
Neuartige selbstreinigende Beschichtungssysteme

M. Wanner, L. Aktas, T. Schauer
Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung,
Stuttgart

GdCh Lacktagung,
Münster, 22. September 2011

Selbstreinigungseigenschaften: Etablierte Konzepte

Selbstreinigungseigenschaften: Etablierte Konzepte

- Superhydrophilie:
 - Verminderung des Wasserkontaktwinkels: Schmutz wird unterspült
 - Wirksamkeitsverlust bei chemischer Kontamination, Verkratzung

Selbstreinigungseigenschaften: Etablierte Konzepte

- Superhydrophilie:
 - Verminderung des Wasserkontaktwinkels: Schmutz wird unterspült
 - Wirksamkeitsverlust bei chemischer Kontamination, Verkratzung
- Superhydrophobie:
 - Wasserkontaktwinkel $> 150^\circ$, Abrollwinkel $< 10^\circ$: wird durch hydrophobe Polymere und Oberflächenstrukturierung erreicht
 - Begrenzung: nicht selbstregenerativ, verkratzungs- und kontaminationsempfindlich

Selbstreinigungseigenschaften: Etablierte Konzepte

- Superhydrophilie:
 - Verminderung des Wasserkontaktwinkels: Schmutz wird unterspült
 - Wirksamkeitsverlust bei chemischer Kontamination, Verkratzung
- Superhydrophobie:
 - Wasserkontaktwinkel $> 150^\circ$, Abrollwinkel $< 10^\circ$: wird durch hydrophobe Polymere und Oberflächenstrukturierung erreicht
 - Begrenzung: nicht selbstregenerativ, verkratzungs- und kontaminationsempfindlich
- Fotokatalyse:
 - Abbau von organischem Schmutz katalysiert durch oberflächen-lokalisierte fotokatalytisch aktive Pigmente
 - Begrenzung: Verschattung der Pigmente, Bindemittelabbau

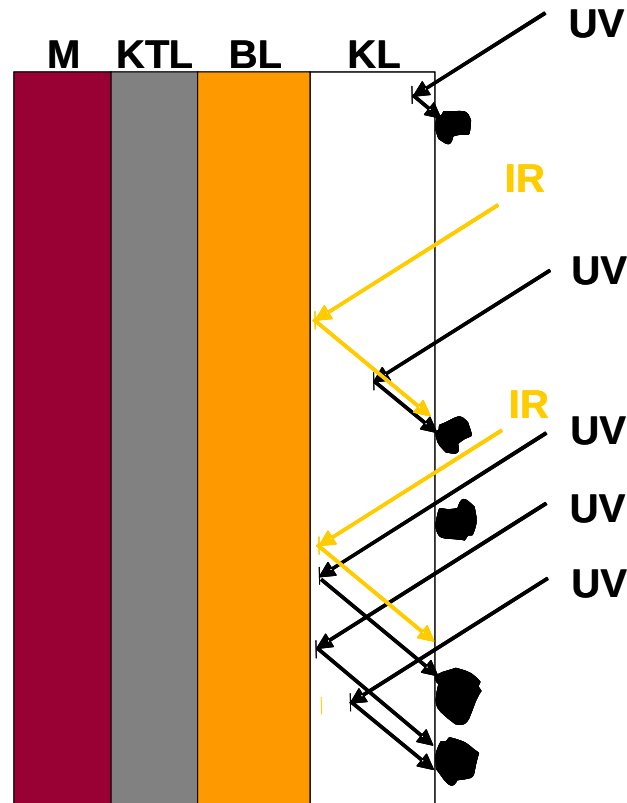
Selbstreinigungseigenschaften: Etablierte Konzepte

- Superhydrophilie:
 - Verminderung des Wasserkontaktwinkels: Schmutz wird unterspült
 - Wirksamkeitsverlust bei chemischer Kontamination, Verkratzung
- Superhydrophobie:
 - Wasserkontaktwinkel $> 150^\circ$, Abrollwinkel $< 10^\circ$: wird durch hydrophobe Polymere und Oberflächenstrukturierung erreicht
 - Begrenzung: nicht selbstregenerativ, verkratzungs- und kontaminationsempfindlich
- Fotokatalyse:
 - Abbau von organischem Schmutz katalysiert durch oberflächen-lokalisierte fotokatalytisch aktive Pigmente
 - Begrenzung: Verschattung der Pigmente, Bindemittelabbau

Alternatives, weniger oberflächensensitives Konzept ist wünschenswert

Selbstreinigungseigenschaften: Neuartiger Ansatz

- Prinzip der UV/IR-Reflexion:
Beispiel: Automobilbeschichtungssystem



Selbstreinigungseigenschaften: Neuartiger Ansatz

- Nur eine Idee?

2K PU Klarlack-Oberfläche verunreinigt durch synthetischen Schmutz
(15% Ruß, 5% Bayferrox 130 F in Mineralöl)

<i>Lack</i>	<i>Additiv</i>	<i>ΔE nach 65 h UV</i>	<i>ΔE nach 200 h UV</i>	<i>ΔE nach 300 h UV</i>
2K PU Klarlack	Referenz	1,41	1,43	1,55
	3% s/s Al-Flake	1,61	3,89	4,55
	9% s/s Al-Flake	1,63	6,60	6,61

Selbstreinigungseigenschaften: Neuartiger Ansatz

- Nur eine Idee?

2K PU Klarlack-Oberfläche verunreinigt durch synthetischen Schmutz
(15% Ruß, 5% Bayferrox 130 F in Mineralöl)

<i>Lack</i>	<i>Additiv</i>	<i>ΔE nach 65 h UV</i>	<i>ΔE nach 200 h UV</i>	<i>ΔE nach 300 h UV</i>
2K PU Klarlack	Referenz	1,41	1,43	1,55
	3% s/s Al-Flake	1,61	3,89	4,55
	9% s/s Al-Flake	1,63	6,60	6,61

Nicht nur eine Idee!

Selbstreinigungseigenschaften: Testmethoden

- Freibewitterung
- Künstlich beschleunigte Prüfung
 - Schmutz?
 - Simulation von ländlicher Umgebung: hoher mineralischer, anorganischer Anteil

Substanz	Anteil/ %
Wasser	44.9
Anionische Tenside	2.1
Fe ₂ O ₃	53.0

- Simulation von städtischer Umgebung: höherer organischer Anteil

Substanz (0,5 g in 1 kg Wasser)	Anteil/ %
Ruß	17.0
“Staub Nr. 8” (zusammengesetzt aus SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	70.0
Teer	13.0

Selbstreinigungseigenschaften: Testmethoden

- Freibewitterung
 - 45° Süd, Stuttgart



Selbstreinigungseigenschaften: Testmethoden

- Freibewitterung
 - 45° Süd, Stuttgart

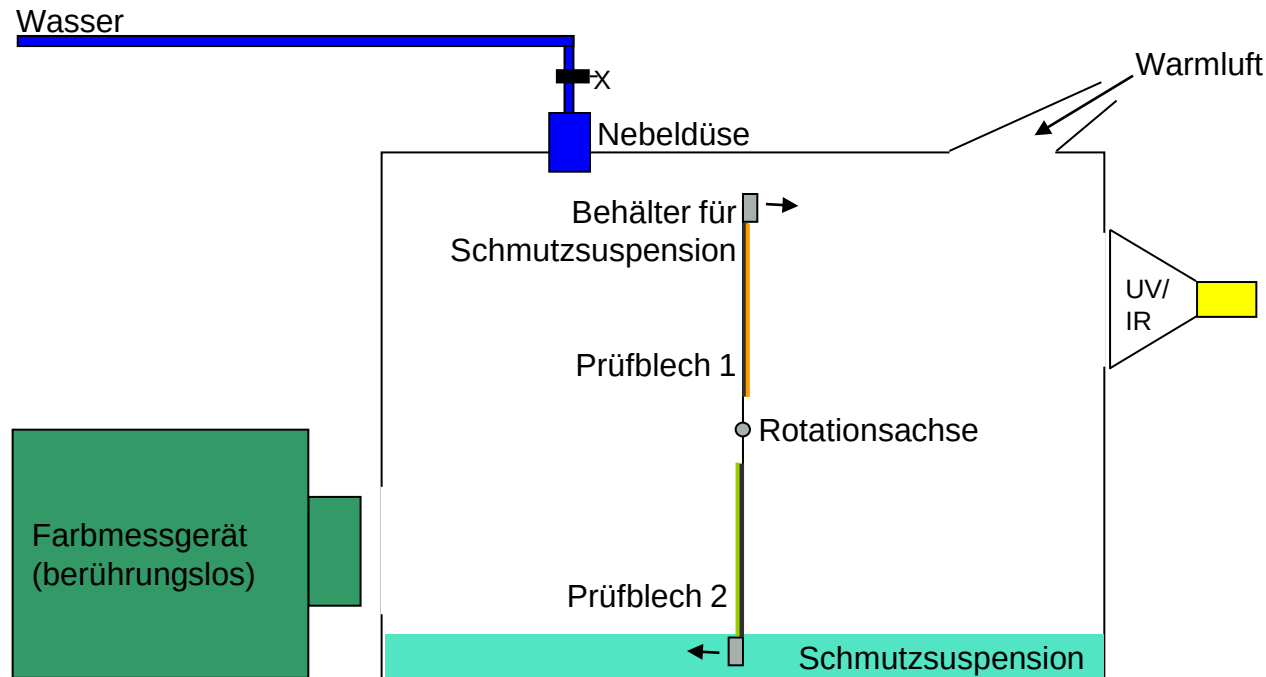


Selbstreinigungseigenschaften: Testmethoden

- Freibewitterung
 - 45° Süd, Stuttgart
- Künstlich beschleunigte Prüfung
 - Schmutz von Kieselsteinen



Selbstreinigungseigenschaften: Kurzzeitprüfmethode



Jeder Testzyklus besteht aus einer Verschmutzungs- und Reinigungsphase, die in acht Schritten ausgeführt werden:

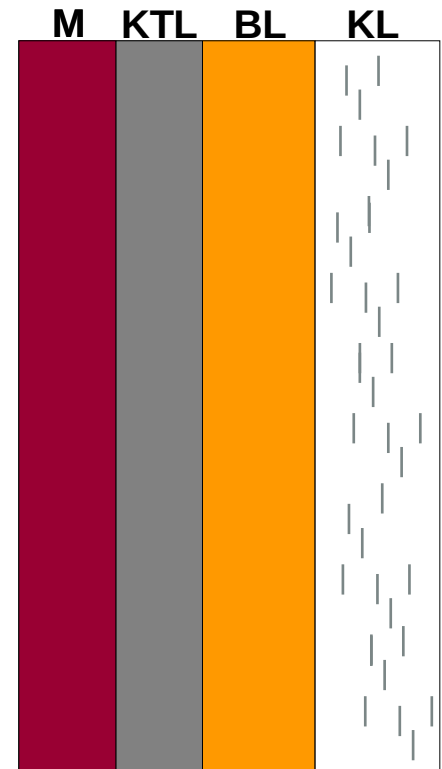
1. Detektion von L^*
2. 30 Rotationen durch die Schmutzsuspension bei 1.43 U/min
3. 10 Rotationen durch die Schmutzsuspension bei 1.43 U/min rpm unterbrochen durch Warmlufttrocknung (32°C)
4. Warten bis zur Abkühlung und Detektion von ΔL^* (= „Verschmutzung“)
5. Entfernen der Schmutzsuspension
6. 20 h Rotation bei 0.28 U/min unter sonnenlichtnaher UV/IR-Bestrahlung (UV-A: 0.3 mW/cm^2 , UV-B: 0.1 mW/cm^2)
7. Zehnmalige Vernebelung für 10 s unter Rotation bei 1.43 U/min; jedes Mal gefolgt von Warmlufttrocknung (32°C)
8. Warten bis zur Abkühlung und Detektion von ΔL^* (= „Reinigung“)

Selbstreinigungseigenschaften: Kurzzeitprüfmethode



Selbstreinigungseigenschaften: Prüfbleche

- M: Stahlsubstrat
- KTL: Kathaphoretische Tauchlackierung (20 μm)
- BL: Wasserbasierter weißer Basislack (20 μm)
- KL: 2K PUR Klarlack (40 μm), PVK: 7 Gew.%.
 - # 0: Referenz, pigmentfrei
 - # 1-9: nahezu farblose UV/IR-reflektierende Pigmente, hauptsächlich industrielle Versuchsprodukte
 - # 10-12: Salze (Pulver)
 - # 13: Farbpigment
 - # 14-16: Aluminum-Flakes

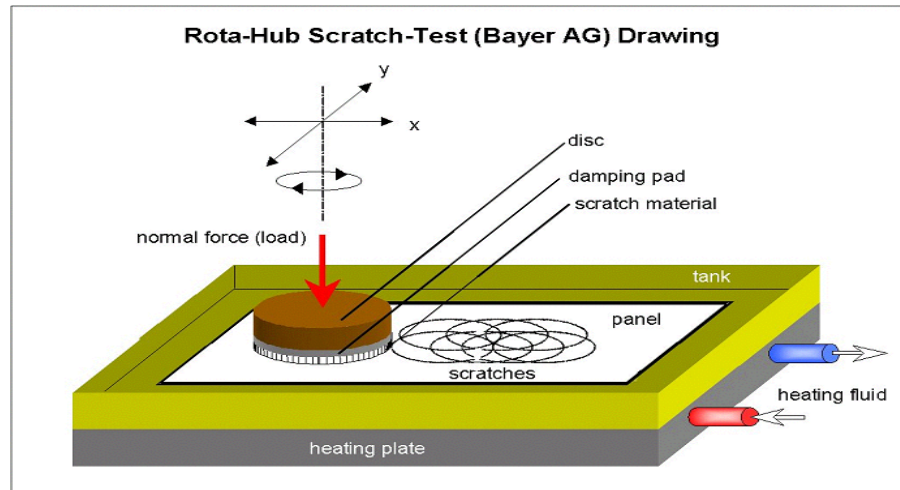


Kommerzielle selbstreinigende Proben:

- Shphi1, Shphi2: Superhydrophilie, erzeugt durch Oberflächen-Nanostrukturierung
- Shpho1, Shpho2: Superhydrophobie, erzeugt durch struktur-modifizierte, hydrophobe, pyrogene Kieselsäuren
- ShPhiP: superhydrophil/fotokatalytisch funktionalisierte Floatglas-Probe

Selbstreinigungseigenschaften: Prüfblechvorbehandlung

- „TC/UV“: Thermozyklische Beanspruchung mit UV-Bestrahlung
 - Sinusförmige Temperaturzyklen (20°C .. 70°C , Periode: 1h) für 24 h
 - alle 4 h: 15 min UV-Bestrahlung (UV-A: $2.4 \text{ mW}/\text{cm}^2$, UV-B: $1.0 \text{ mW}/\text{cm}^2$)
- „UV“: UV-Bestrahlung
 - für 24 h: UV-A: $2.4 \text{ mW}/\text{cm}^2$, UV-B: $1.0 \text{ mW}/\text{cm}^2$
- „RH“: Rota-Hub Verkratzung
 - Einwirkung der Schleifscheibe (3M Typ 2500 A): Normalkraft von 10 N bei 48 U/min
 - 23°C , 50% r.F.



Selbstreinigende Eigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

Rang	UV Kurzzeittest	TC/UV, RH, TC/UV Kurzzeittest	Freibew. 6 Monate	Freibew. 12 Monate	Freibew. 18 Monate	RH Freibew. 6 Monate	RH Freibew. 12 Monate	RH Freibew. 18 Monate
1	Shphi2: 0.98	2: 1.70	ShphiP: 2.20	4: 3.24	4: 2.25	ShphiP: 2.63	4: 1.21	4: 0.27
2	8: 0.81	13: 0.28	4: 1.42	Shpho2: 1.35	Shphi2: 1.12	4: 0.08	ShphiP: 1.05	ShphiP: 0.15
3	3: 0.63	Shphi2: 0.16	Shphi2: 0.19	14: 0.71	2: 0.86	Shpho1: -0.38	Shpho1: 0.58	Shpho1: 0.04
4	Shphi1: 0.04	10: 0.00	Shpho2: -0.28	ShphiP: 0.68	Shpho2: 0.71	8: -1.11	8: -0.81	14: -0.55
5	ShphiP: -0.01	Shphi1: 0.00	8: -0.34	3: 0.62	3: 0.53	13: -1.94	14: -1.35	15: -1.34
6	5: -0.01	11: -0.02	3: -0.80	2: 0.53	16: 0.37	Shphi2: -2.07	13: -1.47	13: -1.37
7	4: -0.72	12: -0.08	2: -0.86	Shphi1: 0.30	10: 0.32	16: -2.22	10: -1.58	10: -1.46
8	7: -0.88	0: -0.12	14: -1.03	Shphi2: 0.29	14: -0.16	14: -2.28	15: -1.64	2: -1.47
9	10: -1.10	9: -0.18	16: -1.13	16: -0.05	ShphiP: -0.53	Shphi1: -2.36	Shpho2: -1.67	Shpho2: -1.57
10	Shpho1: -1.14	Shpho2: -0.20	Shpho1: -1.33	10: -0.07	Shphi1: -0.75	10: -2.46	Shphi1: -1.70	0: -1.70
11	0: -1.35	Shpho1: -0.26	10: -2.01	8: -0.10	11: -1.02	2: -2.65	2: -1.78	Shphi2: -1.75
12	1: -1.39	5: -0.39	Shphi1: -2.36	Shpho1: -0.44	Shpho1: -1.25	15: -2.69	0: -1.80	6: -1.77
13	15: -1.62	6: -0.48	0: -2.36	11: -1.18	8: -1.32	11: -2.71	11: -1.84	11: -1.79
14	6: -1.75	4: -0.49	11: -2.76	7: -1.76	7: -1.53	3: -2.82	6: -1.85	12: -1.81
15	Shpho2: -1.90	14: -0.50	5: -3.09	5: -1.78	0: -1.54	Shpho2: -2.93	12: -1.92	5: -1.84
16	11: -2.35	ShphiP: -0.56	9: -3.15	0: -1.92	6: -1.64	6: -3.00	5: -2.05	8: -2.02
17	12: -2.57	1: -0.56	6: -3.36	9: -1.92	5: -1.76	12: -3.06	Shphi2: -2.06	7: -2.10
18	16: -2.64	8: -0.12	7: -3.47	12: -2.48	9: -1.94	7: -3.14	7: -2.13	Shphi1: -2.14
19	9: -2.81	7: -0.79	1: -3.78	6: -2.51	12: -2.27	0: -3.22	16: -2.26	16: -2.16
20	14: -7.31	16: -1.02	12: -3.90	1: -2.93	1: -2.61	5: -3.41	3: -2.26	3: -2.50
21	2: -9.88	15: -1.10	15: -3.99	15: -3.37	15: -3.18	9: -3.65	9: -3.20	9: -3.41
22	13: -10.80	3: -1.57	13: -7.95	13: -7.55	13: -7.53	1: -4.17	1: -4.40	1: -4.49

Selbstreinigungseigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

● Auswirkung der Verkratzung

- Shphi2 oder 3: verminderte Selbstreinigungseigenschaften im Fall von Verkratzung
- 4 oder Shpho1, 13: kein oder gegensätzlicher Effekt

Mögliche Gründe:

- 3 und 4 sind plättchenförmige Pigmente
- Dicke t: t(3) < 0.5 μm , t(4) > 1.0 μm
- Mechanische Einwirkung: Pigmente von 3 könnten brechen $\rightarrow$ vermehrte Diffusion

● Allgemein betrachtet...

