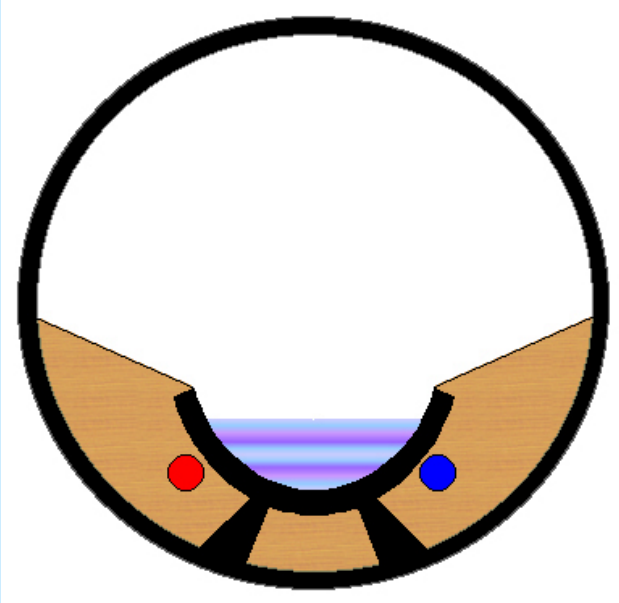
neutral
unabhängig
gemeinnützig

IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
Institute for Underground Infrastructure



WÄRMEGEWINNUNG AUS ABWASSERKANÄLEN

Entwicklung eines Anforderungskatalogs für Kläranlagen- und Kanalnetzbetreiber
gestützt auf Praxistests mit Wärmetauschern

- KURZBERICHT -

Dr. Lutz Rometsch

Gelsenkirchen, Januar 2005

Auftraggeber:

Ministerium für
Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft Verbraucherschutz
des Landes NRW

Auftragnehmer:

IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Kooperationspartner:

Ryser Ingenieure AG
Engestraße 9
CH – 3000 Bern 26

Büro eam Energie + Umwelt
Lindenhofstraße 15
CH – 8001 Zürich

Projektleitung und –bearbeitung:

Dr. rer. oec. Lutz Rometsch

Dipl.-Ing. Christoph Bennerscheidt
Beat Kobel (Ryser Ingenieure AG)
Ernst A. Müller (Büro eam)

Wissenschaftliche Begleitung:

Dr.-Ing. Bert Bosseler

Der Verfasser dankt allen Projektbeteiligten für die Bereitstellung des umfangreichen Datenmaterials sowie die weitreichende Unterstützung bei der inhaltlichen Bearbeitung des Forschungsprojektes. Besonderer Dank gilt Herrn Wolfgang Herwig von den Technischen Betrieben Leverkusen sowie Herrn Wolfgang Gerwert von HEC, Dortmund, für die zahlreichen Anregungen und die fachliche Diskussion.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

WÄRMEGEWINNUNG AUS ABWASSERKANÄLEN

Entwicklung eines Anforderungskatalogs für Kläranlagen- und Kanalnetzbetreiber gestützt auf Praxistests mit Wärmetauschern

- Kurzbericht -

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung 4

2 Rahmenbedingungen für Wärmerückgewinnung aus Abwasser 6

3 Technische Anforderungen an AWN-Anlagen 7

4 Akteursseitige Anforderungen an AWN-Anlagen 16

5 Abschätzung des Potenzials der Abwasserwärmenutzung in NRW 19

6 Primärenergieeinsparung und CO_2-Reduktion 24

7 Fazit 25

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

1 Aufgabenstellung

Mit dem vorliegenden Kurzbericht gibt das IKT einen Überblick über die Aufgabenstellung sowie eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen – Entwicklung eines Anforderungskatalogs für Kläranlagen- und Kanalnetzbetreiber gestützt auf Praxistests mit Wärmetauschern“, Aktenzeichen IV-9-042 3B1 des MUNLV NRW. Zur Lektüre der ausführlichen Darstellungen, der Herleitung der Forschungsergebnisse sowie der verwendeten Quellen wird auf den vollständigen Abschlussbericht verwiesen.

Abwasser, das täglich in großen Mengen durch die Abwasserkanalisationen transportiert, in Kläranlagen gereinigt und anschließend in die Vorfluter eingeleitet wird, stellt grundsätzlich ein Abfallprodukt ohne wirtschaftlichen Wert dar. Mit dem Abwasser aus privaten Haushalten, landwirtschaftlichen und industriellen Betrieben werden jedoch nicht nur Schadstoffe abgeleitet, in Abhängigkeit von der Nutzung findet auch eine Erwärmung des Wassers statt. Folglich weist das abfließende Abwasser eine höhere Temperatur auf als bspw. das Trinkwasser. Nunmehr sind Überlegungen im Gange, das energetische Potenzial des Abwassers für die Wärmeversorgung, d.h. für die Beheizung und Warmwasserversorgung von Liegenschaften zu nutzen. Damit stellt Abwasser eine potenzielle Ressource für eine thermische Nutzung dar und wird damit zu einem wirtschaftlichen Gut.

Die Rückgewinnung der im Abwasser befindlichen Wärme findet mit Hilfe von Wärmetauschern (WT) statt. WT, die bspw. in die Abwasserkanalisation eingebaut werden, sind ein Bestandteil von Abwasser-Wärme-Nutzungsanlagen (im Folgenden AWN-Anlagen). In den WT-Elementen zirkuliert ein flüssiges Medium, das in der Kanalisation zunächst die Wärme des Abwassers aufnimmt. Anschließend wird das erwärmte Medium einer Wärmepumpe zugeleitet. Dort findet ein verdichtender Wärmetausch statt: Verhältnismäßig große Mengen des Mediums geben die Wärmeenergie an eine relativ kleine Menge Wasser ab, wobei eine Anhebung auf ein höheres Temperaturniveau (50 – 60 °C) erfolgt.

In den warmen Sommermonaten ermöglicht der inverse Betrieb von AWN-Anlagen die Klimatisierung von Räumen, indem Wärmeenergie in die Abwasserkanalisation abgegeben wird. Obwohl dieser Bereich wirtschaftlich sehr interessant ist und auch im Verlauf dieser Forschungsarbeit noch weitere Hinweise auf die Klimatisierung erfolgen, liegt der thematische Schwerpunkt auf dem Heizungssektor und der Warmwasseraufbereitung.

Die Technologie zur Rückgewinnung der Abwasserwärme ist erprobt: In der Schweiz befinden sich bereits vereinzelte Anlagen in mehrjährigem Betrieb. Neuerdings sind auch in Deutschland die ersten in Kanalisationen eingebauten Anlagen zur Nutzung der Abwasserwärme in Betrieb genommen worden (Leverkusen und Singen). Weitere AWN-Anlagen werden in bzw. nach Kläranlagen betrieben.

Die Anwendung der WT-Technologie in Abwasserkanalisationen verheißt über den energetischen Nutzen hinaus auch Ressourceneinsparungen in Bezug auf den Primärenergieeinsatz sowie Emissionsminderungen, v.a. im Bereich des Treibhausgases CO_2. Damit stellt sich vor dem Hintergrund der gegenwärtig verfügbaren Technologie zur Nutzung der Abwasserwärme die Frage, welches Potenzial eine technisch und wirtschaftlich vertretbare Abwasserwärmenutzung das Land Nordrhein-Westfalen theoretisch aufweist. Bei der Abschätzung dieses Potenzials sind sowohl die technischen Anforderungen, die sich an den Kanalisations- und WT-Betrieb stellen, als auch die Anforderungen der angebots- und nachfrageseitig involvierten Akteure zu berücksichtigen. Ein besonderes Augenmerk liegt in dieser Studie auf den Anforderungen der Kanalnetzbetreiber (NB), die die

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

Abwasserkanalisation zum Zweck der Entwässerung betreiben.[1] Abwasserseitig sind zudem Anforderungen der Kläranlagenbetreiber zu beachten. Darüber hinaus sind auf der Angebotsseite die Anforderungen von Energieversorgungsunternehmen (EVU) einzubeziehen, da diese die Vermarktung der Wärmeenergie durchführen. Nachfrageseitig sind schließlich die Interessen und Präferenzen der Liegenschaftseigentümer bzw. der Bauherren bedeutsam. Erst unter Berücksichtigung der technischen, ökonomischen und vertragsrechtlichen Anforderungen dieser Akteure kann eine belastbare Abschätzung des Potenzials der Wärmerückgewinnung aus Abwasser in Nordrhein-Westfalen vorgenommen werden.

Die grundlegende Zielsetzung dieses Forschungsprojektes besteht darin, die Anforderungen der Akteure zusammenzutragen, die jeweiligen Hintergründe für diese Anforderungen auszuleuchten sowie darauf aufbauend das technisch und wirtschaftlich vertretbare Potenzial der Wärmerückgewinnung in NRW und die damit verbundenen energiewirtschaftlichen und umwelpolitischen Effekte abzuschätzen.

Das Forschungsprojekt wurde im Jahr 2004 im IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur in Gelsenkirchen bearbeitet. Als Projektpartner standen dem IKT die schweizer Unternehmen Ryser Ingenieure AG, Bern, sowie Büro eam, Zürich, zur Seite. Die durch den Auftraggeber, das MUNLV NRW, für die vorliegende Studie vertraglich bestimmten Leistungen von Ryser Ingenieure AG bestanden in der Erstellung von Berichten zu den Themen „Praxiserfahrungen in der Schweiz“, „Anforderungen aus Sicht der Kanalbetreiber“, „Empfehlungen zur Dimensionierung von WT-Anlagen“ und „Darstellung von Grenzkriterien für die Wärmenutzung“. In gleicher Weise bestand die Leistungsverpflichtung von Büro eam in einer Ausarbeitung zur „Darstellung des Wärmepotenzials in NRW“. Die von Beat Kobel für Ryser Ingenieure AG und Ernst A. Müller für Büro eam vorgelegten Beiträge sind auszugsweise in der Langfassung des Forschungsberichtes enthalten und dort in den jeweiligen Kapitelüberschriften durch einen entsprechenden Hinweis kenntlich gemacht. Die Beiträge von Ryser Ingenieure AG und Büro eam repräsentieren die Argumentation der Projektpartner, die auf den in der Schweiz gewonnenen Erfahrungen beruhen. Die Darstellung der Beiträge von Ryser Ingenieure AG und Büro eam beschränkt sich im Rahmen der Langfassung des Forschungsberichtes auf diejenigen inhaltlichen Ausführungen, die für die in dieser Studie zu behandelnde Fragestellungen aus Sicht des Verfassers relevant sind. Die inhaltliche und redaktionelle Verantwortung für die zugrundeliegenden Berichte[2] tragen Ryser Ingenieure AG und Büro eam.

