

# **CURING MONITORING SYSTEM ZUR VERBESSERUNG DER PROZESSFÜHRUNG BEI DER KANALSANIERUNG MITTELS SCHLAUCHLINERN**

**Prof. Dr. Ulrich Glombitza, OSSCAD GmbH & Co. KG, Bergisch Gladbach**

## **1 EINLEITUNG**

Curing Monitoring Systeme (CMS) sind innovative Temperaturmesssysteme, mit denen die Schlauchlinersanierung signifikant verbessert wird. Die thermische Aushärtungstemperatur des Schlauchlines wird mit dem CMS während der Sanierungsmaßnahme an jeder Stelle des Liners lückenlos als örtliches Temperaturprofil in Längsrichtung der Haltung mit einer örtlichen Genauigkeit von 15cm gemessen. Im Vergleich zur bisherigen stichprobenartigen Temperaturmessung im Schachtbereich, kann erstmalig die thermische Aushärtung des Liners zwischen Altrohr und Liner an jedem Ort per Computer im Sekundentakt gemessen werden. Per Software werden die örtlichen Messdaten visualisiert und für den Operator aufbereitet. Das CMS ermöglicht eine ereignisorientierte Prozessführung, so dass auch bei schwierigen Baustellen eine homogene Aushärtung erzielt wird. Die Energiekosten und die CO<sub>2</sub> Emission können mit dem CMS signifikant reduziert werden.

Das CMS zeichnet sich ferner durch einfache Handhabung, durch robuste Systemkomponenten für den rauen Feldeinsatz der Kanalsanierung und durch eine leistungsstarke Applikationssoftware aus. Eine farbliche Kennzeichnung der Aushärtungstemperaturen in Form von Zonendarstellungen ermöglicht einfache und eindeutige Entscheidungen für den Errichter, den Wärmeprozess zu steuern und zu optimieren. Der Qualitätsnachweis für eine ordnungsgemäße thermische Aushärtung des Liners kann mit dem CMS erweitert werden, indem die gesamten Temperaturmessdaten über die Gesamtlänge des Liners und über die Gesamtdauer der Sanierungsmaßnahme als 3D Plot überführt werden.

Im Vortrag werden das Curing Monitoring System und die technischen Möglichkeiten der Prozessoptimierung am Beispiel von drei Referenzprojekten vorgestellt und das Einsparpotenzial in Bezug auf die Energiekosten dargestellt. Zum Schluss folgen eine Zusammenfassung und ein Ausblick.

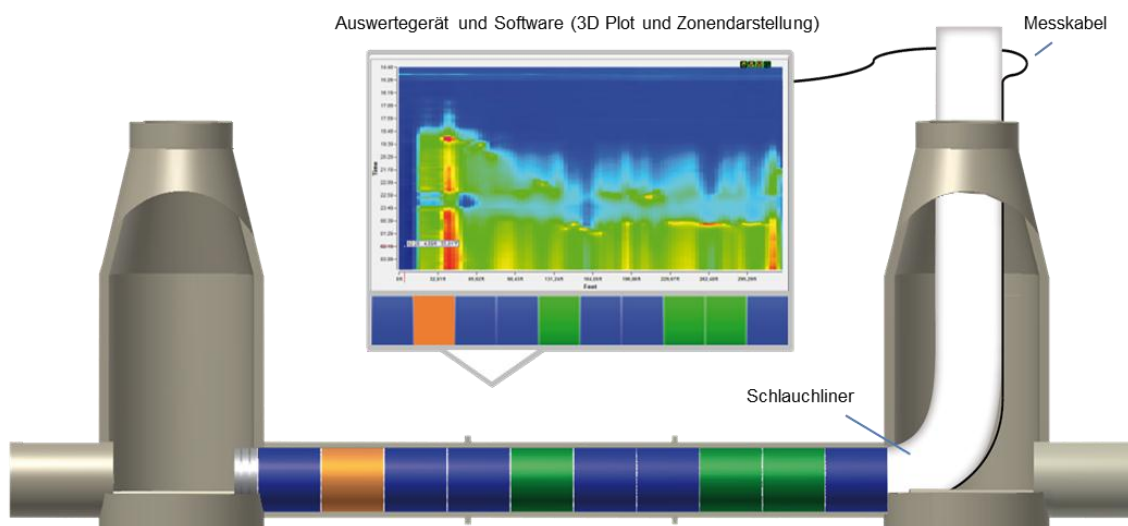
## **2 CURING MONITORING SYSTEM**

### **2.1 CMS Messanordnung**

Das CMS setzt sich zusammen aus einem Laserradar (Auswertegerät), der Applikationssoftware VISCOM Liner und einem faseroptischen Messkabel, bestehend aus einer Glasfaser als linienförmigem Temperatursensor. Das Laserlicht wird in die

Glasfaser eingekoppelt. Wärmeeinwirkungen am Messkabel bewirken thermische Molekülschwingungen innerhalb des Glasfasermaterials, die zu einer Lichtstreuung (Raman-Streuung) des Laserlichtes führen. Ein Teil dieser Raman-Streuung wird von der Glasfaser zum Messgerät zurückgeführt und in ein elektrisches Signal gewandelt. Die Lichtintensität des Raman-Streulichtes ist proportional zur thermischen Molekülschwingung und die Laufzeit des Lichtes ist proportional zum Ort der Raman-Streuung. Die rechnerische Verarbeitung des rückgestreuten Raman-Streulichtes liefert im Sekundentakt (typ. 30s) die Temperatur des Sensorkabels als Funktion des Linerortes.

Bild [2.1] zeigt die prinzipielle Anordnung des CMS. Das Sensorkabel wird werkseitig oder auf der Baustelle mit dem Schlauchliner in Kontakt gebracht, so dass während der Sanierungsmaßnahme die Aushärtungstemperatur in Längsrichtung des Liners gemessen werden kann. Das Auswertegerät befindet sich außerhalb des Schachtes und ist mit dem Sensorkabel einseitig verbunden.



**Bild 2.1: Prinzipielle Anordnung des Curing Monitoring Systems (CMS)**

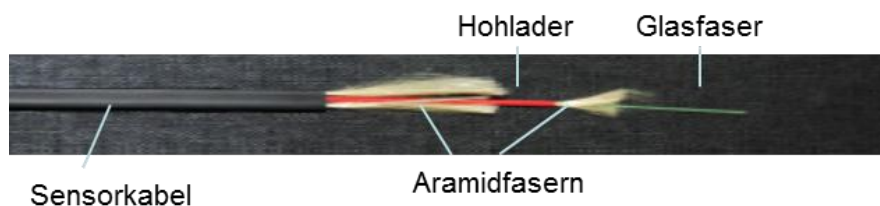
### 2.1.1 Aufbau des Sensormesskabels

Der Einsatz von Messtechnik während der Sanierungsmaßnahme verlangt eine robuste und zuverlässige Bauweise. Bei der Verbauung des Liners entstehen starke Druck-, Zug- und Torsionskräfte. Die in dem optischen Sensorkabel integrierte Glasfaser ist empfindlich gegenüber äußeren mechanischen Kräften und muss durch eine adäquate Kabelkonstruktion geschützt werden. OSSCAD hat für die Kanalsanierung verschiedene Messkabel entwickelt, die für den Einzug in den Abwasserkanal und für die werkseitige Linerintegration geeignet sind (siehe Bild [2.2]). Die Temperaturmesskabel sind für den Einbau von Linern mit kleinem und großem Durchmesser verwendbar. Die optische Verbindung des Messkabels zum Temperatursauswertegerät erfolgt schnell und einfach mittels optischer Steckverbinder.



