

Zustandsanalyse von Fernwärmenetzen

Einsatz luftgestützter Thermografie

Mit der luftgestützten Thermografie kann eine flächendeckende Bewertung von Fernwärmenetzen sowie die Erfassung und Differenzierung aller Schwachstellen in den Netzen erfolgen. Dies bildet die Grundlage für eine umfassende Zustandsanalyse und für die effiziente Sanierungs- und Inspektionsplanung. Die Autoren beschreiben die Rahmenbedingungen und den Ablauf zur Erstellung von Thermalkarten. Wesentliche Voraussetzungen für eine aussagefähige Interpretation der Daten ist die Qualität der Informationen über das Fernwärmeversorgungsnetz.

Das Know-how der luftgestützten Thermal-Infrarot-Fernerkundung (TIR) hat sich die Geschäftsführung der Scandat GmbH, Berlin, durch jahrelange Tätigkeiten in Raumfahrtforschungsinstituten bei der Entwicklung und dem Bau von Fernerkundungssensoren erworben. Durch stetige Forschung an den Sensoren und den Einsatzmodi werden permanent Innovationen für die Versorgungsunternehmen entwickelt. Hierdurch konnten Dienstleistungen auf höchstem Niveau entwickelt werden, die für die Thermalkartierung verschiedener Medientransportleitungen zum Einsatz gelangen.

Allgemeine Anwendungsprinzipien der Thermografie

Auf Basis routinemäßiger Inspektionen von zugänglichen Bereichen der Fernwärmeleitungen mit Wärmebildkameras ist nur eine subjek-

tive und punktuelle Sichtinspektion möglich. Der Gesamtzustand eines Wärmeversorgungsnetzes kann damit nur bedingt beurteilt werden.

Durch die luftgestützte Bestandsanalyse von komplexen Fernwärmenetzen mit IR-Sensoren werden in kurzer Messzeit und unter identischen, zuvor definierten Messbedingungen Bilddaten mit hoher geometrischer und thermischer Auflösung erzeugt. Diese Aufnahme-strategie ermöglicht die vergleichende Analyse aller Leitungen im erfassten Versorgungsgebiet. Das vorrangige Ziel der Untersuchung ist nicht die Ortung einzelner Leckagen sondern die flächendeckende Bewertung aller Netzteile und die Erfassung sowie Differenzierung aller Schwachstellen. Somit können mit dieser Methode die vorhandenen finanziellen Mittel zur Schadensbehebung auf die Schadensschwerpunkte im Netz konzentriert werden und/oder Ausführungsprotokolle zur Überprüfung von Trassenabschnitten nach erfolgter Sanierung oder Neuverlegung erstellt werden. Damit dient die Zustandsanalyse als objektive Entschei-



Dipl.-Ing. Hans-Jörg Krickau (li) ist Geschäftsführer und Ch. Schönfeldt ist Mitarbeiter der Scandat Gesellschaft für Innovative Fernerkundungstechnologien mbH, Berlin.

