

BMBF-Programm:
Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen (FHprofUnt)

Schlussbericht zum Vorhaben

„Energieeffiziente Stadtentwicklungsplanung für ein Altstadtquartier
im Spannungsfeld von CO₂-Reduktion und Denkmalschutz“
- eCO₂centric -

Zuwendungsempfänger: (1) Prof. Dipl. Ing. MSAAD Ute Margarete Meyer
Studienfeld Städtebau
Studiengang Architektur
IAS – Institut für Architektur und Städtebau
Hochschule Biberach

(2) Prof. Dipl. Phys. Andreas Gerber
Studienfeld Energie und Klima
Studiengang Gebäudeklimatik und Energiesysteme
IGE – Institut für Gebäude- und Energiesysteme
Hochschule Biberach

Förderkennzeichen: 03FH021PX2

Projektleitung: Prof. Ute Margarete Meyer

Laufzeit: 01.10.2012 bis 30.04.2014

Berichtszeitraum: 01.10.2012 bis 30.04.2014

wiss. Partner: (1) Prof. Dr. Ing. Christoph Hupfer
Studienfeld Verkehrssystemmanagement
Fakultät Informationsmanagement und Medien
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft

(2) Dipl.-Ing. Architekt Christoph Schwarzkopf
Studienfeld Baugeschichte und Denkmalpflege / Studiengang
Architektur
Fakultät Architektur und Bauwesen
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft

Projektpartner Gewerbe: Fa. e.wa riss GmbH & Co KG
Fa. SWBC Stadtwerke Biberach

Sonstige Partner: Stadtplanungsamt Stadt Biberach

Projektteam :

- Prof. Dipl.-Ing. MSAAD Ute Margarete Meyer (IAS)
- Prof. Dipl. Phys. Andreas Gerber (IGE)
- Prof. Dipl.Phys. Dipl. Energiewirt Axel Bretzke (IGE)
- Prof. Dr. Ing. Christoph Hupfer (HsKA)
- Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff (IGE)
- Dipl. Ing. Architektur Christoph Schwarzkopf (HsKA)
- M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Michael Bachseitz (IGE)
- M.Eng. Robert Blaszczyk (HsKA)
- Dipl. Ing. Landschaftsarchitektur Heiderose Ernst (IAS)
- M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Philipp Feuerstein (IGE)
- Dipl. Ing. Architektur Philipp Rehm (IAS)
- Dipl. Wi.-Ing. Energie- und Umweltmanagement Stefanie Uhrhan (IGE)
- M.Eng. Urban Planning (B.Sc. Geography) Andrea Zähle (IAS)
- B. A. Selina Edel (IAS)
- B. A. Sonja Schmid (IAS)
- B. A. Lilli Wiest (IAS)

Inhaltsverzeichnis

- I.1 Aufgabenstellung
- I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde
- I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens
- I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde
- I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen
- II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen

Grundlagen

- II.1.1 Grundlagen im Bereich Städtebau
- II.1.2 Grundlagen im Einzelnen im Bereich Abfall- und Abwasser
 - II.1.2.1 Aufgabenstellung
 - II.1.2.2 Methode und Prozess
 - II.1.2.2a Top-down Ansatz
 - II.1.2.2b Bottom-up Ansatz
 - II.1.2.3 Bestandsaufnahmen und Status Quo
 - II.1.2.4 Energienutzung und Energiebereitstellung
 - II.1.2.4a Überschlägige Ermittlung des Energieverbrauchs und –bedarfs
 - II.1.2.4b Bestandsaufnahme und Analyse Heizanlagen Schornsteinfeger Neubrand
 - II.1.2.4c Stadtwerke und e.wa riss, Verbrauchsdaten Gas, Strom und Wasser
 - II.1.2.4d Stadt BC Energieberichte
 - II.1.2.4e Stadtentwässerung
 - II.1.2.4f Recherchen zu Kennwerten für Trink-/Abwasser und Warmwasserbedarf
 - II.1.2.4g Recherche zu technischen Lösungen für Abwasserwärmenutzung
 - II.1.2.4h Abfallwirtschaft
 - II.1.2.5 CO₂-Emissionen
 - II.1.2.5a Überschlägige Ermittlung von CO₂-Emissionen
- II.1.3 Grundlagen im Bereich Ermittlung Energiebedarf und Einsparpotenziale
 - II.1.3.1 Modellbasierte Ermittlung des Energiebedarfs
 - II.1.3.2 Das Berechnungswerkzeug
 - II.1.3.3 Bestandsaufnahme und Analyse des Status Quo
 - II.1.3.3a Annahmen
- II.1.4 Grundlagen im Einzelnen im Bereich Geothermie

II.1.4.1. Allgemeine Grundlagen

II.1.4.1a Wärmepumpenheizung

II.1.4.1b Nahwärmenetze mit Wärmepumpen

II.1.4.1c Thermische Nutzung von Oberflächenwasser

II.1.4.2. Projektspezifische Grundlagenermittlung

II.1.4.2a Erdwärmesonden, -kollektoren und -körbe

II.1.4.2b Thermische Nutzung von Oberflächenwasser

II.1.4.2c Thermische Nutzung von Grundwasser

II.1.4.2d Thermische Nutzung von Trinkwasser

II.1.4.2e Randbedingungen für die Potenzialermittlung

II.1.5 Grundlagen im Einzelnen im Bereich Mobilität

Potenziale

II.1.6 Potenziale im Bereich Städtebau

II.1.7 Potenziale der Energienachfrage, Übersicht Szenarien

II.1.8 Potenziale der Energiebereitstellung, Übersicht

II.1.8.1 Überschlägige Ermittlung von Einsparpotenzialen bei der Energiebereitstellung Szenarien

II.1.8.2 Potenziale der Abwasserwärmenutzung

II.1.8.2a Möglichkeiten dezentraler Abwasserwärmerückgewinnung

II.1.8.2b Dezentrale Abwasserwärmenutzung in der Altstadt Biberachs

II.1.8.2c Möglichkeiten zentraler Abwasserwärmerückgewinnung

II.1.8.2d Zentrale Abwasserwärmenutzung in der Altstadt Biberachs

II.1.8.3 Potenziale KWK

II.1.8.4 Potenziale Abfallverwertung

II.1.9 Potenziale im Bereich Gebäudehülle

II.1.10 Potenziale im Bereich Geothermie

II.1.10.1 Potenziale - Oberflächennahe Geothermie

II.1.10.1a Physikalisches Potenzial

II.1.10.1b Technisch maximal nutzbares Potenzial

II.1.10.1c Beispiele vorhandener Anlagen in Biberach

II.1.10.2 Potenzial – Tiefe und mitteltiefe Geothermie

II.1.10.2a Beispiel Tiefe Geothermie: Jordanbad Biberach [KOE11]

II.1.11 Potenziale im Bereich Mobilität

Fokus Denkmalschutz, Maßnahmenpakete, Fallstudien

II.1.12 Fokus Denkmalschutz

II.1.13 Maßnahmenpakete im Bereich Städtebau

II.1.14 Fallstudien Potenziale der Energiebereitstellung

II.1.14.1 Zentrale und dezentrale Abwassernutzung

II.1.14.2 Fallstudie zentrale Energiebereitstellung durch Oberflächengewässer mit Wärmepumpe, BHKW und Photovoltaik am Beispiel des Sennhofareals

II.1.14.3 Fallstudie Potenziale für die Projekt-Szenarien im Bereich Geothermie

II.1.15 Potenziale für die Projekt-Szenarien im Bereich Mobilität

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

II.1.16 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

II.1.17 Schlussfolgerungen und Empfehlungen im Bereich Geothermie

II.1.18 Schlussfolgerungen und Empfehlungen Energieeffizienz und erneuerbare Energie

II.2 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

II.3 Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

II.4 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens und der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

II.5 Darstellung des während der Durchführung dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

II.6 Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung durch den Fördergeber

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Quellenverzeichnis

Literaturliste

Anhänge 01 und 02

I.1. Aufgabenstellung

Die Umsetzung der europäischen Richtlinien zu Energieeffizienz, Energieeinsparung und CO₂-Reduktion bildet heute den Rahmen für jede städtebauliche Entwicklung. Dies stellt Kommunen und Energieversorgungsunternehmen vor große neue Herausforderungen. Auch in der Stadtplanung muss dieser neuerliche – klimatisch energetische – Strukturwandel inhaltlich wie methodisch bewältigt werden. Hier bieten städtebauliche Ansätze weiterreichende Möglichkeiten jenseits der am Einzelobjekt orientierten Effizienzoptimierung. Dies gilt auch für die Anpassung bestehender Bebauungsstrukturen und trifft in besonderer Weise für die sorgsame Ertüchtigung historischer Stadtquartiere zu. Die besonders komplexe Ausgangslage einer typischen Altstadt (Eigentümerstrukturen, Denkmalschutz, Einzelhandel, Stadtbild, usw.) bedingt eine integrierte Betrachtung städtebaulich-räumlicher und baukultureller Aspekte mit infrastrukturellen und technologischen Fragestellungen. Kernaufgabe des Forschungsprojektes ist es daher zu prüfen, wie weit eine denkmalgeschützte Altstadt an eine CO₂ neutrale Energiebilanz herankommen kann.

Die Bearbeitung dieser Fragestellung erfolgt in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Stadtplanung, Energieingenieurwesen und Mobilitätsplanung. Fachberater aus dem Bereich Denkmalschutz werden eng in das Vorhaben eingebunden, so dass mögliche Maßnahmen in direkter Abstimmung entwickelt und gemeinsam bewertet werden können. Ziel ist es am konkreten Beispiel der Stadt Biberach an der Riss Handlungsoptionen einer energieeffizienten und klimagerechten Stadtentwicklung innerhalb des Rahmens denkmalgeschützter Bausubstanz zu erarbeiten. Später sollen darauf aufbauend weitere Stadtzentren vergleichend untersucht und Schlussfolgerungen im Hinblick auf einen Leitfaden gezogen werden.

Die Stadt Biberach an der Riss hat in der Vergangenheit beispielhaft gute Grundlagen für ein integriertes städtebauliches Entwicklungsgebiet erarbeitet. Mit dem STEK 2050 wurde ein dynamisches Planungsinstrument geschaffen, dessen Ziele und Handlungsfelder es kontinuierlich zu prüfen und fortzuschreiben gilt. Die ausführliche Dokumentation von Einzeluntersuchungen zu städtebaulichen und verkehrlichen Fragen erleichtert den Zugang zu dem Fallbeispiel und war ein wesentlicher Grund für seine Auswahl. Das Forschungsprojekt kann die vernetzte Betrachtung bislang isoliert verfolgter Fragestellungen (z.B. Energieversorgungsoptimierung und Stadtbildanalyse) in den Mittelpunkt rücken. Diese Verschiebung von der fachspezifischen zur gesamtheitlichen Sichtweise bildet den inhaltlichen Kern des Projektes.

Für die Untersuchung werden zunächst stadtstrukturelle, stadträumliche, bauliche und infrastrukturelle Aspekte in Form einer kontinuierlichen Bestandsaufnahme erfasst und durch neue Betrachtungen maßvoll ergänzt. Diese Inhalte werden überlagert mit CO₂ relevanten Parametern aus den thematischen Gruppen Energie (Energieversorgung, Energiearten, Netzstrukturen), Mobilität (Transport, Verkehr, ÖPNV) und Stadtklima (Verschattung, Emissionen). In der Zusammenschau der unterschiedlichen Parameter entsteht ein komplexes Informationsgefüge das ausgewertet und aus dem sinnvolle Maßnahmen abgeleitet werden können.

In der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit werden die Teilergebnisse aus den einzelnen Fachdisziplinen zueinander in Beziehung gesetzt. Ziel ist, konkrete Handlungsansätze für die Projektstadt Biberach zu benennen, die eine Grundlage für weitere Planungsschritte bieten und helfen, das Stadtentwicklungskonzept STEK 2050 fortzuschreiben. Ferner soll an Hand des Fallbeispiels eine Methode zur Bewertung ähnlicher Aufgaben erarbeitet werden.

Der Wissenstransfer erfolgt kontinuierlich über die gesamte Projektlaufzeit im Rahmen regelmäßiger Planungstische (Meilensteine) zwischen Forscherteam, den Projektpartnern und den Hauptakteuren der kommunalen Planung (Dezernat, Stadtverwaltung, Energieversorger). So werden die lokalen Akteure in Stand gesetzt, die Interdependenzen zwischen den einzelnen Planungsparametern zu erkennen und in Zukunft nutzbar zu machen.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Diversität der zu untersuchenden Parameter setzt eine Betrachtung in unterschiedlichen Maßstäben voraus. Fragen der Mobilität müssen lokale auch regionale Zusammenhänge gleichermaßen berücksichtigen. Synergien in der Energieversorgung zwischen unterschiedlichen Nutzergruppen oder Gebäudetypologien müssen auf die Altstadt beschränkt analysiert werden. Denkmalschutzbelange wiederum lassen sich erst im Gebäudemaßstab und am konkreten Bauwerk bewerten. Für die gemeinsame Betrachtung ist es daher notwendig, die Bestandsinformationen aus unterschiedlichen Disziplinen in geeigneter Weise dazustellen (Plan, Grafik, Simulation, Tabellen, usw.), so dass sie „überlagert“ werden können. Nur so können gegenseitige Abhängigkeiten sichtbar werden.

Im Projektverlauf hat sich gezeigt, dass die Erhebung und damit auch Auswertung der Daten z.T. deutlich mehr Zeit in Anspruch genommen hat als ursprünglich geplant. Dies liegt nicht nur in einem personellen Wechsel in der Geschäftsleitung des gewerblichen Partners e.w.a riss begründet. Auch die Notwendigkeit bei aller Unterschiedlichkeit der fachspezifischen Daten eine gemeinsame „Bewertungsbasis“ zu benennen hat zur Verlängerung der Projektlaufzeit beigetragen. Qualität und damit Aussagefähigkeit insbesondere der infrastrukturellen Daten differieren so stark, dass für die Auswertung zum Teil überschlägige Hochrechnungen zum Teil Detailbetrachtungen verwendet werden müssen. Eine gleichartige Berechnung sämtlicher CO₂ relevanter Parameter wird so unmöglich. Vielmehr kommen sowohl Top-down als auch Bottom-up Berechnungsverfahren zum Einsatz und werden ausgewiesen.

Zur Einschätzung der Qualität der erhobenen/erhaltenen Daten werden dabei im Bereich Gebäude- und Energiesysteme die vier Datengütegrade wie sie in „Klimaschutz in Kommunen – Praxisleitfaden“ herausgegeben vom Deutschen Institut für Urbanistik [DIU11] vorgestellt werden, verwendet. Die Datengütegrade sind eingeteilt in

Datengüte A: regionale Primärdaten

Datengüte B: regionale Primärdaten und Hochrechnung

Datengüte C: regionale Kennwerte und Daten und

Datengüte D: bundesweite Kennzahlen.

Für überschlägige Betrachtungen (z. B. Top-down Ansatz) werden meist Daten der Güte C und D verwendet wohingegen für Detailbetrachtungen (Bottom-up Ansatz) Daten der Güte A und B notwendig sind. Bei den durchgeführten Analysen wurden je nach Verfügbarkeit Daten aller Gütegrade herangezogen.

Der Top-down Ansatz beschreibt eine Betrachtungsweise vom Allgemeinen, Übergeordneten hin zum Speziellen, Konkreten, Untergeordneten. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen bedeutet dies, dass mit allgemeinen, statistischen Kennwerten z.B. bundesweiten Kennzahlen der Datengüte D überschlägige Berechnungen für das Untersuchungsgebiet durchgeführt werden. Diese Betrachtungen können zur ersten groben Identifizierung von

Potenzialen herangezogen werden. Zum anderen können damit Ergebnisse anderer Berechnungen/Abschätzungen/Hochrechnungen auf Plausibilität geprüft werden.

Der Bottom-up Ansatz verfolgt im Vergleich dazu die entgegengesetzte Betrachtungsweise. Hier geht man vom Speziellen, Konkreten aus und leitet davon allgemeine übergeordnete Ergebnisse ab. Für diese Arbeit werden dabei aus möglichst lokal gemessenen bzw. ermittelten Kennwerten für z. B. Energieverbräuche für das gesamte Untersuchungsgebiet gültige, allgemeine Erkenntnisse/Werte durch Hochrechnungen oder Aufsummierungen gewonnen.

Eine genauere Beschreibung diese beiden Berechnungsmethoden für die Energieverbräuche und Einsparpotenziale ist in der Norm DIN EN 16212 zu finden [DIN EN 16212: 2012-11].

Für den Bereich der Mobilität wird ein Ansatz verwendet, welcher sich in der Struktur an die verfügbaren Daten anpasst. Dabei können Datensätze der unterschiedlichen Stufen gemischt werden. Auf diese Weise wird es möglich, die Ermittlung des CO₂-Ausstoßes auch ohne lokal erhobene Daten unter Rückgriff auf die bundesweit verfügbaren, nach verschiedenen Kenngrößen geordneten Daten zu ermitteln. Je größer der Anteil kleinräumiger Daten ist, desto genauer wird das Ergebnis.

I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Struktur des Vorhabens sieht regelmäßige Planungstische (=Meilensteine) vor, bei der alle Projektbeteiligten in einem Workshop-Format zusammenarbeiten. In den dazwischen liegenden Arbeitsphasen wird fachbezogen oder in interdisziplinären Teams gearbeitet. Die Planungstische gewährleisten den Wissenstransfer zwischen den Projektpartnern aus Wissenschaft, Gewerbe und Verwaltung. Sie bilden gleichzeitig die zentralen Meilensteine des Projektes: Der Projektstand wird dargestellt und diskutiert, die folgende Arbeitsphase wird präzise vorbereitet, alle Fragestellungen, Test- und Zwischenergebnisse können im Spannungsfeld zwischen Theorie und Praxis erörtert und Konsequenzen gemeinsam abgewogen werden. Ferner wird so die Möglichkeit geboten von allen Seiten kontinuierlich Erfahrungen einzubringen und ggf. über aktuelle Entwicklungen zu berichten. In Vorbereitung des Projektes gliedert ein Arbeitsplan die einzelnen Arbeitspakete.

Die Arbeitsphasen und Meilensteine werden entsprechend dem vom Zuwendungsgeber genehmigten Arbeitsplan durchgeführt. Die ursprünglich für den letzten Meilenstein geplante öffentliche Vorstellung der Ergebnisse wird verschoben. So kann der letzte Meilenstein zur abschließenden inhaltlichen Abstimmung mit den externen Projektpartnern genutzt werden. Die öffentliche Vorstellung der Ergebnisse erfolgt zusätzlich nach Fertigstellung des Schlussberichtes kostenneutral. Der mit dem Antrag zugrunde gelegte Zeitplan beinhaltet für den Berichtszeitraum folgende Arbeitspakete und Arbeitsschritte:

Tab. 1: ausgeführte Arbeitspakete und Arbeitsschritte im Berichtszeitraum

Arbeitsschritt	Beginn	Ende	Darstellung Zwischenbericht
Auftakt – Meilenstein 1	19.10.12		1
Arbeitsphase A	Oktober 2012	April 2013	1

Bestandsaufnahme und Nutzeranalyse			
Potenzialanalyse – Meilenstein 2	13.05.2013		2
Arbeitsphase B Querschnittsthemen und Strukturanalyse	April 2013	Juli 2013	2
Maßnahmen – Meilenstein 3	24.07.2013		2
Arbeitsphase C1 _ Vorbereitung Meilenstein Fallstudien, Szenarien, Fokus Denkmalschutz	Juli 2013	Oktober 2013	2
Denkmalschutz – Meilenstein 4	23.10.2013		2
Arbeitsphase C2 Einarbeitung Ergebnisse, Maßnahmen	Oktober 2013	Januar 2014	2
Schlussbesprechung – Meilenstein 5	05.02.2014		
Arbeitsphase D Synthese	Februar 2014	April 2014	
Forum / öffentliche Vorstellung Ergebnisse	2015		

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Zahlreiche der bisherigen Forschungsaktivitäten des Bundes zu den energetischen Problemstellungen, bezogen auf den Klimawandel, sind technologisch orientiert und auf die Fragestellungen einer klimafreundlichen Energie- und Wärmeerzeugung gerichtet. Häufig standen öffentliche Gebäudeensembles oder sanierungsbedürftiger Bestand großer Wohnungsgesellschaften im Mittelpunkt der Untersuchungen. Nur selten wurde bislang der Bezug zum Denkmalschutz gesucht (z.B. ExWoSt / BMVBS, EnEff Stadt – Projekte / BMWi).

Forschungsaktivitäten, die sich den klimatischen Belangen der Klimaanpassung – Adaption – und dem Klimaschutz – Mitigation – widmen, sind oftmals im Maßstab der Regionalplanung angesiedelt. Daher bestehen an dieser Stelle ebenfalls kaum Schnittstellen zu Themen des Denkmalschutzes (z.B. KLIMA MORO / BMVBS).

Das Forschungsfeld „urbane Strategien zum Klimawandel“ des Bundesforschungsprogramms ExWoSt ergänzt die oben genannten Programme durch den Fokus auf die städtische Ebene bzw. Stadtregionen, wobei die eindeutige Zielrichtung auf der Anpassung (Adaption) an die Folgen des Klimawandels liegt. Die bislang untersuchten Schwerpunkte liegen dabei auf der Überhitzung der Innenstädte (Heat Island Effect), der Zunahme der Extremwetter-Ereignisse sowie die Verwundbarkeit (Vulnerabilität) der Städte.

Als international orientiertes Forschungsprogramm des BMBF zielt das Projekt „Future Megacities“ auf die nachhaltige Entwicklung der Megastädte von morgen im Sinne von „Energie- und klimaeffizienten Strukturen in urbanen Wachstumszentren“. Im Gegensatz zu den großen Herausforderungen der stark wachsenden Weltbevölkerung ist die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland gegenwärtig jedoch vielfach stagnierend, teilweise sogar rückläufig.

Auf europäischer Ebene hat die Forschungsinitiative CONCERTO ein breites Netzwerk verschiedener Städte etabliert. Sie wurde von der Europäischen Kommission eingerichtet und ist Teil des Forschungsrahmenprogramms der Generaldirektion Energie und Verkehr. Die europaweite Initiative hat es sich zum Ziel gesetzt, in beispielhafter Weise Mittel und Wege für eine nachhaltigere Energieversorgung Europas zu finden. Aktuell arbeiten 58 Gemeinden in 22 Projekten daran, einen höchstmöglichen Grad an Energieselbstversorgung zu erreichen.

Zahlreiche große Städte weltweit haben sich zu klimaschützenden Maßnahmen und der Reduzierung ihrer Emission von Treibhausgasen verpflichtet. Die geplanten Maßnahmen schlagen sich in den lokalen Stadtklimakonzepten nieder, und sollen sukzessive umgesetzt werden. Viele dieser Städte haben sich internationalen Netzwerken angeschlossen und suchen den Dialog, um die großen Herausforderungen zu bewältigen. Stellvertretend genannt seien hier die C40 Städte der Clinton Climate Initiative, der Covenant of Majors, Cities in Action oder Energy Cities. Auch auf kommunaler Ebene ist die Problematik des Denkmalschutzes in den Altstädten eine bislang weniger bearbeitete Forschungsfrage.

Ergebnisse der genannten Forschungen sind in zahlreichen Publikationen und Online Tools der Öffentlichkeit zugänglich. Sie bilden eine breite und belastbare Basis für den hier vorgeschlagenen Ansatz. Exemplarisch sei an dieser Stelle der „STADTKLIMALOTSE“ als Online Datenbank genannt, der im Rahmen der BMVBS Forschung „ExWoSt – urbane Strategien zum Klimawandel“ entwickelt wird.

Die jüngere und aktuelle Forschung hinsichtlich einer nachhaltigen Mobilität ist weitgehend eine sektorale Forschung. Dabei werden überwiegend Verlagerungen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) auf den Umweltverbund (Füße, Fahrrad, ÖPNV) betrachtet, wie sie unter gegebenen Siedlungsstrukturellen Bedingungen zu erreichen und ggf. zu erhalten sind. Dazu werden insbesondere Verkehrsmanagementstrategien untersucht. Unzweifelhaft ist dabei, dass eine modale Verkehrsverlagerung auf die Verkehrsträger des Umweltverbundes eine Reduktion von Emissionen bewirkt.

Die aktuellen Forschungsergebnisse diesbezüglich sind in dem FOPS-Projekt (Forschungsprogramm Stadtverkehr) "Mobilitätsmanagement in der Stadtplanung" dargelegt. Dabei werden die besonderen Anforderungen historischer Altstädte, die Belange von Kleinstädten sowie die Wechselwirkung von Stadtplanung und Verkehrs- bzw. Mobilitätsplanung jedoch nicht in einer Weise aufgearbeitet, dass hieraus Handlungsempfehlungen oder Zielsetzungen für die genannten siedlungsstrukturellen Einheiten ableitbar sind.

Die Untersuchungen zielen bisher überwiegend auf Großstädte (Aachen, Darmstadt, Dortmund, München, etc.). Ansätze oder gar Beispielanwendungen der Einflussnahme in Kleinstädten fehlen. So wird derzeit in einem Nachfolgeprojekt die praktische Erprobung der Ergebnisse aus o.g. Forschungsprojekt vergeben. Hierbei fehlen erneut die besonderen Anforderungen, die sich auch für die Mobilitätsabwicklung in Klein- und Mittelstädten ergeben, die andere - in der Regel schlechtere - Möglichkeiten der Verkehrsverlagerung aufweisen.

Ein weiteres Forschungsfeld ist derzeit die Elektromobilität, die zu lokal emissionsfreier Automobilität führen soll. Aus Sicht der Verkehrsplanung ist hierbei als Vorteil anzusehen, dass Projekte zur Bildung von Fahrgemeinschaften (Auto-Teilen, Car-Sharing) und damit vermindertem Pkw-Besitz gefördert wird. Hierdurch wird ein bewussterer Umgang mit motorisierter Mobilität erzeugt. Darüber hinaus wird der Flächenverbrauch minimiert. Insbesondere in historischen Kernstädten können diese Aspekte eine höhere Akzeptanz erreichen, wenn sie

durch Maßnahmen in der Bauleitplanung und/oder städtebauliche Verträge und/oder eine positive - auch finanzielle - Sanktionierung einer Beteiligung z.B. durch den Energieversorger unterstützt werden.

Die Kumulation verschiedener Handlungsansätze und die Ergänzung mit wirtschaftlichen Interessen (Versorgungsträger) eröffnet dabei neue Möglichkeiten, die bisher in der Forschung und der Anwendung nicht dokumentiert sind.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Über die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern hinaus erfolgt in der Projektlaufzeit keine weitere Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Arbeitsphase A _ Grundlagen (Bestandsaufnahme und Nutzeranalyse)

Zeitraum: 10/2012 bis 4/2013

II.1.1. Grundlagen im Bereich Städtebau

Die Erhebung der relevanten Daten bestätigt, dass diese in unterschiedlichsten Quellen und Datenformaten vorliegen. Wie geplant werden in der ersten Arbeitsphase die digitalisierten Daten soweit möglich in geeigneten Programmen zusammengeführt. Dabei zeigt sich, dass die Bearbeitung in einem standardisierten Geo-informationssystem (GIS) nicht so umfassend eingesetzt werden kann wie beabsichtigt. Es wird daher notwendig, die Überlagerung bestimmter Parameter parallel tabellarisch fortzuschreiben. Ferner sind Daten zum historischen Baubestand nur durch intensive Archivarbeit zugänglich, Daten zu Umbauten und Sanierungen sind weit weniger dokumentiert als angenommen. In ausgewählten Teilbereichen der Altstadt („Cluster“) wird daher die Datenlage durch Einzelerhebungen ergänzt (z.B. Baualtersklassen, Sanierungsstand). Gleichzeitig können dabei die vorhandenen städtebaulichen und Gebäudeparameter und auf ihre Aktualität geprüft und korrigiert werden.

