

2/2021



CRISIS PREVENTION

Das Fachmagazin für Gefahrenabwehr,
Innere Sicherheit und Katastrophenhilfe



INTERVIEW ARMIN SCHUSTER
Präsident BBK

INNERE SICHERHEIT:

Perimeterschutz
ZMZ & CBRN

FEUERWEHR & KATASTROPHENSCHUTZ:

Pandemie & KRITIS
Nuklearer Notfall

KOMMUNIKATION & INFORMATIONSTECHNIK:

Kommunikation & KRITIS
Digitalisierung

Die Schäden sind eine Belastung für die Bevölkerung, die lokale Industrie und die Bauern (Bild: PantherMedia / adam_r)



Hagelnavigator RO-BERTA für ein Hagelabwehrflugzeug in Kombination mit einem Niederschlagsmeldesystem für Süd-Oberbayern

Peter Zentgraf, Andreas Bernatzky, Ralf Hager, Martin. Heigl, Michaela Huber, Georg Vogl, Christopher Wolf, Adrian Zeitler

Der Kampf gegen Hagel hat in den Landkreisen Rosenheim, Miesbach und Traunstein eine lange Geschichte. Er begann in den 1930er Jahren mit Anti-Hagel-Raketen: Diese wurden in die Luft geschossen und verbreiteten winzig kleine Partikel aus Silberjodid; diese dienen als Kristallisationskeime, die die frühzeitig unterkühlten Wasserteilchen anziehen und so verhindern sollen, dass sie sich miteinander verbinden und schließlich als Hagel enden. Nicht nur in Rosenheim, sondern in ähnlicher Weise wird die Hagelabwehr in Stuttgart, in der Pfalz, an drei Orten in Österreich, in Kroatien, USA, Russland und China durchgeführt.

Hagelabwehr mit Flugzeugen wird im Raum Rosenheim seit 1975 durchgeführt. Auslöser war eine Änderung im Sprengstoffrecht, die die Lagerung der Raketen bei den über 100 Hagelschützen unmöglich machte. Nach einem der schwersten Hagelschäden 1974 wurde ab 1975 bis 1985 ein Flugzeug zur Hagelabwehr eingesetzt. Nachdem München im Jahr 1984 von extremen Hagelgewittern heimgesucht wurde, die Schäden von mehr als einer Milliarde Euro verursachten, wurde in Rosenheim ein zweites Hagelabwehrflugzeug eingeführt. Aber auch in Jahren mit "normalem Wetter" sind die Schäden eine Belastung für die Bevölkerung, die lokale Industrie und die Bauern. Inzwischen können zwei Flugzeuge aus Vogtareuth 10 km von der Stadt Rosenheim entfernt starten. Das Prinzip der Unterdrückung ist jedoch gleich-

geblieben: An den Tragflächenspitzen tragen zwei Behälter sogenannte Generatoren eine Mischung aus Aceton und Silberjodid. Wenn der Pilot sich nahe genug am Aufwindkanal einer Gewitterwolke befindet, wird das Gemisch in eine Brennkammer eingespritzt und gezündet. Dazu sucht der Pilot nach geeigneten Stellen. Das sind die Bereiche mit starken Aufwinden. Dann kann das Gemisch optimal verteilt werden. Allerdings ist es für die Piloten oft schwierig, die richtige Stelle in einer nebligen und unübersichtlichen Umgebung zu finden und dorthin zu navigieren. Und hier ist der Punkt, an dem der Hagelnavigator RO-BERTA hilft.

