

# Thermische Prospektion bei Bewuchs

von Ulrich Kiesow (archaeoflug)

## Abstrakt

*Im Sommer 2005 führte archaeoflug eine Befliegungsreihe durch, mit dem Ziel, eine **neue archäologische Prospektionsmethode** auf ihre Einsatzmöglichkeiten zu prüfen. Dazu wurden potentielle negative Bewuchsmerkmale mit einer Wärmebildkamera aufgenommen und ausgewertet. Die Befliegungsreihe bestätigte die Annahme des Autors, dass mit der Entwicklung eines klassischen negativen Bewuchsmerkmals eine Erwärmung der betroffenen Pflanzenbereiche einher geht. Damit ist es archaeoflug gelungen die Existenz von „**warmen Bewuchsmerkmalen**“ zu **beweisen**, die sich vor und während der Entstehung eines klassischen negativen Bewuchsmerkmals zeigen. Der folgende Artikel erläutert die Methode der thermischen Prospektion als Ergänzung zur klassischen Luftbildarchäologie.*

Inhalt	Seite
I. Untersuchung thermischer Merkmale.....	2
a. Bewuchsloser Boden	
b. Kalte Bewuchsmerkmale	
c. Warme Bewuchsmerkmale	
II. Entstehung und Eigenschaften warmer Bewuchsmerkmale.....	3
a. Entstehung	
b. Eigenschaften	
III. Anwendungspotential der Methode.....	5
a. Vergrößerung des Prospektionszeitfensters	
b. Auffinden neuer Bodendenkmäler	
IV. Prospektionstechnik.....	6
a. Befliegungstechniken	
b. Kameratechnik	
c. Dokumentationstechnik	
V. Befliegungskampagne 2005.....	7
a. Untersuchungsziele	
b. Untersuchungsobjekt	
c. Untersuchungsablauf	
d. Meteorologische Bedingungen	
e. Dokumentation	
VI. Ergebnisse.....	19
a. Nachweis der Existenz warmer Bewuchsmerkmale	
b. Vergleich mit dem klassischen Bewuchsmerkmal	
c. Analyse der meteorologischen Bedingungen	
d. Analyse der befliegungszeitlichen Einflüsse	
VII. Ausblick.....	22

## I. Untersuchung thermischer Bewuchsmerkmale

### a. Bewuchsloser Boden

Bisher wurden thermische Prospektionen überwiegend auf *bewuchslosem Boden* durchgeführt. Da das Erdreich stark verzögert reagiert, sind lange meteorologische Erwärmungs- oder Abkühlungsphasen notwendig. Die messbaren Temperaturunterschiede sind dabei gering. Mittelalterliche Feldbegrenzungen, Graben- und Wallstrukturen konnten thermisch dokumentiert werden<sup>1</sup>. Detaillierte Gebäudestrukturen konnten bisher nicht thermisch dargestellt werden.

### b. Kalte Bewuchsmerkmale

Irwin Scollar<sup>1</sup> weist in seinen Forschungen auf weitere Möglichkeiten der thermischen Prospektion hin. Er beschreibt *kalte Bewuchsmerkmale* von quadratischen Wallanlagen prähistorischen Ursprungs, also potentielle *positive Bewuchsmerkmale*. Als Ursache vermutet er eine Zunahme der Wasserverdunstung (Evapotranspiration) während der Wachstumsphase.

### c. Warme Bewuchsmerkmale

Dagegen wurden potentielle *negative Bewuchsmerkmale* bisher nicht untersucht.

archaeoflug geht davon aus, dass potentielle negative Bewuchsmerkmale zu *warmen Bewuchsmerkmalen* führen. Als Ursache vermutet archaeoflug eine Abnahme der Wasserverdunstung (Evapotranspiration) und folglich eine Erwärmung der Pflanze während der Wachstumsphase.

## II. Entstehung und Eigenschaften warmer Bewuchsmerkmale

### a. Entstehung

Pflanzen regeln ihre Eigentemperatur durch Wasserverdunstung. Liegt Wassermangel vor, führt dies zu einer eingeschränkten Wasserverdunstung. Wird der Pflanze von außen Wärme zugeführt (Sonnenstrahlung, steigende Lufttemperatur), so ist sie bei Wassermangel nicht mehr in der Lage, diese Temperaturerhöhung durch Verdunstung auszugleichen. Ihre Eigentemperatur steigt an. Es entsteht ein warmes Bewuchsmerkmal.

Drei Entwicklungsstufen warmer Bewuchsmerkmale sind möglich.

1. Bei beginnendem Wassermangel steigt die Eigentemperatur an. Es entsteht ein warmes Bewuchsmerkmal 1. Ordnung. Mit bloßem Auge ist noch kein klassisches Bewuchsmerkmal erkennbar. (Abb. 1)

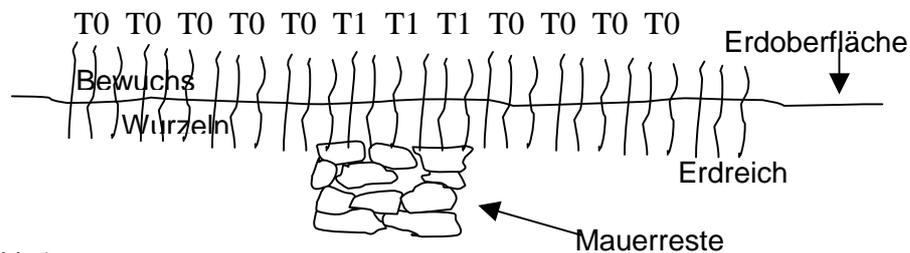


Abb.1  
Beginnender Wassermangel, steigende Temperatur, Bewuchsmerkmal 1. Ordnung

2. Dauert der Wassermangel an, so wird das Merkmal nur bei grünem Bewuchs auch mit bloßem Auge als hellbraune Aufhellung sichtbar. Es entsteht ein flüchtiges klassisches Bewuchsmerkmal und warmes Bewuchsmerkmal 2. Ordnung (Abb. 2)

Im reiferen, braunerem Zustand ist diese Aufhellung mit dem Auge nicht mehr wahrnehmbar jedoch weiterhin thermisch sichtbar.

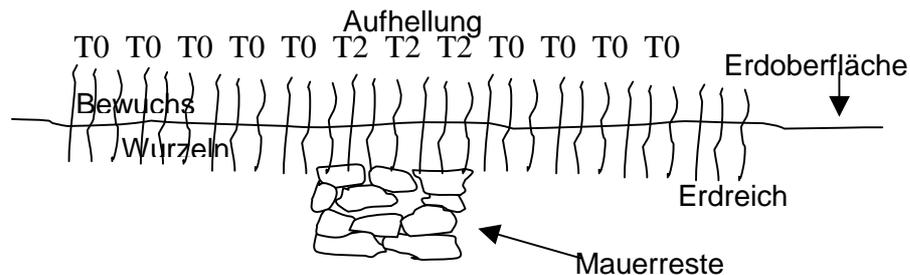


Abb.2  
Andauernder Wassermangel, steigende Temperatur, Bewuchsmerkmal 2. Ordnung

3. Dauert der Wassermangel weiter an so wird das flüchtige klassische Bewuchsmerkmal durch Notreife oder Verdörren beständig. Es entsteht ein warmes Bewuchsmerkmal 3. Ordnung (Abb. 3)

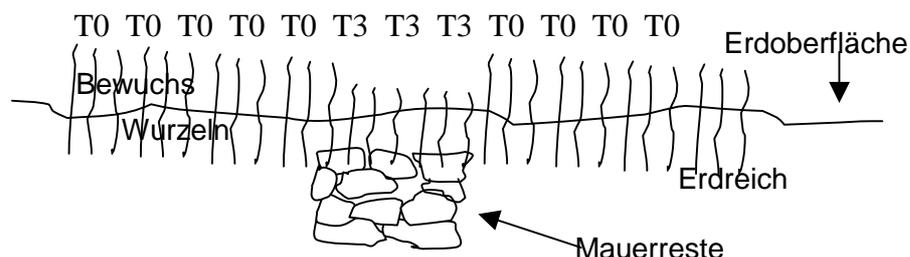


Abb.3  
Andauernder Wassermangel, steigende Temperatur, Notreife/Verdörren  
Bewuchsmerkmal 3. Ordnung

Bei voller Reife findet keine Verdunstung mehr statt. Temperaturunterschiede können nur durch Beschattung entstehen.  
 Die Entwicklungsstufen 1 und 2 sind bei Rückgang der Trockenheit reversibel.  
 Nachfolgend sind die Zusammenhänge tabellarisch wiedergegeben.

Wassermangel	Temperaturanstieg	Optische Wahrnehmbarkeit	Reversibel	Klassisch prospektierbar	Thermisch prospektierbar	Einstufung als warmes Bewuchsmerkmal
klein	ja	Keine sichtbaren Veränderungen	ja	Nein	Ja	1.Ordnung
mittel	ja	Aufhellung nur im grünen Bewuchs sichtbar	ja	kurzzeitig	Ja	2.Ordnung
groß	ja	Frühreife oder Verdorren	nein	ja	ja	3.Ordnung

Tab.1 Einstufung warmer Bewuchsmerkmale

#### b. Eigenschaften

Warme Bewuchsmerkmale entstehen abhängig von der ihnen zugeführten Wärme. Sie sind somit flüchtig oder wiederkehrend. Ausreichenden Wassermangel vorausgesetzt genügen kurze Erwärmungsphasen, um die Pflanzentemperatur signifikant ansteigen zu lassen.

