

Aktenzeichen IV-7 – 042 600 003 C

Potenziale und technische Optimierung der Abwasserwärmenutzung

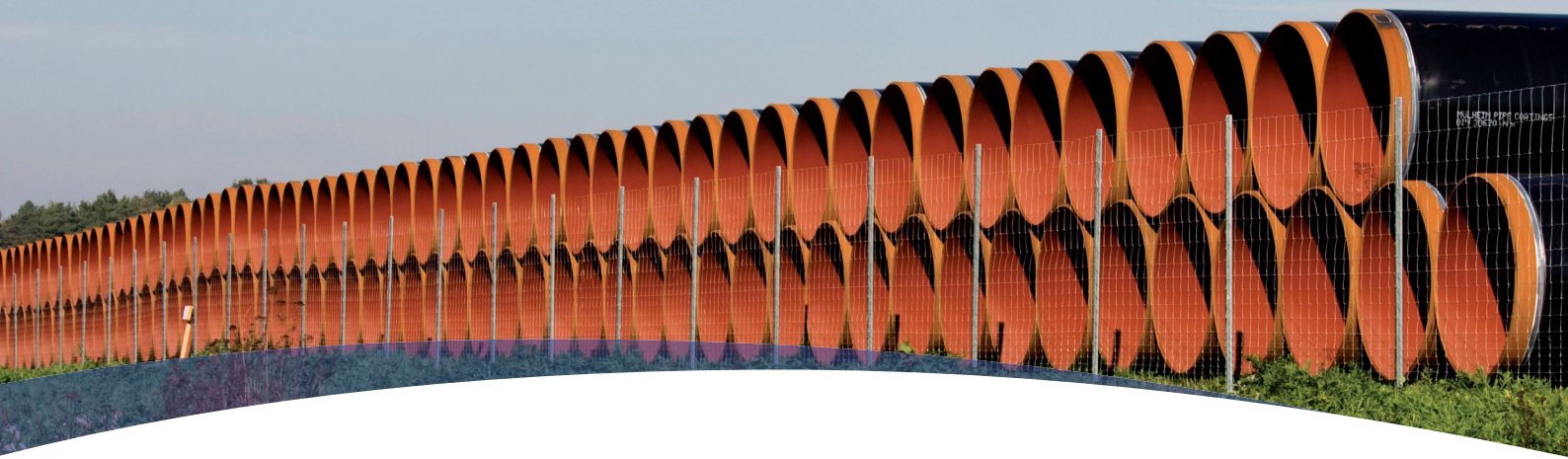
Im Auftrag von:

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Projektpartner:





Aktenzeichen IV-7 – 042 600 003 C

Potenziale und technische Optimierung der Abwasserwärmenutzung

ABSCHLUSSBERICHT

Aachen, im November 2012
FiW an der RWTH Aachen

Dr.-Ing. F.-W. Bolle

Projektbearbeitung

Institution

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft
an der RWTH Aachen (FiW) e.V.

Kackertstr. 15 - 17
D-52056 Aachen

EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen

Gessnerallee 38a
CH-8001 Zürich

Ryser Ingenieure AG

Engestr. 9
CH-3000 Bern 9

RWTH Aachen Lehrstuhl für Baubetrieb und
Projektmanagement

Mies-van-der-Rohe-Straße 1
D-52074 Aachen

Emschergenossenschaft

Kronprinzenstraße 24
D-45128 Essen

STAWAG Stadtwerke Aachen AG

Lombardenstraße 12-22
D-52070 Aachen

Bearbeiter

Prof. Dr.-Ing. Karsten Müller
Dipl.-Biol. Karl Billmaier

Dipl.-Geogr. Ernst A. Müller
Dipl.-Wirt.-Ing. Eliane Graf

Dipl.-Ing. Beat Kobel
Dipl.-Ing. Yann Roth

Dr.-Ing. Joachim Beyert
Dipl.-Ing. Georg Vosen

Dr.-Ing. Matthias Weilandt
Dipl.-Ing. Adrian Treis

Dipl.-Ing. Uwe Lorenz

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung und Zielsetzung	4
3	Stand der Technik, Innovationen und betriebliche Erfahrungen	6
3.1	Grundprinzip der Abwasserwärme- und Kältenutzung	6
3.2	Wärmetauschertechnik	12
3.2.1	Wärmeentnahme innerhalb von Liegenschaften	12
3.2.2	Wärmeentnahme im Entwässerungssystem	15
3.2.2.1	Einführung	15
3.2.2.2	Rinnenwärmetauscher	16
3.2.2.3	Bypasssysteme	19
3.2.3	Wärmeentnahme im Ablauf der Kläranlage	21
3.2.4	Innovationen	23
3.2.5	Gegenüberstellung verschiedener Wärmetauschersysteme	26
3.3	Wärmepumpentechnik	29
3.4	Erfahrungen bei Genehmigung, Planung, Bau und Betrieb von Abwasserwärmenutzungsanlagen	31
3.4.1	Verwaltungsrechtliche Voraussetzungen	31
3.4.2	Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage	31
3.4.3	Betriebserfahrungen von Abwasserwärmenutzungsanlagen in NRW	33
3.4.3.1	Leverkusen	34
3.4.3.2	Bochum	38
3.4.4	Einbezug der Abwasserwärmenutzung in Wärmenetze	42
3.4.4.1	Einbezug bei Fernwärme mit höherem Temperaturniveau	42
3.4.4.2	Einbezug in Nahwärmesysteme	42
3.4.5	Bewertung und Ausblick	43
4	Wärme- und Kältepotenzial aus dem Abwasser	46
4.1	Einführung	46
4.2	Nutzung der Wärme aus Abwasser	46
4.3	Kältenutzung vor, auf oder nach der Kläranlage	48
4.4	Wärmenutzung innerhalb von Liegenschaften	49
4.5	Technisch realisierbare Abwasserwärmeentzugspotenziale in NRW	53
4.6	Realisierbares Heiz- bzw. Klimatisierungspotenzial	59
4.7	Potenzialkarten	64
5	Methodik zur Suche nach geeigneten Standorten	66
5.1	Bedingungen für geeignete Standorte	66
5.1.1	Abfluss	66

5.1.2	Abwassertemperatur	66
5.1.3	Kanalisation	67
5.1.4	Distanz zum Abnehmer	67
5.1.5	Abnehmer	69
5.2	Pragmatische Vorgehensweise	71
5.2.1	Einführung	71
5.2.2	Vorgehen am Beispiel des Landes Baden-Württemberg	73
5.3	Systematische Vorgehensweise	75
5.3.1	Einführung	75
5.3.2	Leitlinien für die Erstellung der Abwasserwärmepotenzialkarte	75
5.3.2.1	Einführung	75
5.3.2.2	Datenerfassung	76
5.3.3	Visualisierung und Standortfindung	77
5.3.4	Praxisbeispiele aus Nordrhein-Westfalen	80
5.3.4.1	Potenzialkarte Aachen	80
5.3.4.2	Potenzialkarte Emscher- und Lipperegion	87
5.3.5	Zukunftsperspektive Energiekarte	89
6	Ökologische Aspekte und Wirtschaftlichkeit	91
6.1	CO-2 Emissionen	91
6.2	Wirtschaftlichkeit	92
6.2.1	Investitionskosten	92
6.2.2	Jahreskosten	94
6.2.3	Gestehungskosten	95
6.2.4	Einfluss finanzieller Förderung	95
6.2.5	Einfluss steigender Energiepreise	96
7	Fazit und Empfehlungen für einen Ausbau der Abwasserwärmenutzung in Nordrhein-Westfalen	98
8	Literatur	100

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Tabellarische Übersicht über Anlagenbeispiele in Deutschland	102
Anhang 2: Tabellarische Übersicht der Kläranlagen mit Zulauftemperaturmessung	103
Anhang 3: Beispielhafte Berechnung des Abwasserwärmepotenzials für die Kläranlage Wuppertal-Buchenhofen	104
Anhang 4: Potenzialkarten NRW	108
Anhang 5: Abwasserwärmepotenzialkarte Aachen.....	121
Anhang 6: Mustervertrag (Entwurf).....	123

Verzeichnis der Abbildungen

Bild 3-1:	Herkunft und Menge des Abwassers in NRW (in Mio. m ³ /a) (MKULNV 2011) .6
Bild 3-2:	Beispiel des jahreszeitlichen Verlaufs der Abwassertemperatur (Mischwasserkanalisation) (Dillig, 2008)..... 7
Bild 3-3:	Wärme-Austauschprozesse im Kanalisationsrohr (Buri, Kobel, 2004) 7
Bild 3-4:	Jahresganglinie Abwassertemperatur und Gegenüberstellung mit Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefenlagen (Klinger, Weber, 2004) 8
Bild 3-5:	Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Abwasserwärmenutzungsanlage (Buri, Kobel, 2004) 9
Bild 3-6:	Wärmefluss bei der Abwasserwärme- bzw. -kältenutzung (EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen, 2009)..... 10
Bild 3-7:	Möglichkeiten der Wärmegewinnung, (Merkblatt DWA M 114 Energie aus Wasser, Wärme und Lageenergie) abgeändert. 11
Bild 3-8:	FEKA-Modul mit integriertem Filter und Wärmetauscher in Abwasserschacht (FEKA-Energiesysteme AG 2010) 12
Bild 3-9:	Einbau FEKA-Modul in den Abwasserschacht einer Wohnüberbauung (FEKA-Energiesysteme AG 2010) 13
Bild 3-10:	Abwassersammelschacht (links: leer; rechts: gefüllt) (FEKA-Energiesysteme AG) 13
Bild 3-11:	Wärmerückgewinnung und Grauwasserbehandlung im Pontos HeatCycle bzw. HeatCycle bzw. PONTOS AquaCycle System (links: leer; rechts: gefüllt) (Pontos GmbH, Schiltach)..... 14
Bild 3-12:	Die Dusche mit Wärmerecycling (Jouliu SA, Biel (CH))..... 15
Bild 3-13:	Nachträglich eingebautes Wärmetauschersystem für den Einbau in bestehende und in neue Kanäle..... 16
Bild 3-14:	Kanalwärmetauscher Form A (Fa. Uhrig GmbH, Geisingen)..... 17
Bild 3-15:	Kanalwärmetauscher Form B (Fa. Uhrig GmbH, Geisingen)..... 17
Bild 3-16:	Kanalwärmetauscher (KASAG AG, Langnau (CH))..... 18
Bild 3-17:	Im Rohr eingebauter Wärmetauscher – Wässerwiesen..... 18
Bild 3-18:	Wärmetauschereinbau RÜB Mühleplatz Lyss (KASAG AG, Langnau (CH)) 19
Bild 3-19:	Extern Wärmegewinnungsanlage (6) mit Entnahmebauwerk (2), Wärmetauscher (3), Wärmepumpe (4) mit Wärmespeicher (5) Huber, 2009) 20
Bild 3-20:	System Picatech von Huber für den Kanal-externen Einsatz mit eingebauter Reinigung (Huber, 2009)..... 20
Bild 3-21:	Doppelrohrwärmetauscher Rohabwasser (Brünnen Nord)..... 21
Bild 3-22:	Freeflow-Plattenwärmetauscher Post Mülligen (ewz) 22
Bild 3-23:	Bündelrohrwärmetauscher 2 x 700 kW: gereinigtes Abwasser der Kläranlage Region Bern AG (Ryser Ingenieure AG)..... 22
Bild 3-24:	PKS Thermpipe der Firma Frank 23

Bild 3-25:	Entwicklung von doppelten Gussrohren für den Einsatz der Wärmeentnahme im Trink- und Abwasserbereich (Saint-Gobain).....	24
Bild 3-26:	Wärmetauscher-Inlining-System Brandenburger Heatliner.....	25
Bild 3-27:	Rinnenwärmetauscher (Inlining) System Brandenburger Heatliner	25
Bild 3-28:	Inlineverfahren der Firma Sartex Multicom	25
Bild 3-29:	Rinnenwärmetauscherelemente der Firma Rabtherm GmbH vor und nach dem Einbau	35
Bild 3-30:	Lageplan Marbachkanal und Nordwestbad.....	38
Bild 3-31:	Wärmetauschereinbau im Marbachkanal in Bochum.....	40
Bild 3-32:	Wasserstand und Abwassertemperatur an der Messstelle im Marbachkanal	41
Bild 4-1:	Abfluss- und Temperaturganglinie (links) sowie Abfluss- und Temperaturkurve (geordnet nach den Tagen in Abhängigkeit der Abwassertemperatur, rechts)	47
Bild 4-2:	Beispielhafte Darstellung des Temperatur- und Abfluss-Monitorings, Studentenwohnheim Otto-Petersen-Haus, Rütscherstr. 155, Aachen.....	52
Bild 4-3:	Beispielhafte Darstellung von Tagesganglinien, Studentenwohnheim Otto-Petersen-Haus, Rütscherstr. 155, Aachen.....	52
Bild 4-4:	Zulauftemperaturen verschiedener Kläranlagen in NRW.....	54
Bild 4-5:	Ablauftemperaturen aller Kläranlagen (Größenklassen 1 – 5) in NRW	54
Bild 4-6:	Regressionsanalyse der Temperaturen im Zulauf einzelner Kläranlagen in NRW.....	55
Bild 4-7:	Dreijahres-°C-Zulaufmittelwerte für den Zeitraum Dezember – Februar	56
Bild 4-8:	Beispiel für die mittleren Quartalstemperaturen im Kläranlagenzulauf im Vergleich zur Bemessungstemperatur von 10 °C für eine Kläranlage	56
Bild 4-9:	Summenlinien der Abwasserwärmeentzugsleistung der Kläranlagen in NRW (GK 1 – 5)	57
Bild 4-10:	Beispiel für den Energiefluss in einer Wärmepumpe (WP) mit einem COP von 4,0 für eine Abwasserwärmenutzungsanlage (Merkblatt DWA M 114 Energie aus Wasser, Wärme und Lageenergie).....	59
Bild 4-11:	Systemschema monovalente und bivalente Heizsysteme (EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen, 2009).....	60
Bild 4-12:	Jahresverlauf des Raumwärmebedarfs in Abhängigkeit geordnet nach dem Tagesmittel der Außentemperatur beim bivalent parallelen Anlagenbetrieb. Bei einer Auslegung der Wärmepumpe auf beispielsweise 35 % des Wärmeleistungsbedarfes deckt sie 70 % des jährlichen Wärmebedarfes ab. (Merkblatt DWA-M 114 Energie aus Wasser, Wärme und Lageenergie)	60
Bild 4-13:	Beispiel für die Anteile von Abwasserwärme und Primärenergie an der Gesamtjahresheizleistung (skaliert auf 100 %) bei monovalenten Betrieb (COP = 3,5) und bivalent parallelen Betrieb (COP = 4,5; Anteil der WP an Gesamtjahreswärmebedarf = 70 %)......	61
Bild 4-14:	technisch realisierbares Abwasserwärmeentzugspotenzial für die kommunalen Kläranlagen (GK 1 – 5) in NRW	64

Bild 5-1:	Anteil der Kosten für Leitungen.....	69
Bild 5-2:	Grundkarte - Detailübersicht (1:5.000) mit hinterlegter DGK 5	78
Bild 5-3:	Grundkarte - Gebäudebestand im 300 m Radius um die Kanäle (1:5000).....	78
Bild 5-4:	Planungszustand des Kanalnetzes und Kanalinformationen (1:10.000).....	79
Bild 5-5:	Planungsfortschritt des Kanalnetzes (1:20000)	79
Bild 5-6:	Übersichtskarte (1:50.000) mit herausragenden Standorten innerhalb eines Puffers von 300 m um das Kanalnetz der EG. Dargestellt sind die Kanäle mit einem DN > 800 mm und einem $Q_{t24} > 15$ l/s.....	80
Bild 5-7:	Zusammenstellung von Auswahlkriterien für geeignete Standorte für Abwasserwärmenutzungsanlagen (Klinger, Weber 2004)	81
Bild 5-8:	Grundkarte Aachen	81
Bild 5-9:	Grundkarte Aachen (Gebäudebestand).....	82
Bild 5-10:	Grundkarte Aachen (Gebäudebestand) mit Fernwärmenetz (gelb)	82
Bild 5-11:	Gebäudebestand, der nicht mit Fernwärme versorgt wird (blau)	83
Bild 5-12:	Für den Einbau von Plattenwärmetauscher geeignete Haltungen (grün)	83
Bild 5-13:	Für den Einbau von Plattenwärmetauscher geeignete Haltungen (grün) sowie Fangradius 200 m (hellgrün).....	84
Bild 5-14:	Gebäudebestand, der potenziell mit Abwasserwärme versorgt werden kann.....	84
Bild 5-15:	Gebäudebestand, der potenziell mit Abwasserwärme versorgt werden kann sowie Liegenschaften der Stadt Aachen (rot und magenta).....	85
Bild 5-16:	Skizze Abwasserwärmenutzung Campus Melaten	86
Bild 5-17:	Skizze Abwasserwärmenutzung im Gebäudekomplex Kranzstraße / Burggrafstraße / Wiesental	86
Bild 5-18:	Datenzusammenführung und Kategorisierung.....	87
Bild 5-19:	Geoinformationssystem / Überblick	88
Bild 5-20:	Geoinformationssystem / Detailansicht.....	88
Bild 6-1:	Reduktion CO ₂ -Emissionen von 12 Abwasserwärmenutzungsprojekten im Vergleich zu einer konventionellen Lösung mit Erdöl oder Erdgas	92
Bild 6-2:	Spezifische Investitionen [€/kWh/a]	93
Bild 6-3:	Anteil der Anlagenteile an Investitionen (in %).....	93
Bild 6-4:	Vergleich der Kostenaufteilung zwischen Variante mit Abwasserwärmenutzung und einer konventionellen Anlage (Mittelwert aus 12 Machbarkeitsstudien)	94
Bild 6-5:	Gestehungskosten für die Abwasserwärmenutzung ohne Förderung im Vergleich zur konventionellen Variante	95
Bild 6-6:	Gestehungskosten für die Abwasserwärmenutzung ohne und mit Förderung.....	96
Bild 6-7:	Wirtschaftlichkeit einer Abwasserwärmenutzungsanlage im Vergleich mit einer konventionellen Variante ohne und mit Energiepreisteuerung.....	97

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 3-1:	Gegenüberstellung verschiedener Wärmetauschersysteme	26
Tabelle 3-2:	Festlegungen Abwärme-Kleinemittenten (< 250 MW bzw. < 125 MW)	31
Tabelle 3-3:	Abwasserwärmenutzungsanlagen in Deutschland	33
Tabelle 3-4:	Planungsdaten der Abwasserwärmenutzungsanlage in Leverkusen	34
Tabelle 3-5:	Leistungszahlen der Abwasserwärmenutzungsanlage in Leverkusen	38
Tabelle 3-6:	Auslegungsdaten der Heizanlage	39
Tabelle 3-7:	Die Dimensionierung des Wärmetauschers.....	40
Tabelle 4-1:	Betriebskosten und CO ₂ -Emissionen ausgewählter Anlagen	50
Tabelle 4-2:	Gegenüberstellung der Schätzungen für Abwasserwärme- entzugspotenziale im Kläranlagenzulauf und Kläranlagenablauf	58
Tabelle 4-3:	Abschätzung des realisierbaren Heizpotenzials in NRW aus dem Kanal und aus kommunalen Kläranlagen bei monovalentem Anlagenbetrieb (COP = 3,5)	62
Tabelle 4-4:	Abschätzung des realisierbaren Heizpotenzials in NRW aus dem Kanal und aus kommunalen Kläranlagen bei bivalent parallelem Anlagenbetrieb (COP = 4,5)	62
Tabelle 4-5:	Abschätzung des realisierbaren Heizpotenzials in NRW aus dem Kanal und aus kommunalen Kläranlagen bei bivalent alternativem Anlagenbetrieb (COP = 4,5).....	63
Tabelle 4-6:	Entwicklung der technischen und wirtschaftlichen Einsatzbedingungen für Abwasserwärmenutzungsanlagen	65
Tabelle 5-1:	Einfluss der Distanzen zwischen Abwasserquelle und Abnehmer in unüberbautem Gelände auf die Wirtschaftlichkeit von Abwasserwärmenutzungsanlagen	68
Tabelle 5-2:	Mögliche Zusammenstellung von Datenquellen und Datentransfer für die Erstellung von Abwasserwärmepotenzialkarten	77
Tabelle 7-1:	Potenzialklassen der Abwasserwärmenutzung in Abhängigkeit der Nennweite des Abwasserkanals und der Entfernung von Kanal zum Abnehmer (6: erwartungsgemäß sehr hohes Nutzpotezial; 1 erwartungsgemäß geringes Nutzpotezial)	99

Verzeichnis der Abkürzungen, Formeln und Indizes

Kürzel	Erläuterung	Einheit
Abkürzungsverzeichnis		
AG	Aktiengesellschaft	-
ARA	Abwasserreinigungsanlage	-
AWNA	Abwasserwärmenutzungsanlage	-
a	Jahr (anno)	-
BHKW	Blockheizkraftwerk	-
CH	Schweizerische Eidgenossenschaft	-
DGK	Deutsche Grundkarte	-
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V	-
DN	Nennweite (<i>Diameter Nominal</i>)	mm
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.	-
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz	-
EEWärmeG	Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz - EEWärmeG)	-
ELWAS-IMS	Elektronisches Wasser Informationssystem NRW	-
EnEV	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV 2009)	-
ewz	Elektrizitätswerke der Stadt Zürich	-
GEP	Generalentwässerungsplan	-
FEKA	Felix Kalberer	-
KASAG	Kupferschmiede und Aluminium-Schweisswerk AG	-
IKT	Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH	-
k	Kilo	k
kg	Kilogramm	kg
kW	Kilowatt	kW
kWh	Kilowattstunde	kWh
l	Liter	l
MW	Megawatt	MW
m	Milli, Meter	m
mm	Millimeter	mm
mg	Milligramm	mg

Kürzel	Erläuterung	Einheit
Abkürzungsverzeichnis		
m ²	Quadratmeter	m ²
m ³	Kubikmeter	m ³
NRW	Nordrhein-Westfalen	-
RL	Rücklauf	-
RÜB	Regenüberlaufbecken	-
SG	Kanton St. Gallen	-
VL	Vorlauf	-
WHG	Wasserhaushaltsgesetz	-
WP	Wärmepumpe	-
Formelzeichen und Indizes		
°C	Grad Celsius	°C
COP	coefficient of performance	-
C _v	Volumenbezogene Wärmekapazität	kJ/m ³ K
J	Joule	J
K	Kelvin	K
PJ	Petajoule – 1 PJ = 10 ¹⁵ Joule	PJ
ρ	Dichte	kg/m ³
§	Paragraph	-
P _{WT}	Entzugsleistung Wärmetauscher	kW
%	Prozent	%
Q	Trockenwetterabfluss	l/s
Q _{t24}	Trockenwetterabfluss als Tagesmittel	l/s
s	Sekunde	s
T	Temperatur	°C, K
Chemische Formeln		
O ₂	Sauerstoff	-
CO ₂	Kohlendioxid	-

1 Zusammenfassung

Abwasserwärme ist unter Beachtung planerischer Randbedingungen eine langfristig verfügbare und „erneuerbare“ Energiequelle, deren Nutzung nachhaltig ist und dem Gedanken einer Kreislaufwirtschaft in vollem Umfang Rechnung trägt. Sie reduziert den CO₂-Ausstoß im Vergleich zu fossil betriebenen Erdöl- oder Erdgasheizungen um bis zu 60 % und kann somit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Eine Nutzung der Abwasserwärme ist aufgrund erheblicher technischer Weiterentwicklungen im Bereich der Wärmetauscher- und Wärmepumpentechnologie und aufgrund der bisherigen Energiepreisteuerung in den letzten Jahren wirtschaftlich geworden und sollte daher heutzutage eine planerische Alternative zu den fossilen Heizsystemen sein. Vergleicht man die Gesteungskosten einer Abwasserwärmenutzungsanlage mit einer konventionellen Erdöl- oder Erdgasheizung stellt man fest, dass die Abwasserwärmenutzung mit gesamten Gesteungskosten von 7 bis 11 Cent/kWh im konkurrenzfähigen Bereich liegt. Es kann auch davon ausgegangen werden, dass mit zunehmender Verbreitung der Abwasserwärmenutzung die Investitionskosten für diese Technologie noch sinken werden und damit die Attraktivität steigen wird. Wird zudem berücksichtigt, dass die Energiepreise weiter steigen und sich diese Technologie (ggf. auch durch eine gezielte Förderung) weiter entwickelt und verbreitet, kann die Wirtschaftlichkeit erhöht und die Konkurrenzfähigkeit zu Erdöl- oder Erdgasheizungen gestärkt werden. Dies gilt nicht nur für den Einsatz in Neubauten, welche zukünftig immer weniger Fremdenergie benötigen (bis hin zu Passiv- bzw. Plusenergiehäusern), sondern insbesondere für den Gebäudebestand, welcher geringere energetische Fortschritte erleben wird und dadurch auch in den nächsten Jahrzehnten weiterhin den Hauptanteil am Heizenergieverbrauch beanspruchen wird.

Die genannten ökologischen und ökonomischen Vorteile der Abwasserwärmenutzung kommen allerdings nur bei fundierter Planung und Umsetzung der Anlagen zum Tragen. Gerade die Planungsdaten, wie z. B. Abwasserangebot, Temperaturverhältnisse im Abwasser, müssen für den Anlagenstandort belastbar sein. Auch muss das Know-how für die Planung, die Realisierung sowie den Betrieb von Anlagen erweitert werden, sodass von den Fachplanern Entwicklungen aufgenommen und bei der Projektierung direkt umgesetzt werden können. Die Aus- und Weiterbildung und der Erfahrungsaustausch sind zentrale Punkte zur Verbreitung der Technologie.

Dass die Entwicklungen der Technologie zur Abwasserwärmenutzung noch nicht abgeschlossen sind, sondern vielmehr dynamische Prozesse darstellen, zeigen unterschiedliche Innovationen. Beispiele sind hier die Anwendung für immer kleiner werdende Gebäude als auch die Zunahme an Wärmerückgewinnungsanlagen innerhalb von Liegenschaften oder Entwicklungen für Wärmetauscher, die in die wasserführende Hausinstallation eingebunden werden können.

Um zur Etablierung der Abwasserenergienutzung beizutragen, wurden im Rahmen des Projektes für NRW zunächst das Abwasserwärmenutzungspotenzial für die Zu- und Abläufe der Kläranlagen unter pessimalen und optimalen Ansätzen berechnet. Für die Kläranlagenzuläufe schwankt demnach das realisierbare Potenzial der aus dem Abwasser in den Kanalisationen abschöpfbaren Wärme je nach Bemessungstemperatur sehr stark und liegt in NRW zwischen rund 220 – 336 MW. Wird das Wärmepotenzial der Kläranlagenabläufe genutzt, steigt das realisierbare Wärmepotenzial aufgrund der größeren nutzbaren Temperaturdifferenz auf 1.850 MW. Wird das Potenzial vor und nach der Kläranlage umgerechnet auf den Heizenergiebedarf, wobei von bivalent alternativ arbeitenden Anlagen ausgegangen wird, so ergeben sich rund 1.000 – 2.000 MW Heizleistung. Die hier ermittelten Wärmepotenziale bestätigen, wenn auch auf anderem Wege ermittelt, zusammenfassend die in der IKT-Studie „Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen“ Realisierungspotenziale.

Die berechneten Abwasserwärmenutzungspotenziale wurden für die kommunalen Kläranlagen in NRW (GK 1 – 5) und deren Einzugsgebiete unter Einbeziehung der Hoch- und Rechtswerte kartographisch dargestellt. Anhand der Karte lässt sich für das jeweilige Kläranlageneinzugsgebiet das Abwasserwärmepotenzial unter Beachtung der Bemessungstemperaturen entnehmen.

Sofern für das Einzugsgebiet einer Kläranlage ein hinreichendes Wärmepotenzial zur Verfügung steht, lassen sich nach Erstellung einer detaillierten Wärmepotenzialkarte flächendeckend alle geeigneten Standorte für Abwasserwärmenutzungsanlagen identifizieren. Dabei sind folgende Informationen zusammenzuführen:

- Stadtplan (mit farbig eingezeichneten öffentlichen Bauten und anderen möglichen Wärmegroßabnehmern)
- Kanalisationsplan mit Rohrquerschnitten
- Kläranlagendaten (monatliche Abwassermenge und Zulauftemperatur, Bemessungstemperatur der Kläranlage)

Da diese Grunddaten bei jeder Kommune bzw. dem Stadtentwässerungsbetrieb und dem Bauamt (i.d.R. digital) vorhanden sind, lässt sich eine solche Potenzialkarte mit geringem Aufwand erstellen. Ein Fachmann mit entsprechender Erfahrung kann zudem mit einer „pragmatischen Vorgehensweise“ bereits in wenigen Gesprächen mit den ortskundigen Gemeindevertretern zumindest die interessantesten Standorte zur Abwasserwärmenutzung einer Kommune identifizieren und so erste Anstöße zur technischen Umsetzung geben. Problematisch ist in diesem Zusammenhang, dass der natürliche Auftraggeber für solche Potenzialkarten keinen unmittelbaren Nutzen aus den Karten bzw. deren Veröffentlichung ziehen kann.

Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, die Erstellung von Potenzialkarten für nordrhein-westfälische Kommunen dann mit Landesmitteln zu fördern, wenn diese Karten nach einheit-

lichen Kriterien erstellt und deren webbasierte Veröffentlichungen auf einer Plattform des Landes zugestimmt wird.

Dieser Bericht zeigt darüber hinaus wesentliche Aspekte für die Nutzung der Abwasserwärme und deren Entwicklungsstand auf. Dabei werden Stand der Technik, Innovationen, Potenziale in NRW und die Erstellung von Wärmepotenzialkarten ins Zentrum gerückt, um Kommunen und Energieversorger den Leistungsstand der Technik zur Abwasserwärmenutzung zu verdeutlichen und Anregungen zu deren kritischen Umsetzung zu geben.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Verbreitung der Abwasserwärmenutzung aus ökologischen, ökonomischen Gründen in NRW sinnvoll und auch machbar wäre. Einer Verbreitung stehen im Wege, dass die Technologie bei den Entscheidungsträgern wie Abwasserverbänden, Gemeinden, aber auch bei Heizungsplanern und vor allem bei den betroffenen Bauherren noch kaum oder gar nicht bekannt ist und es an ausgewiesenen Ingenieuren aus den beiden betroffenen Fachbereichen (Ingenieure aus dem Abwasserfach sowie bei den Energie- und Heizungsingenieuren) fehlt. Initiativprogramme, mit denen

- Potenzialstudien wie oben beschrieben gezielt finanziell gefördert und damit
- Abwasserfachverbände, Kommunen und insbesondere Planer bzw. Bauherren aktiv informiert werden,

könnten, wie die äußerst positiven Erfahrungen in Baden-Württemberg zeigen, Wissensdefizite effizient beheben und so auch einen Beitrag zur Förderung des regionalen Gewerbes und des Wirtschaftsstandortes NRW leisten.

2 Einleitung und Zielsetzung

Eine verstärkte Nutzung alternativer Energieträger braucht eine Forschung, die auf die Entwicklung und die Optimierung zukunftsweisender Technologieträger ausgerichtet ist. Treibende Kräfte sind dabei neben einem kontinuierlichen Anstieg der Energiekosten, ein nachhaltiger Klimaschutz durch eine signifikante Minderung der fossilen Brennstoffe. Einen Beitrag hierzu können bisher nur wenig genutzte Energiepotenziale wie die Abwasserwärme leisten.

Vor diesem Hintergrund sind die Beiträge des vorliegenden Forschungsvorhabens, das wirtschaftlich nutzbare Potenzial der Gewinnung von Wärme und Kälte aus kommunalen Abwässern in NRW aufzeigt und technische Optimierungsmöglichkeiten benennt, ein wichtiger Meilenstein. Darauf aufbauend können nun die in der Praxis nachgefragten Planungshilfen für Ingenieure und Betreiber entwickelt und auch entsprechende Anleitungen bzw. Schulungsunterlagen erstellt und entsprechende Aus- und Weiterbildungsangebote entwickelt werden.

Eine nachhaltige Daseinsvorsorge beinhaltet gerade eine Erweiterung der Anwendungsbereiche bisher nur wenig genutzter Energieressourcen durch technisch optimierte Anwendungen, wie zum Beispiel der Nutzung der im Abwasser vorhandenen Wärme.

Energiepotenziale im Abwasser stärker als bisher zu nutzen, fordert auch die öffentliche Wasserwirtschaft, so dass die nachfolgend vorgestellten Ergebnisse der Untersuchung einen weiteren Beitrag zur zukünftigen flächendeckenden Nutzung der Energien aus Abwasser leisten können.

Mit den Untersuchungen soll ein wesentlicher Beitrag zur Etablierung der Abwasserenergienutzung erreicht werden. Dazu müssen nicht wirtschaftlich begründete Hemmnisse identifiziert, analysiert und u. a. folgende Fragen beantworten werden:

- Wie sind die Betriebserfahrungen mit bestehenden Abwasserenergienutzungsanlagen?
- Wo bestehen Wissensdefizite bei den für die Umsetzung einzubindenden Akteuren (Behörden, Betreiber, Planer und Bauherren)?
- Wie groß ist das Potenzial der Abwasserwärme- und -kältenutzung in NRW unter Berücksichtigung neuer technischer Verfahren, realistischer Standorte und wasserwirtschaftlicher Aspekte tatsächlich?
- Welche Wärmetauschertechnik ist in Abhängigkeit lokaler Randbedingungen technisch und wirtschaftlich sinnvoll und wie sind die Anlagen zu dimensionieren?
- Wie können mögliche und wirtschaftliche Standorte sowohl hinsichtlich des Dargebots als auch der Nachfrage zielgerichtet identifiziert und den betroffenen Entscheidungsträgern Informationen zu den Nutzungsmöglichkeiten vermittelt werden?

Entsprechend wurden folgende Arbeitsergebnisse angeboten:

- Eine Abschätzung des Gesamtpotenzials der Abwasserwärme- und -kältenutzung in NRW auf der Basis der Studie des IKT (vgl. Rometsch, L.; Müller, E.A.; Kobel B.; 2004) unter zusätzlicher Berücksichtigung wirtschaftlicher und gewässergüterrelevanter Aspekte (Reinigungsleistung der Kläranlage und Temperaturhaushalt Fließgewässer) und unter Berücksichtigung aktueller technischer Entwicklungen differenziert nach
 - Wärmenutzung vor der Kläranlage
 - Wärmenutzung auf oder nach der Kläranlage
 - Kältenutzung vor oder nach der Kläranlage
 - Wärme- und Kältenutzung innerhalb von Liegenschaften
 - Abschätzung der zusätzlich zu sanierenden Kanalabschnitte
- Ein Abschlussbericht, in dem die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen praxisnah dargestellt werden. Diese sind z. B.:
 - Investitions- und Betriebskosten in der Praxis
 - Vorgehensweise und Leitlinien zur Erstellung von Wärmedarstellungs- und Wärmenachfragekarten
 - Dimensionierung von Abwasserwärmenutzungsanlagen
 - Empfehlungen für die Wahl eines Wärmetauschersystems

3 Stand der Technik, Innovationen und betriebliche Erfahrungen

3.1 Grundprinzip der Abwasserwärme- und Kältenutzung

Allein in NRW werden jährlich etwa 4 Mrd. m³ Abwasser über die kommunalen Schmutz- und Regenwasserkanäle abgeleitet und zum Großteil durch die kommunalen Kläranlagen behandelt (vgl. Bild 3-1). Davon entfallen etwa 3 Mrd. m³ auf industrielle Indirekteinleitungen und häusliches Abwasser also im Regelfall genutztem Trinkwasser.

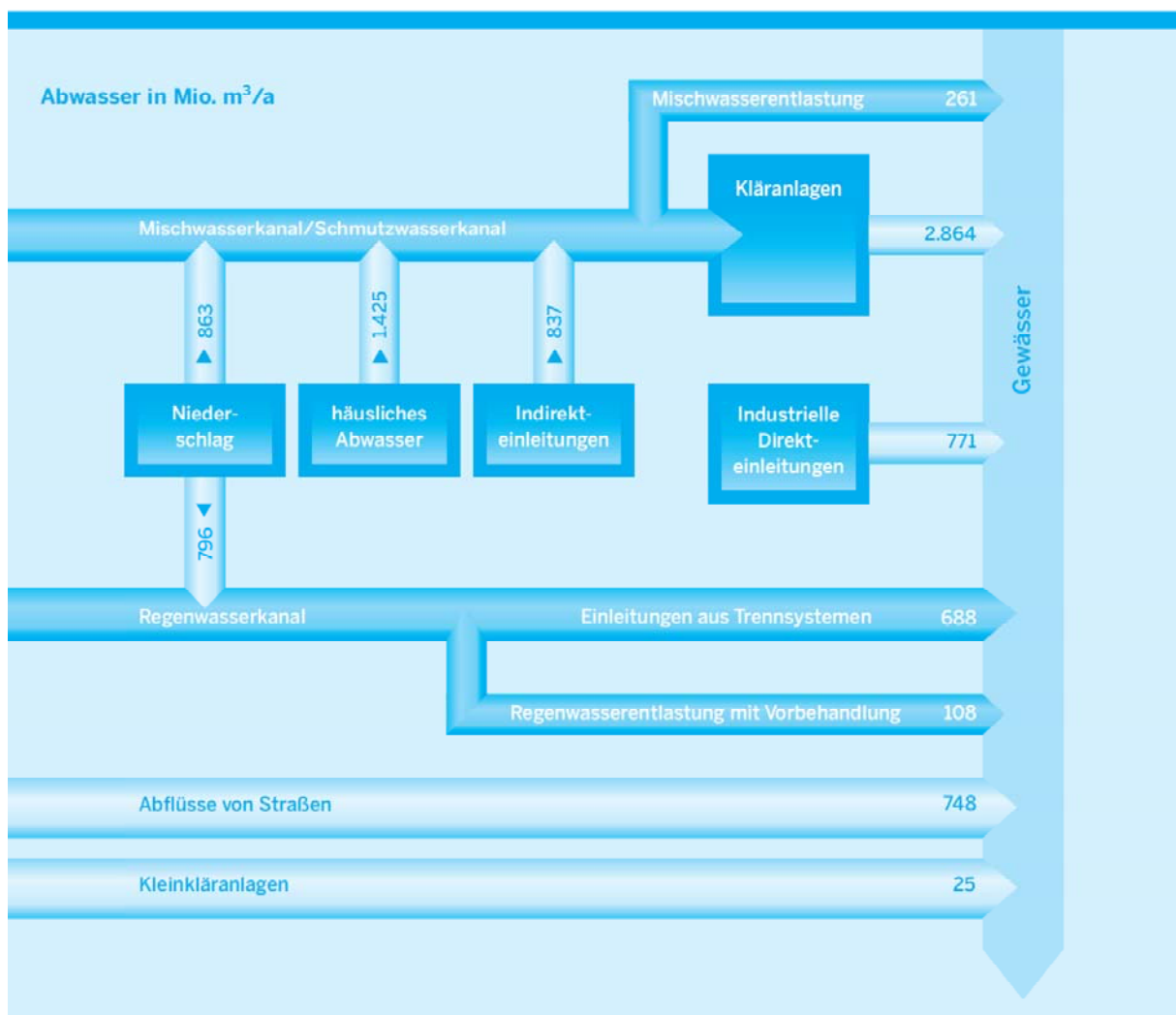


Bild 3-1: Herkunft und Menge des Abwassers in NRW (in Mio. m³/a) (MKULNV 2011)

Ein erheblicher Teil der Trinkwassernutzung ist mit einer Erwärmung des Wassers verbunden: Mit dem Grauwasser aus Duschen, Wasch- oder Spülmaschinen oder auch Kühlwässern der Industrie fließt mit dem Abwasser auch die zuvor zugeführte Wärmeenergie durch die Kanalisation ab.

Infolgedessen weist das Schmutzwasser beim Verlassen der Gebäude eine mittlere Temperatur von über 25 °C auf. Innerhalb der Kanalisation finden sich im Jahresdurchschnitt noch immer 15 °C (Sommer: 20 °C, Winter: °C 10 bis 12 °C; vgl. Bild 3-2).

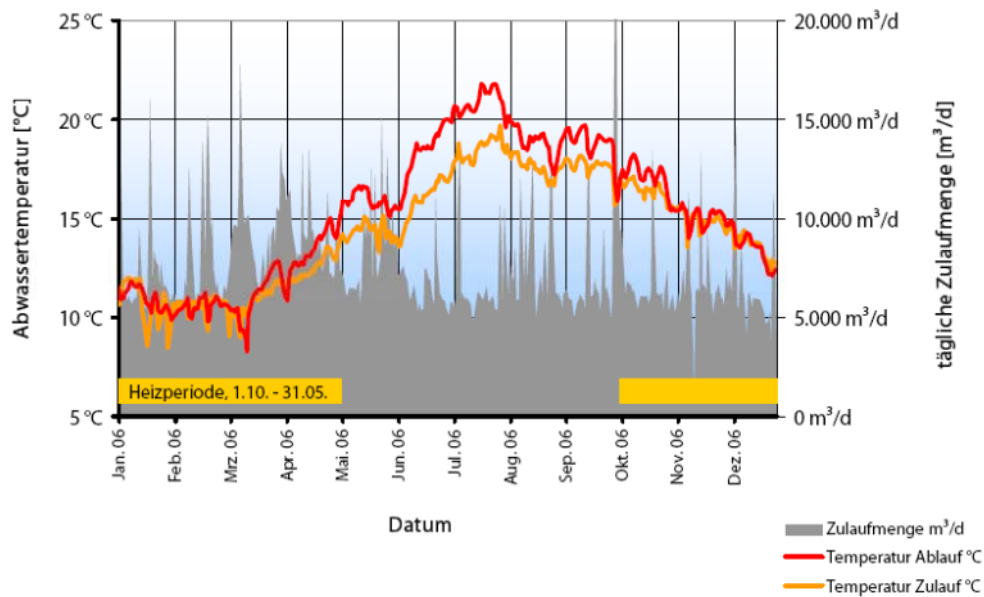


Bild 3-2: Beispiel des jahreszeitlichen Verlaufs der Abwassertemperatur (Mischwasserkanalisation) (Dillig, 2008)

Die Temperatur des abfließenden Abwassers resultiert also zum einen aus der oben angesprochenen zugeführten Wärme; zum anderen ist sie aber wesentlich das Ergebnis eines komplexen Austauschprozesses zwischen Abwasser, Kanalatmosphäre und dem umgebenden Boden (vgl. Bild 4-3). Hinzu kommt der (indirekte) Wärmeaustausch mit der Umgebung über die Schachtdeckel.

Bild 3-3: Wärme-Austauschprozesse im Kanalisationsrohr (Buri, Kobel, 2004)

Untersuchungen von Klinger und Weber (2004) zeigen, dass insbesondere die thermische Wechselwirkung des Abwassers mit dem umgebenden Boden erheblichen Einfluss auf die Abwassertemperatur hat (Bild 3-4).

So korreliert z. B. die Jahresganglinie der Kläranlagenzulaufemperatur deutlich mit dem Verlauf der Bodentemperatur in etwa 4 m Tiefe, also der einer für Kanalhaltungen typischen Überdeckung.

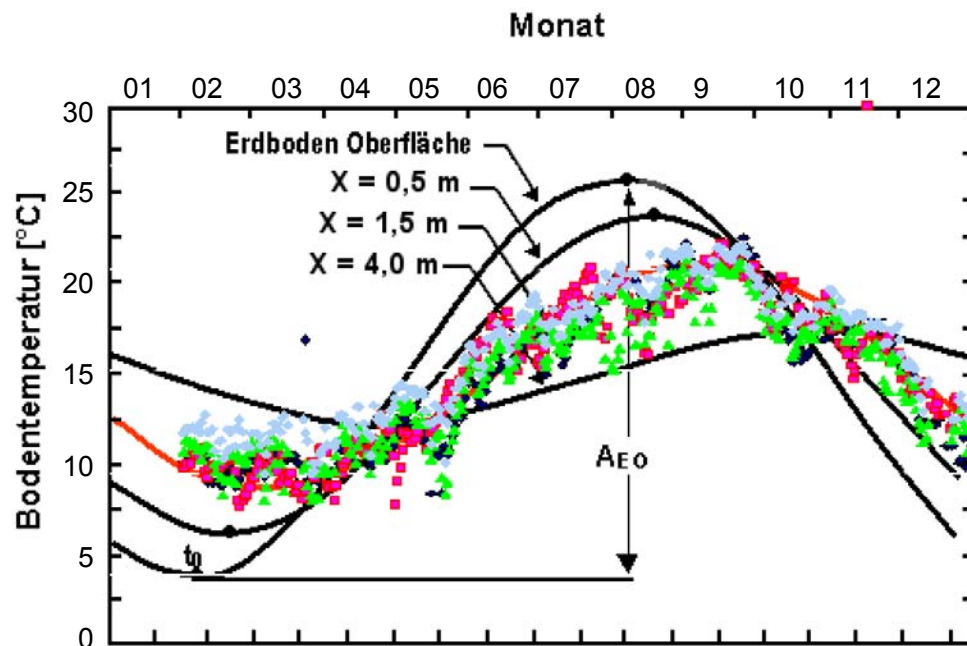


Bild 3-4: Jahresganglinie Abwassertemperatur und Gegenüberstellung mit Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefenlagen (Klinger, Weber, 2004)

Daraus resultiert ein Wärmepotenzial von rund 1 bis 2 kWh pro m³ Abwasser (Christ, Mitsdoerfer, 2008), welches heute weitgehend noch ungenutzt in die Kanäle, die Kläranlagen und schlussendlich in die Vorfluter fließt. Zur Nutzung dieses Wärmepotenzials z. B. zur Beheizung von Wohngebäuden entzieht ein Wärmetauscher dem Abwasser Wärme, welche sodann in einer Heizzentrale durch eine Wärmepumpe auf ein höheres Niveau gebracht wird. Das Grundprinzip der Abwasserwärmenutzung ist nachfolgend dargestellt (Bild 3-5). Herzstücke der Anlage bilden demnach

- ein **Wärmetauscher**, der dem Abwasser die Wärme entzieht, und
- eine **Wärmepumpe**, die die gewonnene Wärme für Heizzwecke nutzbar macht.

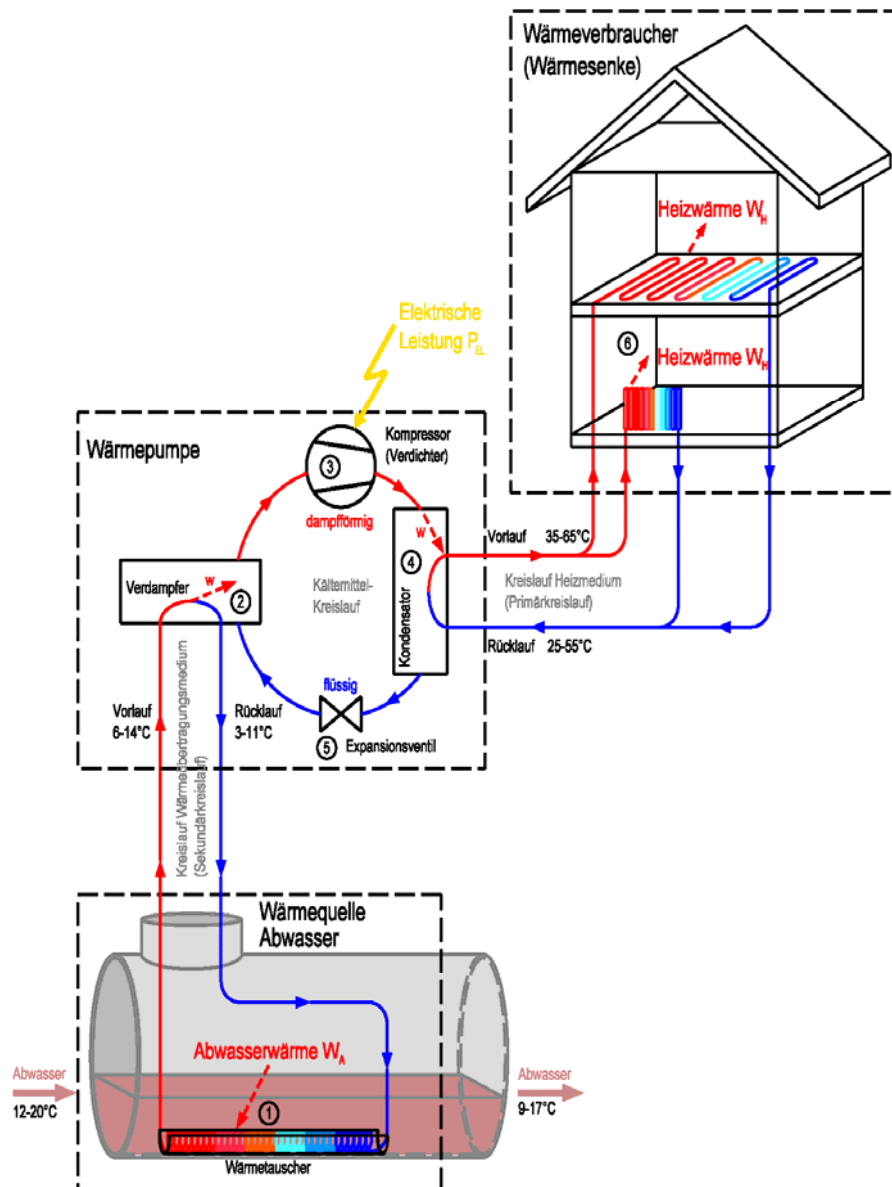


Bild 3-5: Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Abwasserwärmenutzungsanlage (Buri, Kobel, 2004)

Legende:

- ① Der Wärmetauscher entzieht dem Abwasser Wärme und überträgt diese auf das im Wärmetauscher zirkulierende Medium (Sekundärkreislauf). Dabei wird der Sekundärkreislauf erwärmt und das Abwasser leicht abgekühlt.
- ② Der Sekundärkreislauf gibt die Wärme im Verdampfer der Wärmepumpe (WP) auf ein Kältemittel mit tiefem Siedepunkt ab. Dabei verdampft das Kältemittel.
- ③ Mit einem im Regelfall elektrisch betriebenen Kompressor wird der Dampf komprimiert und dadurch erwärmt.
- ④ Im Kondensator der Wärmepumpe gibt der Dampf seine Wärme an den Kreislauf des Heizsystems (Primärkreislauf) ab. Dadurch wird das unter Druck stehende Kältemittel wieder verflüssigt.
- ⑤ Im Expansionsventil der Wärmepumpe wird der Druck abgebaut und der Kältemittel-Kreislauf beginnt von vorn ②.
- ⑥ Das auf die Vorlauftemperatur erwärmte Heizmedium gibt mittels Radiator oder Fußbodenheizung die Wärme an die Raumluft ab. Dabei wird es auf die Rücklauftemperatur abgekühlt und zurück zum Kondensator der Wärmepumpe transportiert, um dort wieder Wärme aufzunehmen ④.