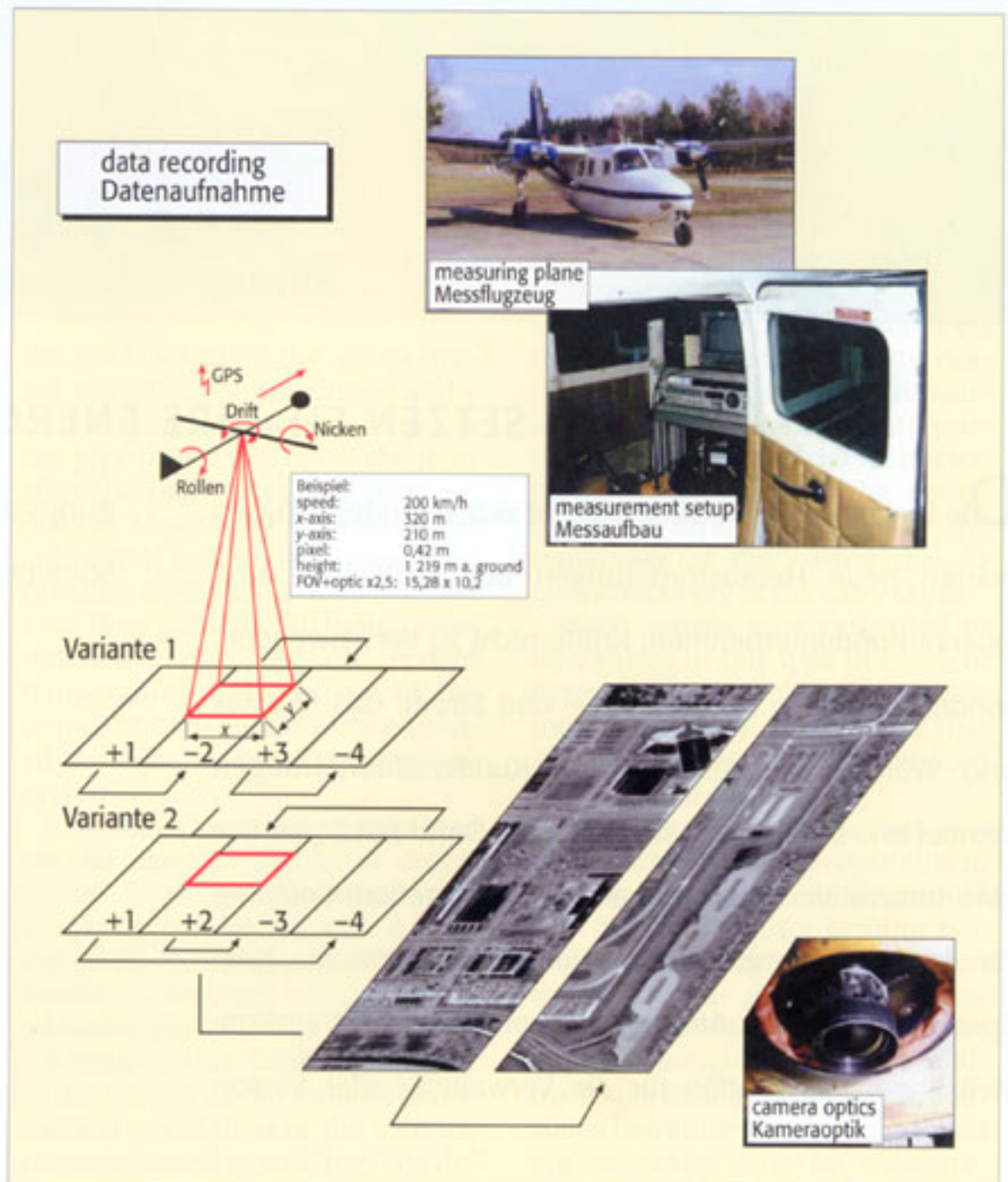


Figure 1. Technology overview »aerial thermal imaging«
Bild 1. Technologieübersicht »luftgestützte Thermografie«

derungshilfe für die Sanierungs- und Inspektionsplanung. Weiterhin ist die Kenntnis über den allgemeinen wärmetechnischen Zustand der versorgten Bebauung (insbesondere der Dachflächen) ein zusätzliches Kriterium für eine Einsatzentscheidung der Inspektionsmethode.

Technologie

Die luftgestützte Inspektion von Fernwärmeleitungsnetzen ist technologisch gesehen eine Adaptierung von Weltraumtechnologien auf den erdnahen Einsatzbereich. Dabei werden großflächig kommunale Ballungsgebiete eingescannt und mit den erfassten Bilddaten thematisch dokumentiert (kartiert). Für die Bestandsanalyse von Fernwärmeleitungen und anderen Medientransportsystemen wird ein hochauflösender TIR-Sensor mit einem Spektralbereich von 8 bis 14 mm eingesetzt. Die Vorteile der erdnahen Fernerkundung gegenüber im Weltraum stationierten Satelliten lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- es ist eine sehr geringe atmosphärische Störschicht zwischen Sensor und Untersuchungsobjekt vorhanden,
- eine sehr hohe räumliche Pixelauflösung und daher eine sehr gute Interpretierbarkeit der Daten ist möglich,
- eine exakte Differenzierung der Strahlungsquellen und der Mängel an den Leitungen kann erfolgen.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Bearbeitungsschritte und Technologien dargestellt, die für die Erstellung von Thermalkarten und digitalen Endprodukten notwendig sind (Bild 1).

