

## Abstract

In wildland fires, burning particles of vegetative material can be lofted by the fire plume and are subsequently transported horizontally by cross wind. Depending on the state of the firebrands (flaming, smoldering, inert hot, inert cold) upon landing they bear the potential to cause secondary fires. The present work introduces theoretical analysis of the problem of combustion and transportation of firebrands. Afterwards, possible approaches to numerical modelling of the important aspects of the problem are discussed. Fire Dynamics Simulator is used as computational tool and a pyrolysis model is developed based on the reaction rates from first order Arrhenius equations. Firebrands exposed to high temperatures are found to fully pyrolyze in the first seconds after exposure to the fire and lower initial temperatures enable pyrolysis to sustain for a longer time while also reducing the cooling rates of firebrands, because energy losses to endothermic pyrolysis are minimized. Increasing thickness and density of firebrands leads to the same effect due to increasing thermal inertia. The mass loss is established as most accurate criterion to define whether a particle is still flaming or not. A three-dimensional numerical model is presented with a flow field from a 100 MW tree crown fire at wind speeds of 6.7 m/s. Firebrands equivalent to disc-like geometries with densities from 50-200 kg/m<sup>3</sup>, 4 and 10 cm diameter, and 0.2 to 10 cm thickness are released from the canopy. The product  $\rho_f^{w_0} \times \tau$  is found to be a controlling factor of the firebrand dynamics and results show that particles with  $\rho_f^{w_0} \times \tau \geq 1$  are not lofted by the plume and land on the ground flaming, at a maximum travel distance of 10 m downstream. Particles  $\rho_f^{w_0} \times \tau \leq 0.6$  are found to be lofted and travel at least 50 m from the fire. Future investigations need to address the validation of the pyrolysis model and invoking a model for char oxidation to allow analysis of firebrands that get lofted and do not land in a flaming state.

## Abstract (German)

In Wald- und Flächenbränden kann brennendes Material durch den Plume aufwärts und durch Wind anschließend horizontal transportiert werden. Abhängig vom Zustand beim Landen (lodernd, glühend oder inert mit hoher oder niedriger Oberflächentemperatur) können diese brennenden Partikel Sekundärbrände auslösen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den theoretischen Ansätzen zum Transport solcher Glutteilchen und ebenso mit der Verbrennung dieser. Anschließend werden mögliche Ansätze diskutiert, welche angewendet werden können, um die relevanten Aspekte des Problems numerisch zu modellieren. Der Fire Dynamics Simulator (FDS) wird als Werkzeug zum Erstellen eines Computermodells und als Gleichungslöser eingesetzt. Die Reaktionsraten zur Pyrolyse werden durch eine Arrhenius-Gleichung erster Ordnung abgebildet und anschließende Einzeltests von Glutteilchen zeigen, dass unter hohen Temperaturen ( $\geq 900^\circ\text{C}$ ) ein Verkohlen des gesamten Materials binnen Sekunden abläuft. Niedrigere initiale Temperaturen verlängern den Pyrolyseprozess und führen zu reduzierten Abkühlungsraten der Teilchen, da weniger Energie an die endotherme Pyrolyse verloren geht. Erhöhte Stärke und Dichte der Partikel schlagen sich ähnlich nieder, da die thermische Trägheit des Körpers zunimmt. Als zuverlässiges Kriterium zur Definition des Zustands indem sich ein Glutteilchen befindet, wird die Massenverlustrate etabliert. Ein dreidimensionales numerisches Modell wird letztlich erarbeitet, welches ein Strömungsfeld berechnet, das sich aus einem Baumkronenbrand mit einer Gesamtintensität von 100 MW und Wind mit einer Geschwindigkeit von 6,7 m/s ergibt. Plattenförmige Glutteilchen mit viereckiger Grundfläche werden in Annäherung an scheibenförmige Teilchen mit verschiedenen Dichten (50-200 kg/m<sup>3</sup>), Durchmessern (4 und 10 cm) und Stärken (0.2-10 cm) am oberen Ende der windabgewandten Seite des Blätterdachs in die Strömung eingelassen. Das Produkt aus anfänglicher Dichte und Stärke,  $\rho_f^{w_0} \times \tau$ , erweist sich als aussagekräftigste Größe, um die Dynamik von Glutteilchen zu kategorisieren. Teilchen mit  $\rho_f^{w_0} \times \tau \geq 1$  werden nicht durch den aufwärts strömenden Plume angehoben und nur durch den Wind seitwärts transportiert und landen etwa mit 10 m Entfernung zum Feuer in loderndem Zustand. Teilchen mit  $\rho_f^{w_0} \times \tau \leq 0.6$  werden allesamt in den Plume eingesogen und landen nichtlodernd im Abstand von mindestens 50 m bis über 1000 m zum Brandherd. Künftige Weiterentwicklungen des Modells sollte sich insbesondere der Validierung des Pyrolysemodells widmen, als auch ein Modell für die heterogene Oxidation der Kohleschicht vorantreiben. Diese Reaktion bestimmt das Verhalten und den Zustand des Glühens im Anschluss an das lodernde Brennen eines Teilchens maßgeblich.