Bei der Wärmeentnahme wird also das zwecks Gebäudebeheizung Abwasser abgekühlt. Umgekehrt kann dieses System aber grundsätzlich auch zur Gebäudeklimatisierung genutzt werden, indem das Abwasser in den Sommermonaten als Wärmesenke genutzt wird. Der Wärmefluss ist schematisch in Bild 3-6 dargestellt.

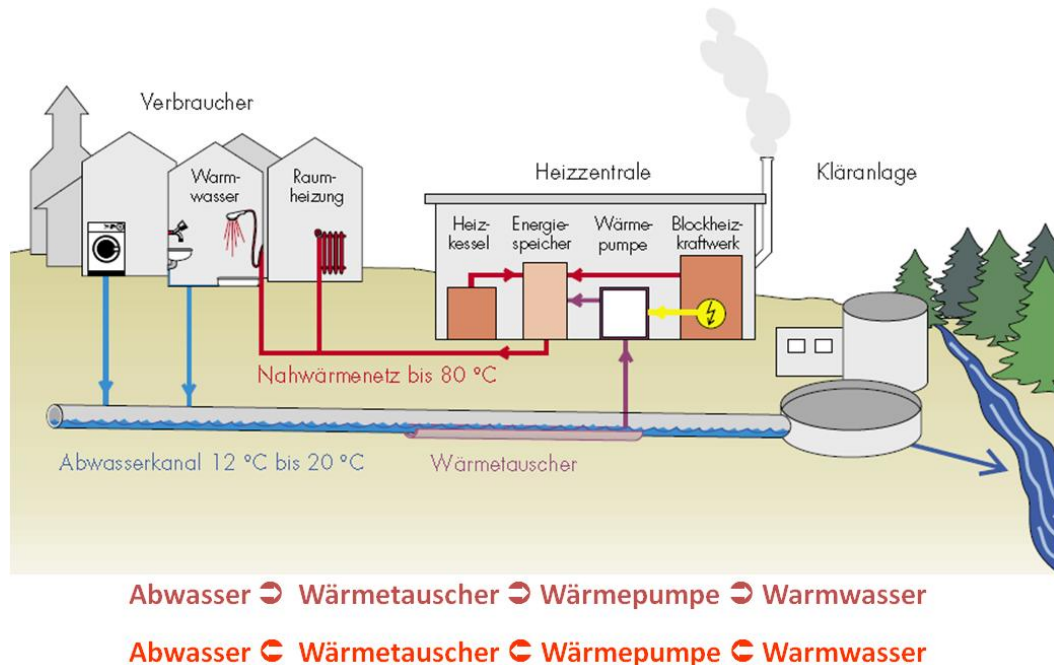


Bild 3-6: Wärmefluss bei der Abwasserwärme- bzw. -kältenutzung (EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen, 2009)

Eine für die Planung einer Abwasserwärmenutzungsanlage ist grundsätzlich zu beachten, dass der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe umso höher und damit der notwendige Einsatz von Fremdenergie zum Betrieb der Wärmepumpe umso kleiner ist, je kleiner der Temperatursprung vom Verdampfer zum Verflüssiger ist (vgl. Bild 3-5). Folgende Randbedingungen begünstigen somit einen ökologisch und ökonomisch sinnvollen Einsatz von Abwasserwärmenutzungsanlagen:

1. Hohe Abwassertemperatur
2. Kleine Temperatursprünge zwischen Abwasser – Zwischenkreislauf, Zwischenkreislauf – Verdampfer, Verflüssiger – Heizkörper und Heizkörper – Raum
3. Tiefe Raumtemperatur

Der Austausch der Wärme mit dem Abwasser ist an drei Standorten möglich:

- direkt auf der Liegenschaft, also hausintern

Bei Bauten, die einen hohen und konstanten Abwasseranfall aufweisen (z. B. Krankenhäuser, Heime, Hallenbäder, Hotels), kann die Abwasserwärme innerhalb des Gebäudes zurückgewonnen werden. Zu diesem Zweck wird das Abwasser vor der Einleitung in die Kanalisation in einem Speicher gesammelt, wo ihm die Wärme entzogen wird. Vorteil dieses Systems sind die relativ

hohen Abwassertemperaturen; Nachteil ist der hohe Aufwand für die Reinigung der Wärmetauscher.

- im (oder aus dem) Abwasserkanal

Die Wärmeengewinnung aus Rohabwasser in größeren Abwasserkanälen bringt den Vorteil, dass ausreichende und kontinuierliche Wassermengen zu Verfügung stehen. Diese Art der Abwasserwärmenutzung weist das größte Potenzial auf, da sich die meisten größeren Bauten inmitten von Siedlungsgebieten befinden, die mit einem dichten Kanalisationsnetz überzogen sind.

- aus dem gereinigten Abwasser

Bei diesem System wird die Wärme aus gereinigtem Abwasser gewonnen. Dies vereinfacht die Wärmeentnahme und erlaubt eine größere Abkühlung des Abwassers. Der Anwendung sind allerdings örtliche Grenzen gesetzt, weil die Kläranlagen oft in großer Distanz zum Siedlungsgebiet und damit zu den Wärmeabnehmern liegen.

Vor- und Nachteile dieser unterschiedlichen Standorte sind nachfolgend (Bild 3-7) aufgeführt.

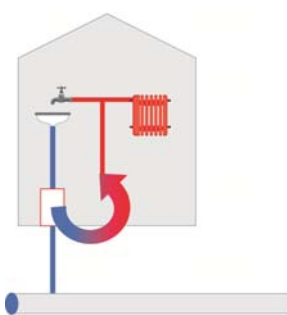
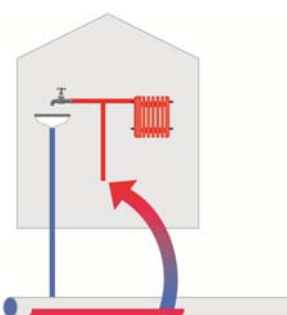
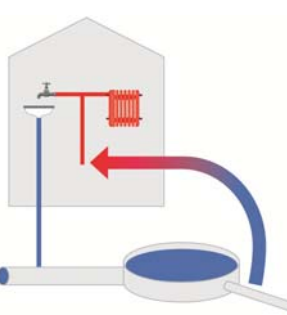
Ort der Wärmeengewinnung	Vorteile	Nachteile
	<ul style="list-style-type: none"> Relativ hohe Abwassertemperatur Kurze Wärmetransportwege Netzunabhängiger Betrieb Genehmigungsfreier Betrieb 	<ul style="list-style-type: none"> Geringer Abfluss Starke Tagesschwankungen Hoher Betriebsaufwand Zum Teil hohe spezifische Investitionskosten
	<ul style="list-style-type: none"> Große Abwassermenge Angemessener Betriebsaufwand Kurze bis mittlere Wärmetransportwege Angemessene Investitionskosten Erhöhung der technischen Standzeit 	<ul style="list-style-type: none"> Abhängigkeit vom Netzbetreiber Genehmigungsbedürftiger Betrieb Einfluss auf Abwasserreinigung bei hohem Wärmeentzug möglich
	<ul style="list-style-type: none"> Große Abwassermengen Gesteigertes Wärmepotenzial Abwasserreinigung bleibt unbeeinflusst 	<ul style="list-style-type: none"> Lange Wärmetransportwege Genehmigungsbedürftiger Betrieb

Bild 3-7: Möglichkeiten der Wärmeengewinnung, (Merkblatt DWA M 114 Energie aus Wasser, Wärme und Lageenergie) abgeändert.

3.2 Wärmetauschertechnik

3.2.1 Wärmeentnahme innerhalb von Liegenschaften

Bereits 1975 wurde in Mels (Kanton St. Gallen) die erste Abwasserwärmenutzungsanlage innerhalb von Liegenschaften installiert. Das patentierte „FEKA System“ ist seitdem in der Schweiz in über 200 Anlagen installiert worden und wird im Weiteren beschrieben.

Um den in Bild 3-7 aufgeführten diskontinuierlichen Abwasserabfluss zu kompensieren und damit ein kontinuierliches Wärmedargebot zu ermöglichen, wird beim FEKA System ein „Abwasserspeicher“ angelegt und die Wärme aus diesem entnommen. Das Abwasser fließt zwecks mechanischer Reinigung zunächst über ein Sieb und dann einen Fäkalien-Abwasserschacht, der quasi-konstant (eine Niveau-Absenkung findet nur bei der täglichen Filtrerrückspülung statt) bis zum Überlaufniveau gefüllt ist. Rund um den Abwasserfilter ist der Wärmetauscher angebracht (vgl. Bild 3-8 bis Bild 3-10).

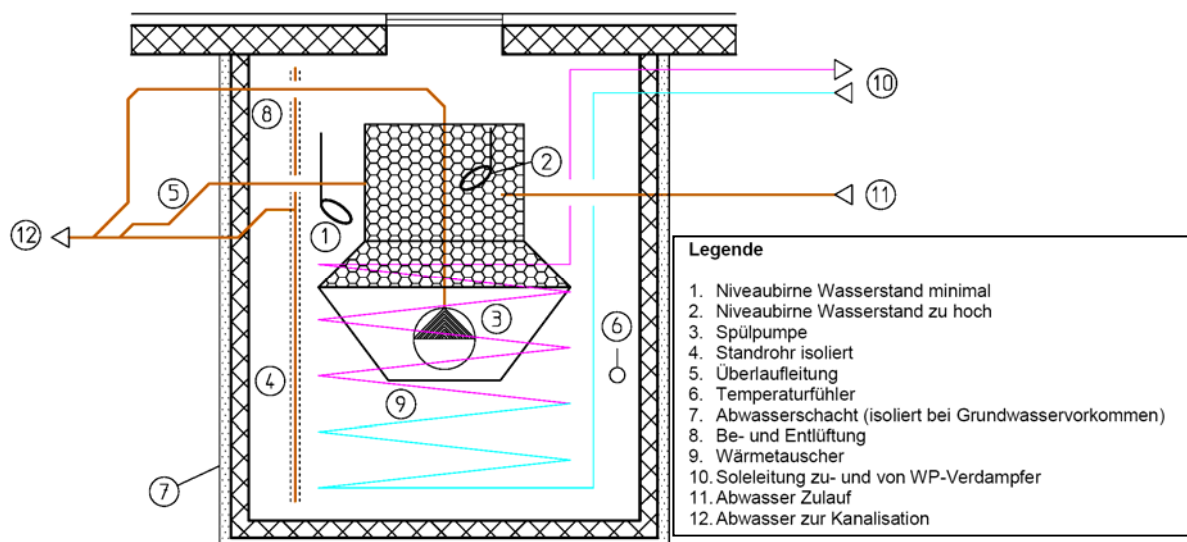


Bild 3-8: FEKA-Modul mit integriertem Filter und Wärmetauscher in Abwasserschacht (FEKA-Energiesysteme AG 2010)



Bild 3-9: Einbau FEKA-Modul in den Abwasserschacht einer Wohnüberbauung (FEKA-Energiesysteme AG 2010)

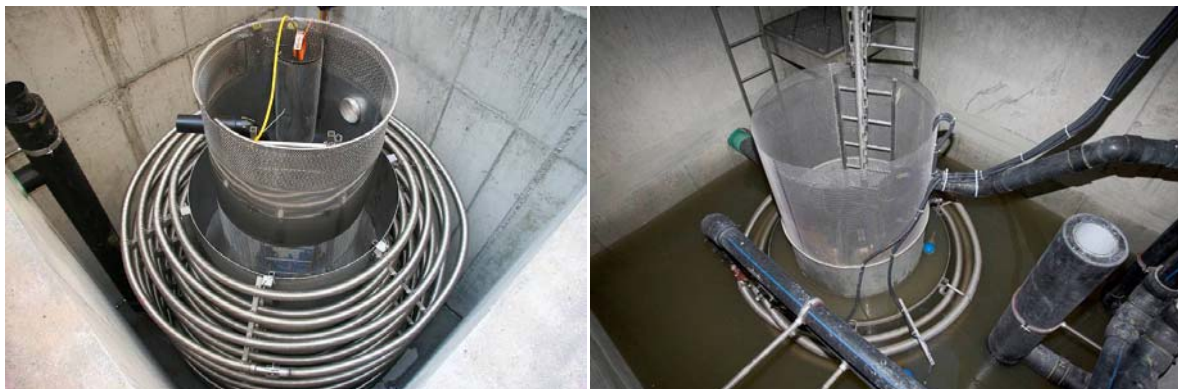


Bild 3-10: Abwassersammelschacht (links: leer; rechts: gefüllt) (FEKA-Energiesysteme AG)

Die technische Funktionsfähigkeit bei diesem System der Wärmerückgewinnung ist ab einem Schmutzwasseranfall von ca. 8 m³/d gegeben. Dies entspricht einem durchschnittlichen kontinuierlichen Abwasserzufluss von ca. 0,1 l/s (ca. 150 Mal weniger als bei der Abwasserwärmenutzung aus der Kanalisation).¹ Erfahrungen zeigen jedoch, dass ein wirtschaftlicher Betrieb bei aktuellen Energiepreisen derzeit erst ab ca. 20 m³/d erreicht werden kann. Die Wärmerückgewinnung aus dem eigenen Abwasser reicht - inklusive der Antriebsenergie für die

¹ gemäß Herstellerangaben FEKA Energiesysteme AG

Wärmepumpe - in etwa aus, um den Wärmebedarf zur Warmwassergewinnung im Gebäude abdecken zu können.

Das Pontos HeatCycle bzw. Pontos AquaCycle System aus dem Hause Hansgrohe stellt ein neuartiges dezentrales kombiniertes Wärmerückgewinnungs- und Grauwasserrecyclingsystem dar, welches bei Pilotprojekten bereits erfolgreich in Studentenwohnheimen, Hotelanlagen und Sportstätten eingesetzt wird. Der Grauwasseranfall liegt bei diesen Objekten bei etwa 3 – 9 m³/d.

Warmes Grauwasser gelangt dabei zunächst in die erste Stufe des Pontos HeatCycle mit biologischer Aufbereitung. Das Grauwasser erwärmt in diesem Reinigungsbehälter über einen Wärmetauscher ein Wärmeträgermedium (i.d.R. Wasser, vgl. Bild 3-11 rechts). Das derart vorgewärmte Wärmeträgermedium wird in einen Pufferspeicher eingespeist, wo es durch einen zweiten Wärmetauscher zur Frischwassererwärmung auf etwa 25 °C dient. Anschließend wird das vorgewärmte Frischwasser zur Warmwasserbereitung weitergeleitet. Das kalte Wärmeträgermedium wird aus dem Pufferspeicher entnommen und durch den Wärmetauscher in der ersten Stufe des Pontos HeatCycle gepumpt, sodass der gesamte Prozess kontinuierlich stattfindet. Ergänzend kann das gereinigte Grauwasser (Pontos AquaCycle) beispielsweise für Toilettenspülung, zu Reinigungszwecken und für die Bewässerung genutzt werden.

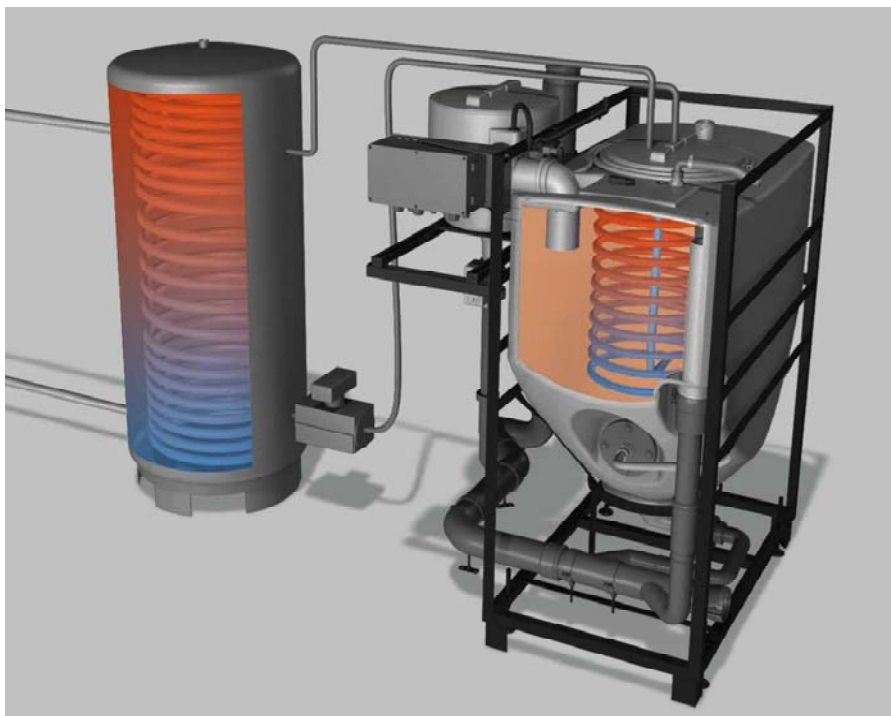


Bild 3-11: Wärmerückgewinnung und Grauwasserbehandlung im Pontos HeatCycle bzw. HeatCycle bzw. PONTOS AquaCycle System (links: leer; rechts: gefüllt) (Pontos GmbH, Schiltach)

Eine weitere Neuentwicklung stellt die direkte Vorerwärmung des Warmwassers mit dem Ablauf des bereits erwärmten Wassers der Fa. Julia SA, Schweiz dar (Bild 3-12).

Anders als oben aufgeführte Systeme kann der Einbau in jedem Einfamilien- oder Mehrfamilienhaus erfolgen und so könnten sich bei einem 4-Personenhaushalt gemäß ersten Abschätzungen 1.000 kWh Energie pro Jahr einsparen lassen.

Dadurch, dass das System weder zusätzliche Energie noch zusätzliche Apparaturen benötigt, dürfte es eine sehr erfolgsversprechende Anwendung sein. Die Markteinführung dieses Produktes ist für 2012 vorgesehen, sodass Betriebserfahrungen bislang nicht vorliegen.



Bild 3-12: Die Dusche mit Wärmerecycling (Joulia SA, Biel (CH))

3.2.2 Wärmeentnahme im Entwässerungssystem

3.2.2.1 Einführung

Um dem Abwasser in einem Kanalsystem effizient Wärme zu entziehen, ist möglichst ein großflächiges Wärmeübertragungselement aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit notwendig, welches vom Abwasser über- bzw. umströmt wird und einem Wärmeübertragungsmedium durchströmt wird. Der Wärmetauscher kann dabei als so genannter Rinnenwärmetauscher im Abwasserkanal selbst eingebaut werden (Dieser kann entweder nachträglich in bestehende Kanalrohre eingebaut oder, für neue Abwasserkanäle direkt im Rohr implementiert sein, vgl. Bild 3-13). Alternativ dazu wurden in den letzten Jahren Bypasssysteme entwickelt, bei denen ein Abwasserteilstrom entnommen, mechanisch gereinigt und extern über einen Wärmetauscher geführt wird (vgl. Bild 3-19).



Bild 3-13: Oben: Beispiel eines nachträglich eingebauten Wärmetauschersystems für den Einbau in bestehende und in neue Kanäle

Unten: Beispiele für einen werkseitig eingebauten Wärmetauscher für Einsatz in neu zu erstellende Kanalabschnitte (Buri, Kobel, 2004)

3.2.2.2 Rinnenwärmetauscher

Rinnenwärmetauscher werden seit Jahrzehnten erfolgreich für die Abwasserwärmenutzung eingesetzt. Die Technik ist etabliert, robust und mittlerweile auch im nicht begehbaren Nennweitenbereich (ab DN 500) einsetzbar. Zu beachten ist, dass diese Systeme grundsätzlich zu einer Verjüngung des Kanalquerschnitts und damit zu einer Verminderung der hydraulischen Leistungsfähigkeit führen (vgl. z. B. Bild 3-18). Bei hydraulischer Aus- bzw. Überlastung der betreffenden Kanalnetzabschnitte können diese Systeme nicht eingesetzt werden. Vor diesem Hintergrund wurden sehr flache Systeme speziell für den hydraulisch (fast) ausgelasteten Kanalabschnitt entwickelt (z. B. Bild 3-15 und Bild 3-16).

Insbesondere bei Mischwasserkanälen bieten sich aufgrund der großen Spreizung des Abwasseranfalls Wärmetauscher mit Trockenwetterrinne (vgl. z. B. Bild 3-18) an, sodass auch bei geringem Trockenwetterabfluss ein ablagerungsfreier Betrieb und damit guter Wärmeaustausch möglich wird.

Werden die Wärmetauscher vorgefertigt im Rohr eingebaut (Bild 3-17), bleibt der ursprüngliche Querschnitt des Kanals unbeeinflusst. Nachteilig an diesem System ist jedoch, dass der Wärmetauscher nach dem Verbau nicht mehr zugänglich ist und weder Rückbau noch Erweiterungsmöglichkeiten bestehen.

Hydraulisch unproblematisch ist der Einbau von Rinnenwärmetauschern in gut zugänglichen Sonderbauwerken (z. B. Regenüberlaufbecken im Hauptschluss, vgl. Bild 3-18). Liegen solche Bauwerke in entsprechender Nähe zum Wärmenutzer sollte ein Einbau dort in jedem Fall als Planungsvariante geprüft werden.



Bild 3-14: Kanalwärmetauscher Form A (Fa. Uhrig GmbH, Geisingen)

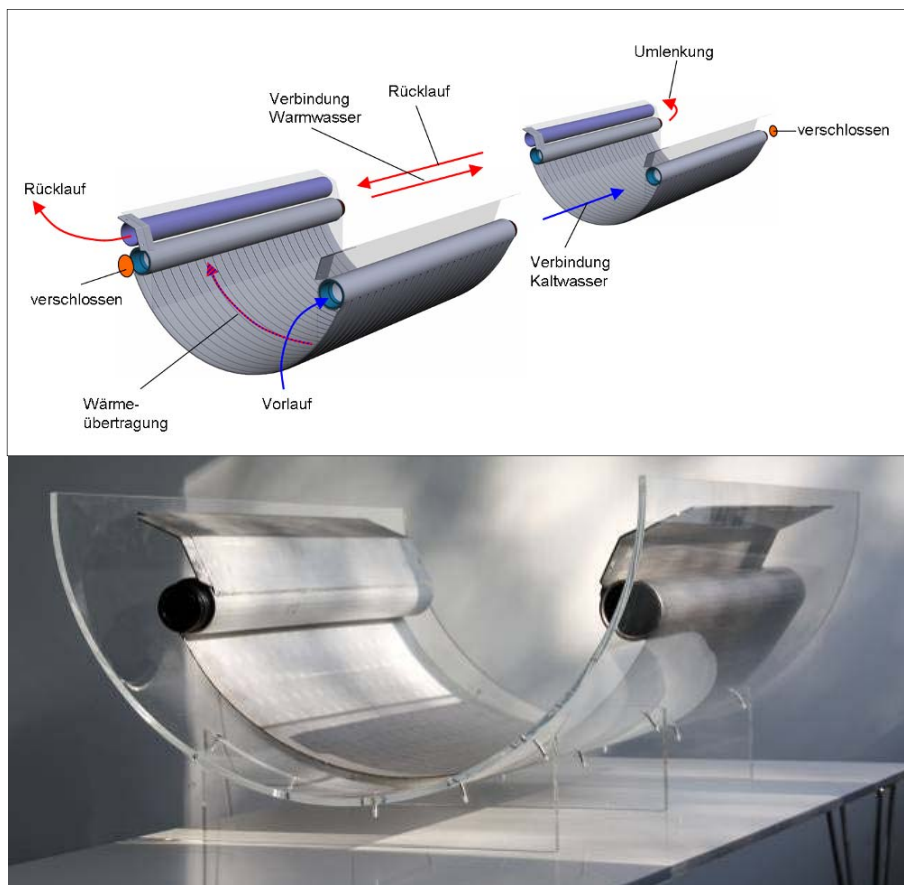


Bild 3-15: Kanalwärmetauscher Form B (Fa. Uhrig GmbH, Geisingen)

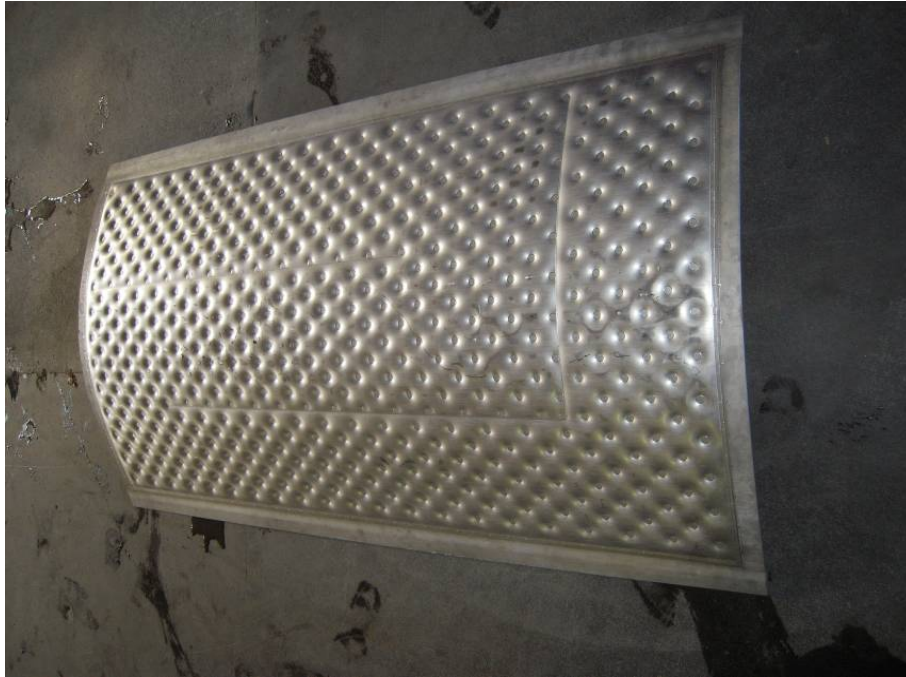


Bild 3-16: Kanalwärmetauscher (KASAG AG, Langnau (CH))



Bild 3-17: Im Rohr eingebauter Wärmetauscher – Wässerwiesen



Bild 3-18: Wärmetauschereinbau RÜB Mühleplatz Lyss (KASAG AG, Langnau (CH))

3.2.2.3 Bypasssysteme

Bei so genannten Bypasssystemen erfolgt die Wärmerückgewinnung aus Abwasser durch Entnahme eines Teilstroms über Wärmetauscher mit einer Siebung, die außerhalb des Kanals oder im Ablauf der Kläranlage aufgestellt sind. Vorteile dieser Systeme sind, dass hydraulisch nicht in das Entwässerungssystem eingegriffen wird, der bauliche Eingriff (Anschlussstutzen) gering ist und die vergleichsweise kompakten Wärmetauscher aufgrund der Verwendung von vorgereinigtem Abwasser und ggf. einer Reinigungseinrichtung zur Sielhautentfernung sehr effizient sind.

Erste Pilotanlagen von deutschen Herstellern (Firma Hans Huber AG, Berching, vgl. Bild 3-19 und Bild 3-20) sind in Straubing (Bayern) sowie in Stuttgart und Winterthur (CH) geplant.

Eine weitere Möglichkeit zur externen Abwasserwärmenutzung bieten Doppelrohrwärmetauscher (siehe Bild 3-21), die aufgrund ihrer Bauart auch im Bereich von Druckleitungen einsetzbar sind.

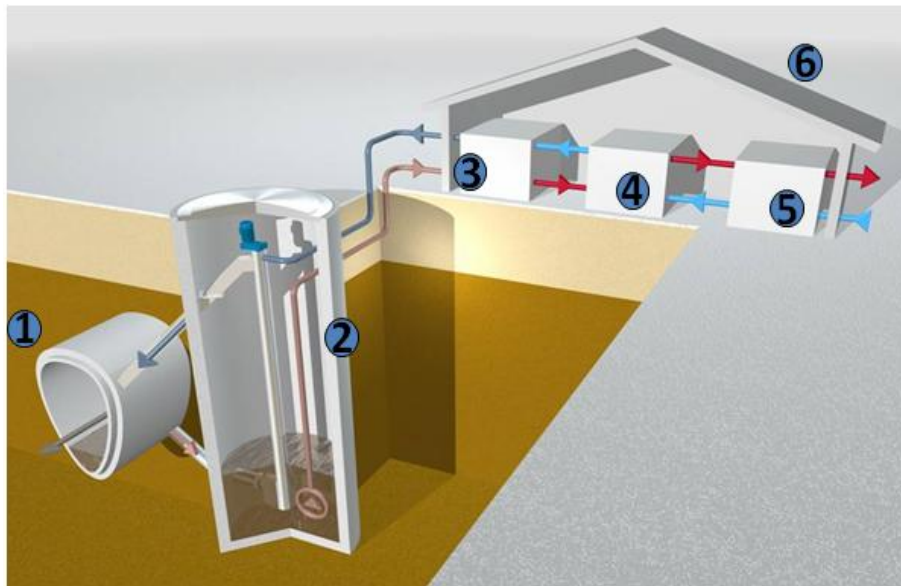


Bild 3-19: Extern Wärmegewinnungsanlage (6) mit Entnahgebauwerk (2), Wärmetauscher (3), Wärmepumpe (4) mit Wärmespeicher (5) (Huber, 2009)

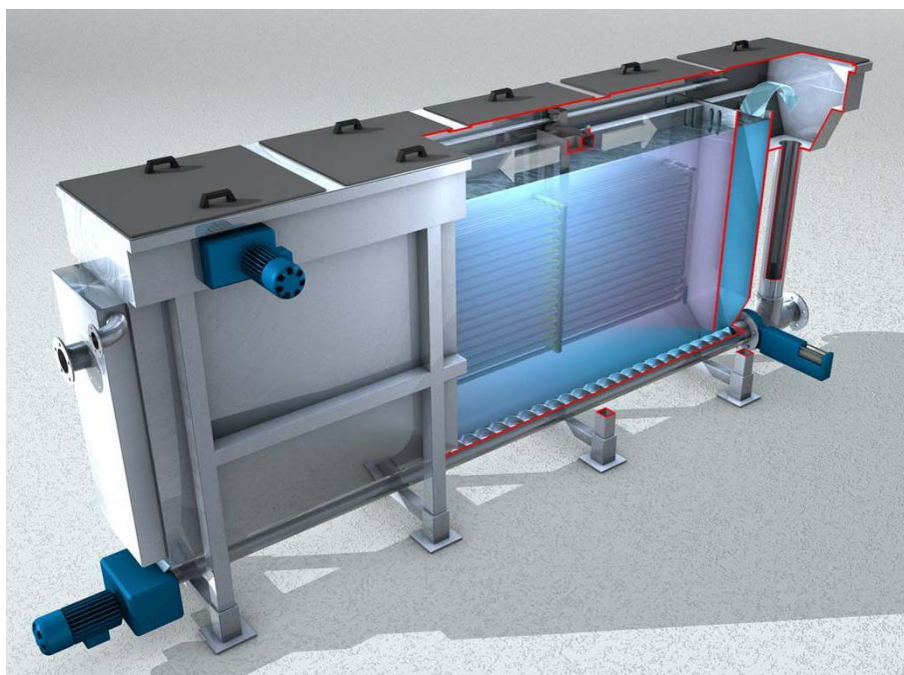


Bild 3-20: System Picatech von Huber für den Kanal-externen Einsatz mit eingebauter Reinigung (Huber, 2009)



Bild 3-21: Doppelrohrwärmetauscher Rohabwasser (Brünnen Nord)

3.2.3 Wärmeentnahme im Ablauf der Kläranlage

Die größten realisierten Wärmetauscher nutzen das gereinigte Abwasser und weisen Leistungsgrößen bis 3 Megawatt pro Wärmetauscher auf. Grund ist, dass das Wärmepotenzial im Ablauf der Kläranlage erheblich größer ist, als das im Kanalnetz, da keine Restriktionen bezüglich Abkühlung des Abwassers bestehen, sondern eine Abkühlung des Abwassers aus Gewässergütegründen i.d.R. sogar vorteilhaft ist.

Da das Abwasser gereinigt ist, kommen, ähnlich wie beim Bypasssystem der Fa., Huber, effizientere und auch relativ kleinere Wärmetauscher zum Einsatz. Bewährt haben sich dabei, insbesondere für den Fall, dass die Kläranlage über eine 4. Reinigungsstufe (z. B. Filtration) verfügt, der Einsatz von Freeflow-Plattenwärmetauschern (Bild 3-22), die dann direkt beschickt werden können. Existiert keine 4. Reinigungsstufe, sollten robustere Wärmetauschersysteme (z. B. Rohrbündelwärmetauscher, siehe Bild 3-23) verwendet werden.

Die in Bild 3-22 und Bild 3-23 gezeigten Systeme werden insbesondere in der Schweiz bereits an einer Vielzahl von Projekten erfolgreich betrieben.



Bild 3-22: Freeflow-Plattenwärmetauscher Post Mülligen (ewz)



Bild 3-23: Bündelrohrwärmetauscher 2 x 700 kW: gereinigtes Abwasser der Kläranlage Region Bern AG (Ryser Ingenieure AG)

3.2.4 Innovationen

In den letzten Jahren ist aufgrund der zunehmenden Investitionsbereitschaft von Netzbetreibern, eine erhebliche Weiterentwicklung im Bereich der Wärmetauscher durch die verschiedenen Hersteller in Europa festzustellen. Die Innovationen beziehen sich einerseits auf grundsätzlich neue Systeme und andererseits auf die Herstellungs- und Kapazitätsoptimierung. So können z. B. Wärmetauscher durch modulweise Gestaltung mit kürzeren Elementen ohne bauliche Maßnahmen in bestehende Kanalisationen und vor allem durch bestehende Einstiegsschächte oder andere Öffnungen eingebracht und untereinander verbunden werden. Insbesondere die Verbindungselemente wurden in letzter Zeit von Kunststoffrohren mit Verschraubungen auf reine Metallkonstruktionen erweitert. Zusätzlich wurden die Vor- und Rücklaufleitungen an den oberliegenden Tauscherflanken angeordnet, wo sie durch die überragenden Abdeckbleche geschützt sind. Durch eine oberliegende Anordnung der Vor- und Rücklaufleitungen sind Kontroll-, Wartungs- und Reparaturmaßnahmen am eingebauten System möglich (siehe z. B. Bild 3-15). Ebenfalls wird versucht, die Wärmeübertragung durch spezielle Legierungen positiv zu beeinflussen.

Weitere Beispiele für Neuentwicklungen sind Ansätze, nicht nur die Wärme des Abwassers, sondern auch die des umgebenden Bodens zu nutzen. So besteht der PKS Thermpipe der Firma Franke aus einem modifizierten Kanalwickelrohr, welches spiralförmig vom Sekundärkreislauf umflossen wird (Bild 3-24).

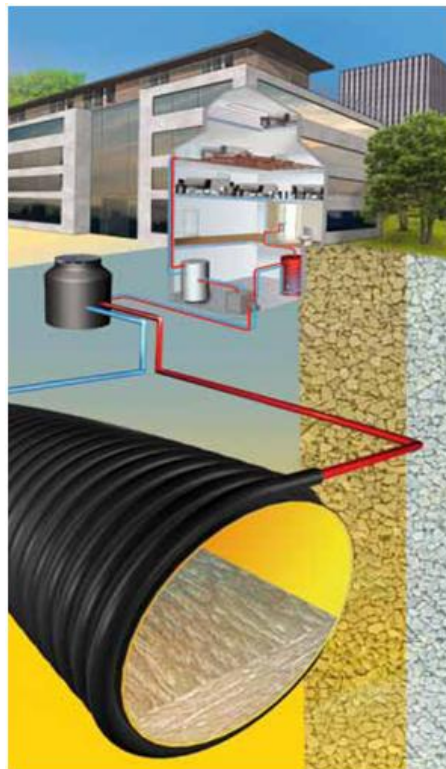


Bild 3-24: PKS Thermpipe der Firma Frank

Ein größeres Potenzial wird jedoch der nachfolgenden Entwicklung zugeschrieben, da es sich bei diesem Rohr um Gussrohre handelt, die einen deutlich besseren Wärmeübergang als Kunststoffrohre haben. Insbesondere können diese Rohre aber auch für den Trinkwasserbereich und Abwasserdruckleitungen eingesetzt werden. Hierfür wird ein duktiles Gussrohr mit einem zweiten Gussrohr versehen, indem das Zwischenmedium resultiert und einerseits durch das Abwasser im Innenrohr und durch die Erdwärme am Außenrohr erwärmt wird (siehe Bild 3-25). Diese Entwicklung wird von der Firma Saint-Gobain vorangetrieben, jedoch liegen derzeit noch keine Kennwerte und Erfahrungswerte vor.



Bild 3-25: Entwicklung von doppelten Gussrohren für den Einsatz der Wärmeentnahme im Trink- und Abwasserbereich (Saint-Gobain)

Erste Lösungen mit Wärmetauschern werden auch für mittels Inliner sanierte Kanäle entwickelt. So wird beim System Brandenburger im Sohlenbereich des Inliners eine Röhren durchgezogene Kunststoffmatte eingebracht, mittels welcher dann über den Inliner dem Abwasser die Wärme entzogen werden kann (vgl. Bild 3-26 und Bild 3-27). Durch die kleinen Röhren und der durch das verwendete Material grundsätzlich geringeren Wärmeübergang als bei Metallkonstruktionen ist diese Lösung auf kleine Anlagen mit geringer Entzugsleistung limitiert. Trotzdem können sich durch die kostengünstige Anwendung diese Systeme im Einzelfall wirtschaftlich betreiben lassen.

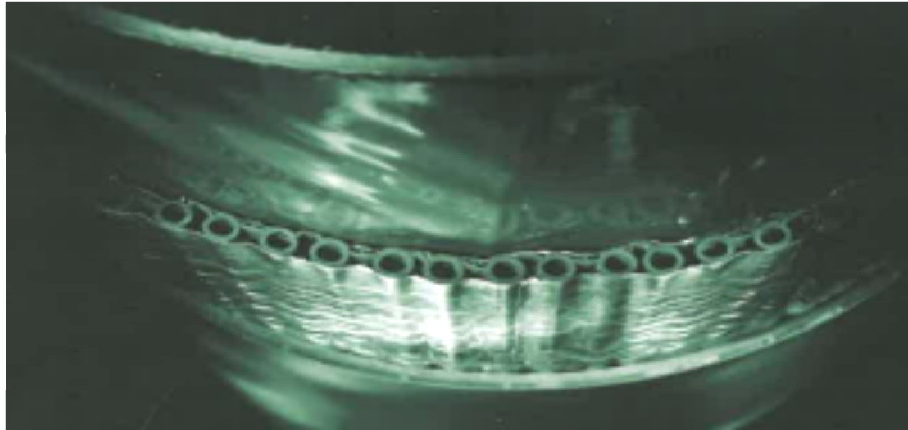


Bild 3-26: Wärmetauscher-Inlining-System Brandenburger Heatliner



Bild 3-27: Rinnenwärmetauscher (Inlining) System Brandenburger Heatliner

Ein ähnliches System wurde von der Firma Sartex Multicom (siehe Bild 3-28) entwickelt, wobei die Wärmetauschermatte vorab in einem externen Arbeitsgang einzuziehen ist. Beide Systeme befinden sich im Prototypstatus und so liegen Erfahrungen über deren Praxistauglichkeit nicht vor



Bild 3-28: Inlineverfahren der Firma Sartex Multicom

3.2.5 Gegenüberstellung verschiedener Wärmetauschersysteme

Eine Gegenüberstellung der verschiedenen Wärmetauschersysteme sowie Bewertung der jeweiligen Vor- und Nachteile erfolgt in Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1: Gegenüberstellung verschiedener Wärmetauschersysteme

Systemstandort	Produkt und Anbieter	Beschrieb	Abwasserart	Vorteile	Nachteile
direkt auf Liegenschaft bzw. hausintern (inhouse)	FEKA Energiesysteme AG	Modul mit integriertem Lochsieb und Wärmetauscher	sämtliches häusliches Abwasser	dezentrale Lösung genehmigungsfreier Betrieb hohe Abwassertemperatur	periodisches Abpumpen / Absaugen der abgesenkten Feststoffe erforderlich nur für größere Wohneinheiten bzw. Gebäude geeignet
	Pontos Heat Cycle System; Pontos GmbH	Wärmerückgewinnungssystem aus Grauwasserströmen	Grauwasser	dezentrale Lösung genehmigungsfreier Betrieb hohe Abwassertemperatur	separates Grauwasserleitungssystem erforderlich nur für größere Wohneinheiten bzw. Gebäude geeignet
	Joulia SA	Direkte Vorwärmung des Warmwassers mit dem Ablauf des bereits erwärmten Abwassers	Duschwasser	keine zusätzlichen Apparaturen nötig hohe Wassertemperatur	
Abwasserkanal (vor der Kläranlage) „Kanal- oder Sohlewärmetauscher“	Therm-Liner Uhrig GmbH	Kanalwärmetauscher mit Trockenwetterrinne in bestehenden oder neuen Abwasserkanälen	Rohabwasser	auch für kleine Abflussmengen geeignet modulares System Vor- und Rücklaufleitungen vormontiert	System reagiert sensibel auf Ablagerungen und Biofilmbildung Querschnittsverjüngung des Abwasserkanals Vor- und Rücklaufleitungen liegen unter dem Wärmetauscher
	KASAG AG	Kanalwärmetauscher für den nachträglichen Einbau in bestehende oder neue Abwasserkanäle Spezialprofile und werkseitig eingebauter Wärmetauscher	Rohabwasser	modulares System Vor- und Rücklaufleitungen zugänglich Vor- und Rücklaufleitungen vormontiert	System reagiert sensibel auf Ablagerungen und Biofilmbildung Querschnittsverjüngung des Abwasserkanals Vor- und Rücklaufleitungen liegen unter dem Wärmetauscher

Systemstandort	Produkt und Anbieter	Beschrieb	Abwasserart	Vorteile	Nachteile
	Brandenburger Heatliner Brandenburger Liner GmbH & Co.	zweilagiger Inliner zur Sanierung des Kanals Wärmetauscherplatte in der Kanalsohle zwischen den Inlinerlagen	Rohabwasser	Einsatz auch in nicht begehbaren Dimensionen möglich durch glatte Oberfläche keine betriebliche Beeinträchtigung des Wärmetauschers aufgrund von Ablagerungen zu erwarten	nur für kleine Nennweiten (nicht begehbare Leitungen) sinnvoll
	Sartex Multicom	Kunststoff - Wärmetauscherplatte zwischen Inliner und Altrohr	Rohabwasser	Einsatz auch in nicht begehbaren Dimensionen möglich durch glatte Oberfläche keine betriebliche Beeinträchtigung des Wärmetauschers aufgrund von Ablagerungen zu erwarten	nur für kleine Nennweiten (nicht begehbare Leitungen) sinnvoll
	Saint – Gobain GmbH	Doppelgussrohr zur Nutzung von Abwasser- und Erdwärme	Rohabwasser	einsetzbar im Trink- und Abwasserbereich auch für Druckleitungen geeignet besserer Wärmeübergang als Wärmetauscher aus Kunststoff unabhängig von Tagesganglinien oder unregelmäßigen Abwassereinleitungen	
	PKS Thermpipe Frank	Kunststoffwickelrohrsystem zur Nutzung von Abwasser- und Erdwärme	Rohabwasser	zusätzliche Nutzung der Erdwärme auch für Druckleitungen geeignet	Kunststoff als Wärmetauschermaterial

Systemstandort	Produkt und Anbieter	Beschrieb	Abwasserart	Vorteile	Nachteile
Externer Entnahmebehälter / Wärmetauscher (Bypass Systeme)	RoWin Huber AG	Oberirdischer Edelstahlbehälter mit Rohrschleifen	Rohabwasser	oberirdischer Aufbau modularer Aufbau große Wärmeaustauscherfläche	benötigt mechanische Vorreinigung des Abwassers
	KASAG	Doppelrohrwärmetauscher	Rohabwasser	oberirdischer Aufbau Große Wärmeaustauscherfläche für Druckleitungen geeignet	
Kläranlage	Diverse	Rohrbündelwärmetauscher	gereinigtes Abwasser	keine Restriktionen Abkühlung des Abwassers modularer Aufbau	Reinigung des Abwassers bzw. 4. Reinigungsstufe erforderlich
	Free Flow Plattenwärmetauscher	Freistromwärmetauscher mit konstant breitem Strömungsquerschnitt	gereinigtes Abwasser	effiziente Wärmetauscher größere Angebotsbreite keine Restriktionen Abkühlung des Abwassers hohe Wärmeaustauscherleistung auf kleiner Fläche	Kombination mit Filter und Reinigungssystem zu empfehlen

3.3 Wärmepumpentechnik

Die Wärmepumpe (WP) dient dazu, der Umgebung, wie z. B. eben dem Abwasser, Wärme zu entziehen und auf ein höheres Temperaturniveau zu bringen und damit für Heizzwecke nutzbar zu machen. Umgekehrt kann eine Wärmepumpe Wärme aus Räumen an die Umgebung bzw. an Abwasser abführen und damit Gebäude kühlen (vgl. Bild 3-6).

Die Wärmepumpentechnologie ist bereits weit verbreitet und etabliert. So werden Wärmepumpen z. B. in der Schweiz bei neuen Einfamilienhäusern inzwischen häufiger eingesetzt als konventionelle Heizungen. In der Schweiz sind mehr als 120.000 Wärmepumpen in Betrieb, etwa gleich viele auch in Deutschland.

Aus ökologischen wie auch aus ökonomischen Gründen wird der Einsatz von effizienten Wärmepumpen angestrebt. So werden gemäß dem am 1.1.2009 in Kraft getretenen "Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich" (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) nur Abwasserwärmepumpen als Ersatzmaßnahmen berücksichtigt, wenn diese eine hohe Effizienz bzw. eine Jahresarbeitszahl von mindestens 4,0 erreichen. Ein Effizienzbonus ist bei einer Jahresarbeitszahl von mindestens 4,5 möglich.

Entscheidend für die Effizienz einer Wärmepumpe sind einerseits die Effizienz der Maschinen und andererseits die zu überwindende Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmenutzung. Je kleiner die Temperaturdifferenz ist, umso besser ist die Jahresarbeitszahl (Verhältnis von abgegebener Wärmemenge zum Energieaufwand für die Wärmepumpe inkl. Hilfsaggregaten über das ganze Jahr).

Abwasser weist mit 10 – 15 °C auch im Winter relativ hohe Temperaturen auf, was eine günstige Jahresarbeitszahl im Vergleich etwa zu den verbreiteten Wärmequellen Luft oder Flüssen, aber auch gegenüber Grundwasser oder bodennaher Geothermie ergibt.

Die Temperaturen auf der Nutzungsseite werden von der Situation des Gebäudes bzw. deren Heizsystem beeinflusst. Bei Neubauten können Vorlauftemperaturen der Gebäudeheizung von 40 °C und niedriger eingeplant werden, bei bestehenden Gebäuden sind typischerweise Vorlauftemperaturen von 60 – 65 °C anzutreffen, die mit heutiger Wärmepumpentechnologie ebenfalls erreichbar sind, allerdings mit entsprechend schlechteren Jahresarbeitszahlen.

Das Wärmepumpenzentrum in Buchs (CH), das zu den führenden Institutionen europaweit in der Prüfung von verschiedenen Wärmepumpen gehört, hat aufgrund einer Anfrage folgende Aussagen gemacht:

- Die Entwicklung in den kommenden Jahren geht in Richtung kleine WP, die die Leistungen für den Minergie-P-Eco Standard² erbringen.
- Bei den Luft-Wasser-WP geht der Trend des COP³ nach oben. Die Auslegung wird effizienzoptimiert gefahren und nicht mehr nur aufgrund der Investitionen. Es lassen sich mit hochwertigen Komponenten 10 – 15 % Steigerung herausholen. Die Betriebskosten sinken somit sichtlich.
- Bei den Luft-Wasser-WP kommt eine neue Entwicklung: die drehzahlregulierte WP, die gezielt der Heizkurve nachfahren kann. Vorteil: keine Anfahr- und Abstellverluste. Die WP läuft „immer“.

Für mittelgroße Wärmepumpen hat die Firma KWT aus der Schweiz folgende Aussagen gemacht:

- Die Forschung und Entwicklung geht heute in Richtung drehzahlregulierte Wärmepumpen.
- Die energetische Optimierung der Wärmepumpe kommt je nach Auftraggeber mehr oder weniger stark zum Tragen.
- Heute werden Vorlauftemperaturen von 70 – 75 °C erreicht. Ziel ist eine Vorlauftemperatur von 85 – 90 °C.
- Viel Zeit und Geld wird in die Entwicklung von besseren Kühlmitteln mit Treibhauseffekt gegen 0 strebend investiert.
- Die Verdichter werden spezifisch für Wärmepumpen entwickelt und gebaut.