Durch das Projekt gelöste Probleme

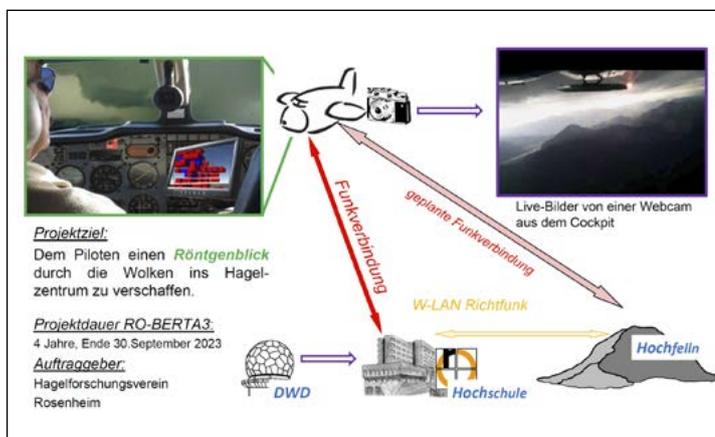
Der Deutsche Wetterdienst (DWD) tastet den Himmel mit einem Radar ab und erkennt aus der Höhe der Reflexion mögliche Hagelzentren. Die vom Radar erfassten Daten werden in sogenannte Echoklassen erfasst. Diese reichen von Stufe 1 bis 6 und stellen die Wahrscheinlichkeit dar, mit der sich in einer Wolke, Hagel bilden kann. Die Echoklasse 6 steht hierbei für eine Wolke, welche mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit Hagel enthält. Diese Daten stehen am Boden zur Verfügung und bilden zusammen mit Wettervorhersagemodellen die Grundlage für die Entscheidung, ob ein Hagelbekämpfungsflug stattfinden soll oder nicht. Sobald das Flugzeug vom Boden abhebt und in etwa 1 km Höhe fliegt, gibt es keine stabile mobile Datenkommunikation mehr,

um die Wetterinformationen zum Piloten zu transportieren. Dieses Problem wird gelöst, indem Wetterdaten vom Deutschen Wetterdienst alle 5 Minuten komprimiert und zeitnah zum Flugzeug gesendet werden. Im Cockpit werden die Daten auf einem elektronischen Display visualisiert. Die Position des Flugzeugs wird von einem GPS-Empfänger gemessen und dort ebenfalls angezeigt. Der Pilot weiß somit, wo er sich im Wolkenfeld befindet und kann nun seine Flugbahn unter Berücksichtigung der momentanen Wetterlage anpassen.

Die Entscheidung, ob der Flieger fliegt oder nicht, ist zeitkritisch: Je früher das Flugzeug abhebt, desto höher sind die Chancen, die Hagelentstehung zu verhindern. Die Genauigkeit der Vorhersagemodelle ist ein Schlüsselparameter für die richtige Entscheidung. Vorhersagemodelle hängen im Allgemeinen von den verfügbaren Messungen ab, um ihre Genauigkeit zu überprüfen oder zu verbessern. RO-BERTA ermöglicht es Smartphone-Benutzern und Computerbesitzern, als mobile Wetterstation zu fungieren: Die tatsächlich beobachtete Wettersituation kann durch eine App gemeldet werden. Der Wetterbericht der Nutzer wird zusammen mit den entsprechenden Zeit- und Ortsinformationen gesammelt. Diese Informationen werden als "Wettermessungen" dem DWD zur Analyse durch Meteorologen zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise können die Vorhersagemodelle verbessert werden, was im Gegenzug den Piloten hilft, da sie früher abheben können. Zusätzlich werden aus dem gleichen Grund während des Fluges sowohl meteorologische Daten (Druck, Temperatur, Feuchtigkeit) als auch Standortdaten (Position, Geschwindigkeit) aufgezeichnet. Die wichtigsten Merkmale von RO-BERTA sind die folgenden:

Merkmale a.)

Eine stabile Datenverbindung von der Hochschule zum Flugzeug auf zwei optionalen Wegen. Der erste Weg ist eine direkte Datenverbindung zum Flugzeug. Der zweite Weg führt von der Hochschule zum Gipfel des Hochfells (Entfernung 41 km) über eine gerichtete Hochgeschwindigkeits-WLAN-Verbindung und von dort zum Flugzeug. Diese Datenverbindung ist noch nicht vollständig implementiert und soll nach Plan für die Hagelsaison 2021/2022 einsatzbereit sein. Die zweite Verbindung soll ggf. die Reichweite vergrößern oder zum Testen an der Hochschule als Datensender dienen.



Datenströme zum Piloten des Hagelfliegers, dem die Wetterdaten im Hagelnavigator dargestellt werden. (Bild: Technische Hochschule Rosenheim)

Merkmale b.)