**Bild 2.2: Temperaturmesskabel für die werkseitige Linerintegration (rechts) und für den Einzug in den Abwasserkanal (links)**

Den Aufbau des Sensormesskabels zeigt das Bild [2.3]. Die Glasfaser wird in eine Hohllader eingebracht, mit Zugentlastungselementen in Form von Aramidfasern umhüllt und mit einem Kunststoffaußenmantel gegenüber äußeren Beschädigungen geschützt. Um eine möglichst einfache Verbindung des Messkabels zum Auswertegerät zu erzielen, werden die Messkabel mit einem optischen Stecker vorkonfektioniert.



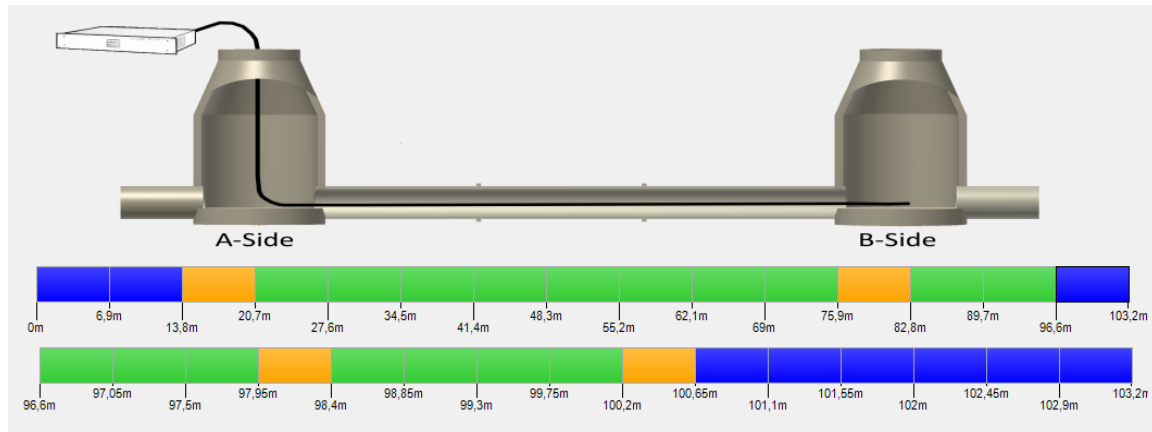
**Bild 2.3: Aufbau des Sensorkabels**

### **2.1.2 Software für die Prozessführung, Analyse und Dokumentation der thermischen Lineraushärtung**

Für die Prozessführung, für die Analyse und für die Dokumentation des thermischen Aushärtungsprozesses von Schlauchlinern hat OSSCAD eine Applikationssoftware entwickelt. Die Applikationssoftware enthält eine Zonendarstellung, ein 3D Plot und ein Anlagenbild mit Info-Feld, die vom Anwender per Mausklick aufgerufen werden können.

Die **Zonendarstellung** zeigt die schematische Anordnung des Sensorkabels und des Auswertegerätes in Bezug auf die beiden Schächte (Eingangsschacht und Ausgangsschacht) der Sanierungsmaßnahme. Die Haltungslänge zwischen dem Eingangsschacht und dem Ausgangsschacht wird in äquidistante Abschnitte (Zonen) unterteilt. Die Temperaturdaten des Messkabels werden den jeweiligen Zonen zugeordnet, ausgewertet und farblich gekennzeichnet. Die Referenzwerte für die Zonenfarben können gemäß den Vorgaben des Linerherstellers konfiguriert werden,

z.B. Zonenfarbe GRÜN, wenn die Temperatur am Liner die Mindesttemperatur für die exotherme Reaktion des Linerharzes erreicht. Bild [2.4] zeigt ein Beispiel der Zonendarstellung mit schematischer Anordnung des Sensorkabels.



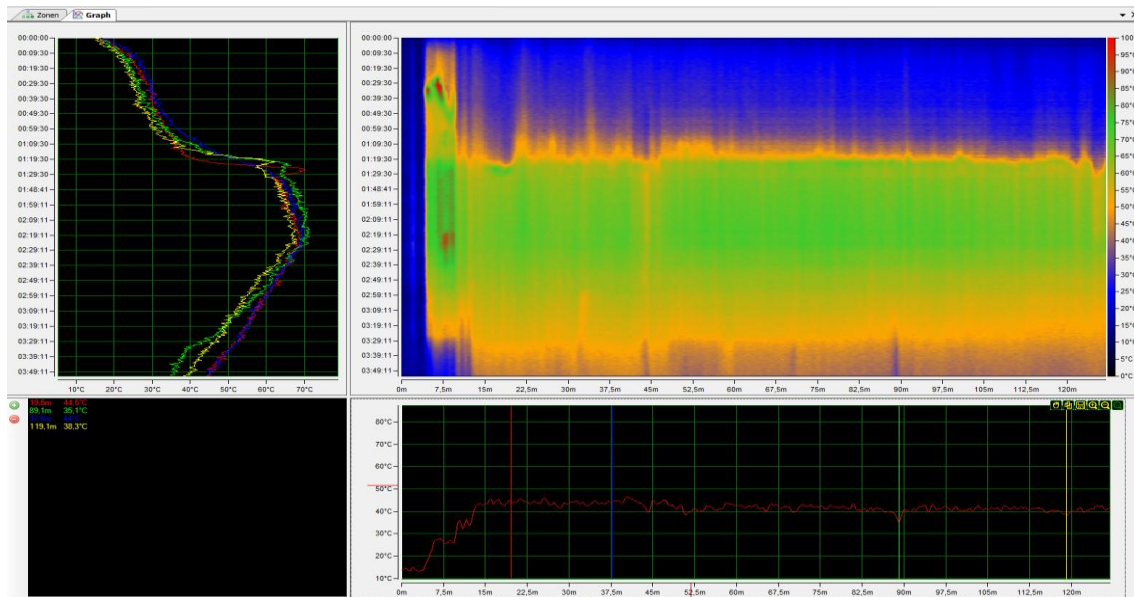
**Bild 2.4: Zonenansicht als Prozessmodul**

Die Zonenansicht enthält Hauptzonen und Subzonen, die bei Bedarf per Mausklick aufgerufen werden können um eine detailliertere Darstellung zu ermöglichen. Die Subzonen besitzen eine minimale Längsabmessung von 15cm, gemäß der örtlichen Auflösung des Auswertegerätes.