Für sehr große Anlagen im MW-Bereich können Wärmepumpen eingesetzt werden, die weit höhere Temperaturen (90 bis 120 °C) erreichen als die kleinen und mittelgroßen Wärmepumpen. Solche werden insbesondere in Skandinavien seit Jahren für Fernwärme eingesetzt.

² Schweizer Passiv-Haus-Standard unter Einbeziehung zusätzlicher gesundheitlicher und ökologischer Richtwerte
³ Um die Wirtschaftlichkeit und Effizienz einer Wärmepumpe beurteilen zu können, wird, wie auch bei anderen Energiesystemen, das Verhältnis von nutzbarem Wärmestrom zu aufgewendeter Energie gebildet. Bei elektrisch betriebenen Wärmepumpen spricht man von der so genannten Leistungszahl ϵ beziehungsweise von dem COP-Wert (coefficient of performance). Die beiden Größen unterscheiden sich dahingehend, dass bei dem COP-Wert nach DIN EN 255 nicht nur die Leistungsaufnahme des Kompressors in die Berechnung eingeht, sondern auch die möglichen Hilfsenergien wie zum Beispiel die Leistungsaufnahme aller Steuer- und Regeleinrichtungen sowie die anteilige Leistungsaufnahme der Fördereinrichtungen (z. B. Pumpen) zur Sicherstellung des Transports der Wärmeträger innerhalb des Gerätes bilanziert werden.

3.4 Erfahrungen bei Genehmigung, Planung, Bau und Betrieb von Abwasserwärmenutzungsanlagen

3.4.1 Verwaltungsrechtliche Voraussetzungen

Für die Nutzung des Abwassers in der Kanalisation als Wärmequelle ist das Einverständnis der Betreiber von Kläranlage und Kanalisation erforderlich. Entsprechend sollte die Nutzung des Abwassers in einer Nutzungsvereinbarung mit dem Betreiber der Kanalisation sowie der Abwasserreinigungsanlage festgelegt werden. Ein Beispiel hierfür findet sich im DWA Merkblatt M 114 (DWA, 2009).

Wird das Abwasser als Energiequelle auf privatem Gelände genutzt, gelten keine Einschränkungen.

Wird das gereinigte Abwasser als Energieträger für den Abtransport von Abwärme am Ablauf der Kläranlage genutzt, stellt dies eine unmittelbare Nutzung des Gewässers dar und ist durch die zuständige Behörde, in der Regel die untere Wasserbehörde, genehmigungspflichtig. Für die meisten Kleineinleiter bzw. Abwärme-Kleinemittenten wird der Emissionsschutzansatz verfolgt. Hier reicht es aus, folgende Bedingungen (Tabelle 3-2) einzuhalten (Schwartz, 2009).

Tabelle 3-2: Festlegungen Abwärme-Kleinemittenten (< 250 MW bzw. < 125 MW)

Beschreibung	Wert
Kühlwassertemperatur maximal:	30 °C
Aufwärmspanne des Kühlwassers maximal:	Sommer 6,0 °C Winter 7,5 °C
Sauerstoffkonzentration im eingeleiteten Kühlwasser mindestens:	6,0 mg O ₂ /l, bzw. mindestens 80 % Sättigungsgrad

3.4.2 Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage

Um den Stand der aktuellen Arbeiten für die in Planung und Bau befindlichen Anlagen zu erfassen, erfolgte im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Umweltbundesamtes (UBA-Bericht 2010) im Jahre 2009 eine umfassende bundesweite Erhebung. Aufbauend auf den dort erzielten Recherchen erfolgte im Rahmen dieses Vorhabens eine Überprüfung und ergänzende Recherche.

Wie in der ersten Erhebung wurden die in der Praxis eingesetzt Technologien, die bisher vorliegende Betriebserfahrungen sowie Aspekte zu deren Wirtschaftlichkeit beleuchtet.

Dabei sollten möglichst alle Varianten der Abwärmenutzung aus Abwasser vor oder auf/nach der Kläranlage und möglichst alle verwendeten Technologien (Rinnenwärmetauscher, Kanal-externe Systeme, Wärmeentnahme aus Sonderbauwerken, etc.) erhoben werden. Weitere Aspekte der Recherche waren:

- Wie wurde die Anlage initiiert?
- Gab es Probleme bei Bewilligungen?
- Wurden Fehler in der Konzeption, der Planung, Bau oder dem Betrieb gemacht?
- Entsprechen die Investitionen und die Betriebskosten den Erwartungen?
- Wie ist die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu den Planungsdaten?

Mit der Umfrage bei Betreibern und Planern wurden die bisher vorliegenden Erfahrungen zum Bau und Betrieb von Abwasserwärmenutzungsanlagen gesammelt. Es wurden dabei relevante Systemvarianten berücksichtigt wie z. B.

- Ort des Wärmeentzugs
- Alter der Kanalstrecke
- Wärmetauschertypen
- Einsatzbereiche

In den zurückliegenden zwei Jahren wurden für eine Vielzahl möglicher Vorhaben zur Abwasserwärmenutzung Machbarkeitsstudien erstellt, von denen aber in diesem kurzen Zeitraum bisher erst wenige Anlagen realisiert wurden.

Erfahrungen zu Planung, Bau und Betrieb liegen deshalb nur bei wenigen Planern und Betreibern vor. Insbesondere sind die vorliegenden Erfahrungen zum Betrieb der Anlagen und deren Wirtschaftlichkeit zum jetzigen Zeitpunkt nur als eingeschränkt repräsentativ zu betrachten, da nur in Ausnahmefällen Erfahrungen vorliegen, die über die Anlaufphase von 12 Monaten hinausreichen. Als Ausnahmen können hier die Anlagen in Bochum und Leverkusen gelten.

Üblicherweise wird die Abwasserwärme zur Gebäudeheizung und in Ausnahmen, wie am Beispiel der Anlage in Bochum, zur Erwärmung des Badewassers eines Schwimmbades benötigt. Die mit Wärme zu versorgenden Gebäude bestanden zum Zeitpunkt des Anlagebaus bereits, sodass die bestehenden Heizsysteme durch eine Abwasserwärmenutzungsanlage ersetzt wurden. Anlagen, die das Abwasser auch zur Wärmeableitung also zu Kühlzwecken nutzen, sind bisher in Nordrhein-Westfalen nicht bekannt. Anlass für eine Initiierung zum Bau einer Abwasserwärmenutzungsanlage bot in den meisten Fällen die Sanierung oder der Neubau der nahegelegenen Kanalstrecke bzw. eines Sonderbauwerks gepaart mit geeigneten Wärmeabnehmern. Ein weiterer Grund war die Rückgewinnung von Wärme aus Abwasser.

In der Schweiz erfolgt die Schaffung von Anreizen zur Nutzung regenerativer Energieträger und damit zur Nutzung der Abwasserwärme durch das Umsetzungsprogramm Energie-Schweiz, in dem die Abwasserwärmenutzung gleichrangig zu anderen alternativen Energieträgern gestellt wird.

Eine Übersicht der in Planung, Bau und Betrieb befindlichen Abwasser-Wärmenutzungsanlagen in Deutschland zeigt Tabelle 3-3. Eine Datenübersicht gutdokumentierter geplanter und bestehender Anlagen kann Anhang 1 entnommen werden.

Tabelle 3-3: Abwasserwärmenutzungsanlagen in Deutschland

Anlagenstandort	Anlagen in Betrieb	Anlagen in Planung / Bau	Machbarkeitsuntersuchungen
Baden-Württemberg	10	11	22
Bayern	4	-	1
Berlin	5	1	2
Brandenburg	-	-	-
Bremen	-	-	2
Hamburg	1	-	1
Hessen	-	-	-
Mecklenburg-Vorpommern	2	-	-
Niedersachsen	3	-	-
Nordrhein-Westfalen	4	-	5
Rheinland-Pfalz	3	-	-
Saarland	-	-	-
Sachsen	3	-	2
Sachsen-Anhalt	1	-	1
Schleswig-Holstein	1	-	-
Thüringen	-	-	-

3.4.3 Betriebserfahrungen von Abwasserwärmenutzungsanlagen in NRW

Anlagen zur Nutzung der Abwasserwärme wurden in Nordrhein-Westfalen bisher an vier Standorten realisiert. Die Anlagen in Drensteinfurt und Ahlen wurden für die Wärmeversorgung einzelner Gebäude konzipiert. Angaben zu deren Betrieb und weitergehende Erfahrungen wurden bisher nicht dokumentiert. Deshalb können zu diesen Anlagen keine Erfahrungsberichte wiedergegeben werden. Die Abwasserwärmenutzungsanlage in Leverkusen dient der Wärmeversorgung des Gesundheitshauses. Diese Anlage zählt mit zu den ältesten Anlagen in Deutschland zu der langjährige Betriebserfahrungen vorliegen. Diese sollen gemeinsam mit den jüngsten Erfahrungen bei der Planung und Realisierung einer Abwasserwärmenutzungsanlage in Bochum vorgestellt werden.

3.4.3.1 Leverkusen

Die Technischen Betriebe Leverkusen haben die Nutzung der Wärmepotenziale im Abwasser schon im Jahre 2000 aufgegriffen und auf eine Anwendbarkeit in Leverkusen geprüft. Im Ergebnis wurde ein Kanalbauprojekt ausgewählt, dass ausreichende Aussicht auf eine Realisierbarkeit einer Abwasser-Wärme-Nutzungsanlage bot. In der Grundkonstellation der Anlagenplanung sollte über die Abwasserwärme ein nahegelegenes Gesundheitszentrum versorgt werden.

Die Überprüfung der Realisierungsmöglichkeit erfolgte mittels einer Machbarkeitsstudie. In der Machbarkeitsstudie wurde von einer bivalenten Wärmeversorgung ausgegangen. Die Grundlast sollte über die Wärmepumpe geliefert werden. Für die Abdeckung der Spitzenlast war die Versorgung über das vorhandene Fernwärmenetz (EVL) vorgesehen.

Bei der Planung wurde von den in Tabelle 3-4 aufgeführten Daten ausgegangen.

Tabelle 3-4: Planungsdaten der Abwasserwärmenutzungsanlage in Leverkusen

Beschreibung	Wert	Einheit
Mittlerer Abwasserabfluss	21	l/s
Abkühlung des Abwassers	2	K
Wärmetauscherlänge im Abwasserkanal	75	m
Mittlere Entzugsleistung	130	kW
Leistung der Wärmepumpe	195	kW
Maximale Anschlussleistung des Verbrauchers	925	kW
Energiebedarf Verbraucher einschl. Warmwasser	1800	MWh/a
Nutzenergie Wärmepumpe	922	MWh/a
Deckungsgrad durch Abwasserwärme	51	%

Aufgrund der Aufgabenstellung, die über den Betrieb eines Abwassernetzes hinaus ging und zusätzlichen Modellcharakter hatte, wurden an der Planung die Anlagenhersteller, die Eigentümer des Abwassernetzes und Betreiber der abwassertechnischen Anlage, der für die Vermarktung der Wärme zuständige Energieversorger, der Investor des Gesundheitshauses als künftiger Abnehmer der Wärme und der am Projekt beteiligte Fachplaner für Haustechnik beteiligt.

Anlage

Die Entnahme der Wärme erfolgt durch die in der Fließsohle des Kanals eingebauten parallel betriebenen Rinnenwärmetauscher-elemente der Firma Rabtherm GmbH.



Bild 3-29: Rinnenwärmetauscherelemente der Firma Rabtherm GmbH vor und nach dem Einbau

In der Wärmepumpe wird das Wärmeniveau auf ca. 65 °C hochtransformiert und von dort dem Nutzer zur Verfügung gestellt. Bei Bedarf wird über einen Mischer weitere Wärme aus dem Fernwärmenetz der Energieversorgung Leverkusen zugespeist.

Bauausführung

Die Maßnahmen zu den Bauausführungen begannen nach Eingang des Zuwendungsbescheides am 23.10.2002 und endeten mit der endgültigen Mängelbeseitigung Mitte August 2005. Eine vorläufige Abnahme der Anlage erfolgte am 21.04.2004 trotz der dann noch bestehenden Mängel.

Messtechnik

Für die Beurteilung der Anlage in Bezug auf ihre Effektivität und ihre Abhängigkeit von äußeren Randbedingungen sowie den Einfluss auf den Abwasserstrom war eine umfassende Datenaufnahme erforderlich. Für die Erstellung einer Energiebilanz erfolgten die Auswertungen der Abwassermengen und die Auswirkungen des Anlagenbetriebes auf die Abwasserbeschaffenheit im Heiz- und Kühlbetrieb (Abwassertemperatur).

Die Abwassermengen bei Trockenwetter lagen 2005 im Mittel bei 938 m³/d oder 11 l/s. Die Tagesspitze lag bei ca. 16 l/s, das Nachtminimum betrug 2 – 5 l/s (Tabelle 3-4).

Die Abwassertemperatur vor dem Wärmetauscher schwankte in Abhängigkeit von den Jahreszeiten um maximal 7 K. Die Absenkung der Abwassertemperatur beträgt im Heizbetrieb ca. 2 K und im Kühlbetrieb ca. 1 K. Kurzzeitig können diese Werte auch 3,5 – 4 K betragen.

Abwasserbetrieb

Da die Anlagendimensionierung von einem größeren Abwasserstrom ausging, ist die mögliche Temperaturveränderung des Abwassers, die die Wärmetauscher bewirken können, ent-

sprechend höher. Dennoch wurden im Heizbetrieb nur Temperaturabsenkung von 2 K bis 4 K festgestellt.

Für die Kläranlage in Bürrig mit einem Trockenwetterzufluss von ca. 700 l/s ergibt sich bereits aus der Mischungsrechnung, dass dort die Temperaturveränderung nur weit weniger als 0,1 K ausmacht und somit irrelevant ist.

Der Kühlbetrieb führt dagegen zu einer Temperaturerhöhung des ohnehin schon bis zu 20°C warmen Abwassers. Auch wenn im Mittel die Temperaturerhöhung nur wenig mehr als 1 K beträgt, können in Extremfällen dennoch Temperaturdifferenzen bis zu 4 K auftreten.

Für die Kläranlage ist dies aus den o. a. Gründen ohne Belang.

Im Kanalnetz bedarf es dagegen weitergehender Überlegungen. Die maximal gemessene Abwassertemperatur von 22,5 °C nach dem Wärmetauscher gegenüber der Zuflusstemperatur von 19,5 °C bedeutet zweifellos eine Stimulans der biologischen und chemischen Prozesse. Im vorliegenden Fall werden die Auswirkungen aber durch zwei Einflussfaktoren gedämpft:

Das Abwasser durchfließt mit nur wenigen Zentimetern einer Fließtiefe die Großprofile aus Stahlbeton. Diese liegen in 10 m Tiefe unterhalb des Grundwasserspiegels im kiesigen Untergrund. Die Temperaturschwankungen des Grundwassers in dieser Tiefe sind nur gering. Die Temperatur liegt im Sommer weit unter der Temperatur des Abwassers. Es findet daher bei erhöhter Abwassertemperatur eine beschleunigte Abgabe der Wärme an das Grundwasser statt.

Der Fließweg vom Wärmetauscher bis zum Pumpwerk Hauptstraße beträgt ca. 1.000 m. Bei einem durchschnittlichen Gefälle von 1,6 Promille beträgt die Fließzeit bei Trockenwetter ca. 50 Minuten. Am Pumpwerk Hauptstraße vereinigt sich der Abwasserstrom des Kanalstauraum Wiesdorf-Süd mit dem Kanalstauraum Wiesdorf-Nord, der etwa 20 l/s bei Trockenwetter beträgt. Die Temperaturdifferenz zum unbeeinflussten Zustand beträgt ab diesem Punkt demzufolge weniger als 1 K und ist daher nicht mehr maßgeblich.

Bei den hier vorliegenden spezifischen Gegebenheiten von der Begrenzung der Abwassererwärmung durch den Wärmetauscher, der Abkühlung durch das Grundwasser und der kurzen Fließzeit bis zur Einmündung in einem größeren Abwasserstrom waren keine signifikanten Ergebnisse von chemischen Untersuchungen des Abwassers zu erwarten. Die sensorischen Prüfungen des Betriebspersonals bestätigen diese Annahmen.

Es wurde deshalb auf die Durchführung von qualifizierten Messreihen zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes bzw. des Vorkommens biogener Schwefelsäure verzichtet.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die Stadt Leverkusen hatte durch die Erstellung der Wärmenutzungsanlage Herstellungsaufwendungen in Höhe von rund 568.000 €. Durch die gewährten Landesmittel in Höhe von

238.800 € reduziert sich der Einsatz von Eigenmitteln auf rund 329.000 €. Die Anlage wurde insgesamt an den Contractor verpachtet. Planmäßige Betriebsaufwendungen infolge der Anlage bestehen nicht oder sind von dem Anlagenbetreiber zu erstatten. Dies gilt allerdings nicht für den Eigenaufwand, der zur Verfolgung der vertraglichen Verpflichtungen des Pächters sowie der Beobachtung und Auswertung der übermittelten Betriebsdaten der Anlage notwendig ist. Hierfür wird längerfristig ein Stundenaufwand von 40 Stunden pro Jahr angenommen. Bei einem derzeitigen kalkulatorischen Stundensatz von 50 € sind somit 2.000 € pro Jahr einzurechnen.

Mit dem Anlagenbetreiber wurde ein Pachtzins von rund 10.700 € pro Jahr vereinbart über eine Laufzeit von 25 Jahren.

Mit den oben angeführten Eingangsdaten und Annahmen wird die Stadt am Ende der Vertragslaufzeit voraussichtlich insgesamt rund 112.000 € ohne Refinanzierung von dritter Seite aufgebracht haben. Nicht berücksichtigt ist in dieser Summe eine üblicherweise anzusetzende kalkulatorische Verzinsung.

Im Gegenzug wird die Anlage nach 25 Jahren noch einen Restwert haben, der von der Stadt neu vermarktet werden kann. Sollte jedoch die Aussage des Herstellers richtig sein, dass die Wärmetauscherelemente eine Lebenserwartung von mehr als 50 Jahren haben, ist anzunehmen, dass nach einer Generalüberholung der Wärmepumpe eine Neuvermietung mit etwa gleichen Konditionen wie zurzeit erfolgen kann. Dies würde letztlich zu einem ausgeglichenen Ergebnis führen.

Neben den betriebswirtschaftlichen Betrachtungen des Projektes für die Stadt, soll jedoch auch das grundsätzliche Wirtschaftlichkeitspotenzial dieser Anlage kurz beleuchtet werden.

Das erste Jahr über das auswertbare Angaben über den Umfang der Energienutzung vorliegen ist 2005. Durch die Wärmepumpe wurden ca. 400 MWh Wärme und ca. 65 MWh „Kälte“ (in den Kanal abgegebene Wärme) erzeugt. Hierzu mussten ca. 255 MWh elektrischer Energie aufgewandt werden.

Es zeigt sich, dass die Arbeitskosten der Leverkusener Wärmepumpenanlage um 30 % über den Arbeitserlösen lagen und dass trotz der Berücksichtigung der gewährten Landesmittel bei der Pachtforderung die Bereitstellungskosten die Erlöse um 48 % übersteigen.

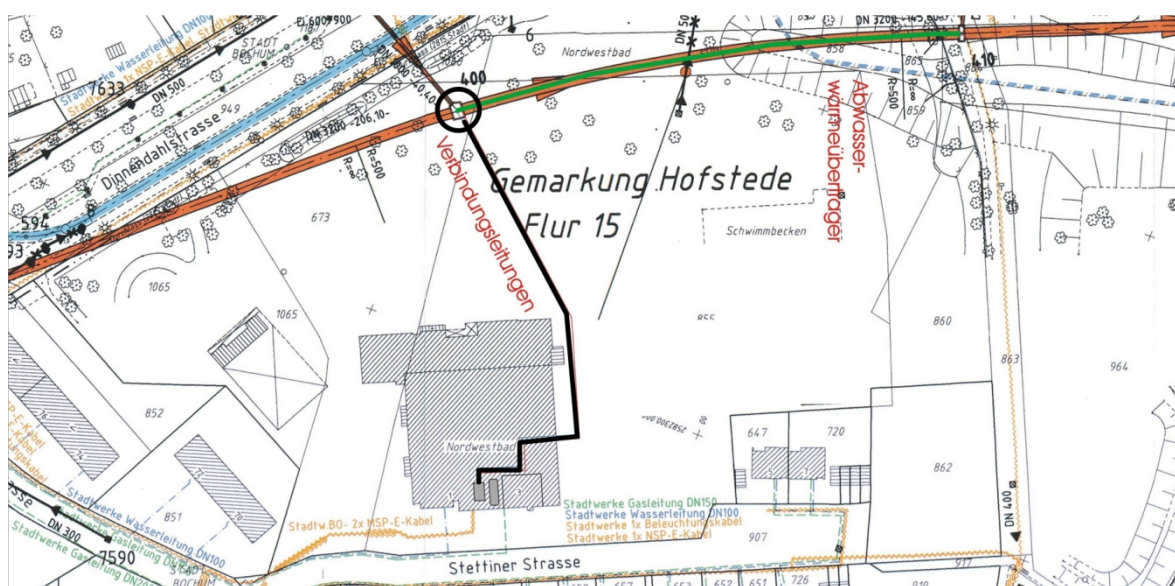
Abschließend soll für das Jahr 2005, der in der Anlagenplanung vorgesehene Umsatz mit dem in 2005 realisierten verglichen werden. Der Jahreswärmebedarf des Gesundheitshauses war mit 1.200 MWh angesetzt worden, von dem 966 MWh entsprechend 80 % durch die Wärmepumpe bereitgestellt werden sollte. Tatsächlich benötigte das Gesundheitshaus aber nur 872 MWh, die mit 400 MWh nur zu 46 % durch die Wärmepumpe abgedeckt wurde. Damit wurde nur 42 % des Umsatzzieles erreicht. In der Kälteversorgung wurden von den angesetzten 245 MWh sogar nur 65 MWh (26,5 %) realisiert.

Tabelle 3-5: Leistungszahlen der Abwasserwärmenutzungsanlage in Leverkusen

Beschreibung	Wert	Einheit
Spitzenbedarf	925	KW
Spitzenleistung Abwasserwärme	255	KW
Abdeckungsquote	27,5	%
Jahreswärmebedarf	1.200	MWh
Deckung durch Wärmetauscheranlage	960	MWh
Abdeckungsquote (geplant)	80	%

3.4.3.2 Bochum

Die Anlage zur Versorgung des Nordwestbades in Bochum wurde in Kooperation zwischen der Emscher Genossenschaft und der Stadtwerke Bochum GmbH errichtet. Die Emscher Genossenschaft ist für den Betrieb des Wärmetauschers verantwortlich, die Stadtwerke für die Heizungstechnik. Als Zuständigkeitsgrenze wurde die Oberkante des Betriebsschachtes definiert. Gefördert wurde die Anlage durch Mittel des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums (BMU). Bild 3-30 zeigt die Lage des Marbachkanals zum Nordwestbad.

**Bild 3-30: Lageplan Marbachkanal und Nordwestbad**

In Tabelle 3-6 sind die Kennzahlen der Anlage dargestellt. Auf Heizungsseite wird eine multivalente Energieversorgung mit Wärmepumpe, BHKW und Spitzenlastkessel zur Verfügung gestellt. Das BHKW liefert dabei den für den Antrieb der Wärmepumpe benötigten Strom.

Tabelle 3-6: Auslegungsdaten der Heizanlage

Beschreibung	Wert	Einheit
minimaler Abwasservolumenstrom	300	m ³ /h
minimale Abwassertemperatur	12	°C
minimale verfügbare Wärmeleistung im Abwasser	800	kW
Jahreswärmebedarf Nord-West Bad	2.450	MWh/a
thermische Leistung Spitzenkesselanlage	2 x 720	kW
elektrische Leistung BHKW Modul	ca. 50	kW
thermische Leistung BHKW Modul	ca. 90	kW
thermische Leistung Wärmepumpe (Grundlast)	ca. 190	kW
Länge Abwasserwärmetauscher zweiteilig	19 / 28	m
Vollbenutzungstunden Wärmepumpe	6.500	h/a

Die Wärmeübertrager (System Thermliner der Firma Uhrig Kanaltechnik) wurden in den neu errichteten Marbachkanal (DN 3000) nachträglich installiert (Bild 3-31). Die kanalseitigen Installationen einschließlich Absperrarmaturen und Druckprüfung wurden innerhalb von fünf Werktagen abgeschlossen.

Die Anlage ist in zwei Teilsträngen mit jeweils 28 und 19 Modulen ausgeführt. Diese Lösung wurde aus Gründen der Betriebssicherheit und flexiblen Steuerung der Heizungsanlage im Nordwestbad gewählt. Ein Modul weist dabei eine Länge von einem Meter bei einer Breite von 1,42 Metern auf.

Tabelle 3-7: Die Dimensionierung des Wärmetauschers

Beschreibung	Wert	Einheit
Gefälle	3,2	‰
benetzter Umfang bei minimalen Trockenwetterabfluss	1,2	m
Abwassertemperaturen zu Beginn des Wärmeüberträgers	12	°C
Temperatur Verbindungsleitung Eintritt	6	°C
Temperatur Verbindungsleitung Austritt	12	°C

Der Einbau der Wärmetauscherelemente wurde im Herbst 2009 durchgeführt. Aufgrund des Zeitplans des Kanalbaus war es notwendig, den Einbau der Wärmetauscherelemente gegenüber dem Umbau der Heizzentrale vorzuziehen, da die ersten Anschlüsse an den Kanal möglichst kurzfristig umgesetzt werden sollten. Die Vor- und Rücklaufleitungen wurden am Schacht bis zur Oberfläche geführt und nach Fertigstellung der Heizzentrale an die neu verlegten Anschlussleitungen zum Schwimmbad angeschlossen. Die Verlegung der Vor- und Rücklaufleitungen, der Umbau der Heizzentrale und die Anschlüsse wurden im Sommer 2010 durchgeführt, die Inbetriebnahme erfolgte schließlich im Herbst 2010.

**Bild 3-31: Wärmetauschereinbau im Marbachkanal in Bochum**

Zur Verzögerung der Inbetriebnahme führte ein Fall von Vandalismus am Betriebsschacht, bei dem die senkrecht bis zur Geländeoberkante geführten Vor- und Rücklaufleitungen mit Fremdkörpern verstopft wurden, sodass ein Ausbau der Absperrarmaturen und eine Spülung der Leitungen notwendig wurde. Glücklicherweise gelangten keine Fremdkörper in die Wärmeübertrager selbst, sodass nach Wiederherstellung der Dichtigkeit der Zuleitungen ein ordnungsgemäßer Betrieb möglich war.

Die Anlage hat noch nicht die volle Leistungsfähigkeit erreicht, da erst ab dem Jahr 2012 mit dem Anschluss weiterer kanalisierter Einzugsgebiete die zugrunde gelegten Trockenwassermengen erreicht werden. Aus diesem Grund sind Leistungszahlen der Anlage auch erst nach Anschluss dieser Gebiete aussagekräftig. Aktuell wird die Wärmepumpe bei einem zu starken Absinken der Abwassertemperaturen auf Grund einer geringen Wasserführung im Kanal temporär abgeschaltet.

Bild 3-32 zeigt die Messdaten der Abwassertemperatur und des Wasserstandes unmittelbar vor dem Wärmetauscher. Das Mittel der Abwassertemperatur liegt im Winter bei rund 12 °C. Wie der Abgleich mit den Wasserstandsdaten zeigt, sinkt die Abwassertemperatur im Zusammenhang mit Niederschlagseinträgen in die Kanalisation kurzzeitig auch unter 10 °C.

Eine Auswirkung der Absenkung der Abwassertemperatur auf die Reinigungsleitung der nächstgelegenen Kläranlage Bottrop wird ausgeschlossen, da die Entfernung zur Kläranlage mehr als 3 Kilometer beträgt und zahlreiche weitere Einleitungen auf dem weiteren Fließweg folgen. Die Kläranlage hat ferner eine Trockenwetterzulaufmenge von 4,2 m³/s, sodass auch auf Grund der hohen Zulaufmenge keine negativen Auswirkungen erwartet werden.

Fazit

Auf Basis des zurückliegenden halbjährigen Betriebs der Abwasserwärmennutzungsanlage können noch keine belastbaren Betriebsdaten präsentiert werden. Darüber hinaus wird die volle Leistungsfähigkeit durch den Anschluss weiterer Einzugsgebiete erst in 2012 erreicht. Dennoch sind die bisherigen Erfahrungen mit der Anlage durch einen störungsfreien und problemlosen Betrieb positiv geprägt.



Bild 3-32: Wasserstand und Abwassertemperatur an der Messstelle im Marbachkanal

3.4.4 Einbezug der Abwasserwärmenutzung in Wärmenetze

3.4.4.1 Einbezug bei Fernwärme mit höherem Temperaturniveau

Zahlreiche Projekte für die Abwasserwärmenutzung scheiterten bereits im Anfangsstadium, da sie in einem Gebiet mit Fernwärmeversorgung lagen. Da die Fernwärme in den Städten in Deutschland recht verbreitet ist, hat dies das nutzbare Potenzial der Abwasserwärmenutzung bisher beträchtlich eingeschränkt (FiW 2009). Im Ausland, insbesondere in Skandinavien, wurden hingegen bereits Projekte von Fernwärmebetreibern realisiert, welche die Abwasserwärmenutzung in ihr Netz einbinden. Ein weiteres Projekt mit Minergiestandard ist in Österreich geplant.

Grundsätzlich besteht das Problem bei der Einbindung von Wärme aus Abwasser, die sich auf tiefem Niveau befindet, in ein Fernwärmenetz, das ein hohes Temperaturniveau aufweist, darin, dass Energie aufgewendet werden muss, um die Abwasserwärme auf das notwendige hohe Temperaturniveau zu heben.

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe sollte Rücklaufemperatur möglichst tief gehalten werden. Gemäß Angaben vom Schweizer Wärmepumpenhersteller KWT befindet sich die Grenze für den Rücklauf mittleren bis größeren Wärmepumpen bei ca. 65 °C. D. h. es sind Fernwärmesysteme vorzusehen, die eine Nutzung der Wärme auf tiefem Temperaturniveau ermöglichen. Die Wärmepumpe kann dann den ersten Temperaturanstieg vornehmen.

Bei sehr großen Wärmepumpen gilt dies nicht. Es können noch weit höhere Temperaturen erreicht werden. Friothers, einer der wichtigsten Hersteller für große Wärmepumpen, bietet Wärmepumpen mit Leistungen zwischen 1 – 20 MW an. Die möglichen Vorlaufemperaturen betragen bei diesen Typen zwischen 80 °C und 90 °C bei Quelltemperaturen von 10 – 15 °C und können je nach Rücklaufemperatur und Anzahl Kompressoren bis auf 120 °C steigen. Auch bei diesem letztgenannten Fall bleibt der COP über 2,7 bis ca. 3 m. Ein Beispiel einer Anlage, die seit Jahren funktioniert, ist Sandvika in Norwegen.

3.4.4.2 Einbezug in Nahwärmesysteme

Ein Gespräch mit Hr. Gutmann von der Firma EBM in Münchenstein (CH) hat ergeben, dass die Technologie der Einbindung der Wärmepumpe in ein Nahwärmenetz bekannt und erprobt ist. Die Anlage in Binningen, welche Abwasser aus dem Kanal als Wärmequelle nutzt, hat ein weitverzweigtes Verteilernetz und läuft seit ca. 5 Jahren problemlos. Bei der Planung muss besonders auf die Temperatur des Rücklaufs des Netzes geachtet werden: In Binningen musste sichergestellt werden, dass der Rücklauf des Systems immer unter 50 °C liegt.

Gemäß Herrn Dietler von der Firma EBM muss auch beachtet werden, welche alternative Energieträger auf welchem Temperaturniveau Wärme liefern können.

So kann z. B. eine WP im Sommer Vorlauftemperaturen von 70 °C und im Winter 60 °C liefern, da im Winter andere Energieträger den notwendigen Temperaturanstieg vornehmen können. Mit andern Worten: im Sommer läuft nur die WP, im Winter wird die WP gedrosselt bzw. liefert Wärme auf tieferen Temperaturen.

Ein anderes Beispiel ist die Stadt Aurich: Diese zeigt auf, dass auch die hohen Temperaturen aus dem Abwasser von Industriebetrieben als Wärmequelle für Wärmepumpen direkt genutzt werden können, und nicht nur wie bisher überwiegend Erdwärme oder die Umgebungsluft. Die Wärme in der ostfriesischen Stadt Aurich wird aus dem Abwasser eines Molkebetriebes gewonnen. Das vorgereinigte 30 °C warme Abwasser des Milchveredelungsbetriebs kann die kalte Quelle auf maximal 25 °C heben. Bevor es die Grundlast einer Multifunktionshalle decken kann, wird diese Wärme von Wärmepumpen auf maximal 60 °C gehoben und auf das Heizungssystem und die Warmwasserversorgung verteilt. Künftig soll auch das geplante Allwetterbad der Stadt an dieses System angeschlossen werden.

3.4.5 Bewertung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die gewonnenen Erfahrungen aus den neusten realisierten und projektierten Anlagen aufgeführt. Bezüglich der neusten Entwicklungen verweisen wir auf das Kapitel 3.2.4.

Inhouseanlagen

Bei den Inhouseanlagen ist ein großer Zuwachs festzustellen, da diese Anlagen ohne Auflagen und Bewilligungen auf der Parzelle des Liegenschaftsbesitzers erstellt werden können. Insbesondere auch größere Betriebe nutzen die in Ihrem Abwasser abfließende Wärme gerne selbst. Sogar Einfamilienhäuser nutzen die Wärme im Abwasserrohr auf ihrer Parzelle, indem sie ein Gussrohr für die Ableitung bis zur öffentlichen Kanalisation verlegen und im Umhüllungsbeton oder -sand gleich noch „Heizungsrohre“ mit verlegen und somit eine flächige Erdwärmenutzung betreiben, die durch das Abwasser „mit beheizt“ wird.

Doppelrohrwärmetauscher

Doppelrohrwärmetauscher werden vor allem bei Druckleitungen und mit Rohwasser eingesetzt, da diese verhältnismäßig günstig produziert und störungsarm betrieben werden können. Der Vergleich mit anderen Systemen, die eine Vorreinigung des Rohabwassers verlangen, zeigt, dass diese Anlagendisposition relativ kostengünstig und wartungsarm ist. Dies beweist insbesondere der Umstand, dass in der Schweiz eine bestehende Anlage durch den voranschreitenden Ausbau der angeschlossenen Wohnüberbauungen dieses Jahr mit dem gleichen, bewährten System um die gleiche Leistung verdoppelt und ausgebaut werden soll. Gleiches gilt für uns bekannte Projekte im Planungsstadium, die ebenfalls so ausgerüstet werden sollen.

Doppel-Gussrohre mit Wärmenutzung

Diese Technik ist noch im Erprobungsstadium und verlässliche Leistungszahlen und Preise sind noch nicht zugänglich. Dieser Technik wird aber gerade in Deutschland ein großes Potenzial nachgesagt, da hier viele Druckleitungen bestehen und sich diese Technik auch für die Nutzung der Wärme im Trinkwassernetz eignet. Erste Versuche wurden von großen Rohrherstellern durchgeführt, die im Kapitel 3.2.4 näher beschrieben werden.

Wärmetauscher für den Pumpensumpf

Hier gibt es noch keine verlässlichen Angaben über funktionierende Anlagen. Versuche sollten in nächster Zeit gefahren werden, wird diese Technik doch zur Aufheizung des Abwassers gerade bei der Stickstoffelimination durch das Anammoxverfahren angewendet, indem Heizungsrohre in den Behälterboden und in die Behälterwände eingebaut werden. Grundsätzlich kann so dem Abwasser insbesondere direkt aus den Nachklärbecken Wärme entnommen werden. Verlässliche Angaben über Kosten und Leistungen sind leider noch nicht bekannt.

Methoden zur Verminderung der Biofilmbildung

Die Biofilmbildung vermindert die Energieeffizienz der Wärmetauscher gemäß Studien der EAWAG häufig um 30 bis zu 50 %. Als Antwort darauf gibt es zwei Strategien: Erstens können die Wärmetauscher entsprechend größer dimensioniert werden, was mit zusätzlichen Kosten verbunden wäre, aber sonst keine Probleme im Betrieb mit sich brächte. Zweitens kann eine Verminderung des Biofilms durch verschiedene mechanische Maßnahmen erreicht werden. Heute gibt es auf dem Markt einige Anbieter, welche die Biofilmbildung mit Einbauten von Kupferbändern, die nachweislich einen Erfolg zeigen, verhindern sollen oder mindestens reduzieren sollen. Dieser Ansatz kann aus Sicht des Gewässerschutzes nicht befürwortet werden, da der Eintrag von Kupfer grundsätzlich zu verhindern bzw. zu minimieren ist, weshalb nicht noch zusätzlich Kupferbänder mit Wärmetauschern eingebaut werden sollen. Ebenso gibt es Bestrebungen, resp. Untersuchungen mit anderen Legierungen eine bessere Wärmeleitfähigkeit zu erreichen. Dies ist auf dem Papier grundsätzlich möglich, doch haben sich in der Praxis einzig und alleine die genügend große Auslegung und die Berücksichtigung der Biofilmbildung bewährt.

- Alle vorgeschlagenen Reinigungseinrichtungen funktionieren zu wenig oder ziehen einen erheblich größeren betrieblichen Aufwand nach sich, weshalb sich diese Maßnahmen dann wirtschaftlich nicht rechnen lassen.
- Insbesondere Schwallspülungen konnten unserem Wissen nach noch bei keiner Anlage ihre effiziente Reinigungsleistung belegen.
- Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass sich der Biofilm sehr schnell in der ganzen Kanalisation bildet, d. h. nicht nur auf dem Wärmetauscher sondern auch in den übrigen Abschnitten und somit in einer Periodizität von mindestens 14 Tagen bis 1 Monat gereinigt werden müsste. Größere Reinigungsintervalle bei gleichzeitig geringerer Dimensionierung der Wärmetauscher sind nicht zu verantworten.

Best practice bei neuen Anlagen mit Wärmegegewinnung aus gereinigtem Abwasser

Bei der Wärmegegewinnung aus gereinigtem Abwasser hat sich, wie schon eingangs erwähnt, die Installation von Freeflow-Plattenwärme-Tauschern bewährt. Verfügt die Abwasserreinigungsanlage selbst über keine vierte Reinigungsstufe, so ist den Wärmetauschern ein entsprechender Filter voranzustellen, damit der Zyklus der Reinigung vermindert und ein sogenannter „Polzeifilter“ vorgeschaltet ist. Auf was aber auf keinen Fall verzichtet werden kann, ist eine automatisierte Wärmetauscher-Reinigungsanlage. Die Erfahrungen aus der Schweiz zeigen, dass auf allen Anlagen mit Freeflow-Plattenwärmetauschern, wo keine Reinigungsanlage vorhanden war, diese ausnahmslos nachgerüstet wurden.

Bei den Wärmetauscher-Reinigungsanlagen handelt es sich um Dosieranlagen, die auf die Größe der Wärmetauscher abgestimmt sind und einerseits mit Desinfektionsmitteln zur Bekämpfung von Algen, Pilzen, Schleimbakterien und Legionellen und andererseits mit Biodetergentien gegen mikrobiologische und organische Beläge und Entschäumer zur Verhinderung von Schaum betrieben werden. Diese Reinigungsanlagen laufen vollautomatisch über Druck- oder Leistungsüberwachung und treten erfahrungsgemäß 1 bis 3 Mal pro Jahr in Aktion. Dadurch wird sichergestellt, dass eine mehr oder weniger konstante Leistung trotz Biofilmbildung erreicht wird und die gossen Wärmetauscher bis heute nie ausgebaut und mechanisch gereinigt werden mussten.

4 Wärme- und Kältepotenzial aus dem Abwasser

4.1 Einführung

Wenn es um die Gestaltung einer Energiezukunft geht, sind erneuerbare und regenerative Energieträger ein unverzichtbares Gestaltungselement. Hieraus erwächst die Notwendigkeit, bisher nicht oder nur wenig eingesetzte Energieträger in eine weitergehende und umfassende Nutzung einzubinden.

In welchem Maße die in unseren Abwässern steckende Wärme zukünftig für die Bereitstellung von Wärme einbezogen werden kann, ist nur mit Blick auf die Kanalnetze der jeweiligen Einzugsgebiete von Kläranlagen sowie dem spezifischen Nutzerpotenzial vor Ort zu beantworten.

Für die Nutzung des Wärmepotenzials sind im Wesentlichen die anstehende Abwassermenge, die nutzungsfähige Temperaturdifferenz unter Beachtung der Bemessungstemperatur der nachfolgenden Kläranlage, die Temperaturschwankungen sowie die spezifischen Anforderungen durch die Abnehmerseite maßgebend.

Für die Abführung der Abwärme im Zuge der Kältenutzung, sind je nach Einleiterstelle, sowohl die Kapazitäten innerhalb der Kanalstrecke zur Wärmeaufnahme sowie die gewässerrelevanten Aspekte wesentliche Randgrößen.

Im Folgenden wird aufgezeigt, welche Wärmepotenziale im Abwasser in NRW vorliegen.

4.2 Nutzung der Wärme aus Abwasser

Die Nutzung der Wärme aus Abwasser ist prinzipiell vor, auf und nach der Kläranlage möglich. Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Nutzungsvarianten wurden bereits aufgezeigt (Kapitel 3.1).

Für alle Nutzungsvarianten gilt, dass für die Realisierung einer AWWNA in einem ersten Arbeitsschritt unabhängig vom Standort das verfügbare Wärmepotenzial und in einem zweiten Arbeitsschritt, die baulichen Erschließungsmöglichkeiten sowie die nutzerabhängigen Daten zur Infrastruktur zu ermitteln sind.

Die Wärmemenge, die insgesamt aus einem Kanalnetz gewonnen (oder im Falle des Kühlens eingespeist) werden kann, berechnet sich aus der

- **permanent** verfügbaren Abwassermenge (Minimalabfluss) und
- der **nutzbaren** Temperaturdifferenz des Abwassers.

Die Kenntnis der permanent verfügbaren Abwassermenge ergibt sich aus der Tagesabflussganglinie bzw. durch die Aufsummierung aus der Abflussdauerkurve (Bild 4-1).

Die zur Verfügung stehende Wassermenge für den relevanten Trockenwetterfall lässt sich rechnerisch aus den Einleitungen ermitteln oder kann dem Generalentwässerungsplan (GEP) entnommen werden.

In der Praxis werden Daten von täglichen Durchflussmessungen für die Bildung der Abflussganglinie herangezogen. Durch Aufsummieren wird eine Abflusskurve gebildet und die zeitgleiche Abwassertemperatur integriert. Insbesondere sind hier die Minimalabflüsse bei Trockenwetter und in den Nachtstunden (Mittelwert der Nachtstunden von 24 Uhr bis 5 Uhr) (Q_{\min}) sowie die Abwassertemperaturen und die Bemessungstemperatur der nachfolgenden Kläranlage als einzuhaltende Minimaltemperatur zu beachten.

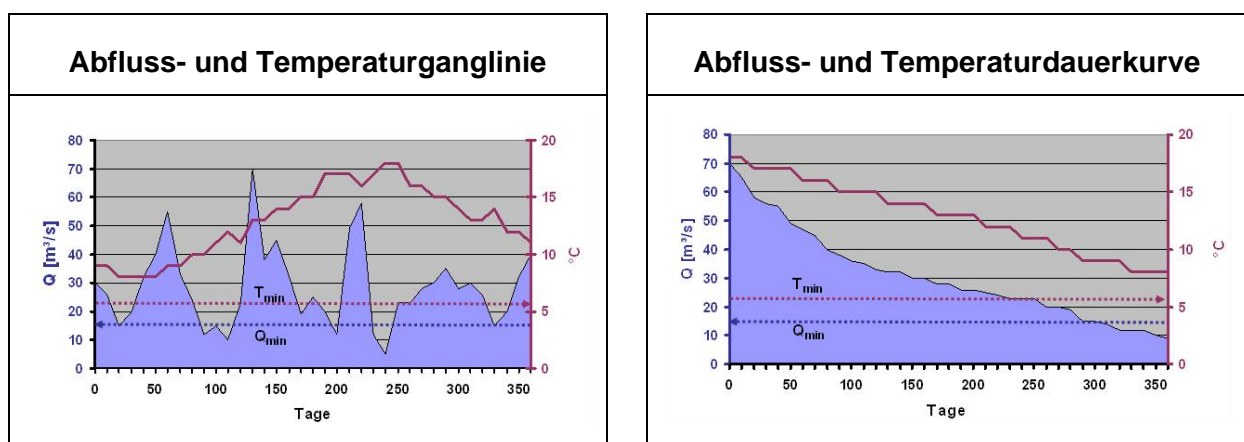


Bild 4-1: Abfluss- und Temperaturganglinie (links) sowie Abfluss- und Temperaturkurve (geordnet nach den Tagen in Abhängigkeit der Abwassertemperatur, rechts)

Für die Ermittlung der landesweit vorliegenden Potenziale standen nicht die lokalen GEP-Daten zur Verfügung sondern die kläranlagenspezifischen Jahreswassermengen (ELWAS-IMS).

Abwassertemperatur und Wärmeentzugsmenge

Neben der Abwassermenge, sind, insbesondere bei der Wärmeengewinnung aus Abwasser, Kenntnisse über die jahreszeitliche und tägliche Verteilung der Abwassertemperatur notwendig, da sich aus der Differenz zwischen der vorherrschenden Abwassertemperatur und der einzuhaltenden Bemessungstemperatur der Kläranlage die nutzbare Temperaturdifferenz ergibt. Die Daten werden in der Abflussganglinie und der Abflussdauerkurve hinterlegt.

Auch hier sind die Temperaturverhältnisse insbesondere bei den in den Nachtstunden vorliegenden Minimalabflüssen relevant. Um die nutzbare Temperaturdifferenz zu ermitteln, ist ein Abgleich mit der Bemessungstemperatur der ARA notwendig, da eine nutzungsbedingte Absenkung die Funktionalität der Kläranlage nicht gefährden darf. Aus dem Q_{\min} sowie der nutzbaren Temperaturdifferenz ΔT kann das Wärmeentzugspotenzial P_{WT} errechnet werden.

$$P_{WT} = c \cdot \rho \cdot Q_{\min} \cdot \Delta T$$

Erschließungsmöglichkeiten und Daten zur Infrastruktur

Für die Auslegung einer AWNA sind die baulichen Erschließungsmöglichkeiten und Daten zur Infrastruktur zu ermitteln. Einfluss auf die Auslegung haben

- die Nennweite der Kanalrohre
- das Profil der Kanalrohre
- die Länge des Kanalabschnittes
- das Gefälle
- die maximal mögliche Reduktion des Kanalquerschnitts
- die Zugänglichkeit des Kanalabschnittes
- die Möglichkeit zur Baustelleneinrichtung vor Ort

Ist eine Reduzierung des Kanalquerschnittes nicht möglich, kann der Wärmeentzug auch im Bypass außerhalb der Kanalisation erfolgen.

4.3 Kältenutzung vor, auf oder nach der Kläranlage

Die technischen Elemente wie Wärmetauscher, Wärmepumpe usw., die für einen Entzug von Wärme benötigt werden, können in umgekehrter Funktionsweise zur Abführung von Wärme eingesetzt werden. Durch den reversiblen Betrieb der Wärmepumpe werden die Raumluft zur Wärmequelle und der Abwasserstrom zur Wärmesenke.

Die zentralen Größen zur Ermittlung des Kühlpotenzials im Abwasser sind dieselben wie bei der Abwärmenutzung: Wassermenge und die nutzbare Temperaturdifferenz.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht ist die Nutzung des Abwassers für die Ableitung der bei der Erzeugung von Kälte entstehenden Abwärme insbesondere dann nicht unproblematisch, wenn es zu einer weiten Verbreitung solcher Systeme kommen sollte. Die Raumkühlung führt zu einer Erwärmung des Abwassers, deren Einfluss auf die Kanalisation, die Kläranlage sowie die Gewässer noch zu untersuchen wäre. Zwischenergebnisse von Untersuchungen in der Schweiz zeigen, dass dies zu einem Mehrverbrauch an elektrischer Energie auf der Kläranlage und zu ungünstigen Einflüssen auf die Gewässergüter führen kann. Da der WWF auf die generelle Problematik der Erwärmung unserer Gewässer bereits eindringlich hingewiesen hat, sollte hier proaktiv auch der Einfluss der Abwassernutzung zu Kühlzwecken genauer untersucht und Leitlinien für die Anwendungen vor einer verbreiteten Umsetzung solcher Systeme erarbeitet werden.

Für „bedeutende“ Einleitungen, denen eine Temperaturmessung im Gewässer auferlegt wurde, gilt bislang, dass die unterhalb einer Abwärmeeinleitungsstelle (und zwar an der Grenze der Mischungszone) gemessene Temperatur die Werte für die nicht beeinträchtigte Temperatur nicht um mehr als 1,5 °C in Salmonidengewässer und nicht um mehr als 3 °C in

Cyprinidengewässer überschreiten darf. Außerdem darf die Abwärme nicht dazu führen, dass die Temperatur in der Zone unterhalb der Einleitungsstelle (an der Grenze der Mischungszone) 21,5 °C in Salmonidengewässer und nicht um mehr als 28 °C in Cyprinidengewässer überschreitet. Der Temperaturgrenzwert von 10 °C gilt nur für die Laichzeit solcher Arten, die für die Fortpflanzung kaltes Wasser benötigen, und nur für Gewässer, welche sich für solche Arten eignen. Die Temperaturgrenzwerte dürfen in 2 % der Fälle zeitlich überschritten werden.