Es werden ein Bordcomputer und ein Servernetzwerk zur Verwaltung des Datenstroms benötigt. Der Bodencomputer und die

zugehörige Software komprimieren die Wetterinformationen und senden sie über ein gesichertes Protokoll in das Flugzeug. Die Radarmessungen werden entsprechend ihrer Echoklasse auf dem Monitor positionsgenau dargestellt. Das Flugzeug ist mit einer Vielzahl von Sensoren ausgerüstet, welche die Umgebungseinflüsse außerhalb des Flugzeugs misst (Druck, Temperatur, Feuchte ...). Die so erfassten Messdaten werden in einem gegen Vibration und Temperaturschwankungen robusten Gehäuse gesammelt und mit einer niedrigen Datenrate zu Boden gesendet.



Mit dem Hagelnavigator im Cockpit kann der Pilot seine Position - das mittige Kreuz - relativ zu den Echoklassen des Wolkenradars sehen, die durch gelbe, blaue und rote Farbfelder dargestellt sind. (Bild: Technische Hochschule Rosenheim)

Merkmale c.)

Eine leistungsfähiges Datenmanagement einschließlich einer MySQL-Datenbank am Boden, die alle notwendigen Daten jedes Hagelbekämpfungsfluges sammelt, einschließlich Flugweg, an Bord gemessene meteorologische und andere Daten, Radardaten vom DWD und Wetterbenachrichtigungen von Benutzern, die über eine standardmäßige mobile Datenverbindung empfangen werden. Der Webserver roberta.th-rosenheim.de ist das Frontend in der Kommunikation mit Benutzern und der RO-BERTA Hagelabwehr Handy App. Die Wetterdaten-Datenbank läuft auf einem sich an der Hochschule befindlichen Server. Dort werden neben den Flugzeugdaten Wetterdaten von verschiedenen anderen Messstationen gesammelt. Die beiden Server liegen in getrennten Sicherheitszonen (Demilitarisierte Zonen - DMZ) des Netzwerks und sind durch Firewalls geschützt.

Der Verarbeitung der Daten von und zu den Flugzeugen übernimmt der Anwendungsserver ATMOSagent. Dort werden Wetterdaten vom Deutschen Wetter Dienst - DWD) und Wettermeldern für das Display im Cockpit aufbereitet und Telemetrie- und Wetterdaten vom Flieger gesammelt, sowie die Livebilder aus dem Cockpit an den Webserver weitergeleitet.

Die RO-BERTA Hagelflieger Handy App, mit der User Wettermeldungen absetzen und den Liveflug der Hagelfliegers verfolgen können, greift über den Webserver auf die Telemetrie- und Wetterdaten zu.

Merkmale d.)

Eine frei verfügbare 3D-Simulation aller Daten auf einer Internetseite bzw. auf einer Smartphone-App, die es erlaubt, live den Flugweg des Flugzeugs, die Messungen an Bord und die Wettermeldungen der Nutzer am Boden innerhalb des Schutzgebietes zu beobachten. Die Wettermeldungen können bequem mit dem Smartphone über die speziell für RO-BERTA entwickelte App aus dem Google-Playstore oder dem Apple Store eingegeben werden.



Die Hagelabwehr unterstützende App hat eine Suchfunktion, kann die Spur des Hagelfliegers live anzeigen und ermöglicht es den Anwendern, orts- und zeitgenau Wettermeldungen abzusetzen und einen Überblick des realen Wettergeschehens live zu erhalten. (Bild: Technische Hochschule Rosenheim)

Durch die genannten Merkmale wird der dargestellte Datenkreislauf ermöglicht. Die Anwender melden das tatsächliche Wettergeschehen orts- und zeitgenau an die Hochschule. Die Informationen werden gesammelt und dem Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt. Der wiederum kann die Genauigkeit seiner Wetterprognosen anhand der „Messergebnisse“ verbessern. Durch die verbesserte Wettervorhersage können die Piloten früher gewarnt werden, so dass ihr Einsatz mit höherer Wahrscheinlichkeit von Erfolg gekrönt ist. Für dieses Konzept gewann das RO-BERTA Team 2014 den „Special Price“ des „European Satellite Navigation Competition“ (ESNC) von 54 teilnehmenden Universitäten und Instituten aus drei Kontinenten (Afrika, Europa, Asien).