Bereits in der Anfangsphase wird ebenfalls deutlich, dass eine Bewertung der Daten und Informationen in den einzelnen Fachdisziplinen unterschiedlich erfolgen muss. In den Bereichen Mobilität, Abwasser- und Abfallwärmenutzung sind die vorliegenden Daten wesentlich grober als in anderen Teilbereichen (s. Abschnitt II.1.2.2). Eine Auswertung erfolgt hier in einer Mischung aus Top-down und Bottom-up Ansatz. Im Bereich der Energieverbräuche und des Gebäudebestandes ist es nur für ausgewählte Teilbereiche zu leisten, die Untersuchung gebäudescharf durchzuführen („Cluster“). In diesem Betrachtungsfeld werden die Ergebnisse durch Hochrechnungen ergänzt. Diese stützen sich auf eine systematische Einordnung sämtlicher Gebäude in der Altstadt in einen Kriterienkatalog.

Im Bereich Städtebau werden zahlreiche Themen kartiert und in Analysekarten isoliert dargestellt. Im Einzelnen zu nennen sind folgende Aspekte: Denkmale, stadtbildprägende Gebäude, energetisch und/oder baulich sanierte Gebäude, unsanierte Gebäude, Gebäude vor und nach 1945, Sanierungspotenzial nach EnEV, Nutzungen, öffentliche Bauten und Bauvorhaben, überdurchschnittlich große Baukörper, Flachdächer und Nebengebäude, öffentlicher Raum, Aufenthaltsqualität und Gestaltung, Bodenbeläge und versiegelte Flächen, Parkplätze, Winkel (altstadttypische Zwischenräume), Schaufensterflächen, Leerstand.

Die folgenden Abbildungen zeigen exemplarisch die Vorgehensweise und Darstellungsform der Karten.



Abb. 1: Beispiele Analysekarten _ Sanierungspotenzial

In der Stadtbildanalyse der Stadt Biberach sind alle Gebäude gekennzeichnet, die denkmalgeschützt sind. Ferner wurden Gebäude markiert, die zwar nicht als Denkmale gelten, aber sich in exponierten Lagen befinden und dadurch von besonderer Relevanz für das Gesamtstadtbild sind. Beide Kategorien fließen nicht in die Darstellung des Sanierungspotenzials ein, da ihre Sanierung mit besonderem Aufwand verbunden wäre. Durch Archivrecherche und ergänzende Ortsbegehungen im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zusätzlich die Gebäude erfasst, an denen in den letzten 10-15 Jahren eine Sanierung stattgefunden hat. Auch wenn offen bleibt in wie weit diese Sanierung bereits ein zufriedenstellendes Ergebnis hinsichtlich der Energieeinsparung liefert ist eine erneute Baumaßnahme an diesen Gebäuden wenig wahrscheinlich. Auch sie fließen nicht in die Darstellung ein. Die Karte zeigt demnach alle übrig gebliebenen Gebäude, die aus dem einen oder anderen Grund für eine Sanierung im Sinne der EnEV in kurz- und mittelfristig in Frage kommen werden.



Abb. 2: Beispiele Analysekarten _ Öffentlicher Raum und Gestaltung

Das Planwerk der Analysekarten stellt neben Gebäudeparametern auch Qualitätsaspekte der öffentlichen Räume dar. Im Zuge städtebaulicher Sanierung wurden bereits große Teile der Altstadt erneuert. Beläge sind dort weitgehend einheitlich gestaltet, die Verkehrsflächen befinden sich in einer Ebene, Stellplätze sind markiert aber nicht baulich abgesetzt. Die betroffenen Flächen liegen im Zentrum der Altstadt rings um den Marktplatz. Damit befinden sie sich in den Bereichen mit der größten Dichte an historischer Bausubstanz. Eine versickerungsoffene Gestaltung oder zusätzliche Anordnung von Grünflächen ist aus Gründen des Stadtbildes hier nicht wünschenswert.

Für andere Bereiche bestehen erste Planungsüberlegungen. Sie sind entsprechend den kommunalen Kategorien priorisiert. Diese Gebiete können in Zukunft einen Beitrag für eine ausbalancierte Gesamtentwicklung leisten. Je nach Lage im Altstadtgefüge können versickerungsoffene Teilflächen in neue Gestaltungskonzepte eingebettet werden. Die Altstadt ist typischerweise in hohem Maß versiegelt. Der Boden verliert dadurch seine wichtige Funktion als Speicher und Puffer im Wasserkreislauf, die Grundwasserneubildung ist eingeschränkt. Mit der Veränderung des globalen Klimas werden jedoch Starkregenfälle auch in der Bundesrepublik wahrscheinlicher. Es gilt daher, für den Abfluss punktuell deutlich erhöhter Nie-

derschlagsmengen zu sorgen. Auch jenseits dieser Zukunftsprognosen gewinnen Regenwasserkonzepte an Bedeutung wenn neu zu entwässernde Flächen – etwa durch einen zusätzlichen Baukörper – in das bestehende Entwässerungssystem eingeleitet werden müssen. Darüber hinaus leisten Grünflächen oder -elemente in der Stadt einen wichtigen Beitrag zur Luftqualität.

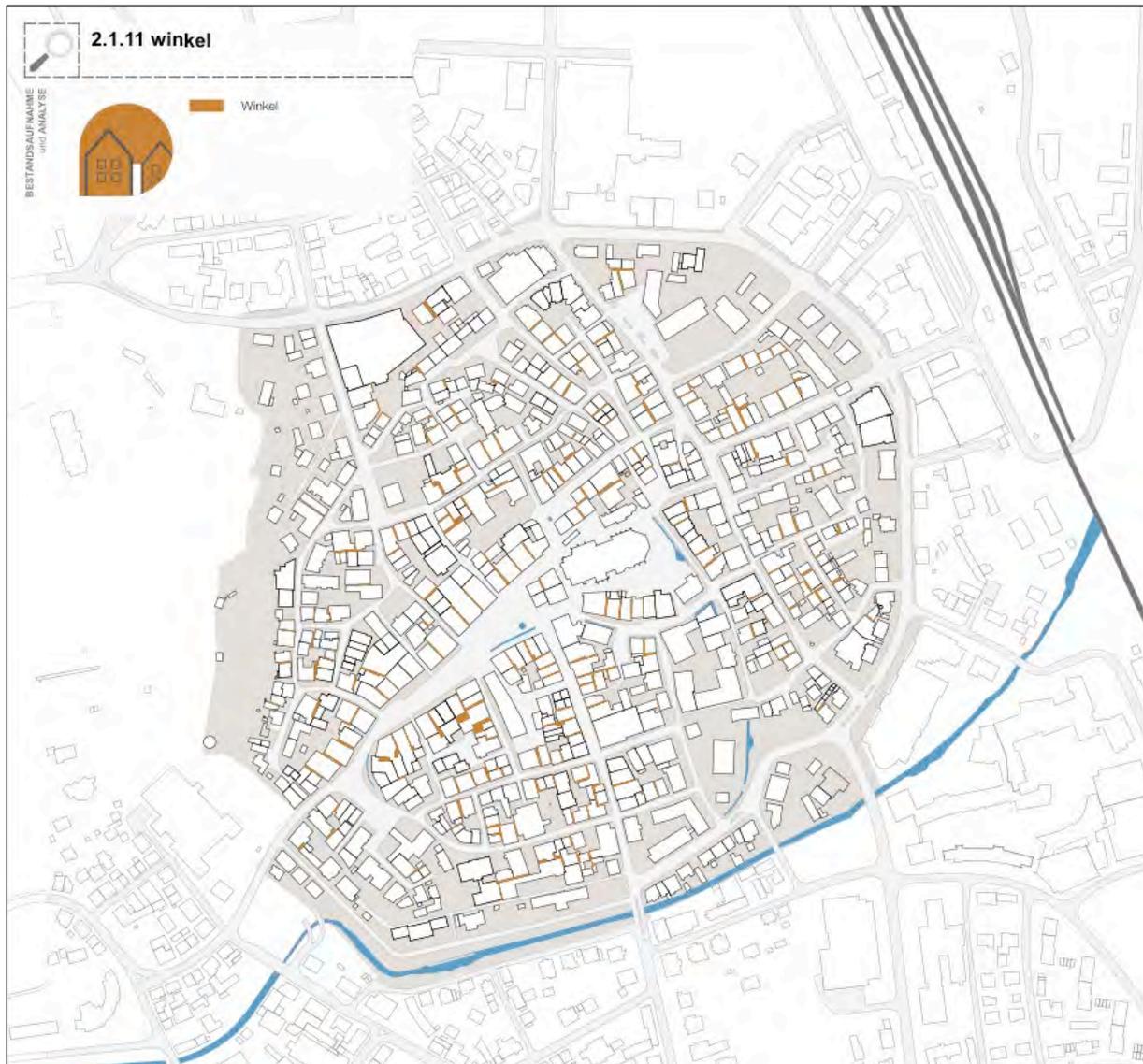


Abb. 3: Beispiele Analysekarten _ Winkel

In der Regel sind die Gebäude in der Biberacher Altstadt nicht angebaut. Schmale Abstandsflächen oder kleine Durchgänge prägen das Bild. Die sogenannten Winkel sind in Breite und Nutzung höchst unterschiedlich. Unter energetischen Aspekten sind sie ein wichtiger Parameter. Durch die Winkel gibt es in der Altstadt sehr viele Außenwände mit entsprechendem Wärmedurchlass.

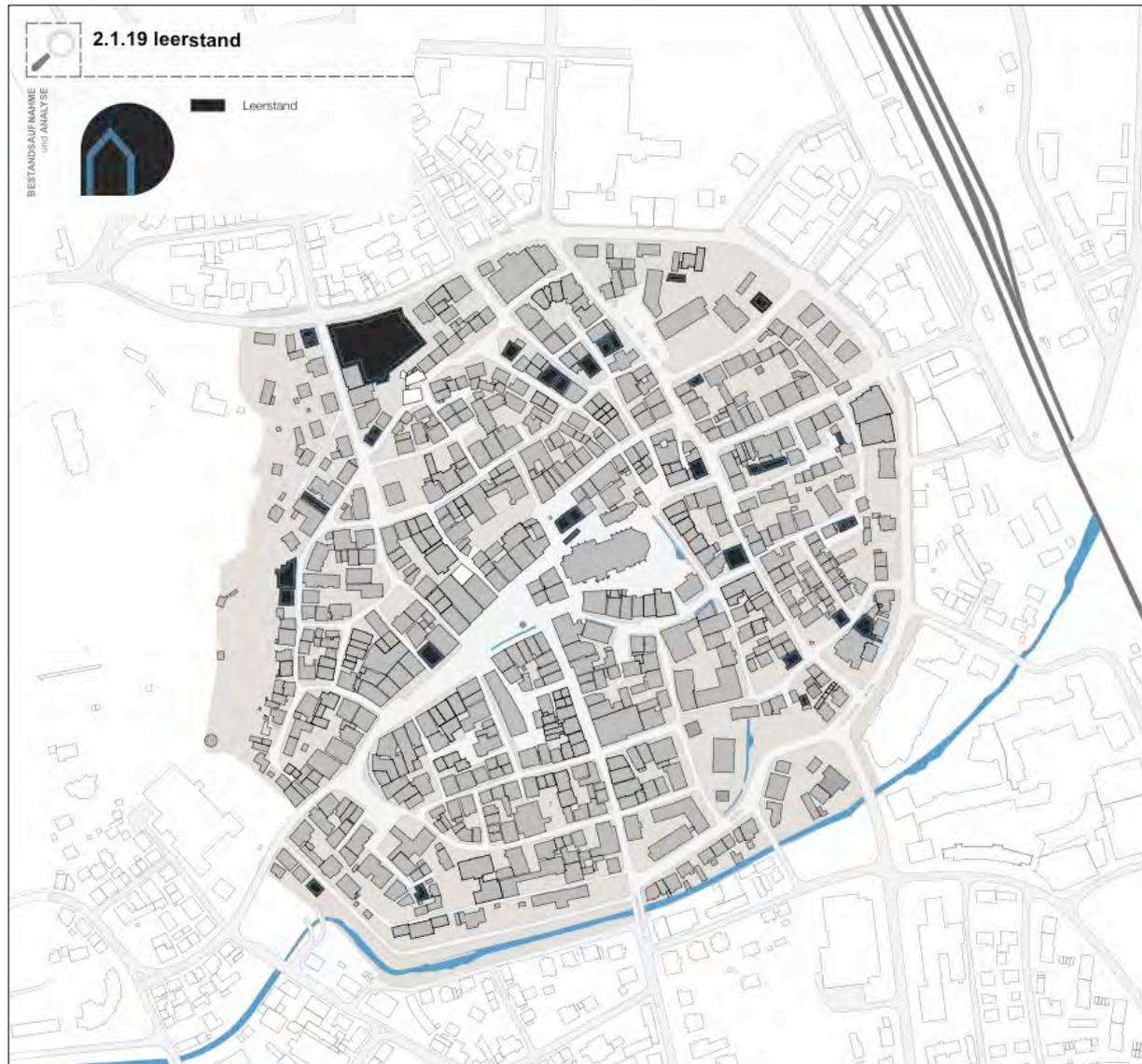


Abb. 4: Beispiele Analysekarten _ Leerstand

Leerstand findet sich in der Biberacher Altstadt zwar nicht unmittelbar am Marktplatz aber in angrenzenden Gebieten. Davon betroffen sind Gebäude aus allen Entstehungszeiten. In der Mehrzahl haben sie erheblichen Sanierungsbedarf.

Alle Analysekarten werden so aufbereitet, dass in einem zweiten Schritt durch Überlagerungen Potenziale deutlich werden können. Es zeigt sich, dass die Erhebung und Einarbeitung aller relevanten Daten in ein Gesamtsystem entgegen der Zielsetzung im Antrag nicht in der ersten Arbeitsphase abschließend geleistet werden kann. Sie muss im Gegenteil während der gesamten Projektlaufzeit fortgeschrieben und ergänzt werden. Dies gilt für die Karten ebenso wie die Tabellen. Ferner muss der Aufwand für die Ergänzung bestehender Daten und gemeinsamen Kartierung in möglichen Folgeanträgen deutlich höher eingeschätzt werden als ursprünglich angenommen.

II.1.2 Grundlagen im Einzelnen im Bereich Abfall- und Abwasser

II.1.2.1 Aufgabenstellung

In diesem Arbeitspaket werden anhand eines Top-down Ansatzes die Energie- und CO₂-Bilanz für die Altstadt erstellt und analysiert sowie die Potenziale für Energieeffizienz und die Nutzung Erneuerbarer Energien dargestellt. In einem weiteren Schritt werden diese Ergebnisse für einige Arbeitsbereiche mit einem Bottom-up Ansatz verifiziert. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgt dies für ein Nahwärmenetz mit Bachwasserwärmepumpe sowie für die Untersuchung der Potenziale der Nutzung der Abwässer und der Abfälle der Altstadt.

II.1.2.2 Methode und Prozess

Zur Einschätzung der Qualität der erhobenen/erhaltenen Daten werden die vier Datengütegrade, wie sie in „Klimaschutz in Kommunen – Praxisleitfaden“ herausgegeben vom Deutschen Institut für Urbanistik [DIU11] vorgestellt werden, verwendet (Abb. 5).



Abb. 5: Datengütegrade

Für überschlägige Betrachtungen (z. B. Top-down Ansatz) werden meist Daten der Güte C und D verwendet wohingegen für Detailbetrachtungen (Bottom-up Ansatz) Daten der Güte A und B notwendig sind. Bei den durchgeführten Analysen wurden je nach Verfügbarkeit Daten aller Gütegrade herangezogen.

II.1.2.2a Top-down Ansatz

Der Top-down Ansatz beschreibt eine Betrachtungsweise vom Allgemeinen, Übergeordneten hin zum Speziellen, Konkreten, Untergeordneten. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen bedeutet dies, dass mit allgemeineren statistischen Kennwerten z.B. bundesweiten Kennzahlen der Datengüte D überschlägige Berechnungen für das Untersuchungsgebiet durchgeführt werden. Diese Betrachtungen können zur ersten groben Identifizierung von Potenzialen herangezogen werden. Damit werden sogenannte Erwartungswerte definiert.

Zudem werden damit Ergebnisse anderer Berechnungen/Abschätzungen/Hochrechnungen, z.B. von Bottom-up Ansätzen, auf Plausibilität geprüft.

II.1.2.2b Bottom-up Ansatz

Dieser Ansatz verfolgt im Vergleich zum Top-down Ansatz die entgegengesetzte Betrachtungsweise. Hier nutzt man spezielle, konkrete Prozess-Daten und leitet davon allgemeine übergeordnete Ergebnisse ab. Für diese Arbeit werden dabei aus möglichst lokal gemessene-

nen bzw. ermittelten Kennwerten für z. B. Energieverbräuche für das gesamte Untersuchungsgebiet gültige, allgemeine Erkenntnisse/Werte durch Hochrechnungen oder Aufsummierungen gewonnen und mit den Daten aus dem Top-down Ansatz analysiert.

Eine genauere Beschreibung diese beiden Berechnungsmethoden für die Energieverbräuche und Einsparpotenziale ist in der Norm DIN EN 16212 zu finden [DIN EN 16212: 2012-11].

II.1.2.3 Bestandsaufnahmen und Status Quo

Das Untersuchungsgebiet ist die Altstadt Biberach mit 2067 Einwohnern (Stand 2013) und 27,9 ha Fläche.



Abb. 6: Altstadtbereich von Biberach

In Abb. 6 sind Lage und Größe des Altstadtbereichs von Biberach abgebildet. In der linken Grafik deutet der hellgrau hinterlegte Kartenausschnitt auf das zu betrachtende Gebiet hin. Dieses ist relativ ebenerdig ohne nennenswerte Erhebungen und Senken, ausgenommen ein kleinerer Teil (Weberberg) am Fuße des Gigelbergs am westlichen Rand des Gebietes.

Für das Untersuchungsgebiet wurden im Rahmen dieses Arbeitspaketes u.a. die folgenden Daten erhoben:

- e.wa riss: Verbrauchsdaten Strom und Gas für die Jahre 2012, Detailtiefe hausgenau
- Schornsteinfegerbezirke Altstadt Biberach: Anzahl und Art der Heizanlagen 2012, Detailtiefe Summe für Altstadt
- Verzeichnis GHD mit Zuordnung
- Öffentliche Gebäude, Stadtbeleuchtung: Energiekonzept der Stadt Biberach
- Stadtentwässerung Stadt Biberach
- Abfallmengen Stadt und Landkreis Biberach, Müllverbrennungsanlage Ulm
- u. a.

II.1.2.4 Energienutzung und -bereitstellung

II.1.2.4a Überschlägige Ermittlung des Energieverbrauchs und -bedarfs

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurden überschlägige Abschätzungen des Energieverbrauchs durchgeführt. Die Hochrechnungen für das Untersuchungsgebiet wurden mit einem Top-down Ansatz ergänzt mit Daten der Qualität D – A erstellt (s. Abschnitt II.1.2.2). Betrachtet wurden hierbei die Heizwärme inklusive Warmwasserbereitung, der Stromverbrauch und die Mobilität. Die jeweiligen Verbräuche wurden für die Nutzergruppen Haushalt (HH), Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD), öffentliche Gebäude (öG) und öffentliche Straßenbeleuchtung (öS) über allgemeine Kennwerte und lokale Parameter ermittelt und das Ergebnis ist in Tab. 2 und Abb. 7 zusammengefasst. In der Summe ergeben sich 10,65 t CO₂ pro Person und Jahr, der in etwa auch dem Mittelwert in Deutschland der letzten Jahre entspricht.

Tab. 2: Abschätzung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen im Ist-Zustand, Top-down (Erwartungswert, div. Quellen, [SBi11], [IFEU])

Verbraucher:	Kennwert 1:	Kennwert 2:	Parameter lokal	Endenergie in MWh/a	CO ₂ (t/a)
Wärme					
HH Trinkwarmwasser	40 l/EW/d	50 K	2067 E	2.900	668
HH Heizwärme	200 kWh/m ² /a	40 m ² /p	2067 E	20.700	4.705
GHD TWW & Heizwärme [AGEB11]	GHD D		2067 E	6.200	1.679
öG TWW & Heizwärme	EB			3.100	713
Summe				32.900	7.764
Strom					
Haushalte	1.720 kWh/EWa		2067 E	3.600	1.972
GHD	GHD D		2067 E	3.400	1.969
öffentliche Gebäude	EB			1.300	741
Straßenbeleuchtung (Mengen unklar ggf. Gewerbe)	42 kWh/EWa		2067 E	90 (6400)	48 (3500)
Summe				8.400 (14.800)	4.629 (8129)
Mobilität					
Verkehr	1,2 t _{CO2} /EW/a		2067 E		2.480
Verkehr Einkauf (ohne Pendler und Händler)					500
Summe					2.980
Konsum	3,15 t/Pa ifeu		2067 E		6.500
Gesamtsumme:				41.300	21.900

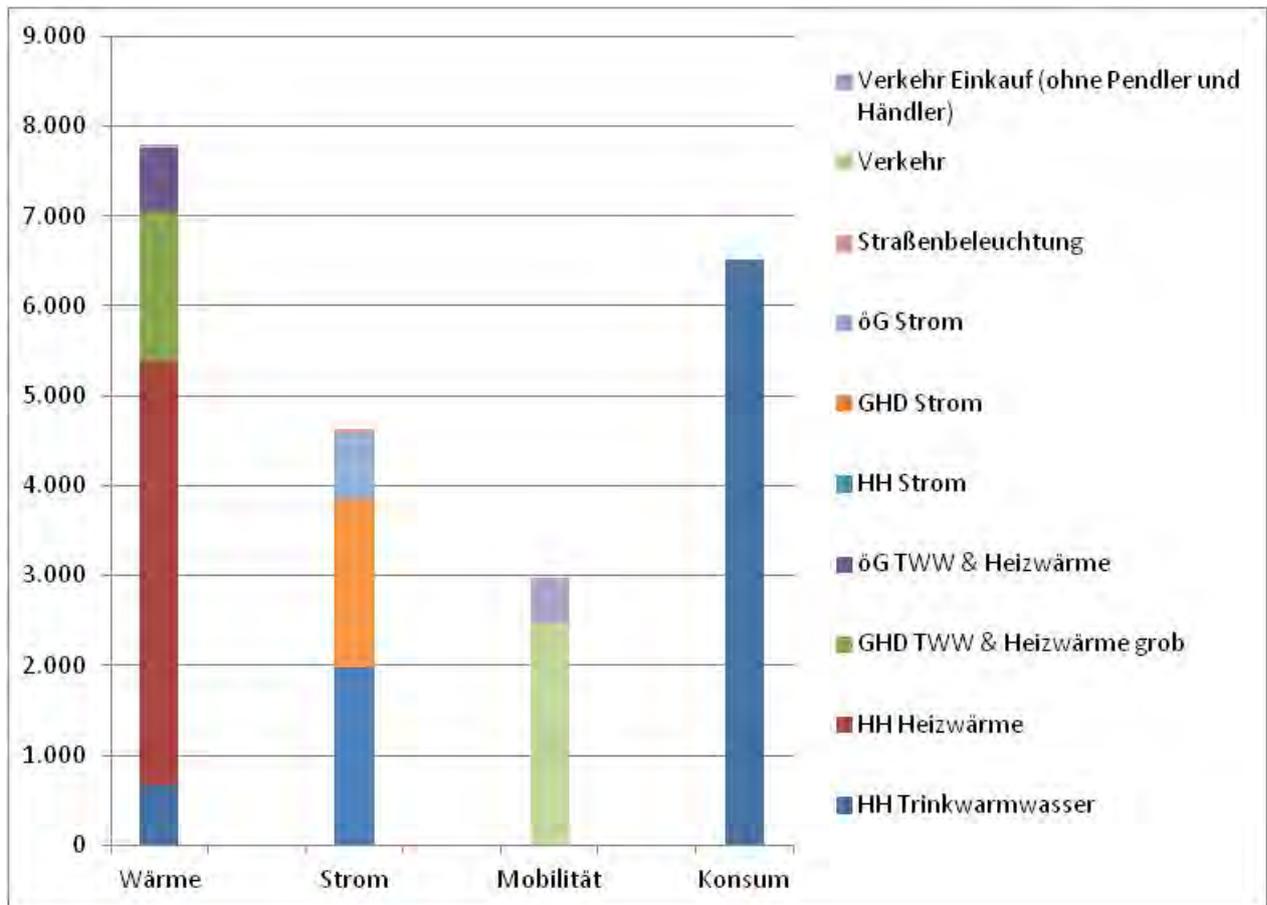


Abb. 7: CO₂ Emissionen Altstadt Biberach in t/a

Deutlich wird der Schwerpunkt im Bereich der Heizwärme für Wohngebäude gefolgt vom Stromverbrauch für Wohnen und Gewerbe und dem Verkehrsbereich. Darauf wurden die Schwerpunkte der Maßnahmen ausgerichtet. Der erhebliche Anteil der CO₂-Emissionen durch persönlichen Konsum wurde als nicht infrastrukturell beeinflussbarer Konsum in diesem Zusammenhang noch nicht betrachtet. Die aktuelle Verbrauchsaufstellung der e.wa riss mit den Stromverbrauchswerten für die Altstadt Biberach für 2012 weist nach Bereinigung einen deutlichen Mehrverbrauch gegenüber der o.g. Top-down Betrachtung auf. Der mittlere Wert für ein Gebiet mit Wohnen und Gewerbe wären ca. 4000 kWh pro Person und Jahr. Andere Städte mit ähnlicher Struktur zeigen allerdings ebenfalls Werte von über 5000 bis 6000 kWh/Pa. Die Altstadt Biberach weist einen Wert von über 7000 kWh/Pa auf. Es zeigen sich zwar einige wenige Großverbraucher (Kaufhaus, Stadtverwaltung etc.), deren Anteil an diesem Wert ungefähr 1000 kWh/Pa beträgt, aber das Gesamtniveau des Stromverbrauchs ist deutlich hoch. Hier erscheint eine weitere Analyse unabdingbar und auch entsprechende Beratung im gewerblichen Bereich angeraten. Da aber diese zusätzlichen Stromverbräuche als interne Lasten zum Teil den Verbrauch Wärmeenergie vermindern könnten, ist eine weitergehende Aussage zur Gesamtbilanz CO₂ nur dahingehend möglich, dass diese aus dem genannten Grund noch bis zu 3.500 t/a über dem o.g. Erwartungswert von 21.900 t/a liegen könnten. Dazu wären aber in allen Bereichen genauere Einzelanalysen notwendig, die aber nicht in diesem Rahmen möglich waren.

II.1.2.4b Bestandsaufnahme und Analyse Heizanlagen Schornsteinfeger Neubrand

Von der zuständigen Bezirksschornsteinfegerin wurden dem Projektteam Daten zu den Heizungsanlagen im Untersuchungsgebiet ohne hausgenauen Bezug zur Verfügung gestellt (Stand 2012) [Neu12]. Die erfassten Heizungsanlagen sind in einer tabellarischen Zusammenfassung in die folgenden Anlagenarten unterteilt:

- Ölfeuerungsanlagen
- Gasfeuerungsanlagen Erdgas
- Heizungsanlagen für Festbrennstoffe
- Einzelfeuerungsanlagen für feste und flüssige Brennstoffe und
- Blockheizkraftwerke

Für jede Anlagenart werden Kategorien der Leistung und das Alter erfasst. Es handelt sich hier um regionale Primärdaten der Datengüte A.

Eine Analyse der Daten ergab folgendes Ergebnis.

Tab. 3: Übersicht Feuerungsanlagen aus den Schornsteinfegerdaten (Stand 2012)

Leistung	Öl bis 1.1.88	Öl ge- samt	Gas bis 1.1.88	Gas gesamt	Einzel- feuer	BHKW
4 kW-11 kW (2- 15 kW für EF)	0	21	86	213	244	
11 kW- 25 kW (bis 25 für BHKW)	1	5	54	257		2
25 kW-50 kW	7	21	13	106		
50 kW-100 kW	5	12	18	59		2
> 100 kW	4	13	14	44		
Gesamt	17	72	185	679	244	4

Ca. 24 % der Ölfeuerungsanlagen und 27 % der Gasfeuerungsanlagen sind älter als 26 Jahre und müssen nach rechtlichen Vorgaben in den nächsten Jahren ausgetauscht werden.

