

DISS. ETH NO. 23105

DROPLET DYNAMICS ON NON-POROUS AND
POROUS MEDIA: IMPACT, SPREADING AND
ABSORPTION

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by
JAE BONG LEE

Master of Science in Mechanical Engineering
Chung-Ang University
born 26 May 1981
citizen of Republic of Korea

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Jan Carmeliet, examiner
Prof. Dr. Daniel Bonn, co-examiner
Prof. Dr. Ali Dolatabadi, co-examiner
Prof. Dr. Dimos Poulikakos, co-examiner
Dr. Dominique Derome, co-examiner

2015

ABSTRACT

Wetting by impinging drops on a porous material is an ubiquitous phenomenon, with numerous engineering applications, e.g. rain drops falling on leaf or building facade, a drop of coffee on a napkin, printing on paper. Wind-driven rain (WDR), referring to rain droplets carried by the wind and impacting on building façade, is one of the main moisture sources with potentially negative effects on hygrothermal performance and durability of building facades. Understanding drop impact phenomena can lead to a better estimation of WDR intensity on buildings within urban environments.

In this thesis, drop physics on porous media, namely droplet impact, spreading, absorption and evaporation, in the general framework of wind-driven rain in the built environment, is studied experimentally, theoretically and numerically. Starting with experimental work on impermeable surfaces which excludes the influence of absorption, theoretical and numerical models are developed for the estimation of maximum spreading considering the influence of liquid properties, wetting behavior and roughness. Spreading on porous media is presented by focusing on the influence of the media wetting behavior, the morphology of porous surfaces and the effects of permeability and porosity. The developed theoretical model for maximum spreading on impermeable surface is applied to drop impact on porous media, and could be extended for any complex surface. Water droplet mass transfer into porous media is captured experimentally and numerically. The absence of inertia driven penetration and capillary absorption during spreading is demonstrated. Droplets impacting on porous media are pinned at maximum spreading. These findings allow to estimate the water mass transport accurately from rain droplet to building façade, and they provide a better insight into drop impact on natural porous substrate.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Benetzen von porösen Materialien durch aufprallende Tropfen ist ein allgegenwärtiges Phänomen, welches für viele Ingenieurwendungen, wie zum Beispiel das Auftreffen von Regentropfen auf Blätter von Pflanzen oder Gebäudefassaden, ein Kaffeetropfen auf einer Serviette oder das Bedrucken von Papier, wichtig ist. Schlagregen (WDR: wind driven rain), bezeichnet einen Regen, bei welchem die Regentropfen vom Wind getragen werden und auf Gebäudefassaden aufprallen, was eine der Hauptfeuchtequellen von Gebäudefassaden ist und potenziell einen negativen Effekt auf dessen hygrothermisches Verhalten und deren Dauerhaftigkeit haben kann. Das Verständnis von Tropfen aufprallphänomenen kann zu einer besseren Abschätzung von WDR Intensitäten auf Gebäuden in urbanen Gebieten führen. In dieser Doktorarbeit wird die Aufprallphysik von Tropfen auf porösen Materialien, im Detail der Aufprall, die Ausbreitung, die Absorption und die Evaporation, im Zusammenhang von WDR in der bebauten Umgebung experimentell, theoretisch und numerisch untersucht. Beginnend mit einer experimentellen Arbeit über wasserundurchlässige Oberflächen, wo keine Absorption vorkommt werden theoretische und numerische Modelle entwickelt, mit welchen die maximale Ausbreitung unter Berücksichtigung von den Eigenschaften der Flüssigkeit, des Benetzungsverhaltens und der Rauigkeit bestimmt werden kann. Die Ausbreitung auf porösen Materialien wird mit dem Fokus auf dem Einfluss dessen Benetzungsverhaltens, der Morphologie der porösen Oberflächen und der Effekte von der Wasserdurchlässigkeit und der Porosität präsentiert. Das entwickelte, theoretische Modell für die maximale Ausbreitung auf wasserundurchlässigen Oberflächen wird für den Aufprall von Tropfen auf poröse Materialien angewendet und kann für alle komplexen Oberflächen erweitert werden. Der Massetransport von Wassertropfen in poröse Materialien hinein wird experimentell und numerisch erfasst. Das Nichtvorhandensein des durch Massenträgheit herbeigeführten Eindringens und der Kapilarabsorption während der Ausbreitung wird demonstriert. Tropfen, welche auf porösen Materialien auftreffen, haften mit der maximalen Ausbreitung fest. Diese Erkenntnisse erlauben den Wassertransport vom Regentropfen zur Gebäudefassade

exakt abzuschätzen und sie geben einen besseren Einblick in die Physik des Tropfenaufpralls auf natürlichen, porösen Substraten.