

# Untersuchung zum Einfluss der Baumartenzusammensetzung auf die Kronenoberflächentemperatur im Nationalpark Hainich

ANN-KATHRIN HOLTGRAVE<sup>1</sup>

*Die vorliegende Arbeit untersucht Kronenoberflächentemperaturen verschiedener Baumartenzusammensetzungen im Nationalpark Hainich. Dazu wird ein Thermalbild mit Hilfe von digitalen Höhenmodellen und einem Orthofotobild ausgewertet. Für das Untersuchungsgebiet werden die Temperaturen, die solare Einstrahlung pro Fläche, die Kronenoberflächenrauigkeit und der Neigungswinkel der Bildzellen ermittelt. Für diese Variablen werden zunächst Nadel- und Laubbäume miteinander verglichen und später auch der Unterschied zwischen verschiedenen Laubbaumarten analysiert. Zusätzlich wird der Einfluss der solaren Einstrahlung, der Oberflächenrauigkeit und der Zellenneigung auf die Temperatur untersucht. Es ergeben sich höhere Temperaturen für Laubbäume, wobei Rotbuchen im Vergleich die höchsten Temperaturen aufweisen.*

## 1 Einleitung

Die Fernerkundung erfreut sich immer größerer Beliebtheit. Sie dient dem Erwerb, der Bearbeitung und der Interpretation von Bildern, die von Flugzeugen oder Satelliten aufgenommen wurden und damit Informationserfassungen von Objekten ermöglichen, ohne mit ihnen in Berührung zu kommen. Seit den 1960er Jahren werden auch Infrarotbilder zur Fernerkundung verwendet (SABINS, 1996).

In dieser Arbeit werden Aufnahmen des thermalen Infrarots verwendet, um Oberflächentemperaturen von Baumkronen zu untersuchen. Die Temperatur hat einen großen Einfluss auf die metabolischen Prozesse von Pflanzen und auf die in Baumkronen lebende Fauna. Es wird angenommen, dass die Temperatur auch die Biodiversität beeinflusst. Bäume haben zudem einen großen Einfluss auf das Mikroklima sowie auf das globale Klima. Durch Transpiration können sie die umgebende Luft abkühlen und die Niederschlagsmenge beeinflussen. Dies ist vor allem auch im Hinblick auf den Klimawandel von Bedeutung. Die Transpirationsmenge ist dabei temperaturabhängig und baumartenspezifisch (SZUJECKI, 1987; FLEMMING, 1994; SCHULZE ET AL., 2002; LEUZINGER ET AL., 2010).

Wichtige Erkenntnisse zum Unterschied der Kronentemperaturen verschiedener Baumarten konnten bereits von Leuzinger und Körner erlangt werden. Diese haben anhand von Messungen die Relevanz der Baumkronenarchitektur für die Temperatur erkannt und einen signifikanten Unterschied der Kronentemperaturen zwischen Nadel- und Laubbäumen gefunden (LEUZINGER & KÖRNER, 2007).

---

<sup>1</sup> Ann-Kathrin Holtgrave, Burckhardt-Institut, Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 5, 37077 Göttingen, akholtgrave@gmx.de

Diese Arbeit untersucht Kronentemperaturen verschiedener Baumarten. Dabei werden sowohl Nadelwald und Laubwald miteinander verglichen, als auch verschiedene Laubbaumarten untereinander. Des Weiteren werden die Einflüsse der Oberflächenrauigkeit, der Stärke der solaren Einstrahlung und der Neigungswinkel der Bildpixel auf die Oberflächentemperatur untersucht.