Ca. 18 % der Ölfeuerungsanlagen und ca. 6,5 % der Gasfeuerungsanlagen haben eine Leistung von mindestens 100 kW und würden sich evtl. für einen Austausch durch eine Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage eignen. Außerdem sind drei KWK-Anlagen (BHKW) mit einer Leistung bis zu 25 kW und zwei mit einer Leistung von mehr als 50 kW im Einsatz.

Es gibt im Untersuchungsgebiet keine Heizungsanlagen für Festbrennstoffe jedoch 244 Einzelfeuerungsanlagen zur Raumheizung für feste und flüssige Brennstoffe, die gegebenenfalls beim Austausch nicht vom EWärmeG betroffen sind.

Zentrale Heizungsanlagen sind beim Austausch von der Verpflichtung durch das Erneuerbare-Wärme-Gesetz des Landes Baden-Württemberg [EWG07] betroffen, bei einem Heizungstausch den Wärmebedarf durch einen entsprechenden Anteil erneuerbare Energien zu decken. Hier liegt ein Potenzial zur CO₂-Reduktion, auf welches in Abschnitt II.1.7.2 „Potenziale der Energiebereitstellung“ eingegangen wird. Bei Anlagen von Kommunen soll der Deckungsanteil sogar 25 % betragen. Von dieser Regelung ausgenommen sind Etagen-Heizungen, es sei denn alle Etagen-Heizungen werden durch eine Zentralheizung ersetzt, Wohngebäude mit weniger als 50 m² Wohnfläche und Wohngebäude, die in der Heizperiode von Oktober bis Ende April weniger als vier Monate genutzt werden. Aus den Schornsteinfeger-Daten [Neu12] ist nicht direkt ersichtlich, ob oder wie viele Öl-Etagen-Heizungen vorhan-

den sind. Informationen zur Nutzung der Gebäude werden in einem anderen Abschnitt beschrieben. Die geforderten 10 % erneuerbare Energien können durch Solaranlagen (in der Altstadt Biberach laut Stadtbildsatzung [SBi12] nur in Ausnahmefällen zulässig), Nutzung von Biomasse in Form von Holzpellets, Scheitholz (hier sei auf eine mögliche Feinstaubproblematik hingewiesen) oder Bioöl/Biogas, den Einsatz von elektrischen Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl von mindestens 3,5 oder den Einsatz Brennstoff betriebener Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl von mindestens 1,3 (Beispiel hierzu siehe Abschnitt II.1.14.2 „Potenzial der zentralen Energiebereitstellung am Beispiel des Sennhofareals“) gedeckt werden. Alternativen hierzu sind eine besonders gute Wärmedämmung des Gebäudes, Wärmebezug aus einer KWK-Anlage mit einem Wirkungsgrad von mindestens 70 % und einer Stromkennzahl von mindestens 0,1 oder Anschluss an ein Nahwärmenetz, das von einer KWK-Anlage gespeist wird (Beispiel hierzu siehe Abschnitt II.1.14.2 „Potenzial der zentralen Energiebereitstellung am Beispiel des Sennhofareals“). Sollte das Dach aufgrund einer vollständigen Belegung durch eine PV-Anlage keinen Platz für eine solarthermische Anlage bieten, was im Untersuchungsgebiet aus genanntem Grund oft zutreffen wird, gilt das Gesetz als ersatzweise erfüllt. Wenn technische, baulich oder öffentlich-rechtliche Gegebenheiten gegen eine solarthermische Anlage sprechen z.B. Denkmalschutz, müssen keine erneuerbaren Energien genutzt werden. Diese Ausnahmen oder eine unbillige Härte (z.B. Gesamtkosten für Installation der Solaranlage übersteigen Kosten von 2.000 €/m² Kollektorfläche), die von der Pflicht ebenfalls befreit, ist im Einzelfall zu prüfen. Weitere Informationen hierzu sind unter [UBW14] zu finden.

II.1.2.4c Stadtwerke und e.wa riss, Verbrauchsdaten Gas, Strom und Wasser

Vom lokalen Energie- und Wasserversorger konnten Verbrauchsdaten aus 2012 bezogen werden [EWR13]. Es war möglich für den jährlichen Verbrauch von Trinkwasser, Gas und Strom hausgenaue Angaben für das Untersuchungsgebiet zu erhalten, was zusammen mit den Schornsteinfegerdaten eine örtlich sehr gut aufgelöste Analyse aller Energieverbraucher ermöglicht. Hierbei sind die Stromverbräuche zusätzlich in Heizungsstrom und Haushaltsstrom aufgeteilt, so dass der Einsatz von Stromheizungen, jedoch ohne Differenzierung zwischen Wärmepumpen, Nachtspeicherheizungen und Warmwasserbereitern, lokalisierbar ist. Desweiteren liegen über das Jahr 2012 verteilte Messwerte zu Wassertemperaturen und Auslaufmengen am Auslauf eines Trinkwasser-Hochbehälters und Wassertemperaturen im Verteilnetz im Untersuchungsgebiet vor. Diese Daten sind regionale Primärdaten der Datengüte A und bilden die Grundlage für eine Potenzialabschätzung von Umweltwärme aus Trinkwasser in den entsprechenden Abschnitten (I.1.9, II.1.10 und II.1.15).

Tab. 4: Übersicht Verbrauchsdaten 2012 Strom, Gas, Trinkwasser der e.wa riss [EWR13]

Verbrauch 2012	Strom (kWh/a)	davon Strom-Hzg.	Gas (kWh/a)	Trinkwasser m ³ /a
	14.757.000	1.827.000	26.268.000	135.432 (4,3 l/s)

Auffallend ist der hohe, schon um Heizstrom usw. bereinigte Stromverbrauch, der gegenüber der Bilanzierung an bundesdeutschen Durchschnittswerten in Tab. 2 mit 7.140 kWh/a/P deutlich zu hoch ausfällt. Die Ursachen sind noch nicht ganz klar, da im Detail auch keine unüblichen Großverbraucher auffallen.

II.1.2.4d Stadt BC Energieberichte

Viele Städte haben heute ein Energie-Management-System und veröffentlichen Umwelt- bzw. Energieberichte über die Energie- und Wasserverbräuche und CO₂-Emissionen der öffentlichen Gebäude. Von der Stadt Biberach konnten die Angaben zu den im Untersuchungsgebiet liegenden Gebäuden aus dem Energiebericht 2011 [SBi11] und den dazu erhaltenen Daten gewonnen werden (Regionale Primärdaten der Datengüte A).

Tab. 5: Verbrauchsdaten 2011 öffentliche Gebäude Altstadt Biberach aus [SBi11]

Wärmeverbrauch (unbereinigt) kWh/a	Stromverbrauch kWh/a	Wasser m ³ /a	CO₂ Emissionen t/a
3.130.896,00	1.336.177,00	6.188,00	1.111,30
kWh	kWh	m ³	t

II.1.2.4e Stadtentwässerung

Für die Untersuchungen zur Abwasserwärmenutzung sind Angaben zum anfallenden Abwasser im Untersuchungsgebiet notwendig. Derartige Informationen können z.B. bei der Stadtentwässerung, den Stadtwerken, den Abwasserzweckverbänden oder den für die Abwasserentsorgung zuständigen Behörden oder Firmen eingeholt werden. Zudem werden Daten der besten verfügbaren Qualität über die Wasserverbraucher im Untersuchungsgebiet erhoben und dies u.a. mit den Abflussmengen bei Trockenheit abglichen.

Hierfür wurden die Unterlagen [SBi13], die von der Stadtentwässerung Biberach zur Verfügung gestellt wurden, gesichtet und ausgewertet sowie Gespräche [Fal13] mit den Mitarbeitern der Stadtentwässerung geführt.

Die erhaltenen Unterlagen und Informationen sind:

- Kanalplan der Altstadt Biberach mit Dimensionen und Bauwerken (Knotenpunkte, Staubecken etc.)
- Beschreibung des Kanalsystems
- Abflusswerte aus Messungen und Berechnungen
- Fremdwassermengen einzelner Stadtgebiete

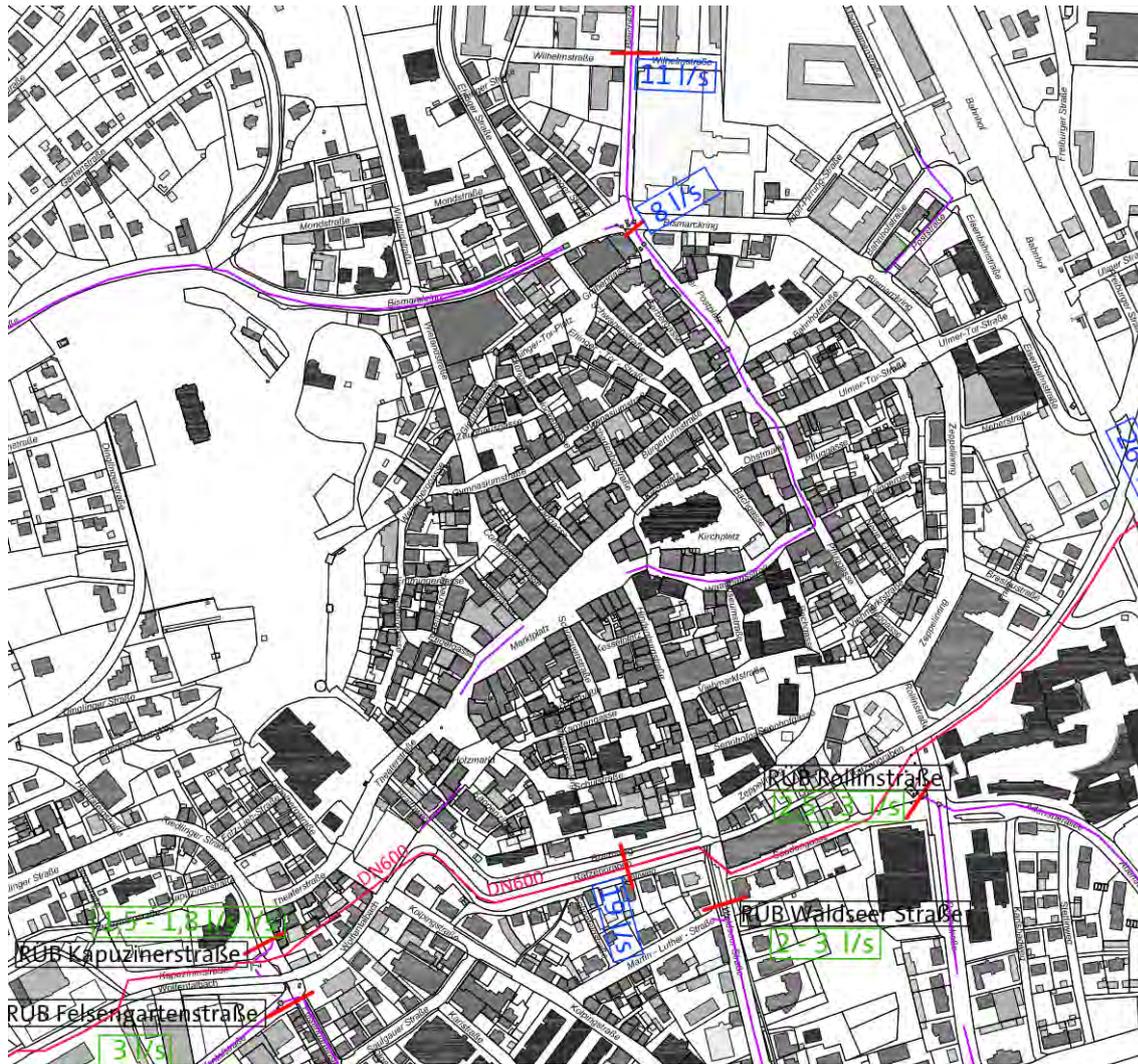


Abb. 8: Plan Abwasser Stadt Biberach, Zentralsammler Altstadt [SBI13],

Aus den erhaltenen Unterlagen und Gesprächen mit dem Ansprechpartner bei der Stadtentwässerung Biberach konnten folgende Erkenntnisse und Informationen gewonnen werden.

Das in der Altstadt Biberach vorhandene Abwassersystem ist ein Mischwassersystem, d.h. die Abwässer aus Haushalten und GHD, das Regenwasser und Fremdwasser werden im gleichen Kanal zur Kläranlage abgeführt. Neben den Kanälen gibt es noch teilweise offenegelegte Bäche, die teilweise Regenwasser aufnehmen. Die Kanäle verlaufen in der Altstadt so, dass das Abwasser des Untersuchungsgebietes nahezu in einem Sammelkanal abgeführt wird, der das Untersuchungsgebiet im Norden verlässt.

Für diese Stelle wird ein aus Messungen berechneter Trockenwetterabfluss von ca. 8 l/s angegeben. Das so erfasste Gebiet gibt das Untersuchungsgebiet für die Potenzialabschätzung ausreichend genau wieder. Weitere Mess- und Rechenwerte sind für andere Stellen des Kanalsystems ebenfalls vorhanden und sind für später dargestellte Untersuchungsvarianten von Bedeutung.

Die Fremdwassermengen wurden für einzelne Stadtgebiete mit Werten zwischen 0,025 und 0,2 l/(s ha) angegeben. Die Fremdwassermenge im Untersuchungsgebiet wurde mit ungefähr 0,2 l/(s ha) angegeben, in der Summe für 27,9 ha daher bei ca. 5,6 x l/s. Das Fremdwasser kommt nach Angaben der Stadtentwässerung von undichten privaten Grundleitungen

oder Drainageleitungen der Grundstücksentwässerungen, die zum Teil im Grundwasser liegen, oder auch von Fehllanschlüssen. Die erhaltenen Informationen stellen Primärdaten mit der Datengüte A dar.

Das Kanalsystem ist in einem guten Zustand. Es sind keine Sanierungsmaßnahmen in den nächsten 20 bis 30 Jahren vorgesehen, mit welchen ein Einbau von Wärmetauschern für die zentrale Abwasserwärmenutzung einhergehen könnte. Die Kanäle sind ebenfalls teilweise hydraulisch ausgelastet, so dass für die Abwasserwärmenutzung notwendige Einbauten entsprechend ausgelegt werden müssen.

II.1.2.4f Recherchen zu Kennwerten für Trink-/Abwasser und Warmwasserbedarf

Zur Abschätzung der Abflussmengenkurve über das Jahr für die Berechnung der Abwärmepotenziale wurde ein Modell für die Abschätzung von Abwassermengen und Energiebedarfen für Warmwasser mit folgenden Kennwerten und üblichen Annahmen erstellt und mit den Daten über den Trinkwasserverbrauch abgeglichen [EWR13]. Dazu wurden die folgende Kennzahlen für den Wasserverbrauch zusammen mit den Daten über Größe und Anzahl der Haushalte und GHD ausgewertet.

Tab. 6: Kennwerte für Wasserverbräuche in Haushalten

Quelle	Kennwert	Bemerkung
VDI 3807-3	100 l/(EW d)	
DVGW Arbeitsblatt 410	60-500 l/(EW d)	Extremfall
DVGW Arbeitsblatt 410	90-140 l/(EW d)	Normalfall
Schneider Bautabellen	119 l/(EW d)	

Eine gute Annahme für den Wasserverbrauch sind 120 Liter pro Einwohner und Tag. Da so gut wie die gesamte Menge als Abwasser anfällt, kann der Wert auch für das Abwasseraufkommen herangezogen werden.

Für die Abwassermengen im Gewerbe, Handel und Dienstleistungen wurden die in folgender Tabelle dargestellten Wasserverbrauchswerte herangezogen.

Tab. 7: Kennwerte für Wasserverbräuche in GHD

Verbrauchergruppe	VDI 3807-3	DVGW Arbeitsblatt W410	Schneider Bautabellen [Sch94]	Karger 2013 [Kar13]
Hotel	388 l/(HZ d)		400 l/(HZ d)	
Gaststätte	30 l/(SP d)			
Gaststätte		15 l/(E d)	17,5 l/(E d)	
Friseur		250 l/(B d)		
Friseur	32,4 l/K			
Bäckerei			200 l/(B d)	150 l/(B d)
Metzgerei			325 l/(B d)	250 l/(B d)
gemischtes Gewerbe		50 l/(B d)		

Abkürzungen: HZ – Hotelzimmer, SP – Sitzplatz, E - Essen, K – Kunde, B - Beschäftigter
 Aus der Betrachtung der Ansätze für den Trinkwasserverbrauch für die Haushalte, GHD und öffentliche Gebäude wurde in einer Studienarbeit [SDA13] mit Einwohner und Branchenda-

ten ein Verbrauch von 4 -5 l/s berechnet. Aus der Betrachtung der Ansätze für den Trinkwasserverbrauch für die Haushalte, GHD und öffentliche Gebäude wurde in einer Studienarbeit [SDA13] mit Einwohner und Branchendaten ein Verbrauch von 4 -5 l/s berechnet.

Aus dem Trinkwasserverbrauch der Altstadt [EWR13] ergibt sich im Mittel über das Jahr ein Wert von ca. 4,3 l/s, was mit den Überlegungen in [SDA13] gut übereinstimmt. Dazu kommt ein erheblicher Fremdwasserzufluss, der oben mit 5,6 l/s abgeschätzt wurde. In der Summe mit Kanal-Verlusten und mit Trinkwasserverbrauch unter dem Durchschnitt von 4,3 l/s (z.B. nachts siehe Abb. 9) kann der gemessene Trockenabfluss-Wert von 8 l/s als plausibel angesehen werden. [Sch94] geben außerdem Kennwerte für den Trockenwetterabfluss von 4-5 l/(s 1.000 EW) und 0,35 l/(s ha) an, welche für eine Top-down-Betrachtung als Plausibilitätskontrolle herangezogen wurden. Auch hieraus ergeben sich Werte von 8 – 9 l/s.

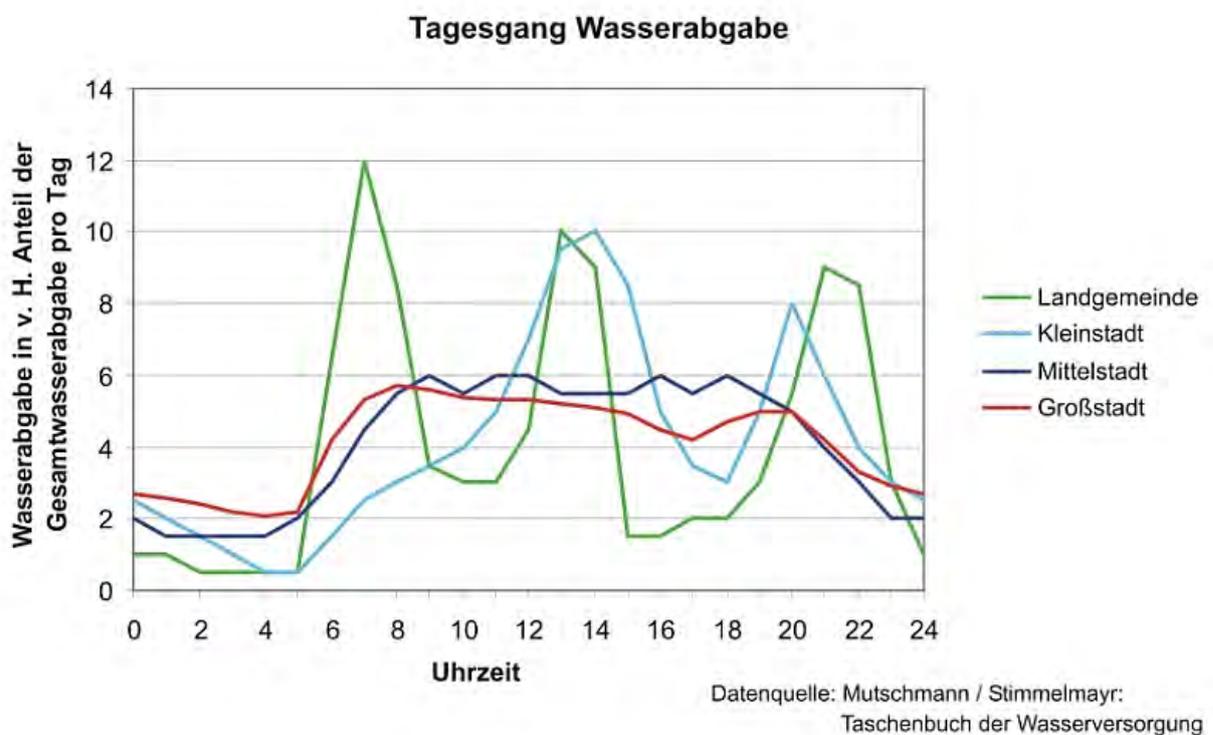


Abb. 9: Tagesgang Wasserabgabe nach Gebietsstruktur [BayLa]

Die zugrundeliegende Bilanzierung erscheint daher für weitergehende Betrachtungen und Analysen verwendbar s. Abschnitt II.1.8.2b „Zentrale Abwasserwärmenutzung in der Altstadt Biberachs“.

Die gemessenen Abwassertemperaturen im Hauptsammler der Altstadt Biberach weisen aber darauf hin, daß kaum Zusammenhänge mit der Abwassertemperatur bei den Warmwassernutzern bestehen. Dazu sind die Entfernungen zwischen den wesentlichen Einleitungen und dem Standort einer möglichen Nutzung im Hauptsammler am Rande der Altstadt zu groß. Eine Abwasserwärmenutzung entspricht daher eher einer Nutzung der Grundwasser- bzw. Erdreichwärme. Alternativ wurden daher Abwasserwärmenutzungen direkt beim Verbraucher/Nutzer als auch direkt an Oberflächengewässern untersucht (siehe Abschnitte II.1.10.1 und II.1.10.2).

Für die Berechnungen des Energiebedarfs für Warmwasser wird u.a. gemäß der Berechnungen in der Energieeinsparverordnung EnEV für Wohngebäude ein pauschaler Wert von 12,5 kWh/m²a nach [DIN V 4701-10: 2003-08] angesetzt. Zum Abgleich wird gemäß [Sch03] ein Warmwasserbedarf für höhere/höchste Ansprüche von 40 l/Person Tag bei einer Temperatur von 60 °C angesetzt.

II.1.2.4g Recherche zu technischen Lösungen für Abwasserwärmenutzung

Neben der Erhebung der Daten für die Stadt wurden in Recherchen Informationen zu technischen Lösungen und Beispielen zur Abwasserwärmenutzung gesammelt u.a. in [SDA].

Besonders hervorzuheben ist hier die Broschüre "Heizen und Kühlen mit Abwasser - Ratgeber für Bauherren und Kommunen" [BWP05] herausgegeben vom Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, der Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung (ASEW) GbR im Verband kommunaler Unternehmen und dem Institut Energie in Infrastrukturanlagen. In dieser Broschüre werden unterschiedliche Prinzipien/Techniken, deren Anforderungen, Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit und realisierte Beispiele für die zentrale Abwasserwärmenutzung vorgestellt sowie Anhaltspunkte für die Vorgehensweise von Kommunen gegeben. Des Weiteren wurden Datenblätter von Firmen ausgewertet, welche Komponenten/Techniken zur Abwasserwärmerückgewinnung beschreiben. Als Lösungen für eine Abwasserrückgewinnung können bei den vorgegebenen stark belegten Kanälen statt Wärmetauschern im Kanal Bypasslösungen gewählt werden [SDA] (siehe Abschnitt II.1.7).

II.1.2.4h Abfallwirtschaft

Für die Bearbeitung des Bereichs Abfallverwertung wurden folgende Informationsquellen des Landkreises Biberach herangezogen, da dieser auch für die Abfallverwertung der Altstadt Biberach zuständig ist:

- Abfallfibel des Landkreises Biberach [LRA12]
- Auskünfte der Abfallwirtschaft des Landkreises Biberach [LRA13]:
 - Karten, Straßenlisten der Abfuhrbezirke
 - Müllmengen in Bezirk 8 (entspricht ca. dem Untersuchungsgebiet) und Bezirk 4 (teilweise gemeinsame Leerung mit Bezirk 8) für zwei Leerungstage und
 - Anzahl der Abfallbehälter in Bezirk 4 und 8 aufgeteilt nach Behältervolumen.

Alle Daten sind regionale Primärdaten der Datengüte A.

Im Landkreis Biberach werden die Verkaufsverpackungen (Wertstoffe) seit dem Jahr 2013 durch ein Holsystem (gelber Sack) gesammelt. Papier und Pappe werden entweder über öffentlich bereitgestellte Sammelbehälter oder über ein Holsystem (blaue Tonne) entsorgt. Für Altglas sind nur öffentliche Sammelbehälter bereitgestellt. Da es keine Biotonne gibt, werden Bioabfälle gemeinsam mit dem Restmüll über die Restmülltonne (Holsystem) entsorgt. Ab 2015 wird der Biomüll separat Sammlung erfasst, wie es das Kreislaufwirtschaftsgesetz fordert. Alle weiteren Abfälle (Sperrmüll, Altholz, Grüngut, etc.), Wertstoffe (Schrott, Elektroschrott, etc.) und Problemstoffe können über Wertstoffhöfe entsorgt werden. Die Verwertung des Hausmülls und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle erfolgt im Müllheizkraftwerk in der Stadt Ulm. Dort wird der Müll zur Erzeugung von Strom und Wärme, welche in das örtliche Nahwärmenetz eingespeist wird, genutzt.

Aus den von der Abfallwirtschaft für den 28.03.2013 und 11.04.2013 erfassten Abfallmengen für die Bezirke 4 und 8 konnte in Verbindung mit den Angaben über die geleerten und vorhandenen Abfallgefäße eine Hochrechnung für die im Untersuchungsgebiet anfallende Hausmüllmenge inklusive hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle durchgeführt werden. Im Untersuchungsgebiet fallen durchschnittlich ca. 400 t/a an, was 193 kg pro Einwohner und Jahr entspricht (Tab. 8). Dieser Wert ist im Vergleich zu anderen Erhebungen als sehr hoch anzusehen. Für innerstädtische Gebiete wird in [Wei05] ein Restmüllaufkommen von 134,1 kg angegeben. Für ländliche bzw. städtische Gebiete wird ein Aufkommen von 100,8 bzw. 102,0 kg pro Einwohner und Jahr. Allerdings ergab eine Erhebung des Abfallaufkommens für den Landkreis Biberach für das Jahr 2012 eine Hausmüllmenge (einschließlich hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle) von 139 kg pro Einwohner und Jahr [UBW12a] (was deutlich über den Angaben aus [Wei05] liegt, da ca. 50% der Bevölkerung im ländlichen Raum wohnen. Aus diesem Verhältnis ergibt sich, dass bereits das Abfallaufkommen im Landkreis Biberach deutlich über den genannten Kennzahlen liegt. Weitere Gründe für das vergleichsweise hohe Aufkommen in der Altstadt Biberach sind das bis zum Jahr 2013 gewählte Bringsystem für Wertstoffe (s.u.) und die noch fehlende getrennte Verwertung von Bioabfall sowie die Tatsache, dass innerstädtische Gebiete ein deutlich höheres Restmüllaufkommen haben als ländliche Gebiete (siehe [Wei05]). Auch daher erscheint das höhere Restmüllaufkommen des Untersuchungsgebietes über dem Mittelwert des Landkreises Biberach von 139 kg pro Einwohner und Jahr plausibel.