Bei der Aushärtung des Liners ändert sich die Linerteremperatur und somit ändern sich auch die Farben der Zonen. Die Zonenfarben ändern sich zeitlich und repräsentieren den aktuellen Aushärtungszustand des Liners. Mit der Zonendarstellung liegt eine einfache und eindeutige Entscheidungshilfe vor, z.B. wann die Mindesttemperatur für alle Linerorte entlang der Haltungslänge erreicht ist. Die Zonenansicht ist ein Prozessmodul für den Errichter um die Wärmezuführung gezielt nachzuführen zu können (s. Abschnitt 3.3 Prozessführung mittels CMS Technik).

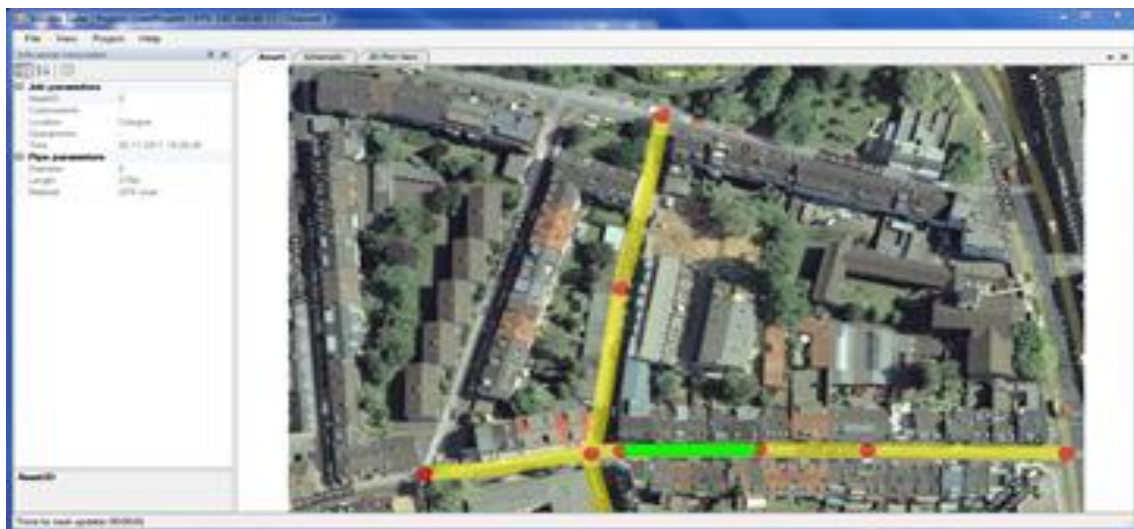
Für die Prozessanalyse hat OSSCAD ein leistungsstarkes Visualisierungstool in Form eines thermographischen Bildes entwickelt. Die Temperaturwerte werden in RGB Farben umgerechnet und als dreidimensionales **3D Plot** (Linerteremperatur als Funktion von Ort und Zeit) dargestellt (siehe Bild [2.5]). Dieses thermographische 3D-Plot stellt den thermischen Aushärtungsvorgang als Funktion von der Haltungslänge und der zeitlichen Wärmezuführung über die Gesamtdauer der Sanierungsmaßnahme in Echtzeit dar. Orte die für den Operator wichtig sind, können selektiert und als zeitlicher Temperaturverlauf ausgewiesen werden. Zusätzlich wird der örtliche Temperaturgraph (Temperaturmesswert als Funktion der Messkabelänge) der letzten Messung dargestellt. Mit Hilfe eines Analysetools können aufgezeichnete Messdaten geladen und wie beschrieben visualisiert werden.

Das Analysetool besitzt eine Animationsfunktion, mit der die Messdaten des örtlichen Temperaturgraphen zeitlich nacheinander durchfahren werden können. Die örtlichen und zeitlichen Messdaten können per Software in einen 3D-Plot überführt werden und als Qualitätsnachweis für eine fachgerechte Lineraushärtung verwendet werden.



**Bild 2.5: Das 3D Plot: Modul für die Prozessanalyse und für den Qualitätsnachweis der Schlauchlinersanierung**

Das **Anlagenbild** in Kombination mit dem Info-Feld liefert wichtige Informationen zum Liner und gibt dem Bediener einen Überblick über das Liner-Projekt (s. Bild [2.6]).



**Bild 2.6: Anlagenbild und Info-Feld**

Alle Informationen zum Liner (Art des Liners, Maße, Material, etc.), zur Projektplanung (Fließrichtung, Nummer der Haltungen, Schächte etc.), zur Installation des Liners und die Messdaten des Curing Monitoring Systems werden in einer Datenbank abgelegt und stehen dem Anwender jederzeit zur Verfügung.

### 3 ENTWICKLUNGSPROJEKTE UND REFERENZPROJEKTE

Im November 2007 hat OSSCAD erstmalig das CMS Messverfahren für die Kanalsanierung bei einem Stadtentwässerungsbetrieb in NRW zusammen mit dem IKT erprobt. Aufgrund der positiven Akzeptanz hat OSSCAD es sich zur Aufgabe gemacht, das Messverfahren für die Kanalsanierung weiter zu entwickeln. Das CMS Verfahren wurde in Deutschland, Österreich, Frankreich, den Niederlanden und den USA in mehr als 40 Linerprojekten mit Warmwasseraushärtung, Dampfaushärtung und UV Lichtaushärtung erfolgreich umgesetzt [1] bis [4].

Die Kabelkonstruktion der ersten Generation wurde für die werkseitige Integration des Sensormesskabels in GFK Liner entwickelt, so dass auf der Baustelle der Liner mit dem eingebetteten Sensorkabel in den Kanal eingezogen werden kann. Die Entwicklung der zweiten Generation von Sensorkabeln konzentriert sich auf den einfachen und direkten Einzug des Sensorkabels während der Sanierungsmaßnahme sowohl für GFK Liner als auch für Nadelfilzliner, die mittels Inversionsverfahren verbaut werden. Ein neues Anwendungsgebiet von Schlauchlinern ist die Sanierung von Druckleitungen (Trinkwasserleitungen). OSSCAD hat für dieses Marktsegment bereits erste Prototypen von Sensorkabeln entwickelt, die für den Feldeinsatz zur Verfügung stehen.

Nachfolgend werden Referenzprojekte von unterschiedlichen Nadelfilzlinern am Beispiel der Dampfaushärtung vorgestellt, die das Potenzial einer verbesserten Prozessführung mittels CMS Technik verdeutlichen, mit dem Ziel, die Anlageneffizienz zu verbessern um die Energiekosten und die CO<sub>2</sub> Emission zu reduzieren.

#### 3.1 Referenzprojekte

##### 3.1.1 Referenzprojekt A

Nadelfilzliner werden durch Inversion in den Abwasserkanal verbaut. Vor dem Beginn der Inversion wird ein sogenannter Preliner eingezogen. Der Preliner erleichtert die Inversion, schützt das Linermaterial gegenüber scharfen Kanten und verhindert ein Eindringen des harzgetränkten Linermaterials in die Umwelt. Das Sensorkabel ist so konzipiert, dass es zusammen mit dem Preliner eingezogen oder eingeblasen werden kann.