Selbstreinigende Eigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

Rang	UV Kurzzeittest	TC/UV, RH, TC/UV Kurzzeittest	Freibew. 6 Monate	Freibew. 12 Monate	Freibew. 18 Monate	RH Freibew. 6 Monate	RH Freibew. 12 Monate	RH Freibew. 18 Monate
1	Shphi2: 0.98	2: 1.70	ShphiP: 2.20	4: 3.24	4: 2.25	ShphiP: 2.63	4: 1.21	4: 0.27
2	8: 0.81	13: 0.28	4: 1.42	Shpho2: 1.35	Shphi2: 1.12	4: 0.08	ShphiP: 1.05	ShphiP: 0.15
3	3: 0.63	Shphi2: 0.16	Shphi2: 0.19	14: 0.71	2: 0.86	Shpho1: -0.38	Shpho1: 0.58	Shpho1: 0.04
4	Shphi1: 0.04	10: 0.00	Shpho2: -0.28	ShphiP: 0.68	Shpho2: 0.71	8: -1.11	8: -0.81	14: -0.55
5	ShphiP: -0.01	Shphi1: 0.00	8: -0.34	3: 0.62	3: 0.53	13: -1.94	14: -1.35	15: -1.34
6	5: -0.01	11: -0.02	3: -0.80	2: 0.53	16: 0.37	Shphi2: -2.07	13: -1.47	13: -1.37
7	4: -0.72	12: -0.08	2: -0.86	Shphi1: 0.30	10: 0.32	16: -2.22	10: -1.58	10: -1.46
8	7: -0.88	0: -0.12	14: -1.03	Shphi2: 0.29	14: -0.16	14: -2.28	15: -1.64	2: -1.47
9	10: -1.10	9: -0.18	16: -1.13	16: -0.05	ShphiP: -0.53	Shphi1: -2.36	Shpho2: -1.67	Shpho2: -1.57
10	Shpho1: -1.14	Shpho2: -0.20	Shpho1: -1.33	10: -0.07	Shphi1: -0.75	10: -2.46	Shphi1: -1.70	0: -1.70
11	0: -1.35	Shpho1: -0.26	10: -2.01	8: -0.10	11: -1.02	2: -2.65	2: -1.78	Shphi2: -1.75
12	1: -1.39	5: -0.39	Shphi1: -2.36	Shpho1: -0.44	Shpho1: -1.25	15: -2.69	0: -1.80	6: -1.77
13	15: -1.62	6: -0.48	0: -2.36	11: -1.18	8: -1.32	11: -2.71	11: -1.84	11: -1.79
14	6: -1.75	4: -0.49	11: -2.76	7: -1.76	7: -1.53	3: -2.82	6: -1.85	12: -1.81
15	Shpho2: -1.90	14: -0.50	5: -3.09	5: -1.78	0: -1.54	Shpho2: -2.93	12: -1.92	5: -1.84
16	11: -2.35	ShphiP: -0.56	9: -3.15	0: -1.92	6: -1.64	6: -3.00	5: -2.05	8: -2.02
17	12: -2.57	1: -0.56	6: -3.36	9: -1.92	5: -1.76	12: -3.06	Shphi2: -2.06	7: -2.10
18	16: -2.64	8: -0.12	7: -3.47	12: -2.48	9: -1.94	7: -3.14	7: -2.13	Shphi1: -2.14
19	9: -2.81	7: -0.79	1: -3.78	6: -2.51	12: -2.27	0: -3.22	16: -2.26	16: -2.16
20	14: -7.31	16: -1.02	12: -3.90	1: -2.93	1: -2.61	5: -3.41	3: -2.26	3: -2.50
21	2: -9.88	15: -1.10	15: -3.99	15: -3.37	15: -3.18	9: -3.65	9: -3.20	9: -3.41
22	13: -10.80	3: -1.57	13: -7.95	13: -7.55	13: -7.53	1: -4.17	1: -4.40	1: -4.49

Selbstreinigungseigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

● Auswirkung der Verkratzung

- Shphi2 oder 3: verminderte Selbstreinigungseigenschaften im Fall von Verkratzung
- 4 oder Shpho1, 13: kein oder gegensätzlicher Effekt

Mögliche Gründe:

- 3 und 4 sind plättchenförmige Pigmente
- Dicke t: t(3) < 0.5 μm , t(4) > 1.0 μm
- Mechanische Einwirkung: Pigmente von 3 könnten brechen $\rightarrow$ vermehrte Diffusion

● Allgemein betrachtet...

- Einige nicht-kommerzielle Systeme zeigen Selbstreinigungseigenschaften, die vergleichbar oder besser als diejenigen der kommerziellen Systeme sind.
- Einige Systeme zeigen schlechtere Selbstreinigungswirkungen als Probe 0.

Selbstreinigungseigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

● Auswirkung der Verkratzung

- Shphi2 oder 3: verminderte Selbstreinigungseigenschaften im Fall von Verkratzung
- 4 oder Shpho1, 13: kein oder gegensätzlicher Effekt

Mögliche Gründe:

- 3 und 4 sind plättchenförmige Pigmente
- Dicke t: t(3) < 0.5 μm , t(4) > 1.0 μm
- Mechanische Einwirkung: Pigmente von 3 könnten brechen $\rightarrow$ vermehrte Diffusion

● Allgemein betrachtet...

- Einige nicht-kommerzielle Systeme zeigen Selbstreinigungseigenschaften, die vergleichbar oder besser als diejenigen der kommerziellen Systeme sind.
- Einige Systeme zeigen schlechtere Selbstreinigungswirkungen als Probe 0.

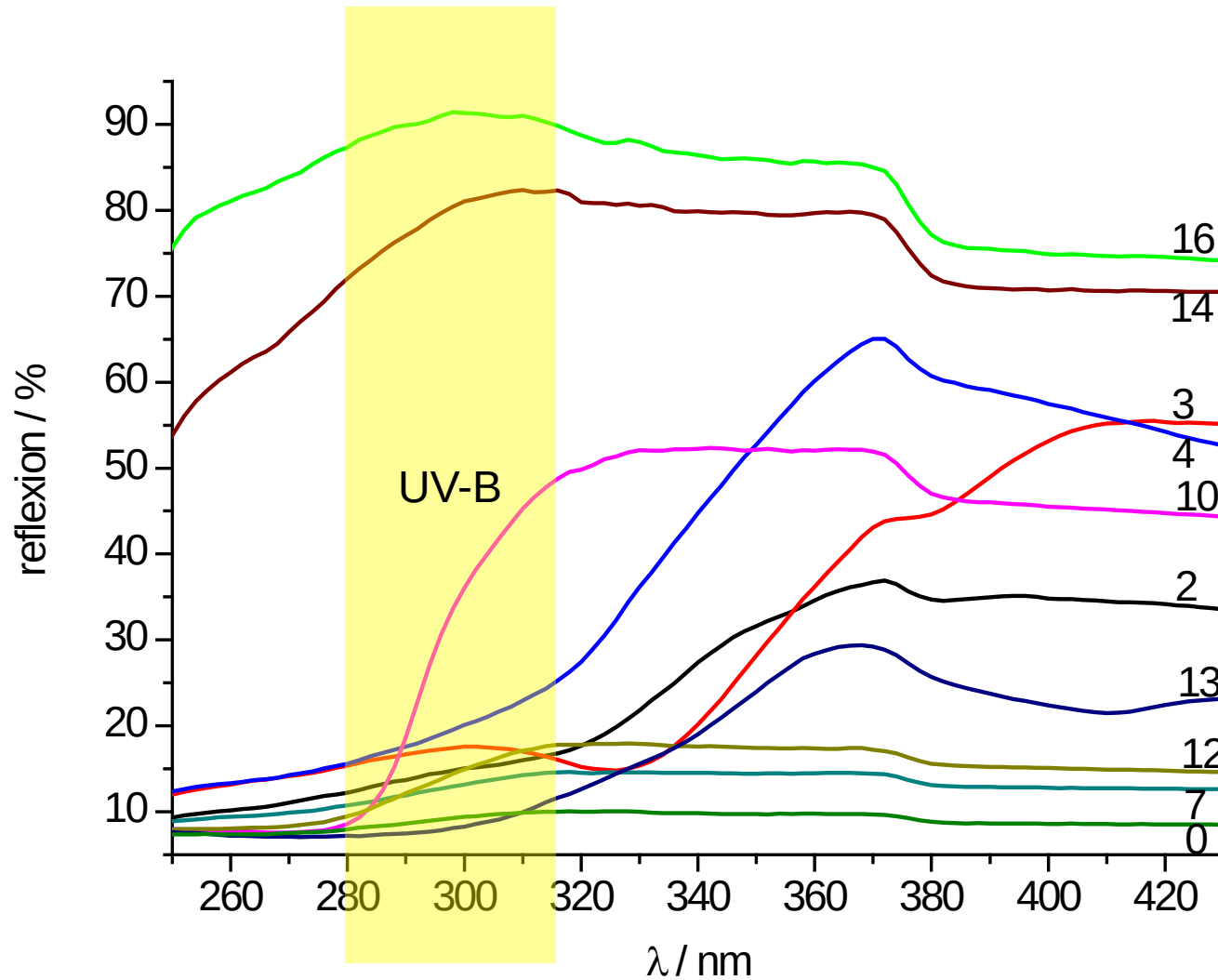
● Zum besseren Verständnis... Vergleich mit UV-Reflexionsspektren

- Al-Flake Pigmente; (14,16) vs. 4

Selbstreinigende Eigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

Rang	UV Kurzzeittest	TC/UV, RH, TC/UV Kurzzeittest	Freibew. 6 Monate	Freibew. 12 Monate	Freibew. 18 Monate	RH Freibew. 6 Monate	RH Freibew. 12 Monate	RH Freibew. 18 Monate
1	Shphi2: 0.98	2: 1.70	ShphiP: 2.20	4: 3.24	4: 2.25	ShphiP: 2.63	4: 1.21	4: 0.27
2	8: 0.81	13: 0.28	4: 1.42	Shpho2: 1.35	Shphi2: 1.12	4: 0.08	ShphiP: 1.05	ShphiP: 0.15
3	3: 0.63	Shphi2: 0.16	Shphi2: 0.19	14: 0.71	2: 0.86	Shpho1: -0.38	Shpho1: 0.58	Shpho1: 0.04
4	Shphi1: 0.04	10: 0.00	Shpho2: -0.28	ShphiP: 0.68	Shpho2: 0.71	8: -1.11	8: -0.81	14: -0.55
5	ShphiP: -0.01	Shphi1: 0.00	8: -0.34	3: 0.62	3: 0.53	13: -1.94	14: -1.35	15: -1.34
6	5: -0.01	11: -0.02	3: -0.80	2: 0.53	16: 0.37	Shphi2: -2.07	13: -1.47	13: -1.37
7	4: -0.72	12: -0.08	2: -0.86	Shphi1: 0.30	10: 0.32	16: -2.22	10: -1.58	10: -1.46
8	7: -0.88	0: -0.12	14: -1.03	Shphi2: 0.29	14: -0.16	14: -2.28	15: -1.64	2: -1.47
9	10: -1.10	9: -0.18	16: -1.13	16: -0.05	ShphiP: -0.53	Shphi1: -2.36	Shpho2: -1.67	Shpho2: -1.57
10	Shpho1: -1.14	Shpho2: -0.20	Shpho1: -1.33	10: -0.07	Shphi1: -0.75	10: -2.46	Shphi1: -1.70	0: -1.70
11	0: -1.35	Shpho1: -0.26	10: -2.01	8: -0.10	11: -1.02	2: -2.65	2: -1.78	Shphi2: -1.75
12	1: -1.39	5: -0.39	Shphi1: -2.36	Shpho1: -0.44	Shpho1: -1.25	15: -2.69	0: -1.80	6: -1.77
13	15: -1.62	6: -0.48	0: -2.36	11: -1.18	8: -1.32	11: -2.71	11: -1.84	11: -1.79
14	6: -1.75	4: -0.49	11: -2.76	7: -1.76	7: -1.53	3: -2.82	6: -1.85	12: -1.81
15	Shpho2: -1.90	14: -0.50	5: -3.09	5: -1.78	0: -1.54	Shpho2: -2.93	12: -1.92	5: -1.84
16	11: -2.35	ShphiP: -0.56	9: -3.15	0: -1.92	6: -1.64	6: -3.00	5: -2.05	8: -2.02
17	12: -2.57	1: -0.56	6: -3.36	9: -1.92	5: -1.76	12: -3.06	Shphi2: -2.06	7: -2.10
18	16: -2.64	8: -0.12	7: -3.47	12: -2.48	9: -1.94	7: -3.14	7: -2.13	Shphi1: -2.14
19	9: -2.81	7: -0.79	1: -3.78	6: -2.51	12: -2.27	0: -3.22	16: -2.26	16: -2.16
20	14: -7.31	16: -1.02	12: -3.90	1: -2.93	1: -2.61	5: -3.41	3: -2.26	3: -2.50
21	2: -9.88	15: -1.10	15: -3.99	15: -3.37	15: -3.18	9: -3.65	9: -3.20	9: -3.41
22	13: -10.80	3: -1.57	13: -7.95	13: -7.55	13: -7.53	1: -4.17	1: -4.40	1: -4.49

Selbstreinigungseigenschaften: UV-Reflexionsspektren



Selbstreinigungseigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

● Auswirkung der Verkratzung

- Shphi2 oder 3: verminderte Selbstreinigungseigenschaften im Fall von Verkratzung
- 4 oder Shpho1, 13: kein oder gegensätzlicher Effekt

Mögliche Gründe:

- 3 und 4 sind plättchenförmige Pigmente
- Dicke t: t(3) < 0.5 μm , t(4) > 1.0 μm
- Mechanische Einwirkung: Pigmente von 3 könnten brechen $\rightarrow$ vermehrte Diffusion

● Allgemein betrachtet...