Zur Zusammensetzung und Verwertung der Wertstoffe konnten keine genauen Angaben ermittelt werden, da die Entsorgung über einen privaten Anbieter erfolgt. Für die Mengen und Aufteilung der Wertstoffe wurden daher Mittelwerte aus Literaturwerten ermittelt, da im Landkreis Biberach erst im Jahr 2013 das Holsystem für die Wertstoffe eingeführt wurde. Bis dahin wurden die Wertstoffe in einem Bringsystem gesammelt, welches den Nachteil hatte, dass mehr Wertstoffe über den Hausmüll entsorgt wurden und somit nicht dem Recycling zugeführt wurden. Die ermittelten Werte sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tab. 8: Zusammensetzung von Wertstoffen [UBW12b], [Kra10]

Wertstoffart	Menge in kg/(E a)
Becher/Blister (HDPE)	3,4
Folien (LDPE)	5,0
Kunststoff (PET)	2,7
Sonst. Kunststoffe (PVC)	12,2
Metallverpackungen	9,1
Verpackungsverbunde	4,3
Styropor	0,5
Metalle/Schrott	11,3
Glas	25
Papier/Pappe	101

II.1.2.5 CO₂-Emissionen

Für die Abschätzungen der CO₂-Emissionen werden soweit möglich die Werte nach GEMIS Version 4.81 verwendet. Insbesondere wurde die Excel-Datei mit ausgewählten Ergebnisdaten für Energiesysteme [GEM13] verwendet.

II.1.2.5a Überschlägige Ermittlung von CO₂-Emissionen

Aus der überschlägigen Abschätzung des Energiebedarfs, wie sie in Abschnitt II.1.2.4a „Überschlägige Ermittlung von Energiebedarfen“ dargestellt ist, wurden die in Tabelle 3.2.1 dargestellten CO₂-Emissionen ermittelt. Dabei wurde bei der Wärmeerzeugung an dieser Stelle vereinfacht von einem Gaskessel mit Jahresnutzungsgrad von 0,8 und den in GEMIS (Version 4.81) für eine Erdgas-Heizung angegebenen CO₂-Emission von 228 g_{CO₂}/kWh_{Endenergie} ausgegangen. Dies entsprechend der Tatsache, dass 27% aller Heizanlagen älter als 26 Jahre sind. Bei Strom wurde eine CO₂-Emission von 555 g_{CO₂}/kWh_{Endenergie} nach der Szenario-Option „Stromnetz-lokal“ gewählt.

Für den Verkehr wurde in einem ersten Schritt aus einem Top-down Ansatz mit durchschnittlichem Verkehr einer entsprechenden Stadtgröße eine CO₂-Emission von ca. 3.000 t/a abgeschätzt.

Insgesamt ergibt sich aus den betrachteten Emissionsarten eine CO₂-Emission von ca. 15.500 t/a für das Untersuchungsgebiet, zuzüglich Konsum. Dies entspricht ca. 7,4 t_{CO₂}/a pro Einwohner, mit Konsum 10,6 t/a/P. Der Wert für die CO₂-Emission einer Person in Deutschland für das Jahr 2012 beträgt ca. 11 t/a/P [UBA14].

II.1.3 Grundlagen im Bereich Ermittlung Energiebedarf und Einsparpotenziale

Eine CO₂-Reduktion im Gebäudebereich wird durch eine Reduktion des Energieverbrauchs erzielt. Daher wird für die Altstadt Biberach das Einsparpotenzial für Wärme und Strom analysiert. Dazu wird ein Bottom-up Ansatz gewählt. Es werden einzelne Gebäude analysiert und anschließend die Berechnungsergebnisse übergreifend bewertet. Die Bestimmung der Einsparpotenziale der einzelnen Gebäude erfolgt dabei auf Basis modellbasierter und verbrauchsorientierter Methoden. Um die Berechnungen für die mehr als 600 beheizten Gebäude der Altstadt effizient durchführen zu können, wurde ein Werkzeug entwickelt, das unterschiedliche Datenquellen zu einem Gesamtmodell verknüpfen kann und die Berechnung energetischer Kennwerte auf Gebäudeebene ermöglicht.

II.1.3.1 Modellbasierte Ermittlung des Energiebedarfs

Die Ermittlung des Heizwärmebedarfs beruht auf dem Monatsbilanzverfahren der [DIN EN 13790]. Zusätzlich werden die nationalen Vereinfachungen der [DIN 4106 Teil 6] verwendet. Dieses Modell erfordert die Kenntnis der Flächen sowie der thermischen und optischen Eigenschaften der Außenbauteile. Weiterhin müssen Annahmen zu den Lüftungswärmeverlusten und den internen Gewinnen getroffen werden. Für die Bestimmung der Kenngrößen werden zusätzlich die beheizte Nettogrundfläche der Gebäude und das beheizte Volumen der Gebäude benötigt.

Der Endenergiebedarf für die Warmwasserbereitung wird flächenspezifisch nach den Angaben aus [DIN 18599 Teil 10] berechnet. Der Strombedarf wird basierend auf anonymisierten Verbrauchswerten und ergänzenden Annahmen statistisch modelliert.

Aufbauend auf den Energiebedarfsermittlungen werden die CO₂-Emissionen auf der Grundlage der Emissionsfaktoren der ermittelten oder angenommenen Energiewandler ermittelt. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit unterschiedliche Bilanzgrenzen zu berücksichtigen. Es können daher sowohl direkte Emissionen oder globale berechnet werden.

II.1.3.2 Das Berechnungswerkzeug

Die Betrachtung von Mittelwerten über die Gesamtheit der untersuchten Gebäude reicht zur Identifikation von Einsparpotenzialen nicht aus. Daher wurde ein Werkzeug konzipiert und implementiert, das die detaillierte Betrachtung einzelner Gebäude ermöglicht. Die Hauptelemente sind:

- Geoinformationssystem zur Speicherung, Allokation und De-Allokation von Gebäude-daten wie die überbaute Grundfläche, die Nutzungsart, etc.
- Datenbanksystem für die einzelnen Gebäude mit der Möglichkeit der Differenzierung nach Geschossen, Gebäudeteilen und Nutzungszonen. Jede dieser Einheiten können Flächen mit den erforderlichen geometrischen und physikalischen Eigenschaften und thermischen Randbedingungen zugeordnet werden.
- Datenbanksystem zur Verwaltung von Bauteileigenschaften in Anlehnung an [TABU-LA]
- 3D-Gebäudemodell für die Berechnung von Volumina, für die visuelle Konsistenzprüfung der Gebäudemodelle, für Verschattungsanalysen und die Berechnung der solaren Einstrahlung

Die beschriebenen Berechnungsmethoden müssen abgebildet und eine Infrastruktur zur Verknüpfung der Eingangsdaten mit dem Berechnungsmodell hergestellt werden. Des Weiteren müssen fehlende Informationen durch Annahmen ergänzt werden können, was ebenfalls in der Infrastruktur berücksichtigt werden muss. Einen Überblick über das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten zeigt Abb. 10. Auf der linken Seite der Abbildung sind die verschiedenen Datenquellen, die für die Stadt Biberach verwendet werden können, dargestellt. Quellen liegen häufig in unterschiedlichen Formaten vor: Neben GIS-Daten besteht die Möglichkeit Informationen aus elektronische Karten oder Daten in tabellarischer Form zu verwenden.

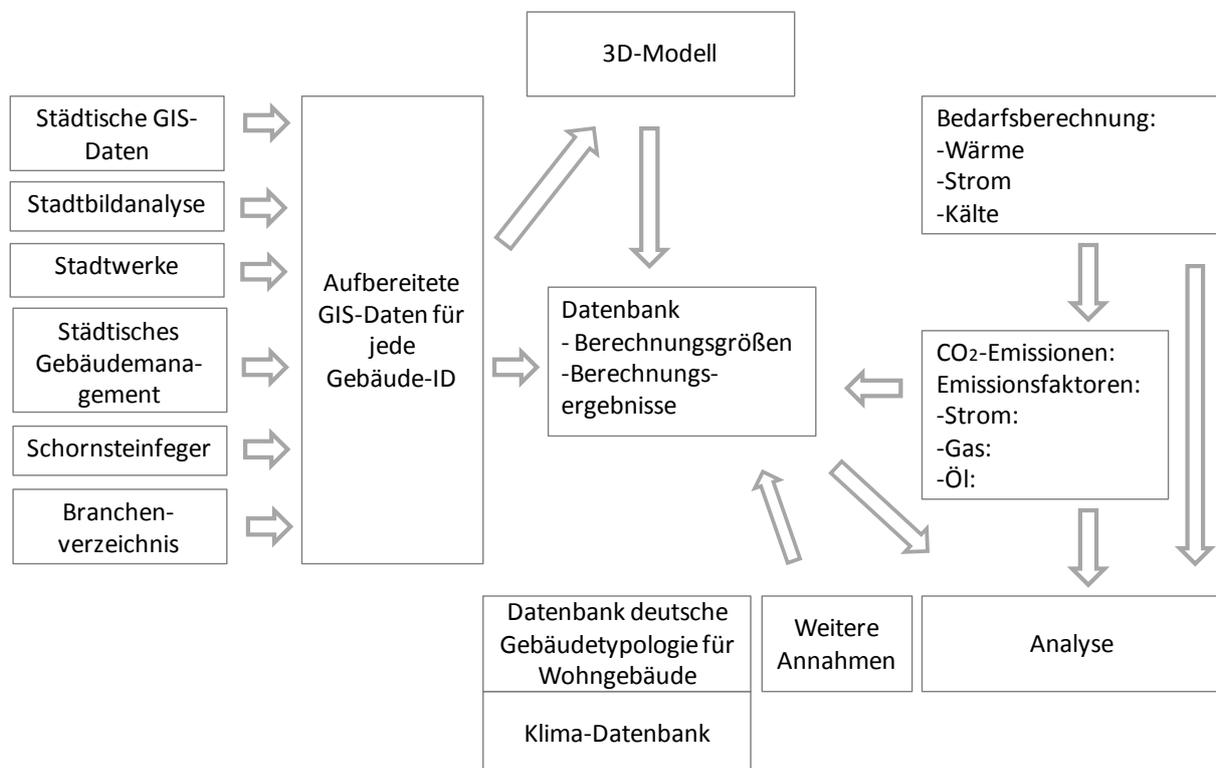


Abb. 10: Übersicht über die Modellierung des Energiebedarfs

Da der Modellierungsansatz dem Bottom-up Ansatz folgt, wird jedes Gebäude einzeln modelliert und der Energiebedarf und der damit verbundene CO₂-Verbrauch individuell bestimmt. Innerhalb des Datenbanksystems können dann Mittel- oder Summenwerte über alle Gebäude oder Gebäude einer bestimmten Kategorie berechnet werden.

Für die eindeutige Identifizierung von Gebäuden wird eine Kennung vergeben, die sich an Straße und Hausnummer orientiert. Diese Bid (Buidling-Id) wird einmalig innerhalb des Werkzeugs und einheitlich für alle Komponenten vergeben. Zusätzliche Daten werden über diese Kennung mit vorhandenen Daten verknüpft. Über sogenannte Aliase können auch Datenquellen, die ein Gebäude unter einer anderen Straße oder Hausnummer führen mit den vorhandenen Daten verknüpft werden.

Es wird eine zusätzliche Bid vergeben falls ein Gebäude verschiedene Höhen oder Baualter aufweist und sich so in unterschiedliche Gebäudeteile aufgeteilt werden kann oder muss. Hier bekommt das Gebäude an sich eine Bid und die Gebäudeteile, die aufgrund dieser unterschiedlichen Merkmale entstehen, ebenfalls. Die Zugehörigkeit der Gebäudeteile zu dem einen Gebäude bzw. der Hinweis darauf, dass ein Gebäude aus verschiedenen Teilen besteht, wird den Bids als Attribut zugeordnet. Gebäudeteile erhalten das Attribut „is part“ und das dazugehörige Gesamtgebäude ein Attribut „has parts“. Hinterlegt sind jeweils die Bids.

Im Optimalfall liegen Daten in der Form vor, dass sie direkt in die Datenbank als Berechnungsgrundlage mit der entsprechenden Bid eingelesen werden können. Dies ist jedoch selten der Fall. So werden Möglichkeiten geboten Daten aus verschiedenen Dateiformaten zu integrieren. Die Zuordnung der Informationen über die Bid zu den einzelnen Gebäude-IDs erfolgt je nach vorliegendem Datenformat unterschiedlich.

Tabellarische Daten, wie für die Stadt Biberach die Energieverbräuche der e.wa riss und des städtischen Gebäudemanagements sowie die First- und Traufhöhen, Anzahl und Art der Stockwerke, die detaillierte Zuordnung der Branchen zu den teilweise oder vollständig gewerblich genutzten Gebäuden können am einfachsten zugewiesen werden. Für die Zuordnung wird die Tabelle um die Bid ergänzt und darüber die Information in die aufbereitete GIS-Datei übernommen.

Die Zuordnung der Daten aus den elektronisch vorliegenden Karten, wie den kartierten Informationen aus der Stadtbildanalyse, erfolgt über den Abgleich geometrischer und geographischer Informationen der Gebäude. Die Zuordnung eines Merkmals mit nur einer Ausprägung pro Gebäude ist unproblematisch, weil hier jeweils eine Angabe zu einer Bid gemacht wird und die Geometrie nicht exakt übereinstimmen muss. Die Zuordnung eines Merkmals mit mehreren Ausprägungen pro Gebäude ist eine Herausforderung. In diesem Fall muss ein Merkmal einem Gebäudeteil zugeordnet werden. Dies erfolgt dadurch, dass Schnittmengen zwischen der Geometrie des Grundrisses eines Gebäudes mit den Geometrien zum Beispiel einer Baualtersklasse gebildet werden. Stimmen die Schnittmengen nicht exakt überein, entstehen weitere Gebäudeteile ohne Merkmalsausprägung. Dies wird in Abb.11 gezeigt. Es wird ein Merkmal mit mehreren Ausprägungen zu einem Gebäude hinzugefügt. In der Abbildung ist dies durch die leicht transparenten, farblich verschiedenen Rechtecke deutlich, die auf einem blauen Rechteck, das den Grundriss eines einzelnen Gebäudes darstellt, liegen. Links in der Darstellung schließen die transparenten Rechtecke der Merkmalsausprägungen bündig mit dem Grundriss des Gebäudes ab. Auf der rechten Seite tun sie dies nicht und es ist deutlich ein kräftig blauer Teil des Gebäudegrundrisses zu sehen. Im Überprüfungsalgorithmus kann hier ein zusätzlicher Gebäudeteil als Artefakt entstehen, denn eigentlich ist

deutlich, dass das Rechteck der Merkmalsausprägung verrutscht ist und kein zusätzlicher Gebäudeteil vorliegt. Meistens sind dies jedoch nur so kleine Unterschiede, dass sie mit bloßem Auge kaum sichtbar sind und erst durch starke Vergrößerung in die übereinander gelegten Karten sichtbar wird. Daher werden Gebäudeteile, die aufgrund dieser automatisierten Teilung entstehen und eine festzulegende Größe nicht überschreiten aus der Betrachtung ausgeschlossen.

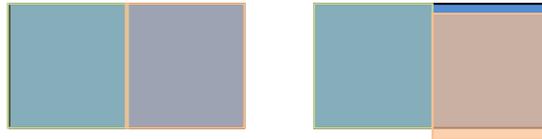


Abb. 11: Problematik bei der Zuweisung verschiedener Merkmalsausprägungen zu einem Gebäude: Die transparenten Geometrien im Vordergrund stellen die zuzuordnende Information dar, die dem Gebäudegrundriss, dem blauen Hintergrund, zugeordnet werden sollen

Die aufbereiteten GIS-Daten können einerseits als Eingangsdaten für das 3D-Modell verwendet werden. Außerdem können die Eigenschaften unter der Bid für die weitere Berechnung und Analyse in einer Datenbank abgespeichert werden.

Das Modell erlaubt dabei sowohl die vertikale als auch die horizontale Zonierung des Gebäudes. Die vertikale Zonierung ist gegeben durch die Einteilung der Gebäudeteile durch verschiedenen Gebäudehöhen oder unterschiedliche Baualter. Eine vertikale Einteilung der Gebäude erfolgt durch die Modellierung der verschiedenen Stockwerke. Den einzelnen Stockwerken können wiederum spezifische Eigenschaften zugewiesen werden, die anschließend in die Energiebedarfsberechnung einfließen



Abb. 12: Arbeitsstand 3D-Modell

Die Ergebnisse des 3D-Modells, die Flächen und Volumina, werden getrennt nach Bid und Geschoss in die Datenbank aufgenommen. Zusammen mit den Informationen aus den GIS-Daten und möglicherweise zusätzlichen Annahmen aufgrund von Informationsmangel kann nun die Berechnung des Energiebedarfs und der CO₂-Emissionen erfolgen.

Des Weiteren stehen Informationen aus Klimatabellen zu monatlichen Außentemperaturen und Globalstrahlung bereit sowie der Datensatz der deutschen Gebäudetypologie. Diese teilt den Gebäudebestand Deutschlands anhand des Baualters in Cluster ein. Neben einer Einteilung in verschiedenen Größenklassen, orientiert sie sich an „historischen Einschnitten, den Zeitpunkten statistischer Erhebungen und den Veränderungen der wärmetechnisch relevanten Vorschriften“. Für repräsentative Gebäude jedes Clusters ist die typische Konstruktion, Flächenanteile und Angaben zur Anlagentechnik vermerkt, auf die zurückgegriffen werden kann. So ist es beispielsweise möglich anhand des Baualters eines Gebäudes Rückschluss auf den U-Wert einer Wand zu ziehen oder auch auf die Fensterflächenanteile je nach Ausrichtung einer Gebäudewand. Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass die Nutzung mit Fehlern behaftet ist und nicht immer alle regionalspezifischen oder individuellen Charakteristiken abgebildet werden können.

Außerdem werden hier typische Sanierungsmaßnahmen von Wohngebäuden angeboten [IWU11]. Dabei können einzelne Maßnahmen oder zwischen zwei Maßnahmenpakten gewählt werden. Maßnahmenpaket 1 orientiert sich dabei an den 2011 üblichen Standards und den Vorgaben der EnEV 2009. Maßnahmenpaket 2 weist demgegenüber nochmal einen deutlich verbesserten Wärmestandard auf.

Die Berechnungsergebnisse können in der Datenbank abgelegt werden, in das GIS-System exportiert und auch im 3D-Modell analysiert und visualisiert werden.

II.1.3.3 Bestandsaufnahme und Analyse des Status Quo

Für die Analyse der Altstadt Biberach stehen die in Tab. 10 dargestellten Datenquellen mit den dort aufgeführten, für die Analyse relevanten Merkmalen der Gebäude zur Verfügung. Es zeigt sich, dass einige Merkmalsausprägungen der Gebäude, die als Eingangsgrößen in die Energiebedarfsberechnung eingehen, nicht zur Verfügung stehen (s. Abschnitt II.1.3.1): Es fehlen sowohl die Flächen und Volumina der Gebäude und Gebäudeteile als auch die energietechnischen Eingangsgrößen wie U-Werte und Informationen zum Luftwechsel bzw. gebäudescharfe Angaben zu Art und Betriebsgrößen der energietechnischen Anlagen.

Tab. 9: Datenquellen

Quelle:	Datenformat	Merkmal
Stadt Biberach	GIS-Daten	Geometrie und geographische Lage der Gebäude, Adresse, Gebäudenutzung
Stadtbildanalyse	Elektronische Karten	Baualter, Denkmalstatus
Stadt Biberach	Elektronische Karten	ALK: Geometrie und geographische Lage der Gebäude
Stadtbildanalyse	Tabellen	Höhen, Art und Anzahl der Stockwerke
Stadt Biberach	Tabelle	Energieverbrauch öffentliche Gebäude
e.wa riss GmbH & Co. Kg	Tabelle	Strom- und Gasverbräuche

Schornsteinfeger	Tabelle	
Online-Quelle	Tabelle	Branche

II.1.3.3a Annahmen

Die Flächen und Volumina der Gebäude werden über den Aufbau des 3D-Modells ermittelt wie im vorigen Abschnitt beschrieben. Für die Fassaden ist am Marktplatz ein Fensterflächenanteil von 19 % ohne die Schaufenster, von 29 % mit den Schaufenstern ermittelt worden. Die restlichen Fensterflächenanteile werden entsprechend den Baualtersklassen der Gebäudetypologie nach [TABULA] angenommen. Diese berücksichtigen beispielsweise auch die unterschiedlichen Öffnungsverhältnissen auf der Nord- und der Südseite. Für Bürogebäude wird angenommen, dass der Fensterflächenanteil ähnlich dem im Wohnbereich ist. Für Gebäude mit Einzelhandel im Erdgeschoss wird davon ausgegangen, dass 90 % der Häuserfront des Erdgeschosses verglast ist und ab dem ersten Obergeschoss das Fensterflächenverhältnis an Wohnbereich entspricht.

Aufgrund der unterschiedlichen Funktionen der Gebäude werden soweit relevant auch nutzungsspezifische Annahmen getroffen. Dabei liegt für Gebäude, die verschiedene Nutzungsformen vereinen, keine Information über die Zuordnung der NGF zu den einzelnen Nutzungsformen vor. Daher wird die vereinfachte Annahme getroffen, dass alle heterogen genutzten Gebäude im Erdgeschoss gewerblich genutzt werden und ab dem ersten Obergeschoss als Wohnung.

Für die Berechnung des Wärmeenergiebedarfs ist nur die beheizte Nutzfläche der Gebäude für die Analyse relevant. Daher beschränkt sich die Betrachtung auf folgende Nutzungstypen aus den GIS-Daten der Stadt:

- Wohnhaus
- Wohn- und Geschäftshaus
- Wohn- und Bürogebäude
- Wohn- und Betriebsgebäude
- Bürogebäude
- Geschäftshaus
- Verwaltungsgebäude
- Bibliothek, Bücherei
- Museum

Fehlende Gebäude in den GIS-Daten der Stadt werden durch die Geometrien aus den ALK-Daten ergänzt.

Innerhalb der Gebäude werden die Vollgeschosse als beheizte Flächen angesehen. Verfügt ein Gebäude außerdem über einen Dachstuhl, so wird davon ausgegangen, dass, falls vorhanden, noch die ersten beiden Geschosse bewohnt und somit auch beheizt werden. Die Keller werden als nicht beheizt angesehen.

Neben den bereits genannten Unsicherheiten kann die einer Bid zuzuordnenden Energiemenge nicht immer genau bestimmt werden auch wenn eine grundsätzliche Information vorliegt. Grund hierfür ist, dass manche Bids einen gemeinsamen Anschluss haben. Dies ist teilweise auch der Fall, wenn es sich um zwei physikalisch voneinander getrennte Gebäude handelt. Gibt es für keinen der beiden Bids einen weiteren Anschluss werden die Verbräuche nach beheizter Fläche aufgeteilt. Zehn Gebäuden können jedoch über zwei verschiedenen

Anschlüssen Energie beziehen und über einen der Anschlüsse wird mindestens noch ein weiteres Gebäude versorgt. Hier wird die Energie anteilig der Fläche aufgeteilt und für das Gebäude, das bereits über einen Anschluss versorgt wird davon ausgegangen, dass es nur 50% ihres eigentlich zugewiesenen Anteils aufnimmt.

Die Daten, die als Berechnungsgrößen in die Energiebedarfsberechnung eingehen, werden ebenfalls auf Genauigkeit, Vollständigkeit und Plausibilität geprüft und wenn notwendig entsprechende Korrekturmaßnahmen vorgenommen. Tab. 10 zeigt die Ergebnisse für die Prüfung des Informationsdeckungsgrades.

Tab. 10: Datenverfügbarkeit verschiedener Berechnungsgrößen

Merkmal der Gebäude	Vollständigkeit [%]
Geschossigkeit	91
Traufhöhe	93
Firshöhe	93
Baualter	93

Neben Voll- oder Dachgeschossen weisen die Karten aus der Stadtbildanalyse auch Souterrain aus. Der Anteil des Souterrains, der in der Erde ist, ist nicht fest definiert, sondern kann sehr unterschiedlich sein. Dies kann einem ebenerdigen Eingang zu diesem Bereich oder auch nur das Herausragen von Fenstern bedeuten. Gleichzeitig erfasst die in der Stadtbildanalyse erfasste Traufhöhe den unterirdischen Teil des Gebäudes nicht mehr. So führt die Berechnung der Geschosshöhe bei Berücksichtigung des Souterrains bei manchen Gebäuden zu normalen Geschosshöhen und bei anderen zu geringen. Dies erschwert die Plausibilisierung dieser Datensätze. Die Unsicherheit wirkt sich jedoch nur dann auf das Berechnungsergebnis aus, wenn ein Gebäude verschieden genutzt wird. Es gibt jedoch nur 10 Gebäude, die ein Souterrain haben und gleichzeitig heterogen genutzt werden.

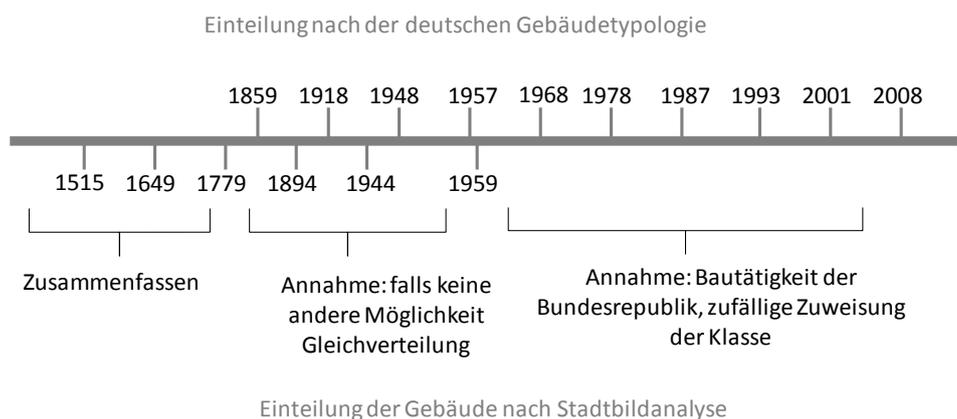


Abb. 13: Gegenüberstellung der Einteilung der Klassen der Gebäudetypologie nach Stadtbildanalyse und energetischen Aspekten [TABULA] am Zeitstrahl

Baualtersklassen bestimmen den energetischen Standard eines Gebäudes und haben somit den entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis. Gleichzeitig gibt es in diesem Bereich große Unsicherheit, denn die Baualtersklassen aus der Gebäudetypologie stimmen nicht mit den zur Verfügung stehenden Baualtersklassen aus der Stadtbildanalyse überein. Abb. 13 zeigt die Unterschiede der beiden Typologien auf. Dabei wird deutlich, dass die Gebäude nach 1960 zusammengefasst sind, also während der Zeitspanne, in der verschiedene Wärme-

schutzverordnungen und damit verschiedene Wärmedämmstandards realisiert wurden und somit aus energietechnischer Sicht eine Einteilung besonders notwendig ist. Deshalb wird zunächst über eine Grenzwertbetrachtung der maximale und minimale Heizenergiebedarf berechnet. Das Maximum wird berechnet, indem die Gebäude mit den größten Gebäudehüllflächen den ältesten Altersklassen zugeordnet und die Gebäude mit den kleinsten Gebäudehüllflächen den jüngsten Altersklassen zugeordnet werden. Andersherum wird das Minimum durch eine umgekehrte Zuordnung ermittelt. Dabei erfolgt die Zuordnung zu den einzelnen Baualtersklassen gemäß der bundesdeutschen Verteilung des Gebäudebestands für kleine Mehrfamilienhäuser [ARGE11].

Die ersten Baualtersklassen der Stadtbildanalyse bedürfen aus energietechnischer Sicht keiner Aufteilung und können zusammengefügt werden. Für Aufteilung der Klassen der Stadtbildanalyse ab 1979 bis Anfang der 1960er wird von einer gleichverteilten Bauaktivität ausgegangen, da nichts Genaueres bekannt ist. Die Gebäude werden zufällig auf die in Frage kommenden Baualtersklassen der verteilt.