Das Abwasser von kommunalen Kläranlagen und kleineren Emittenten zählt in der Regel nicht zu den bedeutenden Abwärmeeinleitungen im o. g. Sinne, sodass Beschränkungen im Vorhinein nicht bestehen. Ungeachtet dessen wird empfohlen, die Temperaturerwärmung aufgrund einer Kältenutzung im Kanalnetz im Zulauf der Kläranlagen auf 0,5 K (Bagatellgrenze gem. DWA M-114) zu begrenzen.

4.4 Wärmenutzung innerhalb von Liegenschaften

Mit der Thematik „Dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser“ befassen sich in einem gemeinsamen Forschungsprojekt die Lehrstühle für Baubetrieb und Projektmanagement und für Baubetrieb und Gebäudetechnik der RWTH Aachen.

Ziel des Projektes ist die Potenzialermittlung für die dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser. Das Forschungsprojekt wird gefördert durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Förderkennzeichen: SF – 10.08.18.7-10.4).

In einer Vorstudie wurde vorab mit verschiedenen Berechnungsansätzen das Wärmerückgewinnungspotenzial von häuslichem Abwasser bei dezentraler Nutzung direkt am Gebäude vor Übergabe an die Straßenkanalisation untersucht.

Im ersten Berechnungsansatz wird eine Aufteilung des durchschnittlichen täglichen Wasserverbrauchs nach verschiedenen Verwendungen verfolgt und den jeweiligen Vorgängen entsprechende Temperaturniveaus zugeordnet. Der Gesamttrinkwasserverbrauch pro Person wird mit 122 l am Tag angenommen. Nach Abzügen für Temperaturverluste in Rohrleitungen innerhalb des Gebäudes von 2 °C ergibt sich eine durchschnittliche Abwassertemperatur von 25,5 °C.

Im zweiten Berechnungsansatz zur Abschätzung von Menge und Temperatur des Kalt- und Warmwassers wird der Endenergieverbrauch zur Warmwassererzeugung herangezogen. Der Endenergieverbrauch für die Warmwassererzeugung in deutschen Haushalten betrug im Jahr 2007 278,4 PJ. (N.N. 2007). Legt man den durchschnittlichen Pro-Kopf-Wasserverbrauch in Höhe von 122 l, eine Bevölkerungszahl von 82 Millionen und die Wärmekapazität des Wassers von 4,187 kJ/kg·K zugrunde, berechnet sich die durchschnittliche Temperaturerhöhung des verbrauchten Trinkwassers zu 18,2 °C.

Ausgehend von einer Kaltwassertemperatur von 10 °C und einem Temperaturverlust aufgrund der Abwasserführung durch die Hausleitungen von 2 °C ergibt sich die zu erwartende Temperatur des Abwassers bei diesem Berechnungsansatz zu 26,2 °C.

Der dritte Berechnungsansatz geht zurück auf den nach der Energieeinsparverordnung 2009 zu veranschlagenden Nutzenergiebedarfs für die Warmwassererzeugung eines Mehrfamilienhauses. Dieser wird nach EnEV 2009 und Verweis auf DIN 18599-10 für ein Mehrfamilienhaus zu $16 \text{ kWh/m}^2_{\text{beheizte Wohnfläche}} \cdot a$ angegeben (N.N. 2005, N.N. 2009). Hieraus berechnet sich unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Pro-Kopf-Wasserverbrauchs in Höhe von 122 l, einer durchschnittlichen Pro-Kopf-Wohnfläche (N.N. 2009 a) von 41,9 m² und der spezifischen Wärmekapazität von Wasser die durchschnittliche Temperaturerhöhung des verbrauchten Trinkwassers zu 12,9 °C. Unter Annahme einer Trinkkaltwassertemperatur in Höhe von 10 °C und einem Temperaturverlust aufgrund der Abwasserführung durch die Hausleitungen von 2 °C ergibt sich die zu erwartende Abwassertemperatur zu 20,9 °C. Da es sich bei dem Nutzenergiebedarf nach EnEV um einen Bedarfswert handelt, ist eine Abweichung des tatsächlichen Energieverbrauchs von diesem Wert zu erwarten.

Zusammenfassend kann eine mittlere Abwassertemperatur in der Bandbreite von etwa 20 – 26 °C abgeschätzt werden. Die hohen Temperaturen zeigen das große Potenzial der Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser direkt am Gebäude.

Dieses Potenzial kann jedoch nur in Verbindung mit moderner Wärmetauscher- und Wärmepumpentechnik genutzt werden.

Dazu werden Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit und zur ökologischen Vorteilhaftigkeit eines Abwasserwärmepumpensystems zur alleinigen Trinkwarmwasserversorgung im Vergleich mit einer modernen Gasbrennwerttherme und eines ölbefeuerten Konstanttemperaturkessels durchgeführt (Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Betriebskosten und CO₂-Emissionen ausgewählter Anlagen

Parameter		Wärmepumpe	Gasbrennwerttherme	Ölbefuenerter Kessel
CO₂-Emission	kg/a	130,34	195,58	296,25
Kosten	€/a	41,57	77,84	77,96

Mit der Annahme einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl des Wärmepumpensystems von 4,2 lassen sich Kosteneinsparungen bei der Trinkwarmwassererzeugung mittels Abwasserwärmepumpe im Vergleich zu einer modernen Gasbrennwerttherme in Höhe von ungefähr 36 € pro Kopf und Jahr abschätzen.

Darüber hinaus ist eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 65,24 kg pro Kopf und Jahr möglich. Für ein beispielhaftes Mehrfamilienhaus mit 20 bis 40 Nutzern ergibt sich demnach ein jährliches Energiekosteneinsparpotenzial von 725 € bis 1.450 €, was eine annehmbare Amortisationsdauer der Investition erwarten lässt.

Die prognostizierte Reduktion des CO₂-Ausstoßes beträgt für ein solches Gebäude 1.304,8 kg bis 2.609,6 kg. Im Vergleich zu einer Gasbrennwerttherme ist der CO₂-Ausstoß des ölbeheizten Kessels höher. Daher ergibt sich bei einem Wechsel von Ölheizung auf Abwasserwärmepumpe ein noch größeres CO₂-Einsparpotenzial als bei einem Wechsel von Gasbrennwerttherme auf Wärmepumpe.

Die Berechnungen beruhen auf statistischen Durchschnittswerten und Annahmen. Alle Angaben sind im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens zu überprüfen. Darüber hinaus ist eine Detaillierung und Dynamisierung der Wirtschaftlichkeitsberechnung erforderlich. Des Weiteren sind neben den Betriebskosten natürlich die Investitionskosten für die Umsetzung einer dezentralen Abwasserwärmerückgewinnung zu ermitteln. Hierbei sind zu erwartende Synergieeffekte bei der Durchführung von notwendigen Sanierungsmaßnahmen an Hausanschlüssen und Grundleitungen zu berücksichtigen.

Der Einbau eines Wärmetauschers im Zuge einer Sanierung der Grundstücksentwässerung z. B. durch abgehängte Leitungen erscheint dabei besonders sinnvoll.

Die empirisch ermittelten Daten der Vorstudie sollen nun in einem langfristigen Monitoring von Abwassertemperaturen und -mengen validiert werden. Um einen breiten Überblick über unterschiedliche Nutzungsszenarien abdecken zu können, wurden in Aachen ein Hotel (152 Zimmer), zwei Studentenwohnheime (jeweils rund 230 Wohneinheiten) und ein Krankenhaus (348 Betten) mit entsprechender Messtechnik ausgerüstet.

Bild 4-2 zeigt beispielhaft eine Darstellung der Abwassertemperatur, des Trinkwasserdurchflusses und der Raumtemperatur am Einbauort der Messtechnik für das Studentenwohnheim Otto-Petersen-Haus in Aachen.

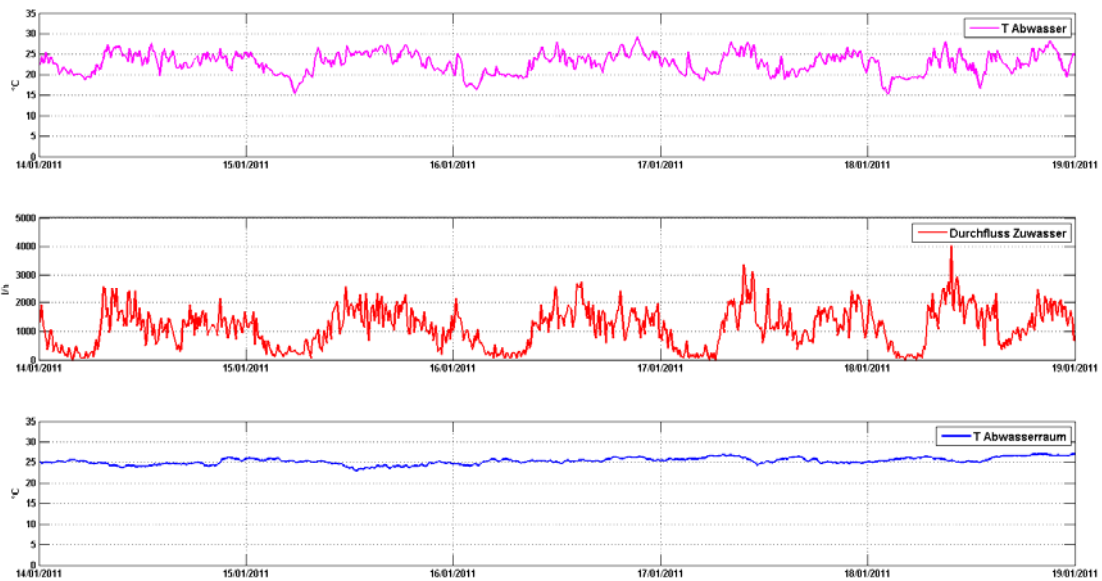


Bild 4-2: Beispielhafte Darstellung des Temperatur- und Abfluss-Monitorings, Studentenwohnheim Otto-Petersen-Haus, Rütcherstr. 155, Aachen

Aus den Messdaten werden auf Basis von Stundenwerten repräsentative Tagesganglinien ermittelt, die die zu erwartende Temperatur und Menge des Abwassers für jeden Tag wiedergeben. Bild 4-3 zeigt eine beispielhafte Tagesganglinie für das Otto-Petersen-Haus im gleichen Betrachtungszeitraum.

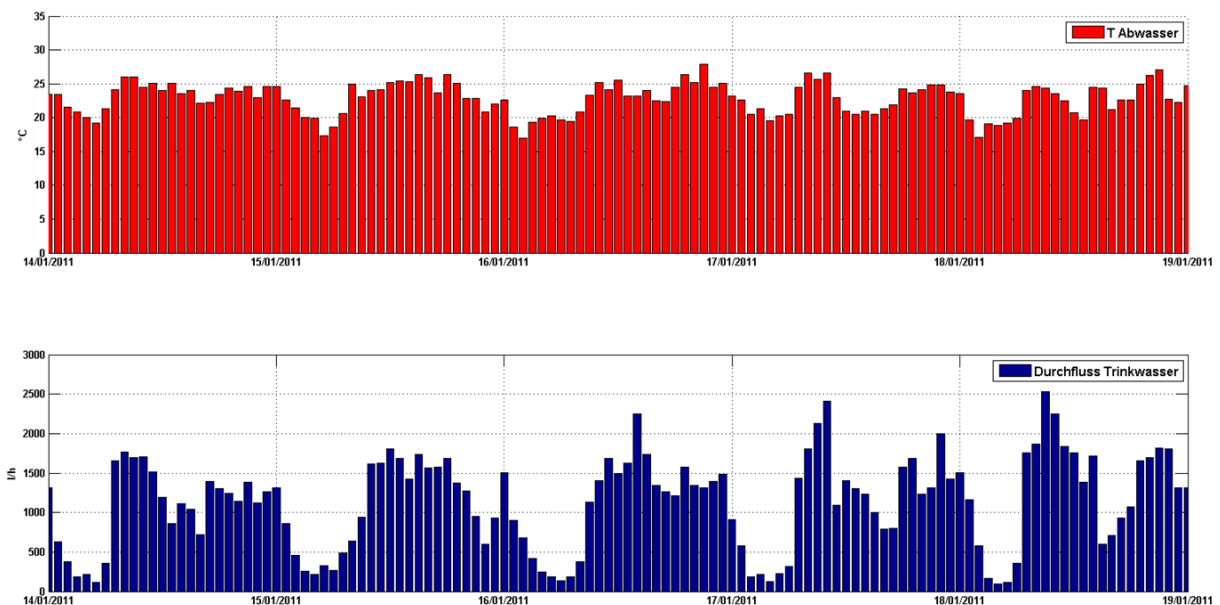


Bild 4-3: Beispielhafte Darstellung von Tagesganglinien, Studentenwohnheim Otto-Petersen-Haus, Rütcherstr. 155, Aachen

Diese Tagesganglinien ermöglichen eine Simulationsrechnung zur Bemessung einer Anlage zur Wärmerückgewinnung.

Basierend auf den Ergebnissen aus dem laufenden Monitoring und der Simulation soll eine Aussage über das tatsächliche ökonomische und ökologische Potenzial einer dezentralen Anlage zur Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser getroffen werden. Neben der Darstellung verschiedener Varianten zur technischen Umsetzbarkeit (Wärmetauscher, Speichergröße, Leistung der Wärmepumpe etc.) ist ein Nachweis der Wirtschaftlichkeit einer Installation in den überprüften Gebäudetypen zu erbringen. Ebenso soll eine Eingrenzung bezüglich der Mindest- bzw. Maximalgröße eines Gebäudetyps erfolgen, um so die Einsatzgrenzen gegenüber der zentralen Wärmerückgewinnung zu definieren. Auch rechtliche Vorgaben, denkbare Abrechnungsmodelle bei der Vermietung und die Erläuterung von Möglichkeiten zur Investitionsförderung werden in der Ausarbeitung berücksichtigt.

4.5 Technisch realisierbare Abwasserwärmeentzugspotenziale in NRW

Die Quantifizierung der Wärmepotenziale aus Abwasser in NRW ist für Kommunen, Wohnungsbaugesellschaften etc. eine wichtige Basis, um Möglichkeiten für die Ansiedlung von Abwasserwärmenutzungsanlagen aufzuzeigen.

Für die Abschätzung des Wärmepotenzials im Abwasser innerhalb der Einzugsgebiete der Kläranlagen in NRW wurden die beim MKUNLV sowie bei verschiedenen Wasserverbänden verfügbaren kläranlagenspezifischen Daten

- Temperatur Zulauf (wird im Regelfall nicht erhoben)
- Jährliche Schmutzwassermenge
- Temperatur Ablauf

einer Auswertung unterzogen (Anhang 2).

Zunächst erfolgten die Auswertung der Zulauftemperaturen diverser Kläranlagen (Bild 4-4) und die Ablauftemperaturen (Bild 4-5) für alle Kläranlagen NRW der Größenklassen 1 – 5.

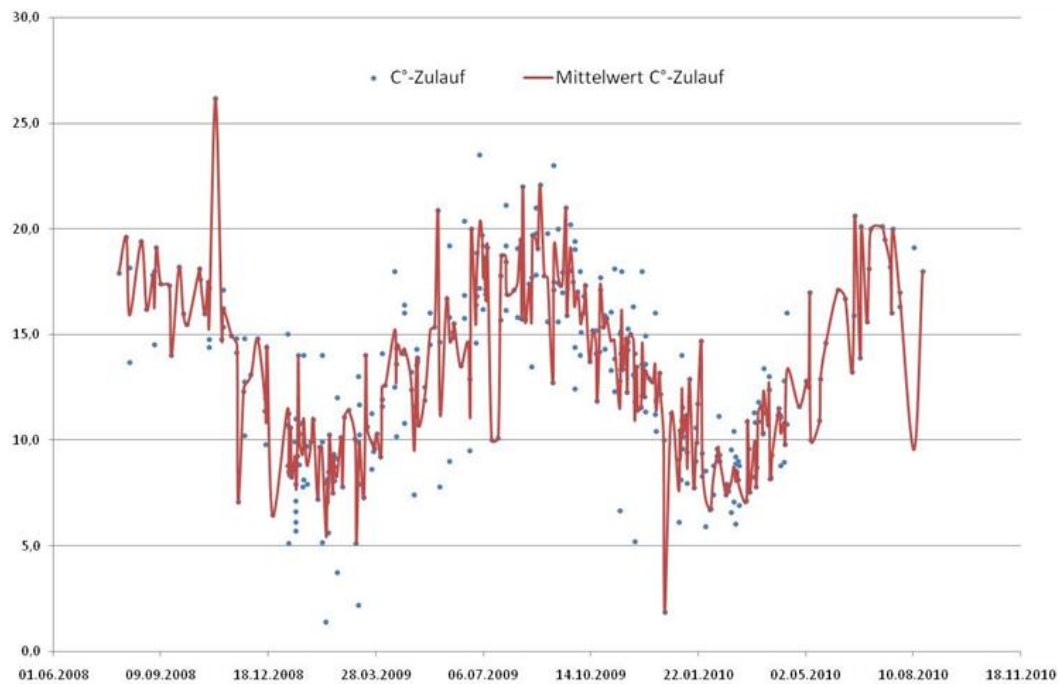


Bild 4-4: Zulauftemperaturen verschiedener Kläranlagen in NRW

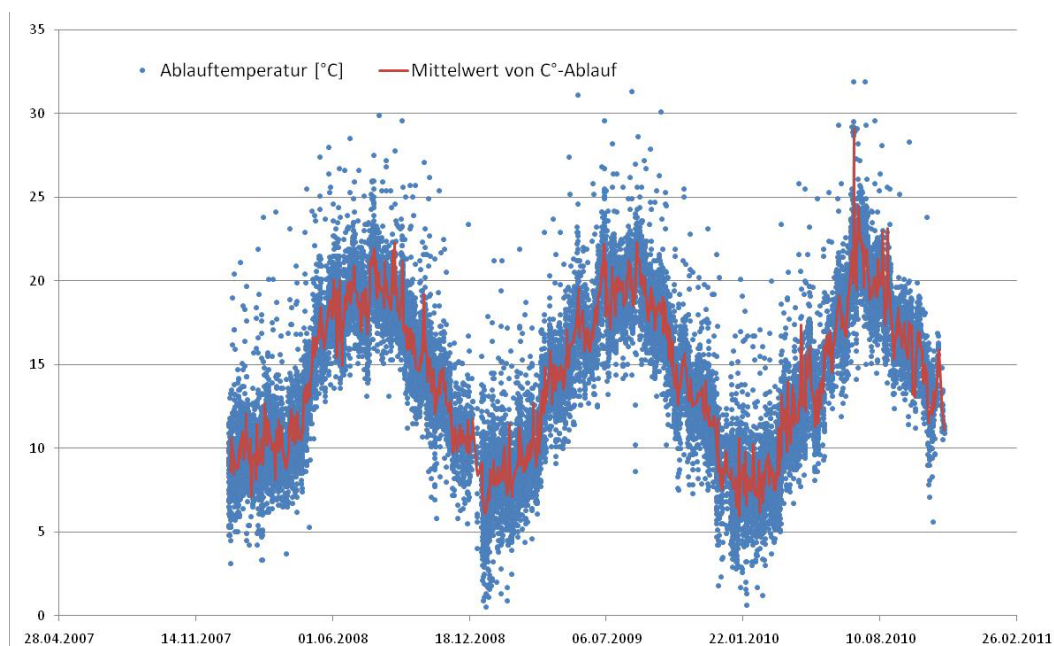


Bild 4-5: Ablauftemperaturen aller Kläranlagen (Größenklassen 1 – 5) in NRW

Da nur für wenige Kläranlagen neben den Ablauftemperaturen die Zulauftemperaturen vorlagen, wurden die Kläranlagen mit vollständigen Datensätzen, einer Regressionsanalyse unterzogen (Bild 4-6). Ziel dieser Analyse war es, die Abhängigkeit zwischen der Zu- und Ablauftemperatur festzustellen, anhand derer, sich auf Basis der kläranlagenspezifischen Ablauftemperaturen, die Zulauftemperaturen für die übrigen Kläranlagen errechnen ließen.

Auf Basis der abgeleiteten Zulauftemperaturen der Kläranlagen erfolgte nun unter Einbeziehung der jährlichen Wassermengen der Kläranlagen eine Berechnung der Abwasserwärmepotenziale für die einzelnen Kläranlagen bzw. durch Aufsummieren für NRW.

Für die Potenzialberechnungen wurden die Dreijahres-°C-Zulaufmittelwerte herangezogen. Diese leiten sich aus den Quartalen mit den Monaten Dezember, Januar, Februar der Jahre 2008, 2009 und 2010 ab (Bild 4-7). Hier kann davon ausgegangen werden, dass die Abwassertemperatur auf ein jährliches Minimum fällt und somit für eine Worst-Case-Betrachtung das geringste nutzbare Wärmepotenzial liefert, welches uneingeschränkt zur Verfügung steht. Aus der Differenz der Quartals-°C-Zulaufmittelwerte und der zu beachtenden Bemessungstemperatur der Kläranlagen, welche in der Regel 10 °C oder 12 °C beträgt, ergeben sich die nutzbaren Temperaturbereiche, die für eine Wärmegewinnung zur Verfügung stehen.

Ein weitaus größeres Temperaturspektrum als im Zulauf der Kläranlage steht im Ablauf der Kläranlagen zur Verfügung. Hier ist eine Abkühlung des Abwassers bis zur technischen Nutzungsgrenze der Wärmepumpe von etwa 5 °C möglich. Durch die deutlich höhere Temperaturdifferenz resultiert hieraus ein deutlich größeres Wärmenutzungspotenzial (vgl. Tabelle 4-2).

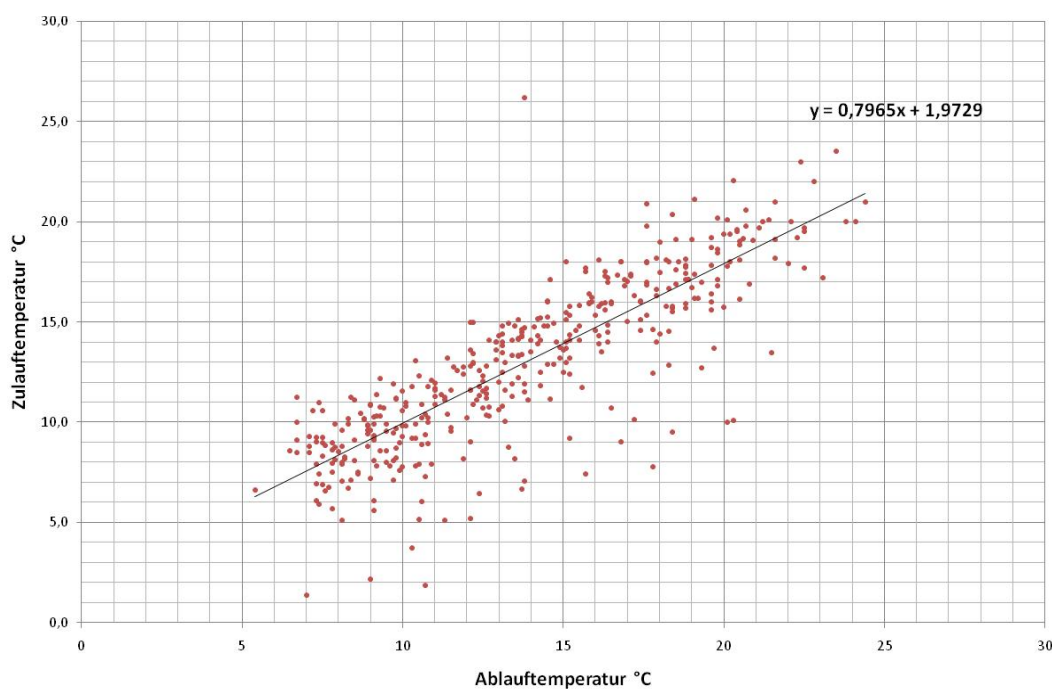


Bild 4-6: Regressionsanalyse der Temperaturen im Zulauf einzelner Kläranlagen in NRW

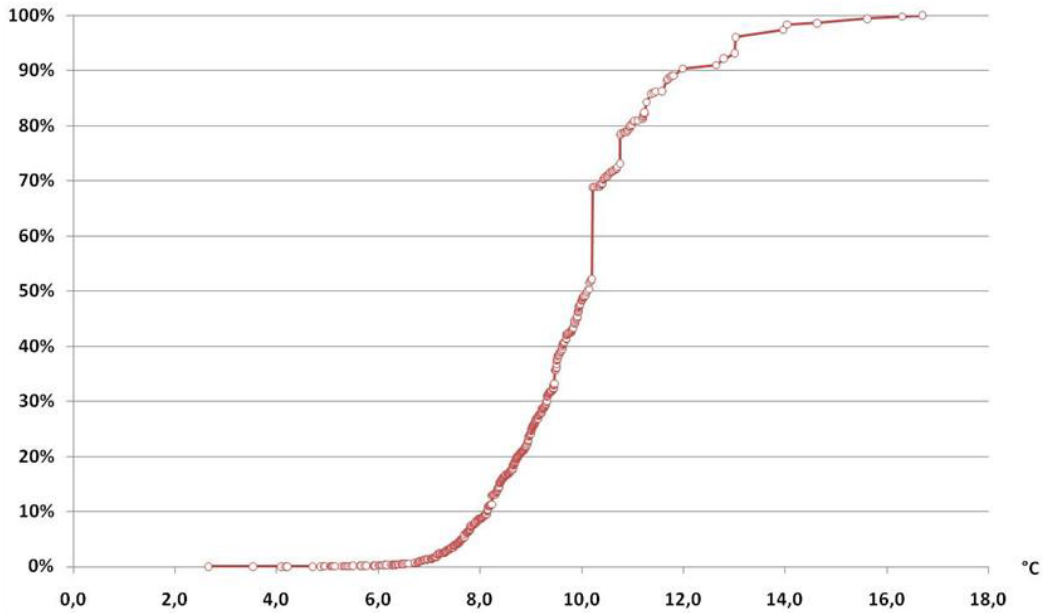


Bild 4-7: Dreijahres-°C-Zulaufmittelwerte für den Zeitraum Dezember – Februar

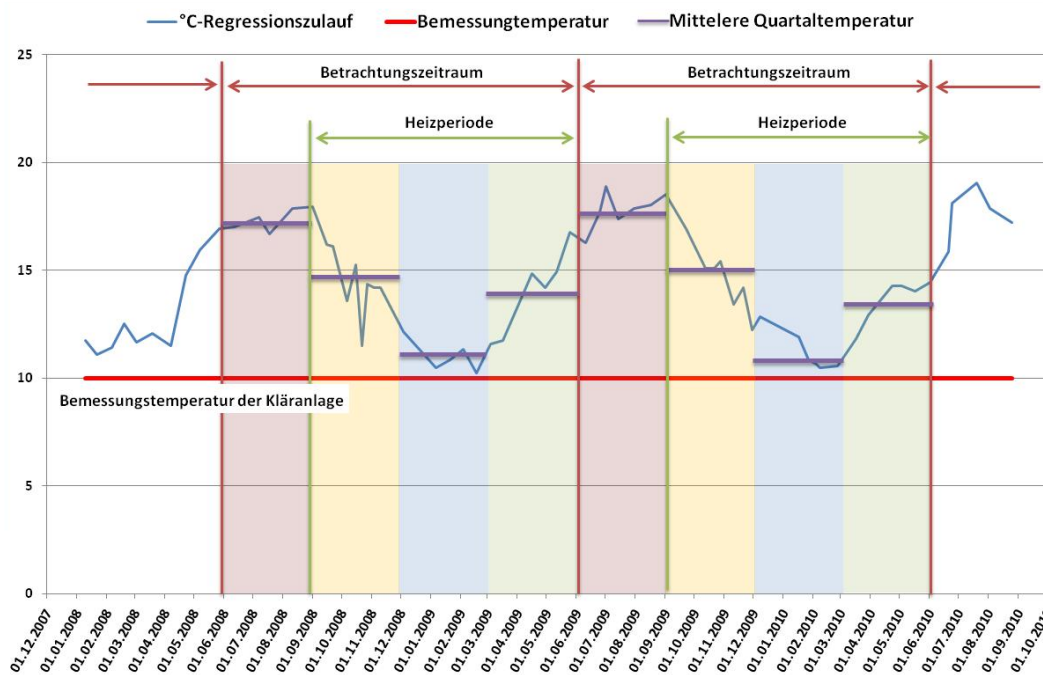


Bild 4-8: Beispiel für die mittleren Quartalstemperaturen im Kläranlagenzulauf im Vergleich zur Bemessungstemperatur von 10 °C für eine Kläranlage

Die Wärmepotenzialabschätzung resultiert für die Kläranlagen (GK 1 – 5) in NRW unter Beachtung der möglichen Bemessungstemperaturen (pessimal: Bemessungstemperatur = 12 °C; optimal: Bemessungstemperatur = 10 °C) und der minimal möglichen Temperaturabsenkung des Abwassers von 0,5 K (Bagatellwert gem. DWA-M 114) ein Zulaufpotenzial von rund 336.000 kW bzw. rund 222.000 kW (Wärmeentzugsleistung bezogen auf den

Zeitraum Dezember – Februar), wobei zu beachten ist, dass bei etwa 20 – 40 % der Kläranlagen die Temperaturabsenkung des Abwasser lediglich der angesprochenen Bagatellgrenze entspricht (Linearanteil der Summenlinien in Bild 4-9). Eine beispielhafte Berechnung des Wärmepotenzials für den Kläranlagenzulauf der Kläranlage Wuppertal-Buchenhofen befindet sich im Anhang.

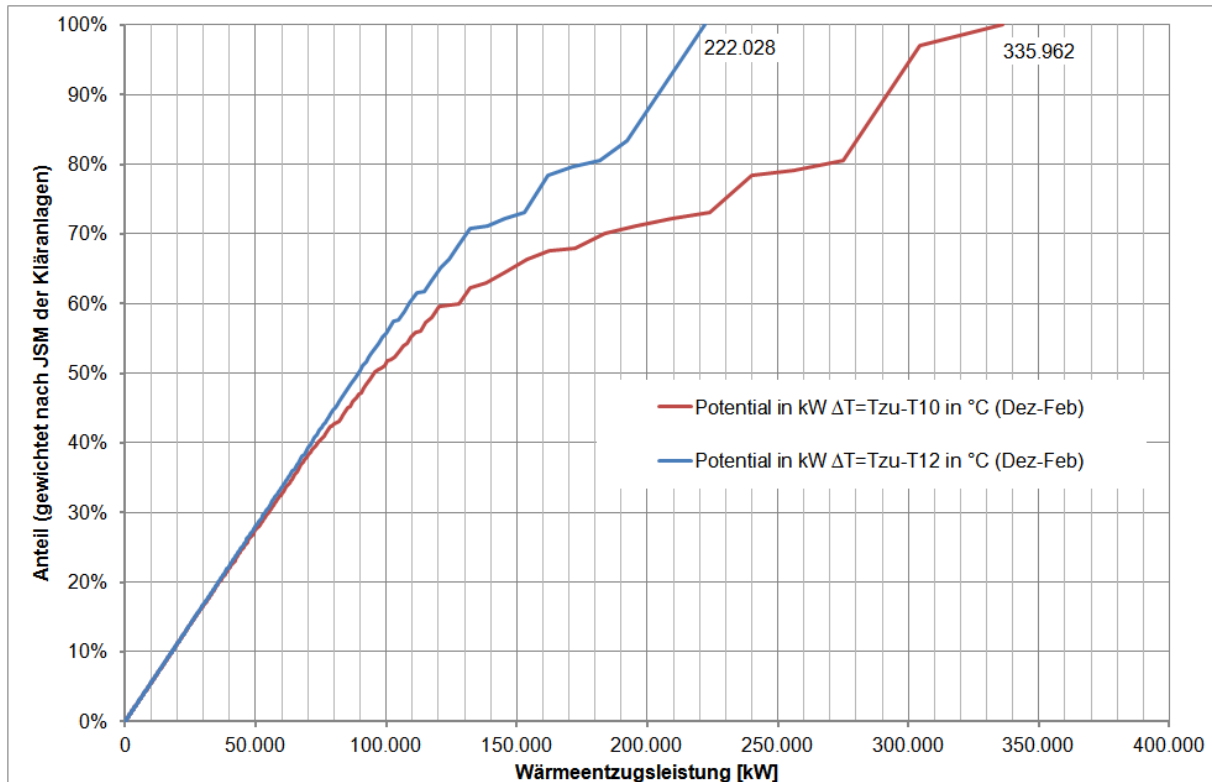


Bild 4-9: Summenlinien der Abwasserwärmeentzugsleistung der Kläranlagen in NRW (GK 1 – 5)

Der Einfluss der nutzbaren Temperaturdifferenzen zwischen der unteren technischen Temperaturgrenze und dem Dreijahres-°C-Zulaufmittelwert bzw. der Quartalswerten beeinflusst auch deutlich das Wärmeentzugspotenzial im Ablauf der Kläranlagen, welches unter der Annahme, dass das gereinigte Abwasser auf 5 °C abgekühlt wird, rund 1.850.000 kW beträgt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-2 zusammengefasst und den Ergebnissen der IKT Studie (IKT, 2004) gegenübergestellt. Deutlich wird, dass die aktuellen Schätzungen, auch wenn man Potenziale unter 100 kW je Kläranlage nicht berücksichtigt (gekammerte Werte), in etwa den Schätzungen des IKT entsprechen.

Tabelle 4-2: Gegenüberstellung der Schätzungen für Abwasserwärmeentzugspotenziale im Kläranlagenzulauf und Kläranlagenablauf

Abwasserwärmeentzugspotenzial in NRW aus dem Kanal und aus kommunalen Kläranlagen in den Monaten Dezember – Februar (Studie ARGE 2011)				
	Abwasserwärmeentzugspotenzial Zulauf KA [kW]			
Bemessungstemperatur KA: 10 °C	336.000 (323.000)			
Bemessungstemperatur KA: 12 °C	222.000 (209.000)			
	Abwasserwärmeentzugspotenzial Ablauf KA [kW]			
Technischer Grenzwert 5 °C	1.850.000 (1.845.000)			
(Studie IKT 2004) ⁴				
IKT – Jährliches Realisierungspotenzial für AWN-Anlagen in NRW				
Realisierungspotenzial [kW]	285.000			
Büro eam - Vermarktungs- und realisierbares Wärmepotenzial in NRW				
Städte- u. Gemeindeklassen [E]	bis 20.000	20 – 50.000	50 – 200.000	> 200.000
Abwasserwärmepotenzial [kW]	600	1.700	11.400	114.000
Realisierungspotenzial [kW]	128.000			

⁴ Im Kanalbestand sind nach der Studie des IKT 5 % der Kanalabschnitte für die Gewinnung, Abnahme und Vermarktung von Abwasserwärme und damit für den Betrieb einer Abwasserwärmeanlage geeignet. Bei dieser Abschätzung wurden die Anforderungen hinsichtlich des Wärmebedarfs, der Distanz zum Wärmeverbraucher, sowie die simultanen Investitionen in Kanalisation und Heizungsanlage als Gewinnungsrestriktionen bei der Potenzialermittlung beachtet.

Unter Berücksichtigung der mittleren Wärmeleistung je Meter Wärmetauscher von 2,5 kW lässt sich in NRW ein jährliches in der Kanalisation erschließbares Realisierungspotenzial in der Größenordnung von 7.000 kW bis 28.500 kW ermitteln. Dabei fällt der größte Teil des realisierbaren Potenzials dem Bereich des Kanalisationsneubaus zu. 79 % bis 93 % des realisierbaren Potenzials zu, d. h. rund 6.500 kW bis 22.500 kW sind dort vorzufinden. Der Kanalisationsbestand bietet mit bis zu 6.000 kW nur ein geringfügiges jährlich erschließbares Realisierungspotenzial.

In der gleichen Studie zeigt das Büro eam für NRW ein höheres theoretisches Vermarktungs- und realisierbares Wärmepotenzial auf. Die Aussagen zur Leistung wurden auf der Grundlage einer Einteilung der nordrhein-westfälischen Gemeinden in vier Größenklassen getroffen. Weiter wurde der Wärmeentzug im Kläranlagenzulauf nach Gemeindeklassen variiert.

Bei Gemeinden bis 20.000 Einwohnern wurde eine Absenkung der Abwassertemperatur um 0,5 Kelvin, bei Gemeinden von 20.000 bis 50.000 Einwohnern um 0,75 Kelvin, bei Gemeinden von 50.000 bis 200.000 Einwohnern um 1,5 Kelvin und bei Gemeinden über 200.000 Einwohnern um 3 Kelvin berücksichtigt. Das hieraus resultierende Vermarktungs- und Realisierungspotenzial für den Kläranlagenzulauf wird hier in Gemeinden bis 20.000 Einwohnern auf rund 0,6 MW, in Gemeinden von 20.000 bis 50.000 Einwohnern auf rund 1,7 MW, in Gemeinden mit 50.000 bis 200.000 Einwohnern auf rund 11,4 MW und in Gemeinden mit über 200.000 Einwohnern auf rund 114 MW beziffert.

4.6 Realisierbares Heiz- bzw. Klimatisierungspotenzial

Für die Berechnung des Heizpotenzials ist zu berücksichtigen, dass im Gebäude neben der Wärme, die dem Abwasser entzogen wird, zusätzlich in der Wärmepumpe i.d.R. elektrische Energie zugeführt wird, um die Abwasserwärme auf ein nutzbares Niveau zu heben; bei bivalenten Anlagenbetrieb wird das Gebäude im Spitzenlastfall zusätzlich oder alternativ über konventionelle Systeme beheizt. So werden bei Wärmepumpenbetrieb und einem COP von 4,0 die nutzbare Wärme zu drei Viertel aus Abwasserwärme und zu einem Viertel aus elektrischer Energie bereitgestellt (vgl. Bild 4-10). Entsprechend ist das realisierbare Heizpotenzial höher als die dem Abwasser entzogene Wärme.

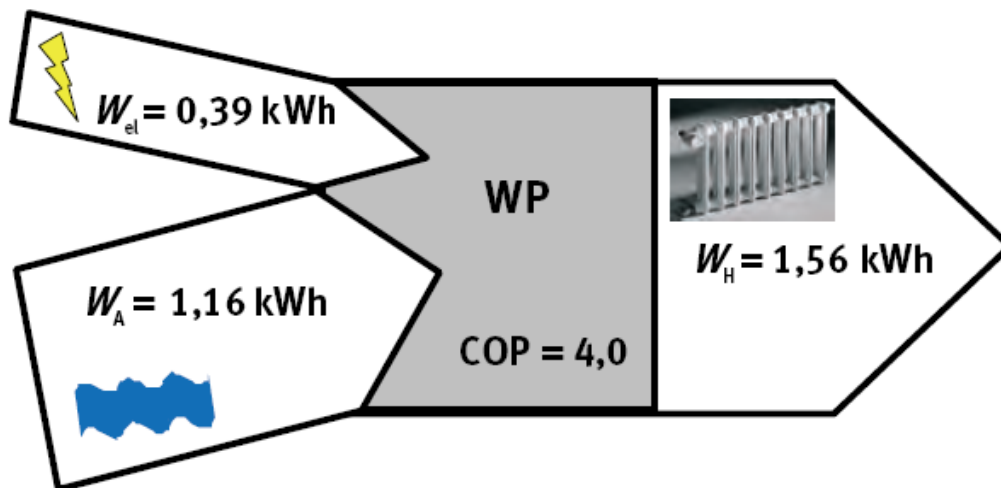


Bild 4-10: Beispiel für den Energiefluss in einer Wärmepumpe (WP) mit einem COP von 4,0 für eine Abwasserwärmenutzungsanlage (Merkblatt DWA M 114 Energie aus Wasser, Wärme und Lageenergie)

Wird die Gebäudewärme ausschließlich über die Wärmepumpe bereitgestellt, so spricht man von einem monovalenten Anlagenbetrieb. Der Regelfall der realisierten Anlagen besteht jedoch aus einer Kombination von Abwasserwärmenutzungsanlagen für die Bereitstellung der Grundlast und einem konventionellen Heizsystem (z. B. Gaskessel), der allein (bivalent alternativ) oder gemeinsam mit der Wärmepumpe (bivalent parallel) die Spitzenlast bereitstellt (vgl. Bild 4-11 und Bild 4-12).⁵

⁵ Eine Wärmepumpe kann je nach Rahmenbedingungen monovalent oder bivalent eingesetzt werden. Im **monovalenten** Betrieb deckt die Wärmepumpe komplett den Wärmebedarf eines Gebäudes und ist einzige Wärmequelle. Im **bivalenten** Betrieb wird die Wärmepumpe zur Deckung von Spitzenlasten durch ein zweites Heizsystem unterstützt.

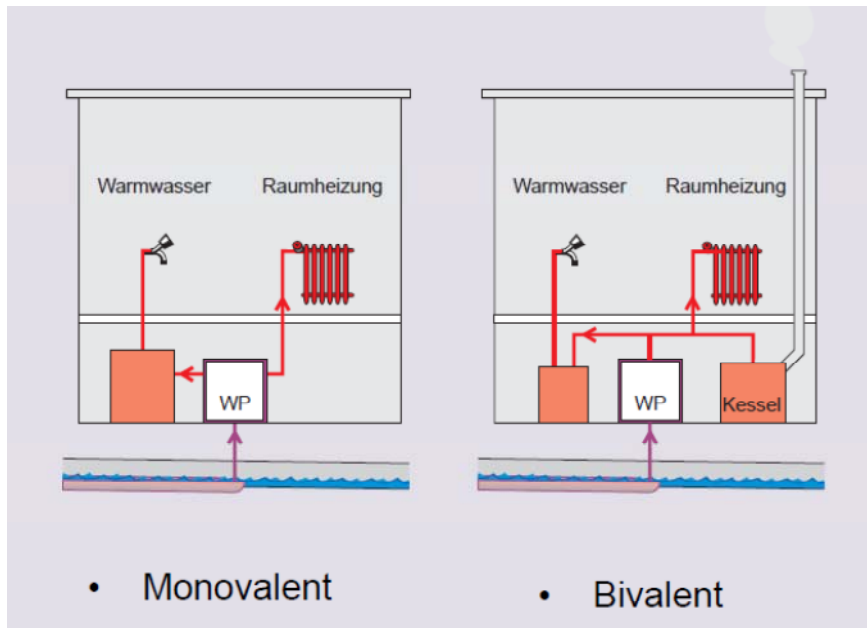


Bild 4-11: Systemschema monovalente und bivalente Heizsysteme (EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen, 2009)

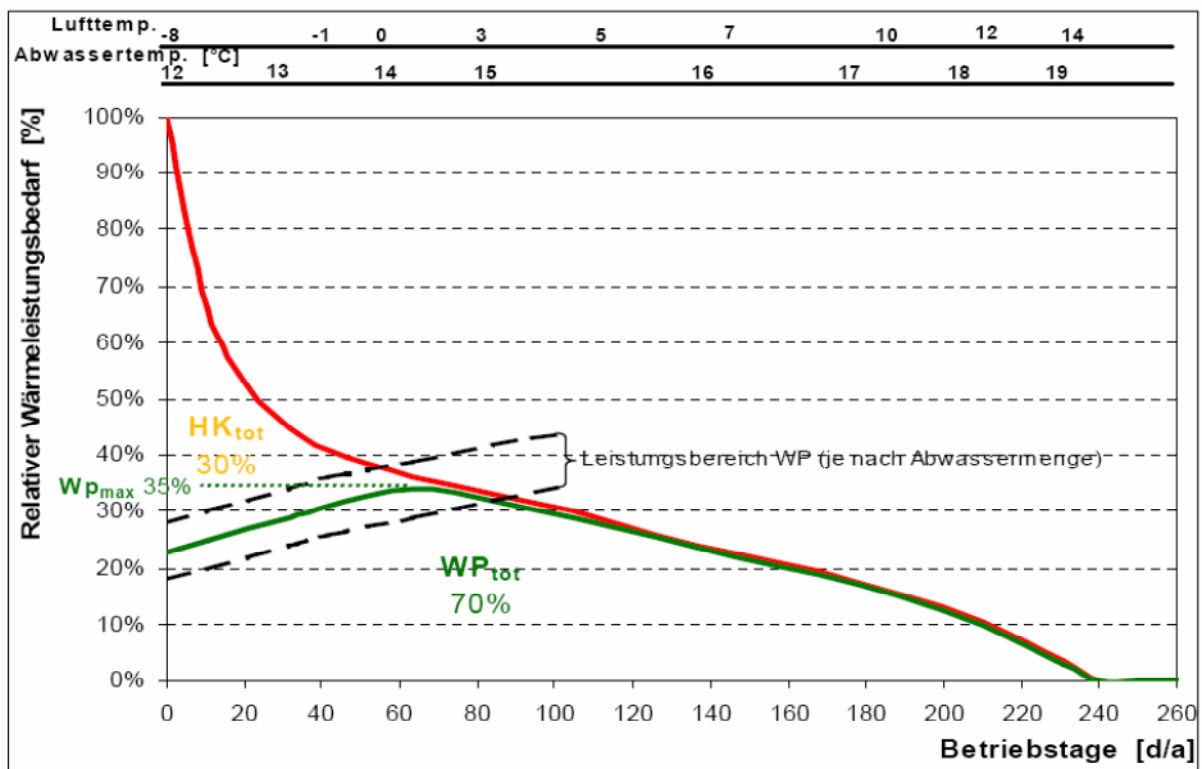


Bild 4-12: Jahresverlauf des Raumwärmebedarfs in Abhängigkeit geordnet nach dem Tagesmittel der Außentemperatur beim bivalent parallelen Anlagenbetrieb. Bei einer Auslegung der Wärmepumpe auf beispielsweise 35 % des Wärmeleistungsbedarfes deckt sie 70 % des jährlichen Wärmebedarfes ab. (Merkblatt DWA-M 114 Energie aus Wasser, Wärme und Lageenergie)

Der bivalente Betrieb hat zur Folge, dass zum einen die Abwasserwärme (unter Berücksichtigung der in der Wärmepumpe zugeführten elektrischen Energie) zwar einen deutlich geringeren Anteil an der Gesamtwärmebereitstellung im Gebäude hat als beim monovalenten Betrieb, gleichzeitig die Anlagen so ausgelegt werden, dass der COP bzw. die JAZ der WP deutlich höher liegt als beim monovalenten Betrieb (vgl. Bild 4-13) und für den Fall eines bivalent alternativen Betriebes das Gebäude auch dann beheizt werden kann, wenn ein Wärmeentzug im Abwasser (z. B. bei Unterschreitung der Kläranlagenbemessungstemperatur) nicht möglich ist.

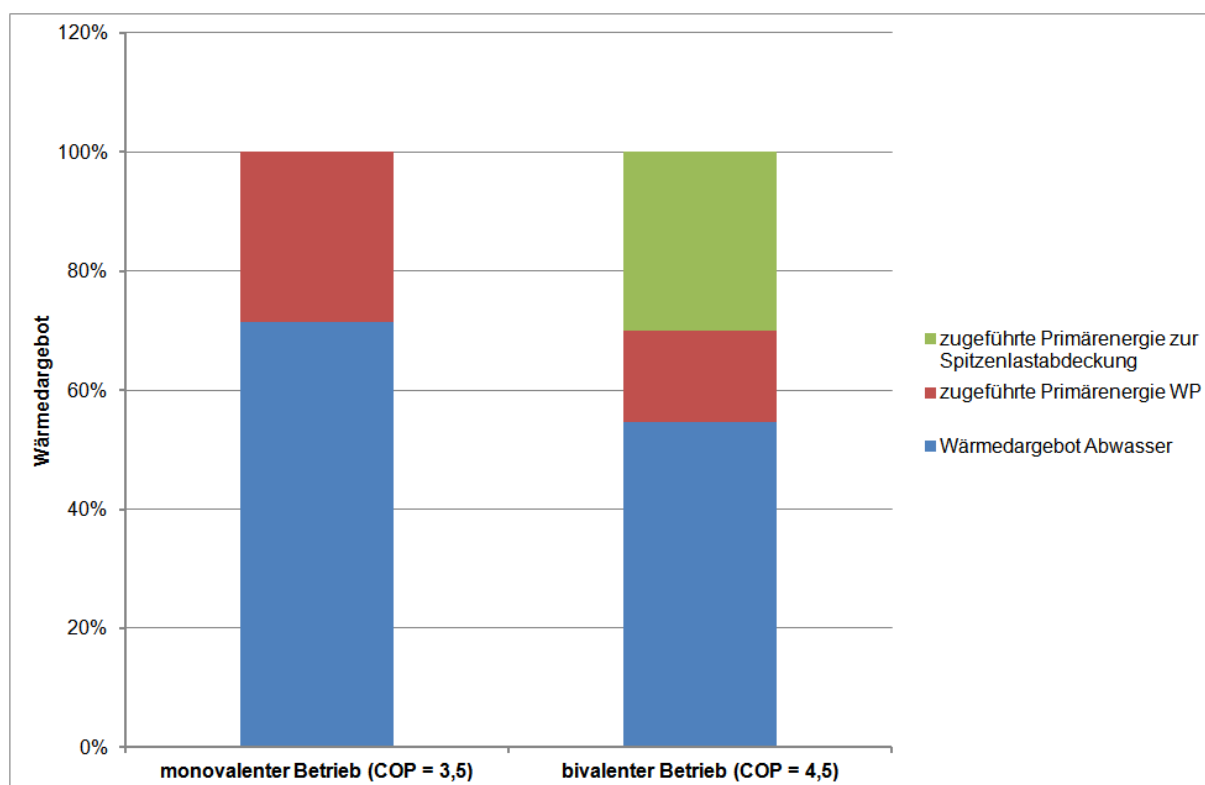


Bild 4-13: Beispiel für die Anteile von Abwasserwärme und Primärenergie an der Gesamtjahresheizleistung (skaliert auf 100 %) bei monovalenten Betrieb (COP = 3,5) und bivalent parallel Betrieb (COP = 4,5; Anteil der WP an Gesamtjahreswärmebedarf = 70 %)

Die unter diesen Annahmen in NRW realisierbaren Heizpotenziale werden, basierend auf den in Tabelle 4-2 aufgeführten Werten (ARGE 2011) nachfolgend abgeschätzt. Entsprechend ist das realisierbare Heizpotenzial bei monovalenten Anlagenbetrieb und einem COP von 3,5 in Tabelle 4-3 und für den bivalent parallel Anlagenbetrieb zusammengestellt.