Das Thema der Wärmerückgewinnung aus Abwasser berührt zugleich energiewirtschaftliche wie auch abwassertechnische Fragestellungen. Beide Themenkomplexe - die Verfügbarkeit von Energie und der Schutz der Gewässer - sind von vitaler Bedeutung für die Bevölkerung unseres Landes. Da die Errichtung und der Betrieb der Entwässerungs-Infrastruktur u.a. aus Gründen des Gewässerschutzes erfolgt, ist hinsichtlich der Wärmerückgewinnung aus Abwasser den umweltpolitischen Zielen des Gewässerschutzes Priorität vor energiewirtschaftlichen Zielen einzuräumen. Mit anderen Worten: Die energiewirtschaftlich motivierte Betrachtung der Wärmerückgewinnung aus Abwasser kommt erst dann zum Tragen, wenn Zielkonflikte zu Fragen des Gewässerschutzes ausgeschlossen werden können.

---

1 Die Potenzialermittlung für AWN-Anlagen wird im Wesentlichen auf der Grundlage der kommunalen Kanalisationsnetze durchgeführt. Ein weiteres Potenzial besteht möglicherweise bei den industriell-gewerblichen Netzen, sofern für die Wärmerückgewinnung geeignete Kanäle durch Siedlungsgebiete verlaufen.

2 Die vollständigen Berichte von Ryser Ingenieure AG („Grenzkritierien der Wärmenutzung“, „Praxiserfahrungen in der Schweiz“, „Anforderungen aus Sicht der Kanalbetreiber“, „Dimensionierungsempfehlungen“) und Büro eam („Potenzial der Abwasserwärmenutzung NRW“) liegen dem IKT vor.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

Vor dem Hintergrund der zuvor dargestellten inhaltlichen Ausrichtung der Forschungsarbeit und der jeweiligen Aufgaben auf die Projektpartner erfolgt nunmehr die Zusammenfassung der Ergebnisse des Forschungsberichtes.

2 Rahmenbedingungen für Wärmerückgewinnung aus Abwasser

Wärmerückgewinnung aus Abwasser ist technisch machbar und unter bestimmten Rahmenbedingungen auch wirtschaftlich vertretbar.

Hinsichtlich der technischen Machbarkeit der Wärmerückgewinnung aus Abwasser ist festzustellen, dass die Wärmeversorgung aus Abwasser mit Hilfe von AWN-Anlagen (Abwasserwärmenutzungsanlagen) erfolgt. Die Wärmepumpe einer AWN-Anlage kann zur Grundlastversorgung für die Raumheizung und Warmwasserversorgung sowie zur Klimatisierung eingesetzt werden. Bei darüber hinausgehenden Bedarfen übernimmt eine konventionelle Heizungsanlage die Warmwasserversorgung. Da zwei Heizungsanlagen zur Wärmeversorgung erforderlich sind, handelt es sich um ein bivalentes System. In der Schweiz sind bis heute rund 20 Anlagen zur Abwasserwärmenutzung realsiert. Probleme oder Betriebsstörungen der AWN-Anlagen sind bis auf einen Pumpendefekt (Binningen) und verschmutzungsbedingter Effektivitätsminderung (Zwingen) nicht bekannt.

Beat Kobel (Ryser Ingenieure AG) berichtet, dass die Dimensionierung von AWN-Anlagen im Anschluss an die Ermittlung des Wärmebedarfs einer Liegenschaft vorzunehmen ist. Die Wärmepumpe wird auf eine Leistung von 30 - 40 % der maximal erforderlichen Heizleistung ausgelegt. Für die Dimensionierung der Wärmetauscher werden die folgenden Richtwerte angegeben: 2 bis 3 kW je m^2 Wärmetauscheroberfläche bei verschmutztem Abwasser, 3 bis 4 kW je m^2 Wärmetauscheroberfläche bei gering verschmutztem Abwasser oder regelmäßiger Reinigung.

Die ökonomische Machbarkeit der Nutzung der Abwasserwärme setzt auf den nachfolgenden Voraussetzungen auf:

a) Die Akteure Netzbetreiber (NB) und Energieversorgungsunternehmen (EVU) können jeweils einen wirtschaftlichen Vorteil infolge des Einsatzes von AWN-Anlagen realisieren (Kooperationsgewinn). Hierin besteht eine wesentliche Voraussetzung für die freiwillige Kooperation der Akteure auf der Seite der Leistungserstellung. Darüber hinaus müssen auch Liegenschaftseigentümer bzw. Bauherren als Nachfrager der Wärmeenergie von dem Einsatz der AWN-Anlagen profitieren.

b) NB und EVU treffen im Konsens eine Vereinbarung über die Aufteilung des Kooperationsgewinns.

c) Zur Stabilisierung der Kooperation schließen NB und EVU langfristige und verbindliche Verträge.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

3 Technische Anforderungen an AWN-Anlagen

Über die Voraussetzungen für den Einbau von Wärmetauschern in Abwasserkanalisationen berichtet Beat Kobel (Ryser Ingenieure AG), dass die nachfolgend genannten, voneinander unabhängigen Bedingungen zugleich erfüllt sein müssen:

- Geeignet sind sogenannte begehbare Mischwasser- oder Schmutzwasserkanalisation mit einem Mindestquerschnitt ≥ DN 800 (nicht geeignet sind Niederschlagswasserkanalisationen und Kanalisationen mit einem Querschnitt < DN 800).
- Geeignet sind Beton- und Zement-Kanäle, gemauerte oder mit Klinkerplatten ausgekleidete Kanäle (nicht geeignet sind GFK-, Kunststoff-, Stahl- und Steinzeug-Kanäle).
- Geeignet sind Kanäle, die ein bestimmtes Mindestgefälle aufweisen.
- Geeignet sind Kanäle, wenn keine Einschränkungen der Entwässerungsfunktion infolge der Querschnittsverkleinerung durch den Einbau von WT-Elementen auftreten.
- Geeignet sind Kanäle mit einem mittleren Trockenwetterabfluss von 15 l/s.
- Die Abwassertemperatur muss auch im Winter nach der Wärmeentnahme im Kläranlagenzulauf noch über 10 °C liegen.
- Geeignete Kanalabschnitte verlaufen über eine Länge von bis zu 200 m (maximale Länge der verbundenen WT-Elemente) möglichst geradlinig.
- Geeignet sind Kanäle, die während der Bauphase und des Betriebs die erforderlichen Zugänglichkeiten aufweisen.

Die Kanalnetzbetreiber stellen technische Anforderungen (Vollzug der Entwässerungsaufgabe) sowie ökonomische und vertragsrechtliche Anforderungen an den Einsatz von WT in Abwasserkanalisationen. Die aus dem Vollzug der Entwässerungsaufgabe resultierenden technischen Anforderungen beziehen sich auf den Bau und Betrieb von Kanalisationen sowie auf den Betrieb von Kläranlagen. Das IKT hat eine Untersuchung zu den betrieblichen Anforderungen in Kanalisationen durchgeführt, um die durch den Einbau von Wärmetauschern auftretenden Fragestellungen zu beantworten. Es wurden Versuche zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit und Arbeitssicherheit sowie zu den Auswirkungen von Kanalreinigungen durchgeführt.

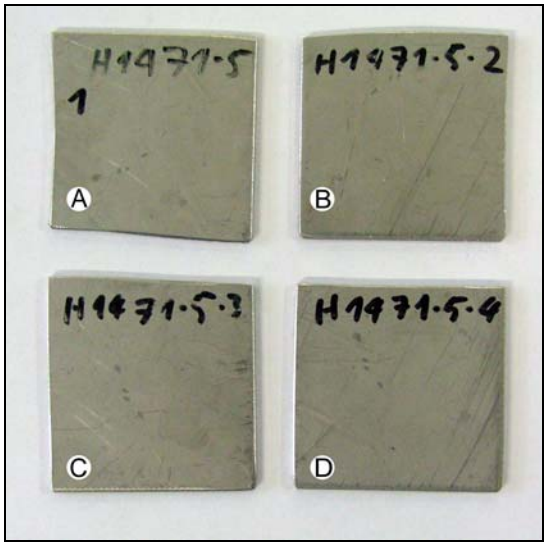
Zur Untersuchung der Dauerhaftigkeit wurde das Verhalten von WT-Elementen im Rahmen von Einlagerungsversuchen (vor und nach betrieblicher Belastung der WT-Elemente) sowie durch Abriebversuche in der Darmstädter Kipprinne analysiert.