II.1.4 Grundlagen im Einzelnen im Bereich Geothermie

In diesem Arbeitspaket des Projektes „eCO₂centric – Energieeffiziente Stadtentwicklungsplanung für ein Altstadtquartier im Spannungsfeld von CO₂-Reduktion und Denkmalschutz“ wird das Potenzial für die Gewinnung thermischer Energie aus dem Untergrund unterhalb der Altstadt von Biberach untersucht. Es sollen für die unterschiedlichen geothermischen und andere im Untergrund liegenden potenziellen thermischen Energiequellen, deren Leistungsfähigkeit als auch deren energetische Ergiebigkeit ermittelt werden. Zudem sollen Angaben über die Realisierbarkeit bzw. die Einschränkungen und Voraussetzungen für die Nutzung der jeweiligen Geothermie- bzw. Energiequelle gemacht werden.

Als potentielle geothermische und andere im Untergrund liegende Energiequellen werden oberflächennahe, mitteltiefe und tiefe Systeme untersucht. Im sogenannten oberflächennahen Bereich, welcher bis in Teufen von 400 m reicht, stehen folgende Quellen zur Verfügung:

- Niederschlagswasser
- Oberflächenwasser
- Trinkwasser (Vorratsbehälter, im Erdreich verlegtes Trinkwassernetz)
- Abwasser
- Grundwasser
- Erdwärmekollektoren und Erdwärmekörbe
- Erdwärmesonden.

Die mitteltiefe Geothermie beginnt ab 400 m und reicht bis in Tiefen von 1.000 m [GEC13]. Hierbei kommen sowohl geschlossene Erdwärmesondensysteme (Koaxial, oder Mehrfach-U) als auch offene Dublettensysteme zur Anwendung.

Von Tiefengeothermie spricht man ab Bohrtiefen über 400 m bis in mehrere Kilometer Tiefe. Zur Abgrenzung zur mitteltiefen Geothermie sollte jedoch erst ab Tiefen von 1.000 m von tiefer Geothermie gesprochen werden. Hier kommen hydrothermale oder petrothermale offene Dublettensysteme zur Anwendung. Neben der Wärmeproduktion (Heizwerk) wird die tiefe Geothermie je nach Temperaturniveau auch zur Stromerzeugung (Kraft- bzw. Heizkraftwerk) eingesetzt.

Im Arbeitspaket Geothermie werden alle vorstehend aufgeführten Quellen behandelt, mit Ausnahme der energetischen Nutzung des Abwassers, da diese Gegenstand eines anderen Arbeitspaketes des Verbundvorhabens ist.

II.1.4.1 Allgemeine Grundlagen

II.1.4.1a Wärmepumpenheizung

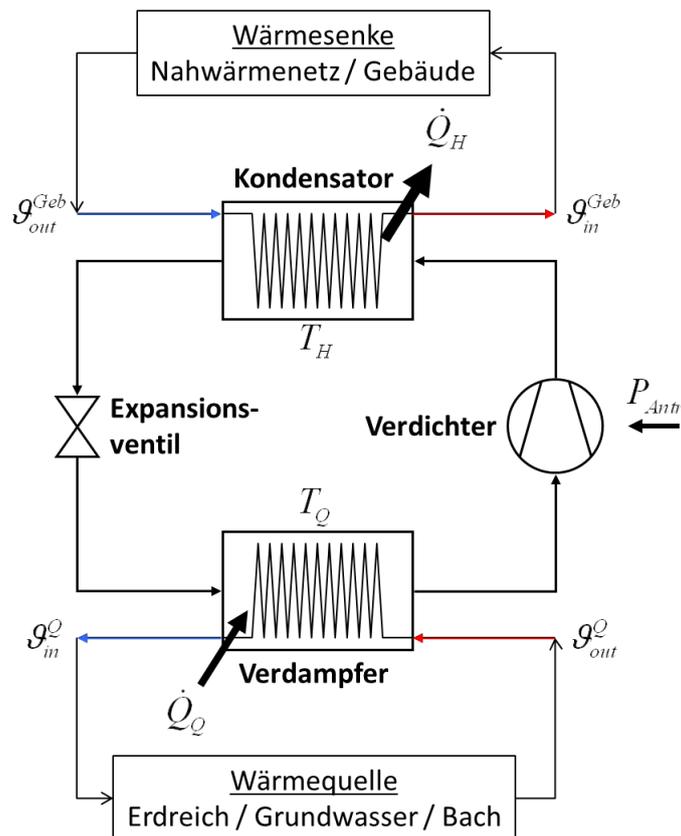


Abb. 14: Schema einer Kompressionswärmepumpe mit Quelle und Senke

Wärmepumpen (und Kältemaschinen) sind Aggregate, die Wärme von einer Wärmequelle bei einem niedrigen Temperaturniveau aufnehmen und bei einer höheren Nutztemperatur an eine Wärmesenke abgeben. Gemäß dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik kann ein solcher Prozess nicht von selbst ablaufen, weil Wärme stets vom höheren zum niedrigeren Temperaturniveau fließt. Praktisch möglich wird der Wärmepumpen- bzw. Kältemaschinenprozess unter Einhaltung des 2. Hauptsatzes durch die Zufuhr thermodynamisch höherwertiger Energie. Diese ist entweder mechanische Energie (elektrischer oder verbrennungsmotorischer Antrieb) oder Wärmeenergie auf einem Temperaturniveau, das deutlich oberhalb der Nutztemperatur bei der Wärmeabgabe an die Wärmesenke liegt (z.B. Heißwasser, Dampf oder Verbrennungswärme). Anschaulich wird zur Anhebung des Temperaturniveaus von der kälteren Wärmequelle zur wärmeren Wärmesenke eine „Pumpe“ benötigt. Die Menge der hierfür erforderlichen Antriebsenergie W_{Antr} hängt sowohl von der Fördermenge (Wärmepumpe: Wärmemenge/Wärmeleistung) als auch von der Förderhöhe (Wärmepumpe: Temperaturhub = Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke) ab. Das Verhältnis von Nutzwärmeleistung zu benötigter Antriebsleistung wird als Leistungszahl bezeichnet und beschreibt die Effizienz des Wärmepumpenprozesses. Aufgrund des 1. und 2. Hauptsatzes

der Thermodynamik ist nach Carnot die maximal mögliche Leistungszahl ε_C einer elektrisch oder mechanisch (d.h. mit reiner Exergie) angetriebenen Wärmepumpe eine Funktion der Nutzwärme der Wärmesenke q_H (Heizung) sowie der Temperaturdifferenz zwischen der Wärmesenke und der Wärmequelle q_Q , dem sogenannten Temperaturhub Dq_{Hub} [KOE11]:

$$\text{Maximum} \left(\frac{|Q_H|}{P_{Antr}} \right) = \varepsilon_C = \frac{\vartheta_H}{\vartheta_H - \vartheta_Q} = \frac{\vartheta_H}{\Delta\vartheta_{Hub}} \quad (1)$$

In Abb. 15 sind rechnerisch abgeschätzte, mit dem derzeitigen Stand der Technik (Gütegrad $h_G \sim 50\%$) erreichbare Leistungszahlen für Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen dargestellt. Diese rechnerisch ermittelten Kurven geben im mittleren Bereich des Temperaturhubs (zwischen ca. 25 und 50 K) die von guten marktgängigen Wärmepumpen erreichbaren Leistungszahlen gut wieder, während an den Rändern in der Praxis mit niedrigeren Leistungszahlen zu rechnen ist, wenn nicht speziell auf diese Randbereiche des Temperaturhubs abgestimmte Aggregate verwendet werden.

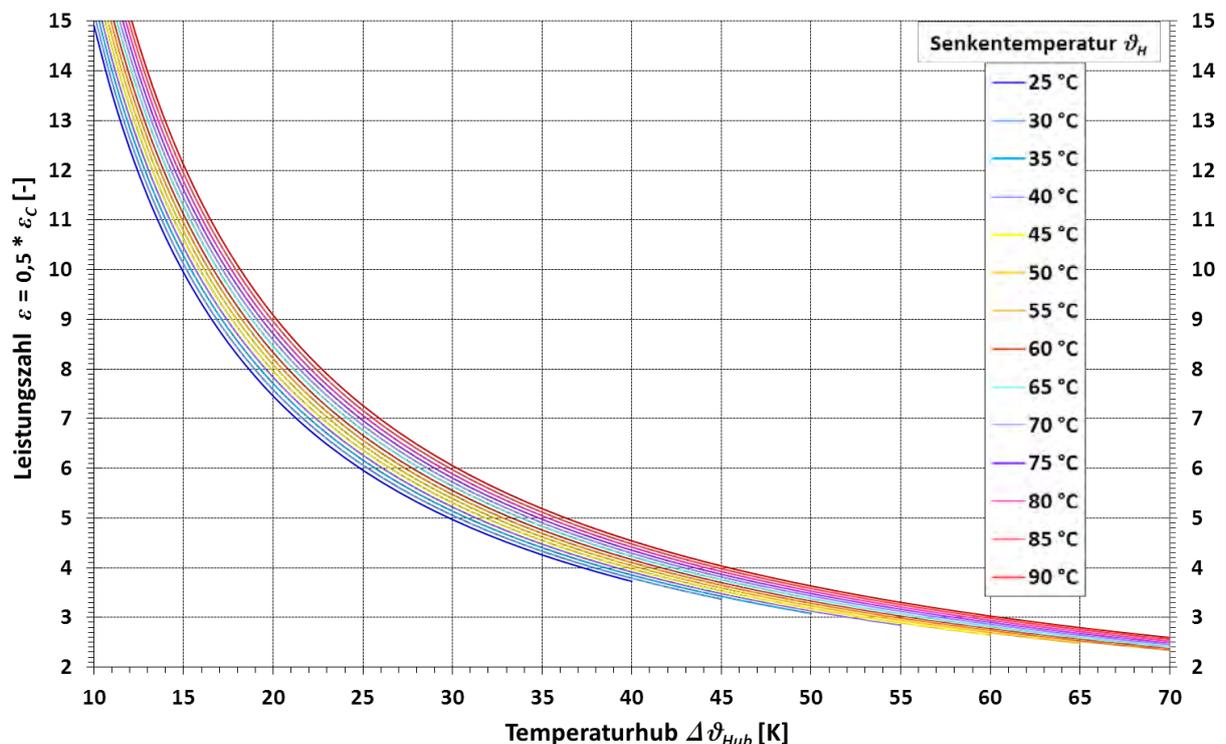


Abb. 15: Leistungszahlen ε , berechnet durch Multiplikation der idealen Carnot-Leistungszahlen ε_C mit einem Gütegrad $h_G = 50\%$ für unterschiedliche Heizwassertemperaturen ϑ_H

Demnach ergeben sich für Wärmepumpenheizungen folgende (Ideal-)Anforderungen, um einen effizienten Betrieb der Anlage zu ermöglichen:

- möglichst hohe Quelltemperatur
- möglichst niedrige Heiz- bzw. Senktemperatur
- bei Gebäuden: Niedertemperaturheizungen (insbesondere Flächenheizungen)
- hinreichender Dämmstandard der Gebäude bzw. Energieeffizienz der Verbraucher.

Außerdem lässt sich aus Abb. 15 ableiten, dass bei gleichbleibendem Temperaturhub Dq_{Hub} die mit einem Gütegrad von 50 % abgeschätzte mögliche Leistungszahl mit steigendem mitt-

lerem Temperaturniveau ansteigt. Das bedeutet, dass beispielsweise bei einer Senktemperatur von 85 °C und einer Quellentemperatur von 70 °C sich eine um 20 % bessere Leistungszahl ($COP = 12$) ergibt als mit einem System, das die Temperatur von 10 °C auf 25 °C anhebt ($COP = 10$). Diese Tatsache ist gerade für die Nutzung der mitteltiefen und tiefen Geothermie von Bedeutung, falls deren Temperaturangebot für eine direkte Nutzung nicht ausreicht und deshalb der Einsatz von Wärmepumpen erforderlich ist. Für ein insgesamt höheres Temperaturniveau oberhalb einer Quellentemperatur von ca. 25 °C sind allerdings sogenannten Hochtemperatur-Wärmepumpen einzusetzen, die derzeit nach und nach auf den Markt kommen.

II.1.4.1b Nahwärmenetze mit Wärmepumpen

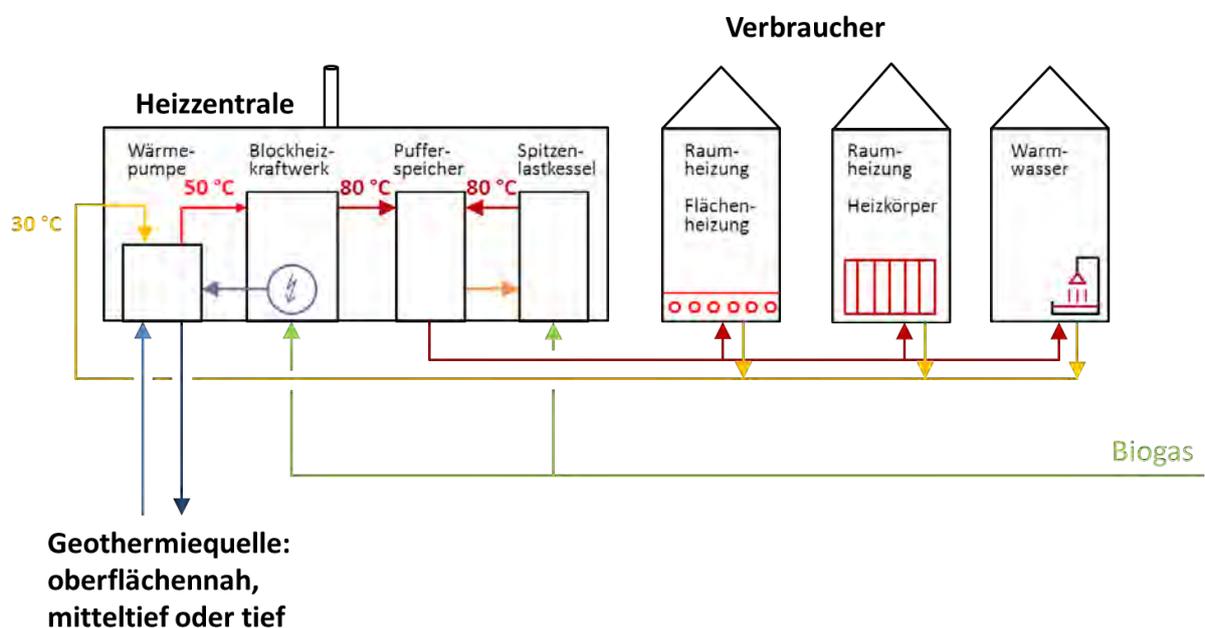


Abb. 16: Schema eines möglichen Nahwärmesystems mit zentraler Wärmepumpe, BHKW und Spitzenlastkessel _ Heißwassernetz

Um Gebäude über Nahwärmenetze versorgen zu können, sind in der Regel hohe Vorlauftemperaturen des Nahwärmenetzes erforderlich. Dies liegt zum einen daran, dass unterschiedliche Verbraucher mit verschiedenen hohen Temperaturniveaus bedient werden müssen. Die Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes richtet sich in der Regel nach dem Verbraucher/Gebäude mit der höchsten benötigten Vorlauftemperatur. Hinzu kommt, dass es energetisch effizienter ist, eine bestimmte Energiemenge mit einer größeren Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf und damit geringerem Volumenstrom zu übertragen, als bei kleiner Temperaturspreizung. In der Praxis bedingt eine größere Temperaturspreizung im Netz häufig eine höhere Vorlauftemperatur mit weil die verbraucherseitigen Rücklauftemperaturen nicht entsprechend abgesenkt werden können. Außerdem müssen die Verluste des Leitungsnetzes und die damit verbundenen Temperaturreduzierungen ausgeglichen werden.

Die mit einem Nahwärmenetz übertragene Wärmeleistung Q bestimmt sich durch Multiplikation der spezifischen Wärmekapazität c_p des Wärmeträgerfluids (i. d. R. Wasser), dessen

Massenstrom m bzw. $\rho \cdot V$ und der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ zwischen Vor- und Rücklaufleitung:

$$\dot{Q} = c_p \cdot m \cdot \Delta\vartheta = c_p \cdot \rho \cdot V \cdot (\vartheta_{VL} - \vartheta_{RL}) \quad (2)$$

Um die im Wärmenetz übertragene Wärmeleistung zu steigern, kann bei gegebener (d. h. nach oben begrenzter) Vorlauftemperatur entweder der Massenstrom oder die Temperaturspannung erhöht werden. Da durch Erhöhung des Volumenstroms jedoch die elektrische Pumpleistung zur Umwälzung des Heizwassers im Netz nahezu mit der 3. Potenz ansteigt, ist es wesentlich effizienter, zur Steigerung der Wärmeleistung die Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes zu senken. Damit die Rücklauftemperatur im Netz weiter abgesenkt werden kann, sind allerdings entsprechende anlagentechnische Maßnahmen auf der Gebäuseite sowie entsprechende hydraulische Verschaltungen der Verbraucher unterschiedlicher Temperaturniveaus notwendig.

Ein weiterer positiver Effekt, den eine Absenkung der Rücklauftemperatur des Netzes mit sich zieht, ist die Reduzierung der mittleren Netztemperatur und damit der Wärmeverluste des Leitungsnetzes.

Neben dem Heißwassernetz (Abb. 16) ist auch ein Warmwassernetz als Nahwärmesystem denkbar (Abb. 17). Dabei wird das Netz mit einer niedrigeren Vorlauftemperatur betrieben, die, falls die Wärmequelle das erforderliche Temperaturniveau nicht direkt liefert, mittels Wärmepumpe auf das gewünschte Niveau angehoben wird, mit dem Niedrigenergiegebäude mit entsprechenden Heizflächen i. d. R. ohne zusätzlichen Wärmeerzeuger versorgt werden können. Die erforderliche Temperaturerhöhung für Verbraucher mit höherer Vorlauftemperatur erfolgt hier dezentral in den jeweiligen Gebäuden, z. B. über elektrische Durchlauferhitzer, elektrische Heizstäbe, Spitzenlast-Wärmeerzeuger oder zusätzliche Wärmepumpen.

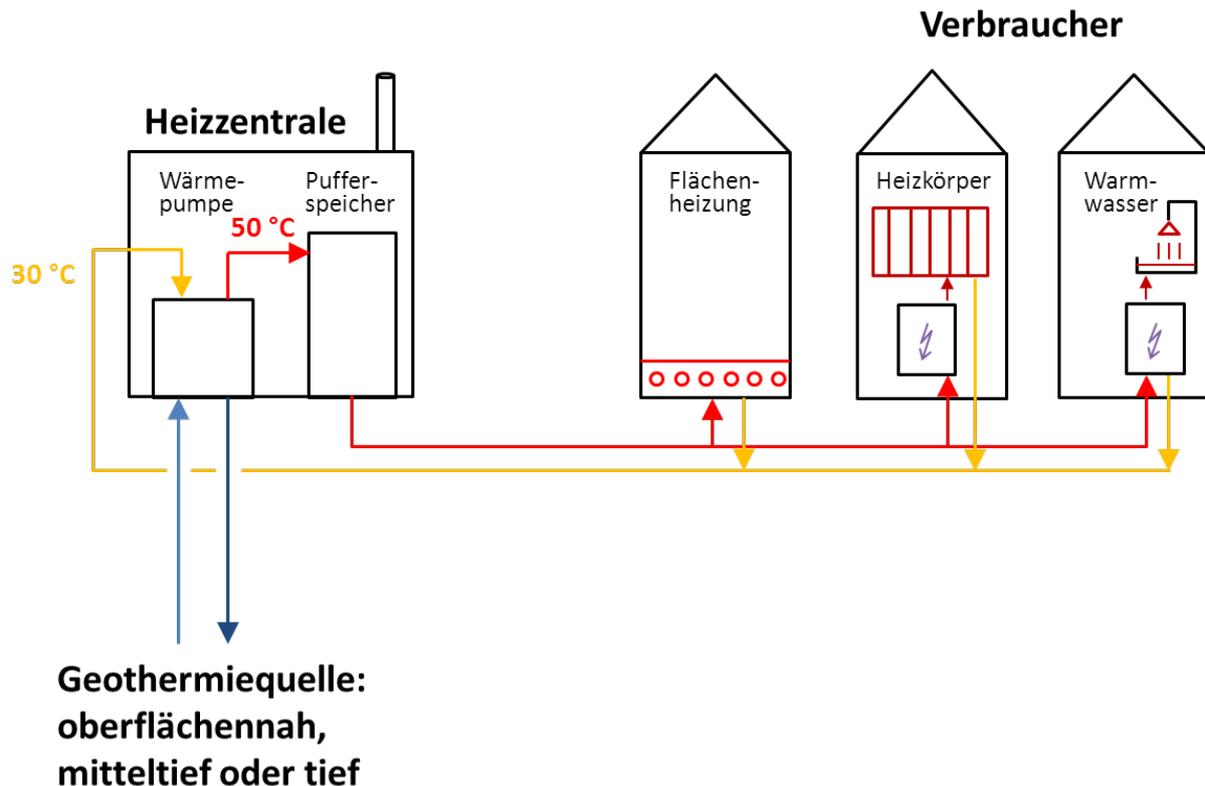


Abb. 17: Schema eines möglichen Nahwärmesystems mit zentraler Wärmepumpe und optionalen dezentralen Spitzenlast-Wärmeerzeugern _ Warmwassernetz

Eine weitere Möglichkeit eines Nahwärmesystems ist in Abb. 18 dargestellt. Hier spricht man von kalter Nahwärme. Das Wärmenetz (Quellennetz) wird hier mit relativ niedrigen Temperaturen (nahe der Umgebungstemperatur) betrieben und dient in der Regel als Quelle für die in den jeweiligen Gebäuden befindlichen dezentralen Wärmepumpen. Wenn die Wärmequelle, beispielsweise durch mitteltiefe oder tiefe Geothermie, bereits die Betriebstemperatur des kalten Nahwärmenetzes erreicht, kann auf die zentrale Wärmepumpe in der Heizzentrale verzichtet werden.

Bei entsprechend tiefer Betriebstemperatur können kalte Nahwärmenetze auch zu Kühlzwecken herangezogen werden, sodass eine gleichzeitige, kombinierte (Quellen-)Wärme- und Kälteversorgung möglich wird. Überschneiden sich Wärme- und Kältebedarf unterschiedlicher an das Netz angeschlossener Verbraucher zeitlich, wird eine Wärmeverschiebung bzw. Abwärmenutzung möglich, indem die Abwärme aus der Kühlung als Quellenwärme für die Beheizung andernorts dient.

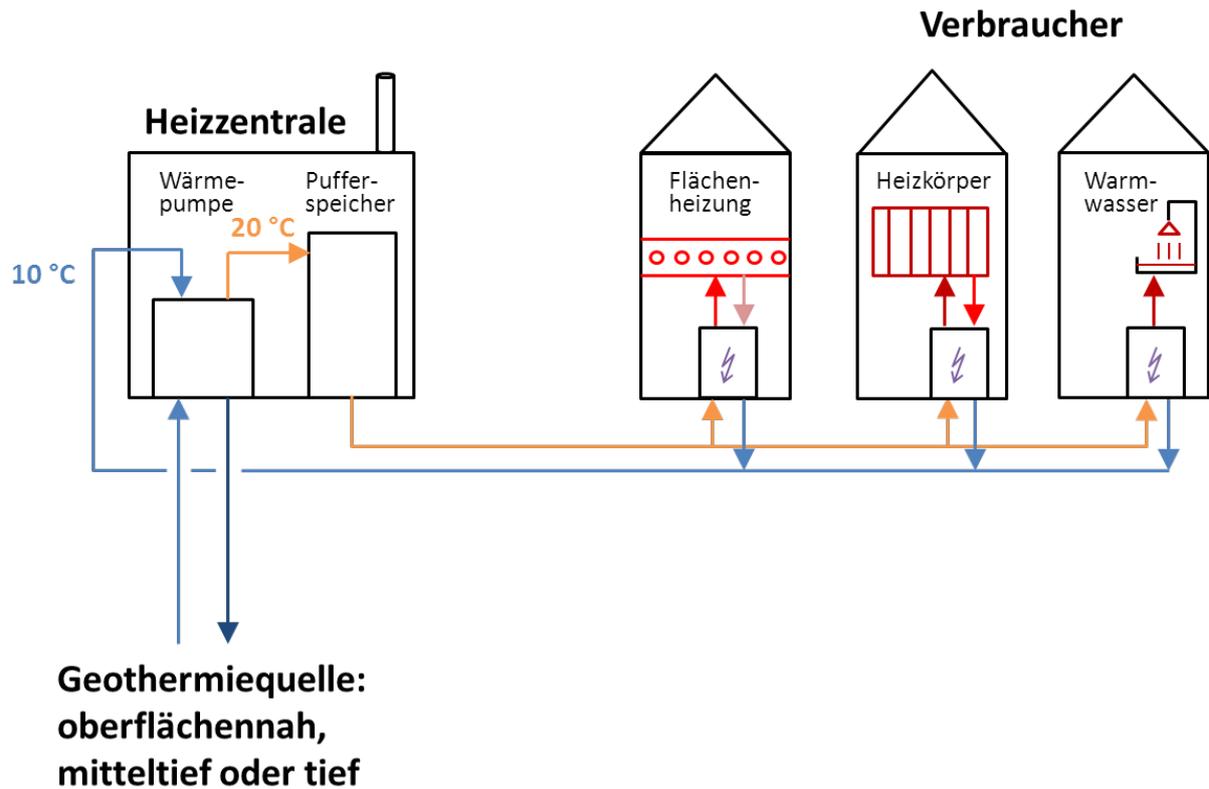


Abb. 18: Schema eines möglichen Nahwärmesystems mit optionaler zentraler Wärmepumpe und dezentralen Wärmepumpen _ kalte Nahwärme

II.1.4.1c Thermische Nutzung von Oberflächenwasser

Bei der thermischen Nutzung von Oberflächenwasser, z. B. aus Seen, Flüssen oder Bächen, kommt dasselbe Wärmepumpensystem wie bei Grundwasseranlagen (Abb. 19) zum Einsatz.



Abb. 19: Grundwasserwärmepumpensystem [WEI13]

Im Unterschied dazu wird nicht dem Grundwasser sondern einem Oberflächengewässer die benötigte Wärmemenge entzogen (Abb. 20).

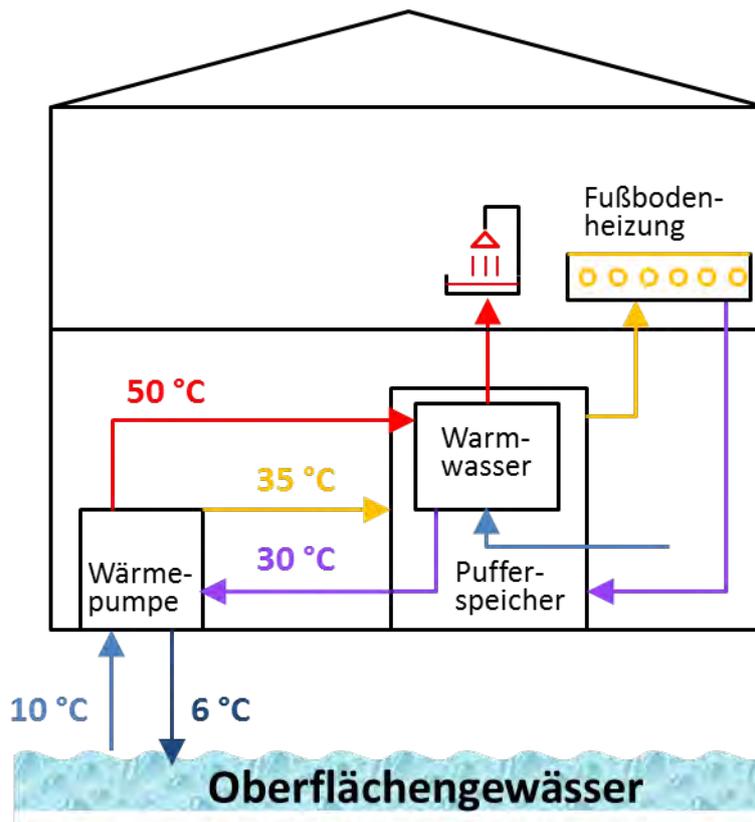


Abb. 20: Schema Wasser/ Wasser-Wärmepumpensystem mit Oberflächenwasser als Wärmequelle

Zu unterscheiden sind hierbei die direkte und die indirekte thermische Nutzung. Bei der direkten Nutzung wird das Oberflächenwasser direkt durch den Verdampfer der Wärmepumpe geleitet (Abb. 21). Energetisch betrachtet stellt dies die effizienteste Nutzungsart dar. Allerdings besteht die Gefahr der Gewässerkontamination mit Kältemittel im Falle eines undichten Verdampfers bzw. der Beeinträchtigung des Verdampfer-Wärmeübertragers durch gelöste und nicht gelöste Inhaltsstoffe im Oberflächenwasser.