Tabelle 4-3: Abschätzung des realisierbaren Heizpotenzials in NRW aus dem Kanal und aus kommunalen Kläranlagen bei monovalentem Anlagenbetrieb (COP = 3,5)

realisierbares Heizpotenzial in NRW aus dem Kanal und aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen monovalente Anlagen	
	Heizpotenzial Zulauf KA [kW]
Bemessungstemperatur Kläranlage 10 °C	470.000
Bemessungstemperatur Kläranlage 12 °C	311.000
	Heizpotenzial Ablauf KA [kW]
Technischer Grenzwert 5 °C	2.590.000

Tabelle 4-4: Abschätzung des realisierbaren Heizpotenzials in NRW aus dem Kanal und aus kommunalen Kläranlagen bei bivalent parallelem Anlagenbetrieb (COP = 4,5)

realisierbares Heizpotenzial in NRW aus dem Kanal und aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen bivalent parallelen Anlagen	
	Heizpotenzial Zulauf KA [kW]
Bemessungstemperatur Kläranlage 10 °C	616.000
Bemessungstemperatur Kläranlage 12 °C	407.000
	Heizpotenzial Ablauf KA [kW]
Technischer Grenzwert 5 °C	3.390.000

Da beim bivalent alternativen Betrieb die Spitzenheizlast vollständig über konventionelle Heizsysteme erbracht wird, können Abwasserwärmenutzungsanlagen auch dann installiert und wirtschaftlich werden, wenn das Abwasser die Bemessungstemperatur der angeschlossenen Kläranlage unterschreitet, die Wärmepumpe abgeschaltet und auf konventionellen Heizbetrieb umgeschaltet wird. Für die Abschätzung des Heizpotenzials wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Die Wärmepumpe stellt 70 % des Gesamtjahreswärmebedarfs.
- Der COP der WP liegt bei 4,5.
- Die dem Abwasser entziehbare Wärmemenge ergibt sich aus der Abwassertemperaturmittel im Zeitraum September bis Mai und der Kläranlagenbemessungstemperatur von 10 °C bzw. 12 °C.

Das unter diesen Annahmen generierbare Heizpotenzial ist in Tabelle 4-5 zusammengestellt.

Tabelle 4-5: Abschätzung des realisierbaren Heizpotenzials in NRW aus dem Kanal und aus kommunalen Kläranlagen bei bivalent alternativem Anlagenbetrieb (COP = 4,5)

realisierbares Heizpotenzial in NRW aus dem Kanal und aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen bivalent alternative Anlagen	
	Heizpotenzial Zulauf KA [kW]
Bemessungstemperatur Kläranlage 10 °C	2.013.000
Bemessungstemperatur Kläranlage 12 °C	1.131.000
	Heizpotenzial Ablauf KA [kW]
Technischer Grenzwert 5 °C	10.739.000

Für die Ermittlung des Gebäudeklimatisierungspotenzials wird davon ausgegangen, dass die Kälte ausschließlich über Wärmepumpen (COP 3,5) generiert wird und das Abwasser um 0,5 K erwärmt wird. Die dem Abwasser unter diesen Annahmen zugeführte Wärmeleistung beträgt in der Summe für NRW etwa 179.000 kW. Diese Wärme setzt sich aus der entzogenen Gebäudewärme und der aus der Wärmepumpe zugeführten (elektrischen) Leistung zusammen, sodass sich für den angenommenen COP eine Kühlleistung von lediglich 128.000 kW ergibt.

4.7 Potenzialkarten

In den vorangegangenen Ausführungen wurde aufgezeigt, unter welchen Annahmen welche Abwasserwärmeentzugs-, Heiz-, und Klimatisierungspotenziale in NRW im Kanal und aus dem Ablauf kommunaler Kläranlagen generiert werden können.

Unter Einbeziehung der Hoch- und Rechtswerte der Kläranlagen lassen sich die Potenziale für die Einzugsgebiete der Kläranlagen rechnergestützt darstellen, womit ein großer praktischer Nutzen für die jeweiligen Kläranlagenbetreiber bzw. der angeschlossenen Kommunen verbunden ist.

Retrospektiv lässt sich anhand der Karte für das jeweilige Kläranlageneinzugsgebiet das Abwasserwärmepotenzial ablesen und hieraus Prognosen für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb ableiten. In Bild 4-14 ist als Beispiel eine Karte des technisch realisierbaren Abwasserwärmeentzugspotenzials am Ablauf der kommunalen Kläranlagen (GK 1 – 5) in NRW dargestellt. Weitere Karten sind im Anhang 2 aufgeführt.

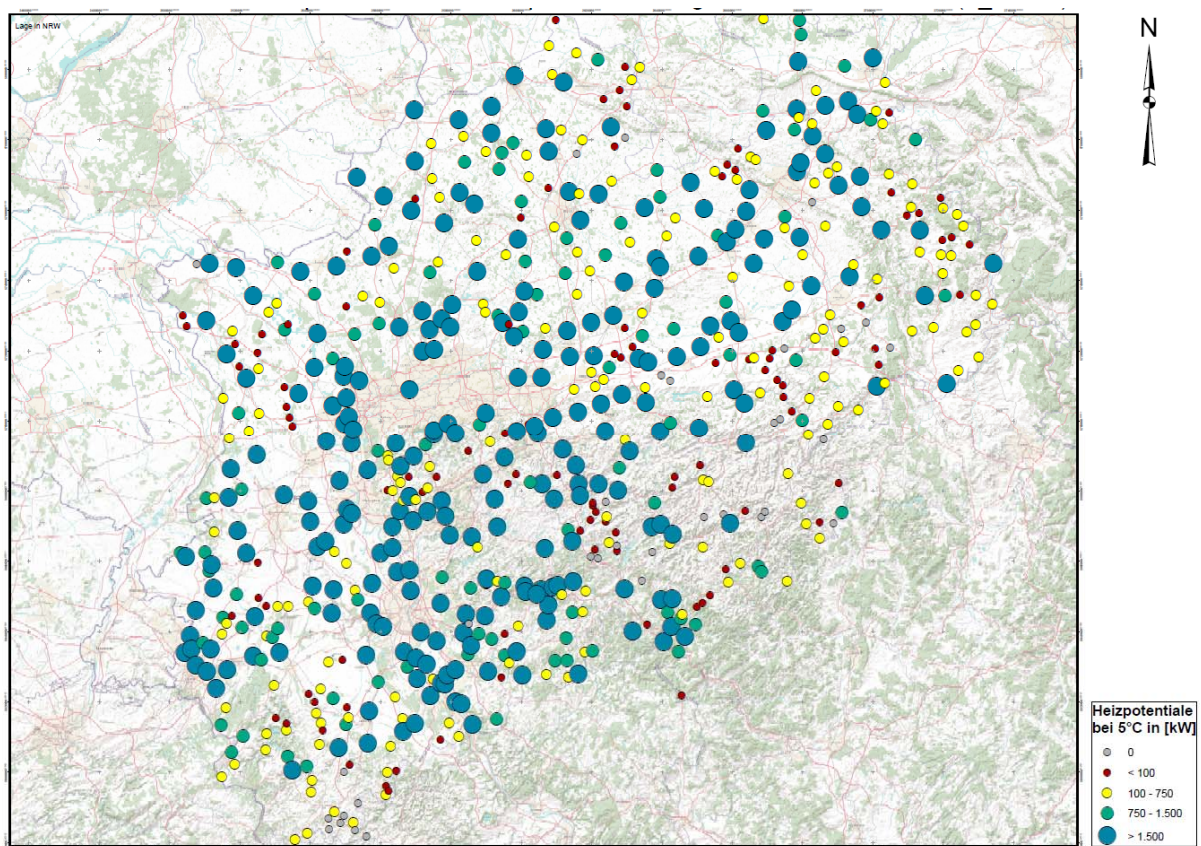


Bild 4-14: technisch realisierbares Abwasserwärmeentzugspotenzial für die kommunalen Kläranlagen (GK 1 - 5) in NRW

Planer müssen für eine Anlagenrealisierung auf der Kanal- und Abnehmerseite weitere Faktoren berücksichtigen (Tabelle 4-6), die zu einer deutlichen Reduzierung des Abwasserwärmepotenzials führen können. Maßgeblich ist hier die zu beachtende Mindestwassermenge, der Abstand zwischen Wärmequelle und Abnehmer und auf der Abnehmerseite eine aus wirtschaftlichen Gründen vorgegebene Mindestheizlast, um hier nur die wesentlichen Faktoren zu nennen.

Die genannten Faktoren, die schlussendlich zum Auffinden von geeigneten Standorten für Abwasserwärmenutzungsanlagen führen, werden im nachfolgenden Kapitel eingehend besprochen und sind an dieser Stelle deshalb in ihrer Entwicklung zusammengefasst wiedergegeben.

Tabelle 4-6: Entwicklung der technischen und wirtschaftlichen Einsatzbedingungen für Abwasserwärmenutzungsanlagen

		IKT 1998	DWA 2004	ARGE 2011
Kanal	Distanz	300 m	k. A.	1000 m
	Q_{\min}	15 l/s	15 l/s	12 l/s
	Kanaldurchmesser	800 mm	800 mm	500 mm
	Zugänglichkeit	k.A.	k.A.	berücksichtigt
	Baustelleneinrichtung	k.A.	k.A.	berücksichtigt
Abnehmer	Heizlast	500 kW	100 – 150 kW	100 - 150 kW
	Abwassereinleitung	k. A.	> 5.000 angeschl. E	k. A.
	Sanierung bestehender Heizanlagen	berücksichtigt	k. A.	berücksichtigt
	Fernwärme	berücksichtigt	k. A.	berücksichtigt
	Erdgasgebiete	berücksichtigt	k. A.	berücksichtigt
Kläranlage	Bemessungstemperatur	berücksichtigt	berücksichtigt	berücksichtigt

5 Methodik zur Suche nach geeigneten Standorten

Ausgehend von den vorgängigen Untersuchungen über die Grenzen der Abkühlung oder Erwärmung seitens Kläranlagenbetrieb oder Gewässerschutz wird das Potenzial vor und nach der Kläranlage ermittelt.

Für die Realisierung einer AWWNA sind das verfügbare Wärmepotenzial zu berechnen sowie die baulichen Erschließungsmöglichkeiten abzuklären. Die Wärmemenge, die insgesamt aus einem Kanalnetz oder auf bzw. nach der Kläranlage gewonnen (oder im Falle des Kühlens eingespeist) werden kann, berechnet sich aus

- der verfügbaren Abwassermenge und
- der nutzbaren Temperaturdifferenz des Abwassers.

5.1 Bedingungen für geeignete Standorte

5.1.1 Abfluss

Bedingung für die Abwasserwärmenutzung ist ein kontinuierlich genügend hoher Abfluss auf der Kläranlage oder im Kanal. Aus Erfahrungen ist bekannt, dass aufgrund wirtschaftlicher und technischer Gründe die Wärmegewinnung aus Abwasser üblicherweise eine Wassermenge von mindestens 12 – 15 l/s (Tagesmittelwert bei Trockenwetter) erfordert.

Die permanent verfügbare Abwassermenge ergibt sich aus der Tagesabflussganglinie bzw. durch die Aufsummierung aus der Abflussdauerkurve (Bild 4-1). Die zur Verfügung stehende Wassermenge für den relevanten Trockenwetterfall lässt sich rechnerisch aus den Einleitungen ermitteln oder kann dem Generalentwässerungsplan (GEP) entnommen werden.

Es ist wichtig bereits bei einer ersten Beurteilung der verfügbaren Wärmepotenziale für die Abwasserwärmenutzung zukünftige Entwicklungen und Projekte auf der Kläranlage oder im Kanalnetz zu berücksichtigen, da die Abflussmenge steigen oder auch sinken kann und sich die Anforderungen an die nutzbare Temperatur ändern kann. Stammen zum Beispiel ein großer Anteil der Abwassermenge bzw. die hohen Abwassertemperaturen von einem Industriebetrieb und besteht die Gefahr, dass dieser stillgelegt wird, so würde die Abwassermenge und das Wärmeangebot sinken. Wird ein Neubaugebiet zusätzlich angeschlossen oder werden Kanäle zusammengelegt, ändern sich die Abflüsse ebenfalls, wobei die Schmutzwasserabflüsse im Trennsystem relativ konstant sind.

5.1.2 Abwassertemperatur

Wie bei der Abwassermenge, sind bei der Wärmegewinnung aus Abwasser Kenntnisse über die Temperaturverhältnisse des Abwassers sowie die jahreszeitlichen und täglichen Schwankungen - immer im Vergleich zum Verlauf des Wärmebedarfes - sehr wichtig.

Höhere Abwassertemperaturen erlauben eine größere Abkühlung und damit einen größeren Wärmeentzug. Günstig sind Voraussetzungen, wenn die Abwassertemperatur auch im Winter über der Dimensionierungstemperatur der Kläranlage liegt. Die Daten werden in der Abflussganglinie und der Abflussdauerkurve hinterlegt. Auch hier sind die Temperaturverhältnisse der Nachtstunden zu berücksichtigen, da dann zudem gleichzeitig Minimumabfluss auftritt, wobei in der Nacht auch der Heizbedarf geringer ist. Eine Abkühlung des Abwassers durch den Entzug von Wärme ist in der Regel unproblematisch, sofern die Abwassertemperatur im Zulauf der Abwasserreinigungsanlage (ARA) die Bemessungstemperaturen nicht unterschreitet.

5.1.3 Kanalisation

Es sind vor allem Kanäle mit mehr als 15 l/s Abwassermenge geeignet für die Wärmenutzung aus Abwasser. Bei Kanälen mit einem Durchmesser von mehr als 800 mm wird die Zugänglichkeit für die baulichen Arbeiten sowie den Unterhalt erleichtert, so dass eine größere Auswahl an Wärmetauschersystemen zur Verfügung steht. Bei kleineren Kanälen kann ein Wärmetauscher im Bypass-System gebaut werden (vgl. Bild 3-19, S. 20).

Die Wärmeengewinnung aus Abwasser sollte spätestens bei anstehenden Erneuerungsarbeiten oder Sanierungen von Kanälen vom Kanalnetzbetreiber ins Auge gefasst und - sofern sich potenzielle Abnehmer in der Nähe befinden - eine Nutzung geprüft werden, da im Sanierungsfall der Einbau eines Wärmetauschers einfacher und somit auch billiger wird. Beim Neubau von Kanälen gilt dies ohnehin.

Von der technischen Seite her sind für die Nutzung eines Kanals zur Wärmeentnahme auch die benutzbare Kanallänge, das Gefälle, das Profil des Kanalrohrs sowie die maximal mögliche Reduktion des Kanalquerschnitts durch den Einbau des Wärmetauschers zu berücksichtigen. Weist ein Kanal beispielsweise ein sehr geringes Gefälle auf, so besteht die Gefahr der Sedimentation, was die Wärmeentzugsleistung des Wärmetauschers negativ beeinflussen würde. Die mögliche Reduktion des Kanalquerschnitts ergibt sich aus einer Gegenüberstellung des maximalen Abflusses bei Starkregen (gemäß GEP) und des aufgrund des Kanalquerschnitts maximal möglichen Abflusses. Ist eine Reduzierung des Kanalquerschnittes nicht möglich, kann der Wärmeentzug ebenfalls im Bypass außerhalb der Kanalisation erfolgen. Das Bypass-System hat deshalb gänzlich unterschiedliche Anforderungen an die Kanal- und Abwassersituation und dadurch andere Einsatzmöglichkeiten (z. B. bei kleinen Kanaldurchmessern) als Rinnenwärmetauscher.

5.1.4 Distanz zum Abnehmer

Der Bau der Verbindungsleitung vom Kanal oder der Kläranlage zur Heizzentrale des Abnehmers kann einen wichtigen Kostenpunkt darstellen. Deshalb sind die Distanz und die örtlichen Gegebenheiten wichtige Faktoren bei der Ermittlung von geeigneten Standorten für

die Abwasserwärmenutzung. Je näher ein Gebäude bei der Abwasserentnahmestelle liegt, desto kostengünstiger lässt sich die Wärmegewinnung realisieren.

Der Einfluss der Distanz wurde mit zwei Methoden untersucht:

- theoretisch berechnet (für nicht bebauten Gebiet)
- anhand von konkreten Fällen (12 Machbarkeitsstudien)

Die Kosten für den Leitungsbau wurden für den günstigen Fall theoretisch berechnet, wenn das Gelände noch nicht überbaut ist und keine sonstigen Hindernisse oder Erschwernisse die Kosten verteuern. Diese theoretischen Berechnungen zeigen, dass auch größere Distanzen wirtschaftlich überwunden werden können. Für Abnehmer mit einem Wärmebedarf von z. B. 500 kW können in überbauten Gebieten durchaus Distanzen von 500 m mit wirtschaftlich vertretbaren Investitionen erschlossen werden, bei Abnehmern mit 1 MW sogar Distanzen bis zu 1.000 m und mehr. Aus der untenstehenden Tabelle wird aber auch ersichtlich, dass es hier keine klare Grenze geben kann, sondern nur Bereiche angegeben werden können. Denn selbst bei einer Anlage mit z. B. 500 kW ist die Wirtschaftlichkeit bei 1.000 m nur um 8 % nicht erreicht; bei einer entsprechenden Annahme über die zukünftige Energiepreisentwicklung können aber auch solche Distanzen wirtschaftlich machbar werden. Bei kleineren Anlagen mit 250 kW und darunter haben hingegen die Distanz bzw. die Leitungskosten einen sehr viel größeren negativen Einfluss wie bei den größeren Anlagen. Nachfolgende Tabelle zeigt den wirtschaftlichen Einfluss der Distanzen zwischen Abwasserquelle und Abnehmer in unbebautem Gelände.

Tabelle 5-1: Einfluss der Distanzen zwischen Abwasserquelle und Abnehmer in unbebautem Gelände auf die Wirtschaftlichkeit von Abwasserwärmenutzungsanlagen⁶

Distanz zu Abnehmer	Größe der Abnehmer (Wärmeleistungsbedarf)		
	250 kW	500 kW	1.000 kW
0 m	97 %	80 %	79 %
500 m	139 %	101 %	97 %
1.000 m	160 %	108 %	103 %

Kann für die Leitungsführung im Idealfall eine bestehende Verbindung - beispielsweise ein Seitenkanal - genutzt werden, lassen sich die Kosten weiter senken.

⁶ Bei 100% herrscht ein Projektkostenbarwertgleichgewicht zwischen der Abwasserwärmenutzungsanlage und einem konventionellen Heizsystem. Liegen die Werte unter 100%, ist die Abwasserwärmenutzung wirtschaftlicher als ein konventionelles Heizsystem

Besonders geeignet sind auch Neubaugebiete, wenn neue Leitungen sowieso verlegt werden müssen und so Synergien für den Bau genutzt werden können. Umgekehrt wird die wirtschaftlich zulässige Distanz durch Hindernisse wie Gewässer, Straßen, Felsen etc. entsprechend verringert.

Obige theoretische Herleitungen wurden an konkreten Praxisbeispielen überprüft und von der Tendenz her bestätigt. Die 12 Machbarkeitsstudien (Kapitel 6) wurden an ganz konkreten Projekten durchgeführt und die Investitionen für die einzelnen Anlageteile ausgewiesen. Die Auswertung der Machbarkeitsstudien zeigt, dass mit größerer Distanz zum Abnehmer die Kosten für den Leitungsbau vor allem bei den kleineren Objekten beträchtlich ansteigen (Bild 5-1). Es muss aber auch deutlich darauf hingewiesen werden, dass im Einzelfall örtliche Hindernisse oder ungünstige Gegebenheiten die Kosten für den Leitungsbau ganz massiv erhöhen können, weshalb dies jeweils immer individuell abzuklären ist.

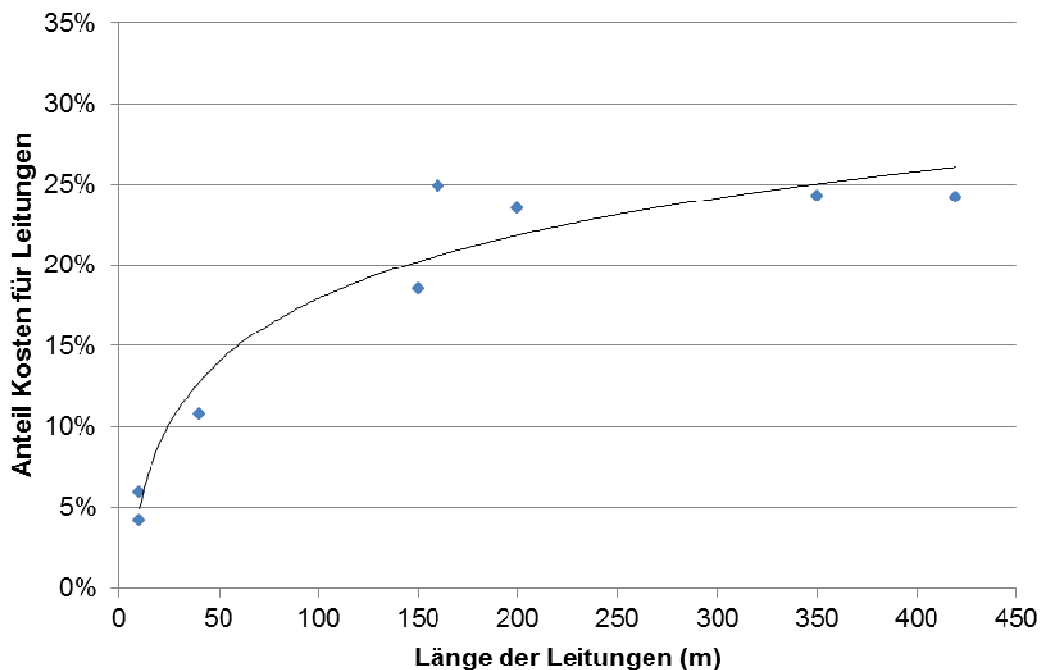


Bild 5-1: Anteil der Kosten für Leitungen

5.1.5 Abnehmer

Geeignete Abnehmer von Wärme oder Kälte sind Neubaugebiete, Siedlungen, größere Gebäude wie Wohnsiedlungen, Schulen, Industrie- oder Gewerbebauten sowie Gebiete mit hoher Bebauungsdichte in der Nähe eines Abwasserkanals. Auch Hallenbäder sind beispielsweise gute Abnehmer, da sie einen ganzjährigen hohen Warmwasserverbrauch haben.

Insbesondere lohnt sich aus Kostengründen die Überprüfung zur Abwasserwärmenutzung bei geplanten Neubauten oder Sanierungen des Gebäudes oder der Heizung. Beispielsweise wenn der Heizkessel eines bestehenden Gebäudes ohnehin saniert werden muss.

Je größer der Wärmebedarf oder je höher die Bebauungsdichte und somit die Wärmenachfragedichte sind, desto wirtschaftlicher lässt sich eine einzelne Abwasserwärmenutzungsanlage oder ein Nahwärmenetz mit Abwasserwärme betreiben.

Wichtig für die Anwendung der Abwasserwärmenutzung ist das benötigte Temperaturniveau (in Abhängigkeit mono- oder bivalenter Anlagen sowie in Kombination mit Blockheizkraftwerken) des Abnehmers. Je tiefer die Temperaturen der Energienutzung liegen, desto effizienter arbeiten die Wärmepumpen. Besonders gute Voraussetzungen für die Wärmenutzung aus Abwasser bieten deshalb Neubauten mit Niedertemperaturheizsystem. Abnehmer wie Industrien oder Gewerbe mit Prozesswärme, die hohe Vorlauftemperaturen benötigen, können hingegen nicht mit Abwasserwärme versorgt werden.

Eine höhere Effizienz der Wärmepumpen kann erreicht werden, wenn bivalente Anlagen eingesetzt werden, da bei tiefen Außenlufttemperaturen bzw. höheren Vorlauftemperaturen an den kältesten Wintertagen ein konventioneller Heizkessel zugeschaltet werden kann.

Dadurch kann die Wärmepumpe bevorzugt bei tieferen Vorlauftemperaturen betrieben werden. Noch größer ist die Wirkung, wenn die Wärmepumpe mit einem Blockheizkraftwerk kombiniert wird, da die Abwärme vom BHKW auf einem hohen Temperaturniveau von über 85 °C anfällt und die Wärmepumpe dadurch unterstützen kann. Mit bivalenten Anlagen und/oder in Kombination mit BHKW kann die Abwasserwärmenutzung auch in bestehenden Gebäuden mit üblichen Vorlauftemperaturen eingesetzt werden und nicht nur in Neubauten mit tiefen Vorlauftemperaturen.

Relevant für die Abwasserwärmenutzung sind der Energiebedarf sowie dessen Verteilung über das Jahr. Eingesetzt werden kann die Abwasserwärmenutzung bei Gebäuden mit einem Leistungsbedarf von mindestens 150 kW, was dem Bedarf von rund 20 bestehenden Wohneinheiten entspricht. Vorteilhaft für die Abwasserwärmenutzung ist ein möglichst ganzjähriger Wärmebedarf, der lange Betriebszeiten der Wärmepumpe ermöglicht (z. B. Hallenbäder mit Bedarf an Raumheizung oder Warmwasser auch im Sommer). Kann im Sommer Kanalabwasser auch zum Kühlen genutzt werden, lässt sich die Investition besser ausnutzen und die Anlage wird wirtschaftlicher.

Weiter müssen auch die baulichen Voraussetzungen sowie Auflagen und Rechte betrachtet werden. Es muss beispielsweise geprüft werden, ob genügend Raum für die Installationen vorhanden ist oder Einschränkungen durch die bestehende Energieversorgung (z. B. Fernwärme, Erdgas) bestehen.

Wärmedargebot und potenziell geeignete Abnehmer können aufgrund der Anforderungen an die Energiequelle, des Standortes und der Voraussetzungen der Abnehmer auf zwei unterschiedliche Vorgehensweisen ermittelt werden:

- pragmatische Vorgehensweise: gezielte und rasche Ermittlung der interessantesten Standorte in einer Gemeinde

- systematische Vorgehensweise: flächendeckende Ermittlung in einer oder mehreren Gemeinden (Region) von allen geeigneten Standorten bzw. der geeigneten Gebiete

5.2 Pragmatische Vorgehensweise

5.2.1 Einführung

Um in einer Gemeinde rasch die interessantesten Standorte zu ermitteln, werden die wichtigsten Partner zusammengebracht und unter Leitung eines erfahrenen Fachmannes ein Gespräch organisiert. Wichtige Partner sind dabei die Kläranlagenbetreiber sowie Stadtentwässerung und Vertreter der Gemeinden. Da die Gemeinde nicht nur übergeordnete/koordinierende Funktion hat, sondern mit seinen Schulen, Heimen, Verwaltungs-, Sportbauten etc. auch ein äußerst interessanter Bauherr von größeren Liegenschaften darstellt, ist auch der Einbezug von Liegenschaftsverwaltung/Hochbauamt der Gemeinde besonders interessant.

Bereits vor dem Treffen wird durch eine Sichtung von Kartenunterlagen oder über die Kläranlagen-/Kanalsituation aus dem Internet rasch die Ausgangslage vom Fachexperten abgeschätzt. Allenfalls wird auch ein Vorgespräch mit dem Kläranlagenbetreiber geführt, um in einem ersten Schritt zu prüfen, ob eine Wärmeentnahme aus dem Abwasser überhaupt Chancen hat. Bei kleineren Gemeinden unter 3.000 – 5.000 Einwohnern ist die Ausgangslage aufgrund der Erfahrungen eher seltener günstig, bei Gemeinden über 10.000 Einwohnern meistens gegeben. Erst wenn Ansatzpunkte vom Fachmann für die Möglichkeiten der Abwasserwärmenutzung erkannt werden, wird ein Treffen organisiert.

Innerhalb eines gemeinsamen Gesprächs zwischen Kommunalvertretern (Bürgermeister, Bauamt, Abwasserentsorger, Kanalnetzbetreiber, ev. Energieversorger) und dem externen Fachmann können effizient und rasch die interessanten Standorte für Abwasserwärmenutzungsanlagen identifiziert werden. Neubaugebiete und kommunale Gebäude stehen dabei zunächst im Vordergrund. Weiter werden auch größere private Gebäude berücksichtigt.

Für diese geeigneten Standorte sollen dann in einem nächsten Schritt Machbarkeitsstudien erstellt werden.

Bei dieser pragmatischen Vorgehensweise werden nur wenige Grundlagen benötigt, welche bei jeder Gemeinde und der Stadtentwässerung vorhanden sind:

- Gemeinde: Stadtplan in dem in der Regel die größeren öffentlichen Bauten bereits farbig eingetragen sind
- Stadtentwässerung: Kanalisationsplan mit größeren Kanälen
- Kläranlagenbetreiber: monatliche Abwassermenge und Temperatur der letzten 2 – 3 Jahre, Dimensionierungstemperatur der Anlage

- Hochbauamt: Liste der größten Gebäude bzw. Gebäudekomplexe (mit Angaben zum Energieträger, Kesselleistung, Alter der Heizung, Gebäude klimatisiert oder gekühlt)

Zunächst informiert der Fachmann alle Anwesenden kurz über die Vorteile und Möglichkeiten, aber auch über die Anforderungen für einen wirtschaftlichen Einsatz der Abwasserwärmenutzung. Danach wird mit dem Kläranlagenbetreiber aufgrund der Grundlagen diskutiert und ermittelt, welche Temperaturdifferenz vor der Kläranlage entnommen werden können und gleich auch das Energiepotenzial für die Wärmeentnahme vor und nach der Kläranlage überschlägig hochgerechnet (dies kann allenfalls auch ein Telefongespräch vorbesprochen werden). Danach werden ein Radius rund um die Kläranlagen von 500 und 1.000 m und – sofern sich eine entsprechende nutzbare Temperaturabkühlung vor der Kläranlage ergibt – auch die ungefähre Linienführung der größeren Kanäle mit mehr als geschätzten 15 l/s Trockenwetter in den Stadtplan von Hand eingezeichnet.

In entsprechender Distanz von den Abwasserquellen werden dann größere Liegenschaften oder Neubaugebiete gesucht. Bei den möglichen Abnehmern wird mit den anwesenden Gemeindevertretern diskutiert, ob bei den einzelnen Objekten Bedingungen vorliegen, die gemäß o. g. Kriterien eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Nutzung von Abwasserwärmenutzungsanlagen ausschließen. Wichtig dabei sind u.a., ob die Heizzentrale neu ist, ob normale oder tiefe Vorlauftemperaturen herrschen, ob bei den Neubaugebieten in einem entsprechenden Zeitraum auch realistischerweise mit einer Überbauung gerechnet werden kann oder nicht.

Mit diesen ortskundigen Partnern gelingt es ausgewiesenen Fachleuten innerhalb von 1 – 2 Stunden in der Regel die interessantesten Standorte einer kleiner bis mittleren Gemeinde zu ermitteln oder einem entsprechenden Quartier von einer Großstadt. Häufig müssen noch bei offenen Punkten die Gemeindevertreter Angaben oder Unterlagen dazu nachliefern. Der Fachmann erläutert danach das sinnvolle weitere Vorgehen, von weiteren Abklärungen über mögliche Killerkriterien oder bei positiver Ausgangslage die Erstellung einer Machbarkeitsstudie. Dabei können auch gleich die Möglichkeiten von modernen Finanzierungsformen wie einem Contracting aufgezeigt werden, um Vorbehalten wegen den anrollenden Investitionen vorzubeugen. Er muss die Gemeindevertreter überzeugen und motivieren, dass sie die weiteren Schritte bei den stadt eigenen Bauten vornehmen oder Verbindungen zu den privaten Bauherren herzustellen.

Die Methode bietet den Vorteil auf rasche und kostengünstige Art konkrete vielversprechende Standorte für eine mögliche Abwasserwärmenutzung zu eruieren. Diese Projekte können als Initialzündung für weitere Projekte auch bei privaten Bauherren eine wichtige Vorbildfunktion haben. Die wichtigsten betroffenen Akteure kommen bereits zu einem frühen Zeitpunkt zusammen und werden eingebunden. Somit können mögliche Probleme und Hindernisse frühzeitig erkannt und angegangen werden.

Mit der pragmatischen Methode wurden in der Vergangenheit gute Erfahrungen gemacht. In zahlreichen Programmen vor allem in der Schweiz, aber auch in Deutschland (Baden-Württemberg) konnten mit dieser Vorgehensweise rasch interessante Standorte ermittelt werden und Standorte mit ungünstigen Voraussetzungen ausgeschlossen werden. Dank der kostenlosen Beratung durch einen externen neutralen Berater und einer finanziellen Förderung der Studien wurden in Baden-Württemberg innert kurzer Zeit zahlreiche Machbarkeitsstudien ausgelöst und auch diverse Anlagen umgesetzt.

Nachteilig an der beschriebenen pragmatischen Herangehensweise ist, dass die Ergebnisse nur einem eingeschränkten Nutzerkreis, nämlich den Teilnehmern am runden Tisch, verfügbar sind und damit dem Haupthindernis bei der Verbreitung dieser Technologie, nämlich Unkenntnis bei Planern und Bauherren, nur sehr unzureichend entgegengewirkt wird.

5.2.2 Vorgehen am Beispiel des Landes Baden-Württemberg

Das Umweltministerium von Baden-Württemberg hat sich zum Ziel gesetzt, die Abwasserwärmenutzung gezielt anzugehen und die Potenziale auch umzusetzen. Zu diesem Zweck hat sie einen externen neutralen Gutachter beigezogen und für diese Aufgabe beauftragt.

In einem ersten Schritt wurden alle größeren Gemeinden/Städte im Land angeschrieben, um das Interesse an einer Beteiligung zu einem Projekt Abwasserwärmenutzung zu ermitteln. Dabei wurden den Gemeinden auch Förderbeiträge an Studien sowie eine kostenlose neutrale Vorgehensberatung angeboten.

In einem zweiten Schritt wurden bzw. werden immer noch die interessierten Gemeinden direkt vom Gutachter kontaktiert. Per Telefon werden die wichtigsten Kriterien für den Einsatz einer Abwasserwärmenutzung abgefragt und die Chancen für die Umsetzung diskutiert. Damit klärt der Gutachter, ob eine persönliche Beratung vor Ort sinnvoll und zielführend erscheint. Bei positivem Ergebnis wird eine Sitzung vor Ort mit den Entscheidungsträgern der Gemeinden sowohl seitens Stadtentwässerung wie auch seitens potenzieller Abnehmer, insbesondere von öffentlichen Gebäuden, vereinbart.

An der Sitzung werden folgende Punkte geprüft:

- Wurden bereits entsprechende Untersuchungen durchgeführt oder sogar Anlagen in der Gemeinde realisiert?
- Abwärmeangebot:
 - Ist das nutzbare Wärmeangebot aus dem Abwasser der Kläranlage ausreichend?
 - Sind größere Kanäle mit mutmaßlich ausreichend Abwasser vorhanden und wo?
- Potenzielle Abnehmer:

- Sind rund um die Kläranlage bzw. in der Nähe der ausgewählten Kanäle und entsprechender Distanz potenzielle Abnehmer vorhanden, primär gemeindeeigene, aber auch andere öffentliche oder private Gebäude. Zu diesen Objekten wird nachgefragt, ob nicht bereits ein erneuerbarer Energieträger genutzt wird (um unsinnige Konkurrenzierung zu vermeiden), die Sanierung der Heizanlage ansteht (oder noch besser das Gebäude saniert oder sogar neu gebaut werden muss), wie groß der Wärmebedarf (Heizleistung in kW oder Heizenergieverbrauch in kWh/a) ist, ob generell der Einsatz der Abwasserwärmenutzung sinnvoll ist und ob der Bauherr auch grundsätzlich interessiert an der Umsetzung ist, wenn die Studien ein positives Ergebnis zeigen.
- Aufgrund dieser Angaben wird der Gemeinde eine Empfehlung gemacht:
 - ob und welche Gebäude sich ev. für eine Abwasserwärmenutzung eignen könnten,
 - ob und bei welchen Objekten die Durchführung von Machbarkeitsstudien oder eventuell Potenzialstudien empfehlenswert sind,
 - wie das weitere Vorgehen ist, welche Büros mit Erfahrungen für eine Offerte für die Studien angefragt werden können und wie Gesuche zur Förderung der Studien eingereicht werden können.

Erfahrungen zeigen, dass die Gemeindevertreter nicht sofort über die Durchführung der Machbarkeitsstudien entscheiden können, da sie zuerst noch Datengrundlagen erfragen und einen Entscheid mit verschiedenen betroffenen Ämtern in der Gemeinde herbeiführen müssen, auch wegen der Finanzierung der Studien. Bei vielen Objekten handelt es sich zudem nicht um gemeindeeigene Gebäude, weshalb zuerst Kontakt mit dem Bauherrn aufgenommen, dieser informiert und vor allem auch zur Teilnahme am Projekt überzeugt werden muss.

Die Begleitung der Gemeinden durch einen neutralen Gutachter ist von hoher Priorität. Sie bietet Unterstützung zu Fragen über das weitere Vorgehen, ob sie das Projekt aufgrund der Studienresultate weiterverfolgen sollen oder nicht, falls ja ob sie die Anlagen in Eigenregie oder im Contracting realisieren sollen oder wie sie zu einem geeigneten Contractor kommen.

Die Erfahrungen in Baden-Württemberg und der Schweiz haben gezeigt, dass die Sitzung, bei welcher die Planer die Machbarkeitsstudien den Bauherren vorstellen, der entscheidende Punkt für die Weiterführung ist.

Einerseits ist für die Gemeinden/Bauherren sehr wichtig, dass sie im Sinne einer Qualitätssicherung auch eine Drittmeinung hören können, die erstens neutral und zweitens kompetent und drittens sich auf die Erfahrungen mit zahlreichen Realisierungen abstützen kann und sie neutrale Informationen über die Abwicklung von solchen Projekten bzw. mögliche Finanzierungs- und Organisationsmodelle erhalten.

5.3 Systematische Vorgehensweise

5.3.1 Einführung

Das Ziel der systematischen Vorgehensweise ist die flächendeckende Ermittlung aller möglichen bzw. technisch sinnvollen Standorte für Wärmetauscheranlagen in einem Entwässerungssystem sowie die Erfassung von Gebäuden in deren Umfeld. In einer Karte können hiernach das nutzbare Wärmedargebot und die möglichen Nachfrager flächendeckend eingezeichnet und daraus systematisch die für eine Nutzung geeigneten konkreten Standorte ermittelt und gekennzeichnet werden.

Für die Lokalisierung von geeigneten Standorten werden die Kriterien entsprechend Abschnitt 5.1 sowie Ausschlusskriterien (z. B. bestehende Fernwärmenetze) überprüft und visualisiert.

Die Abwasserwärmepotenzialkarte bietet sich damit als Instrument an, um die potenziellen Liegenschaftsbesitzer mit entsprechender Ausgangslage zu ermitteln und diese über ihre guten Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien wie der Abwasserwärmenutzung dank der Visualisierung anschaulich zu informieren. Umgekehrt können, sofern die Karte veröffentlicht wird, Bauherren und Planer über die Potenzialkarte abschätzen, ob ein neu zu erstellendes Gebäude sinnvoll über eine Abwasserwärmeanlage beheizt werden kann.

5.3.2 Leitlinien für die Erstellung der Abwasserwärmepotenzialkarte

5.3.2.1 Einführung

Als Hilfestellung für Abwasserfachleute, Planer oder städtische Verantwortliche werden im Folgenden Leitlinien zum Vorgehen und zu den Vorgaben für die einzelnen Schritte zur Erstellung einer Energiekarte aufgezeigt.

Dabei sollen Lösungen zu folgenden Fragen aufgezeigt werden:

- Welche Daten werden benötigt?
- Wo können diese Daten bezogen werden?
- Wie kann die Datenqualität sichergestellt werden?
- Nach welchen Kriterien können mögliche Maßnahmen priorisiert werden?

5.3.2.2 Datenerfassung

Für die Erstellung von Energiekarten zur Visualisierung und Findung von geeigneten Standorten für Abwasserwärmenutzungsanlagen sind entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 5.1 unterschiedliche Datensätze der Bereiche Kanal, Energienetze wie Fernwärme, Abwasserbehandlung, ggf. Indirekteinleiter sowie potentielle Abwasserwärmenutzer in entsprechenden Datenbanken zusammenzuführen und zu validieren.

Im Folgenden sind die erforderlichen Informationen zusammengestellt:

Infrastrukturdaten

- Flächendeckend georeferenziert
 - Stadtgrundkarte
 - Kanalisation
 - Sonderbauwerke
 - Fernwärmenetz
 - Liegenschaften der Stadt bzw. weiterer größerer Liegenschaftsbetreiber (z. B. Hochschulen oder Wohnungsbaugenossenschaften)
- Punktuell / analog / temporär
 - Kanalsanierungsmaßnahmen, Kanalneubauten
 - Abflussmessungen an Sonderbauwerken
 - Drosselwassermenge an Sonderbauwerken
 - Abfluss- und Temperaturmessungen

Abwasserdaten

- Entwässerungssystem (Misch- bzw. Schmutzwasserkanäle)
- Trockenwetterabfluss sofern vorhanden bzw. abgeleitet aus Abflussmessungen
- Bemessungstemperatur der Kläranlage
- Größe und Querschnitt der Kanäle (geringer Querschnitt ist kein Ausschlusskriterium, aber wichtig für die anschließende Wahl des Wärmetauschersystems)

Die zu erhebenden Daten sollten nach Bereichen zusammengefasst (Tabelle 5-2) werden und weiter nach den spezifischen Informationen aufgeschlüsselt und mit Bezugsquellen, notwendigen Formaten, den verantwortlichen Personen und sonstigen Bemerkungen hinterlegt werden.

Durch die Festlegung einer Datenhierarchie entsteht eine Priorisierung in Bezug auf die Anforderungen des Nutzers und in Bezug auf die Datenbeschaffung. Die verwendeten Daten sind im Zuge der steigenden Qualitätssicherung auf Plausibilität, Genauigkeit, Vollständigkeit und Aktualität zu überprüfen und für die weitere Bearbeitung freizugeben.

Tabelle 5-2: Mögliche Zusammenstellung von Datenquellen und Datentransfer für die Erstellung von Abwasserwärmepotenzialkarten

Matrix für den Datentransfer		Stand: 26.06.2011			
Nr.	Information	Quelle	Format	Verantwortlich für Lieferung	Bemerkung
1 Kanalstammdaten					
1.1	Nennweite	Stadtwerke-GIS	Shape	Herr Mustermann	
1.2	Profil	Stadtwerke-GIS	Shape	Herr Mustermann	
1.3	Material	Stadtwerke-GIS	Shape	Herr Mustermann	
1.4	Abwasserart (SW, MW)	Stadtwerke-GIS	Shape	Herr Mustermann	
1.5	Linienführung und Lage	Stadtwerke-GIS	Shape	Herr Mustermann	
1.6	Alter und Zustand	Stadtwerke-GIS	Shape	Herr Mustermann	
1.7	Straßenname	Stadtwerke-GIS	Shape	Herr Mustermann	
1.8	Zugänglichkeit	nicht möglich	-	-	lässt sich graphisch nicht darstellen, entfällt
1.9	Maßnahmenplanung	Stadtwerke-GIS	xls	Herr Mustermann	Maßnahmenliste Abwasser (haltungsbezogen)
2 Fernwärmedaten					
2.1	Netzdaten	Stadtwerke-GIS	dxg	Herr Mustermann	
2.2	Abnehmer	Stadtwerke-GIS	dxg	Herr Mustermann	
2.3	Planung Fernwärme	Stadtwerke-GIS	pdf	Herr Mustermann	FW-Verdichtungsgebiet, FW-Erwartungsgebiet
3 Abwasserdaten					
3.1	Temperatur	Messwerte UWB	offen	Herr Mustermann	z.Z. keine Daten, Messungen geplant
3.2	Durchfluss	Stadtwerke-GEP	offen	Herr Mustermann	
3.3	Fließgeschwindigkeit	Stadtwerke-GEP	offen	Herr Mustermann	Anforderung wird zunächst zurückgestellt, da Daten z.Z. nicht vollständig lieferbar.
3.4	Füllstand	Stadtwerke-GEP	offen	Herr Mustermann	
3.5	Auslastungsgrad	Stadtwerke-GEP	offen	Herr Mustermann	
3.6	Drosselabflüsse Regenbecken	Messwerte Wasserverband	xls	Herr Mustermann	Daten für 2008 in Abstimmung mit Hr. Mustermann/Wasserve
4 Indirekteinleiter					
4.1	Ort	Stadtwerke-BFS	xls	Herr Mustermann	
4.2	Fließrichtung	Stadtwerke-BFS	xls	Herr Mustermann	Auszug aus BFS in Abstimmung mit Hr. Mustermann
4.3	Einleittemperatur	Messwerte UWB	offen	Herr Mustermann	wenn keine Daten vorhanden, dann Messungen geplant
4.4	Sonstige Werte	Messwerte IWA	offen	Herr Mustermann	wenn keine Daten vorhanden, dann Messungen geplant
5 Thermalquellen					
5.1	Ort der Quelle	UWB	offen	Herr Mustermann	Anfrage an UWB läuft
5.2	Einleitungsstelle Kanal	UWB	offen	Herr Mustermann	Anfrage an UWB läuft
5.3	Temperatur	UWB	offen	Herr Mustermann	Anfrage an UWB läuft
5.4	Sonstige Werte	UWB	offen	Herr Mustermann	Anfrage an UWB läuft
6 potentielle Abwärmenutzer					
6.1	Schulen	Schnittmenge aus GIS und Kundendaten Netz	pdf	Herr Mustermann	Neben der graphischen Darstellung wird zusätzlich eine Excel-Tabelle mit Nutzer, Straße und Hausnummer geliefert.
6.2	Hochschule		pdf	Herr Mustermann	
6.3	Mensen		pdf	Herr Mustermann	
6.4	kirchliche Einrichtungen		pdf	Herr Mustermann	
6.5	Krankenhäuser		pdf	Herr Mustermann	
6.6	Wohnungsbaugesellschaft		pdf	Herr Mustermann	
6.7	Sonstige pot. Nutzer		pdf	Herr Mustermann	
6.8	Gebäude Stadtwerke	Stadtwerke	offen	Herr Mustermann	Anfrage an UWB läuft
6.9	Gebäude Stadt	Stadtwerke	offen	Herr Mustermann	Anfrage an UWB läuft
7 Grundkarte					
7.1	ALK	Stadtwerke-GIS	dwg	Herr Mustermann	Freigabe durch Hr. Mustermann ist erfolgt.

5.3.3 Visualisierung und Standortfindung

Die Erstellung einer Energiekarte ist in den nachfolgenden Bildern (Bild 5-2 bis Bild 5-6) beispielhaft dargestellt und basiert auf der Zusammenführung der o. g. Datenquellen.