- Da im Rahmen von systematischen Untersuchungen von Kanalisationsnetzen zunehmend Korrosionsschäden festgestellt wurden, kommt der Untersuchung der Korrosion von WT-Elementen eine besondere Bedeutung zu. In Einlagerungsversuchen wurde das Korrosionsverhalten von Edelstahl mit der Werkstoffnummer 1.4571, also dem in Leverkusen für die WT-Elemente verwendeten Werkstoff, mit vier unterschiedlichen Medien (destilliertes Wasser, Schwefelsäure, Peroxidlösung, Natronlauge) untersucht. Dabei kamen neuwertige sowie mechanisch vorbelastete Prüfkörper zum Einsatz.
- Die Versuchsergebnisse zeigten, dass an den verwendeten Edelstahl-Prüfkörpern keine bis nur kaum wahrnehmbare Veränderungen (Fleckenbildung) festzustellen waren. Die Abtragsrate des Metalls lag unterhalb des Grenzwertes von 0,1

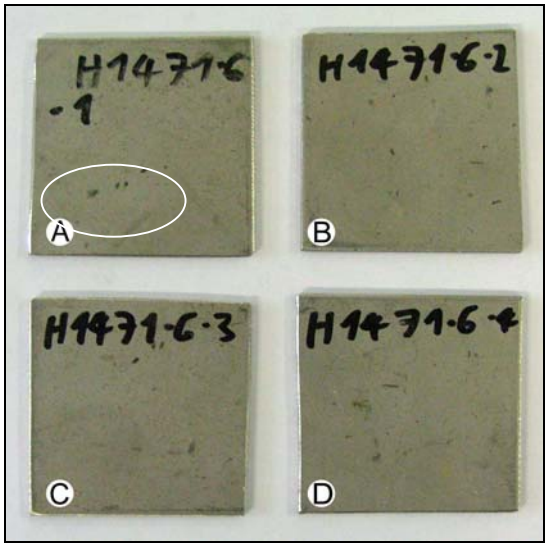
© 2005 All rights reserved by GEK mbH

g/h*m^2 [siehe Firmeninformation der Edelstahl Witten-Krefeld GmbH: Thermax, Remanit, Thermon – RSH- und hochwarmfeste Edelstähle, www.edelstahl-witten-krefeld.de]. Insgesamt ist auf der Grundlage der durchgeführten Tests mit keinen Einschränkungen der Dauerhaftigkeit durch Korrosionsvorgänge zu rechnen. Die nachfolgenden Abbildungen dokumentieren den Zustand der Probekörper nach der Einlagerung in die jeweiligen Prüfmedien:

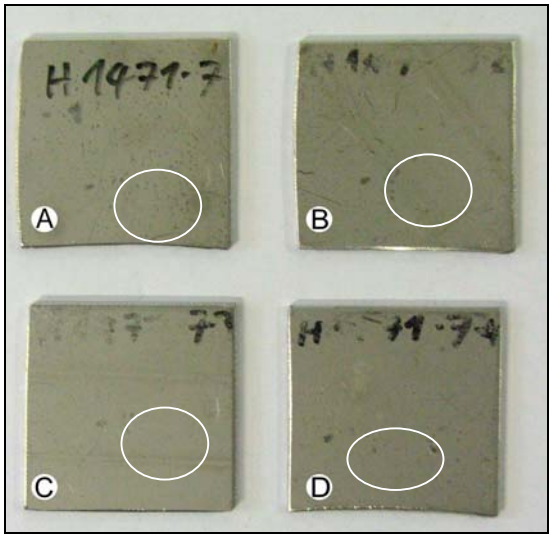
Probekörper H1471-5.1 bis -5.4. nach Trocknung, Schwefelsäure als Prüfmedium



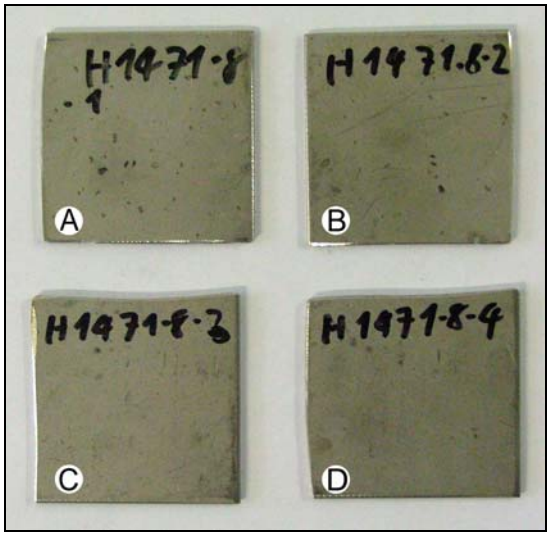
Probekörper H1471-6.1 bis -6.4 nach Trocknung, Natronlauge als Prüfmedium.



Probekörper H1471-7.1 bis -7.4 nach Trocknung, Reiniger als Prüfmedium.



Probekörper H1471-8.1 bis -8.4 nach Trocknung, Aqua dest. als Prüfmedium



IKT – eigene Darstellungen.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

- Die darüber hinaus durchgeführten Abriebversuche in der Darmstädter Kipprinne brachten nach 200.000 Lastwechseln eine maximale Abriebtiefe von 0,24 mm hervor. Auch hier waren weitere Auswirkungen auf den Kanalbetrieb nicht zu erkennen.

Maximale Abriebtiefe der Edelstahlrohrhalbschale					
Probenbez.IKT WEB-Nr.*	**Probenbezeichnung Auftraggeber**	**Nennweite [mm]**	**Anzahl der Lastwechsel Max. Abrieb [mm]**		
			50.000	100.000	200.000
H1471-3		DN 320	0,03	0,05	0,24
* IKT-WEB-Nr. = IKT-**W**aren**E**ingangs**B**uchnummer					

Kanalablagerungen gehören zu den unerwünschten Begleiterscheinungen der Abwasserableitung. Da Ablagerungen mitunter zu einer Beeinträchtigung der hydraulischen und hygienischen Gegebenheiten in Kanalisationen führen, sind Kanalreinigungen erforderlich. Ferner verlangt die Zustandserfassung der Kanalsubstanz durch optische Inspektionen eine Reinigung der Kanalisation. Auch WT-Elemente, die dauerhaft von einem Abwasserstrom überspült werden, sind zu reinigen - zum einen, um die Effektivität der Wärmeübertragung zu erhöhen, zum anderen um Voraussetzungen für Inspektionen der WT-Elemente zu schaffen. Zumeist wird zur Kanalreinigung das Hochdruckspülverfahren eingesetzt. Die dabei auftretenden Belastungen sind in Schleif- und Fallversuchen sowie in einem Hamburger Spülversuch mit 30 Spülvorgängen untersucht worden.

Stationäre Belastung einer Edelstahlhalbschale

Die Abbildung zeigt die in ein GfK-Rohr eingebaute Edelstahl-Halbschale. Zur Durchführung der 30 Reinigungszyklen unter Zugabe von Prüfgeschiebe wurde die Rohrverbindung zusammenschoben. IKT – eigene Darstellung.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

- Nach Abschluss der Prüfung mit 30 Reinigungszyklen unter Zugabe von 5 Litern Prüfgeschiebe konnte auf Basis einer Inaugenscheinnahme festgestellt werden, dass die Beanspruchungen der Hochdruckreinigung keine sichtbaren, signifikanten Materialveränderungen an den Edelschalhalbschalen hinterlassen hatten.

- Zu erkennen waren oberflächliche Schleifspuren in der Rohrsohle auf einer maximalen Breite von 4 cm. Zudem haben sich auf der Edelstahlfläche infolge der auftreffenden Körner des Prüfgeschiebes geringfügige Krater herausgebildet. Die Krater haben eine Tiefe von ca. 0,2 mm.

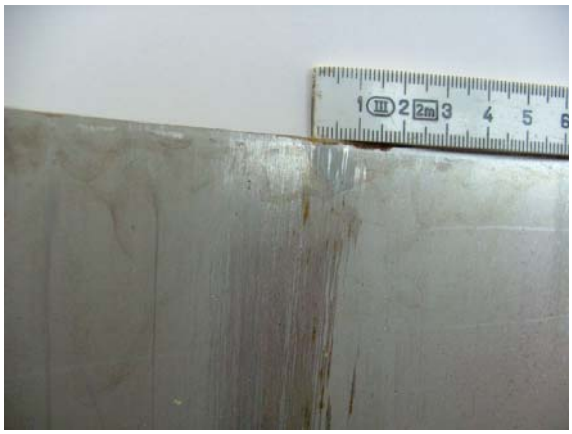
- Infolge der stationären Belastung an zwei Punkten über einen Zeitraum von 3 Minuten konnten keine sichtbaren Veränderungen festgestellt werden.

Rohrhalbschale nach dem Hamburger Spülversuch (Belastung mit 30 Reinigungszyklen)

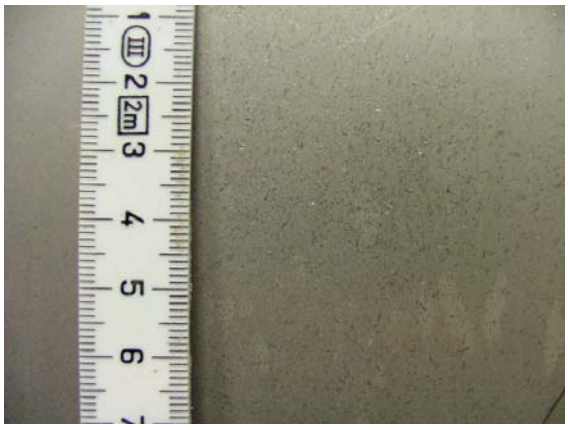
A Schleifspuren infolge der Einwirkung der Reinigungsdüse auf einer maximalen Breite von 4 cm

B. Rostspuren der Prüfdüse durch Materialabtrag der Prüfdüse an der Edelstahlkante

C 4 cm Breite Schleifspur



D Geringfügige Kraterbildung auf der Halbschale durch den Aufschlag des spitzkörnigen Gefüges



IKT- eigene Darstellungen.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

- Auch 30 Schleifvorgänge mit einer HD-Düse (4,5 kg) führten nur zu leichten oberflächlichen Schleifspuren, die keine nennenswerte Tiefe aufwiesen.

Probekörper 1 vor Prüfbeginn

Probekörper 1 nach 30 Belastungszyklen

Probekörper 2 vor Prüfbeginn

Probekörper 2 nach 30 Belastungszyklen

IKT-eigene Darstellungen.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

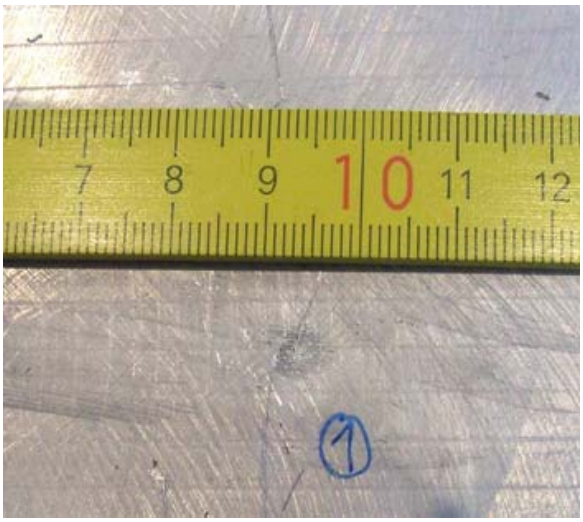
- Schließlich waren auch im Anschluss an die Versuchsreihe mit einer aus ca. 30 cm Höhe fallenden HD-Düse (4,5 kg) keine auffälligen Veränderungen am Prüfkörper festzustellen.