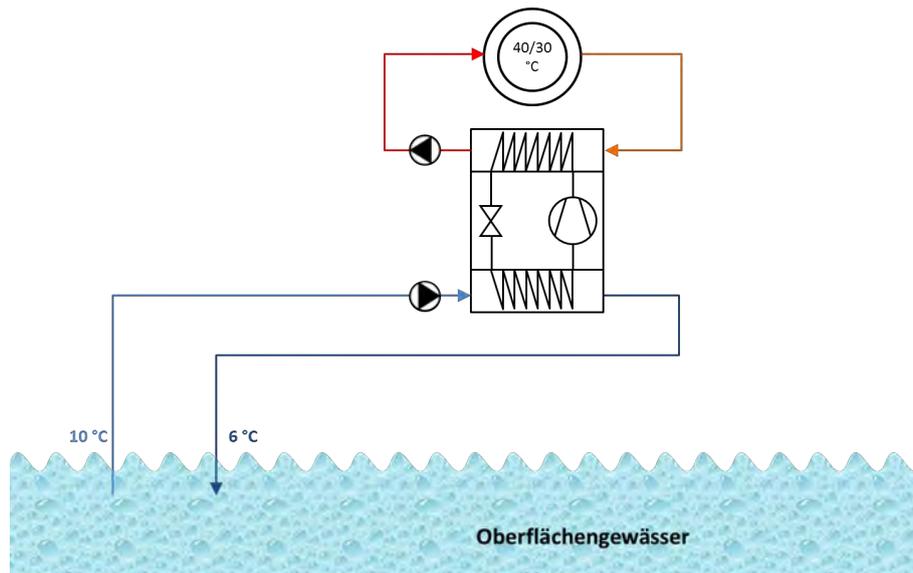
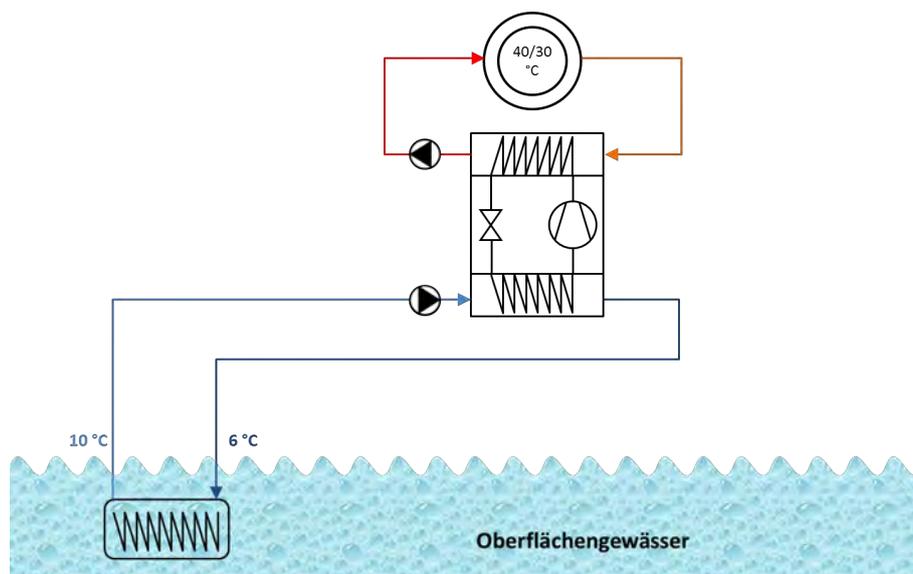


Abb. 21: Direkte thermische Nutzung von Oberflächenwasser

Im Gegensatz hierzu steht die indirekte thermische Oberflächenwassernutzung. (Abb. 22). Ein sogenannter Zwischenkreislauf mit Wärmeträgerfluid ist hierbei notwendig. Durch den zusätzlichen Wärmetauscher verliert das System im Vergleich zur direkten Nutzung an energetischer Effizienz. Je nachdem, wo dieser Wärmetauscher platziert ist, kann die Sicherheit in Bezug auf die Gewässerverunreinigung beeinflusst werden. In der Regel ist die Nutzungsart durch Vorgaben der Behörden geregelt. Bei der Platzierung des Wärmetauschers außerhalb des Gewässers ist eine zusätzliche Umwälzpumpe nötig, die das System hinsichtlich der Effizienz noch etwas weiter absenkt.



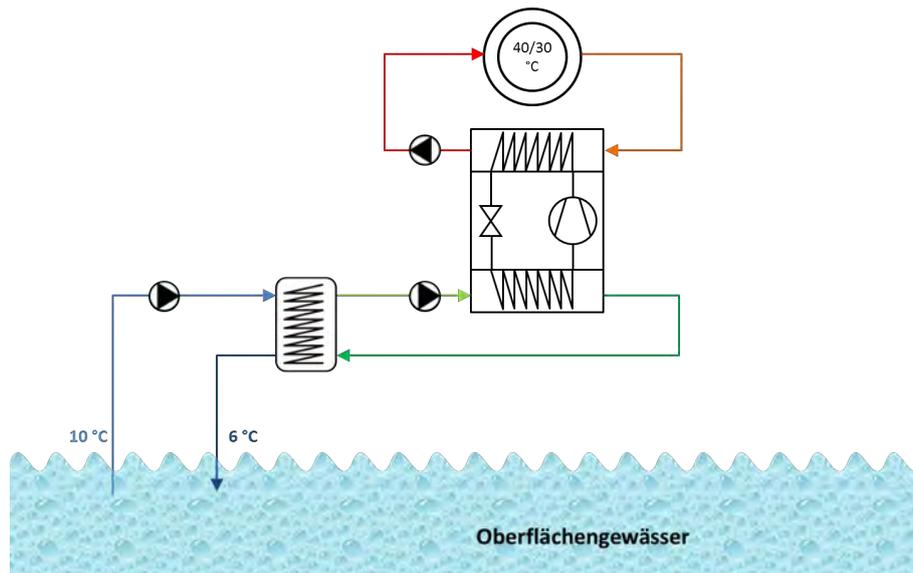


Abb.22: Indirekte thermische Nutzung von Oberflächenwasser

Um das Gewässer auf eine andere Art zu schützen oder auch als Puffer für Zeiten von geringerem Abfluss des Gewässers kann es erforderlich sein, ein sogenanntes Vorhalte- oder Staubecken zu erstellen (Abb. 23). Hier kann die Nutzung ebenfalls direkt oder indirekt erfolgen. Auch hierbei sind zwei Umwälzpumpen auf der Quellenseite der Wärmepumpe notwendig.

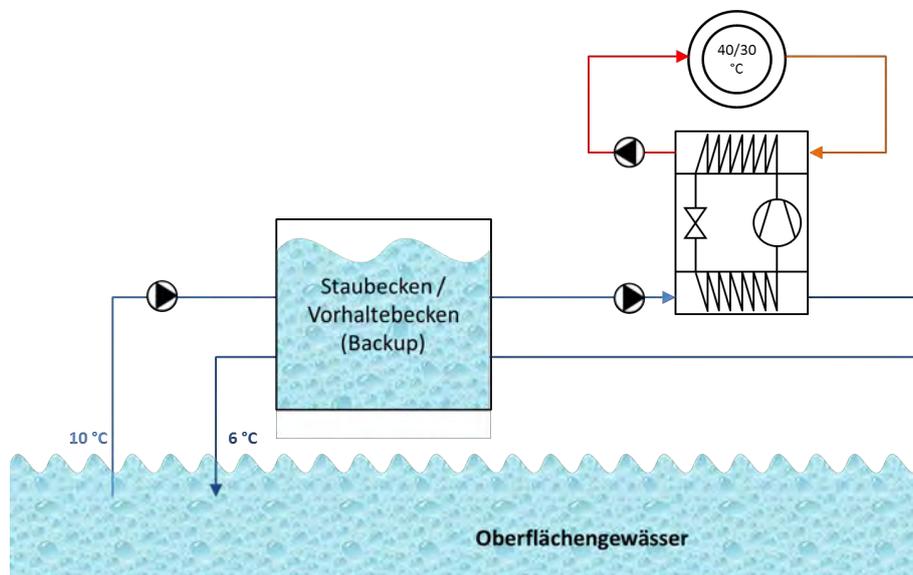


Abb. 23: Thermische Oberflächenwassernutzung mit Vorhaltebecken

Zur Auslegung eines solchen Oberflächenwasser-Wärmepumpensystems und zur Ermittlung der minimalen gesicherten Leistungsfähigkeit sind die Wassertemperaturen als auch die Schüttungen (Abflussmengen) des zu nutzenden Gewässers von Bedeutung. Wichtig ist vor allem die minimale Fließrate des Gewässers, der sogenannte Niedrigwasserabfluss-

Kennwert in Trockenperioden (MNQ). Für größere Gerinne und für bestimmte Punkte (Pegel) werden Abflusswerte kontinuierlich aufgezeichnet und ausgewertet (siehe hierzu [ABW07]).

Der Abfluss V_B gibt an, wie viel Wasser (in m³/s) an einem Punkt im Gewässer abfließt. Es ist jedoch in der Regel viel zu aufwändig, ihn kontinuierlich direkt zu messen. Stattdessen wird der Wasserstand h_W gemessen. Dies geschieht an definierten Punkten im Gewässer. Um aus dem Wasserstand den Abfluss zu bestimmen, müssen für unterschiedliche Wasserstände Abflussmessungen vorgenommen werden. Dazu wird an einer Stelle des Gewässers, an welcher die durchströmte Querschnittsfläche A_B bekannt ist und im optimalen Fall mit der Füllstandshöhe h_W des Wassers linear zunimmt, das Strömungsgeschwindigkeitsprofil erfasst und daraus die mittlere Strömungsgeschwindigkeit $v_{B,MW}$ bestimmt (Abb. 24). Damit lässt sich durch Multiplikation der Werte der Volumenstrom V_B (Schüttung/Abfluss) bestimmen:

$$\dot{V}_B = b_B \cdot h_W \cdot v_{B,MW} = A_B \cdot v_{B,MW} \quad (3)$$

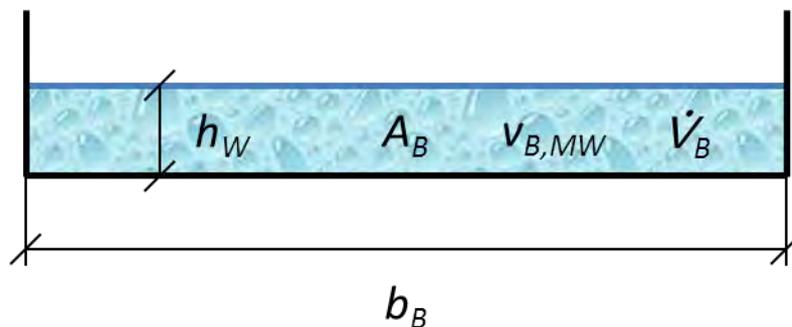


Abb. 24: Bezeichnungen einer vom Bach durchströmten Querschnittsfläche

Zusammen mit dem aktuellen Wasserstand ergibt sich das Wertepaar (h_W, V_B) . Liegen mehrere dieser Wertepaare vor, so kann eine Abflusskurve erstellt werden, welche die Beziehung zwischen Abfluss und Wasserstand festlegt (Abb. 25). Mit Vorliegen der Abflusskurve ist es ausreichend, die Wasserstandshöhen zu ermitteln, um den Abfluss bestimmen zu können.

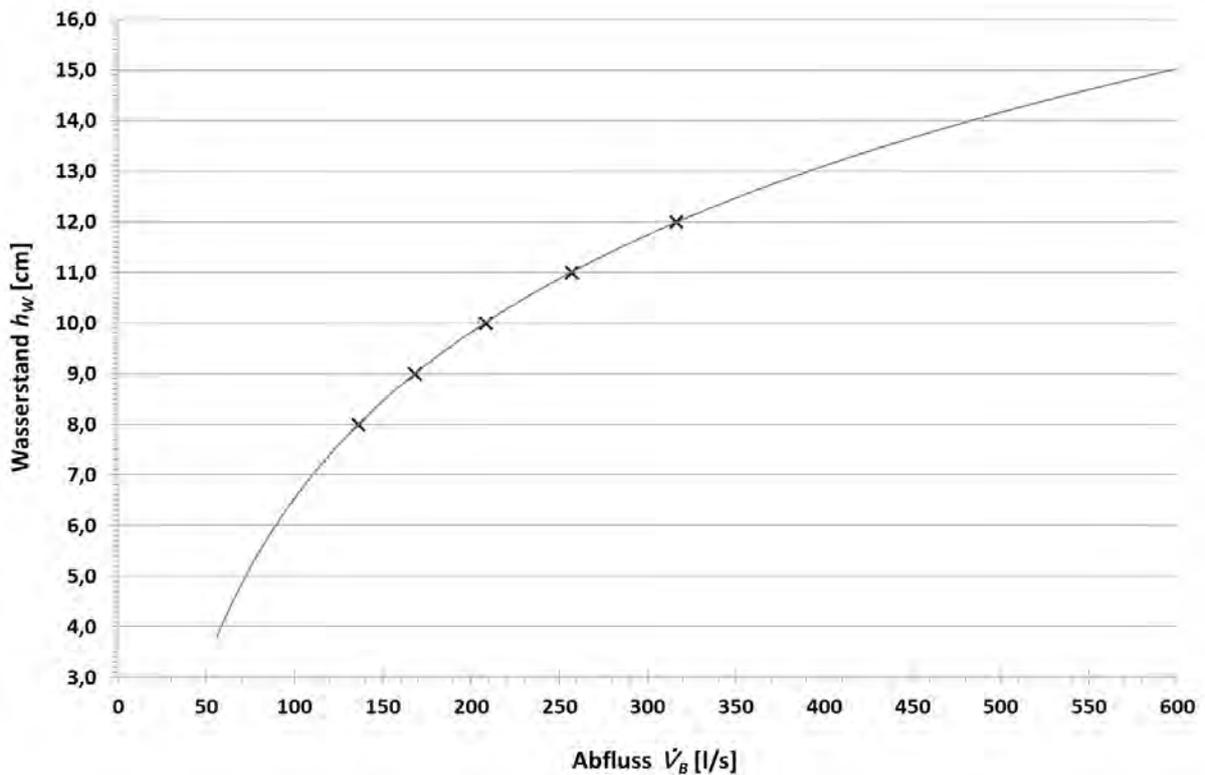


Abb. 25: Beispielhafte Abflusskurve, erstellt aus ermittelten Wertepaaren für h_W und \dot{V}_B

II.1.4.2 Projektspezifische Grundlagenermittlung



Abb. 26: Altstadtbereich von Biberach (links: Geoinformationssystem, <http://www.gis-biberach.de/>; rechts: Google Maps, <https://www.google.de/maps/preview>)

In Abb. 26 sind Lage und Größe des Altstadtbereichs von Biberach abgebildet. In der linken Grafik deutet der hellgrau hinterlegte Kartenausschnitt auf das zu betrachtende Gebiet hin. Dieses ist relativ ebenerdig ohne nennenswerte Erhebungen und Senken, ausgenommen ein kleinerer Teil (Weberberg) am Fuße des Gigelbergs am westlichen Rand des Gebietes.

II.1.4.2a Erdwärmesonden, -kollektoren und -körbe

Einige der eingangs erwähnten oberflächennahen Geothermiesysteme können für eine umfangreiche Nutzung zur Wärmeversorgung des Altstadtquartiers in Biberach ausgeschlossen werden. Darunter fällt die Versorgung über Erdwärmesonden. Im gesamten Stadtgebiet gilt inzwischen eine grundsätzliche Tiefenbeschränkung von 8 m bis 11 m für oberflächennahe geothermische Bohrungen zum Zwecke des Schutzes tieferer nutzbarer Grundwasservorkommen zur langfristigen Sicherstellung der Trinkwasserversorgung [ISONG]. Bei derart geringen Bohrtiefen kann mit Erdwärmesonden nur wenig Energie gewonnen werden. Es müssten sehr viele Sonden niedergebracht werden, wozu allerdings im Altstadtbereich nicht genügend Platz vorhanden ist. Weiterhin darf aus Gründen des archäologischen Denkmalschutzes nicht überall gebohrt werden. Im Stadtgebiet vorhandene tiefere Erdwärmesonden sind entweder noch vor In-Kraft-Treten dieser Regelung niedergebracht worden bzw. waren in einer Übergangszeit mit zusätzlichen technischen Auflagen (Sperrverrohrung) genehmigungsfähig.

Erdwärmekollektoren können aufgrund ihres hohen Flächenbedarfes sowie der Einschränkung bei Grabungen wegen des archäologischen Denkmalschutzes im Altstadtbereich zur Wärmeversorgung in größerem Umfang ebenfalls ausgeschlossen werden. Der Einsatz dürfte daher auf Einzelfälle beschränkt bleiben.

Ähnliches gilt für Erdwärmekörbe, die eine Unterart von Erdwärmekollektoren darstellen. Bei diesen Systemen ist der flächenspezifische Platzbedarf geometriebedingt nicht so groß wie bei Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden, außerdem besitzen die Körbe wegen des hohen Grundwasserspiegels im Stadtkern ein hohes Leistungs- und Energiepotenzial. Dem spricht allerdings auch die Einschränkung bei Grabungen (archäologischer Denkmalschutz) entgegen, weshalb auch diese Systeme nur für einzelne Gebäude interessant sein dürften.

II.1.4.2b Thermische Nutzung von Oberflächenwasser

Durch das Altstadtgebiet von Biberach fließen mehrere Bäche (oberer und unterer Stadtbach, Ratzengraben, Riß) die teils ober-, teils unterirdisch durch den Stadtkern bzw. am Rand des Altstadtgebietes entlang verlaufen (Abb. 27). Diese eignen sich aufgrund des relativ zentralen Verlaufs prinzipiell an einer Vielzahl von Stellen als Quelle für Wasser/Wasser-Wärmepumpenanlagen (WW-WP) zur Beheizung bzw. zur Gebäudekühlung. Auch als Quelle für eine Heizzentrale mit Wärmepumpe und ein den Stadtkern versorgendes Nahwärmenetz mit entsprechend niedriger Temperatur oder Rücklaufanhebung sind die Bäche denkbar.

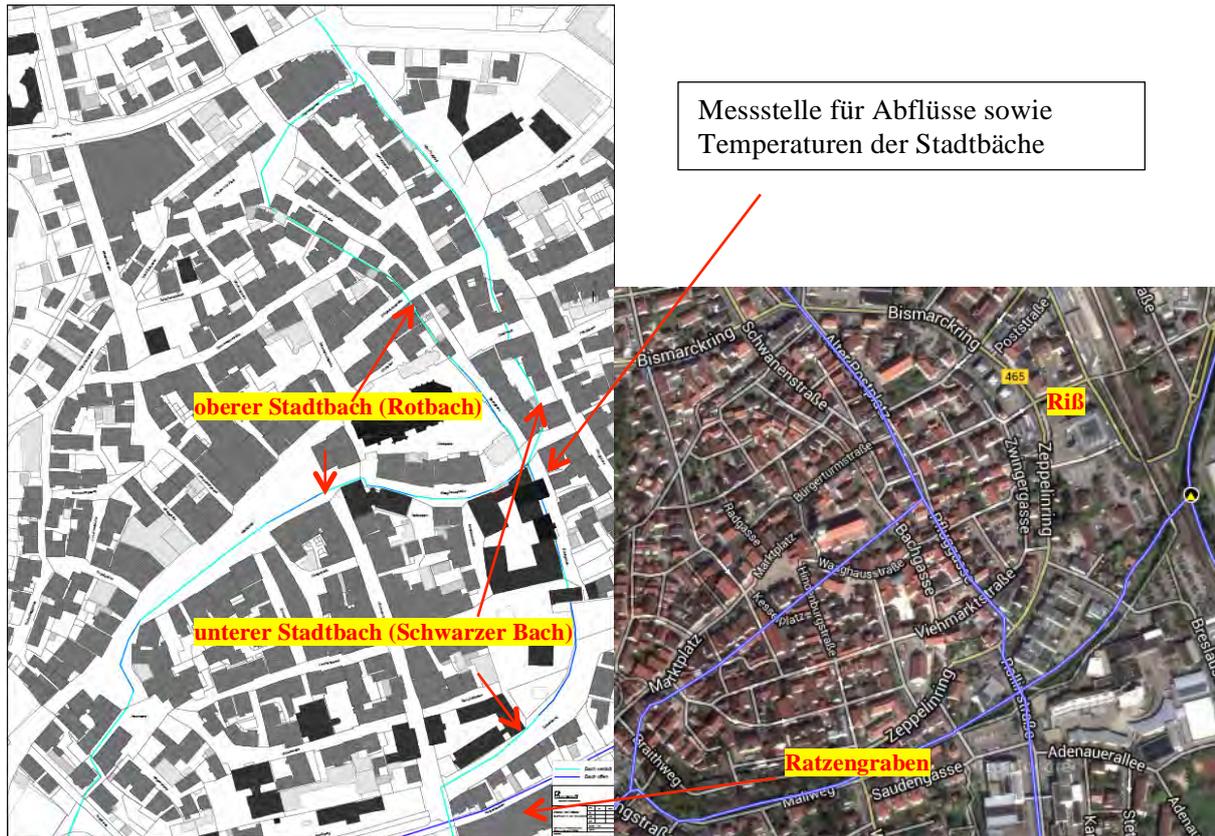


Abb. 27: Verlauf des oberen und unteren Stadtbachs durch das Altstadtquartier (links: detailliert) sowie des Ratzengrabens und der Riß an dessen Rändern (rechts: www.bw-abfluss.de)

Grenzen bzw. Beschränkungen bei der Nutzung von Oberflächengewässern als Wärmequellen bzw. -senken sind die in Tab. 11 aufgeführten Parameter, die aus rechtlichen Rahmenbedingungen stammen. Bisher existiert lediglich eine Europäische Richtlinie über die Qualität von Süßwasser, das schutz- und verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten, in welcher eine thermische Nutzung von Oberflächenwasser geregelt ist. Unserem Kenntnisstand nach wurde diese Richtlinie jedoch noch nicht in nationales Recht umgesetzt. Da die gesetzliche Lage in Deutschland zur thermischen Nutzung von Oberflächengewässern noch nicht eindeutig ist [Schw12], werden in Tab. 11 in Ergänzung zu den Parametern der EU-Richtlinie die gesetzlichen Rahmenbedingungen zur thermischen Nutzung von Oberflächengewässern der Schweiz als Orientierung mit aufgeführt.

Tab. 11: Rechtliche Rahmenbedingungen zur thermischen Nutzung von Oberflächengewässern

Richtlinie 2006/44/EG - Richtlinie über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten [0644EG]				
		Salmonidengewässer	Cyprinidengewässer	
Abwärme einleiten	Temperaturdifferenzgrenze	≤ 1,5 K	≤ 3K	zur unbeeinträchtigten Temperatur; unterhalb der Einleitstelle (Grenze zur Mischzone)
	Temperaturgrenze	≤ 21,5 °C	≤ 28 °C	unterhalb der Einleitstelle (Grenze zur Mischzone)
		≤ 10°C	≤ 10 °C	unterhalb der Einleitstelle (Grenze zur Mischzone); gilt während der Laichzeit von Kaltwasserlaichern sowie für diese geeignete Gewässer
Gewässerschutzverordnung Schweiz (GSchV) vom 1. Januar 2014 [GSchV]				

Temperaturdifferenzgrenze	Salmonidengewässer	Cyprinidengewässer	gegenüber dem unbeeinflussten Zustand; nach weitgehender Durchmischung
	± 1,5 K	± 3 K	
Temperaturgrenze	≤ 25 °C		nach weitgehender Durchmischung
	≤ 30 °C		Temperatur des Kühlwassers bei Durchlaufkühlung

II.1.4.2c Thermische Nutzung von Grundwasser

Der Grundwasserspiegel ist mit maximal ca. 2,5 m unter Geländeoberkante (uGOK) im gesamten Gebiet relativ hoch gelegen und eignet sich daher ebenfalls als Quelle für WW-WP. Biberach verfügt bereits über ein gut ausgebautes Netz an Pegeln zum Messen des Grundwasserspiegels sowie der Grundwassertemperatur, zudem sind bereits einige Grundwasserwärmepumpenanlagen im Stadtbereich in Betrieb (Abb. 28).

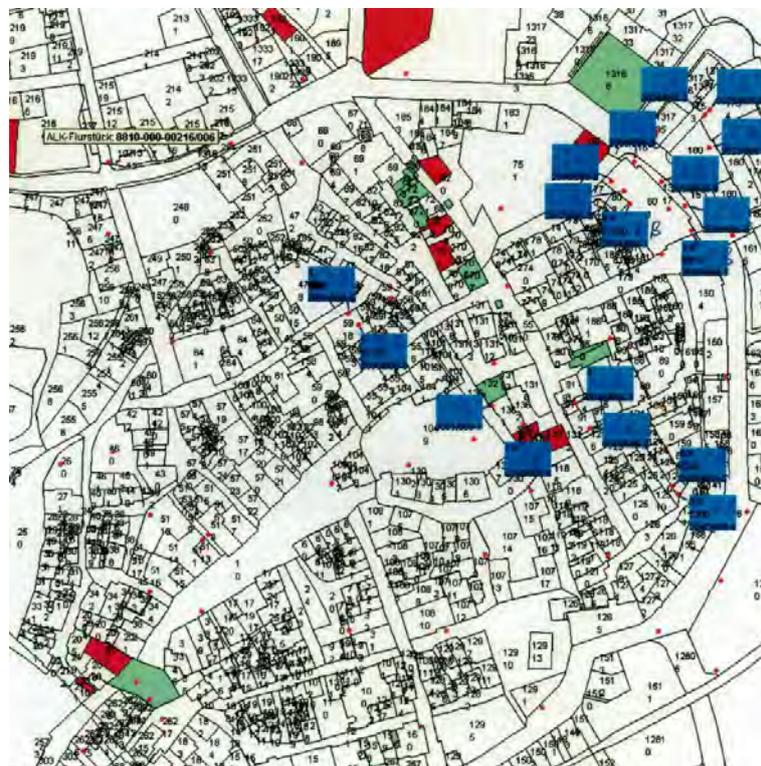


Abb. 28: Lage der Pegel, Saug- und Schluckbrunnen (rote Punkte) von WW-WP im Altstadtquartier von Biberach (Quelle: Herr Egger – Landratsamt Biberach)

In Tab. 12 sind die Rahmenbedingungen in Baden-Württemberg zur thermischen Nutzung von Grundwasser aufgeführt. Bei der Errichtung der Brunnenanlagen gelten eventuell Einschränkungen bezüglich des archäologischen Denkmalschutzes als auch durch vorhandene potentielle Altlasten, die bei der erforderlichen Rückgabe des Grundwassers in den Untergrund zum Tragen kommen und zu Auflagen für den Betreiber führen.