- Einige nicht-kommerzielle Systeme zeigen Selbstreinigungseigenschaften, die vergleichbar oder besser als diejenigen der kommerziellen Systeme sind.
- Einige Systeme zeigen schlechtere Selbstreinigungswirkungen als Probe 0.

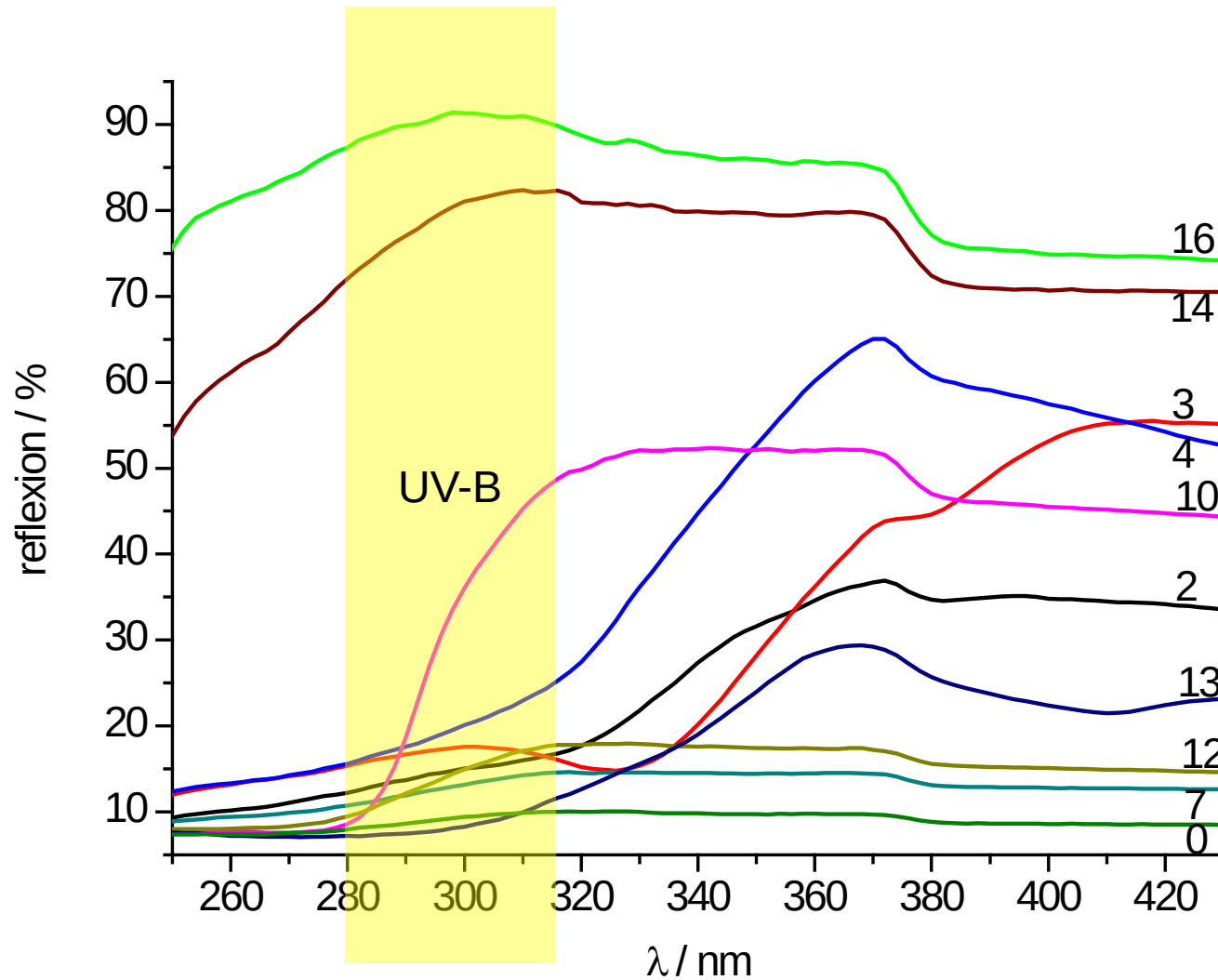
● Zum besseren Verständnis... Vergleich mit UV-Reflexionsspektren

- Al-Flake Pigmente; (14,16) vs. 4: UV-B Reflexion kann zu Matrixdegradation führen
- Salze (Pulver); 11,12 (nicht nano) vs. 10 (nano)

Selbstreinigende Eigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

Rang	UV Kurzzeittest	TC/UV, RH, TC/UV Kurzzeittest	Freibew. 6 Monate	Freibew. 12 Monate	Freibew. 18 Monate	RH Freibew. 6 Monate	RH Freibew. 12 Monate	RH Freibew. 18 Monate
1	Shphi2: 0.98	2: 1.70	ShphiP: 2.20	4: 3.24	4: 2.25	ShphiP: 2.63	4: 1.21	4: 0.27
2	8: 0.81	13: 0.28	4: 1.42	Shpho2: 1.35	Shphi2: 1.12	4: 0.08	ShphiP: 1.05	ShphiP: 0.15
3	3: 0.63	Shphi2: 0.16	Shphi2: 0.19	14: 0.71	2: 0.86	Shpho1: -0.38	Shpho1: 0.58	Shpho1: 0.04
4	Shphi1: 0.04	10: 0.00	Shpho2: -0.28	ShphiP: 0.68	Shpho2: 0.71	8: -1.11	8: -0.81	14: -0.55
5	ShphiP: -0.01	Shphi1: 0.00	8: -0.34	3: 0.62	3: 0.53	13: -1.94	14: -1.35	15: -1.34
6	5: -0.01	11: -0.02	3: -0.80	2: 0.53	16: 0.37	Shphi2: -2.07	13: -1.47	13: -1.37
7	4: -0.72	12: -0.08	2: -0.86	Shphi1: 0.30	10: 0.32	16: -2.22	10: -1.58	10: -1.46
8	7: -0.88	0: -0.12	14: -1.03	Shphi2: 0.29	14: -0.16	14: -2.28	15: -1.64	2: -1.47
9	10: -1.10	9: -0.18	16: -1.13	16: -0.05	ShphiP: -0.53	Shphi1: -2.36	Shpho2: -1.67	Shpho2: -1.57
10	Shpho1: -1.14	Shpho2: -0.20	Shpho1: -1.33	10: -0.07	Shphi1: -0.75	10: -2.46	Shphi1: -1.70	0: -1.70
11	0: -1.35	Shpho1: -0.26	10: -2.01	8: -0.10	11: -1.02	2: -2.65	2: -1.78	Shphi2: -1.75
12	1: -1.39	5: -0.39	Shphi1: -2.36	Shpho1: -0.44	Shpho1: -1.25	15: -2.69	0: -1.80	6: -1.77
13	15: -1.62	6: -0.48	0: -2.36	11: -1.18	8: -1.32	11: -2.71	11: -1.84	11: -1.79
14	6: -1.75	4: -0.49	11: -2.76	7: -1.76	7: -1.53	3: -2.82	6: -1.85	12: -1.81
15	Shpho2: -1.90	14: -0.50	5: -3.09	5: -1.78	0: -1.54	Shpho2: -2.93	12: -1.92	5: -1.84
16	11: -2.35	ShphiP: -0.56	9: -3.15	0: -1.92	6: -1.64	6: -3.00	5: -2.05	8: -2.02
17	12: -2.57	1: -0.56	6: -3.36	9: -1.92	5: -1.76	12: -3.06	Shphi2: -2.06	7: -2.10
18	16: -2.64	8: -0.12	7: -3.47	12: -2.48	9: -1.94	7: -3.14	7: -2.13	Shphi1: -2.14
19	9: -2.81	7: -0.79	1: -3.78	6: -2.51	12: -2.27	0: -3.22	16: -2.26	16: -2.16
20	14: -7.31	16: -1.02	12: -3.90	1: -2.93	1: -2.61	5: -3.41	3: -2.26	3: -2.50
21	2: -9.88	15: -1.10	15: -3.99	15: -3.37	15: -3.18	9: -3.65	9: -3.20	9: -3.41
22	13: -10.80	3: -1.57	13: -7.95	13: -7.55	13: -7.53	1: -4.17	1: -4.40	1: -4.49

Selbstreinigungseigenschaften: UV-Reflexionsspektren



Selbstreinigungseigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

● Auswirkung der Verkratzung

- **Shphi2** oder **3**: verminderte Selbstreinigungseigenschaften im Fall von Verkratzung
- **4** oder **Shpho1**, **13**: kein oder gegensätzlicher Effekt

Mögliche Gründe:

- **3** und **4** sind plättchenförmige Pigmente
- Dicke t : $t(\mathbf{3}) < 0.5 \mu\text{m}$, $t(\mathbf{4}) > 1.0 \mu\text{m}$
- Mechanische Einwirkung: Pigmente von **3** könnten brechen → vermehrte Diffusion

● Allgemein betrachtet...

- Einige nicht-kommerzielle Systeme zeigen Selbstreinigungseigenschaften, die vergleichbar oder besser als diejenigen der kommerziellen Systeme sind.
- Einige Systeme zeigen schlechtere Selbstreinigungswirkungen als Probe **0**.

