

Zusammenfassung

Gegenstand der Untersuchung ist das in den letzten 10 Jahren zunehmende in Innenräumen auftretende Problem der Bildung von schmierenden, rußartigen Staubablagerungen (*particle deposition*), die an verschiedenen Oberflächen im Raum spontan oder in kurzen Zeiträumen auftreten. Das Phänomen wird häufig als „*fogging*“ bezeichnet, als deutscher Begriff wird das Phänomen als „Plötzliche schwarze Staubablagerungen in Wohnungen“ oder griffiger als „*Schwarze Wohnungen*“ bezeichnet.

Vielfach werden Klimaänderungen, Kältebrücken, undichte Schornsteine, Weichmacher emittierende Bauprodukte usw. für die Entstehung verantwortlich gemacht. Durch bisherige Untersuchungen, die im Rahmen der Ursachenfindung gemacht wurden, erfolgte daraufhin eine Abgrenzung des Fogging gegenüber nachweisbaren Ursachen wie z.B. Rußablagerungen durch fehlerhafte Heizungen oder Kamine oder Schadstoffeinträge von außen wie z.B. Dieselruß oder Industrieemissionen. Zusätzlich wurden Informationen über Voraussetzungen und begleitende Faktoren gewonnen. Auch nach Beseitigung erscheinen die Ablagerungen in einigen Fällen trotzdem erneut. Da bislang noch keine auslösenden Zusammenhänge bekannt sind, die das Phänomen reproduzierbar klären, liegen auch keine wirksamen Sanierungskonzepte vor, die die Entstehung der Staubablagerungen verhindern.

Neben anderen bauphysikalischen Bedingungen wurden bisher auch elektrostatische Ladungsprozesse als Faktor für die Ablagerungen (*deposition caused by electrostatic forces*) von Stäuben auf Oberflächen vermutet. Für diese Annahme sprechen teilweise Ablagerungsbilder, vor allem aber auch die kurzfristige Veränderbarkeit von Ladungsprozessen in Abhängigkeit von Nutzungsbedingungen, Witterungsbedingungen und – davon abhängig – den kurzzeitigen Klimata im Innenraum. Insofern waren elektrostatische Ladungsprozesse geeignet, den teilweise spontanen Effekt zu erklären. Inhalt des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung elektrostatischer Ladungsprozesse von Oberflächen im Innenraum im Zusammenhang mit den Umgebungsbedingungen und der baulichen Situation. Ziel des Vorhabens war es, derartige Ladungsprozesse entweder als Mitverursacher der plötzlichen Staubablagerungen zu bestätigen oder auszuschließen.

Für die Annahme einer elektrostatisch begründeten Ablagerung muss ein komplexes Zusammenspiel von Staubgehalt und Ionenkonzentrationen in der Luft einschließlich der beeinflussenden Faktoren wie Luftfeuchte und Temperatur, von der Nutzungsintensität, von der Luftkonvektion und betroffenen Oberflächenstrukturen und Materialien vorliegen. Dabei wurde unterstellt, dass sich diese beeinflussenden Umstände nicht labortechnisch simulieren oder provozieren lassen. Es bestand daher allein die Möglichkeit, im Rahmen einer Feldstudie potentiell betroffene Wohnungen über einen längeren Zeitraum während der Heizperiode mit relativ trockener Luft, hoher Konvektion und erhöhtem Staubgehalt zu beobachten.

Ab der Heizperiode 2001/2002 bis zur Heizperiode 2002/2003 wurden in Kooperation mit drei Wohnungsbaugesellschaften in Berlin betroffene Wohnungen als für die Untersuchung potentiell geeignet ausgewählt. Von diesen Wohnungen wurden 4 Wohnungen in der Heizperiode 2001/2003 zunächst für die Messungen ausgewählt. Diese wurden in der 1. Messreihe Dezember 2001 bis Februar 2002 untersucht. Da die unerwartet milden Witterungsverhältnisse bereits ab Februar 2002 keine weiteren Messungen erlaubten, musste die Untersuchung abgebrochen werden. Nachfolgend war es nicht möglich, die Sanierung der Schäden im Verlauf des Jahres 2002 durch die Vermieter bzw. Wohnungsbaugesellschaften zu vermeiden.

Aus diesem Grund wurde das Forschungsvorhaben verlängert und in der folgenden Heizperiode 2003 wurden weitere 4 gemeldete Schadensfälle bzw. Wohnungen in die nähere Untersuchung aufgenommen, für die

durch die Mieter selbst und durch die Vermieter die Zustimmung für die Installation der Beobachtungsfelder für einen Zeitraum von ca. drei Monaten erreicht werden konnte.