Tab. 12: Rahmenbedingungen in Baden-Württemberg zur thermischen Nutzung von Grundwasser

VDI Richtlinie 4640 – Thermische Nutzung des Untergrunds [VDI46401] und [VDI46402] Leitfaden Grundwasserwärmepumpen Baden-Württemberg [LGWPBW]		
Temperaturdifferenzgrenze	± 6 K	gegenüber der ungestörten Grundwassertemperatur [VDI46402] von 09/2001 und [LGWPBW] von 04/2009
Temperaturgrenze	≥ 5 °C	Mindesttemperatur des einzuleitenden Wassers [VDI46401] von 06/2010 und

		[LGWPBW] von 04/2009
	≤ 20 °C	Höchsttemperatur des einzuleitenden Wassers [VDI46401] von 06/2010 und [LGWPBW] von 04/2009

II.1.4.2d Thermische Nutzung von Trinkwasser

Am Rande des Altstadtquartiers, auf dem Lindenberg, befindet sich der Trinkwasser-Hochbehälter Lindele, der von der e.wa riss GmbH und Co. KG betrieben wird. Dieser versorgt, zusammen mit dem weiter entfernt liegenden Hochwasserbehälter auf dem Jordanberg, die Stadt Biberach mit Trinkwasser.

Ausgeführte Pilotanlagen z. B. der Fa. Max Weishaupt GmbH aus Schwendi zeigen, dass es möglich ist, dem Trinkwasser mittels Wärmepumpen eine gewisse Wärmemenge zu entziehen ohne an der Qualität und Sicherheit der Trinkwasserversorgung Abstriche machen zu müssen. Z. B. wird ein Betriebsgebäude des Wasserverbands Kinzig in Hessen von Wärmepumpen beheizt, deren Wärmequelle die in diesem Gebäude betriebene Trinkwasserfassung ist. Das geringfügig abgekühlte Trinkwasser wird im weiteren Verlauf der Leitung durch die Bodenwärme wieder auf Normaltemperatur gebracht [KÖN13].

Aufgrund der großen Entfernung des Hochbehälters Jordanberg vom Altstadtquartier würde eine thermische Trinkwassernutzung für die Altstadt nur am Trinkwasserbehälter Lindele in Frage kommen. Gemäß Angaben der e.wa riss betrug der Summenabfluss des Trinkwasserbehälters Lindele 2012 ca. 1.310.000 m³ Trinkwasser. In Abb. 29 ist der Verlauf der Wassertemperatur am Auslauf Lindele über das Jahr 2012 dargestellt. Die minimale Auslauftemperatur beträgt demnach 9,5 °C. Zudem sind in der Grafik Stichproben-Messwerte der Wassertemperaturen an Hauswasseranschlüssen in der Altstadt dargestellt. Es ist kein direkter Zusammenhang zwischen den Auslauftemperaturen am Lindele sowie den Trinkwassereintrittstemperaturen an den Hausanschlüssen zu erkennen. An vielen Hausanschlussstellen liegen offenbar verhältnismäßig hohe Kaltwassertemperaturen vor. Gemäß Aussage der e.wa riss würde eine thermische Nutzung des Trinkwassers und damit dessen Auskühlung um bis zu 4 K generell der Hygiene des Wassers zu Gute kommen. Je niedriger die Temperatur des Trinkwassers ist, umso geringer fallen die Anzahl und das Wachstum von Keimen und Bakterien aus.

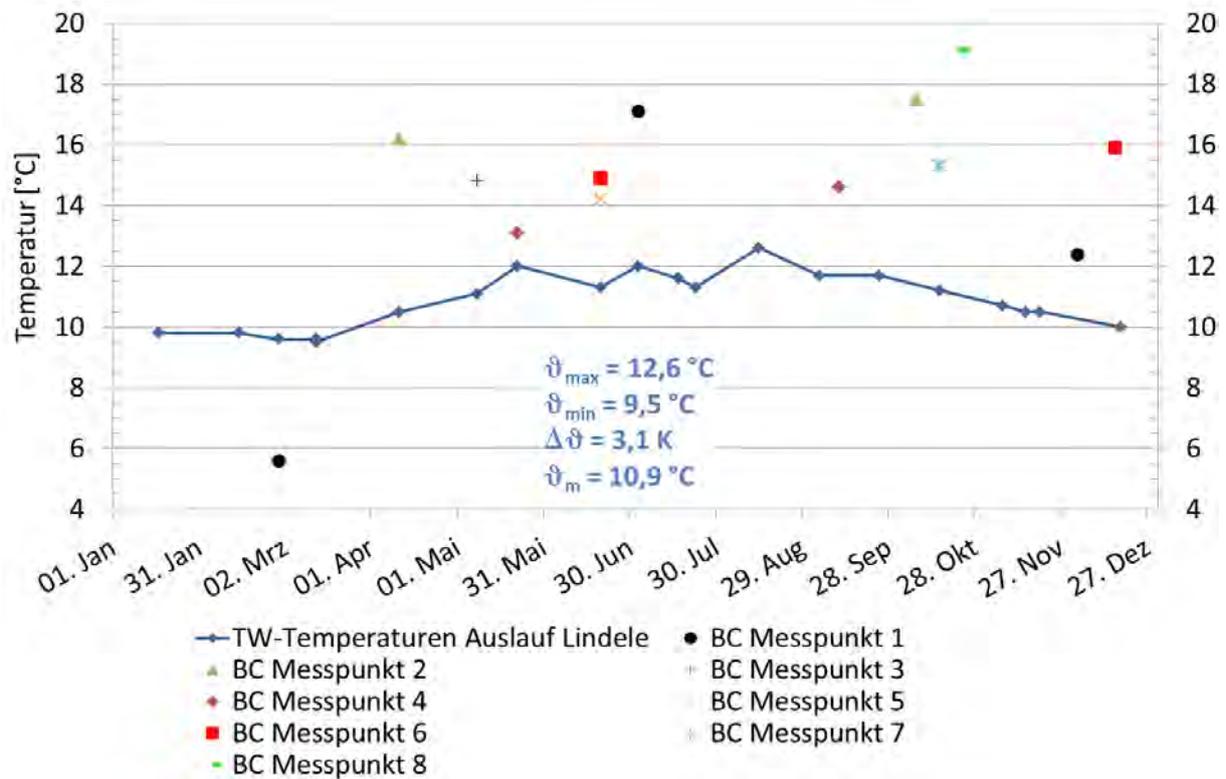


Abb. 29: Jahresverlauf der Wassertemperaturen am Auslauf Trinkwasserbehälter Lindele sowie einzelne Temperaturmesswerte an Hausanschlüssen in der Altstadt (Quelle: e.wa riss)

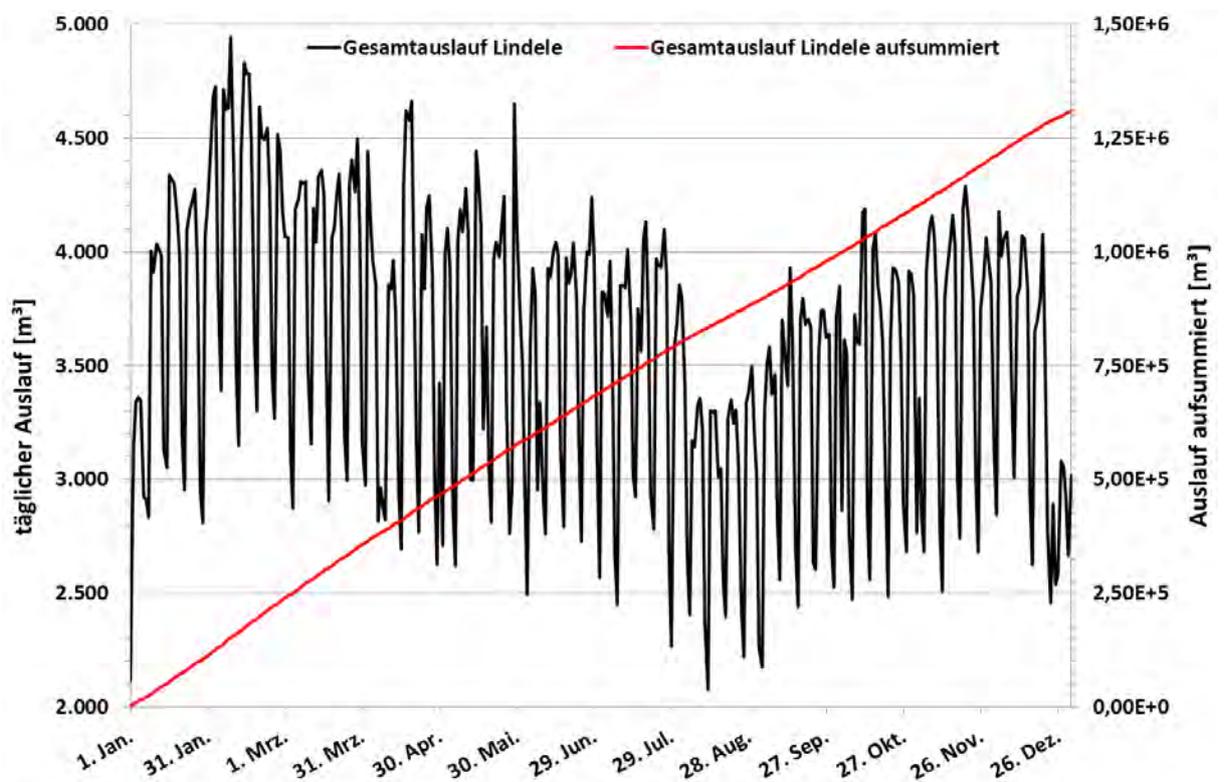


Abb. 30: Täglicher sowie aufsummierter Gesamtauslauf am Trinkwasserbehälter Lindele (Quelle: e.wa riss)

II.1.4.2e Randbedingungen für die Potenzialermittlung

In Tab. 13: sind sämtliche Auslegungskennwerte und Parameter, die zur Abschätzung des geothermischen und sonstigen energetischen Potenzials des Untergrundes für das Altstadtgebiet erhoben wurden, zusammengefasst.

Tab. 13: Ermittelte Kennwerte des Altstadtgebietes Biberach

Parameter	Wert	Quelle/Anmerkung
Höhenlage Biberach (Rathaus)	533 m ü NN	Biberach in Zahlen
Fläche Altstadtbereich Biberach	279.000 m ²	Geoinformationssystem Stadt Biberach, www.gis-biberach.de
Wärmebedarf (HZ + TWW) Altstadtbereich Biberach (HH + GHD + öG)	~ 33.000 MWh/a	Grobschätzung IGE HBC
geothermische Wärmestromdichte	0,08 W/m ²	Wert für Ulm gemäß [EED]
Niederschlagsmenge Biberach	870 mm/m ² /a	Mittelwert gemäß Prof. Nuding (Hochschule Biberach)
Schüttung oberer Stadtbach Biberach (Teil des Rotbachs)	15 l/s	minimaler Messwert im Zeitraum 01.08.2013 – 27.11.2013
Schüttung unterer Stadtbach Biberach (Schwarzer Bach)	32 l/s	minimaler Messwert im Zeitraum 01.08.2013 – 27.11.2013
Schüttung Rotbach / Ratzengraben an Mündung in Riß	345 l/s	mittlere Niedrigwassermenge gemäß LUBW (Stand 03/2007)
Schüttung Riß vor Mündung Rotbach / Ratzengraben	1.461 l/s	mittlere Niedrigwassermenge gemäß LUBW (Stand 03/2007)
Temperaturen Stadtbäche Biberach (unterer + oberer)	ca. 4 – 11 °C	Messwerte im Zeitraum 29.10.2013 – 05.03.2014 (sehr milder Winter, weitere Messreihe erforderlich)
Grundwasserpegelstand + Schwankung Altstadtbereich Biberach	1,5 – 2,5 m u. GOK Schwankung 0,4 m	Angabe gemäß Herr Falk (Stadt Biberach)
Trinkwasserverbrauchsfluss Hochbehälter Lindele Biberach (Reinwasser)	1.309.953 m ³ /a	e.wa riss GmbH (2012)
Trinkwasserzufluss Wolfental Hochbehälter Lindele Biberach (Rohwasser)	880.750 m ³ /a	e.wa riss GmbH (2012)
Trinkwasserverbrauchsfluss Altstadtgebiet Biberach	135.432 m ³ /a	e.wa riss GmbH (2012)
Temperaturverlauf Auslauf Hochbehälter Lindele Biberach	9,5 – 12,6 °C	e.wa riss GmbH (2012)
mitteltiefe Geothermie: Lage Nutzhorizont Oberjura Aquifer	~ 600 m u. GOK	[GeotIS] / GeoTool [RPF13]
mitteltiefe Geothermie: Temperatur Nutzhorizont Oberjura Aquifer	~ 40 °C	[GeotIS] / GeoTool [RPF13]
tiefe Geothermie: Lage Nutzhorizont Muschelkalk Aquifer	~ 1500 m u. GOK	[GeotIS] / GeoTool [RPF13]
tiefe Geothermie: Temperatur Nutzhorizont Muschelkalk Aquifer	~ 70 °C	[GeotIS] / GeoTool [RPF13]

Die Ermittlung der Schüttungen/Fließraten sowie die Temperaturverläufe des oberen und des unteren Stadtbaches erfolgten durch gemeinsame Messungen der Institute für Gebäude- und Energiesysteme sowie für Geo und Umwelt der Hochschule Biberach) im Rahmen dieses Vorhabens im Zeitraum von 01.08.2013 bis 05.03.2014. Weiterhin wurden im Rahmen dieses Vorhabens Messreihen zur Ermittlung der Fließwassertemperaturen im oberen und im unteren Stadtbach durchgeführt, die aufgrund des sehr milden Winters allerdings noch ergänzt werden sollten.

II.1.5 Grundlagen im Einzelnen im Bereich Mobilität

Für die Modellierung der mobilitätsbedingten CO₂-Emissionen wurden die bundesweit vorhandenen Daten zur Mobilität als Basis verwendet und darauf aufbauend in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit lokaler Daten die Präzisierung für den Modellfall ermittelt.

Hierzu erfolgte eine Betrachtung regionalspezifischer Mobilitätskenngrößen aus den deutschlandweiten Mobilitätsbefragungen [MiD]. Die daraus abgeleiteten CO₂-Emissionen dienen sowohl als Kontrollwert für die aus den Haushaltsbefragungen berechneten CO₂-Emissionen als auch als Erwartungswert bei fehlenden ortsbezogenen Daten.

Des Weiteren erfolgte die Aufnahme und Analyse der in Biberach verfügbaren Daten auf der Grundlage der durchgeführten Haushaltsbefragungen. Grundsätzlich ergeben sich aus den verfügbaren Daten drei Möglichkeiten, CO₂-Emissionen aus den Mobilitätsdaten zu bestimmen: Auf Basis lokaler Haushaltsbefragungen (Datengüte A), auf Basis regionaler Kennwerte aus den deutschlandweiten Erhebungen (Datengüte C) sowie als Kombination beider (Datengüte B).

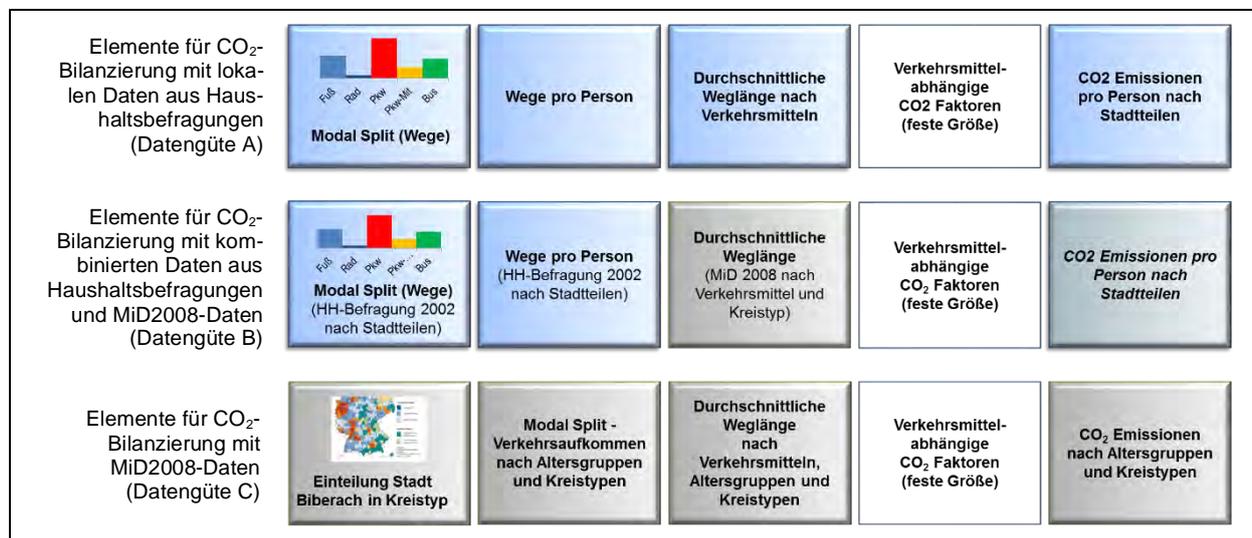


Abb. 31: Schematische Darstellung der Komponenten zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen (blau=Daten Haushaltsbefragungen; grau=regionale Durchschnittswerte; weiß=Kraftstoffabhängige CO₂-Emissionsfaktoren)

Für die Ermittlung der CO₂-Emissionen ist zunächst eine räumliche Abgrenzung notwendig. Zur räumlichen Bilanzierung von Emissionen können das Territorialprinzip oder das Verursacherprinzip angewendet werden. Bei Anwendung des Territorialprinzips werden Emissionen bilanziert, die im gesamten Betrachtungsraum erzeugt werden. Hierzu gehören Binnenverkehre sowie Anteile aus den Quell-, Ziel-, und Durchgangsverkehren. Das Verursacherprin-

zip bilanziert dagegen ausschließlich die Emissionen, welche die Bewohner des Untersuchungsgebiets emittieren. Hierbei wird die komplette Wegeketten betrachtet, d. h. auch außerhalb des Untersuchungsraums erzeugte Emissionen fließen in die bilanzierte Größe mit ein.

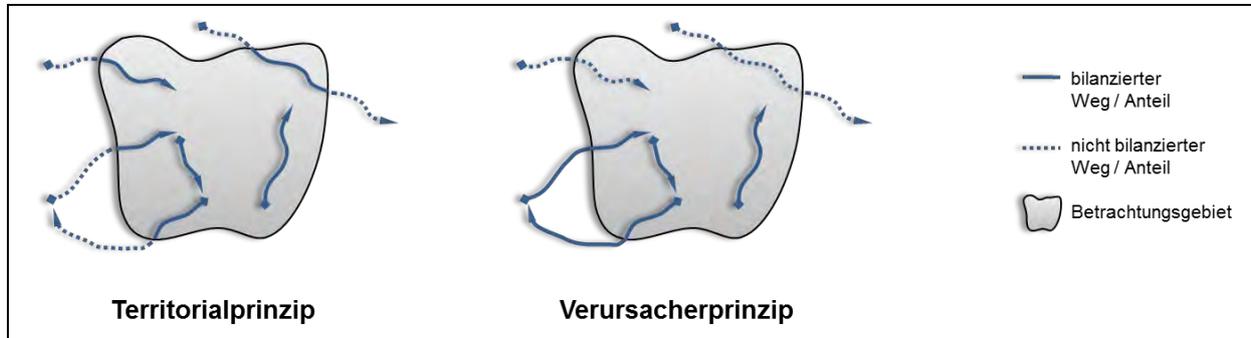


Abb. 32: Schematische Darstellung der Bilanzierungsgrößen nach dem Territorial- und Verursacherprinzip

Für die Altstadt Biberachs kommt aufgrund der kleinräumigen Dimensionen nur das Verursacherprinzip in Frage. Eine Betrachtung nach dem Territorialprinzip ist anhand vorhandener Daten weder möglich noch zielführend. Verkehrsplanerische Maßnahmen, wie z.B. ein Einfahrverbot in die Altstadt, würden ein hohes CO₂-Einsparpotenzial suggerieren, jedoch lediglich eine Verlagerung der CO₂-Emissionen erwirken.

Zusätzlich zu den von Bewohnern ausgehenden CO₂-Emissionen werden auch die darüber hinausgehenden Quell- und Zielverkehre der Altstadt bilanziert. Die Altstadt hat aufgrund ihrer Aufenthaltsqualität einen hohen Anziehungsgrad. Die Bilanzierung erfolgt auf Basis der aus den Haushaltsbefragungen erstellten Quell- und Zielverkehrsmatrizen. Betrachtet werden hierbei alle Wege (Hin- und Rückweg) mit dem Ziel Altstadt.

Um eine vergleichbare Bilanzierungsgröße auf Basis der [MiD] zu generieren, wurde die betrachtete Region anhand der vom [BBSR] geführten Raumkategorien klassifiziert. Die Stadt Biberach wird bei den Stadt- und Gemeindetypen als kleinere Mittelstadt gelistet, während der Landkreis Biberach bei den Kreistypen als ländlicher Kreis in verstädterten Räumen zugeordnet wird.

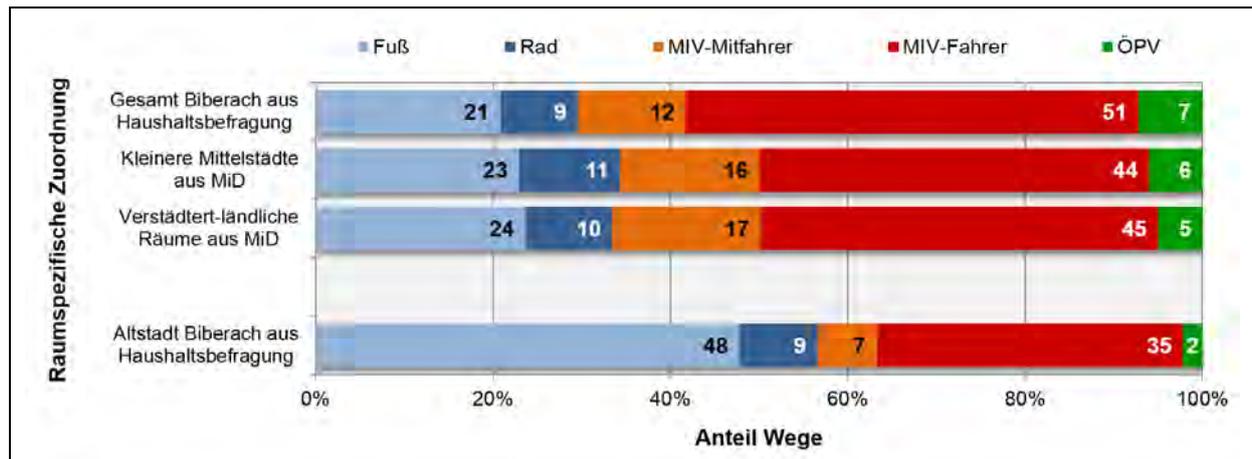


Abb. 33: Vergleich Modal Split der Stadt Biberach, der Altstadt sowie vergleichbaren Raumkategorien (Ergebnisse Verkehrserhebungen Biberach 2002, [MiD])

Die in Biberach erhobenen Daten zur Verkehrsmittelwahl spiegeln im Großteil die regionalen Daten der [MiD] wider. Geringfügige Abweichungen gibt es sowohl bei dem Anteil der Pkw-Fahrer als auch bei den Pkw-Mitfahrern. Dagegen weicht der Modal Split der Altstadt erheblich von dem der gesamten Biberacher Stadt ab. Nahezu die Hälfte aller Wege wird von den Altstadtbewohnern zu Fuß zurückgelegt. Durch diesen hohen Anteil an Fußwegen werden vor allem Pkw-Fahrten kompensiert. Begründet werden diese Weganteile durch die kompakten Strukturen der historisch gewachsenen Altstadt. Innerhalb dieses Kerngebietes von Biberach ist das zu Fuß gehen am effektivsten. Frühere Planungsgrundsätze mittelalterlichen Städtebaus und das damals zur Verfügung stehende Mobilitätszeitbudget spiegeln dieses Bild wieder. Aus verkehrsplanerischer Sicht weist das Mobilitätsverhalten der Altstadtbewohner somit keine Besonderheit in Bezug auf die historische Kulisse auf sondern ist vielmehr auf die zentrale Lage des Stadtteils sowie die innenstadtvergleichbaren Angebote zurückzuführen. Vergleichbare Modal-Splits wurden in mehreren Untersuchungen nachgewiesen [STü08].

Für einen Bewohner der Stadt Biberach wurden CO₂-Emissionen in einer Höhe von 2,5 Tonnen pro Jahr ermittelt. Diese gehen aus einer Kombination lokaler und regionaler Kennwerte hervor (Datengüte B). Die Berechnung der Emissionen wurden mit regionalen [MiD] Daten vervollständigt, da keine Daten zur spezifischen Verkehrsleistung der Altstadt Biberachs vorliegen.

Für vergleichbare kleinere Mittelstädte wurde ein durchschnittliches CO₂-Emissionsvolumen in einer Höhe von 2,3 Tonnen pro Jahr errechnet, für vergleichbare Landkreise beträgt dieser Wert 2,6 Tonnen pro Jahr.

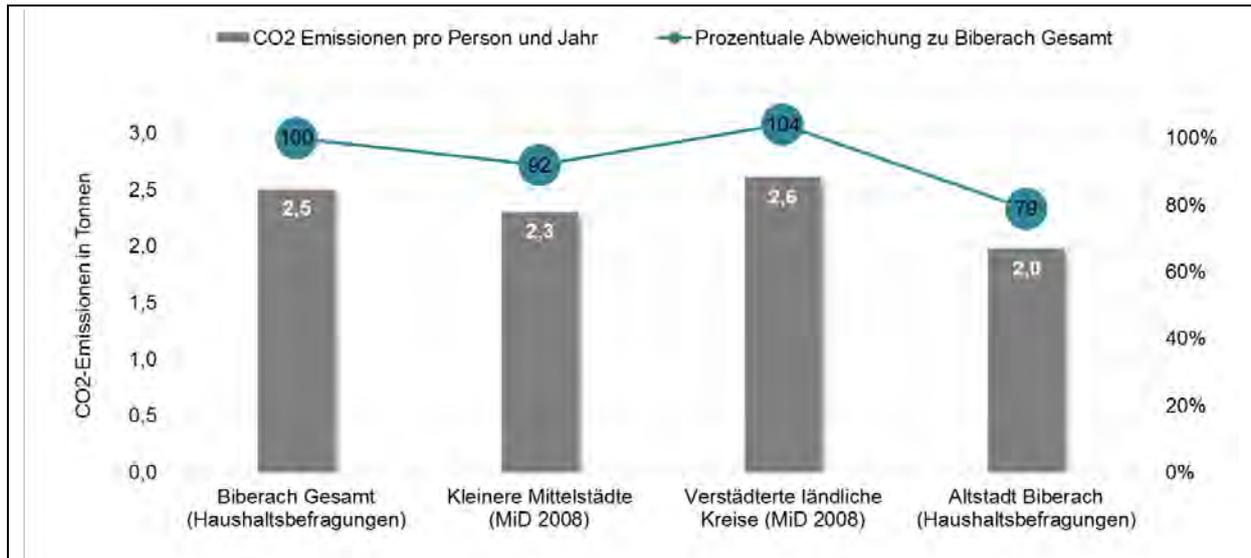


Abb. 34: Darstellung der ermittelten CO₂-Emissionen für Biberach und vergleichbarer Regionstypen

Entsprechend dem hohen Anteil der Fußgängerwege, welcher bei der Analyse der Verkehrsmittelwahl identifiziert werden konnte, fallen die CO₂-Emissionen der Altstadtbewohner niedriger aus als die der Gesamtstadt. Jährlich werden durchschnittlich 2,0 Tonnen pro Kopf emittiert. Vergleichsweise verursacht die Bewohner im gesamten Stadtbereich somit 21 % mehr CO₂-Emissionen als die Bewohner der Altstadt. In Summe verursachen diese 3.634 Tonnen CO₂.