Der Sohlenbereich ist prädestiniert für die örtlich verteilte Temperaturmessung, da in Längsrichtung des Altrohres Senken nicht ausgeschlossen werden können. Während der Dampfaushärtung sammelt sich in den Senken Kondensat, das die thermische Aushärtung des Linermaterials verzögert. Ebenso kann kaltes Grundwasser gegen das Altrohr drücken und im Sohlenbereich Wärmeenergie entziehen. Aus diesem Grund wird das Sensorkabel im Sohlenbereich (6-Uhrposition) des Altrohres abgelegt. Anschließend wird mit Druckluft (ca. 0,3bar) der Preliner aufgestellt und die Inversion gestartet. Anschließend wird der Liner durch Zuführung von Druckluft aufgestellt und die Dampfaushärtung gestartet. Gemäß Herstellervorgaben wird der heiße Dampf mit Druckluft gemischt, so dass die Dampfeintrittstemperatur zwischen 60°C und 115°C erzeugt wird und über Druckleitungen dem Liner zugeführt wird.

Im Referenzprojekt A wurde ein Nadelfilzliner DN 500 mit einer Wandstärke von 7,5mm und einer Länge von ca. 90m verbaut. In der ersten Heizphase – der **Aufheizphase** – wird die Dampfeintrittstemperatur von 75°C stufenweise auf 105°C erhöht. In der zweiten **Heizphase** – der Haltephase – wird die Dampftemperatur nahezu konstant auf 110°C -115°C gehalten.

In der Heizphase erfolgt die thermische Aushärtung des Liners. Je nach Wandstärke des Liners wird vom Linerhersteller die Einwirkungsdauer der Dampfeintrittstemperaturen festgelegt, unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlages. Diese Vorgaben hat der Operator der Dampfanlage einzuhalten. Im Schachtbereich befinden sich Thermoelemente, mit denen die Aushärtungstemperatur kontrolliert wird. Entscheidend für eine fachgerechte Aushärtung ist das Erreichen der sogenannten Mindesttemperatur. Die Mindesttemperatur ist notwendig, um die exothermen Reaktionen im harzgetränkten Linermaterial anzustoßen und den Aushärtungsprozess einzuleiten. Zur Kontrolle des Aushärtungsprozesses werden die Thermoelemente zwischen Preliner und Außenwand des Liners positioniert. Die Temperaturwerte werden in Zeitabständen von ca. 30min

abgelesen und dokumentiert (s. Bild [3.1]). Wenn die Mindesttemperaturen von 55°C im Schachtbereich nicht vorliegen, muss der Operator die Aushärtungszeit manuell verlängern.



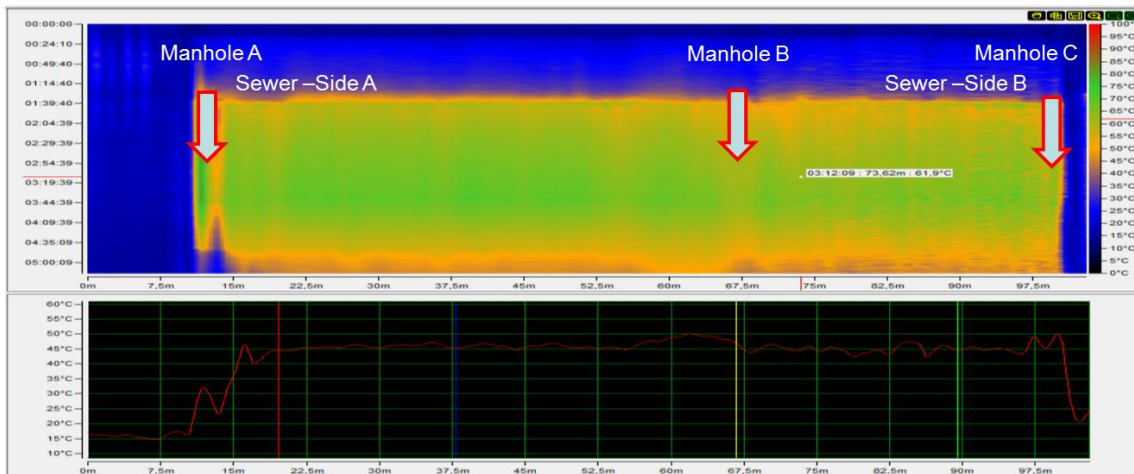
**Bild 3.1: Temperaturmessung mittels Thermoelement im Schachtbereich**

Nach Abschluss der Heizphase wird der Abkühlungsvorgang – **Abkühlphase** - gestartet und die Dampfeintrittstemperatur von 115°C in mehreren Schritten auf 75°C abgesenkt. Ist der Abkühlungsvorgang abgeschlossen, wird der Liner mit kalter Druckluft gespült, um die nachfolgenden Fräsarbeiten im Schachtbereich zeitnah beginnen zu können.

In Bezug auf die Referenzprojekte sollen die nachfolgenden Fragen beantwortet werden:

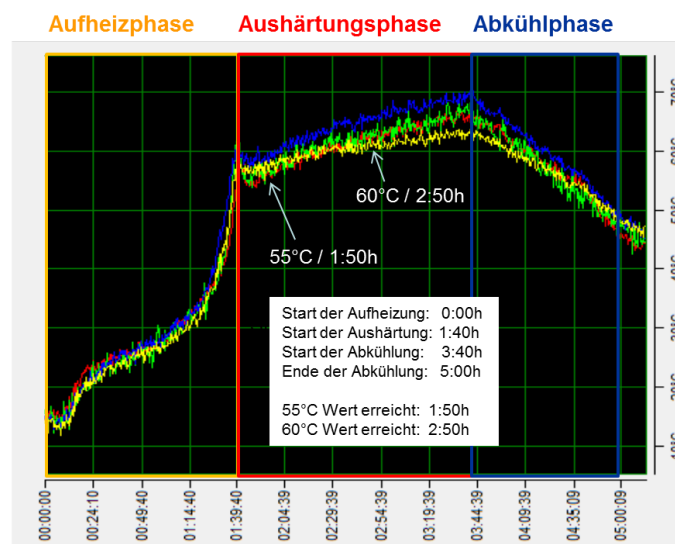
- Ist die Mindesttemperatur von 55°C entlang der gesamten Haltungslänge (zwischen den Schächten) erreicht worden?
- Wurden mit dem CMS zusätzliche Inhomogenitäten gemessen, die mit dem Thermoelement nicht erkannt wurden?
- Zu welchem Zeitpunkt wurde die Mindesttemperatur in Längsrichtung des Liners erreicht?
- Wie hoch ist das zeitliche Energieeinsparpotenzial bei den Referenzprojekten?

Bild [3.2] zeigt den 3D Plot vom Startzeitpunkt des Aufheizens bis Zeitpunkt des Abkühlvorganges sowie das örtliche Temperaturprofil der letzten Messung. Die Temperaturwerte im Sohlenbereich des Liners sind als RGB Farben in Form eines 3D-Plots (Temperatur als Funktion von Ort und Zeit) dargestellt, zusammen mit der Zuordnung der Lage der Schächte A bis C.



**Bild 3.2: 3D-Plot und örtliches Temperaturprofil - Referenzprojekt A**

Entlang des örtlichen Temperaturprofils können Linerorte selektiert werden und der zu den Linerorten korrespondierende zeitliche Verlauf dargestellt werden.