In den insgesamt 8 betroffenen und im Rahmen der Feldstudie untersuchten Wohnungen wurden folgende Maßnahmen und Messungen durchgeführt:

- Befragung der betroffenen Mieter und Vermieter.
- Aufnahme der rückverfolgbaren Sanierungsmaterialien und Produkte. Aufnahme der Bauteilkonstruktionen. Aufnahme der wichtigsten Oberflächenmaterialien in den betroffenen Räumen.
- Aufbau einer vorbereitenden Klimamessung über 8 – 11 Tage, je nach Möglichkeit im Einzelfall.
- Messung der Wandoberflächentemperatur, der relativen Luftfeuchte sowohl auf der Wandoberfläche (keine Materialfeuchte) als auch in einem Abstand von 5 mm vor der Wandoberfläche im Zusammenhang mit der Klimamessung auf durch schwarze Staubablagerungen betroffene Flächen.
- Handmessungen zur Erfassung von Temperaturdifferenzen an einzelnen Ablagerungsflächen direkt auf der Oberfläche.
- Entnahme von einer bis mehrerer Wischproben und einer VOC/Weichmacher Luftprobe mit einer Auswertung hinsichtlich aufgetretener Übereinstimmungen einerseits zwischen Luftbelastungen, recherchierten Material- und Produktbestandteilen und Substanzen in den Ablagerungen.
- Messung der Oberflächen- und Ableitwiderstände R_s und R_G an material- und aufbaubezogen unterschiedlichen betroffenen Oberflächen.
- Messung des zeitlichen Ableitverhaltens an den als aufladbar ermittelten Oberflächen.
- Installation von Beobachtungsfeldern in 4 Wohnungen im Winter 2003 auf ausgewählten betroffenen Wandoberflächen. Es wurden jeweils benachbart ein Ableitungsfeld und ein Beobachtungsfeld aufgebracht und mit den begleitenden Temperatur- und Feuchtesensoren versehen. In einem Konvektionsstrom (über einem Heizkörper) wurden die passive hochisolierte und elektrostatisch aufladbare Testfelder aufgehängt. Die Beobachtung erfolgt über einen weiteren Kälteeinbruch hinweg bis Ende April 2003.
- Aufnahme der Außenklimadaten für den gesamten Zeitraum von Dezember 2002 bis April 2003 mit den Daten zu Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck.

Neben den Untersuchungen der Feldstudie erfolgten unabhängig von den Untersuchungen in den Wohnungen zusätzliche Messungen der Oberflächen- und Ableitwiderstände und spezifischer Ableitgeschwindigkeiten:

- Ableitgeschwindigkeiten des aufladbaren Beobachtungsfeldes nach einer provozierten Aufladung.
- Oberflächen- und Ableitwiderstände an material- und aufbaubezogen unterschiedlichen Oberflächen zur Kontrolle der Messungen in den Wohnungen.
- Ableitgeschwindigkeiten auf aufladbaren Raumboberflächen nach einer provozierten Aufladung

Für die elektrostatischen Messungen sowohl in den betroffenen Wohnungen als auch in den begleitenden Messungen wurden folgende Oberflächen als repräsentativ ausgewählt:

Innenwand 1	Fasergips 10 mm, Dispersion
Innenwand 2	Ziegelmauerwerk, PII Putz, Dispersion
Innenwand 3	Ziegelmauerwerk, P II Putz, Rohfaser, Dispersion
Innenwand 4	Ziegelmauerwerk, P II Putz, Vinylschaumtapete oder Latexanstrich
Innenwand 5	Ziegelmauerwerk, P II Putz, Keram. Badfliesen, Dünnbett
Außenwand 1	Ziegelmauerwerk, P II Putz, Dispersion
Außenwand 2	Ziegelmauerwerk, P II Putz, Rohfaser, Dispersion
Fenster 1	Holzrahmen Lackiert
Fenster 2	PVC-Stahlrahmen
Fenster 3	Isolierglasfläche
Fenster 4	Einfachglasfläche
Ausstattung 1	Bodendielen Holz Kiefer Faserrichtung Lasur
Ausstattung 2	Spanplatte, Holzfurnier, Lasur
Ausstattung 3	Spanplatte, Melamin

