

# Adhäsion und andere physikalische Vorgänge als primäre Auslöser von Schwarzstaub- Ablagerungen in Gebäuden



Dipl.-Chem. Dr. Wigbert Maraun  
ARGUK-Umweltlabor GmbH  
Kreismühle 1  
61440 Oberursel

# Inhalt

1. Was ist „Fogging“?
2. „Fogging“ ist...
3. Adhäsion
4. Dipol-Dipol-Wechselwirkungen
5. Chemische Prozesse
6. Physikalische Prozesse
7. Analytik der Fogging-SVOC
8. Phänomenologische Risiken
9. Quellenzuordnungen
10. „Fogging“-Lösungsansätze

# 1. Was ist „Fogging“?



# 1. Was ist „Fogging“?



# 1. Was ist „Fogging“?





# 1. Was ist „Fogging“?



# 1. Was ist „Fogging“?



# 1. Was ist „Fogging“?





## 2. „Fogging“ ist ...

### Fogging in einer Wohnung ist...

- die durch **Transportvorgänge** in der Raumluft gestaltete
- Abscheidung von **Feinstaub** und
- Verbleib der Partikel auf der Raumbooberfläche
- unter Ausbildung lichtabsorptiver Schichten
- in Folge der **Adhäsion** durch die
- chemisch modifizierte Partikeloberfläche
- durch schwer flüchtige organische Verbindungen (**SVOC**)
  
- [Fogging anderer Genese – Kfz, Vitrinen...]

# 3. Adhäsion

## Adhäsion

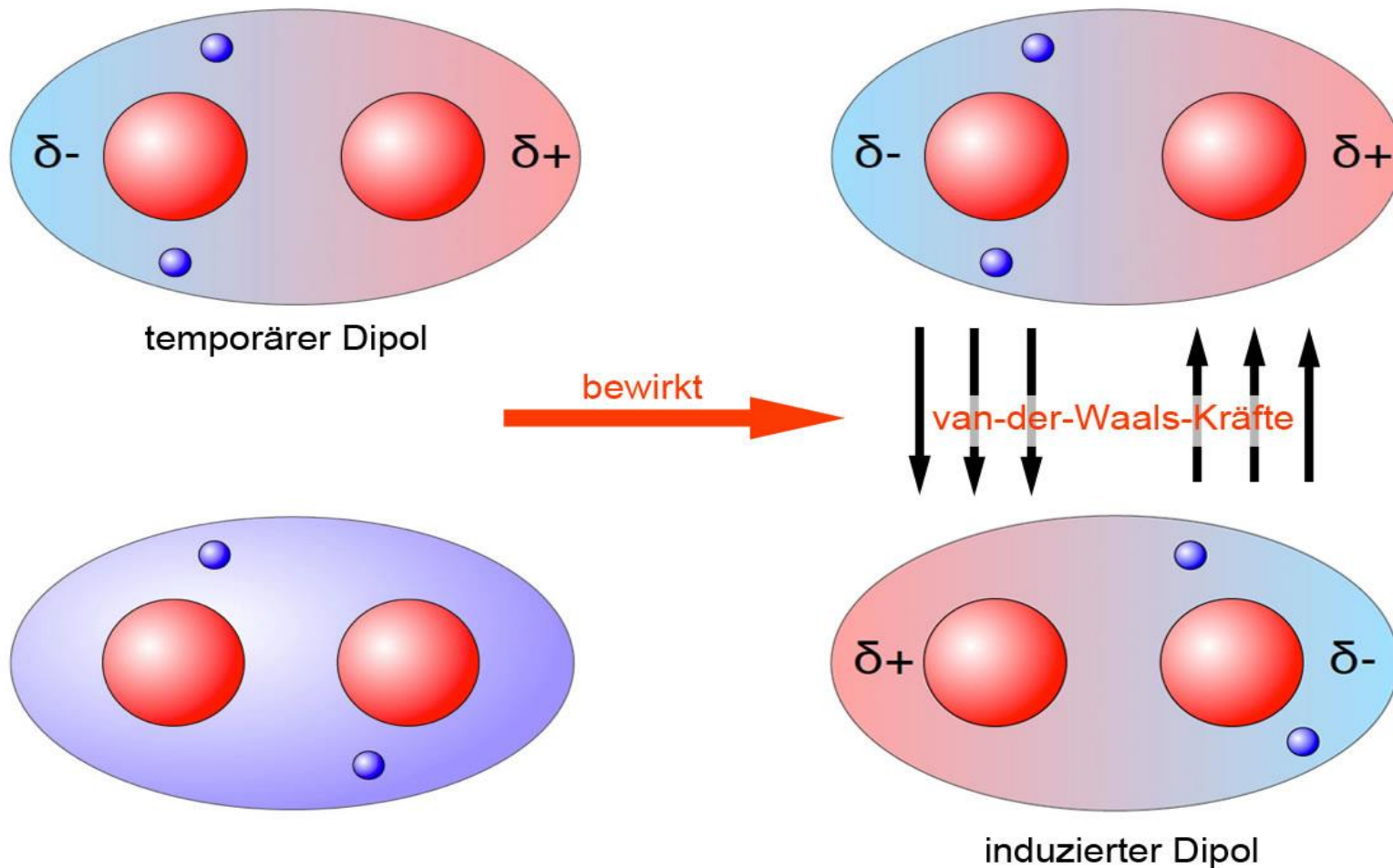
ist der Zustand einer Grenzflächenschicht, die sich zwischen zwei in Kontakt tretenden **kondensierten Phasen** ausbildet.

