Alexander, B. D.; Durrant, J. R.; Klug, D. R. *J. Phys. Chem. Lett.* **2011**, *2*, 1900.
- (160) Pendlebury, S. R.; Wang, X.; Le Formal, F.; Cornuz, M.; Kafizas, A.; Tilley, S. D.; Grätzel, M.; Durrant, J. R. *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 9854.



- (161) Aiga, N.; Jia, Q.; Watanabe, K.; Kudo, A.; Sugimoto, T.; Matsumoto, Y. *J. Phys. Chem. C* **2013**, *117*, 9881.
- (162) Ma, Y.; Pendlebury, S. R.; Reynal, A.; Le Formal, F.; Durrant, J. R. *Chem. Sci.* **2014**, *5*, 2964.
- (163) Abdi, F. F.; Savenije, T. J.; May, M. M.; Dam, B.; van de Krol, R. *J. Phys. Chem. Lett.* **2013**, *4*, 2752.
- (164) Pendlebury, S. R.; Barroso, M.; Cowan, A. J.; Sivula, K.; Tang, J.; Grätzel, M.; Klug, D.; Durrant, J. R. *Chem. Commun.* **2010**, *47*, 716.
- (165) Avakyants, L. P.; Chervyakov, A. V.; Gorelik, V. S.; Sverbil, P. P. *J. Russ. Laser Res.* **2004**, *25*, 535.
- (166) Bedja, I.; Hotchandani, S.; Kamat, P. V. *J. Phys. Chem.* **1993**, *97*, 11064.
- (167) Tamaki, Y.; Hara, K.; Katoh, R.; Tachiya, M.; Furube, A. *J. Phys. Chem. C* **2009**, *113*, 11741.
- (168) Sher, P. H.; Smith, J. M.; Dalgarno, P. A.; Warburton, R. J.; Chen, X.; Dobson, P. J.; Daniels, S. M.; Pickett, N. L.; O'Brien, P. *Appl. Phys. Lett.* **2008**, *92*, 101111.
- (169) Verberk, R.; van Oijen, A. M.; Orrit, M. *Phys. Rev. B* **2002**, *66*.
- (170) Kuno, M.; Fromm, D. P.; Hamann, H. F.; Gallagher, A.; Nesbitt, D. J. *J. Chem. Phys.* **2000**, *112*, 3117.
- (171) Nelson, J.; Chandler, R. E. *Coord. Chem. Rev.* **2004**, *248*, 1181.
- (172) Falkenström, M.; Johansson, O.; Hammarström, L. *Inorg. Chim. Acta* **2007**, *360*, 741.
- (173) Asbury, J. B.; Hao, E.; Wang, Y.; Ghosh, H. N.; Lian, T. *J. Phys. Chem. B* **2001**, *105*, 4545.
- (174) Hannappel, T.; Burfeindt, B.; Storck, W.; Willig, F. *J. Phys. Chem. B* **1997**, *101*, 6799.
- (175) Porter, G. *Proc. R. Soc. A* **1950**, *200*, 284.
- (176) Noguchi, T. *Coord. Chem. Rev.* **2008**, *252*, 336.
- (177) Kloz, M.; van Grondelle, R.; Kennis, J. T. M. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2011**, *13*, 18123.
- (178) Bredenbeck, J.; Helbing, J.; Hamm, P. *Rev. Sci. Instrum.* **2004**, *75*, 4462.