Die messbaren Temperaturunterschiede betragen dabei bis zu ca. 2,5° Celsius.

Damit lassen sich Details von Gebäudestrukturen darstellen.

Niedrige Luftfeuchtigkeit fördert die Verdunstung und wirkt verstärkend. Starke Luftbewegung führt zu einem größeren Wärmeabtransport und hat eine abschwächende Wirkung.

*Da kurzzeitiger Wassermangel häufiger auftritt als lang andauernder, treten warme Bewuchsmerkmale häufiger auf als klassische.*

### III. Anwendungspotential der Methode

#### a. Vergrößerung des Prospektionszeitfensters

Warme Bewuchsmerkmale treten vor und mit dem Erscheinen der klassischen Bewuchsmerkmale auf. Dadurch erhöht sich die Dauer der Prospektierbarkeit eines Bodendenkmals. Bodendenkmäler können *innerhalb eines größeren Zeitfensters* prospektiert werden.

#### b. Auffinden neuer Bodendenkmäler

Durch thermische Prospektion kann ein Bodendenkmal, das aus meteorologischen Gründen (nur kurzzeitige Trockenheit) nicht als klassisches Bewuchsmerkmal erkannt werden kann, als warmes Bewuchsmerkmal 1.Ordnung dokumentiert werden. Die Methode erlaubt es somit, neue, unbekannte Bodendenkmäler aufzuspüren und erstmalig zu prospektieren.

## IV. Prospektionstechnik

### a. Kameratechnik

Die eingesetzte Kamera AGEMA Thermovision 400 wiegt ca. 6 kg, besitzt die Größe einer Fernsehkamera und erzeugt ein Bild mit einer Auflösung von 140x140 Bildpunkten. Es kommt ein Teleobjektiv mit einem Erfassungswinkel von 7° zum Einsatz. Im Motordrachen wird sie vom hinten sitzenden Passagier zur Seite hin bedient. Schräge bis fast senkrechte Aufnahmen sind möglich. Neuere Kameramodelle liefern eine Auflösung von 320x240 Bildpunkten, sind kleiner und leichter. Eine Ein-Mann-Prospektion durch den Piloten ist wegen der geringen Auflösung und der kontinuierlich notwendigen Nachregelung der Kamera zur Zeit nicht vorstellbar.

### b. Dokumentationstechnik

Das von der Wärmebildkamera erzeugte Bild wird mittels eines digitalen Videorecorders als Videodatei aufgezeichnet. Den aufgezeichneten Videos können bei der Auswertung am Boden nachbearbeitbare Standbilder entnommen werden.

Zusätzlich können 70 Einzelbilder auf einem eingebauten 3 1/2 Zoll Diskettenlaufwerk abgespeichert und am Boden thermisch analysiert werden. Bei der Bildinterpretation gilt wie bei der klassischen Luftbildprospektion: Im Zweifelsfall handelt es sich nicht um ein Bodendenkmal.

### c. Befliegungstechnik

#### Gezielte Befliegung

Das Absuchen der Erdoberfläche aus der Luft erfolgt bei der thermischen Prospektion am Kamerabildschirm oder Okular.

Beobachtet wird das aktuell von der Kamera erzeugte Bild. Diese Beobachtungsmöglichkeit eignet sich für gezielte Befliegungen bekannter Bodendenkmäler und siedlungsverdächtiger Fundplätze.

Wegen der geringen Kameraauflösung sind niedrige Flughöhen einzuhalten. Typischerweise wird die in Frage kommende Stelle mehrmals mit abnehmender Höhe umkreist. Hierdurch kann Sonnenreflexion von Wärmestrahlung besser unterschieden werden. Mit abnehmender Flughöhe steigt die Detailgenauigkeit.

Zum Anvisieren der Prospektionsstelle sind natürliche oder künstliche Orientierungshilfen im Gelände vorteilhaft. Leichte und wendige Fluggeräte sind vorzuziehen.

#### Ungezielte Befliegung

Ein großflächig umherschweifendes Absuchen der Erdoberfläche zur Auffindung neuer Bodendenkmäler wie bei der klassischen Luftbildprospektion ist zur Zeit nicht möglich. Dies ist nur mittels einer systematischen Rasterbefliegung mit anschließender Bildauswertung zu erreichen.

Hierfür ist wegen der größeren Flughöhe eine Kamera mit hoher Auflösung einzusetzen.

Entwicklungsziel könnte eine Kombination aus Helmkamera und Videobrille sein.

## V. Befliegungskampagne 2005

### a. Untersuchungsziele

Ziele der Untersuchung warmer Bewuchsmerkmale waren:

- der Nachweis ihrer Existenz
- der Vergleich mit dem klassischen Bewuchsmerkmal
- die Analyse der meteorologischen Einflüsse

### b. Untersuchungsobjekt

Als Untersuchungsobjekt wurde eine Villa Rustica gewählt. Das Objekt wurde in den 60er Jahren zum Teil ausgegraben, dokumentiert und wieder als Ackerfläche bereitgestellt. (Abb.5)

Seit 2003 existieren Luftbilder von archaeoflug, die den bereits ergrabenen Teil der Villa darstellen. (Abb.6)

Der bereits bekannte Teil bietet die Möglichkeit, die thermografischen Ergebnisse durch Vergleich mit den bestehenden Plänen und Luftbildern korrekt zu interpretieren. Der noch unbekannte Teil der Villa stellt ein neu zu prospektierendes Objekt dar.

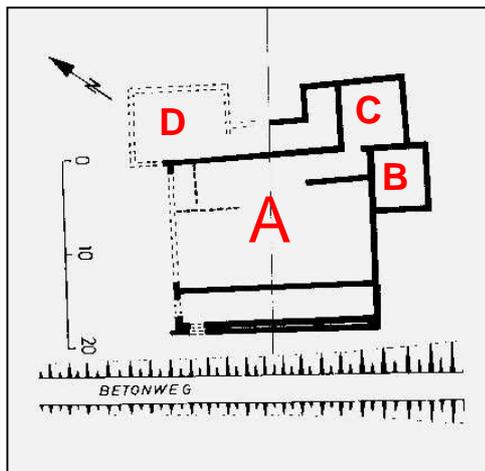


Abb.5

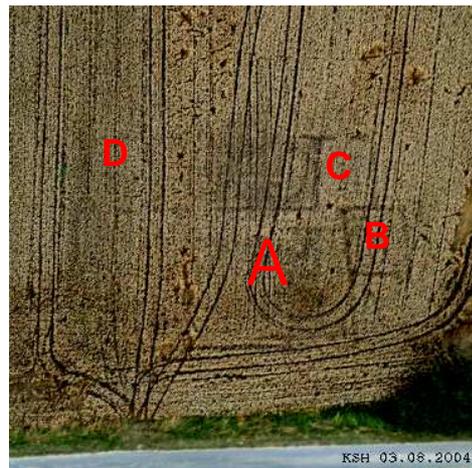


Abb.6

### c. Untersuchungsablauf

Zwischen dem 23 Juni und 23 Juli 2005 wurden von archaeoflug insgesamt 10 Befliegungen des Objektes durchgeführt. (Abb. 7)

Die Befliegungszeitpunkte, eingebunden in die berufliche und private Situation des Teams, ergaben sich mehr oder weniger spontan und entbehren daher einer wünschenswerten breiteren tageszeitlichen Streuung und Regelmäßigkeit.

Abb. 7

	JUNI										JULI																				
Datum	23	24	25	26	27	28	29	30	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Flug Nr.	1	2															3	4	5	6	7				8					9	10
Uhrzeit	19	17															19	19	18	19	19				19					17	12

#### d. Meteorologische Bedingungen

Die meteorologischen Bedingungen (Abb.8) wurden von Agrowetter.de zur Verfügung gestellt und beinhalten:

- berechnete Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen bis 1 Meter
- Sonnenscheindauer
- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit.....in Saarbrücken/Ensheim.

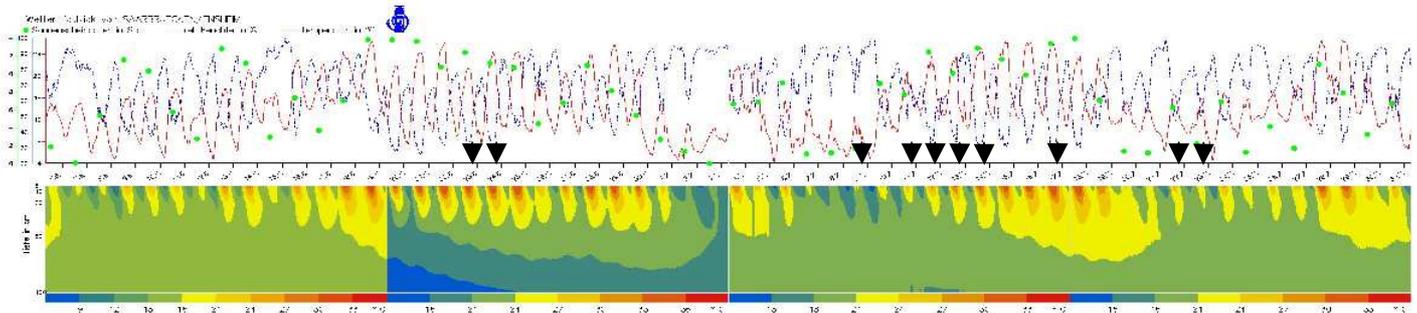


Abb.8

Diese Werte sind wegen der relativ großen Entfernung zum Befliegungsort von ca. 30 km nur als Anhaltspunkte einzusetzen und stimmen mit den tatsächlichen Werten vor Ort nur tendenziell überein.