Die Haupteigenschaft dieses Zustandes ist der durch **molekulare Wechselwirkungen** in der Grenzflächenschicht hervorgerufene **mechanische Zusammenhalt** der beteiligten Phasen.

(zitiert aus Wikipedia)

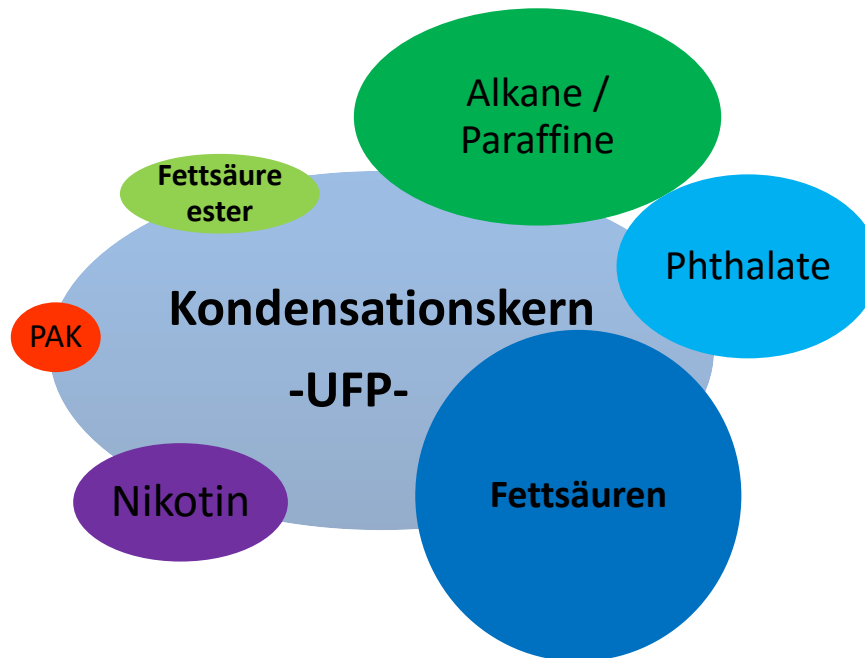
Die molekularen Wechselwirkungen beruhen auf **Dipol-Dipol-Wechselwirkungen**, wobei es sich um **permanente Dipole**, um **induzierte** oder um **temporäre (quantenmechanische)** Dipole handeln kann (als Keesom-, Debye oder **van der Waals-Kräfte** bezeichnet).