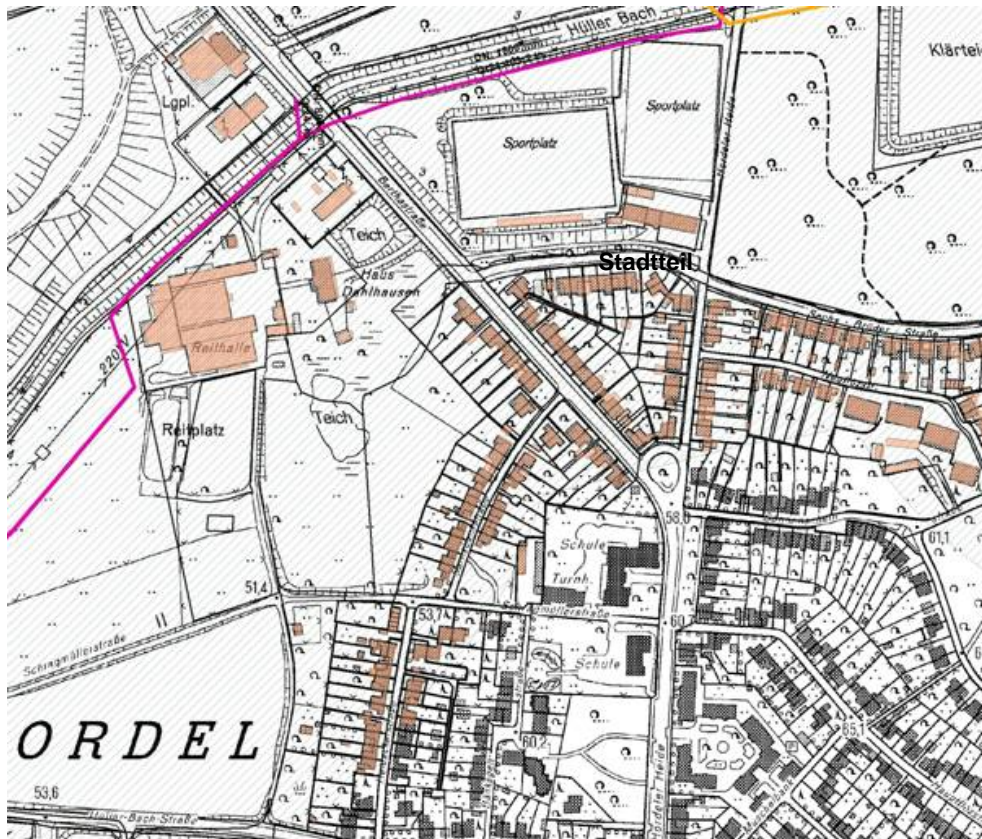


Bild 5-2: Grundkarte - Detailübersicht (1:5.000) mit hinterlegter DGK 5

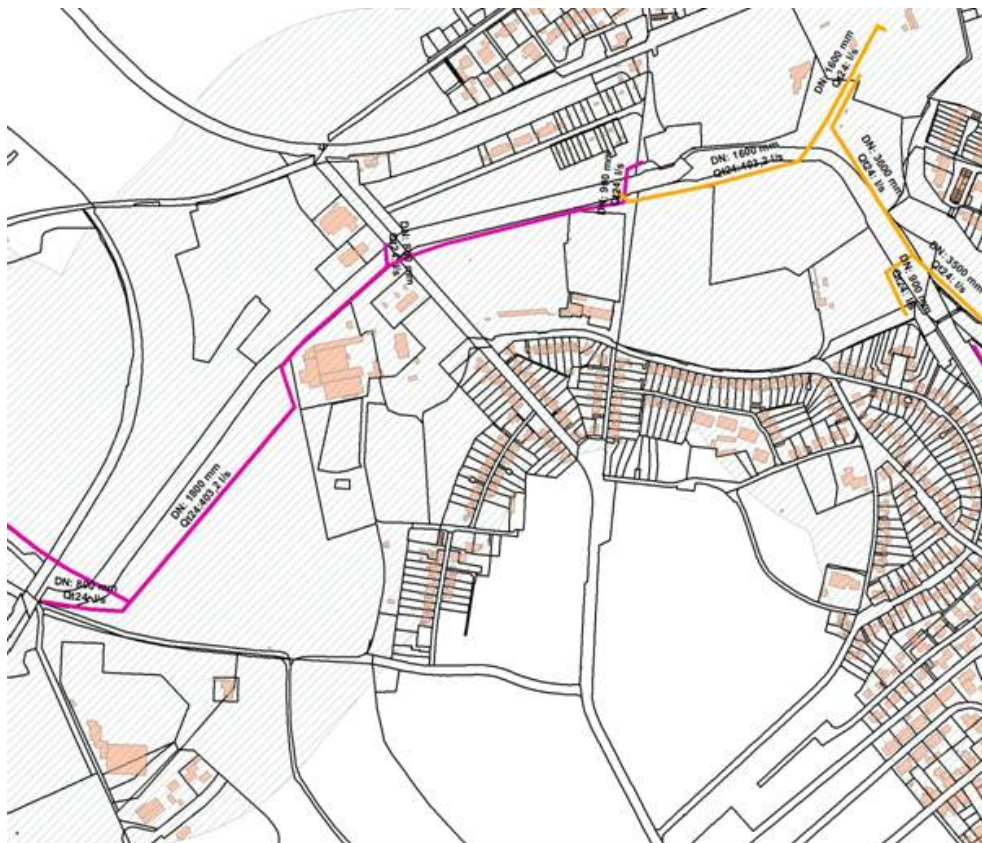


Bild 5-3: Grundkarte - Gebäudebestand im 300 m Radius um die Kanäle (1:5.000)

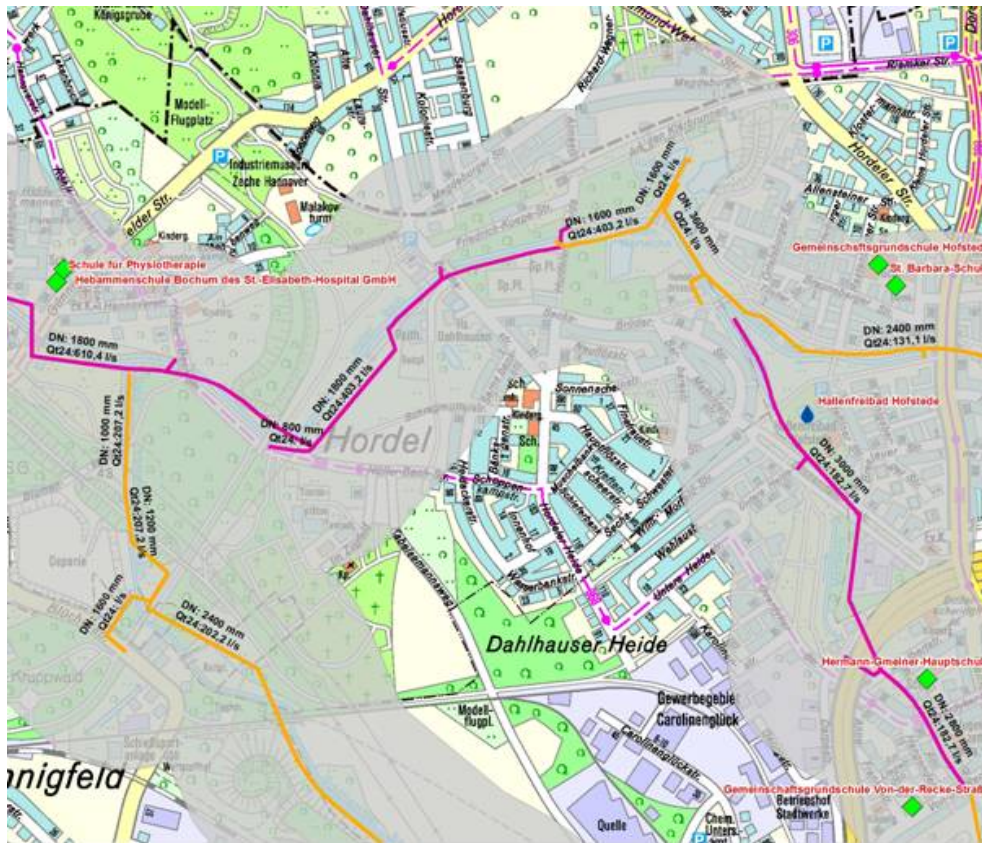


Bild 5-4: Planungszustand des Kanalnetzes und Kanalinformationen (1:10.000)

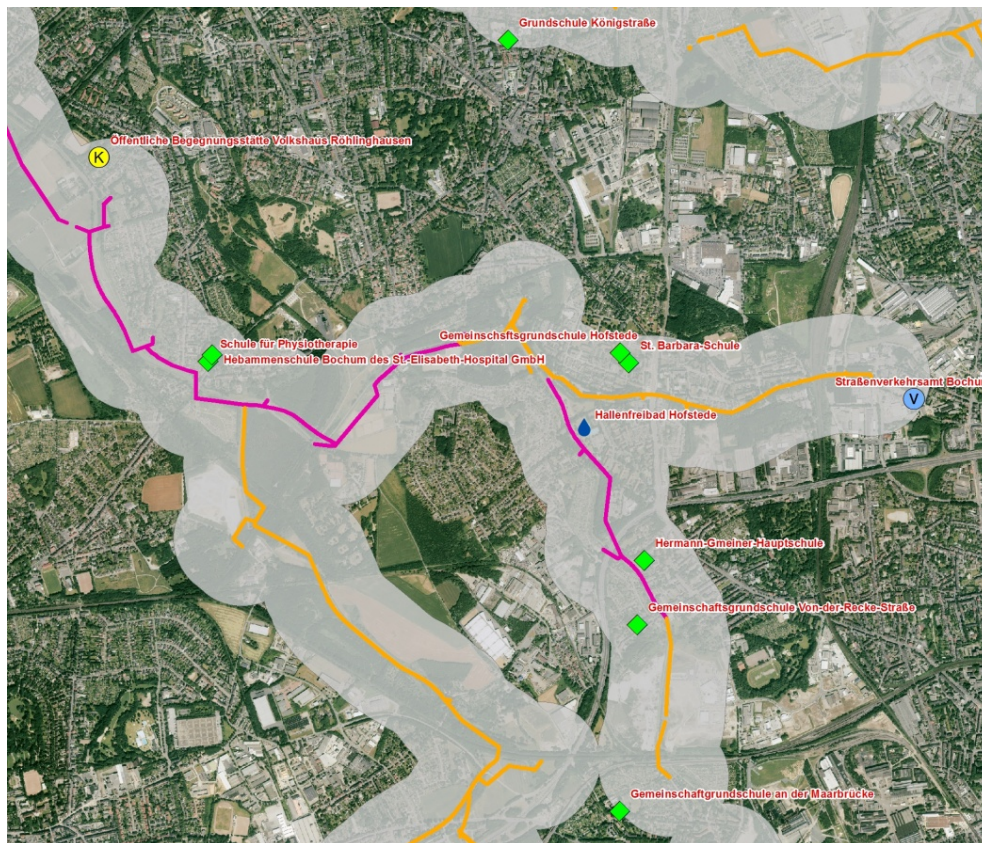


Bild 5-5: Planungsfortschritt des Kanalnetzes (1:20.000)

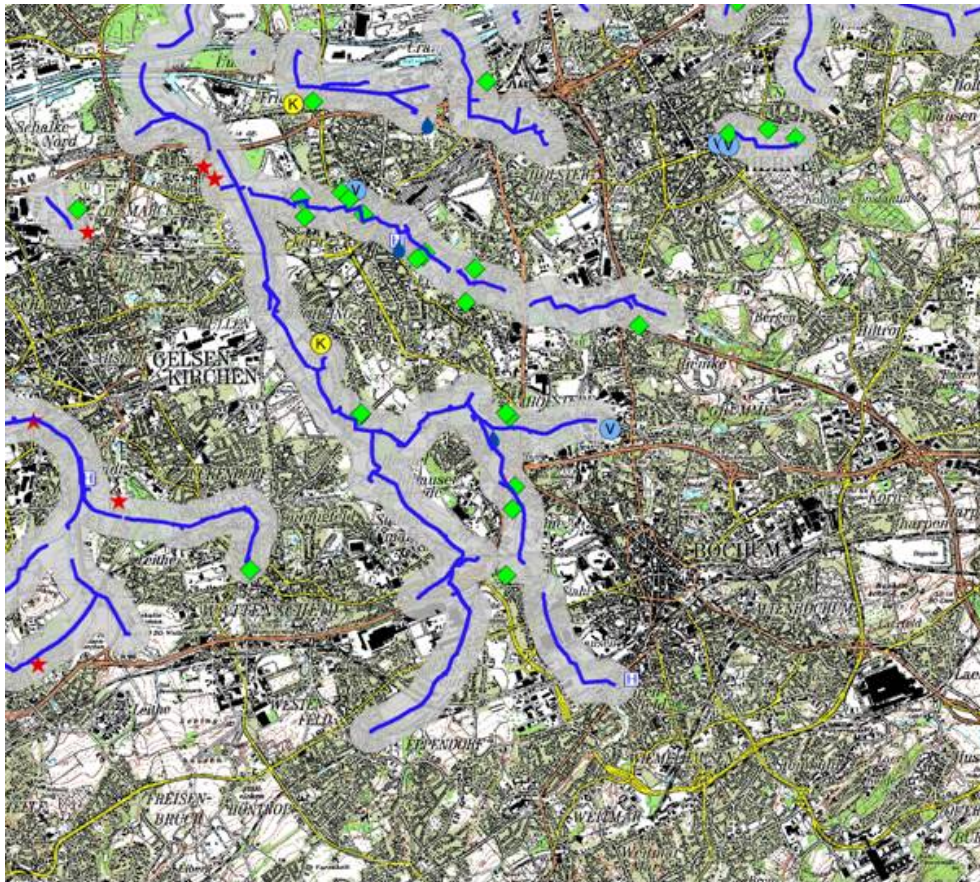


Bild 5-6: Übersichtskarte (1:50.000) mit herausragenden Standorten innerhalb eines Puffers von 300 m um das Kanalnetz der EG. Dargestellt sind die Kanäle mit einem DN > 800 mm und einem $Q_{t24} > 15$ l/s

5.3.4 Praxisbeispiele aus Nordrhein-Westfalen

5.3.4.1 Potenzialkarte Aachen

Die Stadtwerke Aachen AG hat mit der Gründung der STAWAG Abwasser GmbH im Jahr 2006 den Betrieb des etwa 870 km langen Kanalnetzes der Stadt Aachen übernommen.

Aufgrund der besonderen hydrogeologischen Verhältnisse und der damit verbundenen Einleitung von Thermalwässern in die kommunale Kanalisation und industrieller Einleitungen, insbesondere aus der Lebensmittelverarbeitung, war zu erwarten, dass das abgeführte Abwasser in Teilbereichen vergleichsweise hohe Temperaturen aufweist. Vor diesem Hintergrund hat das Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. (FiW) im Auftrag der STAWAG eine Prüfung und Bewertung des Abwasserwärmepotenzials sowie eine Identifizierung und Bewertung möglicher Wärmeabnehmer in Form einer Grobanalyse durchgeführt. Die Vorgehensweise zur Erstellung einer Wärmedargebotskarte orientierte sich an dem in Bild 5-7 dargestellten Fließschema. Im Einzelnen erfolgte die Auswertung in ArcGis. Der Auswertungsablauf ist in Bild 5-8 bis Bild 5-15 für das Stadtgebiet Schanz / Westpark / Vaalser Straße zusammengefasst.



Bild 5-7: Zusammenstellung von Auswahlkriterien für geeignete Standorte für Abwasserwärmenutzungsanlagen (Klinger, Weber 2004)

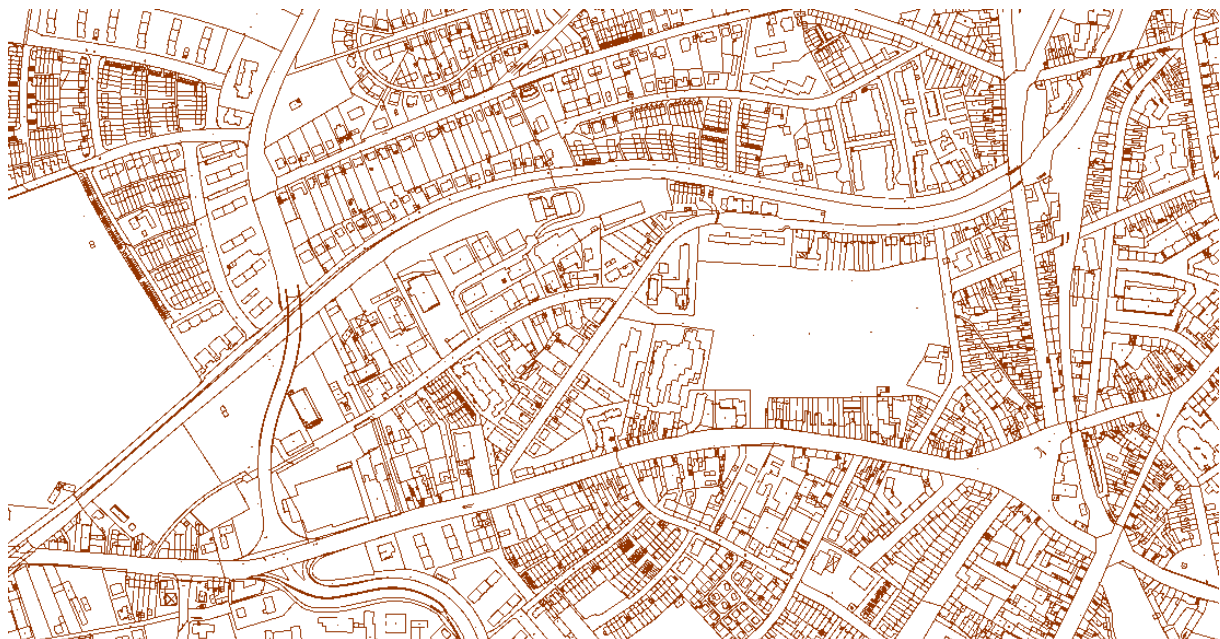


Bild 5-8: Grundkarte Aachen (FiW, 2009)



Bild 5-9: Grundkarte Aachen (Gebäudebestand) (FiW, 2009)



Bild 5-10: Grundkarte Aachen (Gebäudebestand) mit Fernwärmenetz (gelb) (FiW, 2009)



Bild 5-11: Gebäudebestand, der nicht mit Fernwärme versorgt wird (blau)
(FiW, 2009)



Bild 5-12: Für den Einbau von Plattenwärmetauscher geeignete Haltungen (grün)
(FiW, 2009)



Bild 5-13: Für den Einbau von Plattenwärmetauscher geeignete Haltungen (grün) sowie Fangradius 200 m (hellgrün) (FiW, 2009)



Bild 5-14: Gebäudebestand, der potenziell mit Abwasserwärme versorgt werden kann (FiW, 2009)

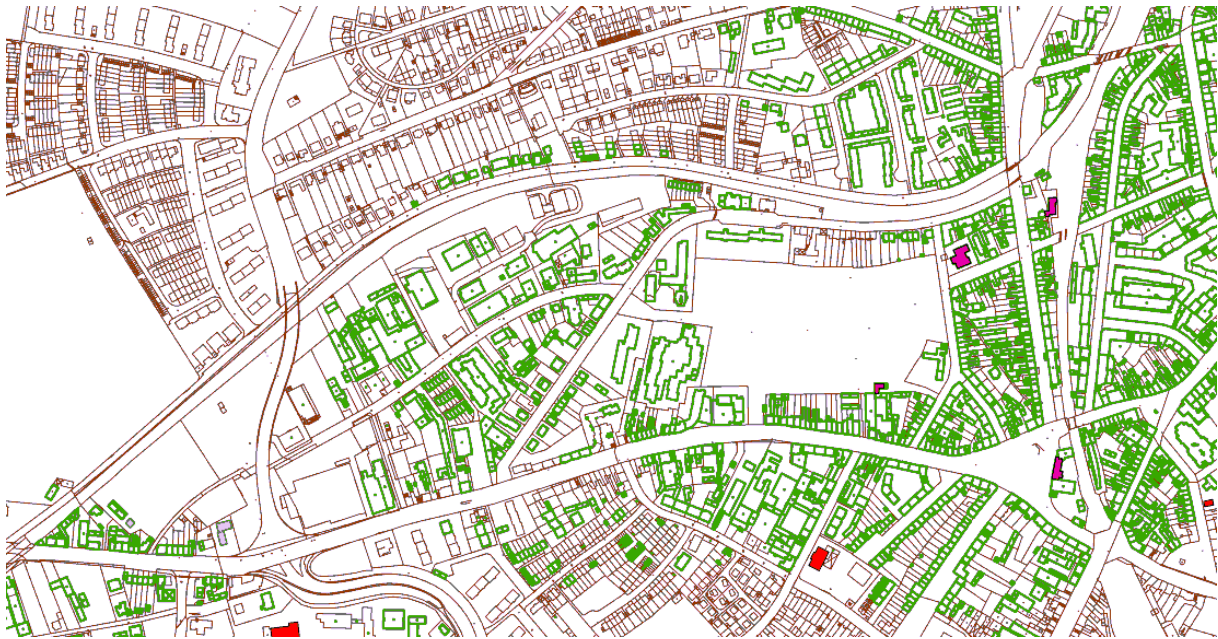


Bild 5-15: Gebäudebestand, der potenziell mit Abwasserwärme versorgt werden kann sowie Liegenschaften der Stadt Aachen (rot und magenta) (FiW, 2009)

Die GIS Ergebnisdatei (ArcGIS) für das gesamte Stadtgebiet befindet sich in Anhang 5 und war Basis für Gespräche mit der Stadt Aachen, der GEWOGE (gemeinnützige Wohnungsbaugesellschaft Aachen) und der RWTH Aachen. Aus diesen Gesprächen sind zwei potenzielle Pilotprojekte hervorgegangen, die in weiteren Untersuchungen hinsichtlich einer wirtschaftlichen Abwasserwärmenutzung analysiert werden sollten. Diese waren

- Campus Melaten (Wärmeabnehmer RWTH); Einsatz einer Abwasserwärmenutzungsanlage im Büroneubau im Niedrigenergiestandard (Bild 5-16)
- Gebäudekomplex Kranzstraße / Burggrafenstraße / Wiesental (Wärmeabnehmer GEWOGE und STAWAG); Einsatz einer Abwasserwärmenutzungsanlage im Altbestand Wohnbebauung (Bild 5-17)

Bezüglich des Standortes Kranzstraße / Burggrafenstraße / Wiesental wurden nach Abschluss der Studie weitergehende Untersuchungen hinsichtlich Abwasseranfall und Abwassertemperatur durchgeführt, die als Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Abwasserwärmenutzungsanlage diente. Im Ergebnis ist, insbesondere vor dem Hintergrund, dass eine thermische Sanierung des Gebäudekomplexes gegeben ist, die Nutzung der Abwasserwärme wirtschaftlich. Die bauliche Umsetzung der Maßnahme wird diskutiert.

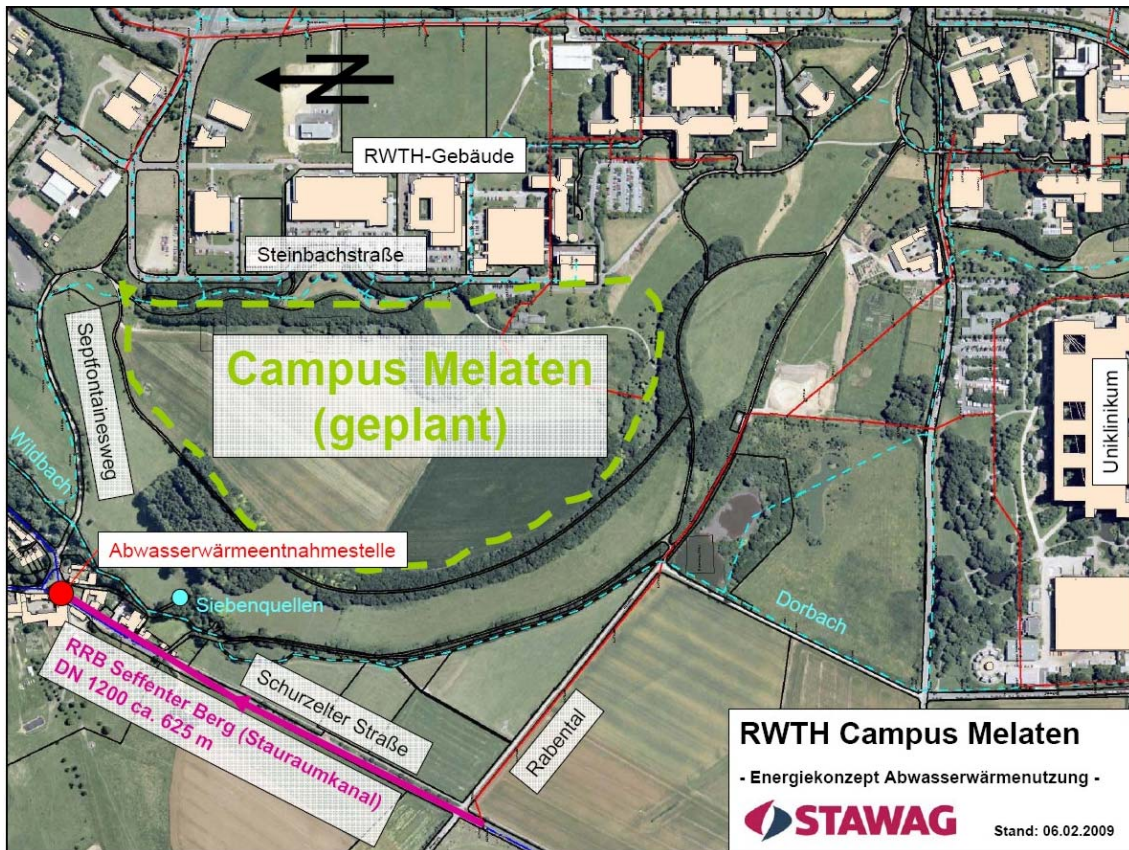


Bild 5-16: Skizze Abwasserwärmenutzung Campus Melaten

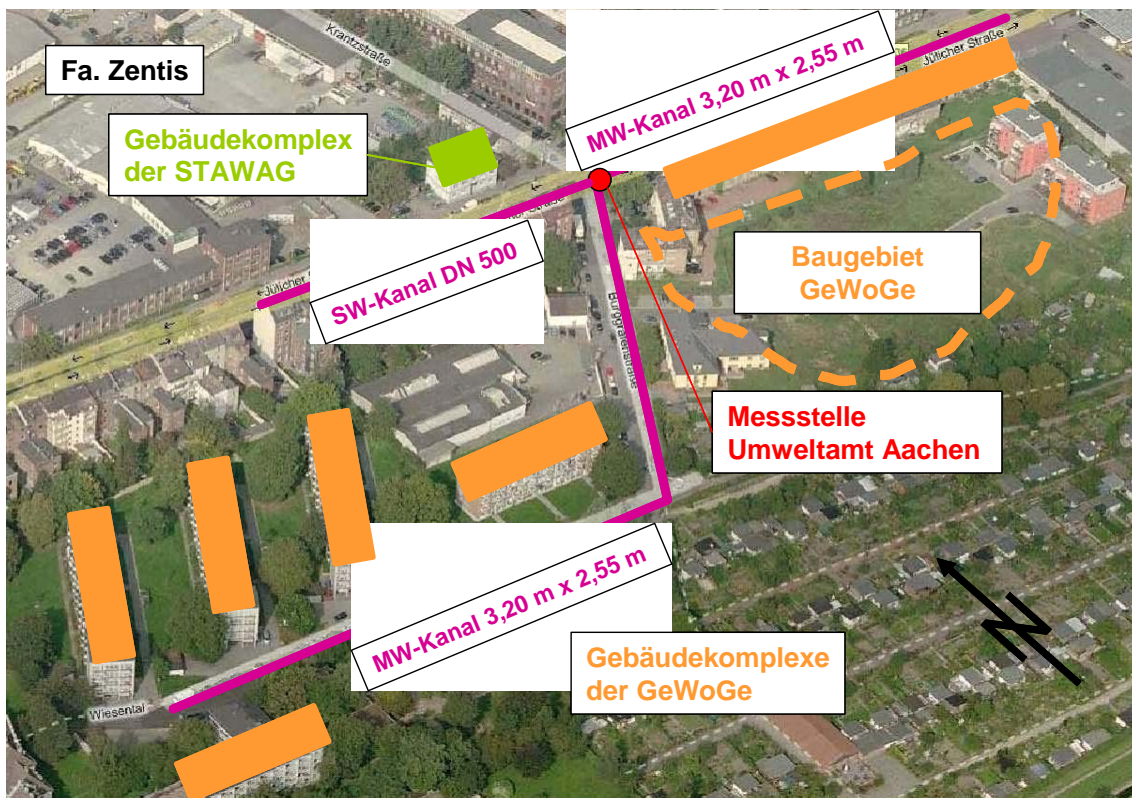


Bild 5-17: Skizze Abwasserwärmenutzung im Gebäudekomplex Kranzstraße / Burggrafstraße / Wiesental

5.3.4.2 Potenzialkarte Emscher- und Lipperegion

Mit Unterstützung des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen haben Emschergenossenschaft und Lippeverband (EGLV) auf Basis der kommunalen Kanal- und Verbrauchsdaten der Städten Bochum und Dortmund eine Abwasserwärmepotenzialkarte als webbasiertes GIS-System erstellt. Die Systematik der Auswertung von Kanalinformationen und Flächendaten folgte dabei im Wesentlichen der im vorgenannten Kapitel, mit dem Unterschied, dass die Potenziale der Abwasserwärmenutzung in 6 Kategorien, abhängig vom Abstand der zu beheizenden Gebäude zur Wärmequelle (Abwasserkanal) sowie Betriebszustand und Betreiber der jeweiligen Kanalisationen, unterteilt wurde (Bild 5-18).

Screenshots des Geoinformationssystems, welches Ende 2012 online verfügbar sein soll, finden sich in Bild 5-19 und Bild 5-20.

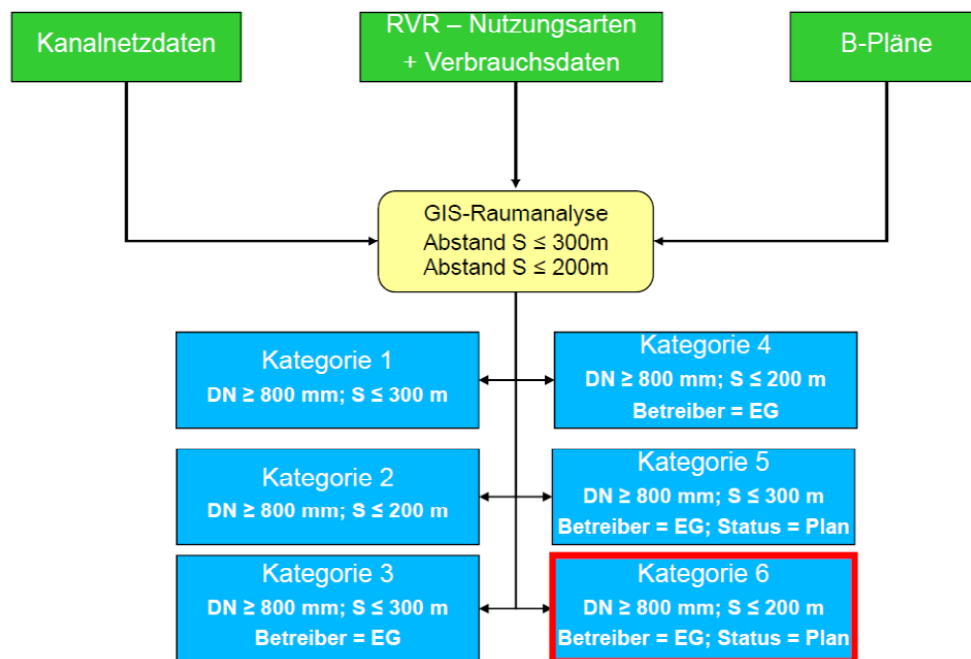


Bild 5-18: Datenzusammenführung und Kategorisierung

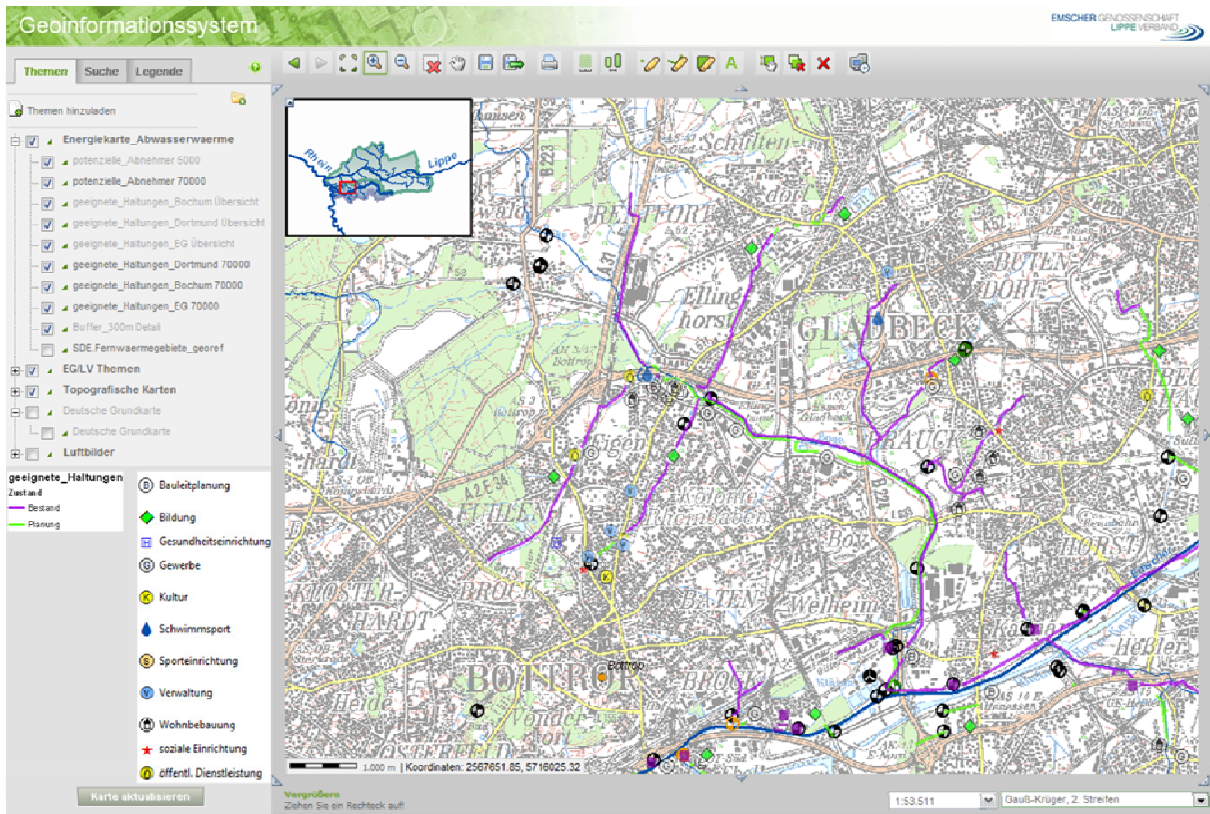


Bild 5-19: Geoinformationssystem / Überblick

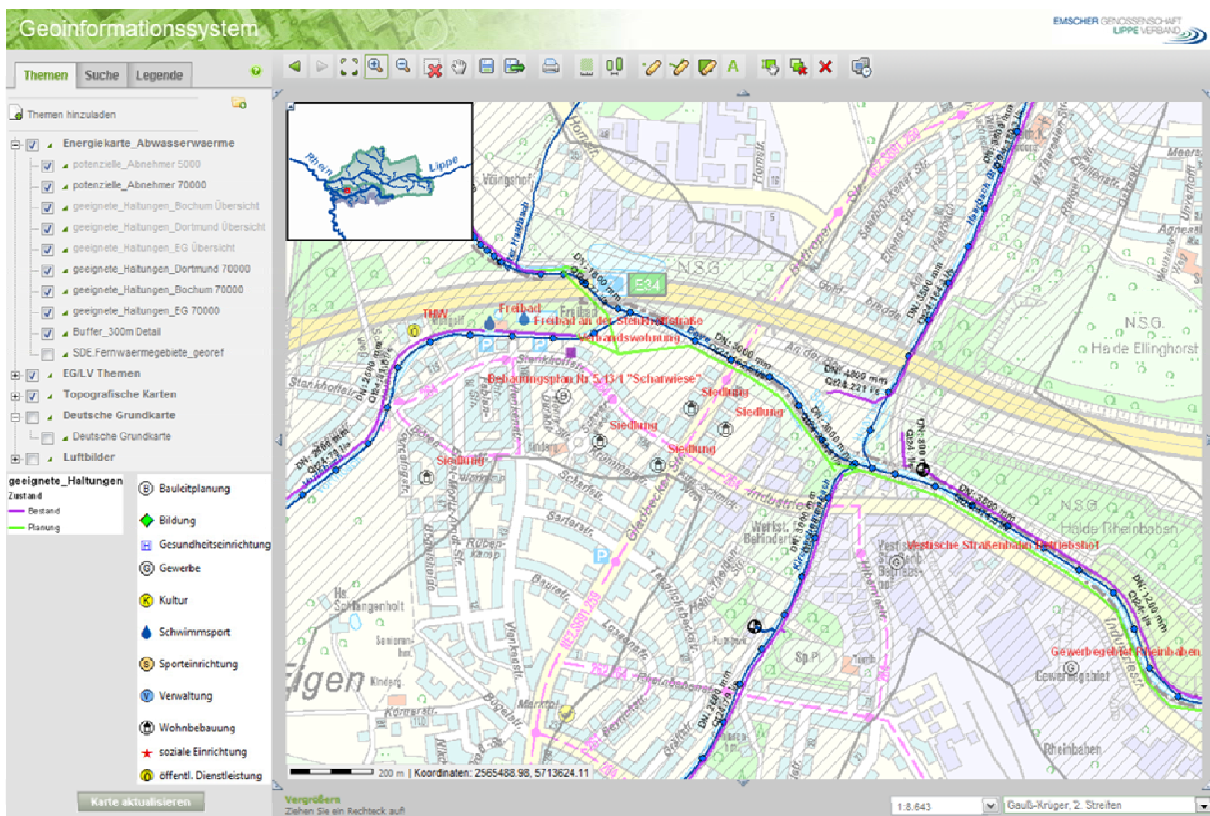


Bild 5-20: Geoinformationssystem / Detailsicht

5.3.5 Zukunftsperspektive Energiekarte

Konsequente Weiterentwicklung von Abwasserwärmepotenzialkarten besteht in der flächendeckenden Ermittlung aller möglichen Wärmequellen (Abwärme aus Industrie oder aus der Energiegewinnung) und potentiellen Nutzer in einer Gemeinde. In einer Karte können hierfür das nutzbare Wärmedargebot und die möglichen Nachfrager flächendeckend eingezeichnet und daraus systematisch die für eine Nutzung geeigneten Gebiete bzw. konkreten Standorte ermittelt und gekennzeichnet werden. Zudem wird auch geklärt und dargestellt, ob Wärme ins Abwasser eingeführt werden darf und damit Abwasser auch zu Kühlzwecken verwendet werden kann.

Bezogen auf die Abwasserwärmenutzung zeigt die Energiekarte Standorte für Abwasserwärmenutzungsanlagen, zugehöriges Wärmeangebot sowie die Wärmenachfrage (mögliche Abnehmer) auf; in einer weiteren Vertiefungsstufe kann auch noch bei den geeigneten Objekten untersucht werden, ob ein Kältebedarf vorhanden ist. So werden für die Dargebotsseite alle geeigneten Wärmetauscherstandorte auf Kläranlagen, im Kanal oder mittels Bypass-System und Sonderbauwerken dargestellt. Dabei soll gleichzeitig auch dargestellt werden, ob die Kläranlage Abwärme auf höherem Temperaturniveau anbieten kann, indem es die Abwärme aus dem Faulgas-Blockheizkraftwerk oder aus dem Gebläse etc. abgibt und den Faulbehälter mit Abwasserwärme beheizt. Als mögliche Abnehmer kommen große Gebäude, Siedlungen mit hohem Energiebedarf bzw. hoher Energiedichte, Neubaugebiete und Feuerungen in Betracht und werden ebenfalls in der Karte dargestellt.

Für die Lokalisierung von geeigneten Standorten werden aufgrund von Modellrechnungen die Kriterien und Anforderungen, insbesondere an die Distanz (die u.a. von der Größe der Nachfrage abhängt), bestehende Fernwärmenetze oder bereits installierte alternative Heizungen, die Verhältnisse für den Leitungsbau (innerstädtisch oder über Land), etc. überprüft.

Die Erstellung einer Gesamtenergiekarte ist zeit- und kostenintensiv. Wichtige Entscheidungsträger kommen erst zu einem späten Zeitpunkt zusammen. Es müssen vollständige Datensätze beschafft werden und die Karte muss alle paar Jahre aktualisiert werden. Dafür bietet die Karte als ganzheitliches Konzept eine geeignete Grundlage für die zukünftige langfristige Umsetzung der Energiepotenziale. Bei Gebäudesanierungen und Bauprojekten besteht die Möglichkeit zur schnellen Orientierung über die Möglichkeiten z. B. für eine Abwasserwärmenutzung und es können Synergien erkannt und genutzt werden.

Die Energiekarte bietet sich aber auch als Instrument an, um die potenziellen Bauherren mit entsprechender Ausgangslage zu ermitteln und diese über ihre guten Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien wie der Abwasserwärmenutzung dank der Visualisierung anschaulich zu informieren.

Das Konzept zum Aufbau von Gesamtenergiekarten entstammt der Schweiz, wo Gemeinden ab einer Größe zwischen 7.000 und 10.000 Einwohner sogar verpflichtet sind, eine Energieplanung zu erstellen, welche sich auf Energiekarten mit prioritären Gebieten für die Abwasserwärmenutzung sowie für andere erneuerbaren Energien stützt. Vereinzelt wurden solche Energiekarten auch durch deutsche Kommunen aufgestellt.

Aus den jeweiligen Potenzialen und den technischen Randbedingungen ergeben sich für einen Standort, sofern die Möglichkeit besteht dort auf mehrere regenerative Wärmequellen zurückzugreifen, unterschiedliche Erschließungs- bzw. Nutzungsprioritäten. Dabei hat die Abwasserwärmenutzung als ortsgebundene niedertemperaturige Energiequelle – nach den ortsgebundenen hochtemperaturigen Energiequellen – die höchste Erschließungspriorität. So hat in Gebieten, in welchen eine Abwasserwärmenutzung ökonomisch und ökologisch möglich ist, diese Energiequelle Vorrang gegenüber z. B. der Nutzung von Holz oder Gas.

Wird also beispielsweise an einem für die Abwasserwärmenutzung geeigneten Standort z. B. nach der Kläranlage eine Holzheizung realisiert, so kann keine Abwasserwärmenutzung realisiert und das Potenzial der Abwasserwärme kann nicht vollständig ausgenutzt werden. Wird hingegen die entsprechende Holzmenge, die zumindest in Deutschland nur in begrenzter Menge verfügbar ist, an einem anderen Standort genutzt, so können beide erneuerbare Energien genutzt und die CO₂-Reduktion vergrößert werden.

Diese Herangehensweise wurde in der Schweiz rechtlich geregelt und hat sich als sehr kostengünstiges und effizientes Instrument zur Etablierung der Nutzung regenerativer Wärmequellen (und damit auch der Abwasserwärmenutzung) erwiesen. Es hat sich gezeigt, dass eine vernünftige örtliche Priorisierung der verschiedenen Energieträgern und Gebietsauscheidungen nach diesen Prioritäten für die Nutzung der Abwasserwärmen sehr wichtig ist und auch für die Umsetzung der Potenziale aller erneuerbaren Energien förderlich ist. Zusammenfassend ist eine (Gesamt)energiekarte für eine Gemeinde ein interessantes Planungsinstrument, selbst wenn dieses nicht gesetzlich vorgegeben ist, sondern auf freiwilliger Ebene eingesetzt werden kann.

6 Ökologische Aspekte und Wirtschaftlichkeit

6.1 CO₂ Emissionen

Die Ergebnisberichte des International Panel for Climate Change (IPCC) sehen als wesentliche Auslöser des weltweiten Klimawandels den Ausstoß von anthropogenen Treibhausgasen (FiW-IWW 2011).

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist durch die allgemeine mediale Berichterstattung das bekannteste Treibhausgas. Als Endprodukt der Oxidation von Kohlenstoffverbindungen entsteht es ubiquitär. CO₂ wird sowohl biochemisch als auch bei der thermischen Umsetzung von kohlenstoffhaltigen Verbindungen (Verbrennung) freigesetzt. Durch den fortlaufenden Energieverbrauch von Industrie, Haushalte und Verkehr erhöht sich die Konzentration in der Atmosphäre stetig.

Um den CO₂-Anstieg sowie die Anreicherung in der Atmosphäre zu minimieren, wurden im Rahmen des Kyoto-Abkommens Maßnahmen festgelegt, welche zur Minderung des sogenannten Treibhauseffekts, also der globalen Erwärmung und Klimaveränderung, führen sollen.

Vor diesem Hintergrund sind alle Produzenten und Konsumenten dazu aufgefordert, einen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zu leisten und ihre CO₂-Bilanz möglichst auszugleichen. Die CO₂-Bilanz (auch „Carbon Footprint“ genannt) bezeichnet die Bilanz der Treibhausgasemissionen entlang der gesamten Lebensdauer eines Produktes oder für die gesamte Erbringung einer Dienstleistung.

Auch der Wasser- und Abwassersektor muss sich dieser Aufgabe stellen und steht somit vor der Herausforderung, neue emissionsärmere Anlagen, Prozesse und Betriebsweisen zu suchen.

Neben der Optimierung bestehender Anlagen, der verstärkten Nutzung von Klärgas liegen Potenziale im Wasser- und Abwassersektor in der Nutzung der Abwasserwärme.

In Abwasserkanälen steckt eine große Wärmemenge, die mittels moderner Technologie zur Beheizung von Gebäuden genutzt werden kann (Tuttahs & Meyer 2010). Aufgrund steigender Energiepreise und dem technologischen Fortschritt im Bereich der Wärmepumpen- und Wärmetauschertechnologie wird die Nutzung der Abwasserwärme als Alternative zu herkömmlichen Wärmequellen wie Erdöl oder Gas zunehmend attraktiv. Bei richtiger Planung und Durchführung können Abwasserwärmenutzungsanlagen betriebswirtschaftlich positive Ergebnisse erzielen. Darüber hinaus ist die Abwasserwärmenutzung die langfristig sichere und erneuerbare Energiequelle.

Eine Analyse von 12 Machbarkeitsstudien in Baden-Württemberg zeigt, dass im Mittel rund 30 % weniger Emissionen im Vergleich zu einer Erdöl- bzw. Erdgasheizung entstehen.

Wird für den Betrieb der Wärmepumpe Ökostrom genutzt, wie es in zwei Machbarkeitsstudien berücksichtigt wurde, lässt sich dieser Anteil nochmals deutlich steigern und der CO₂-Ausstoss im Vergleich zu einer fossilen Erdölheizung um bis zu 60 % reduzieren (Bild 6-1).

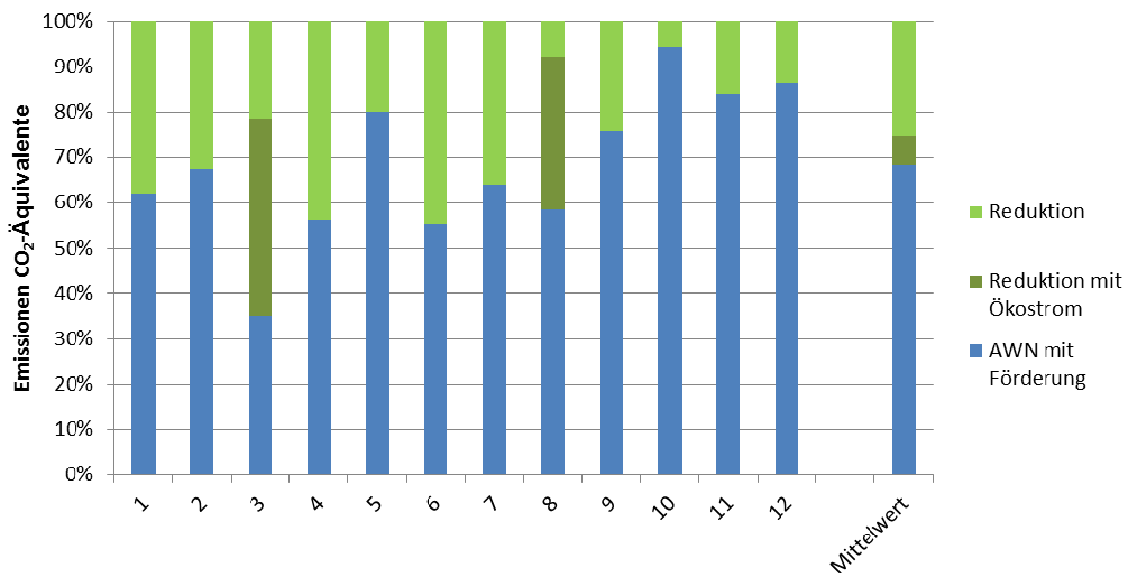


Bild 6-1: Reduktion CO₂-Emissionen von 12 Abwasserwärmenutzungsprojekten im Vergleich zu einer konventionellen Lösung mit Erdöl oder Erdgas

6.2 Wirtschaftlichkeit

6.2.1 Investitionskosten

Die spezifischen Investitionen [€/kWh/a] liegen bei den meisten untersuchten Anlagen zwischen rund 0,30 und 0,50 €/kWh/a). Nur bei einem Objekt (Nr. 10) sind die Investitionen niedriger. Bei kleinen Anlagen (z. B. Anlage Nr. 2 mit 250 kW Wärmeleistung) sind die Investitionen etwa doppelt so hoch wie im Durchschnitt und bei der Kleinstanlage mit lediglich 24 kW (Nr. 1) sogar rund 10 Mal höher als der durchschnittliche spez. Investitionsbedarf (vgl. Bild 6-2).

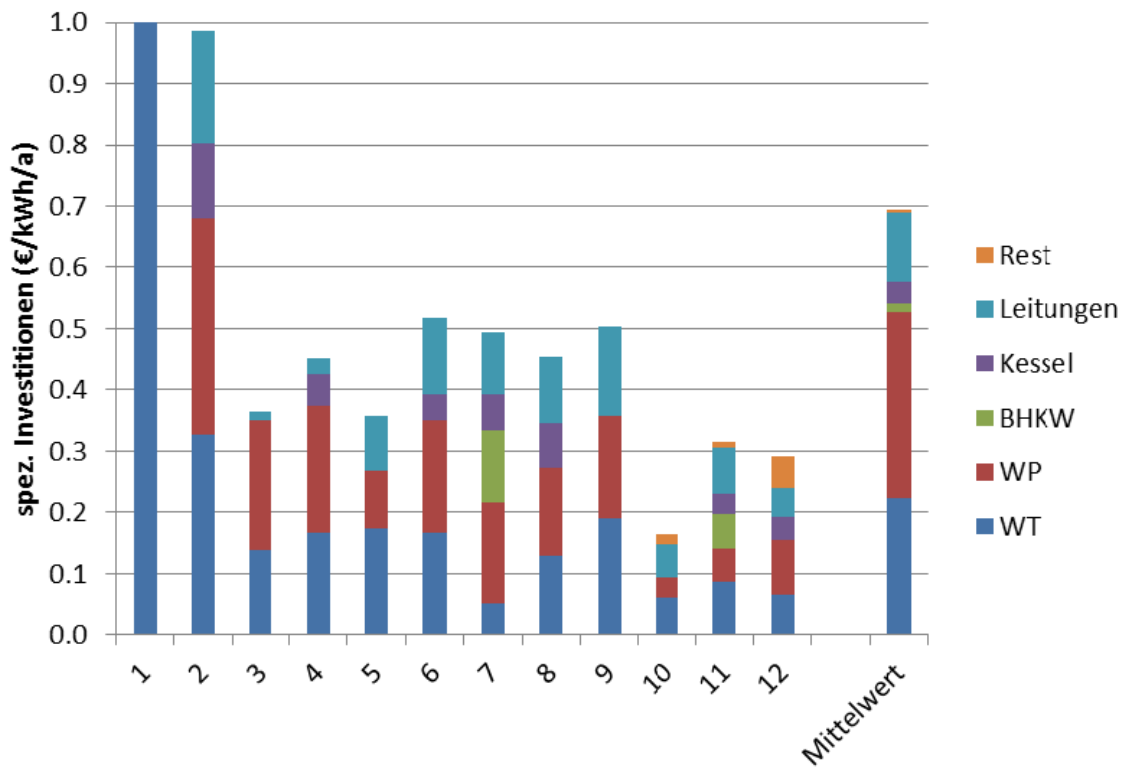


Bild 6-2: Spezifische Investitionen [€/kWh/a]

Hauptkostenpunkt bei den Investitionen sind der Wärmetauscher sowie die Wärmepumpe. Bei den Wärmetauschern machen die Investitionen bei den Anlagen über 300 kW häufig 0,05 bis 0,20 €/kWh/a aus, bei der Wärmepumpe 0,10 bis 0,20 €/kWh/a. Auch die Leitungskosten mit 0,05 bis 0,1 €/kWh/a machen einen beachtlichen Teil der Kosten aus, aber nur in Extremfällen mehr als 30 % der gesamten Investitionen (vgl. Bild 6-3).