Die genaueren Oberflächentemperaturen des Weizenfeldes gehen aus den Kamerawerten hervor.

Die schwarzen Pfeile markieren die einzelnen Befliegungszeitpunkte.

Zu beachten ist, dass bei der ersten und zweiten 14-tägigen Darstellung der Bodentemperaturen die Temperaturfarben voneinander abweichen. Bei der dritten und vierten Darstellung stimmen die Temperatur-Farben überein, sind jedoch gegenüber den ersten beiden Teilen höhergestuft.

#### e. Dokumentation

Nachfolgend sind alle Befliegungs-Ergebnisse als Thermovideo-Standbild/Luftbild.- Vergleich mit den dazugehörigen meteorologischen Daten in chronologischer Reihenfolge dokumentiert. Im Anschluss erfolgt die Analyse der meteorologischen Bedingungen, begleitet von einer vergleichenden Bildanalyse.

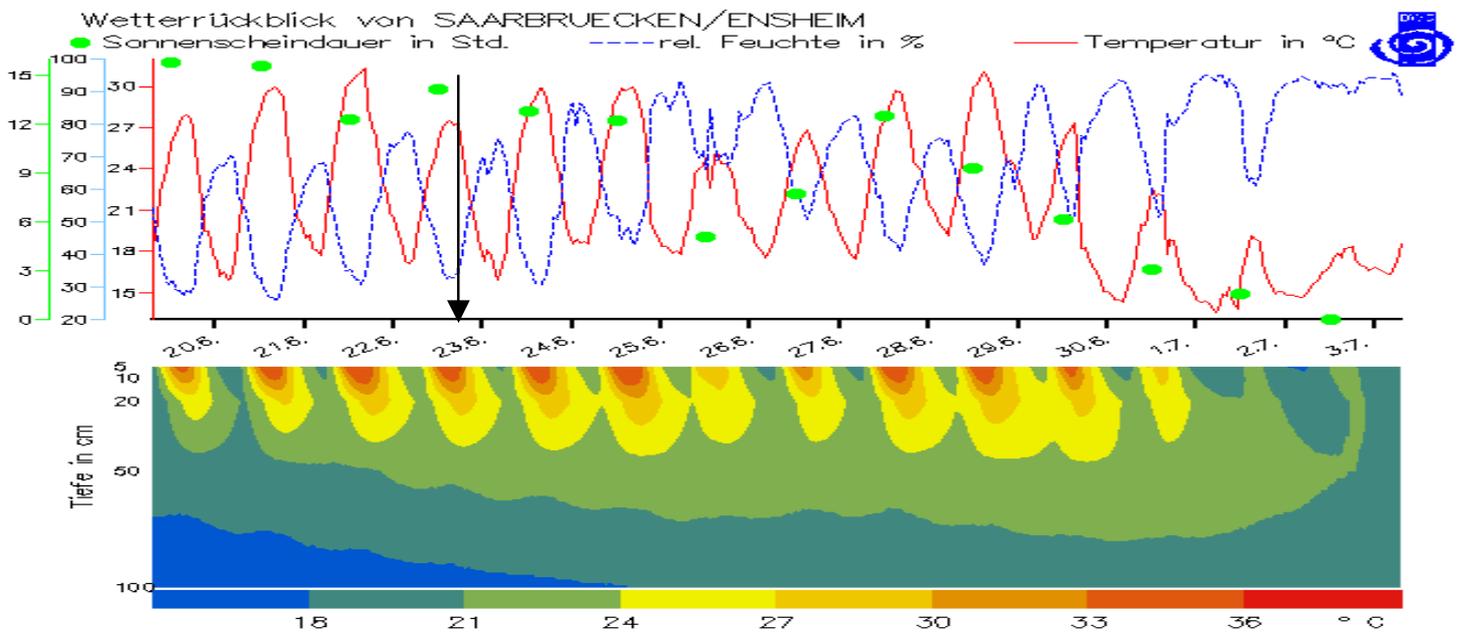
Die Wärmebilder wurden aus den jeweils aussagefähigsten Thermovideos herausgelöst. *Die Wärmevideos sind als bewegtes Bild wesentlich eindrucksvoller anzusehen und besitzen einen größeren Informationsgehalt.*

# 1. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 23.06.2005

Uhrzeit: ca. 19.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Wetterrückblick v.20.06.05 bis 03.07.05



## Meteorologische Bedingungen

- 7-tägige Phase kontinuierlicher Erwärmung zunächst durch erhöhte Lufttemperaturen ab 15.06 dann ab 19.06 durch Sonnenscheindauer zwischen 12 und 15 Stunden
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 27°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 17%
- Feldoberflächentemperatur 25,1°C – 26,4°C

## Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Ausdehnung, Form und Aufteilung des Objektes im Detail klar erkennbar. Bekannter Teil als warmes Bewuchsmerkmal 2. o. 3. Ordnung, unbekannter Teil als warmes Bewuchsmerkmal 1. Ordnung.

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus. Feldfarbe sattgrün.

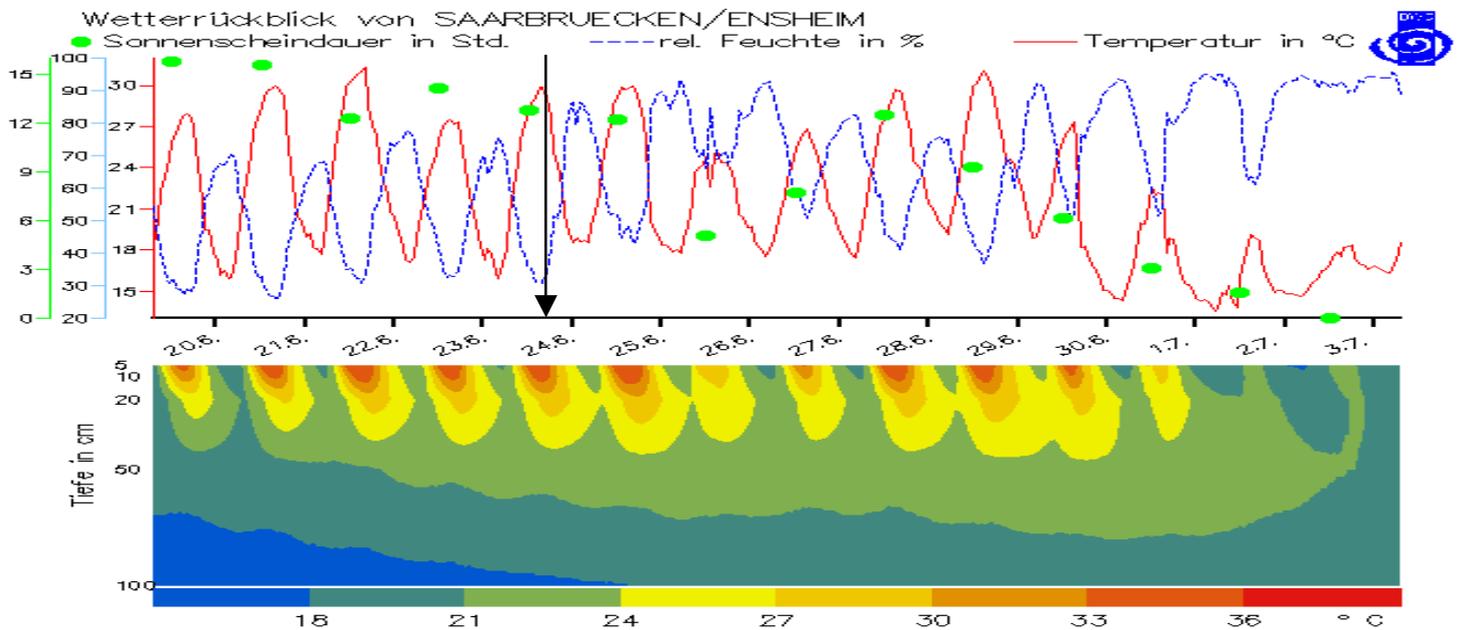
Das Thermobild ist dem Luftbild klar überlegen. Es zeigt alle Informationen des Luftbildes und darüber hinaus zusätzliche detaillierte, im Luftbild nicht oder nur extrem schwach erkennbare Strukturen.

## 2. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 24.06.2005

Uhrzeit: ca. 17.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Wetterrückblick v.20.06.05 bis 03.07.05



### Meteorologische Bedingungen

- 8-tägige Phase kontinuierlicher Erwärmung zunächst durch erhöhte Lufttemperaturen ab 15.06 dann ab 19.06 durch Sonnenscheindauer zwischen 12 und 15 Stunden
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 29°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 16%
- Feldoberflächentemperatur 24,0°C – 25,4°C

### Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Ausdehnung, Form und Aufteilung des Objektes im Detail klar erkennbar.