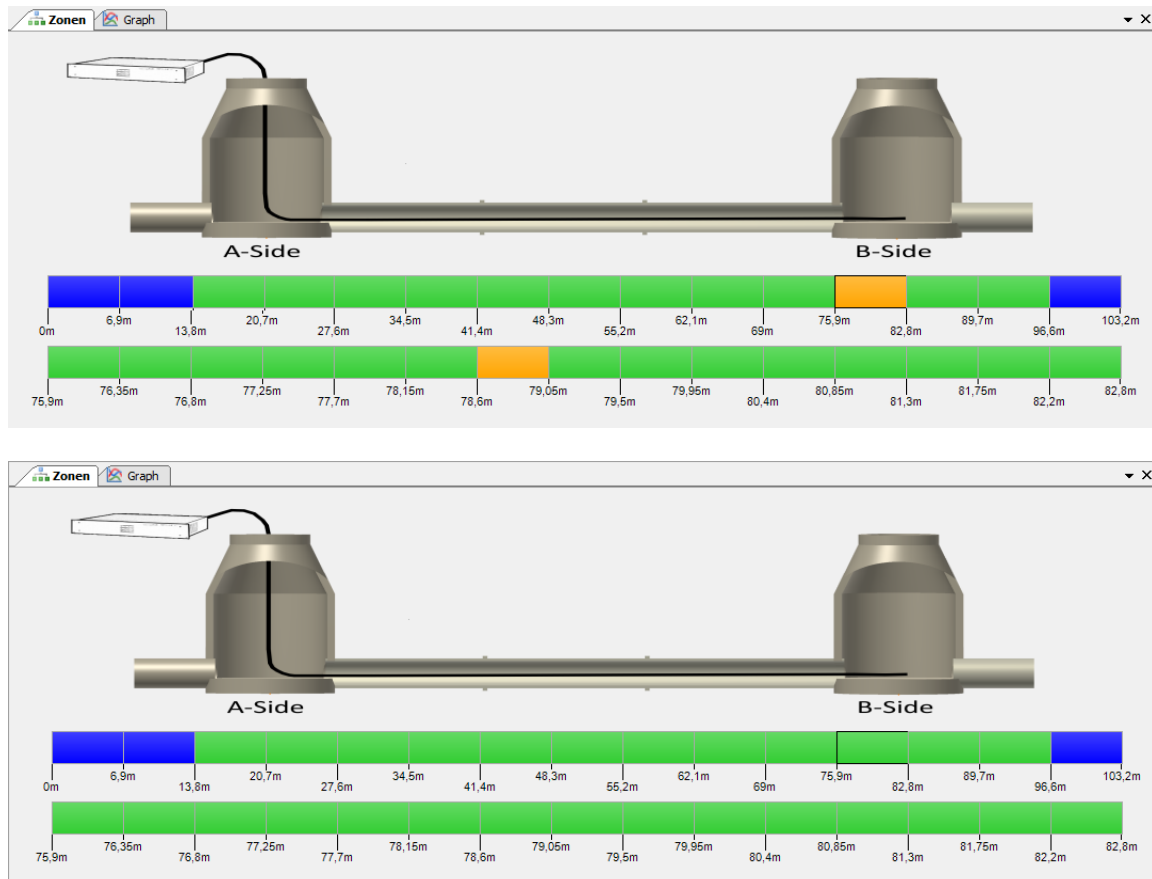


**Bild 3.3: Zeitlicher Temperaturverlauf selektierter Linerorte - Referenzprojekt A**

Bild [3.3] zeigt den zeitlichen Verlauf in Bezug auf die drei zeitlichen Heizphasen (Aufheizphase, Heizphase und Abkühlphase) des Dampfprozesses.



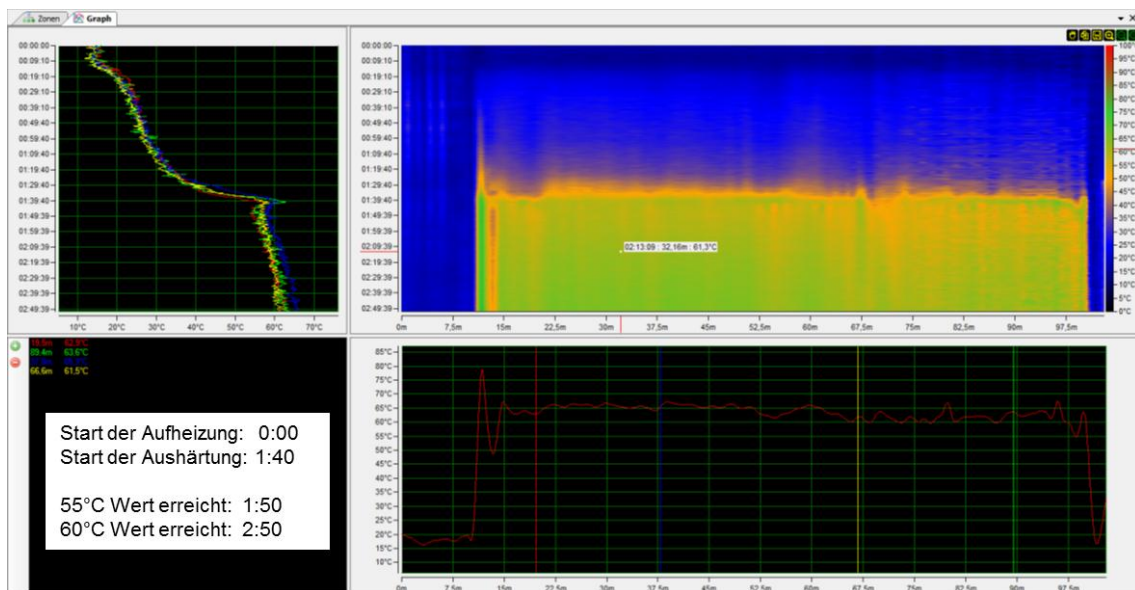
Der 3D Plot zeigt, dass eine sehr homogene thermische Aushärtung entlang der gesamten Länge des Liners vorliegt, ohne thermische Inhomogenitäten. Die Mindesttemperatur von 55°C wurde an allen Linerorten bereits kurz nach dem Ende der Aufheizphase (Start der Heizphase) erreicht (s. Bild [3.3]). Auf Wunsch des Betreibers wurde im CMS ein Sicherheitsaufschlag von 5°C für die Mindesttemperatur hinterlegt. Der Temperaturreferenzwert von 60°C wurde als Entscheidungsschwelle für die Zonenfarbe GRÜN hinterlegt, so dass dem Operator visuell signalisiert wird, wann dieser Zustand erreicht wird. Bild [3.4] zeigt die Zonendarstellungen kurz vor und nach dem Erreichen der Mindesttemperatur von 60°C.



**Bild 3.4: Hauptzonen und Subzonen vor (Bild oben) und nach dem Erreichen (Bild unten) der Mindesttemperatur – Referenzprojekt A**

Im Bild [3.5] ist der 3D Plot, das Temperaturprofil und der zeitliche Verlauf selektierter Linerorte vom Start der Aufheizphase bis zum Erreichen des Temperaturreferenzwertes von 60°C dargestellt. Der Zeitpunkt für das Erreichen der Mindesttemperatur von 55°C ist in den Bildern [3.2, 3.3 und 3.5] markiert und ausgewiesen.