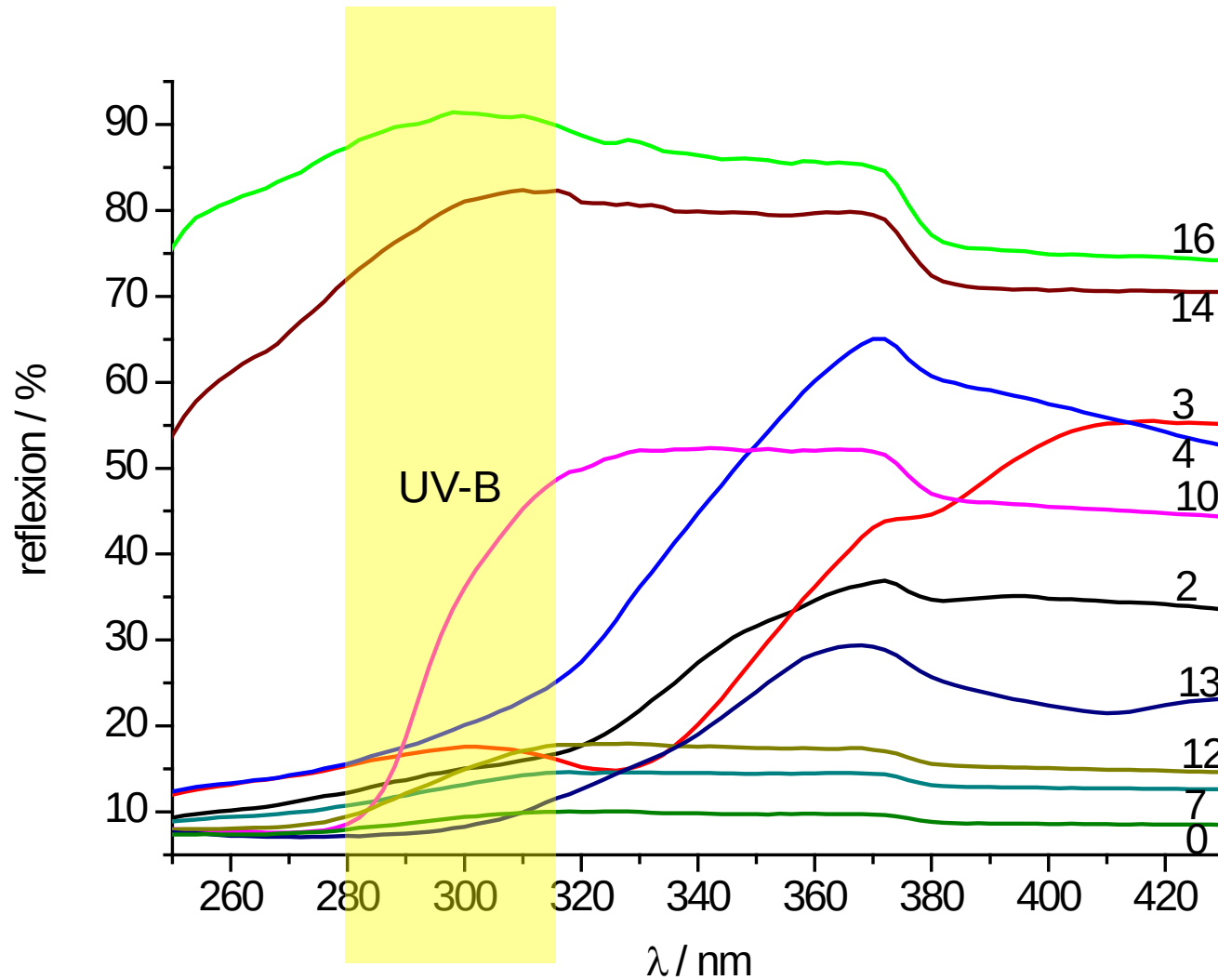
● Zum besseren Verständnis... Vergleich mit UV-Reflexionsspektren

- Al-Flake Pigmente; (14,16) vs. **4**: UV-B Reflexion kann zu Matrixdegradation führen
- Salze (Pulver); 11,12 (nicht nano) vs. **10** (nano): ähnliche Spektren aber höhere Intensität für Nanopulver → stärkerer Selbstreinigungseffekt.
- UV-reflektierende Pigmente (**2,3**)

Selbstreinigende Eigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

Rang	UV Kurzzeittest	TC/UV, RH, TC/UV Kurzzeittest	Freibew. 6 Monate	Freibew. 12 Monate	Freibew. 18 Monate	RH Freibew. 6 Monate	RH Freibew. 12 Monate	RH Freibew. 18 Monate
1	Shphi2: 0.98	2: 1.70	ShphiP: 2.20	4: 3.24	4: 2.25	ShphiP: 2.63	4: 1.21	4: 0.27
2	8: 0.81	13: 0.28	4: 1.42	Shpho2: 1.35	Shphi2: 1.12	4: 0.08	ShphiP: 1.05	ShphiP: 0.15
3	3: 0.63	Shphi2: 0.16	Shphi2: 0.19	14: 0.71	2: 0.86	Shpho1: -0.38	Shpho1: 0.58	Shpho1: 0.04
4	Shphi1: 0.04	10: 0.00	Shpho2: -0.28	ShphiP: 0.68	Shpho2: 0.71	8: -1.11	8: -0.81	14: -0.55
5	ShphiP: -0.01	Shphi1: 0.00	8: -0.34	3: 0.62	3: 0.53	13: -1.94	14: -1.35	15: -1.34
6	5: -0.01	11: -0.02	3: -0.80	2: 0.53	16: 0.37	Shphi2: -2.07	13: -1.47	13: -1.37
7	4: -0.72	12: -0.08	2: -0.86	Shphi1: 0.30	10: 0.32	16: -2.22	10: -1.58	10: -1.46
8	7: -0.88	0: -0.12	14: -1.03	Shphi2: 0.29	14: -0.16	14: -2.28	15: -1.64	2: -1.47
9	10: -1.10	9: -0.18	16: -1.13	16: -0.05	ShphiP: -0.53	Shphi1: -2.36	Shpho2: -1.67	Shpho2: -1.57
10	Shpho1: -1.14	Shpho2: -0.20	Shpho1: -1.33	10: -0.07	Shphi1: -0.75	10: -2.46	Shphi1: -1.70	0: -1.70
11	0: -1.35	Shpho1: -0.26	10: -2.01	8: -0.10	11: -1.02	2: -2.65	2: -1.78	Shphi2: -1.75
12	1: -1.39	5: -0.39	Shphi1: -2.36	Shpho1: -0.44	Shpho1: -1.25	15: -2.69	0: -1.80	6: -1.77
13	15: -1.62	6: -0.48	0: -2.36	11: -1.18	8: -1.32	11: -2.71	11: -1.84	11: -1.79
14	6: -1.75	4: -0.49	11: -2.76	7: -1.76	7: -1.53	3: -2.82	6: -1.85	12: -1.81
15	Shpho2: -1.90	14: -0.50	5: -3.09	5: -1.78	0: -1.54	Shpho2: -2.93	12: -1.92	5: -1.84
16	11: -2.35	ShphiP: -0.56	9: -3.15	0: -1.92	6: -1.64	6: -3.00	5: -2.05	8: -2.02
17	12: -2.57	1: -0.56	6: -3.36	9: -1.92	5: -1.76	12: -3.06	Shphi2: -2.06	7: -2.10
18	16: -2.64	8: -0.12	7: -3.47	12: -2.48	9: -1.94	7: -3.14	7: -2.13	Shphi1: -2.14
19	9: -2.81	7: -0.79	1: -3.78	6: -2.51	12: -2.27	0: -3.22	16: -2.26	16: -2.16
20	14: -7.31	16: -1.02	12: -3.90	1: -2.93	1: -2.61	5: -3.41	3: -2.26	3: -2.50
21	2: -9.88	15: -1.10	15: -3.99	15: -3.37	15: -3.18	9: -3.65	9: -3.20	9: -3.41
22	13: -10.80	3: -1.57	13: -7.95	13: -7.55	13: -7.53	1: -4.17	1: -4.40	1: -4.49

Selbstreinigungseigenschaften: UV-Reflexionsspektren



Selbstreinigungseigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

● Auswirkung der Verkratzung

- Shphi2 oder 3: verminderte Selbstreinigungseigenschaften im Fall von Verkratzung
- 4 oder Shpho1, 13: kein oder gegensätzlicher Effekt

Mögliche Gründe:

- 3 und 4 sind plättchenförmige Pigmente
- Dicke t: t(3) < 0.5 μm , t(4) > 1.0 μm
- Mechanische Einwirkung: Pigmente von 3 könnten brechen → vermehrte Diffusion

● Allgemein betrachtet...

- Einige nicht-kommerzielle Systeme zeigen Selbstreinigungseigenschaften, die vergleichbar oder besser als diejenigen der kommerziellen Systeme sind.
- Einige Systeme zeigen schlechtere Selbstreinigungswirkungen als Probe 0.