(Etwas schlechter als am Vortag)

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus.

(Etwas besser als am Vortag) Feldfarbe grün.

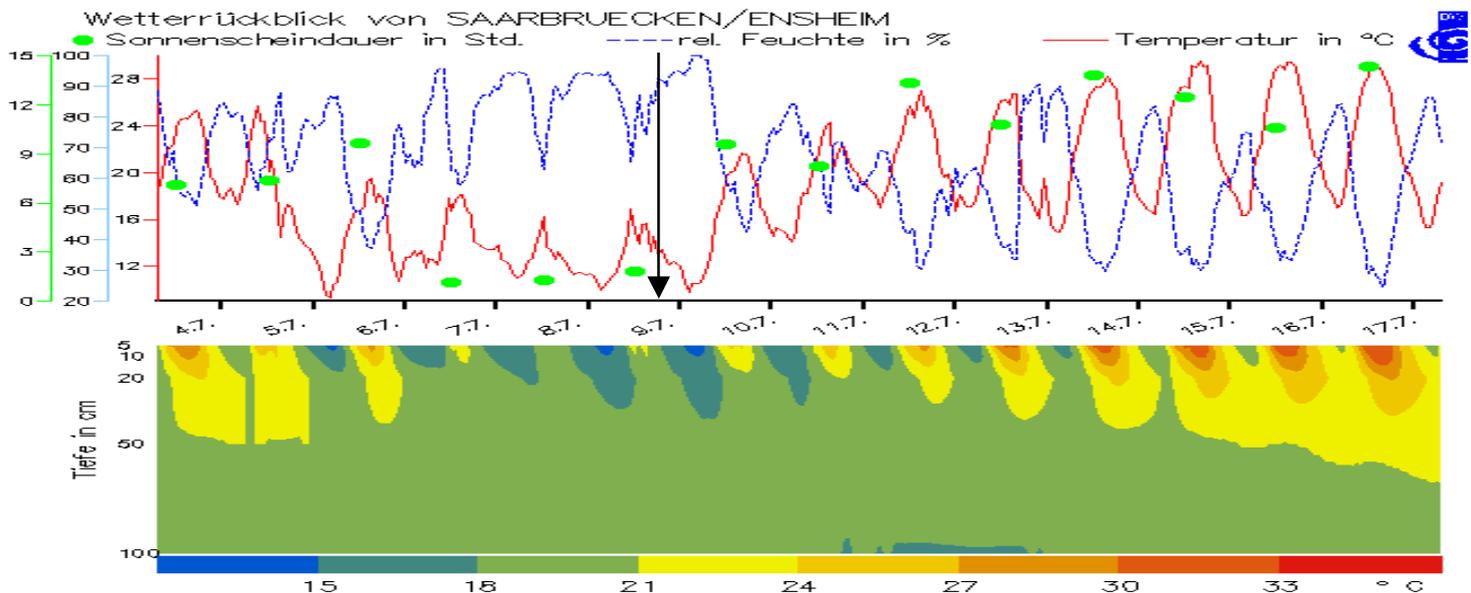
Das Thermobild ist dem Luftbild überlegen. Es zeigt alle Informationen des Luftbildes und darüber hinaus zusätzliche detaillierte, im Luftbild nicht oder nur schwach erkennbare Strukturen. Die Aussagefähigkeit des Thermobildes hat sich im Vergleich zum Vortag etwas verschlechtert und die des Luftbildes sich leicht verbessert.

### 3. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 09.07.2005

Uhrzeit: ca. 19.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Wetterrückblick v.04.07.05 bis 17.07.05



#### Meteorologische Bedingungen

- 11-tägige z.T. minimale Sonneneinstrahlung, Tageshöchsttemperaturen sinken von 30°C auf 15°C ab.
- 3-tägige maximale Luftfeuchtigkeit über 90% (Regentage)
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 14°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 90%
- Feldoberflächentemperatur 13,8°C – 17,1°C

#### Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Ausdehnung, Form und Aufteilung des Objektes nicht mehr erkennbar.

Nur zwei Gebäudeteile sind als besonders warme Rechtecke interpretierbar.

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus.

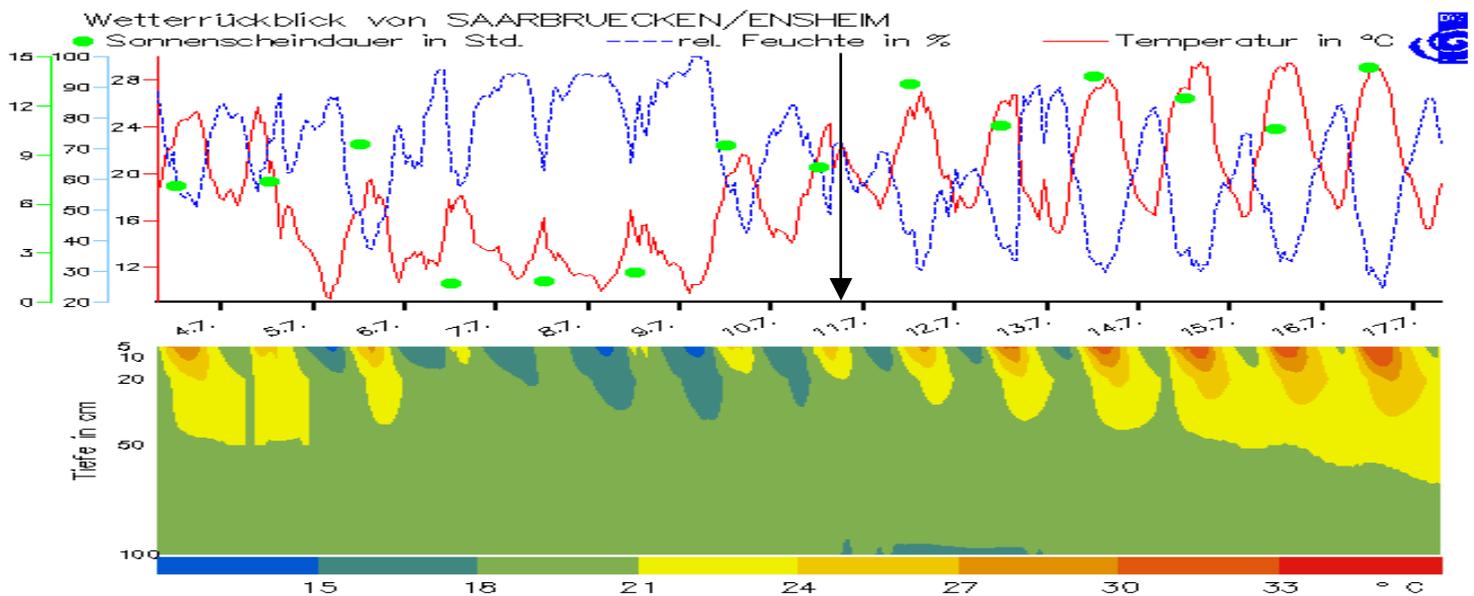
Feldfarbe braun-grün. Das Luftbild ist nun klar überlegen. Das Thermobild besitzt kaum noch auswertbare Information.

#### 4. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 11.07.2005

Uhrzeit: ca. 19.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Wetterrückblick v.04.07.05 bis 17.07.05



#### Meteorologische Bedingungen

- Beginn einer leichten Erwärmung nach 2 Tagen erhöhter Sonneneinstrahlung, Tageshöchsttemperaturen steigen von 16°C auf 23°C Luftfeuchtigkeit sinkt von 90% auf 60% ab.
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 22°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 70%
- Feldoberflächentemperatur 21,7°C – 23,2°C

#### Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Ausdehnung, Form und Aufteilung des Objektes nicht mehr erkennbar.

Die beiden als besonders warme Rechtecke interpretierbaren Gebäudeteile sind etwas schlechter erkennbar.

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus. Feldfarbe braun-grün.