Demnach wurde die Mindesttemperatur von 55°C bereits nach 1:50h erreicht, d.h. die Heizphase von 2h könnte um 110min auf 10min reduziert werden. Dies entspricht einer zeitlichen Reduktion der Heizphase um mehr als 90%. Der Temperaturreferenzwert von 60°C wird 1h später erreicht. Auch mit dem Sicherheitsaufschlag von 5°C liegt ein Einsparpotenzial von 50min vor, dies entspricht einer zeitlichen Reduktion von mehr als 40%.



**Bild 3.5: Zeitlicher Temperaturverlauf der Linerorte beim Erreichen der Mindesttemperatur von 60°C - Referenzprojekt A**

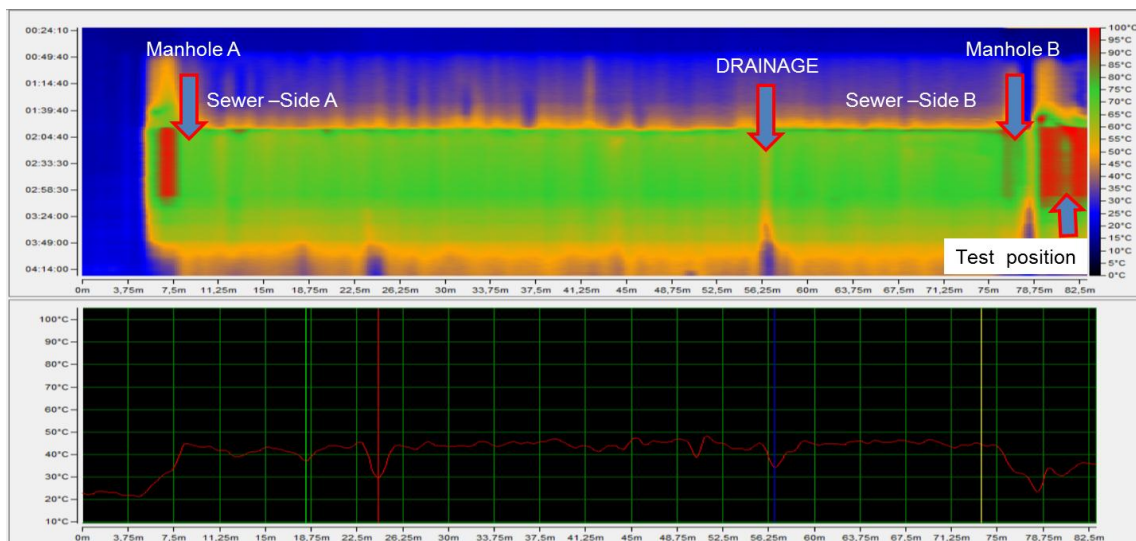
Die zeitliche Reduktion bezieht sich auf die Heizphase (Haltephase) mit Dampfeintrittstemperatur zwischen 105°C und 115°C, d.h. auf den Zeitraum mit dem höchsten Energiebedarf und somit dem größten Einsparpotenzial.

Nachfolgend werden zwei weitere Referenzprojekte mit Nadelfilzlinern präsentiert werden, bei denen in Analogie zum ersten Referenzprojekt, die Längshomogenität der thermischen Aushärtung entlang des Liners dargestellt werden soll sowie das zeitliche Einsparpotenzial in Bezug auf die Mindesttemperatur von 55°C und dem Temperaturreferenzwert von 60°C.

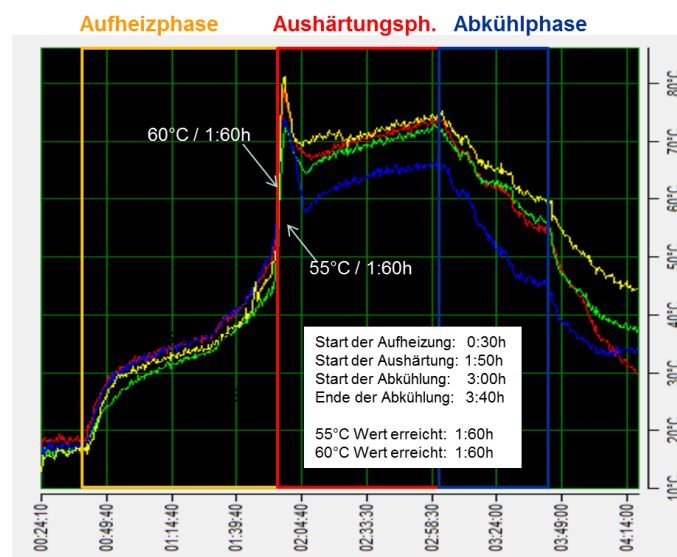
### 3.1.2 Referenzprojekte B + C

Im Referenzprojekt B wurde ein Nadelfilzliner DN300 mit einer Wandstärke von 6mm und einer Länge von ca. 80m verbaut und im Referenzprojekt C ein Nadelfilzliner DN400 mit einer Wandstärke von 6mm und einer Linerlänge von ca. 120m. Bild [3.6] zeigt den 3D Plot mit dem örtlichen Temperaturprofil im Sohlenbereich des Liners.

In Bezug auf die örtliche Skalierung des 3D Plots befindet sich der Eingangsschacht an der Metermarke 13m und der Beginn des Liners (Haltungsanfang) an der Metermarke 15m. In 53m Entfernung (Metermarke 68m) ist die Linerumtemperatur um ca. 10K geringer als an den übrigen Linerorten. Der Grund ist eine Senke im Sohlenbereich des Kanals. Die Senke war dem Errichter bekannt, so daß eine Drainage in Richtung Haltungsende gelegt wurde. Trotz dieser Maßnahme entsteht durch das Kondensat eine Temperaturbarriere, die eine geringere Temperatur im Sohlenbereich des Liners verursacht.



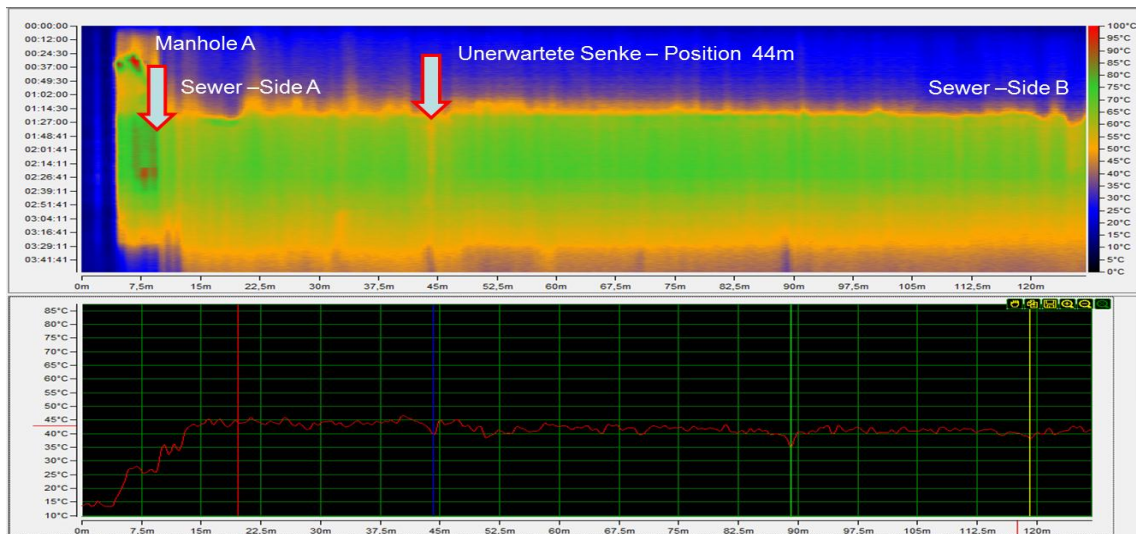
**Bild 3.6: 3D Plot und örtliches Temperaturprofil selektierter Linerorte - Referenzprojekt B**