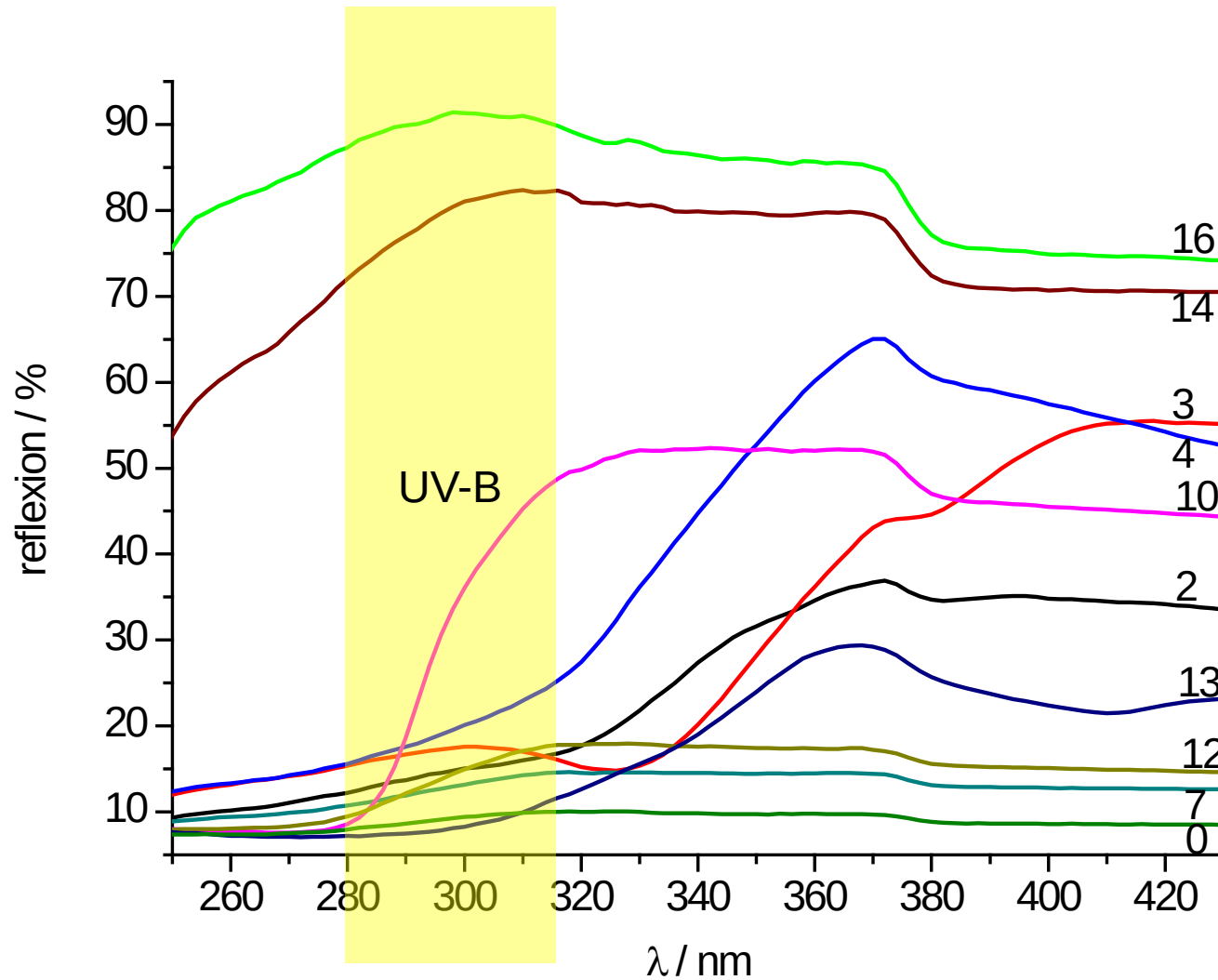
● Zum besseren Verständnis... Vergleich mit UV-Reflexionsspektren

- Al-Flake Pigmente; (14,16) vs. 4: UV-B Reflexion kann zu Matrixdegradation führen
- Salze (Pulver); 11,12 (nicht nano) vs. 10 (nano): ähnliche Spektren aber höhere Intensität für Nanopulver → stärkerer Selbstreinigungseffekt.
- UV-reflektierende Pigmente (2,3): gute Selbstreinigungswirkung, ΔL geringer als bei 4, korrespondiert mit den UV-Reflexionsspektren
- UV-reflektierende Pigmente (12,7)

Selbstreinigende Eigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

Rang	UV Kurzzeittest	TC/UV, RH, TC/UV Kurzzeittest	Freibew. 6 Monate	Freibew. 12 Monate	Freibew. 18 Monate	RH Freibew. 6 Monate	RH Freibew. 12 Monate	RH Freibew. 18 Monate
1	Shphi2: 0.98	2: 1.70	ShphiP: 2.20	4: 3.24	4: 2.25	ShphiP: 2.63	4: 1.21	4: 0.27
2	8: 0.81	13: 0.28	4: 1.42	Shpho2: 1.35	Shphi2: 1.12	4: 0.08	ShphiP: 1.05	ShphiP: 0.15
3	3: 0.63	Shphi2: 0.16	Shphi2: 0.19	14: 0.71	2: 0.86	Shpho1: -0.38	Shpho1: 0.58	Shpho1: 0.04
4	Shphi1: 0.04	10: 0.00	Shpho2: -0.28	ShphiP: 0.68	Shpho2: 0.71	8: -1.11	8: -0.81	14: -0.55
5	ShphiP: -0.01	Shphi1: 0.00	8: -0.34	3: 0.62	3: 0.53	13: -1.94	14: -1.35	15: -1.34
6	5: -0.01	11: -0.02	3: -0.80	2: 0.53	16: 0.37	Shphi2: -2.07	13: -1.47	13: -1.37
7	4: -0.72	12: -0.08	2: -0.86	Shphi1: 0.30	10: 0.32	16: -2.22	10: -1.58	10: -1.46
8	7: -0.88	0: -0.12	14: -1.03	Shphi2: 0.29	14: -0.16	14: -2.28	15: -1.64	2: -1.47
9	10: -1.10	9: -0.18	16: -1.13	16: -0.05	ShphiP: -0.53	Shphi1: -2.36	Shpho2: -1.67	Shpho2: -1.57
10	Shpho1: -1.14	Shpho2: -0.20	Shpho1: -1.33	10: -0.07	Shphi1: -0.75	10: -2.46	Shphi1: -1.70	0: -1.70
11	0: -1.35	Shpho1: -0.26	10: -2.01	8: -0.10	11: -1.02	2: -2.65	2: -1.78	Shphi2: -1.75
12	1: -1.39	5: -0.39	Shphi1: -2.36	Shpho1: -0.44	Shpho1: -1.25	15: -2.69	0: -1.80	6: -1.77
13	15: -1.62	6: -0.48	0: -2.36	11: -1.18	8: -1.32	11: -2.71	11: -1.84	11: -1.79
14	6: -1.75	4: -0.49	11: -2.76	7: -1.76	7: -1.53	3: -2.82	6: -1.85	12: -1.81
15	Shpho2: -1.90	14: -0.50	5: -3.09	5: -1.78	0: -1.54	Shpho2: -2.93	12: -1.92	5: -1.84
16	11: -2.35	ShphiP: -0.56	9: -3.15	0: -1.92	6: -1.64	6: -3.00	5: -2.05	8: -2.02
17	12: -2.57	1: -0.56	6: -3.36	9: -1.92	5: -1.76	12: -3.06	Shphi2: -2.06	7: -2.10
18	16: -2.64	8: -0.12	7: -3.47	12: -2.48	9: -1.94	7: -3.14	7: -2.13	Shphi1: -2.14
19	9: -2.81	7: -0.79	1: -3.78	6: -2.51	12: -2.27	0: -3.22	16: -2.26	16: -2.16
20	14: -7.31	16: -1.02	12: -3.90	1: -2.93	1: -2.61	5: -3.41	3: -2.26	3: -2.50
21	2: -9.88	15: -1.10	15: -3.99	15: -3.37	15: -3.18	9: -3.65	9: -3.20	9: -3.41
22	13: -10.80	3: -1.57	13: -7.95	13: -7.55	13: -7.53	1: -4.17	1: -4.40	1: -4.49

Selbstreinigungseigenschaften: UV-Reflexionsspektren



Selbstreinigungseigenschaften: ΔL^* -Testergebnisse

● Auswirkung der Verkratzung

- **Shphi2** oder **3**: verminderte Selbstreinigungseigenschaften im Fall von Verkratzung
- **4** oder **Shpho1**, **13**: kein oder gegensätzlicher Effekt

Mögliche Gründe:

- **3** und **4** sind plättchenförmige Pigmente
- Dicke t : $t(\mathbf{3}) < 0.5 \mu\text{m}$, $t(\mathbf{4}) > 1.0 \mu\text{m}$
- Mechanische Einwirkung: Pigmente von **3** könnten brechen $\rightarrow$ vermehrte Diffusion

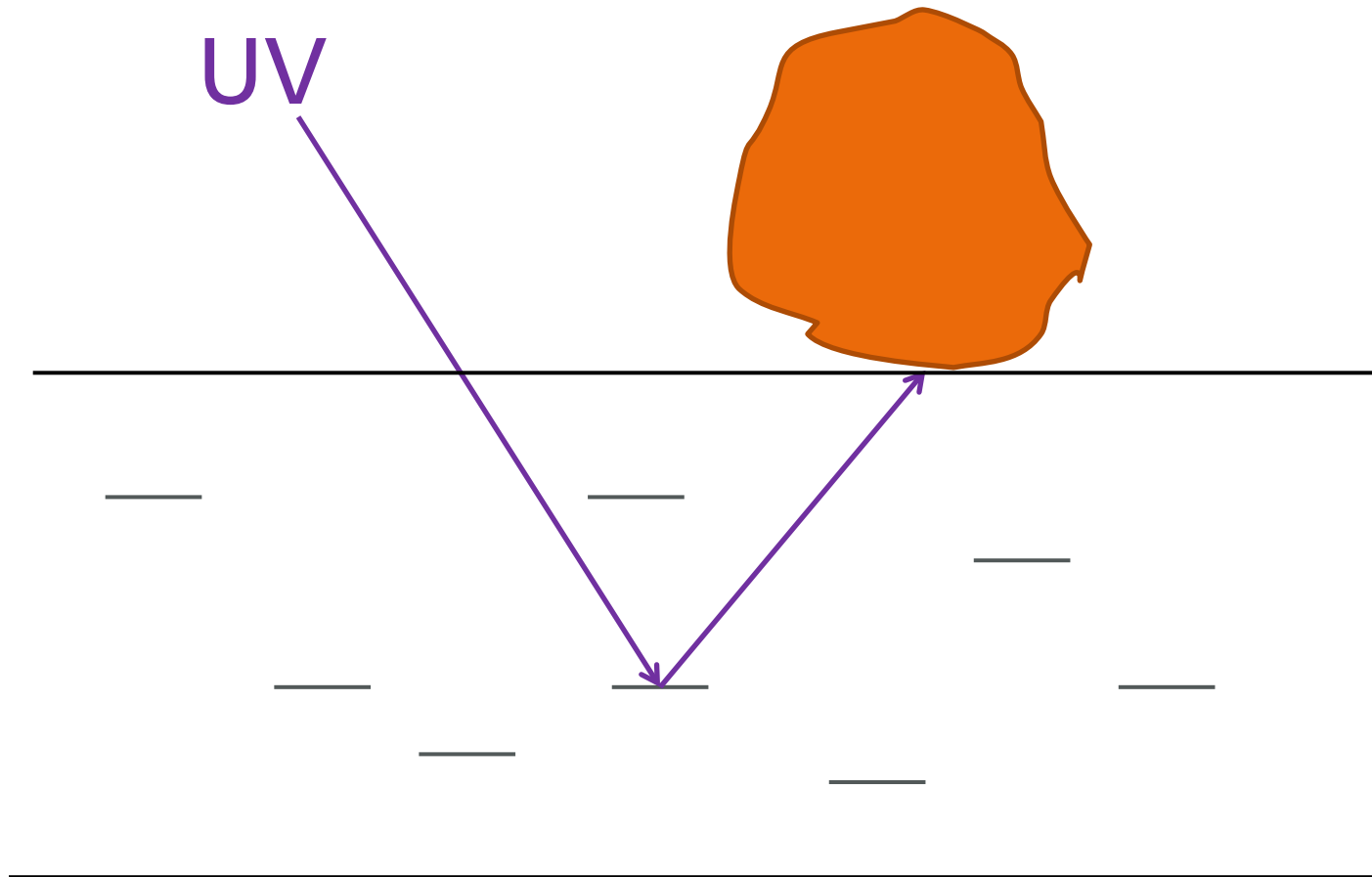
● Allgemein betrachtet...