Anheben der Düse

Düse nach dem Auftreffen

Eingemessene Fallhöhe

Dokumentation des Auftreffpunktes



IKT-eigene Darstellungen.

- Insgesamt sind aufgrund der durchgeführten Untersuchungen keine Veränderungen zu erwarten, die einen negativen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der WT-Elemente haben.

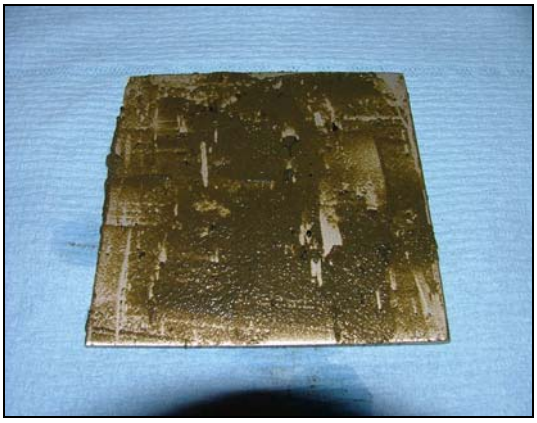
Nahezu jeder fünfter Arbeitsunfall in der gewerblichen Wirtschaft in Deutschland wird durch Stolpern, Rutschen und Stürzen - sogenannte SRS-Unfälle - verursacht. Bei der Begehung abwassertechnischer Anlagen ist das Betriebspersonal derartigen SRS-Gefährdungen ausgesetzt. Die Gefahr des Ausrutschens im Kanal hängt u.a. mit den unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften der verschiedenen, in Kanalisationen verwendeten Werkstoffe zusammen. Eine physikalische Größe, die mit der Gefahr des Ausrutschens in Verbindung gebracht werden kann, ist die sogenannte Haftreibungszahl bzw. der Haftreibungskoeffizient oder die Gleitreibungszahl bzw. der Gleitreibungskoeffizient. Die Verwendung von WT-Elementen in Abwasserkanalisationen kann zu Veränderungen der Oberflächeneigenschaften des zu begehenden Kanalabschnittes führen. Inwieweit

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

mit einer höheren Gefahr des Ausrutschens auf den WT-Elementen zu rechnen ist, wurde im IKT mit Hilfe von zwei Versuchsreihen durch Bestimmung der Haft- und Gleitreibungsbeiwerte untersucht.

- Im Rahmen der ersten Versuchsreihe wurden die Haftreibungs- bzw. Gleitreibungsbeiwerte zwischen Edelstahl mit der Werkstoffnummer 1.4571 und einem Elastomer an separat hergestellten Probekörpern unter Variation der Oberflächenbeschaffenheit (trocken, Wasser als Gleitmittel, Biofilm als Gleitmittel) bestimmt.

Edelstahlprobekörper mit Biofilm



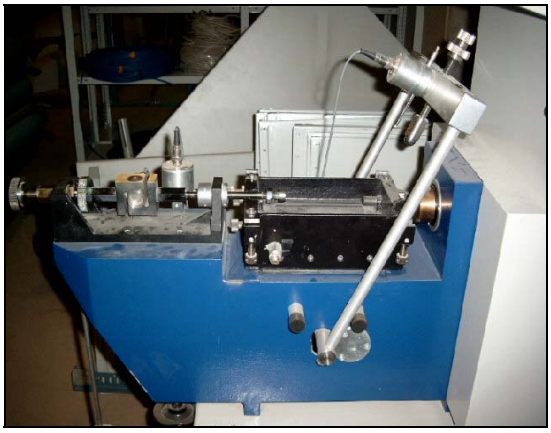
IKT – eigene Darstellung

Der Versuch wurde mit Hilfe eines modifizierten Kastenschergerätes durchgeführt, bei dem die Auflast und auch die Schergeschwindigkeit mit hoher Genauigkeit eingestellt werden konnten.

Kastenschergerät

Ansicht

Belastungseinheit (Draufsicht)



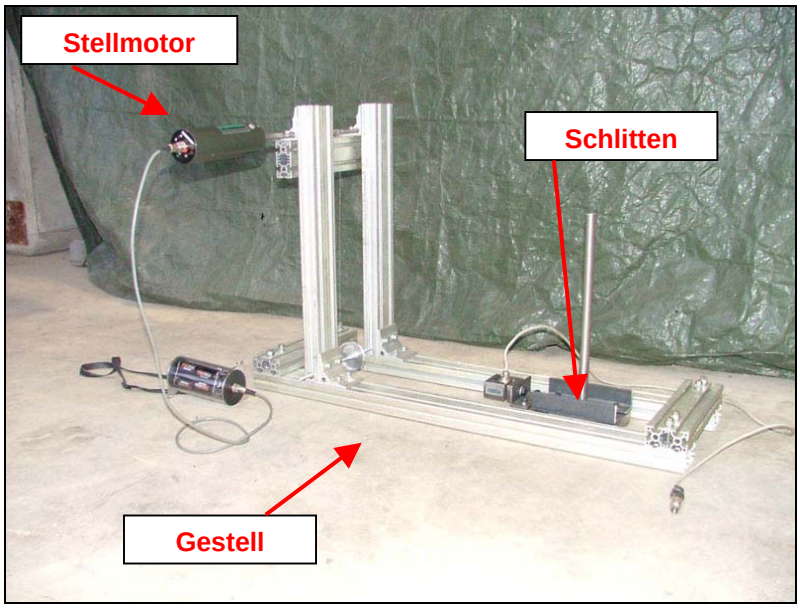
Belastungseinheit (Seitenansicht)

IKT – eigene Darstellung

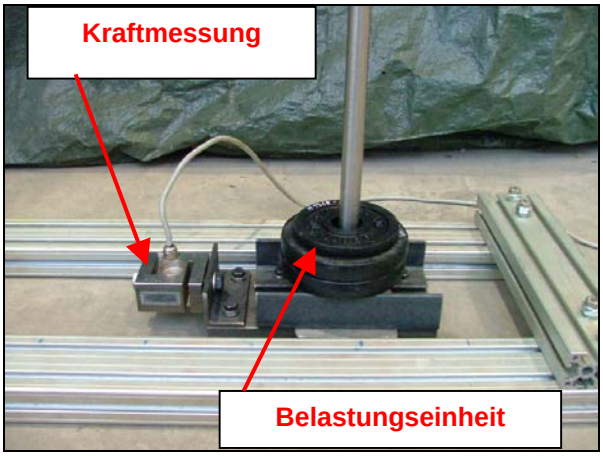
© 2005 All rights reserved by GEK mbH

- Im Rahmen der zweiten Versuchsreihe wurde mit Hilfe eines speziell konstruierten Versuchsstandes der Gleitreibungsbeiwert zwischen einer Gummisohle und einem originalen WT-Element aus Edelstahl bzw. einer Gummisohle und einer Betonoberfläche ermittelt. Die Untersuchung wurde unter Berücksichtigung der speziellen WT-Elemente-Geometrie und unter Zugabe von Gleitmitteln durchgeführt.

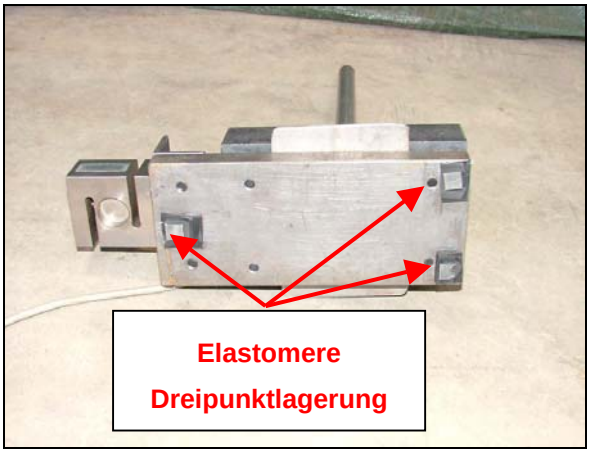
Ansicht des Gerätes zur Bestimmung der Haft- bzw. Gleitreibung



Schlitten in der Detailansicht



Kraftmesseinrichtung und Belastungseinheit



Unterseite mit elastomerer Dreipunktlagerung

IKT – eigene Darstellung

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

- Die beiden Versuchsreihen lieferten unterschiedliche Ergebnisse:

Zusammenfassung der Haft- bzw. Gleitreibungskoeffizientenbestimmungen

Leitungswerkstoff	Gleitfläche	modifiziertes Kastenschergerät		Gleitreibungsprüfgerät
		μ_H	μ_G	μ_G
Edelstahl 1.4571	trocken	0,50	0,39	0,56
	nass	0,40	0,37	0,59
Beton	geringer Anteil Biofilm	0,64	-	0,81*
	hoher Anteil Biofilm	0,36	-	0,78**
*Versuche ohne Gleitmittel. **Versuche mit Wasser als Gleitmittel				
IKT – eigene Darstellung				

- Die mit dem modifizierten Kastenschergerät ermittelten Reibungskoeffizienten sind durchgehend niedriger als die mit dem Gleitreibungsprüfgerät ermittelten Werte. Zudem liefert das Gleitreibungsprüfgerät bei nassen Gleitflächen höhere Koeffizienten. Ein Grund für beide Effekte kann in der Wahl der gewählten Elastomerauflagen gesehen werden. Während bei den Versuchen mit dem modifizierten Kastenschergerät das Elastomer jeweils vollflächig auflag, wurde bei dem Gleitreibungsprüfgerät bewusst das Sohlenprofil eines Arbeitsschuhs verwendet. Diese Punktlagerung führte wahrscheinlich dazu, dass das zwischen den Gleitflächen befindliche Wasser verdrängt wurde und so der Unterschied zwischen trockenen und nassen Oberflächen nicht ins Gewicht fiel. Profilierte Sohlen sorgen dafür, die Gefahr des Ausrutschens zu vermindern.

- Da die o.g. Versuchsreihen zu unterschiedlichen und schwer interpretierbaren Ergebnissen führten, wurde ergänzend die Gefahr des Rutschens auf den WT-Elementen während einer Begehung des Leverkusener Wärmetauschers durch vergleichende subjektive Bewertungen beurteilt. Zum Vergleich standen neben der WT-Oberfläche noch Beton- bzw. Kanalklinkeroberflächen zur Verfügung. Die Gefahr des Rutschens auf der WT-Oberfläche war mit der Rutschgefahr auf der Betonoberfläche vergleichbar. Eine subjektiv höhere Rutschgefahr bestand auf der Oberfläche aus Kanalklinker.