# 4. Dipol-Dipol-Wechselwirkung



# 5. Chemische Prozesse

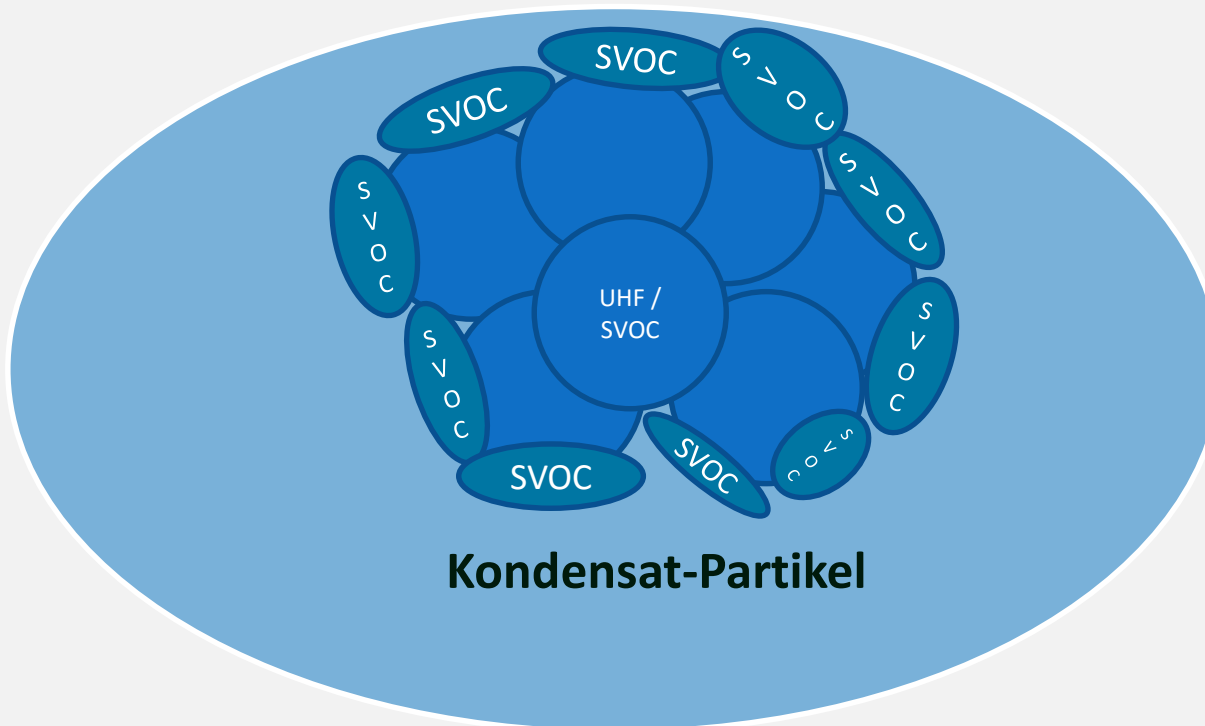
**Primäre Kondensation  
schwerflüchtiger Verbindungen  
durch Dipol-Dipol-Wechselwirkung**





# 5. Chemische Prozesse

## Agglomeration (Wachstumsphase) von Kondensat-Partikeln



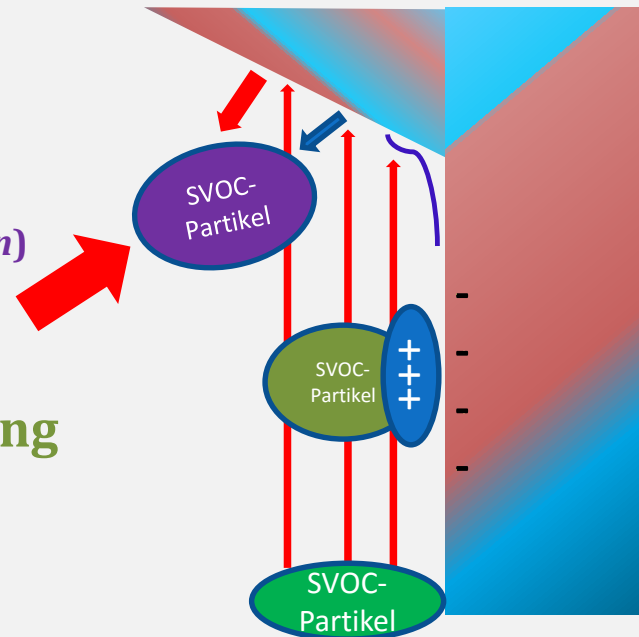
# 1. Was ist „Fogging“?



# 6. Physikalische Prozesse

## Transport der Partikel

- **(Bildung von UFP)**
- **Konvektion**
- **Thermophorese**  
*(thermischer Effekt bei der Adhäsion)*
- **Aufwirbelung**
- **Ruhende Grenzschicht**
- **Elektrostatische Anziehung**



- **Kontakt-Prozess: Adhäsion auch zwischen der Partikelphase und der Wandoberflächenphase**

# 6. Physikalische Prozesse

## „Schwärze“

- Ausbildung einer **lichtabsorptiven Partikel-Schicht**
- Veränderung der Schichtdicke lässt die Ablagerung optisch in Erscheinung treten
- die „ölig-schmierige“ Konsistenz bei der „Fingerprobe“ beruht auf dem „Caramba-Effekt“