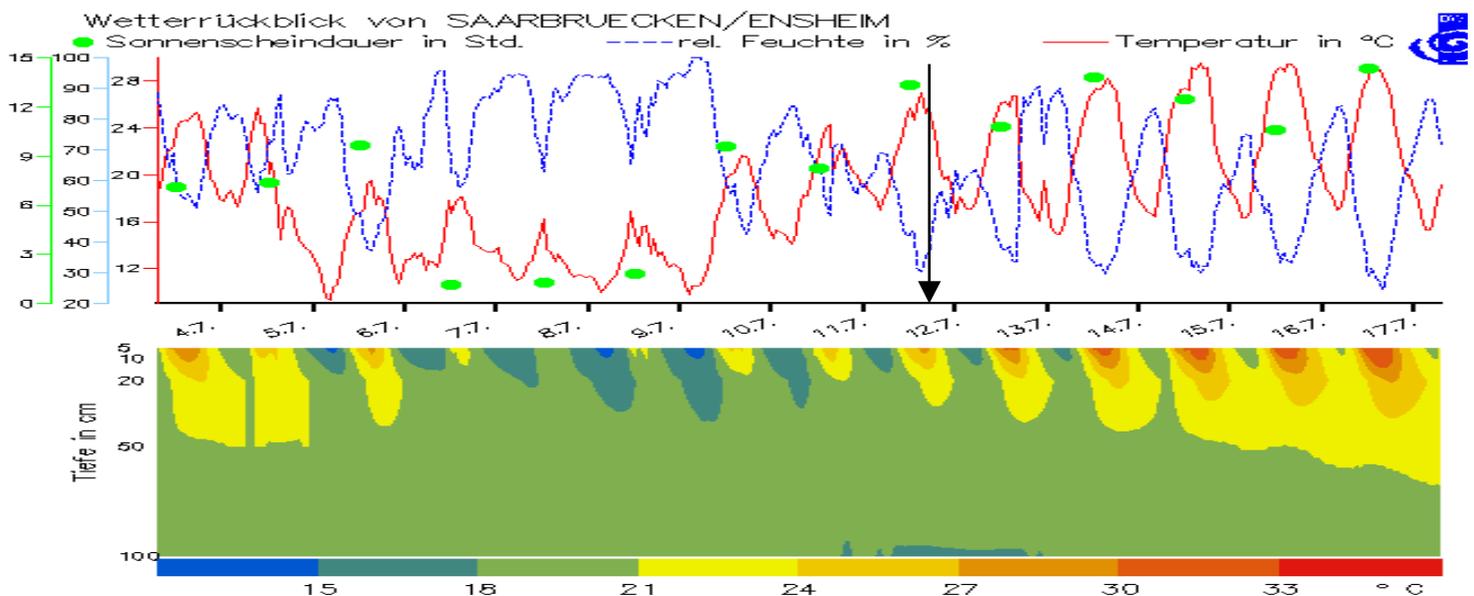
Das Luftbild ist nach wie vor klar überlegen. Das Thermobild besitzt noch immer kaum auswertbare Information.

## 5. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 12.07.2005

Uhrzeit: ca. 18.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Weterrückblick v.04.07.05 bis 17.07.05



### Meteorologische Bedingungen

- Fortsetzung der Erwärmung nach 3 Tagen erhöhter Sonneneinstrahlung, Tageshöchsttemperaturen steigen weiter an und Luftfeuchtigkeit sinkt weiter ab.
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 26°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 40%
- Feldoberflächentemperatur 22,3°C – 23,7°C

### Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Ausdehnung, Form und Aufteilung des Objektes sind wieder diffus erkennbar.

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus. Feldfarbe mehr braun als grün.

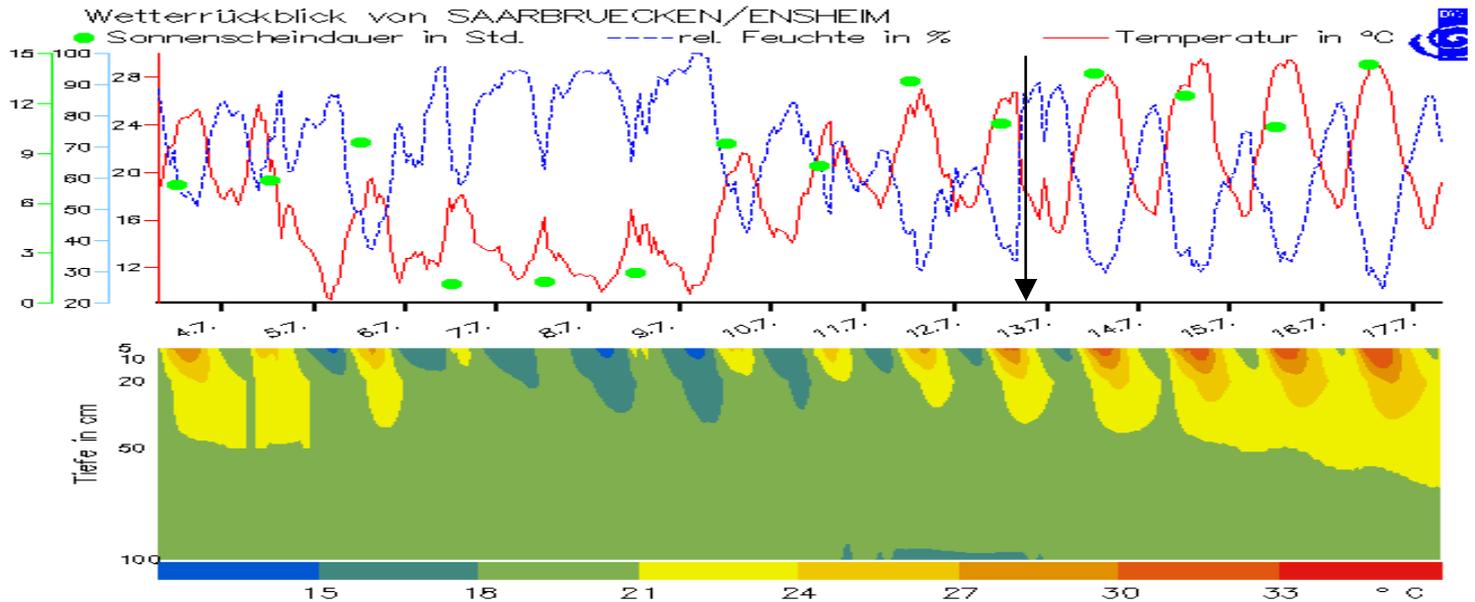
Der Informationsgehalt des Thermobildes übertrifft bereits wieder den des Luftbildes insbesondere durch die Darstellung des unbekanntenen Gebäudeteils.

## 6. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 13.07.2005

Uhrzeit: ca. 19.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Wetterrückblick v.04.07.05 bis 17.07.05



### Meteorologische Bedingungen

- Stabile Erwärmung nach 4 Tagen erhöhter Sonneneinstrahlung, Tageshöchsttemperaturen weiter ansteigend und Luftfeuchtigkeit sinkt weiter ab. Vermutlich gab es Regenschauer in Saarbrücken/Ensheim
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 18°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 85%
- Feldoberflächentemperatur 24,6°C – 25,9°C

### Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Ausdehnung, Form und Aufteilung des Objektes sind wieder diffus erkennbar. Genauere Details sind jedoch nicht zu erkennen. Die Konturen werden im Vergleich zum Vortag etwas schärfer.

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus. Feldfarbe mehr braun als grün.

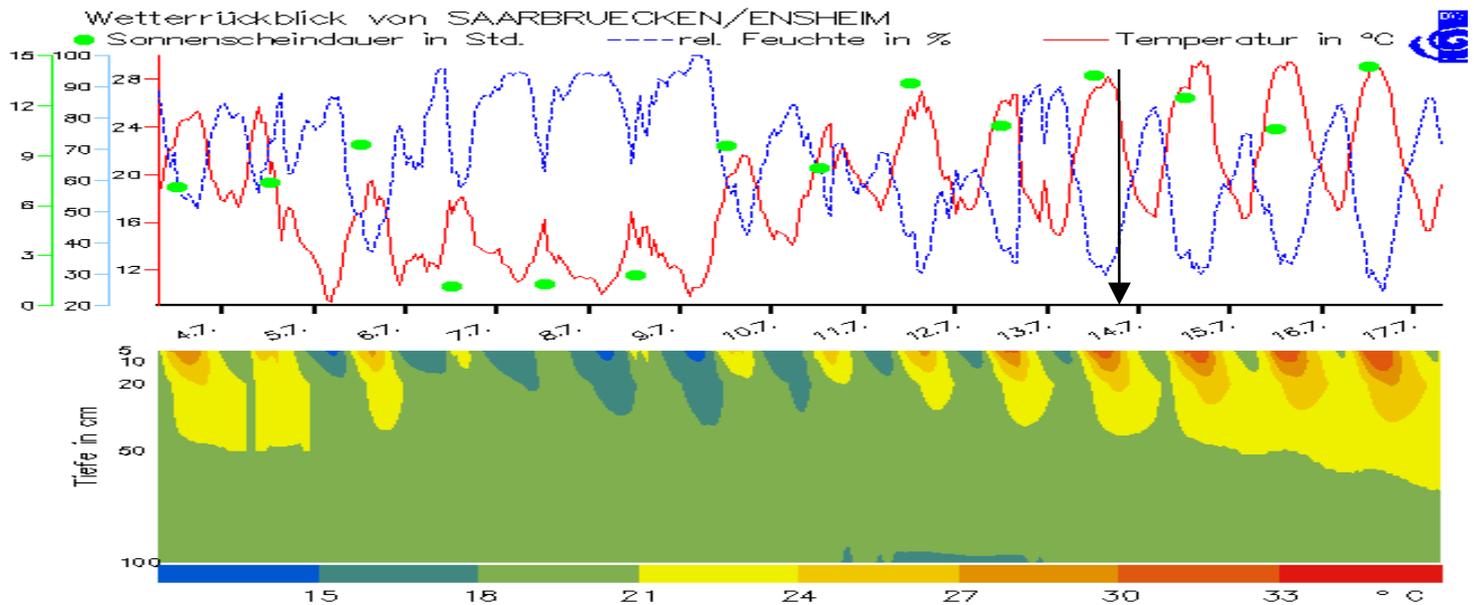
Der Informationsgehalt des Thermobildes übertrifft wieder den des Luftbildes insbesondere durch die Darstellung des unbekanntes Gebäudeteils. Im ausgewählten Videostandbild allerdings schlecht erkennbar. (besser im Videoausschnitt)

## 7. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 14.07.2005

Uhrzeit: ca. 19.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Wetterrückblick v.04.07.05 bis 17.07.05



### Meteorologische Bedingungen

- Stabile Erwärmung nach 5 Tagen erhöhter Sonneneinstrahlung, Tageshöchsttemperaturen weiter ansteigend und Luftfeuchtigkeit sinkt weiter ab.
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 26°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 40%
- Feldoberflächentemperatur 25,9°C – 27,2°C

### Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Ausdehnung, Form und Aufteilung des Objektes sind wieder besser erkennbar. Genauere Details sind ebenfalls zu erkennen. (Mauerteile des B-Raumes)

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus. Feldfarbe fast braun.