- Auf der Grundlage der im IKT durchgeführten Untersuchungen zur Arbeitssicherheit ließen sich insgesamt folgende Feststellungen treffen: Die Haft- und Gleitreibungskoeffizienten für eine nasse Edelstahloberfläche weisen im Vergleich zu den herangezogenen Koeffizienten für mit Biofilm benetzten Betonoberflächen geringfügig geringere bis gleiche Werte auf. Folglich ist mit einer prinzipiell erhöhten Gefahr des Ausrutschens auf Edelstahloberflächen im Vergleich zu Betonoberflächen zu rechnen. Um die Bedeutung der Messwerte in der Praxis zu überprüfen, wurde eine Begehung der in Leverkusen eingebauten WT-Elemente durchgeführt. Dabei entstand subjektiv der Eindruck, dass eine erkennbar erhöhte Rutschgefahr, wie sie die Messwerte implizieren, für Edelstahloberflächen nicht festgestellt werden konnte. Auf ebenfalls begangenen Kanalklinkeroberflächen erschien die Gefahr des Ausrutschens höher als auf Edelstahl. Insgesamt scheint somit, zur sicheren Seite, die z.B. beim Begehen von Mauerwerkskanälen übliche Vorsicht auch für das Begehen der WT angemessen und ausreichend zu sein.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

Aus dem Betrieb von Kläranlagen resultieren weitere Anforderungen in Bezug auf die Abwassertemperatur. Da die Reinigungsleistung von Kläranlagen bei sinkender Abwassertemperatur abnimmt (dieses gilt insbesondere für die Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation) sind bestimmte Mindesttemperaturen im Vorlauf der Kläranlagen erforderlich. Beat Kobel (Ryser Ingenieure AG) stellt in seinem Beitrag fest, dass eine kurzfristige Absenkung der Kläranlagen-Zulauftemperaturen für wenige Stunden die Nitrifikationsleistung kaum beeinflusst. Ständig tiefere Abwassertemperaturen im Zulauf einer Kläranlage können hingegen zu einer verminderten Nitrifikationsleistung und einer erhöhten Ammoniumkonzentration im Ablauf der Kläranlage führen. Die zusätzliche Abkühlung des Abwassers durch die Wärmeentnahme mittels Wärmetauscher schätzt Kobel als gering ein. Zu berücksichtigen ist, dass durch Abwasser-Zuläufe zwischem dem Ort der Wärmeentnahme und der Kläranlage ein kompensierender Temperaturausgleich erfolgen kann. Unterschreitet die Abwassertemperatur im Kläranlagenzulauf einen vorgegebenen Grenzwert für die Sicherstellung der Reinigungsprozesse, ist eine Abschaltung der AWN-Anlage in Erwägung zu ziehen. Daher sind vor allem im Winter die Abwassertemperaturen einer zeitlich engmaschigen Überwachung zu unterziehen.

4 Akteursseitige Anforderungen an AWN-Anlagen

Über die zuvor dargestellten technischen Anforderungen hinaus haben die Kanalnetzbetreiber ökonomische Anforderungen an den Einsatz von WT in Abwasserkanalisationen zu berücksichtigen. Aus einem Engagement eines Kanalnetzbetreibers in eine AWN-Anlage resultieren Kosten, die nicht durch den Entwässerungsauftrag gedeckt sind und daher nicht aus der Abwassergebühr finanziert werden dürfen. Vielmehr müssen diese Kosten aus den Erträgen von AWN-Anlagen kompensiert werden. Insofern besteht die Mindestanforderung der Kanalnetzbetreiber in einer Kostenneutralität des AWN-Engagements. Damit stellt sich die Frage, welche Kosten und Risiken auf einen Netzbetreiber im hier untersuchten Zusammenhang zukommen können und wie die Netzbetreiber damit umgehen sollten. Im Zusammenhang mit der Nutzung der Abwasserwärme treten Kosten in den nachfolgend genannten Phasen auf:

- In der Vorbereitungsphase fallen Informationskosten an, bspw. für die Ermittlung geeigneter Einsatzmöglichkeiten, für Wirtschaftlichkeitsberechnungen, für Planungs- und Verhandlungsaktivitäten. Im Planungsbereich sind zahlreiche Teilaufgaben zu erbringen (interne Kommunikation, Strukturierung der Teilaufgaben/Arbeitsschritte, Zuordnung von Kompetenzen und Pflichten, Terminplanung, Kapazitätsplanung, technische Vorplanung bzw. Planungsbegleitung, Planung der Qualitätssicherung und der Kriterien für die Abnahme der Baumaßnahme). Überdies sind Verhandlungen zu führen bei der Suche nach einem Vertragspartner (EVU), es fallen Kosten der Vertragsanbahnung an (Kommunikation, Datenbeschaffung, juristische Begleitung), es sind Vertragsverhandlungen zu führen und Vertragsabschlüsse zu erbringen. Insgesamt verlangt bereits die Phase der Vorbereitung einen beachtlichen personellen und zeitlichen Aufwand. Sofern die Errichtung einer AWN-Anlage nicht erfolgt, werden die in der Vorbereitungsphase anfallenden Kosten nicht kompensiert.

- Risikomanagement: Etwaige Risiken sind sorgfältig abzuschätzen und durch geeignete Maßnahmen abzuwehren. Sofern einer Versicherbarkeit nicht gegeben ist, sind alternative Wege der Kompensation zu beschreiten, d.h. Kanalnetzbetreiber müssen sich weitgehende Handlungsfreiheiten vorbehalten, soweit dieses zur Abwehr von Risiken erforderlich ist.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

- In der Bauphase fallen bspw. Kosten für Materialbeschaffungen, Baustellen- und Verkehrssicherungsmaßnahmen, Einbauorganisation und Qualitätssicherung an.

- Während der Betriebsphase fallen v.a. Kapitalkosten (Zinsen und Abschreibungen) an. Auch zusätzliche Reinigungsbedarfe zur Inspektion der WT sind mit Kosten verbunden.

- Im Anschluss an die Nutzungsperiode fallen möglicherweise Aufwendungen für den Ausbau und die Entsorgung der WT-Elemente an.

Interne Kosten des Netzbetreibers

Phase	Kosten	Relevanz
Vorbereitung und Risikomanagement	Informationskosten	hoch
	Planungskosten	hoch
	Verhandlungskosten	hoch
Baudurchführung	Materialabstimmung	mittel
	Einbauorganisation	mittel
	Qualitätssicherung	hoch
Betriebsphase	Kapitalkosten	sehr hoch
	Inspektion, Reinigung, Sonstiges	gering
	Erfolgskontrolle	gering
Entsorgung	Ausbau und Entsorgung	gering
	Sanierung	gering

IKT – eigene Darstellung.

- Insgesamt sind die internen Kosten eines Kanalnetzbetreibers bei der Realisierung einer AWN-Anlage beträchtlich. Im Zuge der Errichtung der AWN-Anlage in Leverkusen sind beim Kanalnetzbetreiber interne Kosten in der Größenordnung von 60.000 € bis 80.000 € angefallen. Infolge von Lerneffekten besteht ein erhebliches Senkungspotenzial. Dennoch ist festzustellen, dass für den Kanalnetzbetreiber im Fall der Kompensation dieser Kosten noch kein Nettovorteil aus dem Engagement resultiert. Um einen risikoaversen Netzbetreiber zu einem Engagement in AWN-Anlagen zu bewegen, sind über die obligatorische Mindestanforderung der Kompensation der Kosten weitere Anreize erforderlich. Diese Anreize können monetärer Natur sein (Verteilung des Kooperationsgewinns). Es kann sich allerdings auch um nicht-monetäre Effekte handeln, wenn bspw. infolge der Nutzung der Abwasserwärme ein positives Image in der Öffentlichkeit aufgebaut werden kann.

Schließlich haben die Kanalnetzbetreiber vertragsrechtliche Anforderungen im Rahmen der Gestaltung der privatrechtlich geregelten Leistungs- und Haftungsbeziehungen mit den EVU. Da es sich bei der Errichtung einer AWN-Anlage um eine hochspezifische, langfristige und komplexe Transaktion handelt und nicht alle erdenklichen Zustände der Zukunft prognostizierbar sind, ist der Abschluss eines unvollständigen Rahmenvertrags mit minimalen Transaktionskosten verbunden. Der hier betrachteten Transaktion liegt jedoch ein spezielles Transaktionsmilieu zugrunde: Auf der einen Seite ist die Transaktion aufgrund der

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

Langfristigkeit durch hohe Unsicherheit gekennzeichnet, auf der anderen Seite verhalten sich v.a. öffentliche Kanalnetzbetreiber risikoavers. Somit erklärt sich der Anspruch der Netzbetreiber, Regelungstatbestände möglichst weitgehend zu definieren, während die EVU dann als Optionsempfänger auftreten. Das Beispiel des Umgang der Technischen Betriebe Leverkusen mit dem Risiko des Ausfalls der Mietzinszahlungen (der Betrag für die gesamte Laufzeit wurde mit Unterzeichung des Vertrags fällig), zeigt, dass Kanalnetzbetreiber mögliche Risiken weitgehend eliminieren können.

Hinsichtlich der Anforderungen der EVU ist festzustellen, dass diese primär ökonomische Zielsetzungen verfolgen, daher ist das Kriterium der Rentabilität von zentraler Bedeutung für die Durchführung von Engagements. Daneben können auch die Möglichkeit des Eintritts in neue Märkte bzw. der Ausbau von Marktanteilen sowie die Diversifizierung des Produktportfolios zur internen Kompensation von Ertragsschwankung eine Rolle spielen. Langfristig lassen sich Investitionsentscheidungen jedoch nicht von den Rentabilitätsanforderungen der EVU abkoppeln. Aus den Besonderheiten des Produktes, der Produktion und des Vertriebs von Wärmeenergie resultieren aus der Sicht der EVU die nachfolgenden Anforderungen an die Vermarktung von AWN-Anlagen:

Der Wärmebedarf sollte langfristig einen möglichst konstanten Verlauf aufweisen: Der Einsatz der Wärmegewinnung aus Abwasserkanalisationen ist dort sinnvoll, wo auf lange Sicht gleichbleibende Wärmebedarfe vorzufinden sind.