Erfassung des Projektgebietes und Flugvorbereitung

Zur Projektkonzipierung (Ermittlung der Flugkosten und die Koordinierung der Flugtrassen im Zielgebiet) ist als erster Schritt die Übergabe eines Netzbestandsplanes an die Scandat GmbH erforderlich. Die kostengünstigste Flugtrassenführung wird computergestützt ermittelt und bildet die Grundlage für die Erstellung eines Kostenangebotes. Für die Projektrealisierung dienen diese Trassendaten als Navigationsdaten für die GPS-gestützte Flugführung. Nur durch die Nutzung der empfangenen Satelliten-

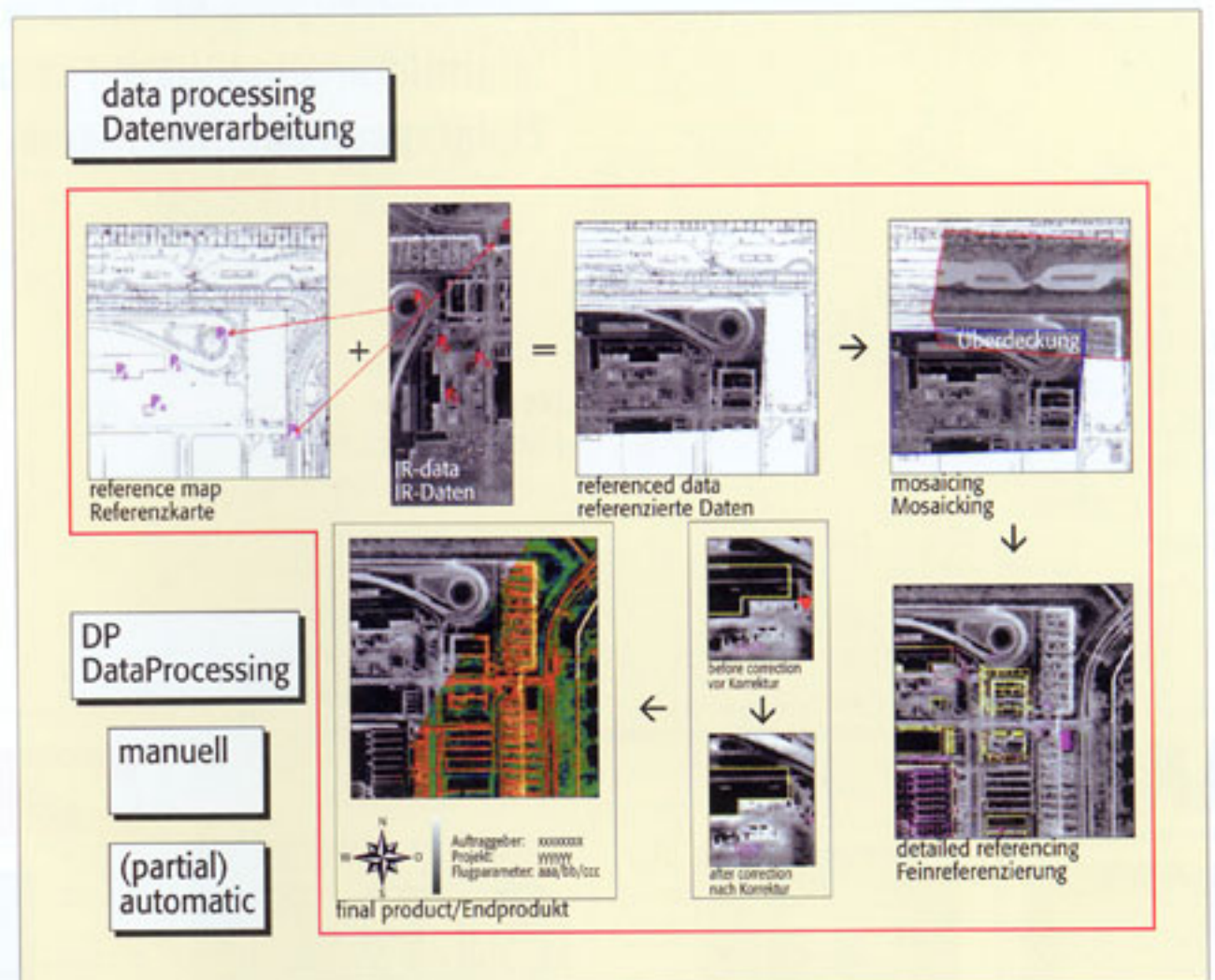


Figure 2. Conversion of the analogue TIR imaging data into thermal maps
Bild 2. Erstellung der Thermalkarten aus den analogen Aufzeichnungsdaten

daten kann die flächendeckende Datenerfassung bei Nacht sicher gestellt werden. Zu der Flugvorbereitung gehört auch die permanente Wetterbeobachtung im Fluggebiet, um den Flug bei optimalen Aufnahmebedingungen durchführen zu können.