Die Erfahrungen der Piloten mit dem Hagelnavigator

In den letzten Jahrzehnten wurde die Beobachtung und Vorhersage von Gewittern durch eine stetige Verbesserung der Radartechnik optimiert. Waren vor 40 Jahren nur grüncuckende Signale auf einem kreisrunden schwarzen Radarbildschirm für wenige Meteorologen interpretierbar, so gibt es heute fast in Echtzeit anschauliche und verständliche Darstellungen der Gewitterabläufe bei einer Aktualisierungsrate von wenigen Minuten. Allerdings, und da kommt der Hagelnavigator ins Spiel, gibt es diese Informationen nur dort, wo auch ein entsprechender Internetempfang möglich ist. Dies ist ohne hohen technischen und finanziellen Aufwand bislang nicht möglich gewesen. Der Pilot war damit ab dem Startzeitpunkt auf seine oftmals trügerischen visuellen Eindrücke der Wolkenbildung und -veränderung angewiesen. Daher war es einer der Hauptpunkte der Zusammenarbeit zwischen den Piloten und der Hochschule, die vom Radar gemessene Gewittersituation möglichst ohne zeitliche Verzögerung in einer schnell erfassbaren und verständlichen Darstellung in das Cockpit zu liefern. Gleichzeitig sollte aber auch die Position des Flugzeuges in Relation zu den höchsten Radarintensitäten erkennbar sein und auf Tastendruck verschiedene Darstellungen (Zoom) möglich sein. Als Grundkarte sollte eine VFR-Flugkarte mit allen relevanten flugsicherungsrechtlichen Details dienen und im Rahmen der Gewitterdarstellung sollten keine Informationen verloren oder überblendet werden. Die Anzeigen müssen bei unterschiedlichsten Lichtverhältnissen für den Piloten ablesbar sein. Im Laufe der Zeit konnten alle Anforderungen in das System integriert werden und jede Evolutionsstufe hat das Produkt ver-

bessert. Der Hagelnavigator 2020 hat sich in seiner aktuellen Version zu einem unverzichtbaren Produkt für die Einsatz- und Impfentscheidung entwickelt. Die Piloten freuen sich, dass ab der Saison 2021 auch das zweite Flugzeug mit diesem System ausgerüstet ist.

Ansatz zur Beurteilung der Wirksamkeit der Hagelabwehr

In einer Masterarbeit wurde u. a. ein möglicher Zusammenhang zwischen Flugweg des Hagelfliegers und den oben erwähnten Echoklassen untersucht. Basierend auf der räumlichen Lage und der Intensität der Gewitterwolken wurde die Auswirkung von Hagelabwehrflügen auf diese untersucht und in einer Trendkennzahl β dargestellt: Ist sie positiv, gab es in der Gewitterzelle eine Zunahme der jeweiligen Echoklasse, ist sie negativ gab es eine Abnahme. Pro Flug wurden drei Trendzahlen errechnet, jeweils für die Phase vor, während und nach dem Flug. In den meisten Phasen ist die Trendkennzahl β während des Fluges kleiner als vor dem Flug und auch kleiner als nach dem Flug. Das ist ein Hinweis darauf, dass die Hagelabwehr die Gewitterzellen wie gewünscht beeinflusst.

Mit dem Projekt RO-BERTA wird ein innovativer Ansatz umgesetzt, den Piloten der Hagelabwehrflugzeuge die Arbeit zu erleichtern und die Wirksamkeit ihrer Arbeit messbar zu verbessern. 

Die Literatur liegt bei den Verfassern.



Prof. Dr.-Ing. Peter Zentgraf
Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstraße 1
83024 Rosenheim
Tel.: + 49 (0) 8031 805 - 2660
E-Mail: peter.zentgraf@th-rosenheim.de

Andreas Bernatzky
Technische Hochschule Rosenheim

Ralf Hager
Technische Hochschule Rosenheim

Ralf Hager
Technische Hochschule Rosenheim

Martin. Heigl
Technische Hochschule Rosenheim

Michaela Huber
Technische Hochschule Rosenheim

Georg Vogl
Landratsamt Rosenheim
Wittelsbacherstraße 53
83022 Rosenheim

Christopher Wolf
Software-Entwicklung
Sudetenlandstr. 40
83024 Rosenheim

Adrian Zeitler
Technische Hochschule Rosenheim