Der Wärmebedarf sollte in räumlicher Nähe zum Produktionsort auftreten, da sich bei zunehmender Distanz der Investitionsaufwand zu Lasten der Rentabilität auswirkt.

Eine langfristige Bindung der Nachfrager an die Wärmeversorgung mittels Wärmetauscher ist erforderlich. Die beachtlichen Investitionen sind mit Risiken verbunden, bspw. aufgrund der sunk-cost-Eigenschaften des Engagements. Daher ist eine langfristige Bindung der Nachfrager erforderlich, damit durch die Absicherung des Wärmeabsatzes für die gesamte Nutzungsperiode über den für die Amortisation erforderlichen Zeitraum hinaus ein positives Ergebnis erzielt werden kann.

Mit den am Markt erzielbaren Preisen für Wärmeenergie und Klimakälte muss ein rentabler Erlös erzielt werden. Dabei muss der Preis über dem vollkostendeckenden Preis liegen. Als obere Grenze ist der für substitutive Güter am Markt herrschende Preis zu berücksichtigen. Der Verkauf von Klimakälte stellt eine bedeutsame Ertragskomponente bei der Vermarktung von AWN-Anlagen dar.

- Vor dem Hintergrund der zuvor dargestellten Anforderungen lassen sich aus Sicht der EVU Nachfrager mit tendenziell mehr oder weniger geeigneten Bedarfsstrukturen identifizieren. Als Beispiel für einen idealen Wärmenachfrager mit einer geeigneten Bedarfsstruktur sind bspw. Hallenbäder anzuführen, weil diese einen ganzjährigen sowie langfristig relativ konstanten Wärme-Input v.a. zur Beheizung des Beckenwassers benötigen. Auch klimatisierte Gebäude zählen zu den geeigneten Nutzern von Wärmetauschanlagen. Über diese generellen Überlegung zur Wirtschaftlichkeit von AWN-Anlagen hinaus sind für konkrete Objekte jeweils detaillierte Wirtschaftlichtkeitsanalyse auf der Basis individueller Daten durchzuführen.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

5 Abschätzung des Potenzials der Abwasserwärmenutzung in NRW

Bei der Abschätzung des Potenzials sind die Restriktionen zu berücksichtigen, die zum einen aus den zuvor dargestellten und zum anderen aus weiteren, noch anzuführenden technischen und akteursbezogenen Anforderungen resultieren. Zur Abschätzung des Potenzials wurde ein stufenweises Vorgehen gewählt, wobei die nachfolgend genannten Definitionen verwendet wurden:

- Ernst A. Müller (Büro eam) stellt in seinem Beitrag zu dem Forschungsbericht fest, dass Abwasser theoretisch durch Wärmetauscher bis auf eine Temperatur von 5 °C abgekült werden kann. Das theoretische Abwasserwärmepotenzial versteht sich als die Summe der dem Trägermedium Abwasser durch Wärmetauscher entnehmbaren Wärmeenergie.

- Das Gewinnungspotenzial lässt sich unter Berücksichtigung der für die Wärmerückgewinnung geeigneten Kanalisationsabschnitte ermitteln. Als das Produkt aus der Länge der geeigneten Kanalisationsabschnitte und der mittleren Wärmeentnahme je Kanalmeter lässt sich das Gewinnungspotenzial überschlägig errechnen.

- Unter weiterer Berücksichtigung von Vermarktungsrestriktionen lässt sich das Vermarktungspotenzial als Produkt aus dem Gewinnungspotenzial und der Vermarktungswahrscheinlichkeit überschlägig errechnen.

- Die Abschätzung der realisierbaren Kanalisationsabschnitte wird in zwei Stufen vorgenommen. Zunächst lassen sich unter Berücksichtigung der Präferenzen, des Grades der Risikoaversion und der freien Kapazitäten der involvierten Akteure die prinzipiell realisierungsfähigen Kanalabschnitte abschätzen. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die prinzipiell realisierungsfähigen Kanalabschnitte nicht vollständig mit WT-Elementen ausgestattet werden können, da die maximale Länge von WT-Anlagen auf 200 m begrenzt ist. Somit ist zur Abschätzung des Realisierungspotenzials noch ein "technischer Verschnitt" zu berücksichtigen. Erst auf dieser Grundlage kann eine Aussage zum theoretisch realisierungsfähigen Potenzial der Wärmegewinnung in NRW getroffen werden.

- Der Begriff des Wärmeangebots aus Abwasser ist losgelöst von der Potenzialbetrachtung zu verstehen. Von einem Wärmeangebot kann letztlich nur insofern gesprochen werden, als Wärmeproduktion in AWN-Anlagen tatsächlich stattfindet. Das Wärmeangebot ist somit derjenige Teil des realisierbaren Potenzials, der mittels WT in Kanälen gewonnen und vermarktet wird.

Die Abschätzung des gesamtheitlichen, theoretischen Wärmepotenzials von Ernst A. Müller (Büro eam) erfolgt unter Bezugnahme auf die gesamte Leistung der bivalenten Anlage inklusive Spitzenlastdeckung. Die Aussagen zur Leistung werden auf der Grundlage einer Einteilung der nordrhein-westfälischen Gemeinden in vier Größenklassen getroffen. Zudem wird bei den Leistungsaussagen zwischen elektrisch und mittels Blockheizkraftwerk betriebenen Anlagen unterschieden. Müller gibt an, dass – bezogen auf den Endenergieverbrauch - die Energieeinsparung der Wärmepumpen zwischen 40 % und 54 % gegenüber konventionellen Heizungskesseln liegt.

- Das theoretische Abwasserwärmepotenzial fällt bei größeren Gemeinden bereits aufgrund der höheren Abwassertemperatur höher aus als bei kleineren Gemeinden. Die Wärmeleistung schätzt Müller auf 3,6 MW in Gemeinden bis 20.000

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

Einwohner, 8,2 MW in Gemeinden von 20.000 bis 50.000 Einwohner, 37,5 MW in Gemeinden mit 50.000 bis 200.000 Einwohnern und 288,2 MW in Gemeinden mit über 200.000 Einwohnern ein.

- Bei Zugrundelegung einer Wärmeentnahme je Laufmeter Kanalleitung in Höhe von ca. 2,5 kW stellt Müller fest, dass ausreichend geeignete Kanalisationsabschnitte für die vollständige Gewinnung des theoretischen Abwasserwärmepotenzials zur Verfügung stehen.

- Hinsichtlich des Vermarktungs- und des Realisierungspotenzials stellt Müller fest, dass keine Restriktionen greifen, so dass auch diese dem theoretischen Abwasserwärmepotenzial entsprechen.

- Unter Einbeziehung des Potenzials nach Kläranlagen, dem ein Anteil von rd. 20 % am gesamten realisierbaren Potenzial zukommt, wurde im Rahmen dieser Potenzialabschätzung für die unterschiedlichen Gemeindengrößen jeweils das nachfolgenden realisierbaren Potenziale (Wärmebedarfsleistung) eingeschätzt:

- Potenzial in Gemeinden mit bis 20.000 Einwohnern: 169.000 MW,

- Potenzial in Gemeinden mit 20.000 bis 50.000 Einwohnern: 367.000 MW,

- Potenzial in Gemeinden mit 50.000 bis 200.000 Einwohnern: 645.000 MW und

- Potenzial in Gemeinden mit mehr als 200.000 Einwohnern: 1.347.000 MW.

- Damit beläuft sich das gesamte Realisierungspotenzial der Wärmerückgewinnung aus Abwasser in NRW bezogen auf die Wäremebedarfsleistung inklusive Spitzelastdeckung nach der Abschätzung von Ernst A. Müller auf rd. 2,5 Mio. MW.

Mit der evolutorischen Potenzialabschätzung des IKT wurde ein alternativer Weg zur Ermittlung des Potenzials der Wärmerückgewinnung aus Abwasser vorgestellt. Ausgangspunkt des Ansatzes ist die Überlegung, dass sich Potenziale in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen über die Zeitachse entfalten können. Mit dem aus diesem Grund als evolutorisch bezeichnete Ansatz wurde der Fokus auf die Ermittlung des jährlich in Abwasserkanalisationen realisierbaren Wärmepotenzials gesetzt. Dabei wurde ausschließlich die aus dem Abwasser entnehmbare Wärmeenergie betrachtet. Die Antriebsenergien für Wärmepumpen und die Energieeinsätze für die zusätzlich erforderlichen Heizungssysteme wurden bei dieser Betrachtung ausgeblendet, da hieraus gegenüber dem Status quo keine zusätzlichen energiewirtschaftlich und umweltpolitisch relevanten Effekte resultieren. Im Übrigen folgte auch dieser Ansatz dem zuvor dargestellten stufenweisen Vorgehen zur Ermittlung des Realisierungspotenzials, wobei allerdings die Ermittlung der für eine potenzielle Realisierung der Wärmerückgewinnung geeigneten (d.h. realisierungsfähigen) Kanalisationsabschnitte betrachtet wird. Zur Ermittlung der Potenziale wurden die jeweilig ermittelten Kanalisationsabschnitte mit dem Wert der mittleren Wärmeentnahme je Laufmeter Kanalisation in Höhe von 2,5 kW multipliziert.

- Zur Abschätzung des Gewinnungspotenzials erfolgte zunächst die Ermittlung der technisch und wirtschaftlich geeigneten Kanalisationsabschnitte. Zu diesem Zweck wurde der rd. 87.300 km umfassende Bestand der kommunalen Abwasserkanalisation in NRW um die nicht geeigneten Kanalisationsabschnitte reduziert. Infolge technischer Restriktionen eignen sich Niederschlagswasserkanalisation und Kanalisationen mit einem Querschnitt < DN 800 nicht für die

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

Wärmerückgewinnung. Darüber hinaus wurden aus der Entwässerung resultierende Restriktionen (Verengung des Kanalquerschnitts infolge des Einbaus von WT-Elementen) sowie wirtschaftliche Restriktionen berücksichtigt. Letzte fanden darin Niederschlag, dass sich ein richtungsweisende Erhöhung der Wirtschaftlichkeit ergibt, wenn der Einbau von WT-Elementen in den Kanalisationsbestand im Rahmen von Kanalsanierungen erfolgt. Andernfalls sind die gesamten bei den Netzbetreibern anfallenden Planungs- und Durchführungskosten der AWN-Anlage anzulasten. Für diesen Fall ließ sich anhand von Wirtschaftlichkeitsberechnungen aufzeigen, dass derzeit noch erhebliche Zweifel hinsichtlich des rentablen Einsatzes von AWN-Anlagen im Kanalisationsbestand bestehen. Vor diesem Hintergrund wurden die Restriktionen zur Ermittlung des Gewinnungspotenzials wie folgt quantifiziert:

Restriktion	**Umfang der Restriktion [in v.H. vom Bestand]**	**geeignete Kanalisationsabschnitte [in v.H. vom Bestand]**
Niederschlagswasserkanalisation	22,3 %	77,7 %
Mindestquerschnitt DN 800	88,2 %	11,8 %
keine Sanierung innerh. 1 Jahres	98,0 %	2,0 %
Entwässerungsrestriktion	25 % bis 50 %	75 % bis 50 %
Summe		0,09 % bis 0,14 %
IKT – eigene Darstellung		

- Unter Berücksichtigung dieser Restriktionen konnten für die Wärmegewinnung geeignete Kanalisationsabschnitte mit einer Länge von 80 km bis 120 km abgeschätzt werden.