## 2 Datengrundlage

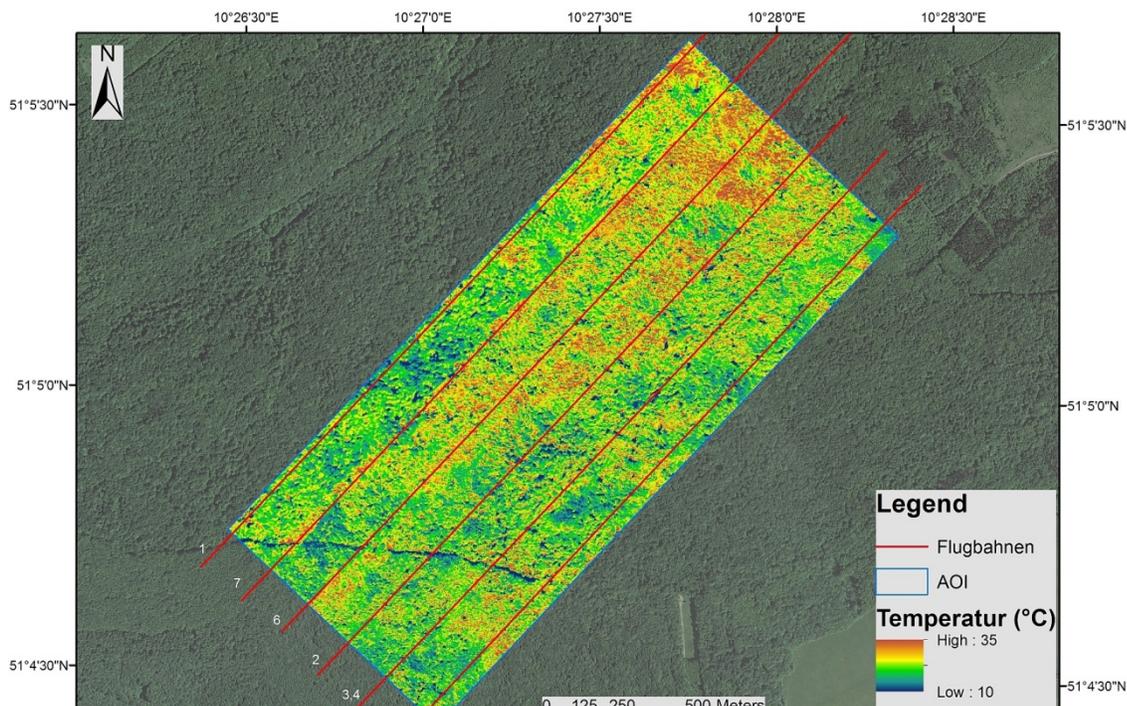


Abbildung 1: Thermalaufnahme des Untersuchungsgebiets mit Flugbahnen in der angeflogenen Reihenfolge

Das Untersuchungsgebiet (AOI) liegt im Nationalpark Hainich in Thüringen (51°5' N, 10°27' E) und hat eine Größe von etwa 2,25 km<sup>2</sup>. Der Nationalpark ist bekannt für seine Buchenwaldgesellschaften. Die Datengrundlage dieser Arbeit bildet ein digitales Ortholuftbild, ein digitales Oberflächenmodell (DSM), ein digitales Geländemodell (DTM) und ein Thermalbild. Das digitale multispektrale Luftbild beinhaltet drei Bänder des sichtbaren spektralen Bereichs und ein Band im nahen Infrarot (GSD 0,4m). Das Thermalbild, sowie die digitalen Höhenmodelle (DSM und DTM), wurden am 05.06.2013 zwischen 10:34 Uhr und 11:14 Uhr UTC in acht Flugbahnen mit Hilfe einer Thermo Vario Kamer und einem flugzeuggestützten Laserscanner (ALS) durch die Firma Milan Geoservice GmbH aufgenommen. Die Thermalaufnahmen haben bei einer Flughöhe von 600m eine Bodenauflösung von 0,5m. Aufgrund von terrestrischen Waldinventur-Aufnahmen im Hainich

stehen Informationen zur Baumart, Baumhöhe und Brusthöhendurchmesser (BHD) von vielen Bäumen im AOI zur Verfügung. Die Inventuraufnahmen erfolgten auf Stichprobenflächen.

### 3 Methoden

Die Datensätze werden zunächst mit **ArcGIS 10.0** bearbeitet und später mit der Statistiksoftware **R** analysiert.

#### 3.1 Datenaufbereitung

Die Rasterdatensätze werden zunächst auf das gleiche Koordinatensystem gebracht. Aufgrund der verschiedenen Aufnahmetechniken und Verfahren der Orthobildherstellung kommt es jedoch zu einem geometrischen Versatz zwischen den verschiedenen Datensätzen. Es wird ein Rahmen für das Untersuchungsgebiet erstellt auf den die Datensätze entsprechend zugeschnitten werden. Mit Hilfe des DSM wird die solare Einstrahlung (Watt pro Quadratmeter) für jedes Pixel berechnet. Die Intensität der Einstrahlung wird bestimmt von der Tageszeit, dem Datum und der Lage (Längen- und Breitengrad), da von diesen Parametern der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen abhängt. Zusätzlich ist Hangneigung und Exposition der Oberfläche entscheidend.

Die Rauigkeit der Kronenoberfläche kann einen Einfluss auf den Wind, auf die Lufttemperatur, sowie auf die Blatttemperatur haben. Unter anderem kann die Oberflächenrauigkeit über die geometrische Oberflächenstruktur berechnet werden. KLINKENBERG (1991), JENNESS (2004), RUSZKICZAY-RÜDIGER ET AL. (2009) und GROHMANN ET AL. (2011) haben hierzu Methoden entwickelt, die auf digitalen Oberflächenmodellen basieren und weitestgehend die Lage der Zelle oder der Zellneigung im Verhältnis zu ihrer Nachbarschaft betrachten.