- Einige nicht-kommerzielle Systeme zeigen Selbstreinigungseigenschaften, die vergleichbar oder besser als diejenigen der kommerziellen Systeme sind.
- Einige Systeme zeigen schlechtere Selbstreinigungswirkungen als Probe **0**.

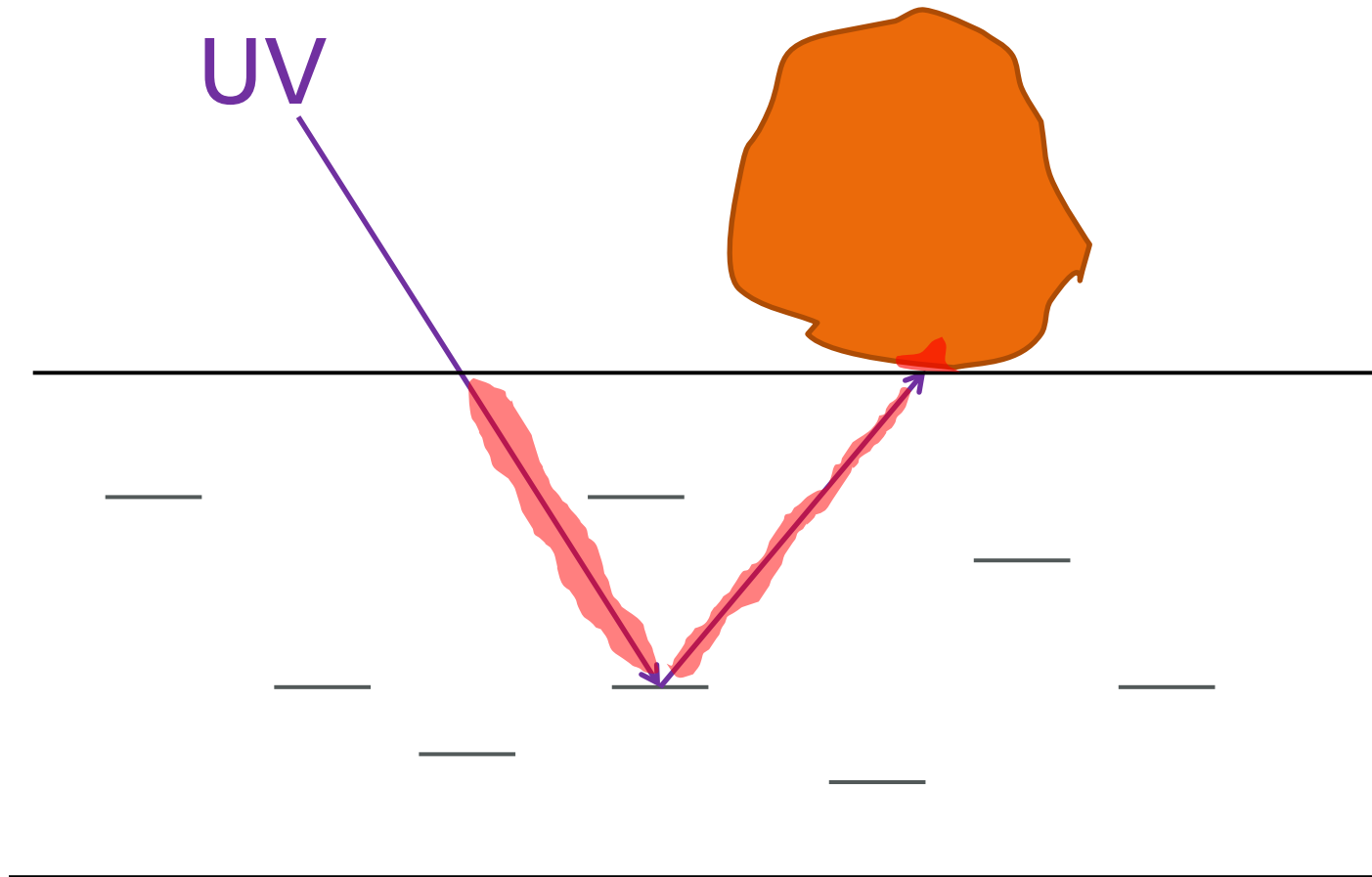
● Zum besseren Verständnis... Vergleich mit UV-Reflexionsspektren

- Al-Flake Pigmente; (14,16) vs. **4**: UV-B Reflexion kann zu Matrixdegradation führen
- Salze (Pulver); 11,12 (nicht nano) vs. **10** (nano): ähnliche Spektren aber höhere Intensität für Nanopulver $\rightarrow$ stärkerer Selbstreinigungseffekt.
- UV-reflektierende Pigmente (**2,3**): gute Selbstreinigungswirkung, ΔL geringer als bei **4**, korrespondiert mit den UV-Reflexionsspektren
- UV-reflektierende Pigmente (**12,7**): Selbstreinigung und UV-Reflexion gering

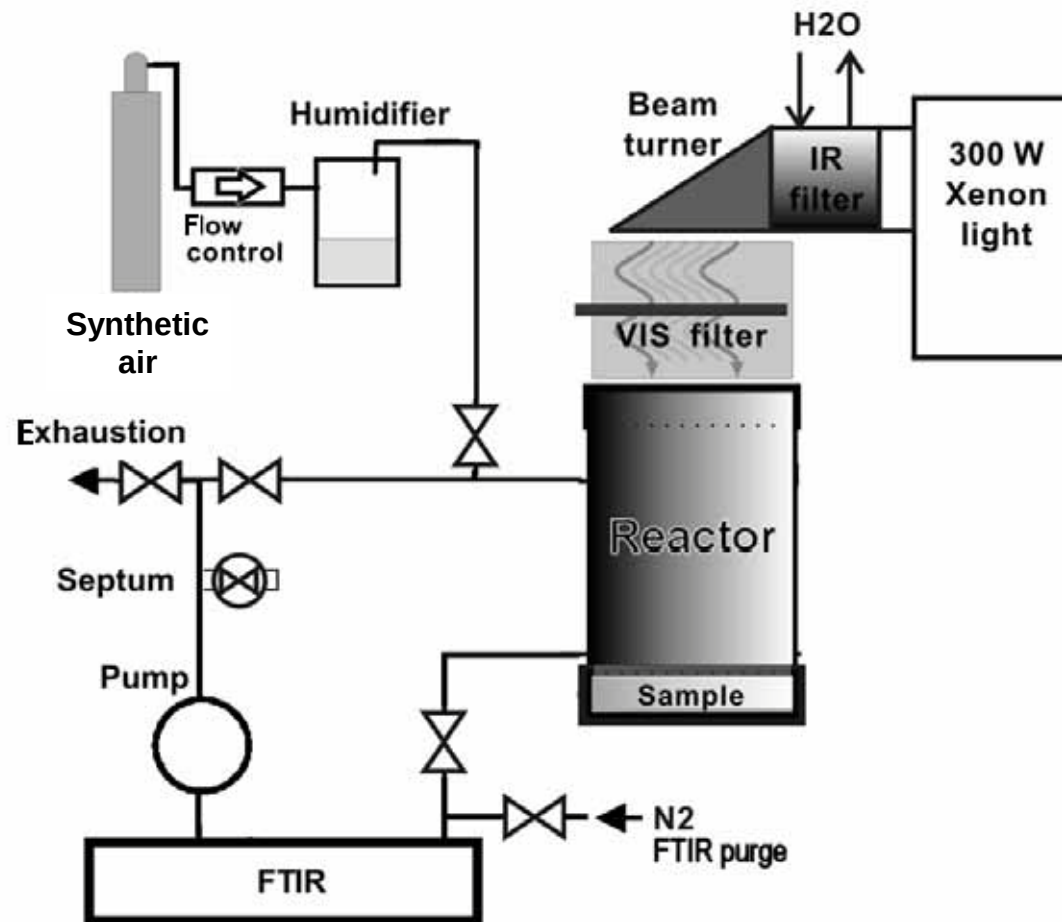
UV-Reflexionseigenschaften und Matrixdegradation



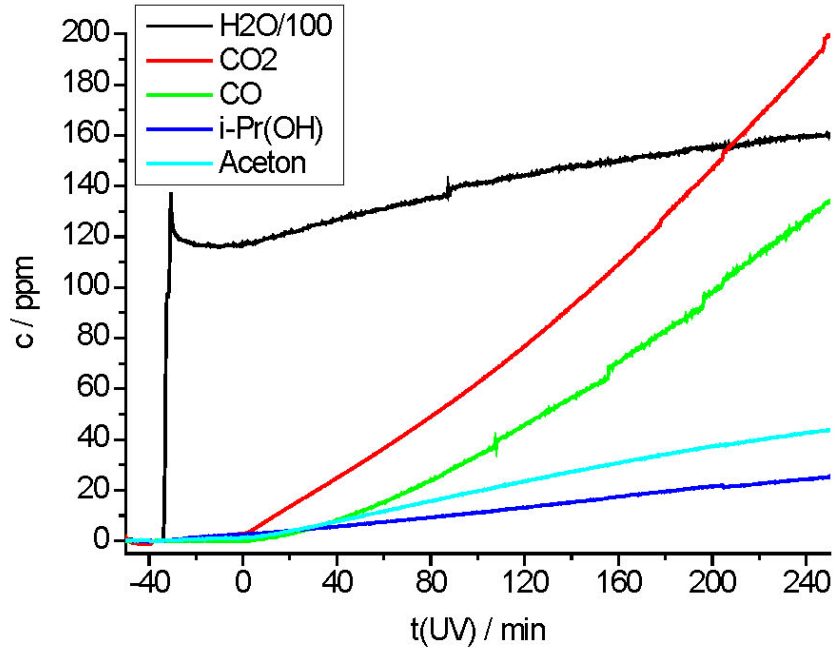
UV-Reflexionseigenschaften und Matrixdegradation