Der angestrebte Fall, dass während der Langzeit-Beobachtungsphase eine Fogging-Situation in den bereits betroffenen und unveränderten Wohnungen erneut beobachtet werden konnte trat nicht ein. Daraus allein lassen sich keine Schlussfolgerungen ziehen, da es sich bei diesem Umstand auch um ein zufälliges Ergebnis handeln konnte. Die in den Wohnungen längerfristig installierten Beobachtungsfelder zeigten demzufolge keine Veränderungen bzw. Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Oberflächenmessungen in den Wohnungen und der Begleitmessungen zu den bauteil-spezifischen Oberflächen- und Ableitwiderständen und zu den Ableitgeschwindigkeiten zeigten, dass mit Ausnahme isoliert befestigter Gegenstände aus Materialien mit einem hohen spezifischen Widerstand (wie z.B. zahlreiche Kunststoffe in Gardinen oder isolierten Bodenbelägen) die üblicherweise vorzufindenden Oberflächen nicht in der Lage sind, Aufladungen über einen ausreichend langen Zeitraum aufrecht zu erhalten. Aus den Messungen zu Widerständen ergibt sich, dass insbesondere an Wänden ohne isolierende Tapeten die Erdableitwiderstände mit Werten $< 10^8$ bis $10^9 \Omega$ so gering sind, dass die Flächen als nicht aufladbar gelten müssen. Dies wurde auch während der Versuche einer künstlichen Aufladung bestätigt. Als potentiell aufladbar erwiesen sich:

- Glasflächen der Fenster
- Rahmenkörper der Fenster
- Möbeloberflächen Holzwerkstoffe mit Melaminharzdecklage (Schränke, Möbel)
- Holzoberflächen mit Lackanstrich (Türen, Fensterrahmen)
- Baumwoll- und Kunststoffvorhänge

Die bei diesen Oberflächen gemessenen Ableitgeschwindigkeiten nach einer künstlich aufgetragenen Oberflächenladung zeigten, dass die Fenster und alle Möbel- und Holzoberflächen mit Entladungszeiten von max. 5 – 10 min. nicht in der Lage waren, die Oberflächenladungen für einen wirksamen Zeitraum aufrecht zu erhalten. Als notwendiger Zeitraum wurden mindestens eine bis mehrere Stunden angesehen, bedingt durch

die Notwendigkeit des gleichzeitigen Auftretens von Ionen bzw. ionisierten Feinstäuben in der Raumluft und mechanisch bedingten elektrischen Aufladungen von Oberflächen.

Das Ergebnis bedeutet nicht, dass elektrostatische Aufladungen keine Wirkung auf die Ablagerungsprozesse haben können. Überall dort, wo besonders isolierte Bedingungen herrschen – vorrangig an Kunststoff-Vorhängen, Bodenbelägen und insbesondere im Bereich von künstlich aufrechterhaltenen elektrischen Feldern – ist mit einer Ablagerung ionisierter Stäube zu rechnen. Allerdings ist dieser Effekt – wenn er eintritt – ähnlich wie bei Kältebrücken auf entsprechend konditionierte Teilflächen beschränkt und wirkt spezifisch verstärkend, jedoch offensichtlich nicht entsprechend der Ausgangsannahme dieser Studie als Verursacher oder Auslöser der in Schüben auftretenden schwarzen Staubablagerungen.

Im Rahmen der begleitenden Außen- und Innenklimamessungen und Oberflächentemperaturmessungen ergaben sich keine Auffälligkeiten bezüglich der Innenraumklimata. Es zeigten sich keinerlei übereinstimmende Abweichungen von als üblich oder normal zu bezeichnenden Feuchte- und Temperaturwerten. Das betrifft auch die Raumtemperatur-Schwankungen und vertikale Schichtungen. Mit einer (aus der Nutzung begründeten) Ausnahme bewegten sich alle ermittelten Daten im Toleranzbereich der in der DIN 4701 genormten und in der DIN 4108 als Berechnungsgrundlage benannten Norminnenwerte.

Die Langzeitmessungen der Temperaturdifferenzen zwischen Oberflächentemperatur und Lufttemperatur unmittelbar vor der Oberfläche (3-5 mm) zeigten ebenfalls keine Abweichungen von den normalerweise zu erwartenden Differenzen. Alle gemessenen Daten lagen im Bereich der rechnerisch ermittelbaren Werte Δt für die vorgefundenen Mauerwerkswände mit Norminnentemperaturen.

Die begleitenden Handmessungen zeigten auf, dass zwischen den vorgefundenen Ablagerungsflächen und spezifischen baulich bedingten Kältebrücken auf den Innenoberflächen mit Ausnahme aller Fensterflächen ein häufiger, aber nicht zwingender Zusammenhang besteht. Dies gilt auch für Ablagerungen im oberen Wandbereich an Außenwänden. So sind z.B. glatten Flächen auf temperaturneutralen Innentüren genauso von Ablagerungen betroffen wie Glasflächen in Fenstern.

Dagegen zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der vorgefundenen Ablagerungsintensität und den absoluten Differenzen der Oberflächentemperatur auf kleinen Flächen. Hierbei wurden den vorhandenen Ablagerungen folgende Differenzen von 1,5 bis 2,5 °K gemessen. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Wertebereich oberhalb oder unterhalb der sonstigen Raumlufttemperatur liegt. Damit wurde die Annahme der Thermophorese als beeinflussender Effekt für die Staubablagerungen bestätigt.