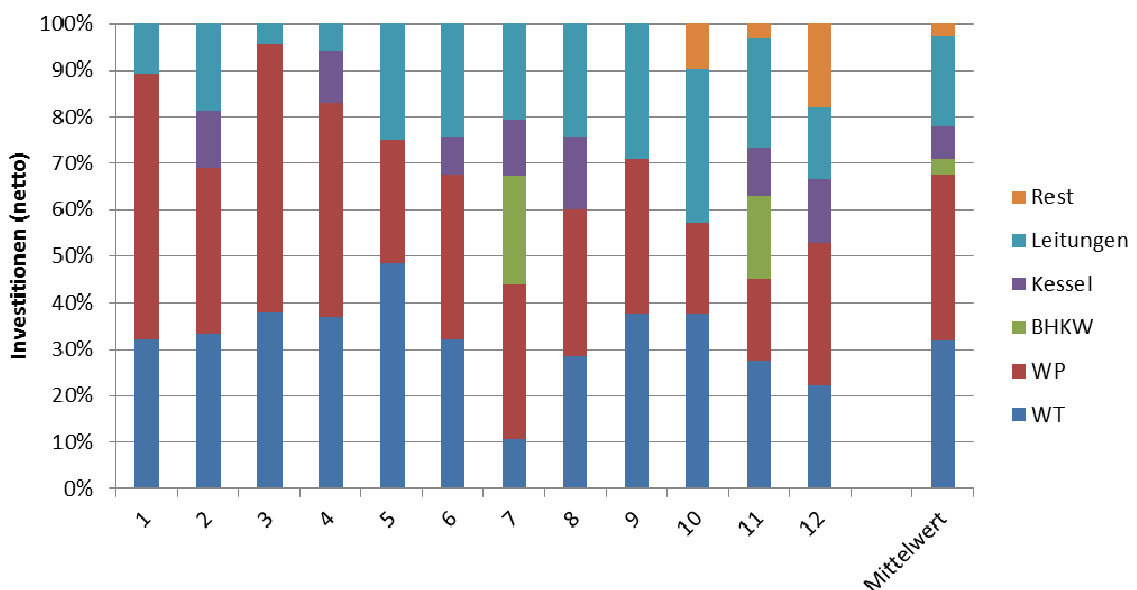


Bild 6-3: Anteil der Anlagenteile an Investitionen (in %)

Je näher also ein Abnehmer bei der Wärmeentnahmestelle liegt, desto geringer lassen sich die Investitions- und somit Kapitalkosten halten.

6.2.2 Jahreskosten

Im Vergleich zur konventionellen Energiebereitstellung liegen bei Abwasserwärmenutzungsanlagen die Investitionskosten höher, dafür sind die Energiepreise geringer. Die Auswertung der 12 Machbarkeitsstudien in Baden-Württemberg zeigt, dass bei der Abwasserwärmenutzung im Mittel 39 % der Kosten auf die Kapitalkosten aus den Investition anfallen, 11 % werden für den Betrieb und die Wartung aufgewendet und 50 % machen die Energiekosten (Kosten für Strom und Wärme) aus. Wird eine konventionelle Anlage (Erdöl, Erdgas) erstellt, fällt hingegen der Großteil der Kosten auf die Energiebezugskosten (81 %). Dafür fallen die Kapitalkosten geringer (13 %) aus (Bild 6-4).

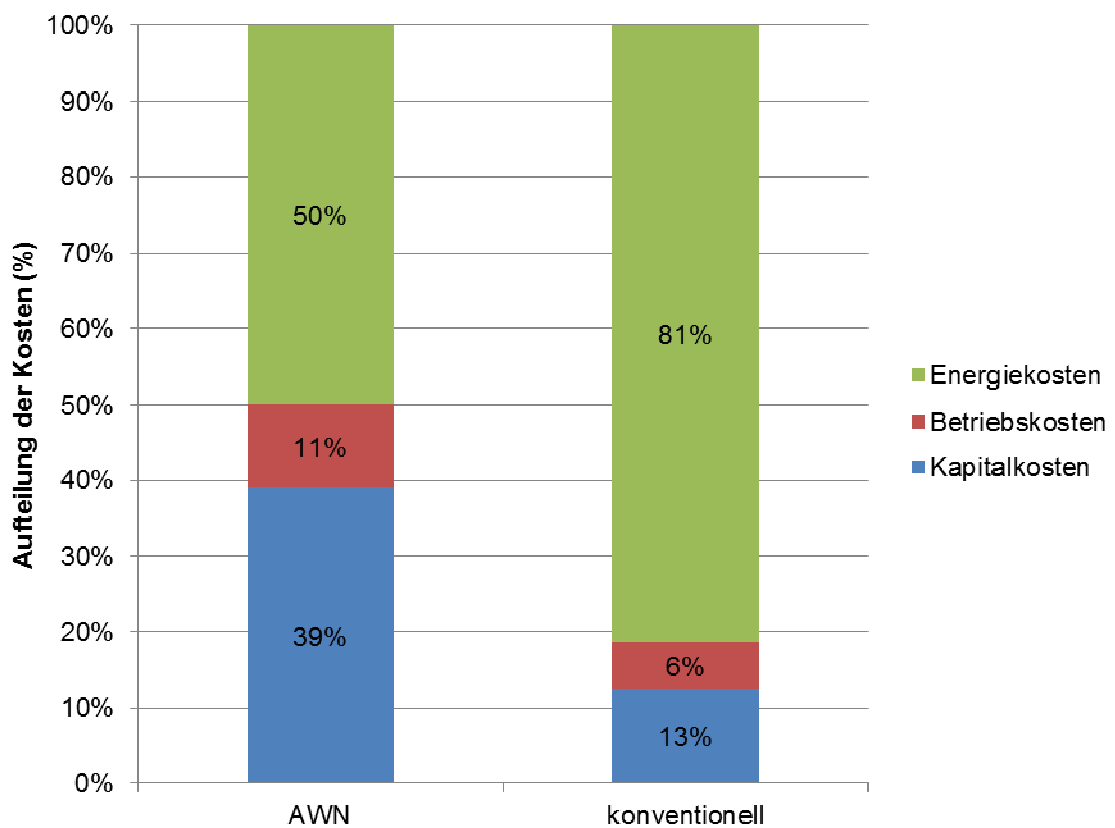


Bild 6-4: Vergleich der Kostenaufteilung zwischen Variante mit Abwasserwärmenutzung und einer konventionellen Anlage (Mittelwert aus 12 Machbarkeitsstudien)

6.2.3 Gesteungskosten

Die Gesteungskosten beinhalten die gesamten Kosten für Kapital der Investitionen, Energie und Unterhalt/Wartung. Vergleicht man die Gesteungskosten der 12 Projekte mit einer konventionellen Anlage, die bei diesen Objekten sonst geplant gewesen wären (Erdöl bzw. Erdgas), stellt man fest, dass die Abwasserwärmenutzung – selbst ohne Förderung – durchaus im konkurrenzfähigen Bereich liegt.

Die Gesteungskosten liegen bei den meisten Objekten zwischen 0,07 und 0,11 €/kWh, nur bei den Objekten Nr. 1 und 2 sind sie – wie die spez. Investitionen – deutlich höher und bei Objekt Nr. 10 tiefer. Nur beim Objekt Nr. 8 liegen die Gesteungskosten für die konventionelle Lösung deutlich tiefer als für die Abwasserwärmenutzung. Bei 4 Projekten liegen die Gesteungskosten für die Abwasserwärmenutzung sogar tiefer als bei der konventionellen Lösung. Zu diesem positiven Ergebnis hat sicherlich auch beigetragen, dass mit Ausnahme von Objekt Nr. 1 mit lediglich 24 kW vor der Erstellung der Machbarkeitsstudie alle Objekte einer Vorbeurteilung von Gutachtern unterzogen und für die weitere Untersuchung vorgeschlagen wurden (Bild 6-5).

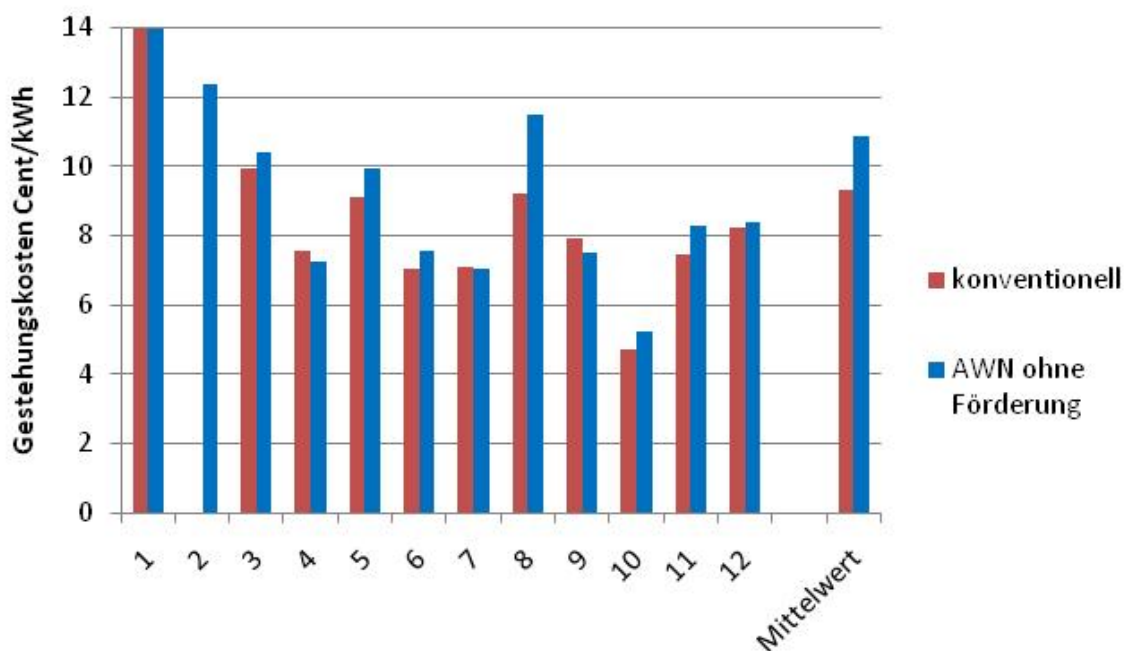


Bild 6-5: Gesteungskosten für die Abwasserwärmenutzung ohne Förderung im Vergleich zur konventionellen Variante

6.2.4 Einfluss finanzieller Förderung

Bild 6-6 zeigt den Einfluss der Förderung auf die Gesteungskosten der Abwasserwärmenutzung, wie sie das Land Baden-Württemberg vornimmt. Die Förderung verminderte gemäß Machbarkeitsstudien die gesamten Gesteungskosten um 1 % bis maximal 11 %.

Zwei Projekte (3 und 8) erhalten gemäß Studie keine Förderung, da die geforderte Jahresarbeitszahl nicht erreicht wird. Interessant dabei ist, dass gerade diese zwei Objekte weniger wirtschaftlich sind als die konventionelle Lösung. Der Einfluss der Förderung ist – in Bezug auf die gesamten Gestehungskosten – doch beschränkt. Die Gestehungskosten werden um durchschnittlich 0,004 €/kWh oder um 4 % gesenkt. Das heißt aber noch nicht, dass die Förderung nicht wirkungsvoll und sinnvoll war: Es konnte von Bauherren erfahren werden, dass die Unterstützung durch das Umweltministerium das Vertrauen in diese neue Technologie gestärkt und dadurch eine gewisse Auslösefunktion erzielt hat.

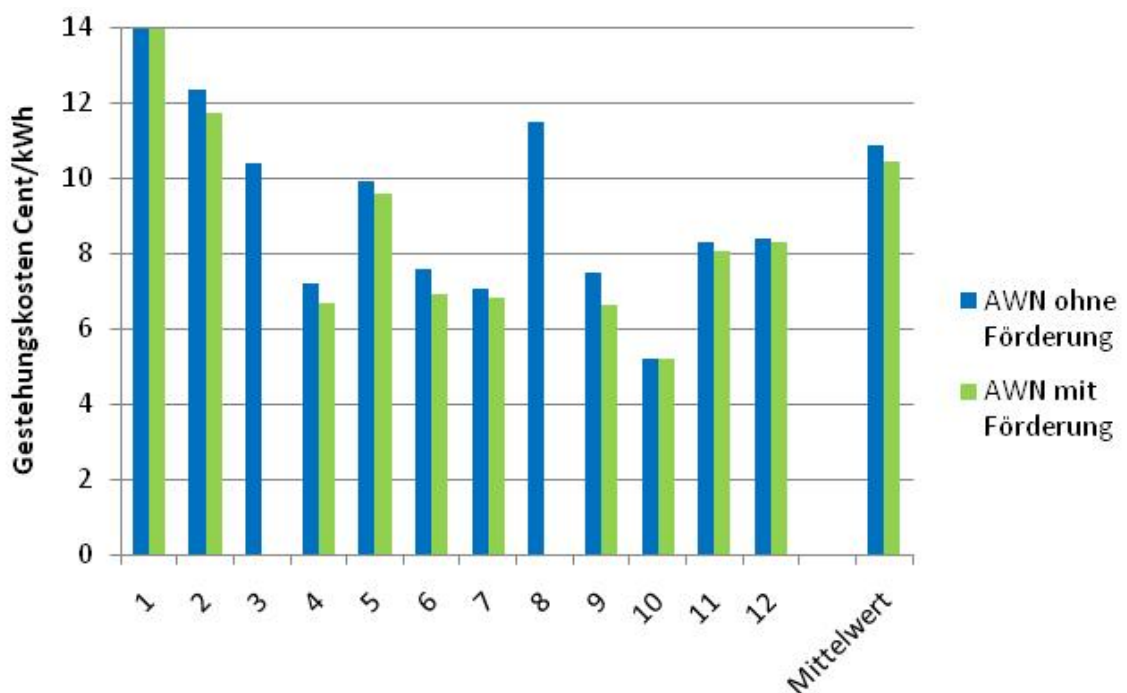


Bild 6-6: Gestehungskosten für die Abwasserwärmenutzung ohne und mit Förderung

6.2.5 Einfluss steigender Energiepreise

Bild 6-7 zeigt die Gestehungskosten aktuell und mit steigenden Energiepreisen. Für alle Anlagen mit einem Wert unter 1 gilt, dass die Gestehungskosten der Abwasserwärmenutzungsanlage im Vergleich zu einer konventionellen Anlage tiefer sind. Die Darstellung zeigt die Konkurrenzfähigkeit von Abwasserwärmenutzungsanlagen bei heutigen Preisen wie auch unter Berücksichtigung einer entsprechenden Energiepreissteigerung.

Bei einigen Machbarkeitsstudien haben die Planer aufgrund der Absprache mit dem Bauherrn eine Variante mit steigenden Energiepreisen gerechnet. Zudem haben wir für alle Anlagen die Konsequenzen einer Energiekostensteigerung von 2 % resp. 5 % pro Jahr berechnet

Hiermit ergibt sich folgendes Bild: Anlagen, die bei heutigen Energiepreisen an der Grenze der Wirtschaftlichkeit liegen, werden bei steigenden Energiepreisen – in praktisch allen Fällen – wirtschaftlich. Nur die Kleinstanlage bleibt im unwirtschaftlichen Bereich.

Der Einfluss der Annahme, wie der Bauherr die Energiepreise über die Lebensdauer der Anlage für die nächsten 15 – 20 Jahre beurteilt, ist also größer als der Einfluss der Förderung. Das bedeutet auch, dass es in manchen Fällen kostengünstiger sein kann, die Förderung zu beschränken und dafür ausgewiesene Gutachter zur Qualifizierung der Bauherren beizuziehen.

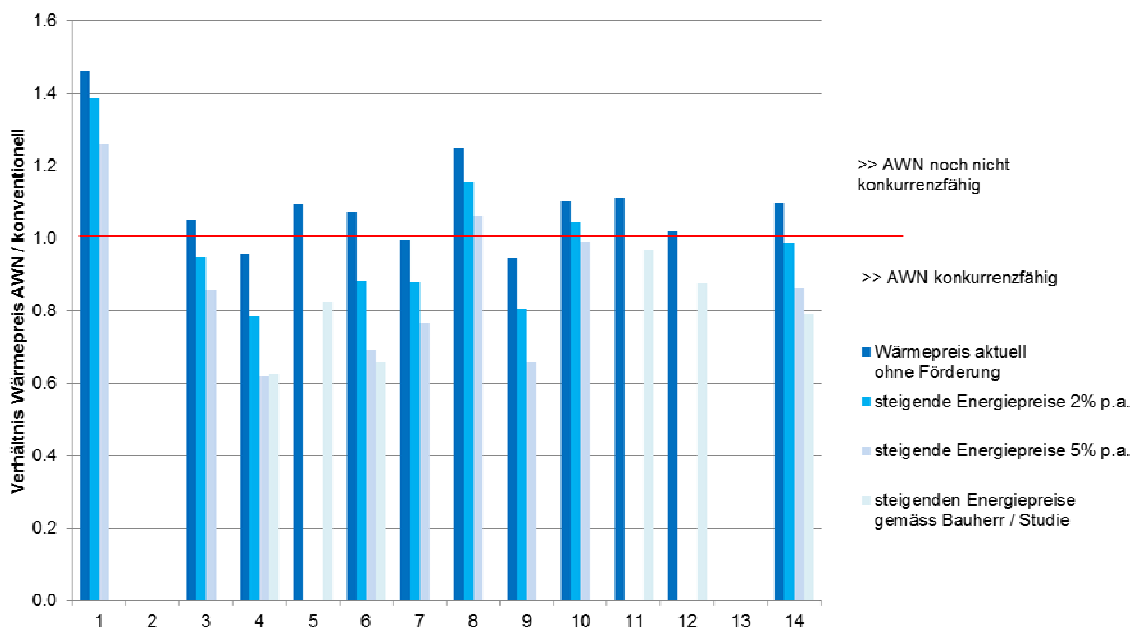


Bild 6-7: Wirtschaftlichkeit einer Abwasserwärmenutzungsanlage im Vergleich mit einer konventionellen Variante ohne und mit Energiepreisteuerung

7 Fazit und Empfehlungen für einen Ausbau der Abwasserwärmenutzung in Nordrhein-Westfalen

Die Abwasserwärmenutzung ist bereits heute in vielen Fällen wirtschaftlich oder im Bereich der Wirtschaftlichkeit. Wichtig bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist, dass die Entscheidungsträger die Entwicklung der Energiepreise über die Lebensdauer der Anlagen berücksichtigen bzw. eine realistische Energiepreisteuerung.

Zudem bietet eine Abwasserwärmenutzungsanlage für den Betreiber und die Gemeinde einen wertvollen Imagegewinn. Die Technologie fördert zusätzlich die Wertschöpfung im Inland und der Region durch die Investitionen in lokale Gewerbe und Betriebe. Ein weiterer Vorteil ist die Unabhängigkeit von ausländischen Energieträgern und schwankenden Energiepreisen.

Letztlich wird mittels Nutzung der Abwasserwärme die Energieeffizienz der öffentlichen Abwasseranlagen optimiert.

Es kann auch davon ausgegangen werden, dass infolge zunehmender Verbreitung der Abwasserwärmenutzungstechnologie die Investitionskosten noch sinken werden, womit die Abwasserwärmenutzung wirtschaftlicher wird. Dadurch kann die Abwasserwärmnutzung an heute unrentablen Standorten die Grenze der Wirtschaftlichkeit erreichen, es werden mehr Anlagen ökonomisch interessanter. Die minimale Einsatzgrenze von 150 kW verschiebt sich weiter nach unten.

Ungeachtet dessen steht einer weiteren Verbreitung oftmals die Unkenntnis der Bauherren und Kommunen bzgl. den Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologie entgegen. So kann z.B. die weite Verbreitung von Abwasserwärmenutzungsanlagen in Baden-Württemberg unter anderem darin begründet sein, dass dort im Rahmen eines Landesprogramms (Förderrichtlinie Wasserwirtschaft) z.B. die Erstellung von Potenzial- oder Machbarkeitsstudien für einen konkreten Standort finanziell mit bis zu 50 % gefördert wurde.

Insbesondere die Erstellung von Potenzialkarten in Form von Energiekarten bietet die Möglichkeit, das Thema „Abwasserwärme“ auch o.g. Zielgruppe zu kommunizieren. Voraussetzung dafür ist, dass die Karten einheitlich und letztlich landesweit also über kommunale Grenzen hinaus georeferenziert und webbasiert veröffentlicht werden. Hinsichtlich des Detaillierungsgrades müssen diese Energiekarten deutlich über eine kläranlagenbezogene Auswertung, wie sie in den Anhängen dargestellt ist, hinausgehen. Vielmehr muss eine flächenhafte Darstellung generiert werden, wie sie z. B. in Aachen erzeugt wurde (vgl. Abschnitt 5.3.2).

Auftraggeber solcher Potenzialstudien müssen aufgrund der bereitzustellenden Daten (z. B. Kanalstammdaten, Fernwärmenetz) Kommunen bzw. Netzbetreiber sein.

Diese können die Erstellung solcher Karten zwar als Dienstleistung am Bürger betrachten und einen Imagegewinn vermuten, letztlich aber keinen unmittelbaren wirtschaftlichen Nutzen aus den Potenzialstudien ziehen.

Um auch in Nordrhein-Westfalen zu einer Verbreitung der Abwasserwärmenutzung zu kommen, wird empfohlen, die durch Kommunen zu beauftragende Erstellung von Potenzialstudien dann zu unterstützen, wenn die Ergebnisdaten anschließend in einer Internetplattform des Landes NRW veröffentlicht werden können und die Potenzialstudien nach definierten Standards erstellt wurden. Als mögliche Plattform böte sich das ELWAS-IMS an, da wesentliche Funktionalitäten und topografische Karten dort bereits vorhanden sind. Zu ergänzen wäre der Layer „Abwasserwärmepotenzial“ und zugehörige Tabellenstrukturen sowie idealerweise die Möglichkeit, über eine Adresseingabe Auskunft für das Abwasserwärmepotenzial an einem konkreten Standort zu bekommen. Dabei sollten, ähnlich wie bei der Erstellung der Potenzialkarte von EGLV, die an geeignete Abwasserkanäle anschließenden Gebäude in Abhängigkeit der Nennweite des Abwasserkanals und dessen Abstand zum potentiellen Nutzer in „Potenzialklassen“ unterteilt werden, die sich gem. Tabelle 7-1 ergeben. Dies ermöglicht eine Priorisierung möglicher Maßnahmen und eine erste Einschätzung hinsichtlich des wirtschaftlichen Nutzens einer Abwasserwärmenutzungsanlage.

Tabelle 7-1: Potenzialklassen der Abwasserwärmenutzung in Abhängigkeit der Nennweite des Abwasserkanals und der Entfernung von Kanal zum Abnehmer (6: erwartungsgemäß sehr hohes Nutzpotenzial; 1: erwartungsgemäß geringes Nutzpotenzial)

Distanz zum Abnehmer	Nennweite		
	< DN 500	DN 500 bis < DN 800	≥ DN 800
< 200 m	4	5	6
200 m bis < 500 m	3	4	5
500 m bis < 1.000 m	2	3	4
1.000 m bis 1.500 m	1	2	3

Im Anhang befindet sich ein Mustervertrag, der den Standard sicherstellt sowie die Rechte zur Veröffentlichung der Ergebnisse im Förderfalle durch das MKULNV festlegt. Die Unterstützung sollte sich darüber hinaus auf Netzbetreiber bzw. Kommunen beschränken, in denen ein Abwasserwärmeentzugspotenzial bei angenommener Bemessungstemperatur der Kläranlagen von 10 °C von mehr als > 100 KW gem. Anhang 4 existiert.

Darüber hinaus sollte die Umsetzung konkreter Maßnahmen dann unterstützt werden, wenn die Abwasserwärmenutzungsanlagen Modell- bzw. insbesondere Informationscharakter haben.

8 Literatur

- Buri, R.; Kobel, B. (2004): Energie aus Kanalabwasser, Leitfaden für Ingenieure und Planer, Arbeitsgemeinschaft Ryser Ingenieure AG; Download: www.dbu.de
- Buri, René (2005): Planung und Dimensionierung von Abwasserwärmenutzungsanlagen, gwa 2/2005
- Christ, O.; Mittsdoerffer, R.; Armando, R. (2010): Potenzial aus dem Kanal - Wärme aus Abwasser, wwt 09/2010, S. 8 – 15
- Dillig, J. (2008): Erneuerbare Energien und mögliche Einsatzbereiche im Bereich der Werke; Vortrag in der Seminarreihe für Werkleiter 2008, Westerburg Gemeinde- und Städtebund Rheinland-Pfalz
- DWA (Juni 2009): DWA Regelwerk Merkblatt M 114: Energie aus Abwasser, Wärme- und Lageenergie. Hennef: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- FiW (2009): Potenzialstudie zur Abwasserwärmenutzung im kommunalen Kanalnetz Aachen, Auftraggeber STAWAG Aachen
- FiW-IWW (2011): Methodenentwicklung zur Bewertung von siedlungswasserwirtschaftlichen und wasserwirtschaftlichen Anlagen hinsichtlich ihres ökologischen Fußabdrucks; im Auftrag von Erftverband, Linksniederrheinische Entwässerungsgenossenschaft, Niersverband, Wasserverband Eifel-Rur; erarbeitet durch Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V., Mies-van-der-Rohe-Str. 17, 52056 Aachen - IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH, Moritzstr. 26, 45476 Mülheim an der Ruhr
- Hoffmann, Thomas (2004): Deutschland, Bundesländer-Karte, <http://www.th-o.de/bundeslaender/index.htm>
- IKT (2004): Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; erarbeitet durch IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen
- Klinger, H.; Weber, S. (2004): Wärmetauscher im Kanal – Theoretische Grundlagen; KA – Abwasser, Abfall 2004 (51) Nr. 6
- MKULNV (2011): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen, 15. Auflage, 2011; Hrsg.: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)

- N.N. (2005): DIN 18599-10, Energetische Bewertung von Gebäude, Teil 10 Randbedingungen, Tabelle 3, S. 14
- N.N. (2007): Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Energieverbrauch nach Anwendungsbereichen, Energiedaten Tabelle 7a
- N.N. (2009 a): Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch, 2009, S. 289
- N.N. (2009): Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr.13, Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009, Anhang 1, Abs. 2.2, S. 963
- Rometsch, L (2004): Energie aus Abwasserwärme: Ökonomische Randbedingungen und Lösungsansätze
- Schwartz, Dr. Rene (2009): Wärmelastplan Tideelbe, Bedeutung für die Maßnahmenplanung; Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Abteilung Gewässerschutz; Technische Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Umweltschutztechnik, Eißendorfer Str. 40, 21071 Hamburg
- TUTTAHS & MEYER (2010): Ermittlung der Potenziale zur Energieeinsparung, Steigerung der Energieeffizienz und ressourcenschonenden Energieerzeugung in der deutschen Wasserwirtschaft; im Auftrag der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) e. V.; mit Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU); erarbeitet durch TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft für Wasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft mbH, Aachen
- UBA-Bericht (2010): Untersuchung der Voraussetzungen für Projekte zur Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser, Umweltbundesamt Dezember 2010, Förderkennzeichen 3709 26 325

Anhang 1: Tabellarische Übersicht über Anlagenbeispiele in Deutschland

Standort	Bezeichnung	Land	Firma	Art der Abwasser-wärmenutzung	WT	Inbetriebnahme	Abwanfall [t/a]	WT-Länge [m]	Leistung WT [kW]	Leistung WP [kW]
Bad Canstatt	TERROT AREAL Breiten Naturwärmesetz	Baden-Württemberg	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2010	200	76	120	168
					Rinne	2009	60	102	120	170
Freiburg	Wohnanlage Ochslepfard	Baden-Württemberg	UHRIG (Pontos GmbH)	Rohrwasser Kanal	Rinne	2005	9	54	110	145
					Rinne	2011	400	15	76	103
Mannheim	Kindertort	Baden-Württemberg	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2010	15	10	36	45
					Rinne	2003	36	30	172	234
Singen	Stadtwerke	Baden-Württemberg	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2011	130	17	22,5	500
					Rinne	2009	130	17	22,5	73
Tübingen	Rathaus	Baden-Württemberg	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2010	150	70	215	266
					Rinne	2010	12	40	90	121
Waiblingen	Überlandwerke	Baden-Württemberg	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2008	23	22	25	32
					Rinne	2009	23	22	25	32
Krumbach	MSE Betriebshof	Bayern	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2005	120			
					Rinne	2011				
München	BMU	Bayern	Huber SE	Rohrwasser Kanal	Rinne	2010	10	12	41	51
					Rinne	2008				
Straubing	Hohenschonhausen	Bayern	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2006	40	23	32	139
					Rinne	2010				
Berlin	Leibnizgymnas um Lichtenberg	Berlin	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2008	40	23	32	139
					Rinne	2010				
Berlin-Lichtenberg	Hastedtstr.	Berlin	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	12	95	105	200
					Rinne	2010				
Hamburg	Stadtwerke	Hamburg	FEKA Energie-systeme	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	12	95	105	200
					Rinne	2010				
Grevesmühlen	Stadtwerke	Mecklenburg-Vorpommern	FEKA Energie-systeme	Rohrwasser Kanal	Rinne	1997				24
					Rinne	2005				
Güstrow	Stadtwerke	Mecklenburg-Vorpommern	FEKA Energie-systeme	Rohrwasser Kanal	Rinne	2005				120
					Rinne	2004				
Aurich	IRO	Niedersachsen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2012	200	15	40	50
					Rinne	2010	140	46	150	200
Lingen	Marbachkanal	Niedersachsen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2010	20	9	20	35
					Rinne	2005	21	120	170	242
Oldenburg	Feuerwehrgüterhaus	Niedersachsen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2010	90	95	180	275
					Rinne	2010	90	95	180	275
Bochum	Yachthafen	Nordrhein-Westfalen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2010	350	29	120	380
					Rinne	2010	72	34	65	88
Castrop-Rauxel	Brand- und Katastrophenschutzzentrum	Nordrhein-Westfalen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2008	8,3	39	43	80
					Rinne	2011	100	32	52	80
Dornstefurt	Kindertort	Nordrhein-Westfalen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Leverkusen	Betriebsgebäude	Rheinland-Pfalz	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Ludwigshafen	Gemeindezentrum	Rheinland-Pfalz	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Speyer	Brand- und Katastrophenschutzzentrum	Rheinland-Pfalz	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Wärmeverbund Binnlingen	Behinderterwerkstatt	Sachsen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Dresden	Kindertort	Sachsen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Glauchau	Betriebsgebäude	Sachsen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Schkeuditz	Gemeindezentrum	Sachsen	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Merseburg	Gemeindezentrum	Sachsen-Anhalt	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Schkopau	Gemeindezentrum	Sachsen-Anhalt	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150
Pirneberg	Gemeindezentrum	Sachsen-Anhalt	UHRIG	Rohrwasser Kanal	Rinne	2009	96	57	120	150
					Rinne	2009	96	57	120	150

Anhang 2: Tabellarische Übersicht der Kläranlagen mit Zulauftemperaturmessung

Anlage	Mittelwert von C°-Ablauf	Mittelwert von C°-Zulauf	Anzahl Messwerte
Aachen-Horbach	14,2875	12,525	23
Aachen-Soers	17,6	17,00810811	37
Aachen-Süd	12,77	11,8075	40
Aldenhoven	9,1	6,1	1
Bettendorf	7,4	11	1
Bönen	12,37142857	11,68789683	14
Bottrop	13,00833333	13,22777778	12
Dorsten	13,7725	13,20598291	40
Duisburg-Alte Emscher	16,2483871	16,28129032	31
Eilendorf	14,64473684	12,5	38
Gelsenkirchen-Picksmühlenbach	14,2625	14,19322917	16
Hausen-Blens	5,4	6,6	1
Hürtgenwald-Gey	19,6	16,4	1
Linnich	7,8	5,7	1
Lüdinghausen	12	12,51904762	14
Marl-Lenkerbeck	13,58333333	13,0662037	24
Marl-Ost	14,67241379	9,982183908	28
Nordkirchen	10,71538462	8,76474359	13
Olfen	12,98888889	13,98981481	9
Schermbek	9,35	10,28086207	4
Selm-Bork	12,6375	12,20850694	16
Senden	10,45454545	10,9866929	11
Setterich	8,4	7,1	1
Waltrop	13,31875	12,82761674	16
Werne	13,27407407	13,45084809	27

Anhang 3: Beispielhafte Berechnung des Abwasserwärmepotenzials für die Kläranlage Wuppertal-Buchenhofen

Vorgehensweise:

1. Datenzusammenführung
2. Regressionsanalyse
3. Ableitung der Zulauftemperatur
4. Berechnung der Abwasserwärmepotenziale

Datenzusammenführung

Die Berechnung erfolgte auf der Basis von LANUV, EGLV sowie anderen Wasserverbänden zur Verfügung gestellten Daten. Die Datenaufbereitung bezog sich auf die Zusammenführung vorhandener Dateninhalte:

1. Temperatur Zulauf
2. Temperatur Ablauf
3. Tages- sowie jahresbezogene Wassermenge

Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse erfolgte mit dem Ziel, die Abhängigkeit zwischen Zu- und Ablauftemperatur herzustellen und abzuleiten.

Als Ergebnis wurde eine Regressionsfunktion ermittelt mit y als gesuchte Zulauftemperatur in [°C] und x als Ablauftemperatur in [°C]:

$$y_{\text{Zulauf}} = 0,7965 * x_{\text{Ablauf}} + 1,9729$$

Ableitung der Zulauftemperatur

Diese Regressionsfunktion diente der Lückenschließung für den Zulaufbereich mittels Anpassung an die vorhandenen Rohdaten.

Berechnung der Abwasserwärmepotenziale

Die Potenzialberechnung wurde mittels Wärmeübertragungsfunktion aus DWA-M 114 ermittelt. Danach ist das gesuchte Wärmepotenzial W_{wt} in [kJ/s = kW] von der spezifischen Wärmekapazität des Abwassers $c = 4,19$ kJ/kg K, der spezifischen Dichte von Wasser $\rho = 1.000$ kg/m³, der vorhandenen Jahreswassermenge aller NRW-Kläranlagen als Q in [m³/s] und der Temperaturdifferenz ΔT in [K], die auf der Grundlage gebildeter quartalbezogener Dreijahrestemperaturmittelwerte und der Bemessungstemperatur von 10 bzw. 12 °C als Temperaturabkühlung herangezogen wurde, abhängig.

$$W_{\text{wt}} = c * \rho * Q * \Delta T$$

Datenzusammenführung, Regressionsanalyse und Ableitung der Zulaufemperatur

Ein Ausschnitt der Datenzusammenführung und der Anwendung der Regressionsanalyse ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen

Datum	°C-Ablauf	Regressionsfunktion	°C-Regressionzulauf	°C-Quartalmittelwert
18.07.2008	18,5	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	16,7	17,3
11.08.2008	20	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	17,9	17,3
01.09.2008	20,1	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	17,9	14,8
15.09.2008	17,9	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	16,2	14,8
22.09.2008	17,8	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	16,1	14,8
06.10.2008	14,6	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	13,6	14,8
15.10.2008	16,7	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	15,2	14,8
22.10.2008	12	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	11,5	14,8
27.10.2008	15,6	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,4	14,8
04.11.2008	15,4	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,2	14,8
10.11.2008	15,4	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,2	14,8
04.12.2008	12,8	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	12,1	11,8
06.01.2009	10,7	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	10,5	11,1
21.01.2009	11,2	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	10,9	11,1
04.02.2009	11,8	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	11,3	11,1
17.02.2009	10,4	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	10,2	11,1
04.03.2009	12,1	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	11,6	14,0
17.03.2009	12,3	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	11,7	14,0
16.04.2009	16,2	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,8	14,0
29.04.2009	15,4	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,2	14,0
11.05.2009	16,3	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,9	14,0
25.05.2009	18,6	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	16,8	14,0
10.06.2009	18	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	16,3	17,7
25.06.2009	19,8	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	17,7	17,7
01.07.2009	21,3	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	18,9	17,7
14.07.2009	19,4	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	17,4	17,7
30.07.2009	20	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	17,9	17,7
17.08.2009	20,2	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	18,0	17,7
01.09.2009	20,8	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	18,5	15,1
22.09.2009	18,8	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	16,9	15,1
12.10.2009	16,5	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	15,1	15,1
21.10.2009	16,5	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	15,1	15,1
28.10.2009	16,9	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	15,4	15,1
10.11.2009	14,4	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	13,4	15,1
20.11.2009	15,4	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,2	15,1
29.11.2009	12,9	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	12,2	15,1
08.12.2009	13,7	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	12,9	11,1
17.01.2010	12,5	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	11,9	10,9
27.01.2010	11,2	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	10,9	10,9
04.02.2010	10,9	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	10,6	10,9
08.02.2010	10,7	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	10,5	10,9
26.02.2010	10,8	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	10,5	10,9
17.03.2010	12,4	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	11,8	13,5
30.03.2010	13,8	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	12,9	13,5
23.04.2010	15,5	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,3	13,5
03.05.2010	15,5	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,3	13,5
17.05.2010	15,2	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,0	13,5
01.06.2010	15,7	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	14,4	17,1
21.06.2010	17,5	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	15,9	17,1
24.06.2010	20,3	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	18,1	17,1
20.07.2010	21,5	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	19,1	17,1
02.08.2010	20	$Y_{Zulauf}=0,7965 \cdot X_{Ablauf} + 1,94$	17,9	17,1

Wärmepotenzialermittlung

Bildung des Jahresabwassermittelwertes $Q_{\text{JABW-Mittelwert}}$ für die Anlage Wuppertal-Buchenhoven:

- $Q_{\text{JABW,2008}} = 47.600.000 \text{ m}^3/\text{a}$
- $Q_{\text{JABW,2009}} = 47.280.000 \text{ m}^3/\text{a}$
- $Q_{\text{JABWM,Mittelwert}} = (47.600.000 \text{ m}^3/\text{a} + 47.280.000 \text{ m}^3/\text{a}) : 2 = 47.600.000 \text{ m}^3/\text{a}$

und Umrechnung von $[\text{m}^3/\text{a}]$ in $[\text{m}^3/\text{s}]$:

$$Q = 47.600.000 / 31536000 = 1,5043 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bildung der Mittelwertzulauftemperatur über 3 Jahre für 4 Quartale:

1. Quartal: Mittelwert über Dezember bis Februar von 2008 bis 2010:

$$T_{1,\text{Quartal}} = (11,8 + 11,1 + 10,9) / 3 = 11,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

2. Quartal: Mittelwert über März bis Mai von 2008 bis 2010:

$$T_{2,\text{Quartal}} = (13,8 + 14,0 + 13,5) / 3 = 14,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

3. Quartal: Mittelwert über Juni bis August von 2008 bis 2010:

$$T_{3,\text{Quartal}} = (17,3 + 17,7 + 17,1) / 3 = 17,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

4. Quartal: Mittelwert über September bis November von 2008 bis 2010:

$$T_{4,\text{Quartal}} = (15,1 + 14,8 + 15,1) / 3 = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ermittlung der nutzbaren Temperaturdifferenz ΔT in [K],

ausgehend von Quartalmittelwert und der Bemessungstemperatur von $T_{\text{Bem}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

- $\Delta T_{1,\text{Quartal}} = 11,3 - 10 = 1,3 \text{ K}$
- $\Delta T_{2,\text{Quartal}} = 14,4 - 10 = 4,4 \text{ K}$
- $\Delta T_{3,\text{Quartal}} = 17,4 - 10 = 7,4 \text{ K}$
- $\Delta T_{4,\text{Quartal}} = 15,0 - 10 = 5,0 \text{ K}$

Anwendung der Formel zur Wärmeübertragungsmengenberechnung:

$$W_{wt} = c * \rho * Q * \Delta T$$

mit

$$c = 4,2 \text{ kJ/kg K}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$T_{Bem} = 10 \text{ }^\circ\text{C:}$$

Ergebnis

Potenzial in kW für $\Delta T = T_{zu} - T_{Bem}$ in $^\circ\text{C}$ und dem 1. Quartal (Dezember – Februar):

$$W_{wt} = 4,2 * 1000 * 1,5043 * 1,3 = \underline{8.022 \text{ kW}}$$

Potenzial in kW für $\Delta T = T_{zu} - T_{Bem}$ in $^\circ\text{C}$ und dem 2. Quartal (März – Mai):

$$W_{wt} = 4,2 * 1000 * 1,5043 * 4,4 = \underline{27.936 \text{ kW}}$$

Potenzial in kW für $\Delta T = T_{zu} - T_{Bem}$ in $^\circ\text{C}$ und dem 3. Quartal (Juni – August):

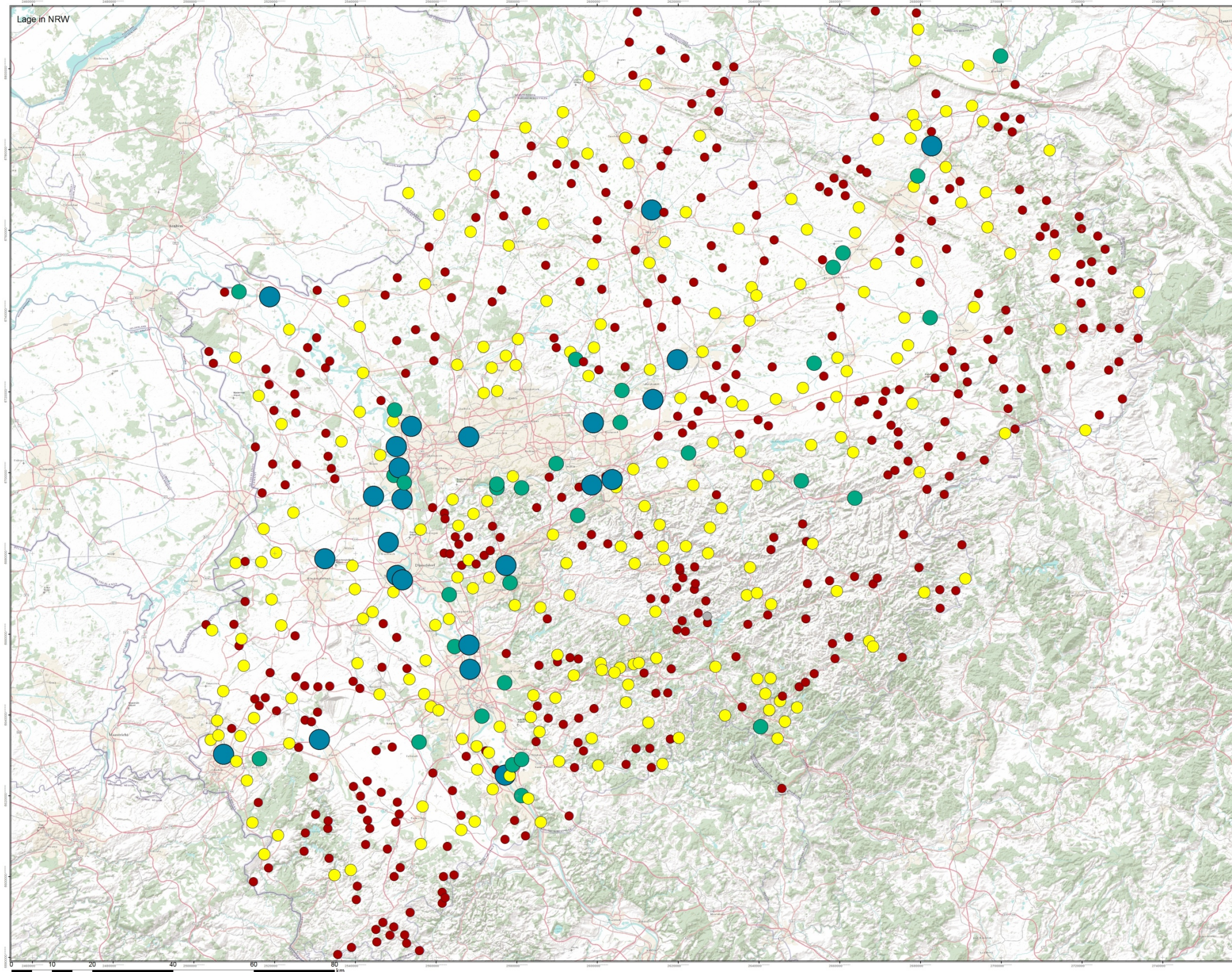
$$W_{wt} = 4,2 * 1000 * 1,5043 * 7,4 = \underline{46.723 \text{ kW}}$$

Potenzial in kW für $\Delta T = T_{zu} - T_{Bem}$ in $^\circ\text{C}$ und dem 4. Quartal (September – November):

$$W_{wt} = 4,2 * 1000 * 1,5043 * 5,0 = \underline{31.489 \text{ kW}}$$

Anhang 4: Potenzialkarten NRW

Abwasserwärmeentzugspotenzial Kanalisation (Bemessungstemperatur der Kläranlagen: 10 °C)



Karteninhalt

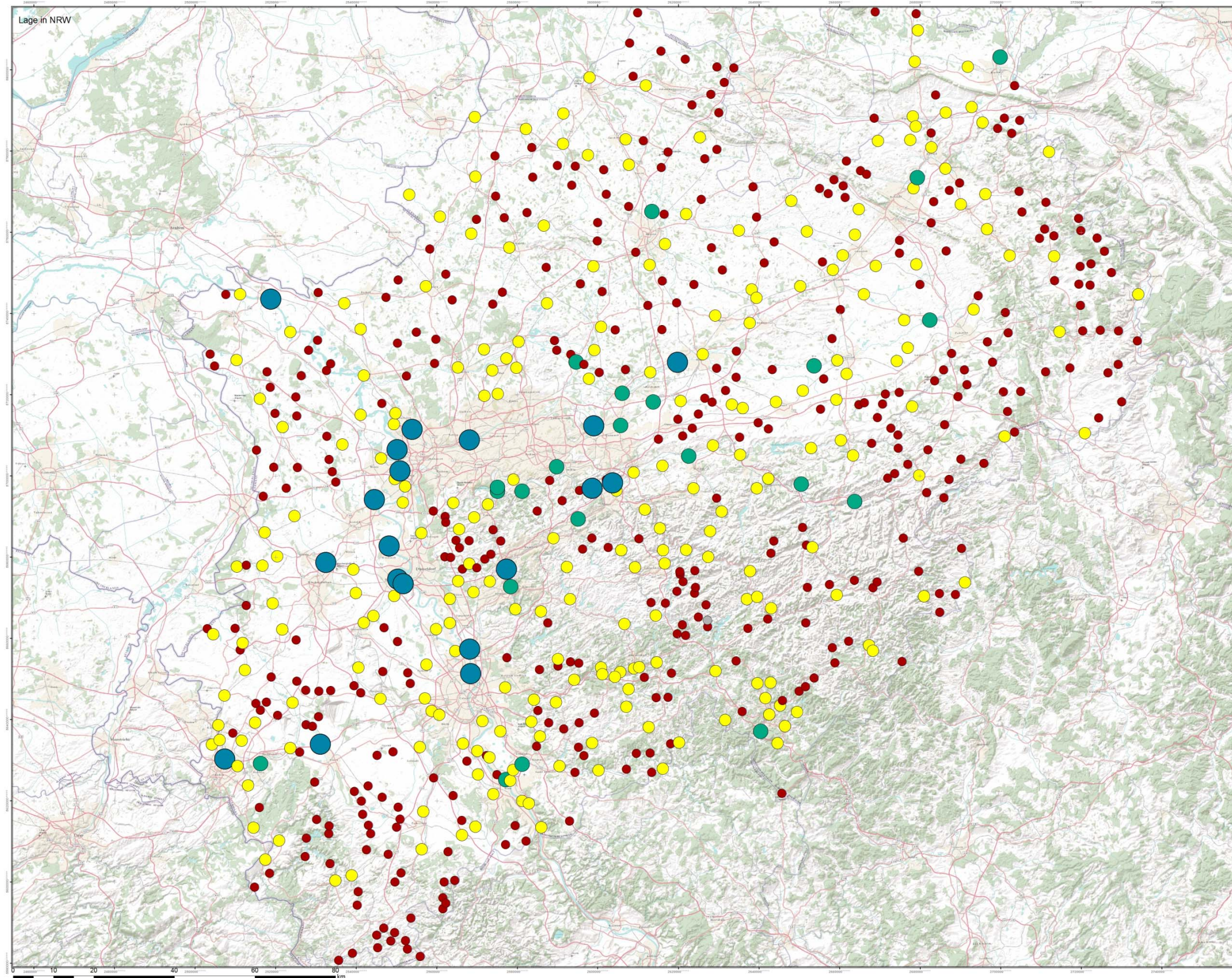
World Topographic Map
http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer