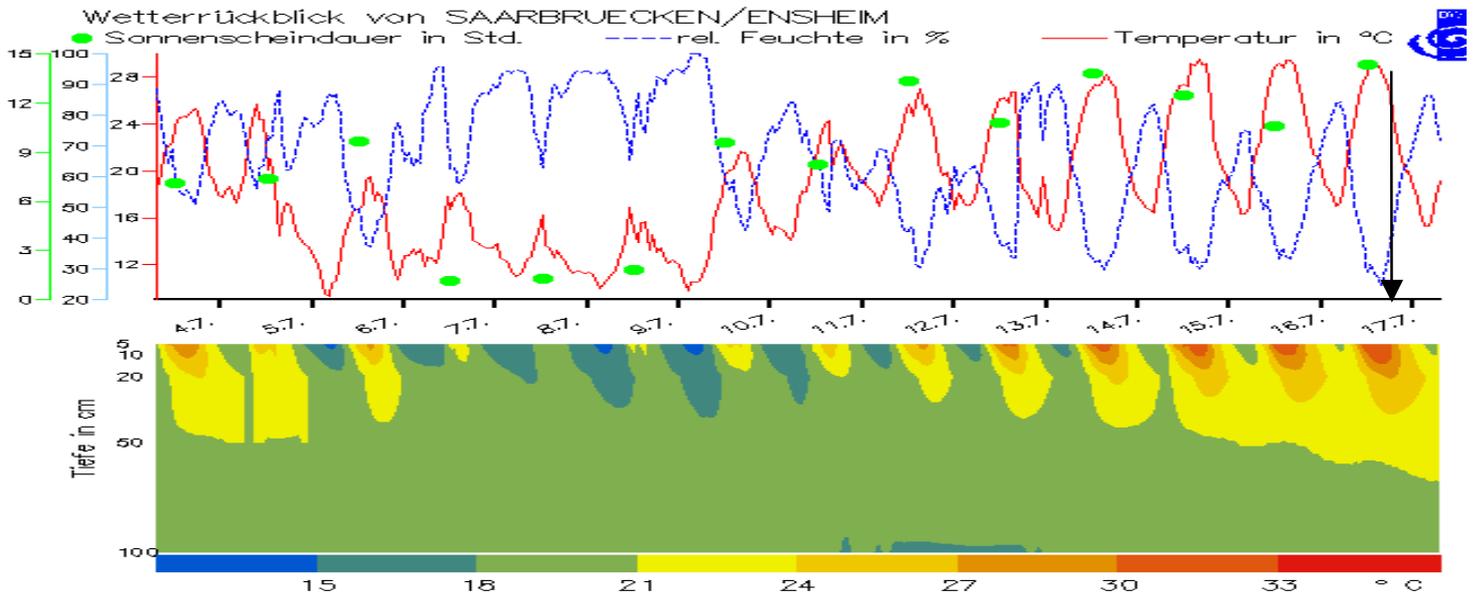
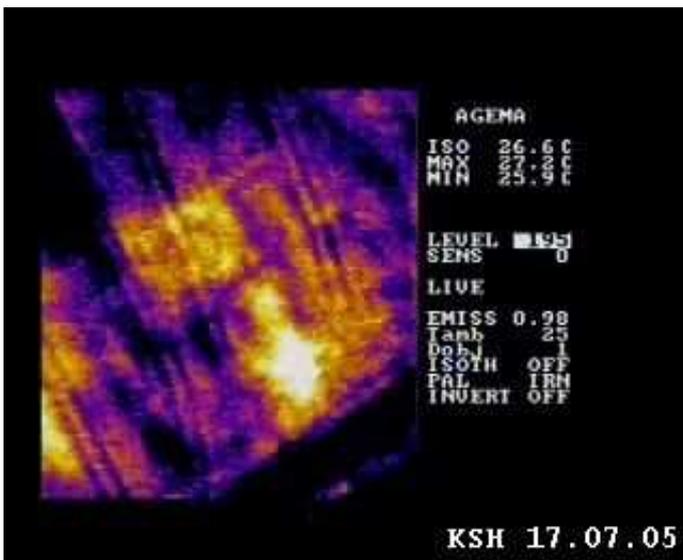
Der Informationsgehalt des Thermobildes übertrifft wieder den des Luftbildes insbesondere durch die Darstellung des unbekanntes Gebäudeteils. Bemerkenswert ist in dieser Darstellung der besonders steinleere mittlere Villenabschnitt.

## 8. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 17.06.2005

Uhrzeit: ca. 19.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Wetterrückblick v.04.07.05 bis 17.07.05



### Meteorologische Bedingungen

- Stabile Erwärmung nach 8 Tagen erhöhter Sonneneinstrahlung, hohe u. stabile Tageshöchsttemperaturen, Luftfeuchtigkeit sinkt weiter ab.
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 26°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 40%
- Feldoberflächentemperatur 25,9°C – 27,2°C

### Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Ausdehnung, Form und Aufteilung des Objektes sind immer besser erkennbar. Genauere Details sind ebenfalls zu erkennen. (Mauerteile des B und C-Raumes)

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus. Feldfarbe braun.

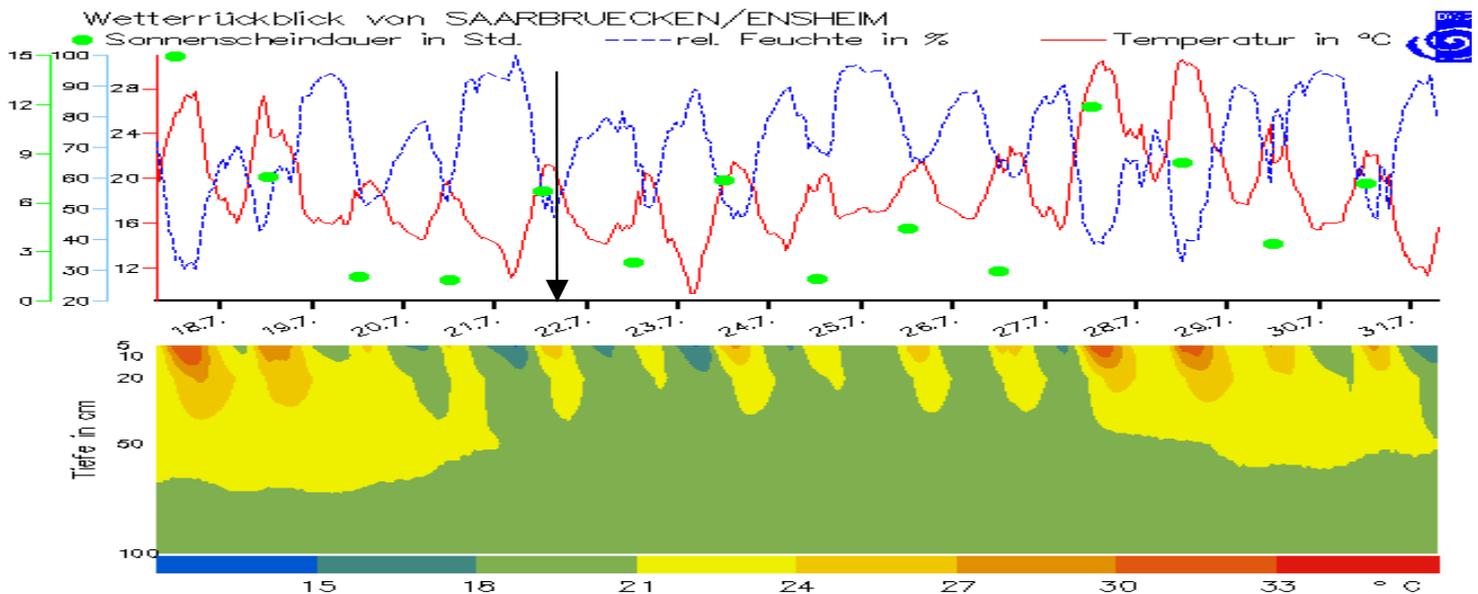
Das Thermobild ist dem Luftbild nun wieder klar überlegen. Es zeigt alle Informationen des Luftbildes und darüber hinaus zusätzliche detaillierte, im Luftbild nicht oder nur schwach erkennbare Strukturen.