Der Aufnahmeflug erfolgt nur unter den nachstehenden Flugbedingungen:

- Wetterverhältnisse, mit trockenem Boden und ohne Inversionsschichten in Bodennähe,
- einer Wetterlage, mit konstanten Temperaturen unter 5 °C und Windstille, bzw. annähernder Windstille,
- Flugbeginn rd. 3 bis 4 Stunden nach Sonnenuntergang, um konstante Temperaturen zu erhalten und Fehlinterpretationen durch Strahlungsexpositionen zu vermeiden.

Bei entsprechender Witterung werden kurzfristig alle Flugvorbereitungen und der Flug selbst in Abstimmung mit dem Auftraggeber durchgeführt.

Datenaufbereitung nach dem Aufnahmeflug

Der erste Arbeitsschritt nach dem Flug beinhaltet die Wandlung der analog aufgezeichneten TIR-Bilddaten in digitale Daten. In den folgenden Bearbeitungsschritten werden aus den Rohdaten die Thermalkarten (Bild 2) erstellt:

- Erstellung von Einzelbildern (25 Einzelbilder/Sec) und zusammenhängenden Bildsequenzen,
- Definition und Korrektur von Bildfehlern,
- Georeferenzierung der Bildsequenzen (Anbindung an das lokale Koordinatensystem),
- Zusammensetzen der Bildsequenzen zu zusammenhängenden Teilbildern (Mosaicing),
- Rektifizierung (räumliche Entzerrung) und Feingeoreferenzierung,
- Zusammensetzen der einzelnen Teilbilder zu einem Gesamtbild,
- Kachelung des Gesamtbildes zu einzelnen Thermalkarten auf der Basis der Kundennomenklatur,
- Einarbeitung von Kartenrandangaben (Koordinaten) und technischen Informationen (Farbkeil, Flugdaten usw.),
- Erstellung der digitalen Datenfiles auf CD-Rom zur GIS-Integration und Ausdruck der maßstabsgerechten Kartierungen.

Parallel zu der digitalen Datenverarbeitung erfolgt eine Reduktion der Datenmenge der digitalen Bilddaten, da von der dreifachen räumlichen Abdeckung des Projektgebietes nur die optimalen Bildausschnitte (die stärker verzerrten Randabschnitte bleiben unberücksichtigt) benötigt werden und durch Flugbewegungen zu stark verzerrten Bildsequenzen ausgesondert werden. Zudem wird bereits bei der

Datenaufbereitung darauf geachtet, dass nur fehlerfreie Daten (grafisch einwandfreie Daten) für die Karten verwendet werden. Ferner müssen die geografischen Koordinaten der Luftfahrzeuge mit den lokalen Landeskoordinaten des GPS (Global Positioning System) synchronisiert und transformiert werden, damit die Georeferenzierung erfolgreich und fehlerfrei durchgeführt werden kann.

Die Thermalkarten werden in 2 Ausführungsarten erstellt. Variante 1 ist die Graustufendarstellung mit einer Auflösung von 256 Graustufen. Als Variante 2 wird die farbcoodierte Ausfertigung angeboten. Zur Interpretation der Bilddaten sollte vorzugsweise die Variante 1 verwendet werden, da das menschliche Auge Grauabstufungen besser wahrnehmen und differenzieren kann.

Interpretation der Thermaldaten

An die Erstellung der analogen und digitalen Thermalkartierungen schließt sich die Interpretation der IR-Bilddaten (Bild 3 und 4) und Datendokumentation, in Form eines Auswertebereichs, an. Die Qualität der Interpretation der Thermaldaten ist direkt abhängig von den Informationen über das Fernwärmeversorgungsnetz (Temperatur, Dimension, Verlegeart, Verlegetiefe usw.), die vom Auftraggeber für die Auswertung zur Verfügung gestellt werden. Ohne entsprechende Parameterinformationen ist lediglich eine allgemeine physikalisch-thermodynamische Interpretation möglich. Bei der Interpretation werden systematisch alle optisch erkennbaren Anomalien in drei Schadensklassen eingeordnet. Es sind auch alle verfügbaren lokalen Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen, um eine zutreffende Klassifizierung durchzuführen. Die Schäden werden in die drei Klassen leicht, mittel und stark auffällige Thermalanomalien eingeteilt.