# 7. Analytik der Fogging-SVOC

<b>Alkane/Paraffine</b>		<b>Fettsäureester</b>	<b>Andere Weichmacher / Anhydride</b>
C14–C31		Isopropylmyristat (C14-IPE)	Adipinsäurediisobutylester [DIBA]
<b>Fettalkohole</b>		Methylpalmitat (C16-ME)	Adipinsäurediethylhexylester [DEHA]
Dodecanol		Isopropylpalmitat (C16-IPE)	Tri-2-ethylhexyltrimellitat [TEHT]
Tetradecanol		Butylpalmitat (C16-BE)	Tributylcitrat [TBC]
Hexadecanol		Hexadecylpalmitat (C16-HDE)	Tributyl-Acetyl-Citrat [ATBC]
Octadecanol		Methylstearat (C18-ME)	2,2,4-Trimethyl-1,3-Pentandiol-monoisobut. [TXmIB]
<b>Fettsäuren</b>		Butylstearat (C18-BE)	2,2,4-Trimethyl-1,3-Pentandiol-diisobutyrate [TXIB]
Hexan-Säure		Methyloleat (C18en-ME)	Tripropylenglykolmonobutylether [TPGMB]
Heptan-Säure		Ethyleleat (C18en-EE)	Dipropylenglykoldibenzoat [DPGDB]
Octan-Säure		Methylarachidonat (C20-ME)	Dibutylmaleinat [DBM]
Nonan-Säure		<b>Weichmacher: Phthalate</b>	Di-2-ethylhexylmaleinat [DEHM]
Decan-Säure		Dimethylphthalat [DMP]	Dibutylfumarat [DBF]
Undecan-Säure		Diethylphthalat [DEP]	Di-2-ethylhexylfumarat [DEHF]
Dodecan-Säure		Di-isobutylphthalat [DiBP]	Phthalsäureanhydrid
Tridecan-Säure		Di-n-butylphthalat [DBP]	Hexahydrophthalsäureanhydrid [HHPA]
Tetradecan-Säure (Myristinsäure)		Benzylbutylphthalat [BzBP]	Methylhexahydrophthalsäureanhydrid [MHHPA]
Pentadecan-Säure		Di-2-ethylhexylphthalat [DEHP]	<b>Zigarettenrauch</b>
Hexadecan-Säure (Palmitinsäure)		Di-2-ethylhexyl-terephthalat [DEHTP]	Nikotin
Heptadecan-Säure		Di-i-heptylphthalat [DiHpP]	<b>Fettindikatoren</b>
Octadecan-Säure (Stearinsäure)		Di-2-propylheptylphthalat ([DPHP])	Squalen
Octadecen-9,12-dien-Säure (Linolsäure) /		Di-i-octylphthalat [DiOP]	Cholesterol
Octadecen-9,12,15-trien-Säure (Linolensäure)		Di-i-nonylphthalat [DiNP]	<b>PAK-Leitkomponenten</b>
Octadecen-9-en-Säure (Ölsäure)		Di-i-decylphthalat [DiDP]	Phenanthren
			Benzo[a]pyren (BaP)

# 8. Phänomenologische Risiken

- a.) vorausgegangene Renovierungsarbeiten bzw. Neubau:  
In ca. 86% der beobachteten "Fogging"-Fälle handelte es sich um **renovierte** Wohnungen
- b.). Zeitlicher Verlauf  
Das Auftreten des Fogging findet in 41% der Fälle innerhalb von 12 Monaten nach der letzten Renovierung bzw. nach dem Einzug statt.
- c.). Heizphase  
In 92% der Fälle trat das Staubphänomen in der **Heizphase** auf
- d.). Wohnungsnutzung  
Häufig nach längerer Abwesenheit; i.d.R. **Einzelpersonen** bzw. Wohnungen **ohne Kinder : Fehlen von Grobstaub**
- e.). Nutzerverhalten  
**Kerzenabbrand**, Latexwandfarbe, hohe **Reinigungsaktivität (Fettalkohole, Nanopartikel?)**, Vinyltapeten, **Zigarettenrauch**, glatte oder PVC-Bodenbeläge

Entnommen teilweise nach Umweltbundesamt, 2006

# 9. Quellenzuordnungen

- ARGUK-Standard-Verfahren:
  - Wischprobe von Fensterscheibe und Bodenstaub-Probe
  - Vergleich von auffälligen Gehalten und Substanz-Muster
  - Probenahme an ungereinigter Fensterscheibe!
  - Im Sommer sinnlos!
- Bei Verdachtsfällen/Streitbehauptungen:
  - „Kerzenabbrand“: Brand-Emissionsprüfung
  - „Vinyl-Tapete“: Materialentnahme
  - „neuer Fußboden“: Materialentnahme/Bodenstaubprobe
  - „neue Möbel“: Wischprobe
  - „Wandfarbe“: i.d.R. ohne Befund!

# 10. Fogging - Lösungsansätze

- 1. Reduzierung des SVOC-Aufkommens
  - u.a. bei Renovierung, Reinigungsaktivität, Zigarettenrauch, Kerzenabbrand
- 2. Reduzierung des Feinstaub-Aufkommens
  - Kerzenabbrand, Senkenbildung durch Grobstaub oder Luftreiniger
- 3. Physikalische Bedingungen
  - Verzicht auf Latex-Wandfarbe, keine hohen Heizungstemperaturen (Pyrolyse)



# Fogging

- Fogging:

Was wir sehen ist Physik – und was es bedingt ist Chemie!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!