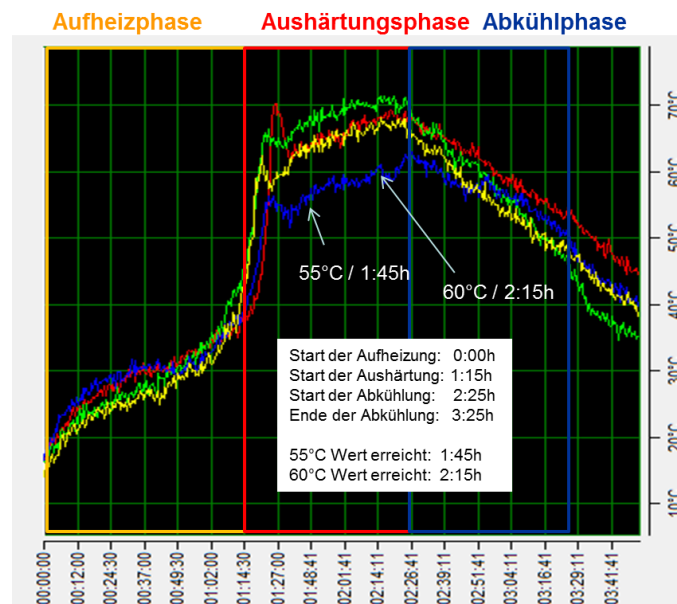
**Bild 3.7: Zeitlicher Temperaturverlauf selektierter Linerorte - Referenzprojekt B**

Die Mindesttemperatur im Bereich der Drainage von 55°C (blauer Graph) wurde nach 90min und unmittelbar nach dem Start der Heizphase erreicht, d.h. die Heizphase von 70min könnte um mehr als 60min reduziert werden. Dies entspricht einer zeitlichen Reduktion der Heizphase um mehr als 85%, trotz Drainage. Der Referenzwert von 60°C im Bereich der Drainage wird nahezu gleichzeitig erreicht. D.h. auch mit dem Sicherheitsaufschlag von 5°C kann die Heizphase um mehr als 85% reduziert werden.

Bild [3.8] zeigt den 3D Plot mit dem örtlichen Temperaturprofil im Sohlenbereich des Liners des Referenzprojektes C. Bild [3.9] veranschaulicht den zeitlichen Temperaturverlauf der markierten Linerorte aus Bild [3.8].



**Bild 3.8: 3D-Plot und örtliches Temperaturprofil - Referenzprojekt C**



**Bild 3.9: Zeitlicher Temperaturverlauf selektierter Linerorte - Referenzprojekt C**

Die Herstellervorgaben für die Dampfzuführung (Heizkurve) des Nadelfilzliners DN400 (Referenzprojekt C) sind identisch mit denen des Nadelfilzliners DN300 (Referenzprojekt B). 75min nach Start des Aufheizens beginnt die Heizphase die nach 70min endet. Interessant ist, dass bei dem Projekt C eine kalte Stelle (blauer Graph) an der Position 44m vorlag, die den Zeitpunkt des Erreichens der Mindesttemperatur bestimmt (s. Bild [3.8] und [3.9]). Die Mindesttemperatur von 55°C wird nach 105min erreicht und der Referenzwert von 60°C nach 135min. Dies entspricht einem Einsparpotenzial von 40 Minuten (ca. 57%) in Bezug auf das Erreichen der Mindesttemperatur von 55°C und 10 Minuten (etwa 14%) in Bezug auf die Referenztemperatur von 60°C. Mit der CMS Software können örtliche „Fehlstellen“ im

Temperaturprofil, z. B. durch unbekannte Senken, erkannt werden und bei der Sanierungsmaßnahme in Echtzeit berücksichtigt werden.

### 3.2 Prozessführung mittels CMS Technik

Anhand der CMS Messdaten kann der exakte Zeitpunkt für die Mindesttemperatur der thermischen Aushärtung an jedem Ort des Liners ermittelt werden, so dass die Wärmezuführung angepasst werden kann:

- Wird die Mindesttemperatur nicht erreicht, kann der Operator den Wärmeeintrag gezielt verlängern, mit dem Ergebnis, dass auch bei schwierigen Baustellenverhältnissen die Sanierung erfolgreich durchgeführt werden kann.
- Wird die Mindesttemperatur früher als erwartet erreicht, kann die Wärmezuführung verkürzt werden.

Die Entscheidungskriterien für den Errichter, wann die Mindesttemperatur in Längsrichtung des Liners erreicht wird, erfolgt mit einer rechnerunterstützten Auswertung der örtlichen Messdaten. Mit der Zonenauswertung als Prozessmodul können die Berechnungsergebnisse für den Errichter / Operator farblich visualisiert werden. Die verschiedenen Zonenfarben werden bei der Inbetriebnahme des CMS gemäß den Aushärtungseigenschaften des Liners abgefragt und hinterlegt. Für die Zonendarstellung der Haupt- und Subzonen existieren die nachfolgenden vier Farben:



Zonenfarbe Blau: Vor dem Start der Aufheizphase ist die Temperatur aller Zonen blau. Ist die Zonenfarbe während der Sanierungsmaßnahme blau, so ist dies ein Indiz für eine Kältestelle am Liner.



Zonenfarbe Orange: Die Temperatur in der Zone ist gegenüber dem Start der Messung erhöht, die Aufheizphase hat begonnen. Die geforderte Mindesttemperatur für den Start der exothermen Reaktionen ist noch nicht erreicht.



Zonenfarbe Grün: Die Zone hat die Mindesttemperatur erreicht und der Aushärtungsprozess wird aktiviert. Wenn alle Zonen die Farbe grün aufweisen, ist dies ein Indiz für eine homogene Aushärtung in Längsrichtung des Sensorkabels.



Zonenfarbe Rot: Die zulässige Temperatur wird überschritten und der Liner weist möglicherweise Beschädigungen durch Verbrennungen auf.

Hinweis: Die Farbe einer Hauptzone nimmt nur dann die Farbe der Subzonen an, wenn alle Subzonen der Hauptzone die gleichen Zonenfarben aufweisen.