## 9. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 22.07.2005

Uhrzeit: ca. 17.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Wetterrückblick v.18.07.05 bis 31.07.05



### Meteorologische Bedingungen

- Nach 4-tägiger Abkühlung mit z.T. minimaler Sonneneinstrahlung ist die Lufttemperatur stark abgefallen und die Luftfeuchtigkeit angestiegen.
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 20°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 55%
- Feldoberflächentemperatur 19,7°C – 21,2°C

### Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Weder Ausdehnung noch Form und Aufteilung des Objektes sind erkennbar. Das Objekt ist kaum noch wahrzunehmen. Lediglich der durchgehend wärmere Raum A hebt sich noch erkennbar ab.

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus. Feldfarbe hellbraun.

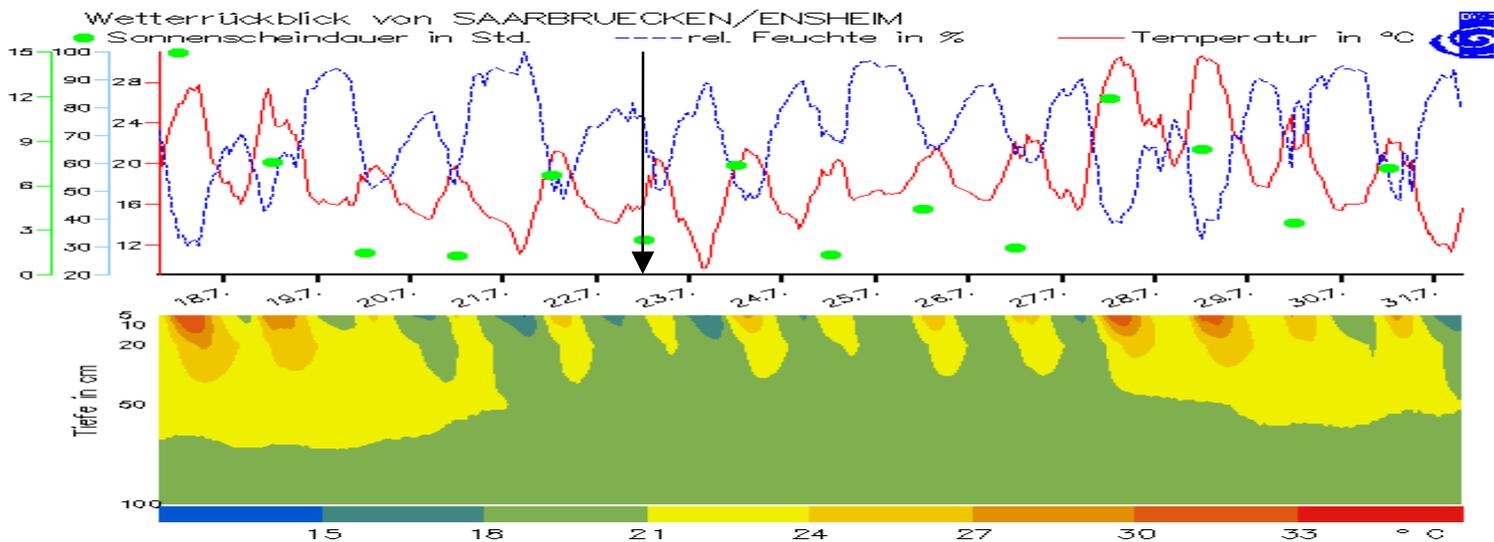
Das Thermobild ist dem Luftbild nun wieder klar unterlegen. Die Informationen des Luftbildes sind im Grunde mit Ausnahme der ersten beiden Befliegungen stabil und beschränken sich auf den bereits bekannten Südteil der Villa.

## 10. Thermische Prospektion bei Bewuchs

Datum : 23.07.2005

Uhrzeit: ca. 12.00Uhr

Dokumente: Thermovideo-Standbild/Luftbild/Wetterrückblick v.04.07.05 bis 17.07.05



### Meteorologische Bedingungen

- Nach 5-tägiger Abkühlung mit z.T. minimaler Sonneneinstrahlung ist die Lufttemperatur stark abgefallen und die Luftfeuchtigkeit angestiegen. Wie die Feldoberflächentemperatur zeigt, ist das Wetter am Befliegungsort besser.
- Lufttemperatur in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 17°C
- Luftfeuchtigkeit in SB-Ensheim zur Befliegungszeit: 65%
- Feldoberflächentemperatur 23,0°C – 24,4°C

### Vergleichende Bildanalyse

Thermobild: Die Darstellung des Objektes ist wegen der frühen Befliegungszeit ungewohnt. Bei genauer Betrachtung sind aber zumindest der A-, B- und C-Raum erkennbar. Auch der weitgehend steinlose Abschnitt zwischen bekanntem und neuem Teil ist zu sehen.

Luftbild: Bekannter Objektteil klar, unbekannter Objektteil erahnbar jedoch unvollständig u. diffus. Feldfarbe hellbraun.

Das Thermobild ist dem Luftbild unterlegen. Nur durch die bereits bekannten Informationen wird das Thermobild interpretierbar.

## VI. Ergebnisse

### a. Nachweis der Existenz warmer Bewuchsmerkmale

Durch die Befliegungskampagne 2005 konnte die Existenz warmer Bewuchsmerkmale über einen Zeitraum von einem Monat eindeutig nachgewiesen werden. Es wurden 10 Thermovideos unterschiedlicher Qualität aufgenommen.

Bei den ersten Prospektion am 23. und 24. Juni 2005 sieht man in der thermischen Darstellung warme Bewuchsmerkmale erster, zweiter und dritter Ordnung.

Der nordwestliche unbekannte Bereich der Villa ist am 23.06.2005 im klassischen Luftbild noch nicht entwickelt und daher als warmes Bewuchsmerkmal 1. Ordnung anzusprechen. Einen Tag später sind die neuen Strukturen auch im klassischen Luftbild erahnbar und somit im Wärmebild als warmes Bewuchsmerkmal 2. Ordnung anzusprechen.

Die bereits bekannten Strukturen des südöstlichen Bereiches sind an beiden Tagen als warme Bewuchsmerkmale 2. bzw. 3. Ordnung anzusprechen. Hier befinden sich der südliche Teil des Raumes A und die Räume B, u. C vermutlich bereits in einem irreversiblen Zustand 3. Ordnung. Der Raum D und der nördliche Teil der Raumes A sind wahrscheinlich noch reversibel, also als Bewuchsmerkmal 2. Ordnung zu bezeichnen.

Im weiteren Verlauf der Kampagne entwickeln sich einige in Nord-Süd-Richtung laufende Mauerzüge des nordwestlichen Bereiches zu warmen Bewuchsmerkmalen 3. Ordnung. Der überwiegende Teil des nordwestlichen Bereiches bleibt jedoch reversibel und nur als warmes Bewuchsmerkmal 2. und 1. Ordnung erkennbar. (Siehe hierzu Alt- und Neuprospektion Abb.9)

Temperaturunterschiede durch Beschattung sind während der gesamten Kampagne nur als Traktorspuren sichtbar.

### b. Vergleich mit dem klassischen Bewuchsmerkmal

Der Vergleich zwischen warmen und klassischen Bewuchsmerkmalen fällt unterschiedlich aus. Während die thermischen Prospektionen 1, 2, 5, 6, 7, 8 den Luftbildern überlegen sind, besitzen die Prospektionen 3, 4, 9, und 10 deutlich weniger Aussagekraft.

Dies liegt daran, dass die Prospektionen 3, 4, 9, und 10 bei thermisch ungünstigen Bedingungen durchgeführt wurden. Bei der thermischen Prospektion ist die Beachtung der meteorologischen und befliegungszeitlichen Bedingungen von größerer Bedeutung als bei der klassischen Luftbildprospektion.

Vergleicht man die aussagefähigsten Ergebnisse beider Prospektionsarten miteinander, so besitzt die thermische Darstellung einen höheren Informationsgehalt als die klassische.

- *Das flüchtige klassische Bewuchsmerkmal ist nur im grünen Bewuchs bis zu einem bestimmten Reifegrad zu sehen. Hingegen taucht das warme Bewuchsmerkmal 2. Ordnung bis zur Reife immer wieder aufs neue auf.*
- *Die Darstellung warmer Bewuchsmerkmale 2. Ordnung ist im Vergleich zu den im grünen Bewuchs gleichzeitig auftretenden flüchtigen klassischen Bewuchsmerkmalen wesentlich besser sichtbar.*
- *Die thermische Darstellung bildet warme Bewuchsmerkmale 1. Ordnung ab, die in der klassischen Darstellung nicht zu sehen sind.*

### c. Analyse der meteorologischen Bedingungen

Mehrere aufeinanderfolgende warme und trockene Tage in der Phase des Heranreifens lieferten am 23. und 24. Juni die besten Ergebnisse. Obwohl theoretisch am 24. Juni bessere Bedingungen als am Vortage herrschten, fiel das Thermobild schlechter aus. Dies ist vermutlich auf den um 2 Stunden früheren Befliegungszeitpunkt zurückzuführen. Bei dem späteren Überflug am Vortag sind weniger störende Sonnenreflexionen vorhanden.

Anzunehmen ist daher eine optimale Prospektion während einer möglichst kurzzeitigen Beschattung durch Wolken oder bei Sonnenuntergang. Die besten Bilder wären vermutlich am Abend des 25. und 28. Juli zu erwarten gewesen.