Credit Sources:
 Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Entzugspotenzial bei 10 °C in [kW]

- 0
- < 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Abwasserwärmeentzugspotenzial Kanalisation (Bemessungstemperatur der Kläranlagen: 12 °C)



Karteninhalt

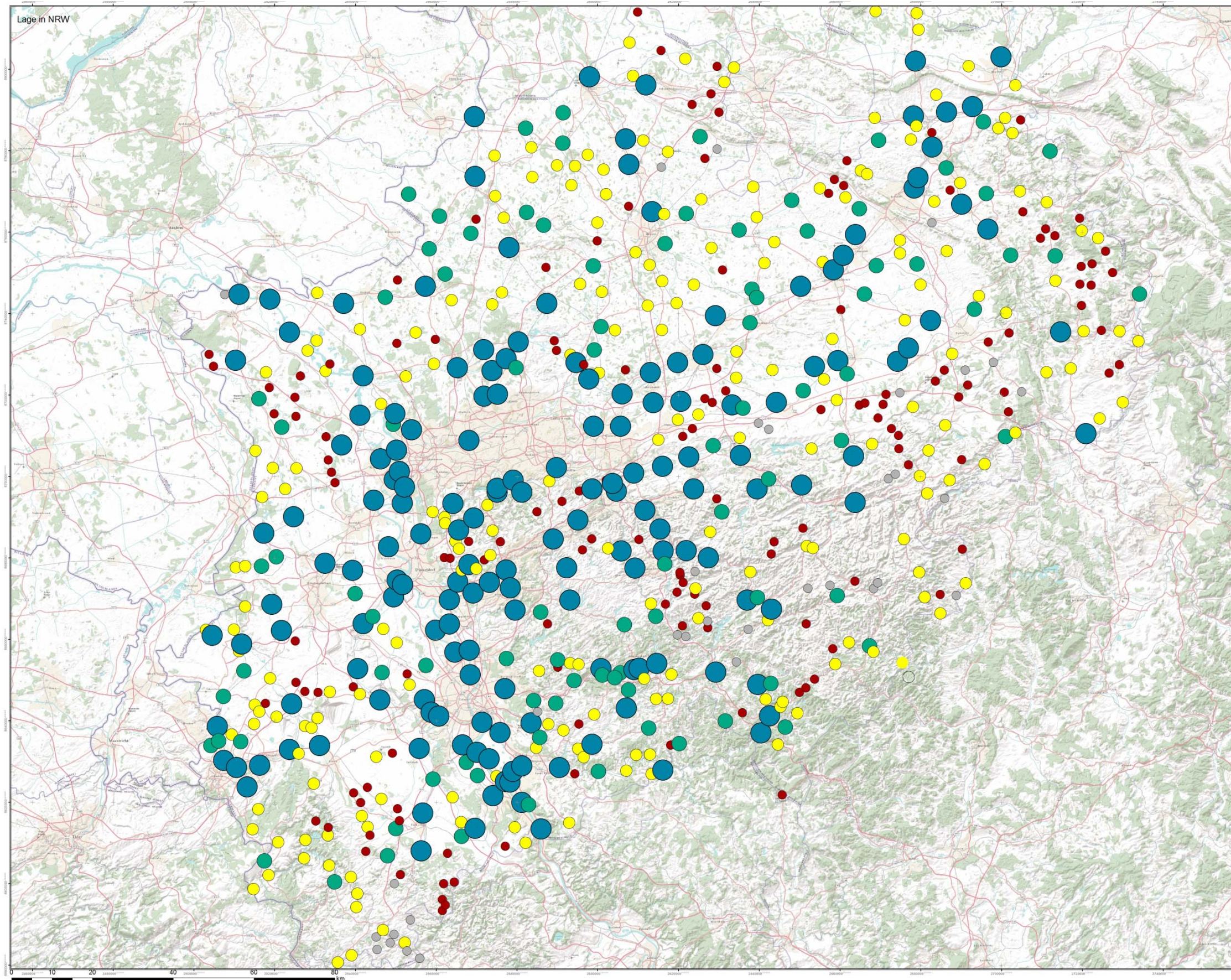
World Topographic Map
http://services.arcgisonline.com/arcgis/rest/services/World_Topo_Map/MapServer

Credit Sources:
 Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Entzugspotenzial bei 12 °C in [kW]

- 0
- < 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Abwasserwärmeentzugspotenzial Ablauf Kläranlage (Temperatur Ablauf: 5 °C)



Karteninhalt

World Topographic Map

<http://services.arcgisonline.com>

/ArcGIS/rest/services/

World_Topo_Map/MapServer

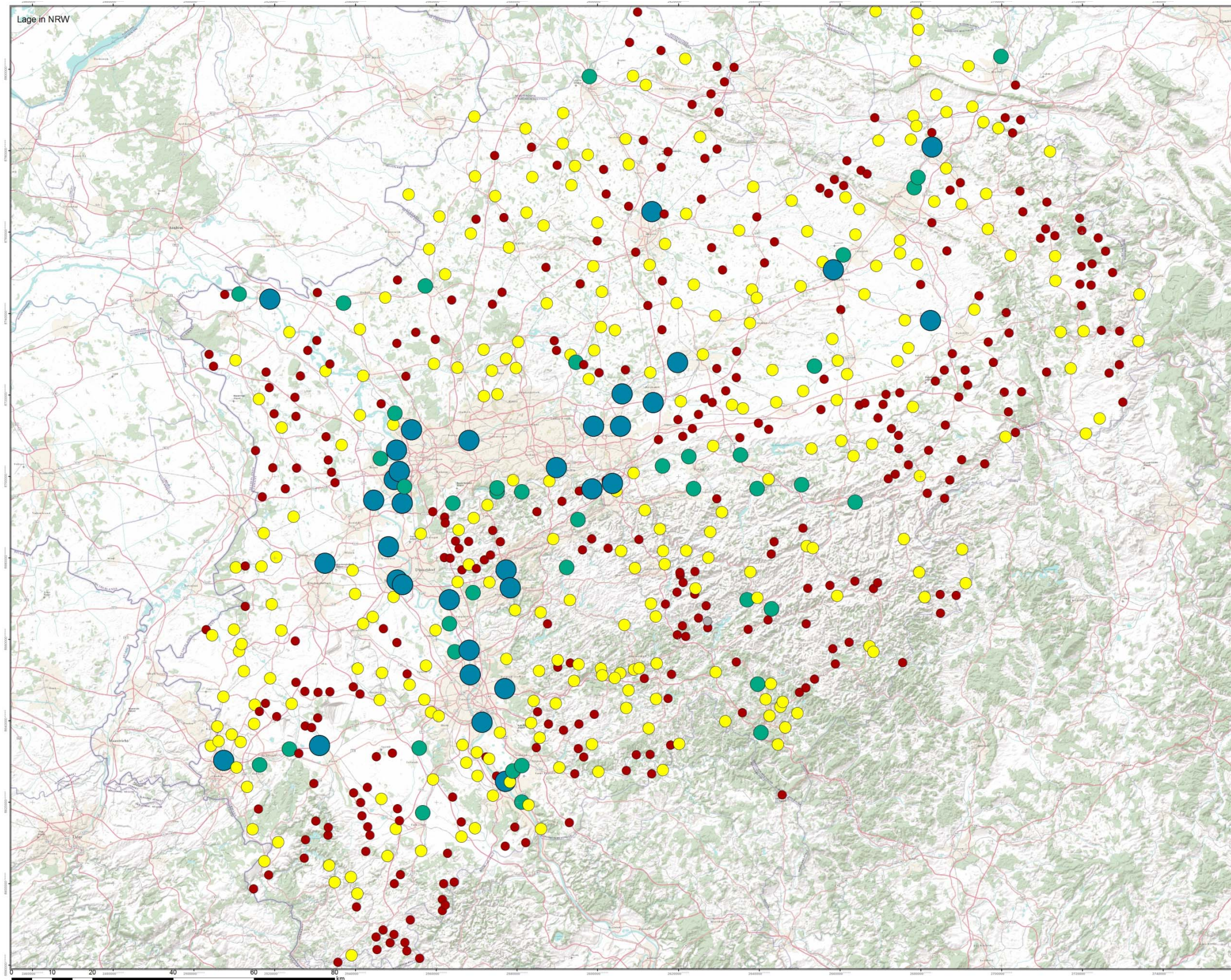
Credit Sources:

Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAQ, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Entzugspotenzial bei 5 °C in [kW]

- 0
- < 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Realisierbares Heizpotenzial bei monovalentem Anlagenbetrieb (COP = 3,5; Bemessungstemperatur der Kläranlagen: 10 °C)



Karteninhalt

World Topographic Map

<http://services.arcgisonline.com>

/ArcGIS/rest/services/
World_Topo_Map/MapServer

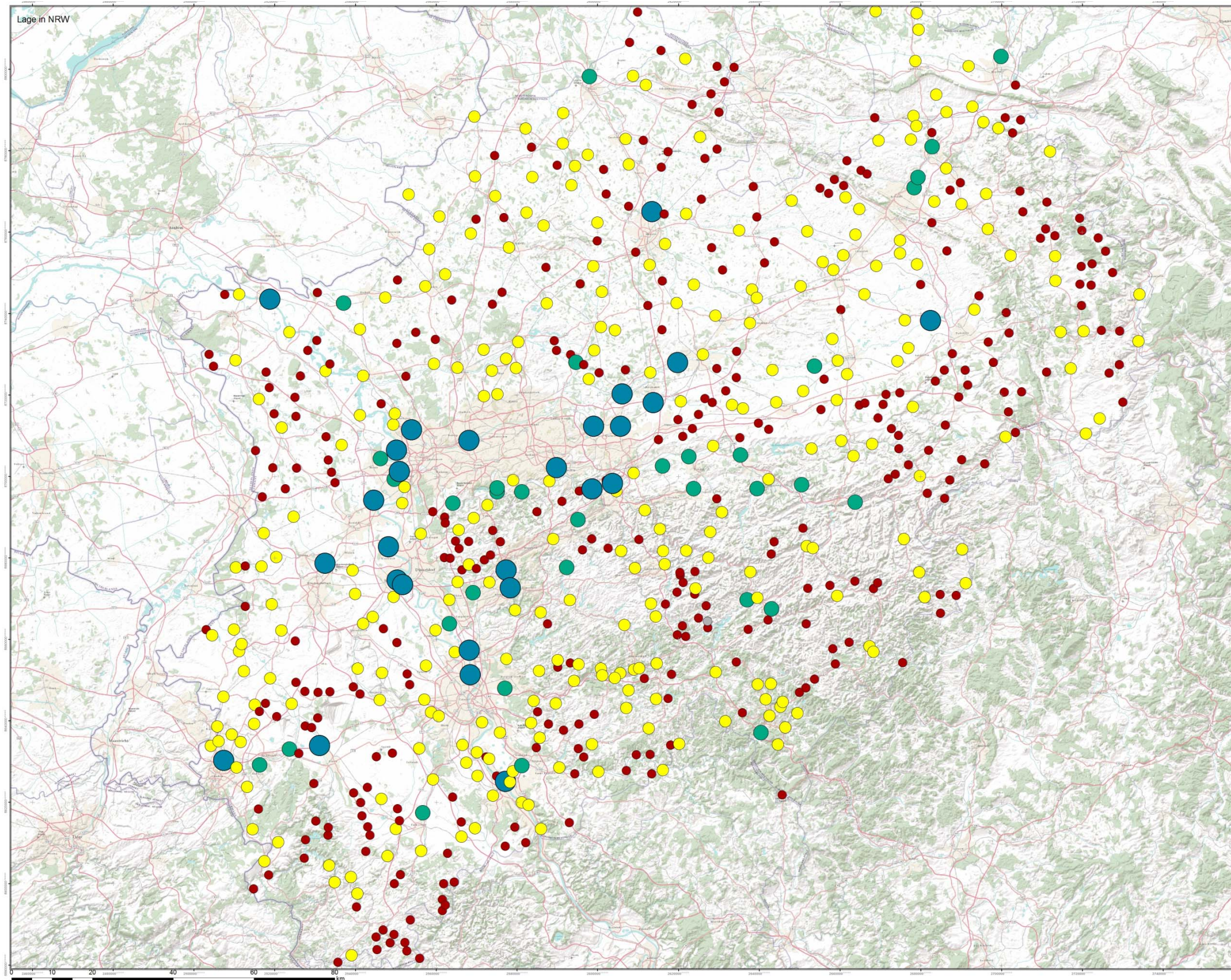
Credit Sources:

Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Heizpotenzial bei 10 °C in [kW]

- 0
- < 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Realisierbares Heizpotenzial bei monovalentem Anlagenbetrieb (COP = 3,5; Bemessungstemperatur der Kläranlagen: 12 °C)



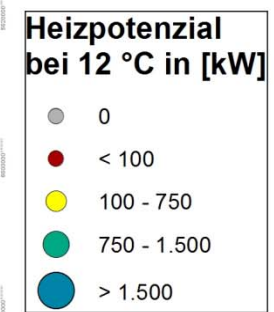
Karteninhalt

World Topographic Map

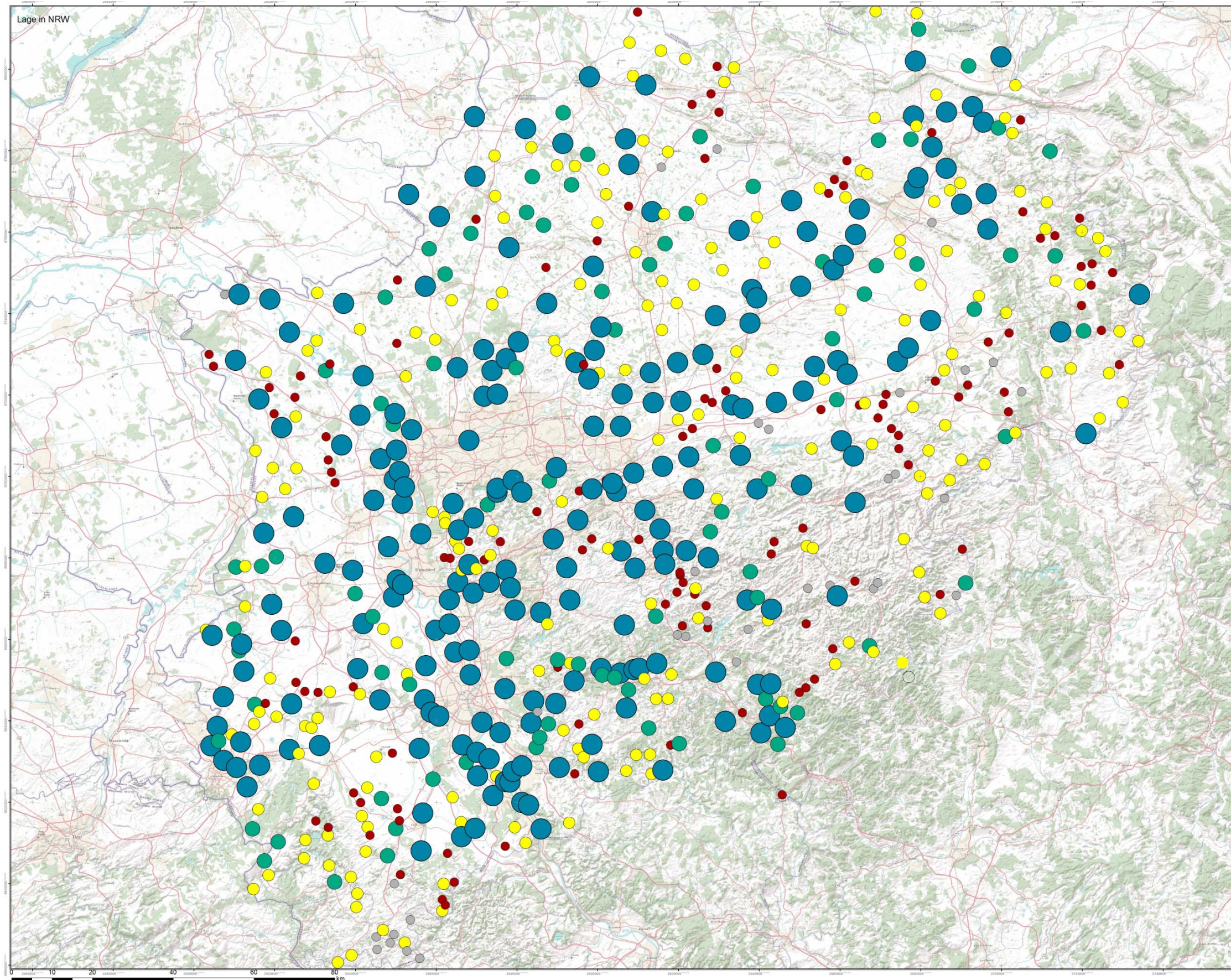
http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer

Credit Sources:

Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAQ, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community



Realisierbares Heizpotenzial bei monovalentem Anlagenbetrieb im Ablauf Kläranlage (COP = 3,5; Temperatur Ablauf: 5 °C)



Karteninhalt

World Topographic Map

http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer

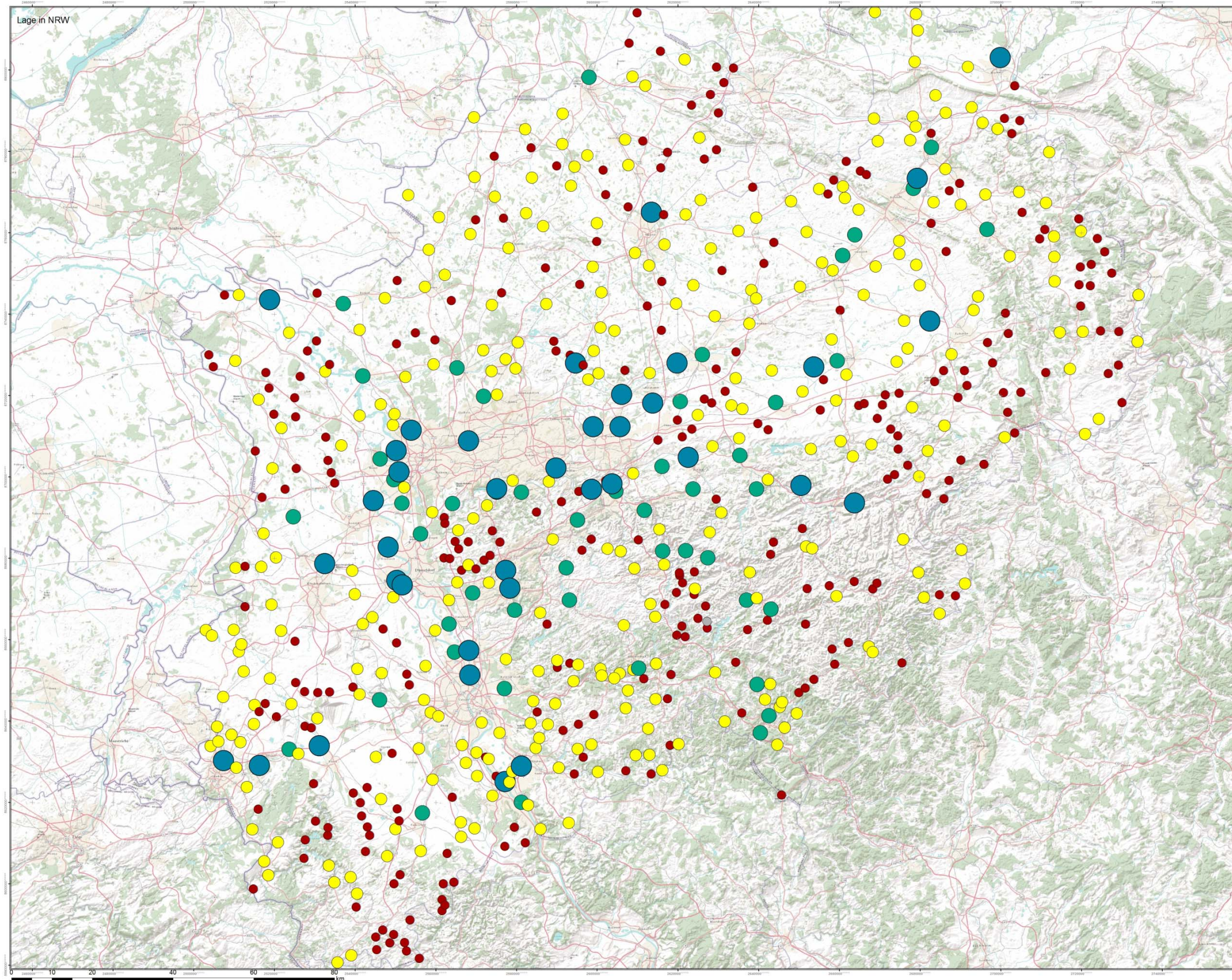
Credit Sources:

Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAQ, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Heizpotenzial bei 5 °C in [kW]

- 0
- 0 - 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Realisierbares Heizpotenzial bei bivalent parallelem Anlagenbetrieb (COP = 4,5; Bemessungstemperatur der Kläranlagen: 10 °C)



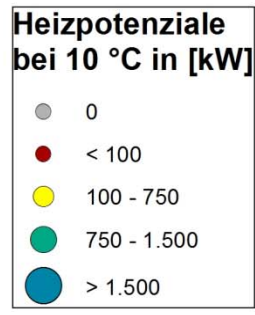
Karteninhalt

World Topographic Map

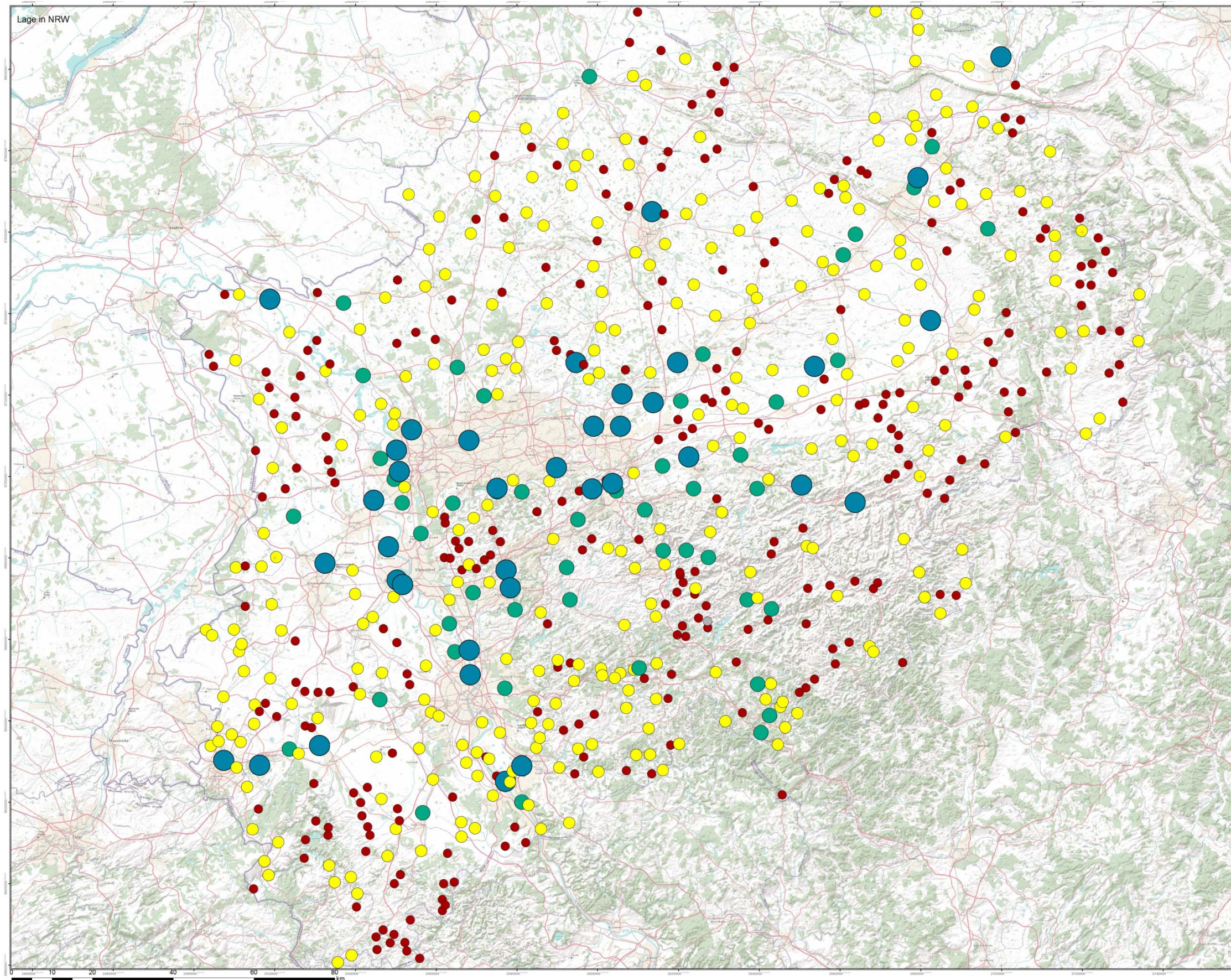
http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer

Credit Sources:

Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAQ, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community



Realisierbares Heizpotenzial bei bivalent parallelem Anlagenbetrieb (COP = 4,5; Bemessungstemperatur der Kläranlagen: 12 °C)



Karteninhalt

World Topographic Map

<http://services.arcgisonline.com>

/ArcGIS/rest/services/
World_Topo_Map/MapServer

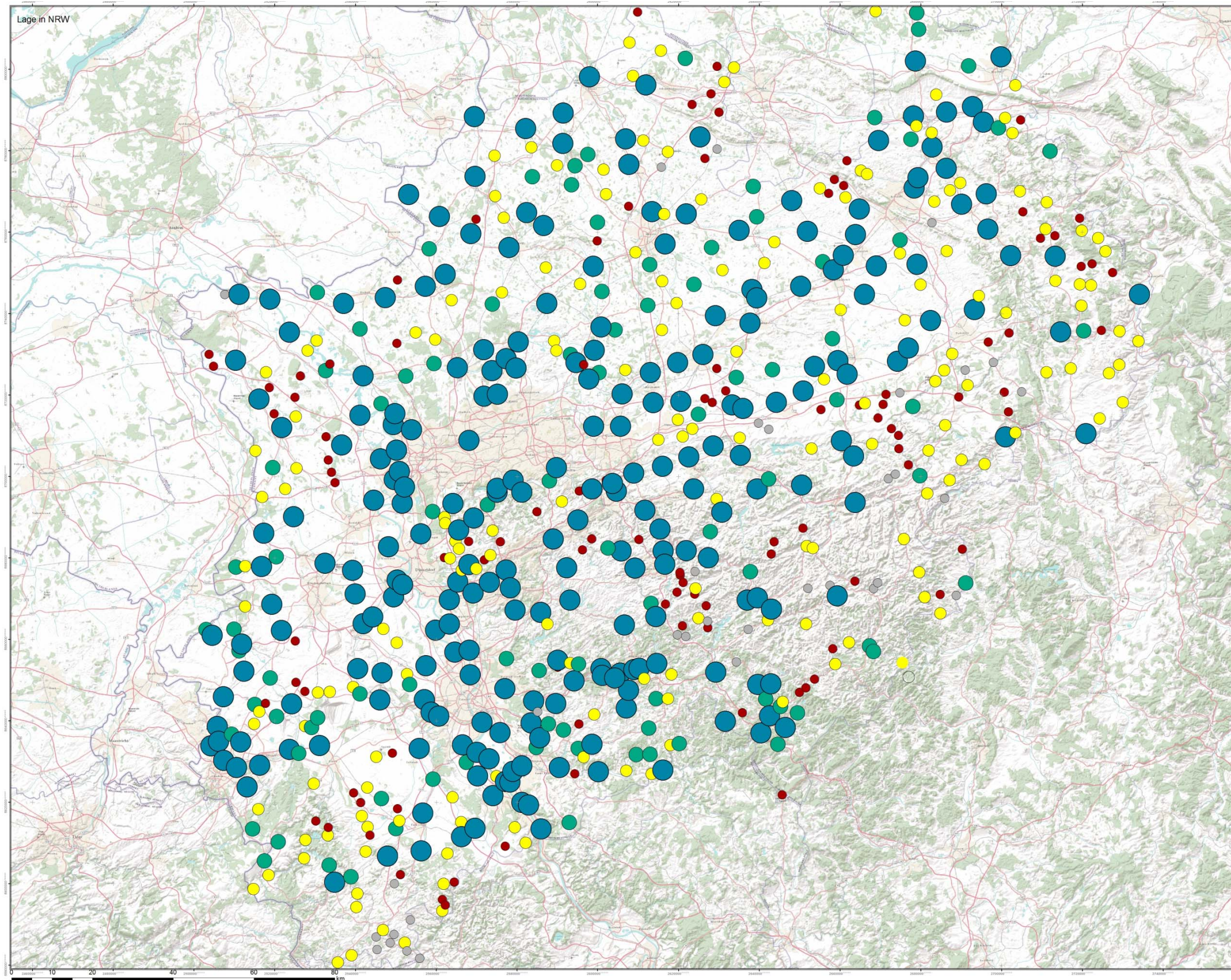
Credit Sources:

Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Heizpotenziale bei 12 °C in [kW]

- 0
- 0 - 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Realisierbares Heizpotenzial bei bivalent parallelem Anlagenbetrieb im Ablauf Kläranlage (COP = 4,5; Temperatur Ablauf: 5 °C)



Karteninhalt

World Topographic Map

http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer

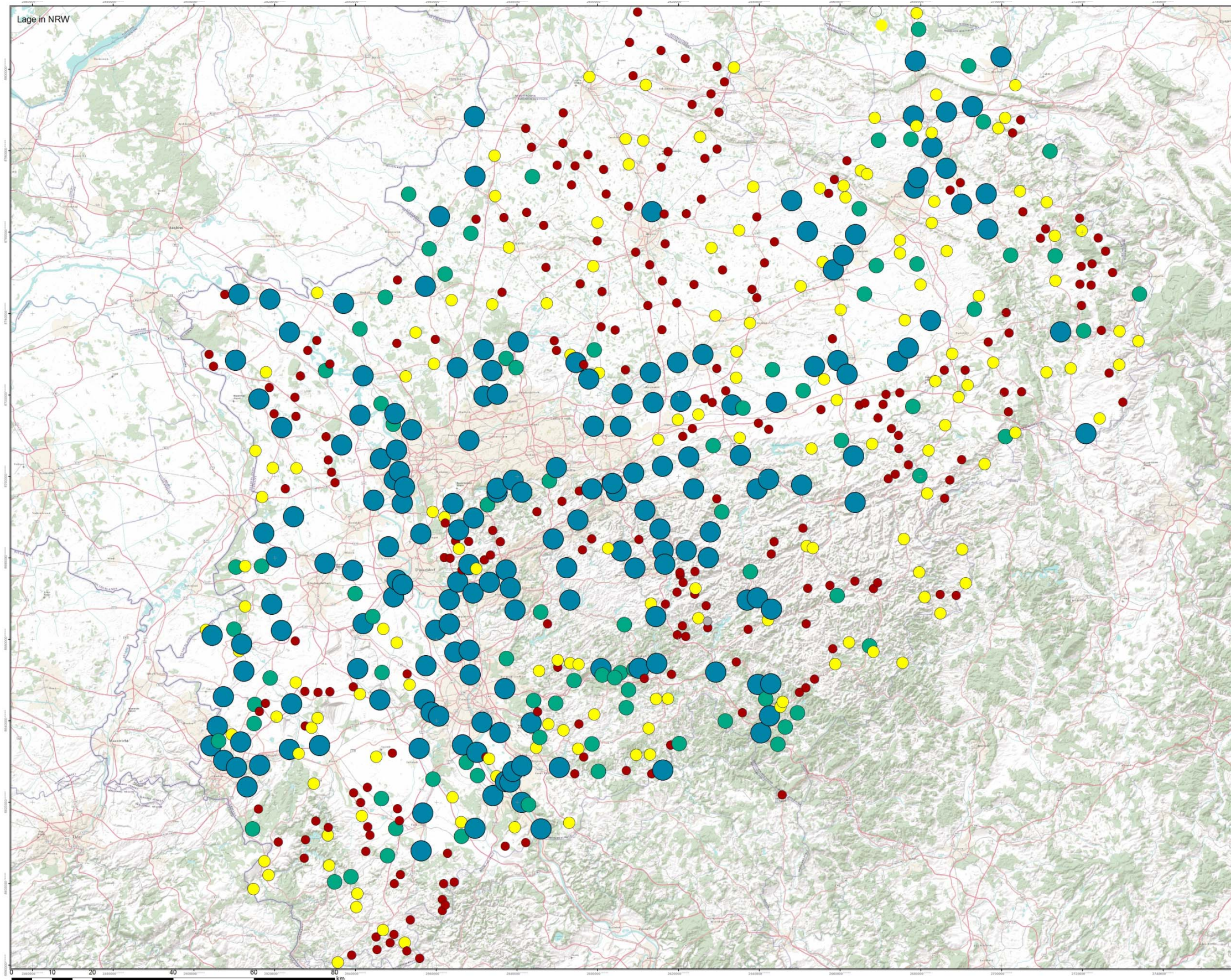
Credit Sources:

Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAQ, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Heizpotenziale bei 5 °C in [kW]

- 0
- < 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Realisierbares Heizpotenzial bei bivalent alternativem Anlagenbetrieb (COP = 4,5; Bemessungstemperatur der Kläranlagen: 10 °C)



Karteninhalt

World Topographic Map

<http://services.arcgisonline.com>

/ArcGIS/rest/services/

World_Topo_Map/MapServer

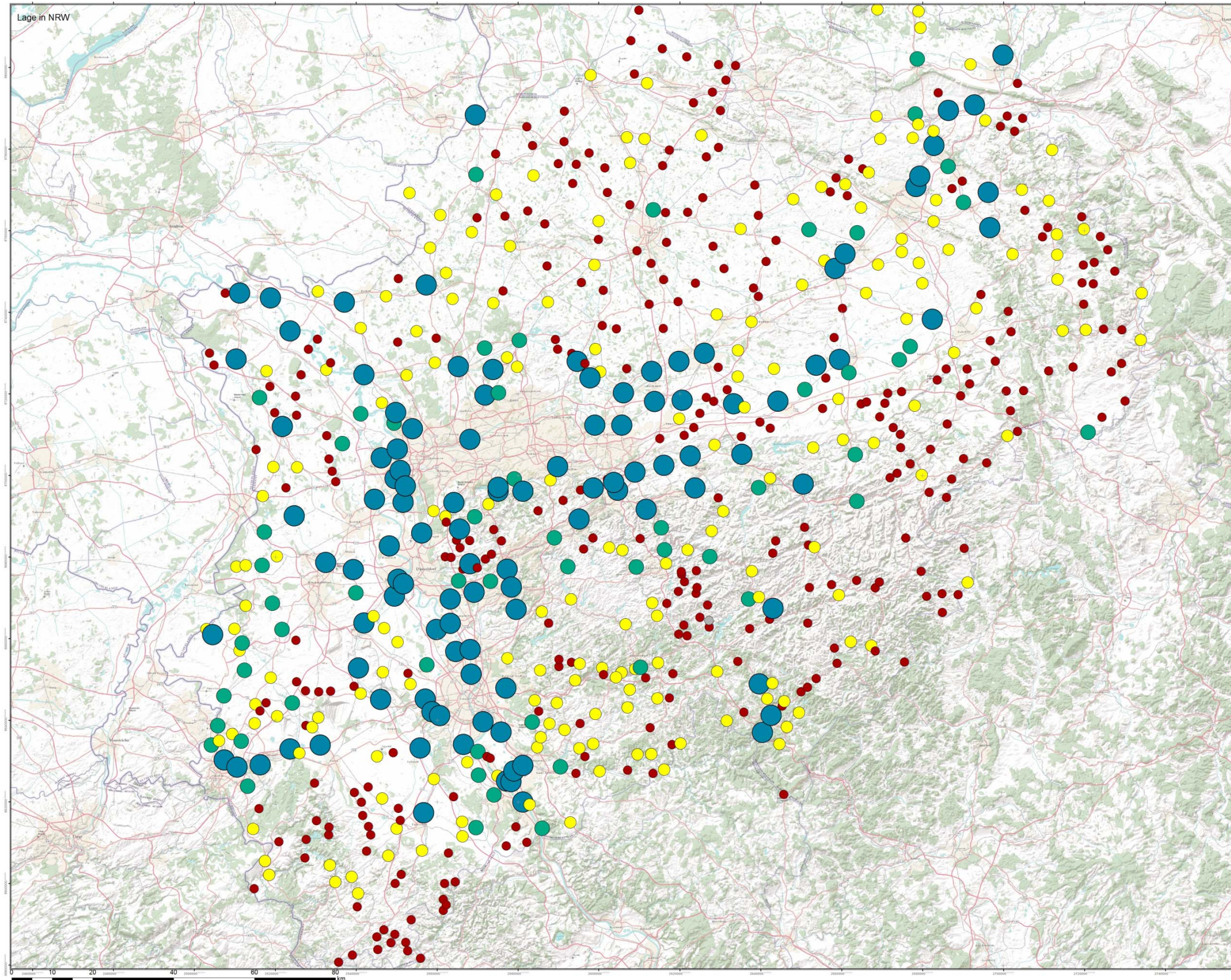
Credit Sources:

Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAQ, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Heizpotenzial bei 10 °C in [kW]

- 0
- < 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Realisierbares Heizpotenzial bei bivalent alternativem Anlagenbetrieb (COP = 4,5; Bemessungstemperatur der Kläranlagen: 12 °C)



Karteninhalt

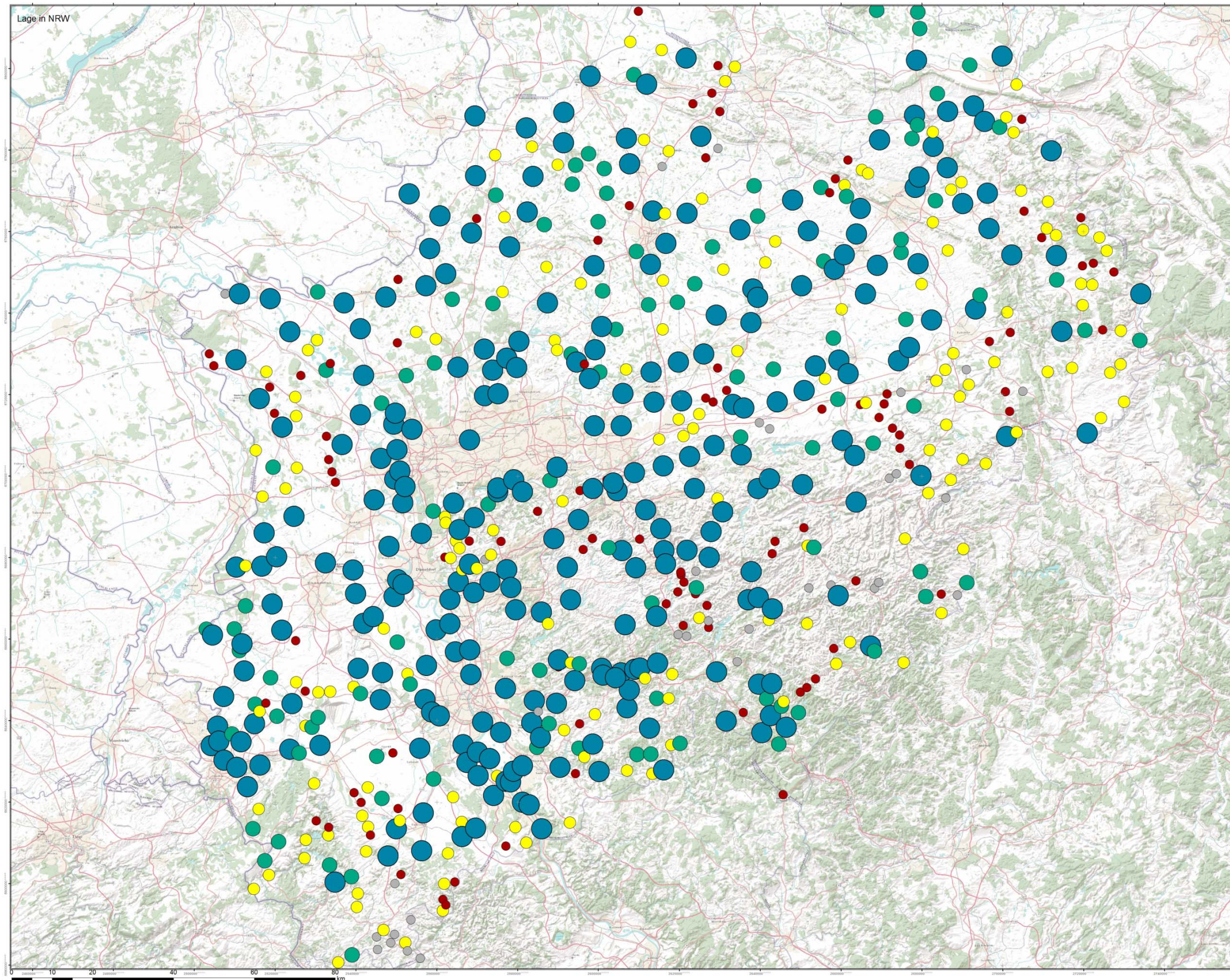
World Topographic Map
http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer

Credit Sources:
 Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAQ, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Heizpotenzial bei 12 °C in [kW]

- 0
- < 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Realisierbares Heizpotenzial bei bivalent alternativem Anlagenbetrieb im Ablauf Kläranlage (COP = 4,5; Temperatur Ablauf: 5 °C)



Karteninhalt

World Topographic Map

http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer

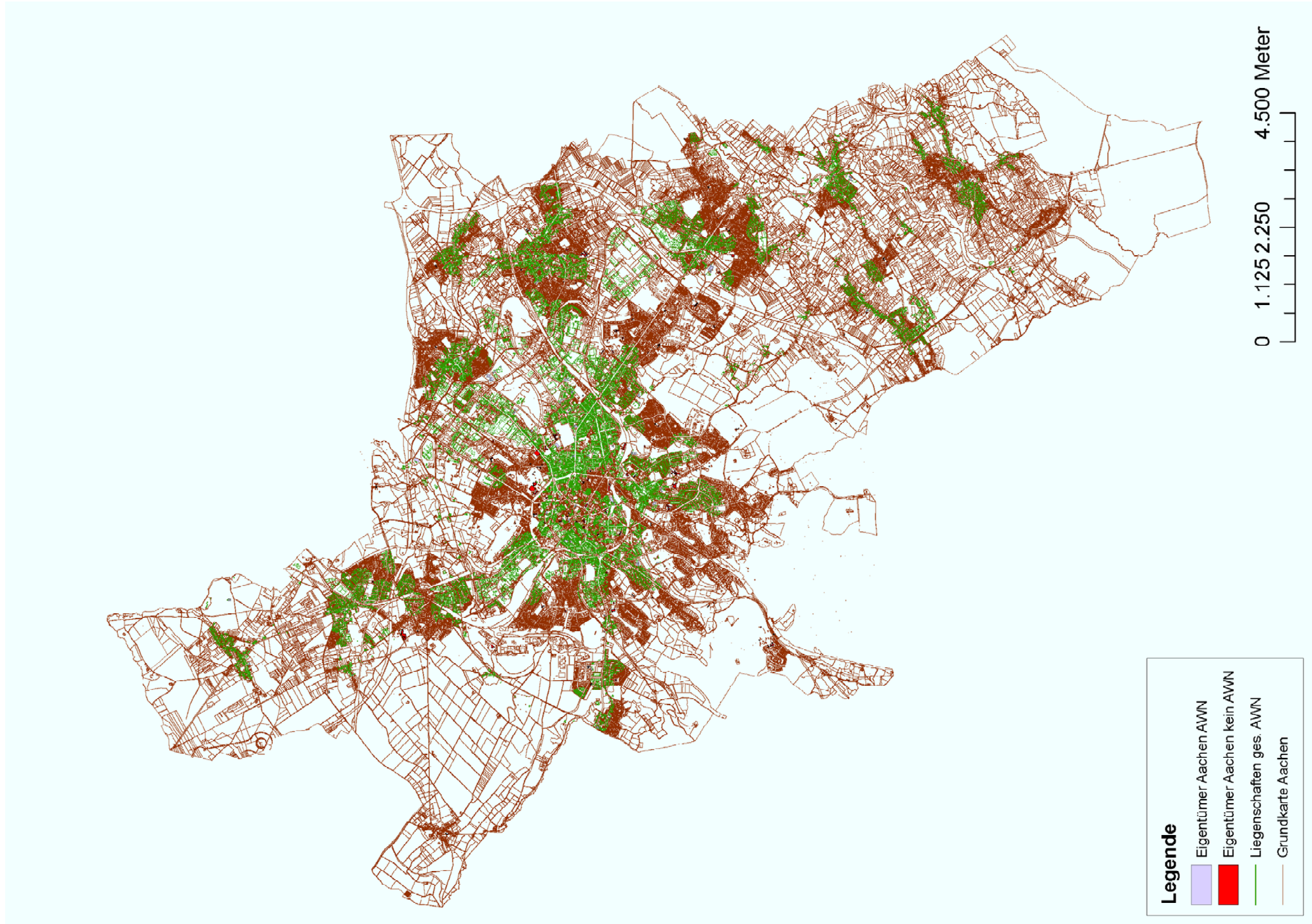
Credit Sources:

Esri, DeLorme; NAVTEQ, TomTom, Inermap, increment P Corp, GEBCO, USGS, FAQ, NPS, NRCAN, GeoBase, Kadaster NL, Ordnance survey, Esri Japan, METI, and the GIS User Community

Heizpotenzial bei 5 °C in [kW]

- 0
- < 100
- 100 - 750
- 750 - 1.500
- > 1.500

Anhang 5: Abwasserwärmepotenzialkarte Aachen (FiW, 2009)



Anhang 6: Mustervertrag (Entwurf)

VEREINBARUNG ÜBER DIE ERSTELLUNG EINER ABWASSERWÄRMEPOTENZIALKARTE

- Entwurf -

zwischen

Kanalbetreiber Musterstadt

und

XXXX

Hauptstraße, 12345 Musterstadt

Nebenstraße, 67890 Modelstadt

(Auftraggeber)

(Auftragnehmer)

1 Zweck der Vereinbarung

Die Vereinbarung regelt die Bedingungen und Anforderungen, die für die förderfähige Erstellung einer Abwasserwärmepotenzialkarte gelten. In einer solchen Abwasserwärmepotenzialkarte ist für ein kommunales Kläranlageneinzugsgebiet georeferenziert dargestellt, welche Gebäude aufgrund ihrer Nähe zu Abwasserkanälen, die hinsichtlich Nennweite, Wasserführung und weiteren Rahmenbedingungen technisch sinnvoll über eine Abwasserwärmenutzungsanlage beheizt oder klimatisiert werden könnten. Den Gebäuden werden dabei in Abhängigkeit der erwarteten Wirtschaftlichkeit einer Abwasserwärmenutzung Potenzialklassen von 1 (erwartetes Potenzial gering) bis 6 (erwartetes Potenzial hoch) zugeordnet.

2 Leistung des Auftragnehmers

Der Auftragnehmer erstellt auf Basis der vom Auftraggeber digital und georeferenziert bereitgestellten Daten eine GIS-basierte Abwasserwärmepotenzialkarte. Kriterien Auswertalgorithmus und Inhalt und Übergabeformat der GIS-Ergebnisdatei entsprechen dem vom MKUNLV vorgegebenen Standardformat. Ergänzend wird die Abwasserwärmepotenzialkarte als pdf-Datei zur Verfügung gestellt.

3 Leistung des Auftraggebers

Der Auftraggeber stellt dem Auftragnehmer folgende Daten zur Verfügung:

- Im ISYBAU-Format:
 - Kanalstammdaten
 - Kanalzustandsdaten
 - Hydraulikdaten
- Im dxf-Format:
 - Stadtgrundkarte
 - Verlauf ggf. vorhandener Fernwärmenetze sowie der mit Fernwärme versorgte Gebäudebestand
 - Flächen, in denen aufgrund sonstiger Restriktionen eine Abwasserwärmenutzung (z. B. Fernwärmeausbaugebiete) nicht erfolgen kann.

4 Besondere Vereinbarungen

Das Land NRW gewährt dem Auftraggeber eine Zuwendung von X.XXX €, die jedoch die in Punkt 5 vereinbarte Vergütung nicht übersteigt. Der Auftragnehmer stellt die GIS-Ergebnisdatei und deren Nutzungsrechte dem Land NRW in dem mit dem Land vereinbarten Format zur Verfügung. Es gelten die Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen des Landes NRW.

5 Vergütung

Oben genannte Leistungen werden pauschal für XXXX € zuzüglich der jeweils gültigen gesetzliche Umsatzsteuer angeboten.

6 Gewährleistung

Im Rahmen der Bearbeitung des Projektes entsprechend dem vorliegenden Angebot übernimmt der Auftragnehmer die Gewähr für die objektive, sorgfältige, fachlich fundierte und mit dem Auftraggeber abgesprochene Bearbeitung gemäß dem derzeitigen Stand der Technik.

7 Haftung

Der Auftragnehmer haftet für die Folgen von Verstößen aus der Ausübung seiner beruflichen Tätigkeit als Ingenieur gemäß den gesetzlichen Bestimmungen.

Die Haftung ist in der Höhe auf die Versicherungssumme von 1,5 Mio. EUR begrenzt.

8 Gerichtsstand

Gerichtsstand ist Musterstadt.

Für den Auftraggeber

Für den Auftragnehmer

....., den

.....

....., den

.....

Ort und Datum

Stempel und Unterschrift Ort und Datum Stempel und Unterschrift