Eine von der Autorin entwickelte Methode basiert auf der Höhenlage jeder einzelnen Zelle im Verhältnis zu seiner Nachbarschaft. Zunächst wird das DSM geglättet, wodurch verhindert wird, dass bereits geringe Höhenunterschiede zu einem hohen Rauigkeitsindex führen. Dann werden die Neigungswinkel der Zellen berechnet. Für jede Zelle wird eine Nachbarschaftsoperation der Variabilität durchgeführt, wobei jeweils 10 x 10 Zellen betrachtet werden. Je mehr verschiedene Neigungswinkel es in dieser Nachbarschaft gibt, desto rauer ist die Oberfläche.

Mit Hilfe einer Maximum-Likelihood-Klassifizierung werden alle Bereiche mit Nadelwald, sowie Schatten in den Baumkronen extrahiert. Zusätzlich werden die Baumhöhen berechnet. Es wird festgelegt, dass Bereiche mit Baumhöhen geringer als 5 m als Lücken im Kronendach betrachtet werden. Diese Lücken werden extrahiert und als eigene Rasterdatei gespeichert.

#### 3.2 Vergleich von Nadelwald und Laubwald

Im AOI befinden sich nur zwei Bereiche mit Nadelwald. Diese werden als Polygon nachgezogen und zusätzlich gleich große Polygone im Laubwald erstellt. Die Baumartenzusammensetzung ist in diesen Polygonen jedoch nicht bekannt. Nun wird das Thermalbild mit den Polygonen zu einer Maske verschnitten. Daraus werden Punkte in einer Vektor-Datei erstellt, wobei in jeder Zelle ein Flächenschwerpunkt entsteht. An diese Punkte werden die jeweiligen Werte aus den Rasterdaten der Sonneneinstrahlung, der Rauigkeit und des Zellenneigungswinkels angebunden.

### 3.3 Vergleich verschiedener Laubwaldgesellschaften

Für die Auswahl passender Laubbaum-Plots mit möglichst großer Dominanz einer einzigen Baumart in der Artenzusammensetzung wird anhand der Inventurdaten der Anteil jeder Art an der Grundfläche berechnet. Auf Grund der hohen Buchendominanz im AOI wird die Untersuchung für Hainbuche (*Carpinus betulus* L.), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) und Esche (*Fraxinus excelsior* L.) auf Plots mit möglichst hohen Mischungsanteilen beschränkt. Die Mischungsanteile für die ausgewählten Plots sind für *Carpinus* 37,8%, für *Acer* 80,3 % und für *Fraxinus* 82,8%. Zusätzlich wird ein Plot mit 100% Mischungsanteil Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) gewählt. Aus den selektierten Plots werden Polygone erstellt und wie mit den Nadel- und Laubwaldpolygonen verfahren.

### 3.4 Statistische Auswertung

Die erstellten Attributttabellen werden mit dem Statistikprogramm **R** ausgewertet. Es werden der Minimalwert, der Maximalwert und der Median aller Parameter für jeden Waldtyp berechnet. Um herauszufinden, ob die Oberflächentemperatur von einem anderen Parameter beeinflusst wird, werden Korrelationstests durchgeführt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Vergleich von Nadelwald und Laubwald

Die Temperaturen der Nadelbäume sind im Vergleich zu den Temperaturen im Laubwaldpolygon um 1,49 °C kühler. Die Amplitude der Nadelbäume ist um 6,85 °C kleiner als die der Laubbäume.

Mit 64,81 W m<sup>-2</sup> ist die solare Einstrahlung auf den Zellen des Nadelwaldplots wesentlich geringer als auf den Laubbäumen mit 91,27 W m<sup>-2</sup>.

Die Zellen im Nadelwaldpolygon sind mit 50,38° durchschnittlich steiler als im Laubwaldpolygon mit 36,54°.

In einer 10 x 10 Zellennachbarschaft befinden sich im Median im Nadelwaldpolygon 81 verschiedene Werte und im Laubwaldpolygon 66. Damit ist die Baumkronenoberfläche auf dem Nadelwaldplot höher.

### 4.2 Vergleich der Laubbaumbestände

Insgesamt ist die Temperatur auf der Kronenoberfläche des Buchen-Reinbestandes am höchsten. Im Median sind die Temperaturen im Bergahornpolygon am geringsten. Absolut kommen die kältesten Temperaturen jedoch auf der Esche vor. Die Hainbuche liegt mit ihren Temperaturen im Mittel. Die Amplituden sind wesentlich geringer als im unspezifischen Laubwaldpolygon.

Die mittleren solaren Einstrahlungen stimmen auf der Buche, der Esche und der Hainbuche fast überein. Auf dem Bergahorn ist sie am höchsten. Die größte Amplitude ist auf der Buche zu finden.

Die Neigungswinkel sind auf den Buchen-Plots am steilsten und auf der Eschen-Probefläche am flachsten. Sie sind noch flacher, als auf dem unspezifischen Laubwald-Plot.