- Da im Kanalisationsneubau weder die Sanierungs- noch die Entwässerungsrestriktion greifen, konnten trotz der niedrigeren Ausgangsgröße von 700 km Neuerrichtungen im Jahr geeignete Kanalisationsabschnitte mit einer Länge von 64 km abgeschätzt werden.

- Unter weiterer Berücksichtigung der Vermarktungsrestriktionen der EVU – d.h. hinreichender Wärmebedarf in Nähe des Standortes der Wärmegewinnung und hinreichende Auslastung der Anlagen (insbes. Klimatisierungsbedarf) - sowie der Wärmenachfrager (Neuerrichtung bzw. Ersatz bestehender Heizungsanlagen und Lösung aus bestehenden Versorgungsverträgen) wurde für den Kanalisationsbestand eine Vermarktungswahrscheinlichkeit in Höhe von 1 % bis 7 % ermittelt. Die für die Gewinnung und Vermarktung zugleich geeigneten Kanalisationsabschnitte im Kanalisationsbestand belaufen sich demnach jährlich auf eine Länge von 1 bis 8 km.

- Für den Kanalisationsneubau wurden günstigere Bedingungen hinsichtlich der Auslastungsrestriktion unterstellt. Zudem wurden die nachfrageseitigen Restriktionen aufgehoben. Damit ergaben sich für den Kanalisationsneubau Vermarktungswahrscheinlichkeiten von 16,5 % bis 40 %. Die für die Gewinnung und Vermarktung zugleich geeigneten Kanalisationsabschnitte im Kanalisationsneubau belaufen sich demnach jährlich auf eine Länge von 10 bis 26 km.

- Zur Ermittlung des Realisierungspotenzial sind die akteursbezogenen Restriktionen im Kanalisationsbestand mit 40 % bis 60 % angenommen worden, im Kanalisationsneubau mit 50 % bis 70 %. Für die technische „Verschnittrestriktion[3]“ wurde

[3] Die Restriktion „technischer Verschnitt“ ist zu berücksichtigen, da nicht alle prinzipiell realisierungsfähigen Kanalisationsabschnitte vollständig mit WT-Elementen ausgestattet werden können - die maximale Länge ist auf 200 m je AWN-Anlage begrenzt.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

für den Kanalisationsbestand und für den Neubau jeweils eine Wahrscheinlichkeit von 50 % unterstellt. Damit ließen sich folgende realisierungsfähige Kanalabschnitte ermitteln:

- Für den Kanalisationsbestand konnten alljährlich realisierungsfähige Abschnitte mit einer Länge von bis zu 2,4 km ermittelt werden.
- Für den Kanalisationsneubau ließen sich alljährlich realisierungsfähige Abschnitte mit einer Länge von 2,5 km bis 9,0 km ermitteln.

- In der Summe konnten im Rahmen der evolutorischen Potenzialabschätzung realisierungsfähige Kanalabschnitte mit einer Länge von 2,7 km bis 11,4 km ermittelt werden. Das bedeutet, dass jährlich für maximal 57 AWN-Anlagen mit 200 m langen WT-Abschnitten realisierungsfähige Kanalabschnitte zur Verfügung stehen. Auf dieser Grundlage ließ sich ein jährliches Realisierungspotenzial für eine technisch und wirtschaftlich vertretbare Wärmeentnahme aus der Kanalisation in Höhe von 6,7 MW bis 28,5 MW ermitteln.

Jährliches Potenzial der Wärmerückgewinnung in der Abwasserkanalisation in NRW

K A N A L I S A T I O N S B E S T A N D

	Potenzialermittlung - hoher Wert		Potenzialermittlung - niedriger Wert	
	Restriktionen [v.H.]	Potenzial [v.H.]	Restriktionen [v.H.]	Potenzial [v.H.]
Kanalisationsbestand		**100,0%**		**100,0%**
./. Regenwasserkanalisation	-22,3%	77,7%	-22,3%	77,7%
./. Kanäle < DN 800	-88,2%	11,8%	-88,2%	11,8%
./. Keine Sanierung innerh. 1 Jahres	-98,0%	2,0%	-98,0%	2,0%
./. Entwässerungsrestriktion	-25,0%	75,0%	-50,0%	50,0%
Gewinnungswahrscheinlichkeit		**0,14%**		**0,09%**
Gewinnungspotenzial		**100,0%**		**100,0%**
./. Kein geeigneter Wärmebedarf	-20,0%	80,0%	-50,0%	50,0%
./. Keine hinreichende Auslastung	-67,0%	33,0%	-80,0%	20,0%
./. Kein Heizungsbedarf	-72,0%	28,0%	-82,0%	18,0%
./. Vertragliche Bindung	-10,0%	90,0%	-20,0%	80,0%
Vermarktungswahrscheinlichkeit		**6,65%**		**1,44%**
Vermarktungspotenzial		**100,0%**		**100,0%**
./. Akteursbez. Realisierungsrestriktionen	-40,0%	60,0%	-60,0%	40,0%
./. Technischer Verschnitt	-50,0%	50,0%	-50,0%	50,0%
Realisierungswahrscheinlichkeit		**30%**		**20%**
Kanalisationsbestand [km]		87.307 km		87.307 km
x Gewinnungswahrscheinlichkeit [v.H.]		0,14 %		0,09 %
x Vermarktungswahrscheinlichkeit [v.H.]		6,65 %		1,44 %
x Realisierungswahrscheinlichkeit [v.H.]		30 %		20 %
Realisierungsfähige Kanalisationsabschnitte [km]		2,4 km		0,2 km
x mittlere Wärmegewinnung [kW / m]		2,5 kW/m		2,5 kW/m
Realisierbares Potenzial		**rd. 6.000 kW**		**rd. 500 kW**

K A N A L I S A T I O N S N E U B A U

	Potenzialermittlung - hoher Wert		Potenzialermittlung - niedriger Wert	
	Restriktionen [v.H.]	Potenzial [v.H.]	Restriktionen [v.H.]	Potenzial [v.H.]
Kanalisationsbestand		**100,0%**		**100,0%**
./. Regenwasserkanalisation	-22,3%	77,7%	-22,3%	77,7%
./. Kanäle < DN 800	-88,2%	11,8%	-88,2%	11,8%
./. Keine Sanierung innerh. 1 Jahres	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
./. Entwässerungsrestriktion	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
Gewinnungswahrscheinlichkeit		**9,17%**		**9,17%**
Gewinnungspotenzial		**100,0%**		**100,0%**
./. Kein geeigneter Wärmebedarf	-20,0%	80,0%	-50,0%	50,0%
./. Keine hinreichende Auslastung	-50,0%	50,0%	-67,0%	33,0%
./. Kein Heizungsbedarf	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
./. Vertragliche Bindung	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
Vermarktungswahrscheinlichkeit		**40,00%**		**16,50%**
Vermarktungspotenzial		**100,0%**		**100,0%**
./. Akteursbez. Realisierungsrestriktionen	-30,0%	70,0%	-50,0%	50,0%
./. Technischer Verschnitt	-50,0%	50,0%	-50,0%	50,0%
Realisierungswahrscheinlichkeit		**35%**		**25%**
Kanalisationsneubau p.a.[km]		700 km		700 km
x Gewinnungswahrscheinlichkeit [v.H.]		9,17 %		9,17 %
x Vermarktungswahrscheinlichkeit [v.H.]		40 %		16,5 %
x Realisierungswahrscheinlichkeit [v.H.]		35 %		25 %
Realisierungsfähige Kanalisationsabschnitte [km]		9,0 km		2,6 km
x mittlere Wärmegewinnung [kW / m]		2,5 kW/m		2,5 kW/m
Realisierbares Potenzial		**rd. 22.500 kW**		**rd. 6.500 kW**

IKT – eigene Darstellung

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

In einer alternativen Darstellung lässt sich das jährliche Realisierungspotenzial wie folgt darstellen:

Jährliches Realisierungspotenzial für AWN-Anlagen in NRW

Max. realisierungsfähige Kanalisationsabschnitte p.a.	= 11,4 km
Max. realisierbare 500kW-AWN-Anlagen (200 m WT)	= 11,4 km / 200 m je Anlage = 57 AWN-Anlagen
Realisierbare Wärmeentnahme NRW	**= 57 Anlagen * 500 kW = 28,5 MW**

IKT – eigene Darstellung

Bei der Ermittlung des realisierbaren Potenzials fanden sowohl statistisch fundierte als auch überschlägig ermittelte Restriktionen Verwendung. Im Rahmen einer Sensitivitätskontrolle konnte festgestellt werden, dass das Potenzial der Wärmegewinnung in den Segmenten „Kanalisationsbestand“ und „Kanalisationsneubau“ zum überwiegenden Teil durch fundierte Restriktionen determiniert ist.