Im weiteren Verlauf der Kampagne wird das Wärmebild nach einer Abkühlungsphase erst ab dem 12.07.2005 wieder zu einem aussagefähigen Dokument. Die Befliegungen 5 bis 8 fallen in diese warme Periode mit hohen Lufttemperaturen und langer Sonnenscheindauer.

#### Sonneneinstrahlung

Eine möglichst starke und lange Sonneneinstrahlung fördert die Verdunstungsrate und die Erwärmung des Bewuchsmerkmals. Zum Befliegungszeitpunkt sollte das Objekt nicht dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt sein, um unerwünschte Reflexionen zu vermeiden.

#### Lufttemperatur

Eine möglichst hohe Lufttemperatur fördert die Verdunstung und die Erwärmung des Bewuchsmerkmals.

#### Luftfeuchtigkeit

Je geringer die Luftfeuchtigkeit, desto höher ist die Verdunstungsrate und die Erwärmung des Merkmals.

#### Luftbewegung

Wind führt zu einer Abschwächung des warmen Bewuchsmerkmals, da die entstehenden Temperaturunterschiede durch den Abtransport der Wärme stark gedämpft werden.

### d. Analyse der befliegungszeitlichen Einflüsse

#### Wachstumsphase

Im heranreifenden noch grünen Bewuchs sind (wie auch beim klassischen Bewuchsmerkmal, siehe Prospektion Nr. 2) die aussagefähigsten Bilder zu erwarten, da die Pflanzen „voll im Saft stehen“ und bei Verdunstungsdefizit stärker thermisch reagieren. Je reifer der Bewuchs wird, desto schwächer wird die Wasserverdunstung und somit der mögliche Kontrast des Wärmebildes.

#### Tageszeit

Die Erfahrungen der Kampagne lassen vermuten, dass die Prospektion am späten Nachmittag und Abend die besten Erfolge verspricht.

Es sind jedoch weitere Überprüfungen notwendig, um die folgenden Überlegungen zu bestätigen:

- In den Morgenstunden ist die Luftfeuchtigkeit hoch, Sonneneinstrahlung und der beginnende Temperaturanstieg reichen noch nicht aus, um eine signifikante Erwärmung der Bewuchsoberfläche zu bewirken.
- Um die Mittagszeit ist die zwar wünschenswerte volle Sonneneinstrahlung vorhanden, führt aber zu undifferenzierbaren Reflexionen. Eine vorübergehende Bewölkung macht jedoch auch am Mittag eine erfolgreiche Befliegung möglich.
- Am Nachmittag stört die schräg einfallende Sonne nur in einer Blickrichtung und am Abend entstehen keinerlei Reflexionen. Die Luftfeuchtigkeit ist niedrig, die Lufttemperatur ist noch hoch und die Luftbewegungen lassen nach.

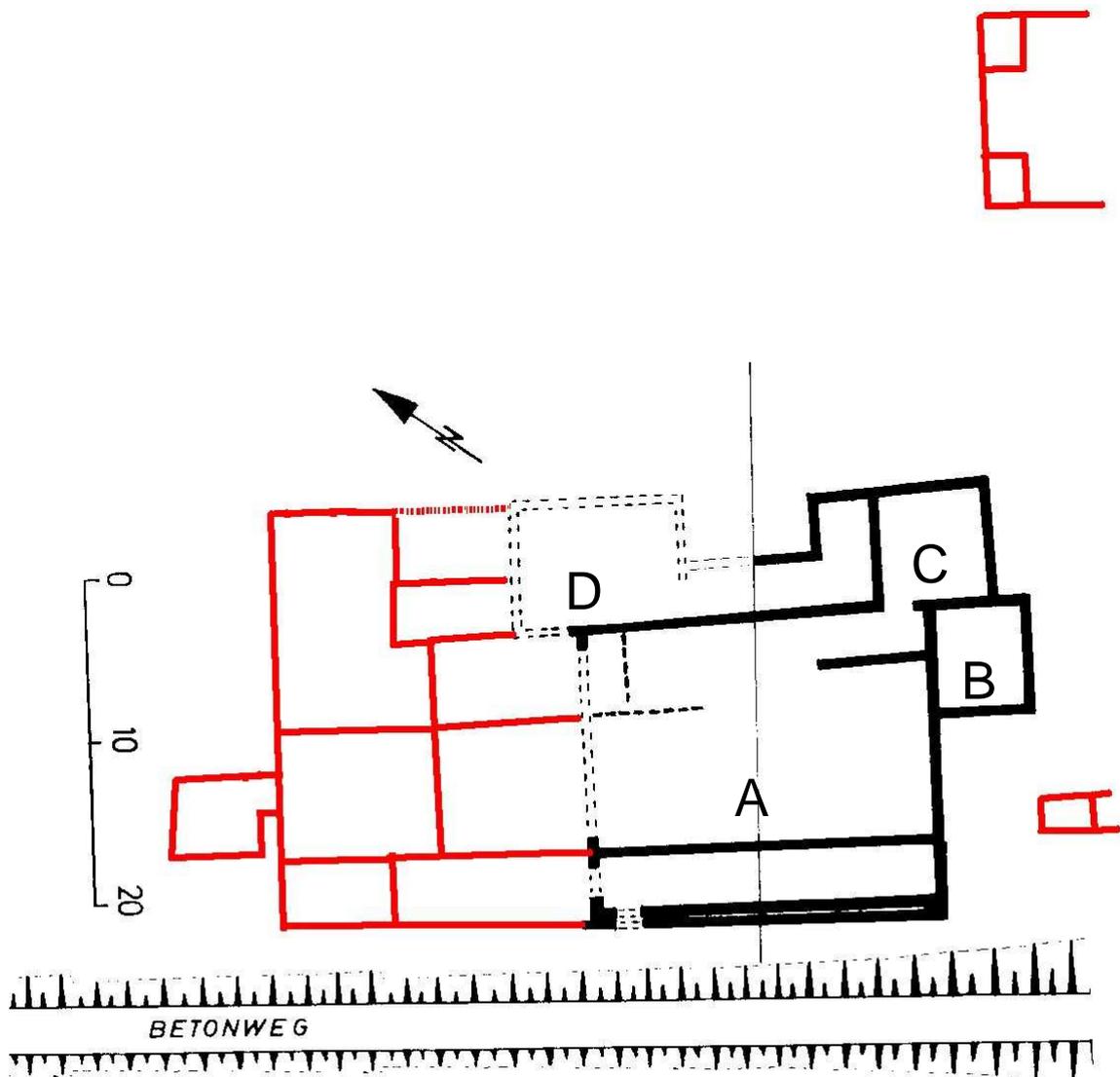


Abb.9  
 Prospektionsobjekt der Befliegungskampagne 2005  
 Villa Rustica: Altprospektion (schwarz) und Neuprospektion (rot)

## VII. Ausblick

Die Befliegungskampagne 2005 hat wesentliche Einblicke in die thermische Prospektion bei Bewuchs erbracht. Eine Fortsetzung unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse mit dem Ziel der weiteren Vertiefung und Verbesserung der Anwendbarkeit dieser neuen Prospektionsmethode ist anzustreben.

Aus den bisherigen Erkenntnissen ergeben sich für die nächste Befliegungskampagne u.a. folgende Fragestellungen und Aufgaben:

### Thermische Prospektion als unabhängige Methode

Gibt es Bodendenkmäler, die sich in einem frühen Stadium ausschließlich als warme Bewuchsmerkmale 1. Ordnung darstellen lassen? Wie lange vor der Entwicklung eines ersten flüchtigen klassischen Bewuchsmerkmals existieren sie?

Dazu sind regelmäßige Befliegungen bereits einen Monat früher als bei der Kampagne 2005 durchzuführen.

### Befliegungszeitpunkt

Die Annahmen zum tageszeitlich optimalen Befliegungszeitpunkt sollten überprüft werden. Dazu ist bei guter Sichtbarkeit des Objektes eine ganztägige Befliegung im Stundentakt durchzuführen.

### Kameratechnik

Wie groß ist die maximale Detailgenauigkeit der thermischen Abbildung?

Die sehr bescheidene Auflösung der bisher eingesetzten Kamera (140x140 Pixel) erlaubt keine Aussage über die tatsächlich vorhandene thermische Information.

Eine modernere Kamera mit höherer Auflösung sollte bei der nächsten Kampagne eingesetzt werden.

### Warme positive Bewuchsmerkmale

Klassische positive Bewuchsmerkmale wurden von I. Scollar bereits in der frühen Wachstumsschubphase als kalte Bewuchsmerkmale erkannt. Sie müssen sich auch im reiferen Zustand bei Wassermangel als kühle Merkmale zeigen, denn im Vergleich zu dem sie umgebenden Bewuchs sind sie vom Wassermangel nicht betroffen.

Hierzu sind gezielte Befliegungen von bereits bekannten Gräben und Wallanlagen durchzuführen.

Kaiserslautern den 21.12.2005

Ulrich Kiesow

Archaeoflug

### Literatur

<sup>1</sup>Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., Herzog, I. 1990, Archaeological Prospection and Remote Sensing, Cambridge ISBN 0 521 32050 X Kapitel.10