Die Rauigkeit ist im Buchen-Plot am höchsten und im Hainbuchen-Plot am geringsten. Hainbuche, Esche und Bergahorn sind weniger rau als der unspezifische Laubwald.

### 4.3 Korrelationen

Es besteht eine mittlere lineare Korrelation zwischen der Temperatur und der solaren Einstrahlung. Die Rauigkeit und die Zellenneigungswinkel haben kaum einen Einfluss auf die Temperatur.

Die solare Einstrahlung ist mittelmäßig bis stark von den Neigungswinkeln abhängig, sie ist jedoch nicht von der Rauigkeit abhängig.

## 5 Diskussion

Ein Grund für die Unterschiede in den Kronentemperaturen kann die Kronenarchitektur sein. Durch die Wuchsform von Nadelbäumen entstehen an der Kronenoberseite Lücken, wodurch Nadelbäume windanfälliger sind und mehr Schattenwurf entsteht, was zu niedrigeren Temperaturen führen kann (LEUZINGER & KÖRNER, 2007).

Die dichte Baumkrone der Buche bedingt die hohen Oberflächentemperaturen. Die geringeren Temperaturen von Esche, Hainbuche und Bergahorn lassen sich nicht über die Dichte der Kronen erklären. Jedoch haben auch andere Faktoren wie Blattdicke, Aststellung und vor allem die Transpirationsleistung einen Einfluss. Diese kühlt die Blattoberseite (SCHULZE ET AL. 2002; LEUZINGER & KÖRNER, 2007).

Die baumartenspezifische Transpirationsleistung kann auch den Einfluss der solaren Einstrahlung und der Rauigkeit überdecken.

Die Abhängigkeit der solaren Einstrahlung wird durch das Lambertsche Gesetz erklärt, das den Zusammenhang zwischen Einfallswinkel der Strahlung und der eintreffenden Energie pro Quadratmeter erklärt (KÖPKE & SACHWEH, 2012).

### 5.1 Kritik und Ausblick

Problematisch ist die Aufnahmetechnik per Flugzeug, da die Zeitdauer des Fluges für einen Flugstreifen bereits zu verschiedenen Temperaturen an Anfang und Ende sowie zwischen den verschiedenen aufgenommenen Flugstreifen führt.

Aufgrund zu geringer geometrischer Auflösung der Thermaldaten kann keine Analyse einzelner Baumkronen erfolgen. Daher wäre es sinnvoll, weitere Untersuchungen mit einer höheren geometrischen Auflösung durchzuführen. Auch eine Untersuchung der auf die Temperatur einwirkenden Faktoren sollte einzeln erfolgen, da einige Faktoren die Temperatur so stark beeinflussen, dass die Einflüsse der anderen Parameter nicht gemessen werden können.

Für eine explorative und induktive statistische Auswertung sollte die hier durchgeführte Untersuchung an einem größerem Stichprobenumfang bevorzugt auf Probeflächen mit Reinbeständen durchgeführt werden. Zudem ist relevant, inwiefern die Temperatur auf die Biodiversität in den Kronen einwirkt.

## 6 Literaturverzeichnis

FLEMMING, G., 1994: Wald - Wetter - Klima: Einführung in die Forstmeteorologie.

3. Auflage, Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

GROHMANN, C. H., SMITH, M. J. & RICCOMINI, C., 2011: Multiscale analysis of

- topographic surface roughness in the midland valley, scotland. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **49**, S. 1200–1213.
- JENNESS, J. S., 2004: Calculating landscape surface area from digital elevation models. *Wildlife Society Bulletin*, **32**, S. 829–839.
- KLINKENBERG, B. , 1992: Fractals and morphometric measures: is there a relationship?, *Geomorphology*, **5**, S. 5–20.
- KÖPKE, P. & SACHWEH, M., 2012: *Satellitenmeteorologie*. Ulmer, Stuttgart.
- LEUZINGER, S. & KÖRNER, C., 2007: Tree species diversity affects canopy leaf temperatures in a mature temperate forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **146**, S. 29–37.
- LEUZINGER, S., VOGT, R., & KÖRNER, C., 2010: Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, **150**(1), S. 56 – 62.
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Z., FODOR, L., HORVÁTH, E. & TELBISZ, T., 2009: Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low hilly landscape: A dem-based morphotectonic analysis in the central pannonian basin, hungary. *Geomorphology*, **104**, S. 203 – 217.
- SABINS, F. F., 1996: *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, 3. Auflage, Freeman, New York.
- SCHULZE, E.-D., BECK, E. & MÜLLER-HOHENSTEIN, K., 2002: *Pflanzenökologie*. Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg.
- SZUJECKI, A., 1987: *Ecology of Forest Insects (Series entomologica)*, 26. Auflage, PWN - Polish Scientific Publishers, Warschau.