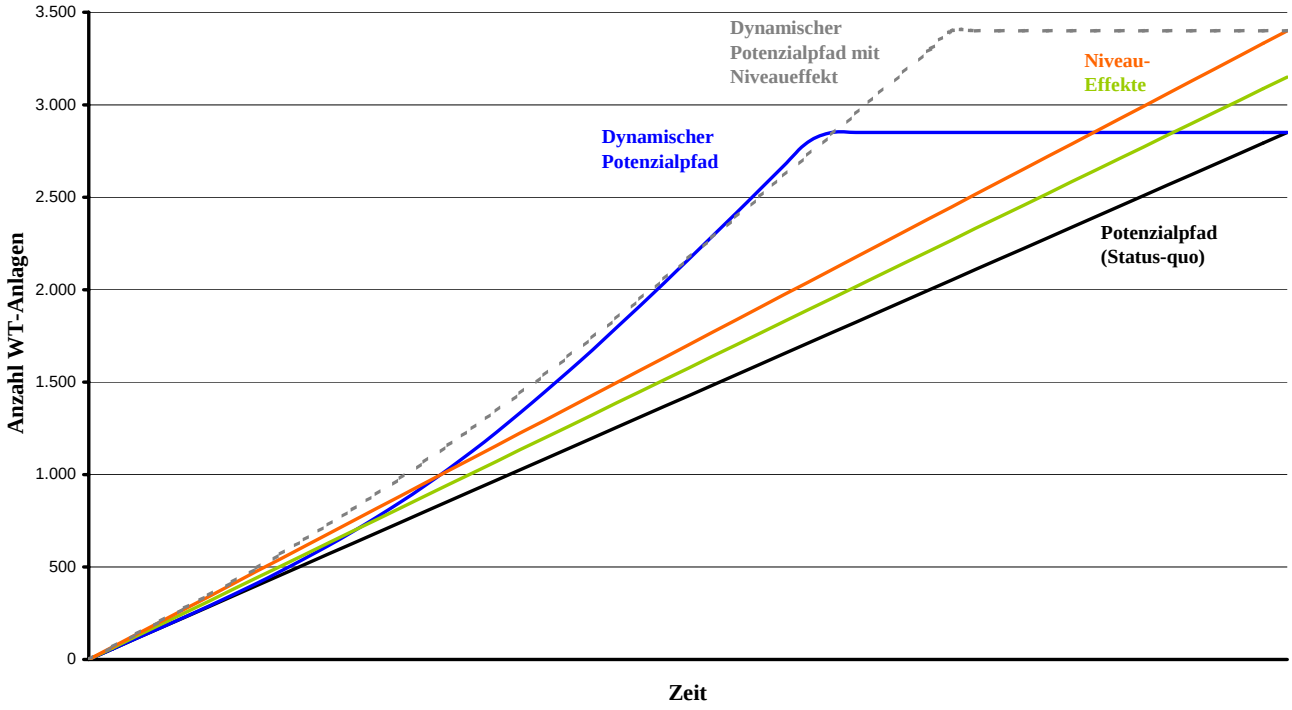
Als eine wesentliche Botschaft der evolutorischen Potenzialanalyse ist der Hinweis zu verstehen, dass in die Abschätzung des Potenzials Annahmen einflossen, die auf real vorfindbare Einflussfaktoren (Stand der Technik, Kosten, Preise) der Gegenwart beruhten. Da diese im Zeitablauf einem Wandel unterliegen können, wurde die Auswirkung der Veränderung der Einflussgrößen auf die Potenzialentwicklung untersucht, wobei Dynamik- und Niveaueffekte unterschieden wurden.

- Für Lern- und Skaleneffekte, steigende Kosten alternativer Heizungssysteme (insbesondere steigende Ölpreise) sowie Verlagerung der Präferenzen der Nachfrager zugunsten regenerativer Energieformen konnte festgestellt werden, dass sich diese positiv auf die Steigung (Dynamik) des Expansionspfades auswirken. Folglich kann das alljährlich realisierbare Potenzial ansteigen. Letztlich wurde auch auf die Möglichkeit verwiesen, dass bei veränderten Randbedingungen auch der Kanalisationsbestand stärker für die Nutzung der Abwasserwärme in Betracht gezogen werden kann.

- Niveaueffekte können zudem eintreten, wenn bspw. die Anforderungen an den Mindestquerschnitt weniger restriktiv ausfallen. Unabhängig vom zeitlichen Verlauf des Potenzialpfades kann dann ein höheres maximal realisierbares Potenzial erreicht werden.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

Alternative Potenzialpfade der Wärmerückgewinnung in Abwasserkanalisationen



IKT – eigene Darstellung

Der Potenzialpfad (Status quo) repräsentiert die lineare Fortschreibung des gegenwärtigen realisierbaren Potenzials. Der dynamische Potenzialpfad weist in der zweiten und dritten Dekade einen dynamischen Anstieg des Potenzials auf, das maximale Potenzial wird bereits zu einem früheren Zeitpunkt erreicht. Niveaueffekte sind in der Größenordnung von 10 % (grüne Kurve) und 20 % (rote Kurve) zunächst ohne Dynamik dargestellt. Eine Überlagerung von Dynamik- und Niveau-Effekten (20 %) führen zu einem Verlauf des Potenzialpfades gemäß der grau-gestrichelten Linie.

6 Primärenergieeinsparung und CO_2-Reduktion

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde schließlich die Fragestellung untersucht, in welchem Umfang AWN-Anlagen einen Beitrag zu den energiewirtschaftlichen und umweltpolitischen Zielen der Versorgungssicherheit (Substitution endlicher durch regenerative Energieträger) und der Umweltverträglichkeit (Verminderung der Treibhausgas-Emissionen) leisten können. In dem Umfang, wie durch AWN-Anlagen Wärme aus Abwasser zurückgewonnen und einer Nutzung zugeführt werden kann, leistet diese Technologie energiewirtschaftlichen und umweltpolitischen Zielen Vorschub: Da die Wärmerückgewinnung mit einem geringeren Primärenergie-Einsatz im Vergleich zu konventionellen Heizungssystemen erbracht werden kann, sind die Effekte der Ressourceneinsparung und Verminderung von CO_2-Emissionen grundsätzlich positiv zu bewerten.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

Die Abschätzung der Primärenergie-Effekte und der CO_2-Reduktion ist von Ernst A. Müller durchgeführt worden. Auf der Basis der gesamtheitlichen Abschätzung des Wärmepotenzials konnte eine Primärenergie-Reduktion in Höhe von 2,6 bis 3,8 TWh/a ermittelt werden. Für die Reduktion der CO_2-Emissionen wurden Werte von 0,4 Mio. bis 0,9 Mio. t angegeben. Zusätzliche Effekte können sich aus der Nutzung der AWN-Anlagen zur Raumkühlung sowie unter Einbeziehung von Industriekläranlagen ergeben.

7 Fazit

In einer abschließenden Würdigung der Nutzung der Abwasserwärme kann vor dem Hintergrund der im Rahmen dieser Forschungsarbeit gewonnenen Ergebnisse das folgende Fazit gezogen werden: Die Anforderungen an die Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen sind vielfältig, jedoch durchaus zu bewältigen. Inbesondere haben sich keine Anhaltspunkte für eine grundsätzlich konfligierende Beziehung zwischen der Entwässerungsaufgabe und der Abwasserwärmenutzung im Kanal ergeben. Aus wirtschaftlichen Gründen empfiehlt sich derzeit eine Umsetzung v.a. im Bereich des Kanalisationsneubaus, da dort weniger enge Restriktionen vorzufinden sind. In Abhängigkeit von den erzielten Erfolgen und der Entwicklung der Randbedingungen ist im Zeitablauf ein stärkerer Übergang auf den Kanalisationsbestand nicht ausgeschlossen.

Der kurzfristig realisierbare energiewirtschaftliche und umweltpolitische Nutzen scheint nach derzeitigem Stand des Wissens zwar begrenzt zu sein, zu beachten ist indes das Zusammentreffen unterschiedlicher Vorteile der Wärmerückgewinnung aus Abwasser: Es handelt sich bei AWN-Anlagen um dezentrale Systeme der Wärmeversorgung, die sowohl einen Beitrag zur Abkoppelung von den endlichen fossilen Energieträgern sowie zur Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen leistet. Die Erhöhung der Versorgungssicherheit durch Diversifikation der Versorgungsquellen benötigt gerade derartige Systeme, auch wenn sich diese derzeit möglicherweise noch als Nischen darstellen. Vor diesem Hintergrund ist deutlich herauszustellen, dass für das im Rahmen der evolutorischen Analyse ermittelte Realisierungspotenzial bereits zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine wirtschaftliche Tragfähigkeit anzunehmen ist. Die Fitness dieser Strategie wird sich jedoch erst über die Zeitachse herauskristallisieren.

Vor dem Hintergrund dieser Würdigung kommt der Verfasser nach dem derzeitigen Stand des Wissens zu der Einschätzung, dass die Wärmerückgewinnung mittels AWN-Anlagen unter dem Strich mehr Chancen als Risiken bietet. Dabei ist allerdings nicht zu übersehen, dass Wissensdefizite hinsichtlich der Umsetzungsmöglichkeiten für AWN-Anlagen bestehen: Um diesen zu begegnen, könnten bspw. in einem ersten Schritt aus einer beispielhaften Auswertung von überschaubaren Teilgebieten in NRW ergänzende Informationen über die energiewirtschaftlich relevanten Nutzungspotenziale gewonnen werden. Sofern darüber hinaus von den zuständigen Institutionen eine politische Förderung von AWN-Anlagen erwogen wird, ist zu hinterfragen, welche Instrumente sinnvoller Weise zum Einsatz kommen sollten. In diesem Zusammenhang spielen sicherlich diejenigen Maßnahmen eine besondere Rolle, die geeignet sind, die Wettbewerbsfähigkeit von AWN-Anlagen zu erhöhen, ohne dabei den Weg über Subventionierungen zu beschreiten. Schlussendlich darf bei aller Sorgfalt, die in theoretischen Studien einfließt, nicht übersehen werden, dass dem in konkreten Projekten gewonnenen Erfahrungswissen eine bedeutsame Rolle zukommt. Die Bewältigung dieser Wissensdefizite verbindet sich mit weiteren Forschungsdesideraten, wobei an dieser Stelle nur ein Ausschnitt über mögliche Aktivitäten dargestellt ist. Die Umsetzung der Wärmerückgewinnung aus Abwasser und die

© 2005 All rights reserved by GEK mbH

Realisierung der damit verbundenen energiewirtschaftlichen und umweltpolitischen Effekte hängen nicht zuletzt davon ab, in welchem Umfang Grundlagen- und Anwendungswissen über die Wärmerückgewinnung verfügbar ist und verbreitet wird.

© 2005 All rights reserved by GEK mbH