Sekundär werden die flächendeckenden Thermalinformationen zur wärmetechnischen Bewertung von Abnehmerimmobilien oder Industrieansiedlungen genutzt. In vielen Fällen stellen die Versorgungsunternehmen bei entsprechendem Bedarf ihren Wärmeabnehmern Thermalbilddaten selbstständig zur Verfügung. Besteht beim EVU hierfür keine entsprechende EDV-Plattform, kann diese Dienstleistung auch durch die Scandat GmbH erbracht werden.



Figure 3. Colour-coded thermal map

Bild 3. Farbcoodierte Thermalkarte



Figure 4. The grey scale thermal map should preferably be used to interpret the imaging data (resolution: 256 grey scales)

Bild 4. Die Interpretation der IR-Bilddaten erfolgt bevorzugt mit der Graustufendarstellung (Auflösung: 256 Graustufen)

Zusammenfassung

Die luftgestützte Inspektion von Fernwärmenetzen unter Einsatz der Infrarottechnik (luftgestützte Thermografie) ist in den letzten Jahren zu einem festen Bestandteil in der Palette der mobilen Leckortungsverfahren gereift. Durch stetig wachsende Kundenanforderungen und die Forschungsarbeit im eigenen Unternehmen wird die Methodik kontinuierlich weiterentwickelt. Durch die enge Zusammenarbeit der Versorgungsunternehmen mit dem Dienstleister Scandat GmbH können Qualität und Detektionssicherheit weiter verbessert und eine zielgerichtete Anwendung gewährleistet werden.

Eines der Ziele der neugegründeten AGFW-Arbeitsgruppe »Thermografie« ist die Optimierung dieser Technologie. Ziel ist es dabei, die Aussagekraft der Thermografie für die Kunden zu erhöhen, die Ergebnissicherheit zu steigern und den Know-how-Transfer sicherzustellen. Zur Realisierung des Vorhabens wurde ein Forschungsantrag in Zusammenarbeit mit dem Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e.V. formuliert und bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V. (AiF) eingereicht. Ziel dieses Forschungsprojektes ist die wissenschaftliche Analyse von Störgrößen und Einflussparametern auf die Abbildungseigenschaften von thermischen Anomalien an Fernwärmeleitungen verschiedenster Verlegekonstruktionen. ■

Summary of the report

The Use of aerial Thermal Imaging to analyse District Heating Networks

Only subjective, local visual inspection of accessible areas of district heating pipes is possible when using thermal imaging cameras for routine inspections. Only a conditional assessment can therefore be made of the general condition of a district heating network. Imaging data with high geometrical and thermal resolution is generated by aerial surveying of complex district heating networks with infra-red sensors, in a short time and under identical, previously-defined conditions of measurement. This imaging strategy permits the comparative analysis of all the pipes in the supply area covered. The prime objective of the trial is not the location of individual leaks, but the comprehensive assessment of all parts of the network and the logging and classification of all weaknesses. Condition analysis thus serves as an objective aid to decision-making in planning restoration and inspections.

Aerial inspection of district heating pipe networks involves the comprehensive scanning of local conurbations and their documentation (mapping). A high-resolu-

tion TIR sensor with a spectral range of 8 to 14 mm is used for surveying district heating pipes and other media transport systems.

The route data provided by the utilities is being used as data for GPS-assisted air navigation. Comprehensive data acquisition at night can only be ensured by using the satellite data received.

After the flight, the first stage is to convert the analogue TIR imaging data recorded into digital data and correct it. Two versions of the thermal maps generated from the imaging data are produced. Version 1 is on a grey scale with a resolution of 256 shades. Version 2 is colour-coded. Version 1 should preferably be used to interpret the imaging data, as the human eye can better perceive and differentiate grey scales. Interpretation of the IR imaging data (*figure 3 and 4*) and data documentation, in the form of an analysis report, follow the production of analogue and digital mapping. The quality of interpretation of thermal data is directly dependent on the information on the district heating network (temperature, dimensions, type and depth of laying, etc) provided by the client for analysis. Only general physical and thermodynamic interpretation is possible in the absence of appropriate information on the parameters. ■