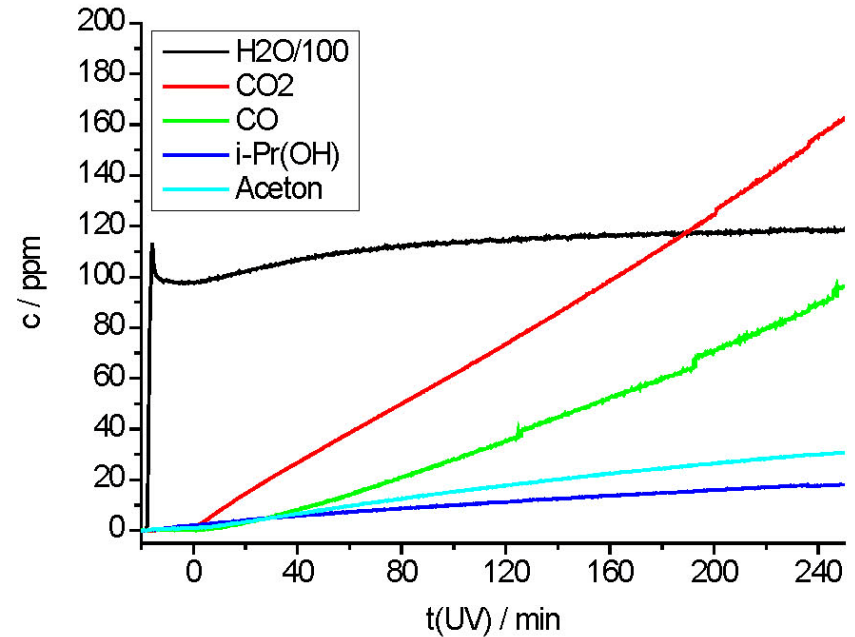
Fotodegradation: Detektion von CO₂ und CO



Fotodegradation: Exemplarische Detektionen

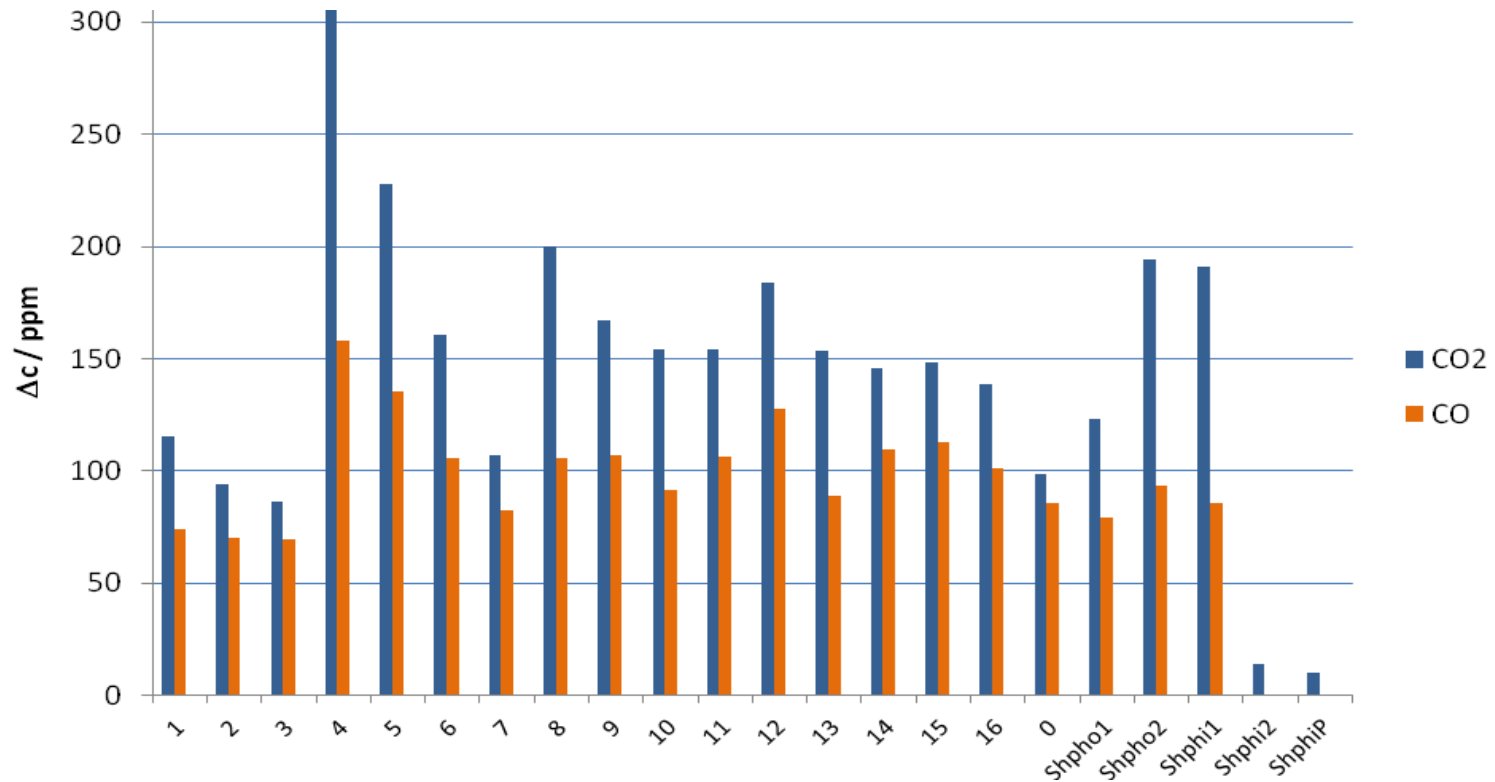


12



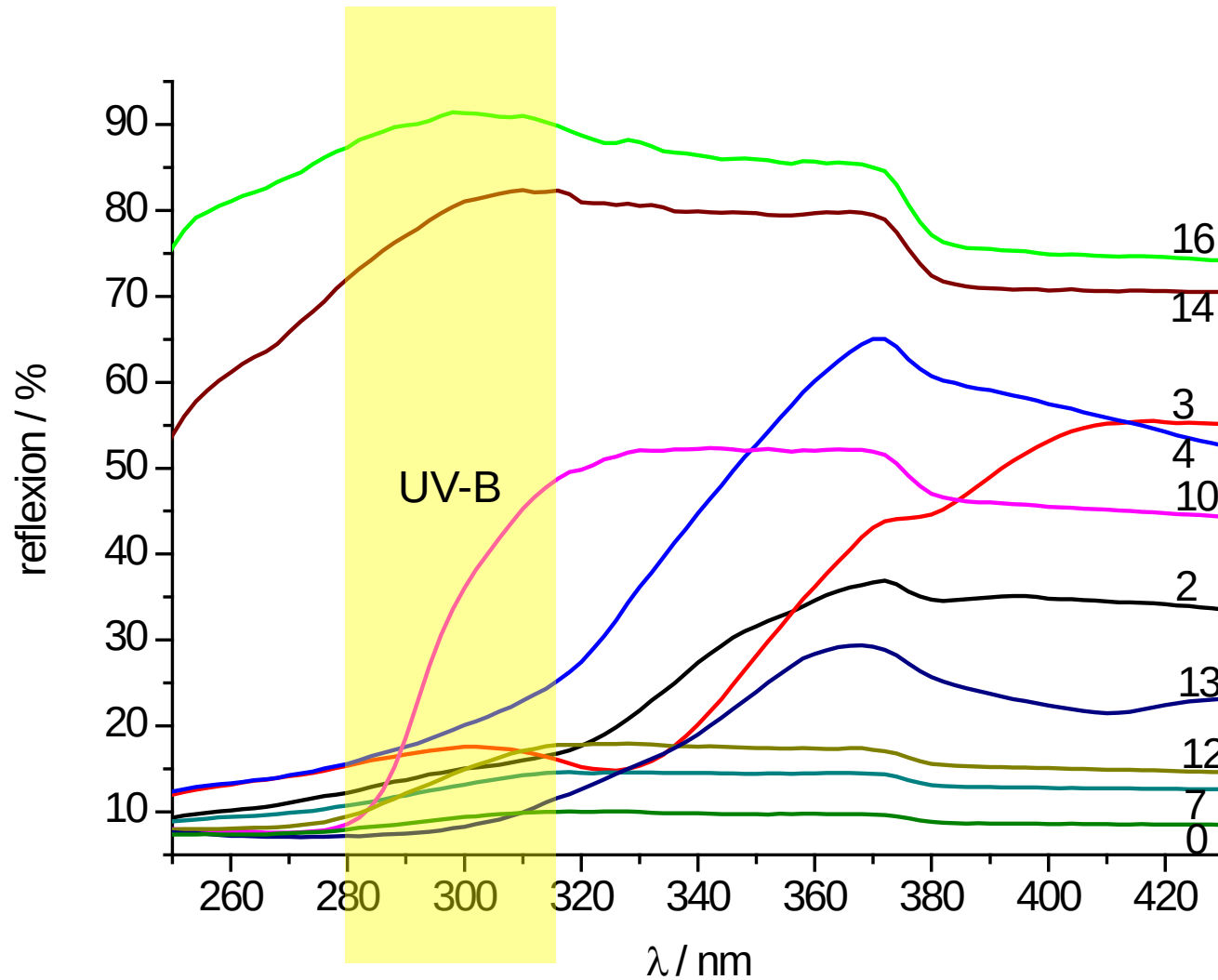
13

Fotodegradation: Quantitative Ergebnisse



- Shphi2, ShphiP: überwiegend anorganische Systeme
- 2, 3: gute Selbstreinigungseigenschaften, relativ niedrige Δc -Werte
- 4: höchste ΔL -Werte, aber größte Δc -Werte

Fotodegradation: UV-Reflexionsspektren



Zusammenfassung

- UV/IR-reflektierende Pigmente oder Pulver erzeugen Selbstreinigungseigenschaften, die
 - prinzipiell vergleichbar zu den Selbstreinigungseigenschaften kommerzieller Systeme sind,
 - in einigen Fällen eine höhere Beständigkeit gegenüber Verkratzung aufweisen als diejenigen von kommerziellen Systemen,
 - die Fotodegradation der Matrix fördern oder hemmen.
- Die Selbstreinigungseigenschaften derartiger Systeme können durch einen neuen Kurzzeittest bewertet werden, der in zufriedenstellendem Umfang mit der Freibewitterung korreliert.
- Die Fotodegradation der Proben kann anhand der Bildung von CO_2 und CO unter Einwirkung von UV-Einstrahlung bewertet werden.
- Das neue Konzept zur Generierung von Selbstreinigungseigenschaften scheint eine Alternative zu den etablierten Konzepten zu sein, insbesondere, wenn die UV/IR-reflektierenden Pigmente oder Pulver optisch neutral sind und die Fotodegradation der Matrix nicht fördern.

Danksagung

- Das IGF-Vorhaben 15908 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e.V. - FPL, Allmandring 37, 70569 Stuttgart wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.
- Die Arbeiten wurden durch die Firmen Merck, Eckart, BASF, Pilkington, Sachtleben, Evonik, Nano-X, Budenheim und Wörwag unterstützt.