### 3.3 Kostenersparnis mittels CMS Technik

Ein Vorzug der CMS Technik ist die zeitlich exakte Bestimmung des Erreichens der Mindesttemperatur. Dies ermöglicht die ereignisorientierte Prozessführung der Dampfanlage. Nachfolgend soll das Einsparpotenzial der Energiekosten in Bezug auf die Referenzprojekte abgeschätzt werden. In der Tabelle [3.1] sind die Eckdaten der Referenzprojekte, der Dampfaushärtung und die Zeiten für das Erreichen der beiden Mindesttemperaturen von 55°C und 60°C, in Bezug auf den Startzeitpunkt der Aufheizung, dargestellt.

	Linerdaten			Zeitdauer der Aushärtung			Erreichen der Temperatur		
	Durchmesser	Wandstärke	Länge	Aufheizphase	Heizphase	Abkühlphase	55°C	60°C	Inhomogenitäten
Projekt A	DN 500	7,5mm	90m	100min	120min	80min	110min	170min	Nein
Projekt B	DN 300	6mm	80m	80min	70min	40min	90min	90min	Drainage
Projekt C	DN 400	6mm	120m	75min	70min	60min	105min	135min	Kalte Stelle

Tabelle 3.1 Eckdaten der Referenzprojekte

		Linerkosten (Material+P Projekt)	ca. 10% Energiekosten	Kostenanteil des Heizens	Einsparpotenzial in Bezug auf die Heizphase			
					Einsparpotenzial %		Einsparpotenzial €/m	
					55°C	60°C	55°C	60°C
Projekt A	DN 500	400€/m	40€/m	67%	90%	40%	24€/m	11€/m
Projekt B	DN 300	200€/m	20€/m	67%	85%	85%	11€/m	11€/m
Projekt C	DN 400	300€/m	30€/m	67%	57%	14%	11€/m	3€/m

Tabelle 3.2 Einsparpotenzial der Referenzprojekte A bis C

Die ungefähren Kosten des Linerprojektes (Materialkosten und Sanierungskosten) sind in der Tabelle [3.2] für die verschiedenen Linertypen der Projekte als Referenzwerte hinterlegt. Die Gesamtenergiekosten betragen ca. 10% der Gesamtprojektkosten. Der Anteil der Energiekosten für die Heizphase kann mit ca. 2/3 der Gesamtenergiekosten beziffert werden. Bezieht man die Kosten der Aufheizphase auf den zeitlichen Anteil der für das Erreichen der beiden Mindesttemperaturen benötigt wird, so erhält man das Einsparpotenzial pro Meter. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Linerlängen kann das gemittelte Einsparvolumen des Projektes berechnet werden (siehe Tabelle [3.2]).

In der Berechnung sind nicht die verkürzten Standortzeiten auf der Baustelle berücksichtigt und auch nicht die Ersparnis durch eine reduzierte Qualitätsprüfung, die durch den verbesserten Qualitätsnachweis der CMS Technik möglich wird.

## 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit der Entwicklung eines faseroptischen Temperaturmessverfahrens ist es gelungen, die thermischen Eigenschaften entlang der Haltung in Echtzeit während der Sanierungsmaßnahme zu messen. Im Unterschied zu elektronischen Sensoren ermöglicht der CMS Sensor die lückenlose Messung der Linertemperatur entlang der Haltung. Das Sensorkabel kann werkseitig integriert oder auf der Baustelle eingezogen werden.

Am Beispiel dreier Referenzprojekte wurde das Innovationspotenzial der CMS Technik gezeigt. Anhand des thermographischen 3D Plots lassen sich thermische Unregelmäßigkeiten wie kalte Stellen, Drainagen etc. einfach erkennen. Der 3D Plot dient als Qualitätsnachweis der Sanierungsmaßnahme.

Mit dem Prozessmodul der Zonendarstellung ist es gelungen, die zeitliche und örtliche Zuordnung der Messdaten einfach zu gestalten und die Messdaten rechnerunterstützt aufzubereiten, so dass eindeutige Entscheidungskriterien hinsichtlich des thermischen Aushärtungszustandes des Liners für den Errichter während der Sanierungsmaßnahme vorliegen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das CMS sich durch eine einfache Handhabung, robuste Systemkomponenten und eine leistungsstarke Software auszeichnet, die neue Möglichkeiten für den Errichter und für den Kunden bietet:

- Monitoring des thermischen Aushärtungsprozesses in Längsrichtung des Liners während der Sanierungsmaßnahme
- Farbliche Kennzeichnung beim Erreichen der geforderten Liner-Mindesttemperatur und somit eindeutige Entscheidungshilfen für den Errichter auch bei schwierigen Baustellen
- Höhere Planungssicherheit für die Sanierungsmaßnahme mit geringeren Folgekosten (Re-Investitionen)
- Reduktion der Energiekosten und der CO<sub>2</sub>-Emission
- Qualitätsnachweis des thermischen Aushärtungsprozesses in Form eines 3D-Plots über die Gesamtlänge des Liners und über die Gesamtdauer der Sanierungsmaßnahme
- Erhöhung der Akzeptanz von Schlauchlinern bei Errichter und Kommunen
- Signifikantes Einsparvolumen und somit geringe Amortisationszeiten der CMS Technik

Im Rahmen der KMU-innovativ des Bundesministerium für Forschung und Bildung entwickelt die Firma OSSCAD zusammen mit Verbundpartnern Lösungskonzepte und Verfahren, mit denen die Ressourcen- und Energieeffizienz bei der Kanalsanierung mittels Schlauchlinern verbessert werden kann [5]. Die vorgestellten Projekte sind wichtige Beiträge für dieses F&E Vorhaben.

Weiter Ergebnisse sollen im Frühjahr 2013 veröffentlicht werden.



## 5 LITERATUR- UND QUELLENACHWEIS

[1] Bosseler , B., Abnahme von Liningmaßnahmen - Materialnachweise und Bewertung der Liningqualität, IKT Institut für Unterirdische Infrastruktur, BMBF Abschlussbericht, März 2009

[2] Diburg, B., Bosseler, B., Glombitza, U., Temperaturmessung bei Kanalsanierungen unter Einsatz von Schlauchlinerverfahren, Praxisanwendung bei einem warmwasserhärtenden Nadelfilzliner in Recklinghausen, bi UmweltBau, Kongressausgabe Deutscher Schlauchlinertag, Pforzheim, April 2009

[3] Glombitza, U., Behlau, M., A new temperature measuring set-up to control the lining curing during the sewer renovation, International No-Dig 2011, 29th International Conference and Exhibition, Berlin, Mai 2011

[4] Glombitza, U., Fiber Optic Cure Verification (FCV) Ensures Quality, Longevity of CIPP Liner Installations, North American Society for Trenchless Technology (NASTT), No-Dig Show 2012 Nashville, TN, März 2012

[5] Faseroptisches thermographisches Insitu Lasermessverfahren zur Prozessoptimierung zwecks Verbesserung der Ressourcen- und Energieeffizienz bei der Kanalsanierung mittels Schlauchlinern [FAIN], KMU-innovativ: Ressourcen- und Energieeffizienz - Technologiebereich: Nachhaltiges Wassermanagement.