Für die altstadtbezogenen Zielverkehre wurden CO₂-Emissionen in einer Höhe von 2.075 Tonnen pro Jahr bilanziert. Damit werden 36 % aller der Altstadt zurechenbaren Emissionen durch Besucherverkehre erzeugt.

In sämtlichen Ergebnissen ist ein pauschaler Anteil an wirtschaftlicher Verkehrsleistung, der aus den [KiD] Daten ermittelt wurde, inbegriffen [KiD]. Dieser Anteil berechnet sich aus dem Verhältnis von wirtschaftlicher zu privater Verkehrsleistung und beträgt 37,9 % [BMVBS13].

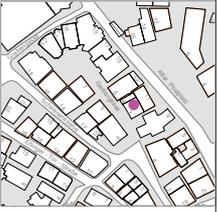
Die im Antrag formulierte Methode der interdisziplinären Zusammenarbeit wurde erfolgreich praktiziert. Regelmäßige Treffen dienten dem Informationsaustausch und gemeinsamen Weiterentwicklung der Inhalte.

II.1.6 Potenziale im Bereich Städtebau

Ziel im Antrag war zu prüfen, in wie weit die energetische Sanierung an Gebäuden und Gebäudeensembles, die aus Gründen des Denkmalschutzes eingeschränkt oder ausgeschlossen ist, durch andere Handlungsfelder ergänzt oder kompensiert werden kann. Zu diesem Zweck wurden im Bereich Städtebau für die Themenfelder Gebäude und Ensembles, Winkel und Höfe sowie Straßen und Plätze wesensbestimmende Merkmale definiert, nach denen sich der Altstadtbestand in Kategorien beschreiben lässt. Diese Merkmale halten im Bereich der Gebäude und Ensembles u.a. Alter und Stadtbildrelevanz eines Gebäudetyps fest, kategorisieren ihn aber auch hinsichtlich energetischer Ertüchtigungsoptionen (Steckbriefe).

Die Steckbriefe wurden nach 6 Typengruppen unterteilt: A: Denkmale mit Fachwerk/ Mauerwerk sichtbar, B: Denkmale verputzt, C: stadtbildprägende Gebäude mit Fachwerk/ Mauerwerk sichtbar, D: stadtbildprägende Gebäude verputzt, E: alle übrigen Gebäude erbaut vor 1945, F: alle Gebäude erbaut nach 1945. In diesen Typologien ist die Eignung für eine Sanierung vorbestimmt: Gebäude mit sichtbarem Fachwerk/ Mauerwerk können nicht mit standardisierten Maßnahmenpaketen ertüchtigt werden (Außendämmung scheidet aus). Die verputzten Gebäude hingegen kommen, zunächst unabhängig von ihrem Entstehungsalter, für eine solche Sanierung prinzipiell in Betracht. Diese grobe Einteilung wird ergänzt durch 10 Baualtersklassen, die sich in den jüngeren Zeitabschnitten nach den Einteilungen gemäß [TABULA] richtet. Eingeteilt sind folgende Klassen: Mittelalter bis 1859, 1860 bis 1918, 1919 bis 1948, 1949 bis 1957, 1958 bis 1968, 1969 bis 1978, 1979 bis 1987, 1988 bis 1993, 1994 bis 2001, 2002 bis 2008, 2009 bis jetzt (s. auch Abschnitt II.1.3.3a). Die Kombination der Typologien mit den 10 Altersklassen ergibt 60 Kategorien, die in den Steckbriefen über spezifische Attribute näher beschrieben werden. Die Attribute listen u.a. Kubatur, Giebel- oder Traufständigkeit, Anbaugrad, Wandkonstruktion, Anteil der Fensterflächen oder die Dachform und dienen als Basis für das in Abschnitt II.1.3.2 beschriebene Berechnungswerkzeug.

In einem zweiten Schritt wurden den einzelnen Typen Maßnahmenpakete für eine stadtbildverträgliche energetische Ertüchtigung zugewiesen. Exemplarisch werden hier folgende vier Typen dargestellt. Typ A0,: Denkmal mit Fachwerk/ Mauerwerk sichtbar, Entstehungszeit Mittelalter bis 1859. Typ D1: Stadtbildprägendes Gebäude verputzt, Entstehungszeit 1919 bis 1948, Typ E0: Gebäude ohne besondere baukulturelle Relevanz, Entstehungszeit Mittelalter bis 1859. Typ F4: Gebäude mit Entstehungszeit nach 1945, spezifischer Baualtersklasse 1969 bis 1978. In den Maßnahmenpaketen sind Sanierungsmöglichkeiten beschrieben, mit denen der jeweilige Typ energetisch saniert werden kann. Die Pakete enthalten zunächst Aussagen zu Gebäudehülle (Wände und Dach) und Fenstern. Wo sinnvoll geben sie einen Hinweis auf günstige Nutzungen. Aussagen zur Haustechnik setzen weitergehende Untersuchungen voraus und müssen in einem zweiten Schritt ergänzt werden.

Gebäudesteckbrief		GERBERVIERTEL		A 0
Adresse	Typologie	Bj. / San.jahr		
Gerbergasse 2	Denkmal FW/MW sichtbar Mittelalter -1859	1650-1780 / 2009-13		
				
Flurstücksnr.	72			
Grundfläche in m ²	108,63			
Geschosse	III + D			
BGF in m ²	ca. 400			
Traufhöhe in m	7,8			
Firsthöhe in m	13			
Ständigkeit zur Strasse	Ecke, giebelständig			
Anbaugrad	hoch			
Bauart Vorderseite	EG verputzt, OGs Fachwerk sichtbar			
Bauart Rückseite	Anbau			
Keller	kein Keller / evtl. < Tiefe 1m			
Dämmwert Außenwand	U-Wert 2 W/m ² K			
Dämmwert Dach	U-Wert bis 0,45 W/m ² K			
oberste Geschosdecke	-			
Dachform	Satteldach			
Ausrichtung	NW-SO			
Dachaufbauten	Gauben			
Fensterart	Holzfenster			
Fensterfläche	-			
Fensterqualität	U-Wert 2,8 bis 3,4 W/m ² K			
Schaufensterfläche	-			
Nutzung EG	Garage			
Nutzung OGs	Wohnen			
Nutzung Dach	Wohnen			
eCO ₂ centric	Gebäudesteckbrief			

Maßnahmenkatalog		GEBÄUDEBESTAND		A 0
Adresse	Typologie	Baujahr		
	Denkmal FW/MW sichtbar	MA-1859		
				
				
Gebäudehülle	Innendämmung Kapillaraktive Innendämmung 7 cm, λ = 0,06 W/mK	ca. U-Wert 0,4 W/m ² K		
	Kellerdecke Perifeschüttung 8-12 cm, λ = 0,032 W/mK sofern möglich	U-Wert 0,18 bis 0,24 W/m ² K		
Dach	oberste Geschosdecke z.B. Schüttung λ = 0,15 - 0,2 W/mK	U-Wert 0,1 bis 0,12 W/m ² K		
	Dämmung Steildach Wolle oder Einblasdämmung 14cm, λ = 0,035 W/mK sofern möglich	U-Wert 0,1 bis 0,15 W/m ² K		
Fenster / Schaufenster	Erneuerung histor. Fenster o. vglb. Maßnahmen	U-Wert 1,0 bis 1,6 W/m ² K		
	Austausch Schaufenster Dreifach Iso; U=2,8 → 1,1 W/m ² K	U-Wert 0,8 bis 1,1 W/m ² K		
Gebäudetechnik	Heizsystem Anschluß Nahwärme; Effizienzsteigerung	weitere Untersuchung notwendig		
	Wärmwassersystem	weitere Untersuchung notwendig		
ideale Nutzung	Nutzung mit geringen Raumtemperaturen geringer Heizbedarf Nutzung mit hohen inneren Lasten geringer Heizbedarf			

Abb. 35: Steckbrief und Maßnahmen A0

Gebäudesteckbrief		GERBERVIERTEL		D1
Adresse	Typologie	Bj. / San.jahr		
Bürgerturnstrasse 17	stadtbildprägend verputzt 1919-1948	1922 ? / 1935, 1964,1992		
				
Flurstücksnr.	81/6			
Grundfläche in m ²	224,42			
Geschosse	II + 2D			
BGF in m ²	ca. 790			
Traufhöhe in m	7,5			
Firsthöhe in m	14			
Ständigkeit zur Strasse	giebelständig			
Anbaugrad	mittel			
Bauart Vorderseite	MW + FW verputzt			
Bauart Rückseite	Anbau			
Keller	keiner, Teilbereich bis 1m			
Dämmwert Außenwand	U-Wert 0,6 bis 1,0 W/m ² K			
Dämmwert Dach	U-Wert 0,24 bis 0,3 W/m ² K			
oberste Geschosdecke	-			
Dachform	Satteldach			
Ausrichtung	NO-SW			
Dachaufbauten	Gauben			
Fensterart	Holzfenster			
Fensterfläche	-			
Fensterqualität	U-Wert 2,8 bis 3,4 W/m ² K			
Schaufensterfläche	-			
Nutzung EG	Schuhladen, EH			
Nutzung OGs	Einzelhandel			
Nutzung Dach	Wohnen			
eCO ₂ centric	Gebäudesteckbrief			

Maßnahmenkatalog		GEBÄUDEBESTAND		D1
Adresse	Typologie	Baujahr		
	stadtbildprägend verputzt	1919-1948		
				
				
Gebäudehülle	Innendämmung Kapillaraktive Innendämmung 7 cm, λ = 0,06 W/mK	ca. U-Wert 0,4 W/m ² K		
	Außendämmung/ WDVS WDVS oder hinterlüftete Konstruktion Rückseite 15 cm, λ = 0,035 W/mK	U-Wert 0,2 bis 0,4 W/m ² K		
	Kellerdecke Perifeschüttung 8-12 cm, λ = 0,032 W/mK	U-Wert 0,18 bis 0,24 W/m ² K		
Dach	oberste Geschosdecke z.B. Schüttung λ = 0,15 - 0,2 W/mK	U-Wert 0,1 bis 0,12 W/m ² K		
	Dämmung Steildach Wolle oder Einblasdämmung 14cm, λ = 0,035 W/mK sofern möglich	U-Wert 0,1 bis 0,15 W/m ² K		
Fenster / Schaufenster	Erneuerung histor. Fenster o. vglb. Maßnahmen			
	Austausch Fenster Dreifach Iso; U=2,8 → 1,1 W/m ² K	U-Wert 1,0 bis 1,6 W/m ² K		
	Austausch Schaufenster Dreifach Iso; U=2,8 → 1,1 W/m ² K	U-Wert 0,8 bis 1,1 W/m ² K		
Gebäudetechnik	Heizsystem Heizkessel erneuern; Effizienzsteigerung	weitere Untersuchung notwendig		
	Wärmwassersystem Anschluß Nahwärme; Effizienzsteigerung	weitere Untersuchung notwendig		
ideale Nutzung	Nutzung mit geringen Raumtemperaturen geringer Heizbedarf Nutzung mit hohen inneren Lasten geringer Heizbedarf			

Abb. 36: Steckbrief und Maßnahmen D1

Gebäudesteckbrief		GERBERVIERTEL		E 0
Adresse	Typologie	Bj. / San.jahr		
Hindenburgstrasse 9.2	übrige Gebäude vor 1945 MA-1859	1780-1894 / k.A.		
				
Flurstücksnr.	108/7			
Grundfläche in m ²	91,07			
Geschosse	II + D			
BGF in m ²	ca. 240			
Traufhöhe in m	5,9			
Firsthöhe in m	11,5			
Ständigkeit zur Strasse	giebelständig, Ecke			
Anbaugrad	freistehend, gering			
Bauart Vorderseite	FW verputzt			
Bauart Rückseite	FW verputzt			
Keller	keiner, Teilbereich bis 1m			
Dämmwert Außenwand	U-Wert 0,7 bis 1,7 W/m ² K			
Dämmwert Dach	U-Wert 0,24 bis 0,45 W/m ² K			
oberste Geschossdecke	-			
Dachform	Satteldach			
Ausrichtung	O-W			
Dachaufbauten	Gauben			
Fensterart	Holzfenster			
Fensterfläche	-			
Fensterqualität	U-Wert 2,8 bis 3,4 W/m ² K			
Schauensterfläche	-			
Nutzung EG	Wohnen			
Nutzung OGS	Wohnen			
Nutzung Dach	Wohnen			
eCO ₂ centric	Gebäudesteckbrief			

Maßnahmenkatalog	GEBÄUDEBESTAND		E 0
	Adresse	Typologie	
	Hindenburgstrasse 9.2	übrige Gebäude vor 1945	1860-1918
			
			
Gebäudehülle	Innendämmung		U-Wert verbessert
	Außendämmung/ WDVS WDVS oder hinterlüftete Konstruktion Rückseite 15 - 24 cm, λ = 0,035 W/m K		U-Wert 0,2 bis 0,4 W/m ² K
	Kellerdecke Perileschüttung 8-12 cm, λ = 0,032 W/mK		U-Wert 0,18 bis 0,24 W/m ² K
Dach	oberste Geschossdecke z.B. Schüttung λ = 0,15 - 0,2 W/mK		U-Wert 0,1 bis 0,12 W/m ² K
	Dämmung Steildach Wolle oder Einblasdämmung 14 - 30 cm, λ = 0,035 W/mK		U-Wert 0,1 bis 0,12 W/m ² K
	Dämmung Flachdach		
Fenster / Schauenster	Erneuerung histor. Fenster		
	Austausch Fenster Dreifach Iso; U=2,8 → 1,1 W/m ² K		U-Wert 1,0 bis 1,6 W/m ² K
	Austausch Schauenster Dreifach Iso; U=2,8 → 1,1 W/m ² K		U-Wert 0,8 bis 1,1 W/m ² K
Gebäudetechnik	Heizsystem Heizkessel erneuern; Effizienzsteigerung		weitere Untersuchung notwendig
	Warmwassersystem Anschluß Nahwärme; Effizienzsteigerung		weitere Untersuchung notwendig
ideale Nutzung	Nutzung mit geringen Raumtemperaturen geringer Heizbedarf Nutzung mit hohen inneren Lasten geringer Heizbedarf		

Abb. 37: Steckbrief und Maßnahmen E0

Gebäudesteckbrief		GERBERVIERTEL		F4
Adresse	Typologie	Bj. / San.jahr		
Alter Postplatz 9	Gebäude nach 1945 1969-1978	1945-1960 / k.A.		
				
Flurstücksnr.	73			
Grundfläche in m ²	255,4			
Geschosse	III + 2D			
BGF in m ²	ca. 1000			
Traufhöhe in m	9,85			
Firsthöhe in m	15,5			
Ständigkeit zur Strasse	giebelständig			
Anbaugrad	freistehend FS			
Bauart Vorderseite	verputzt			
Bauart Rückseite	verputzt			
Keller	keiner, 0-2m, variiert			
Dämmwert Außenwand	U-Wert 0,6 bis 0,8 W/m ² K			
Dämmwert Dach	U-Wert 0,24 bis 0,45 W/m ² K			
oberste Geschossdecke	-			
Dachform	Satteldach			
Ausrichtung	Ausrichtung nach allen Seiten			
Dachaufbauten	Gauben			
Fensterart	Holzfenster			
Fensterfläche	-			
Fensterqualität	U-Wert 2,8 bis 3,4 W/m ² K			
Schauensterfläche	-			
Nutzung EG	EH - Leerstand			
Nutzung OGS	Wohnen			
Nutzung Dach	Wohnen			
eCO ₂ centric	Gebäudesteckbrief			

Maßnahmenkatalog	GEBÄUDEBESTAND		F4
	Adresse	Typologie	
	Alter Postplatz 9	Gebäude nach 1945	1969-1978
			
			
Gebäudehülle	Innendämmung		U-Wert verbessert
	Außendämmung/ WDVS WDVS oder hinterlüftete Konstruktion 20 cm, λ = 0,035 W/m K		U-Wert 0,15 bis 0,2 W/m ² K
	Kellerdecke untersellige Dämmung 8-10 cm EPS		U-Wert 0,25 bis 0,3 W/m ² K
Dach	oberste Geschossdecke Schüttung oder Dämmstoff λ = 0,040 W/mK ??		U-Wert 0,1 bis 0,25 W/m ² K
	Dämmung Steildach 20cm, λ = 0,04 W/mK		ca. U-Wert 0,1 W/m ² K
Fenster / Schauenster	Austausch Fenster Dreifach Iso, U=2,8 → 1,1 W/m ² K		U-Wert 0,8 bis 1,2 W/m ² K
	Austausch Schauenster Dreifach Iso, U=2,8 → 1,1 W/m ² K		U-Wert 0,8 bis 1,1 W/m ² K
Gebäudetechnik	Heizsystem Anschluß Nahwärme Effizienzsteigerung		weitere Untersuchung notwendig
	Warmwassersystem Solarthermie oder PV-WP lokale Sonnennutzung mit lokalem Speicher		weitere Untersuchung notwendig
ideale Nutzung			

Abb. 38: Steckbrief und Maßnahmen F4

Auch Freiräume Winkel und Höfe werden hinsichtlich der Möglichkeiten zu einer Reduktion der CO₂-Bilanz systematisch untersucht. Winkel sind altstadttypische Gebäudezwischenräume, bei denen sich die Frage stellte, in wie weit sie geschlossen werden könnten, um so die Außenflächen der Gebäude zu reduzieren. Bei den Höfen wurde primär ihre Eignung für gemeinsame Handlungsansätze geprüft. Hier stand zunächst die Freiraumgestaltung im Mittelpunkt. Eine Eignung für punktuelle Photovoltaikanalgen (z.B. auf nicht einsehbaren Nebengebäuden) oder die Aufstellung von BHKWs können als Attribute zukünftig ergänzt werden.

Bei den Winkeln lassen sich drei grundsätzliche Typen unterscheiden. In Typ W1 wurden energetisch nicht optimierbare Zwischenräume zusammengefasst. Darunter fallen z.B. alle Winkel die als Blick- oder Wegebeziehung funktionieren.



Abb. 39: Winkel Typ W1 _ energetisch nicht optimierbar

In Typ W2 wurden Winkel beschrieben, deren energetische Optimierung fraglich ist, jedoch geprüft werden kann. Dieser Typ ist gekennzeichnet durch verschiedene Breiten, die einen Durchgang aber ausschließen. Ferner sind Fenster zum Zwischenraum, die eine Belichtungs- oder Belüftungsfunktionen der angrenzenden Gebäude übernehmen, möglich.



Abb. 40: Winkel Typ W2 _ energetisch im Einzelfall optimierbar

Unter Typ W3 wurden im Umkehrschluss die Gebäudezwischenräume erfasst, die durch eine sehr geringe Breite und das Fehlen von Gebäudeöffnungen zum Winkel hin energetisch grundsätzlich optimierbar wären.



Abb. 41: Winkel Typ W3 geschlossen _ energetisch möglicherweise optimierbar

Auch für die Winkel wurden Maßnahmen benannt, die eine Steigerung der Energieeffizienz zum Ziel haben. Dies gilt für Typ 3 und im Einzelfall für Typ 2. Aus Sicht des Denkmalschutzes ist es wichtig, die Fuge zwischen den benachbarten Gebäuden dauerhaft ablesbar zu machen. Hier wurde der Ansatz formuliert, die Ebene der Schließung zurückzusetzen, so dass sie vom Straßenraum aus optisch so wenig wie möglich in Erscheinung tritt. Dieser Ansatz scheint besonders für sehr schmale Zwischenräume tragfähig. Baukonstruktiv anspruchsvoller und kostenintensiver ist die Ausbildung der Fuge als Glasebene, die Einblick und ggf. Durchblick weiterhin möglich macht. Dieser Ansatz kann auch für etwas breitere Winkel eine Option darstellen. In jedem Fall muss die Dachentwässerung gelöst werden, z.B. durch eine Grabenrinne zwischen beiden Gebäuden. Ferner muss die Entlüftung anliegender Räume sicher gestellt und der Brandschutz gewährleistet werden. Eine genaue Berechnung der Einsparpotenziale ist im Rahmen des Projektes nicht zu leisten und kann seriös nur am

konkreten Einzelfall erfolgen. Im Sinne einer Prognose kann jedoch von einer möglichen Energieeinsparung bis zu 20% des jährlichen Heizbedarfes ausgegangen werden, wenn der Zwischenraum nicht als Außenraum sondern unbeheizter Innenraum in eine Wärmedurchgangsrechnung einfließt.

Im Projektverlauf wurden zahlreiche Winkel in Steckbriefen erfasst und beschrieben. Als Planungshilfe für die Zukunft wurde parallel ein Maßnahmenblatt vorbereitet, an Hand dessen die jeweilige Effizienzsteigerung im Einzelfall berechnet werden kann.

Steckbrief Winkel _ Typ W1
energetisch nicht optimierbar



Charakteristika:

Lokalisierung		Winkel Nr. 02
Objektdaten		
Straße, Nr.		Marktplatz 36-38 bis Hinterhof
Ausrichtung/Lage		NW-SO
Gestaltung Winkel		
Geometrie		parallel
Fenster		Fenster zur Belichtung/Belüftung
Verschließung		Zugangstor
Breite		ca. 1,20 m
Sichtbeziehung		ja Blick auf Marktplatz
Nutzung Winkel		
Durchgang		ja Zugang mit Klingeln
Wasser		ja offen >> nass
Mülltonnenplatz		nein
„Messielook“		nein
Sonstiges / Bemerkungen		
Angrenzende Nutzung		
Wohnen		50%
Einzelhandel / Gewerbe		50%
Gastronomie / Tourismus		
andere Einrichtungen		
Angrenzende Bebauung		
Typologien		B0 / E0
Geschossigkeit		II+DG
Ausschlusskriterien		
Denkmal		ja
Fensteröffnung		ja
Abstellfläche Mülltonne		nein
unterschiedliche Traufhöhen		ja
Breite des Winkels > 80cm?		ja
Wasserabfluss		nein
Durchgang		ja > Schließen nicht möglich
Potential		nein
Maßnahmen		keine

Steckbrief Winkel _ Typ W3
energetisch optimierbar



Charakteristika:

Lokalisierung		Winkel Nr. 11
Objektdaten		
Straße, Nr.		Gymnasiumstraße 19-21
Ausrichtung/Lage		N-S
Gestaltung Winkel		
Geometrie		parallel
Fenster		nein
Verschließung		ja Tür
Breite		ca. 0,50 m
Sichtbeziehung		nein
Nutzung Winkel		
Durchgang		nein
Wasser		nein neben Regenrinne geschlossen
Mülltonnenplatz		nein
Verschmutzung		ja
Sonstiges / Bemerkungen		
Angrenzende Nutzung		
Wohnen		60%
Einzelhandel / Gewerbe		40%
Gastronomie / Tourismus		
andere Einrichtungen		
Angrenzende Bebauung		
Typologien		B0 / D0
Geschossigkeit		II+DG
Ausschlusskriterien		
Denkmal		ja Stadtbildprägend / verputzt ohne Details
Fensteröffnung		nein
Abstellfläche Mülltonne		nein
unterschiedliche Traufhöhen		nein
Breite des Winkels > 80cm?		nein
Wasserabfluss		nein
Durchgang		nein
Potential		ja
Maßnahmen		Schattenfuge ausbilden Anschlüsse Bestand prüfen

Abb. 42: Steckbriefe Winkel

Analog wurden die wesentlichen Potenziale der privaten Höfe beschrieben. Dabei sind eine Reihe der Parameter, die aufgenommen wurden, identisch mit den Inhalten der Potenzialkarten. Während die Potenzialkarten jedoch strukturelle Ansatzpunkte in der Übersicht und im städtebaulichen Maßstab sichtbar machen, liefern die Steckbriefe die Basis für lokale Pla-

nungsentscheidungen. Ebenso können sie als Anregung dienen, von Seiten der öffentlichen Hand nachbarschaftliche Abstimmungsprozesse zu fördern.

Steckbrief Höfe _ Typ H1

Zufahrt



Charakteristika:

Lokalisierung:		Hof Nr. 04
Objektdaten		
Zugänge/ Straße, Nr.	1	Consulentengasse 10-12
Angrenzende Straßen		Consulentengasse
Grundfläche		
Ausrichtung/Lage	N / S	geschlossen, teilweise sonnig
Gestaltung		
Erschließung Gebäude	3	Hauseingänge
Anzahl der Parkplätze	3 - 4	Privatparkplätze
Bodenbelag		Asphalt, Pflaster, Kies
Zufahrten	1	Anlieferung Fa. Kolesch
Grünflächen / Bäume	1	Baum, Hecken als Abgrenzung zu privatem Garten
Bänke	-	
Aufenthaltsfläche	-	
Räumliche Besonderheiten		
		angrenzend privater Garten und Terrasse
Angrenzende Nutzung		
Wohnen	80%	
Einzelhandel	10%	
Gewerbe	10%	
Gastronomie / Tourismus		
Angrenzende Bebauung		
Überwiegende Typologien		B0 / B1 / E0 / E1
Baulücken	-	
Großbaustein	-	
Geschossigkeit		
		überwiegend III oder II + DG
Bauliche Besonderheiten		
		-
Potential		
städtebaulich/Freiraumqualität		<ul style="list-style-type: none"> mehrere Denkmale angrenzend (z.T. Rückseiten von Gebäuden am Marktplatz) vereinzelte Sanierungsbedarf
energetisch		<ul style="list-style-type: none"> nicht in unmittelbarer Nähe bestehender Fernwärmenetze oder der Erweiterungsoptionen > ggf. Nahwärmenetzpotenzial große Einzelhandelsflächen angrenzend
Mobilität		<ul style="list-style-type: none"> Bushaltestelle in < 3 Min. erreichbar

Steckbrief Höfe _ Typ H2

Parkplatz



Charakteristika:

Lokalisierung:		Hof Nr. 13
Objektdaten		
Bezeichnung		Viehmarktstraße, Neue Casse,
Zugang/Angrenzende Straßen		Viehmarktstraße
Grundfläche		
Ausrichtung/Lage	NWSO	hauptsächlich geschlossen
Gestaltung		
Erschließung Gebäude	-	
Anzahl der Parkplätze	> 10	Mitarbeiterparkplatz AOK
Bodenbelag		Asphalt
Zufahrten	-	
Grünflächen / Bäume	-	1 Baum, mehrere Sträucher
Bänke	-	
Aufenthaltsfläche	-	
Räumliche Besonderheiten		
		-
Angrenzende Nutzung		
Wohnen	ja	
Einzelhandel/Gewerbe		Ingenieurbüro, Krankenkasse
Gastronomie / Tourismus	-	
andere Einrichtungen		Arzt
Angrenzende Bebauung		
Überwiegende Typologien		B0 / E0 / F6
Baulücken	-	
Großbaustein	-	
Geschossigkeit		II und III z.T. + DG
Bauliche Besonderheiten		
Potential		
städtebaulich/Freiraumqualität		<ul style="list-style-type: none"> zahlreiche stadtbildprägende Gebäude, z.T. mit Denkmalstatus hoher Sanierungsbedarf partiell Leerstand Nähe zu Neubauten und Flächen zur Neuordnung am Altstadtring angrenzend an Öffentlichem Raum mit Potenzial für ökologische Umgestaltung
energetisch		<ul style="list-style-type: none"> nicht in unmittelbarer Nähe bestehender Fernwärmenetze oder der Erweiterungsoptionen > ggf. Nahwärmenetzpotenzial
Mobilität		<ul style="list-style-type: none"> 6 Parkhäuser in 1-2 Min. Fußweg erreichbar Bushaltestelle in < 3 Min. erreichbar

Abb. 43: Steckbriefe Höfe

In der Summe dienen die Attribute aus allen drei Untersuchungsfeldern mit als Basis a) für die Beschreibung von Maßnahmenpaketen und b) zur Abschätzung für eine CO₂-Reduktion als Hochrechnung über die betroffenen Elemente. In der überschlägigen Betrachtung zeigt sich bereits in dieser Phase, dass für eine deutliche Reduktion der CO₂-Emissionen in der Altstadt eine Reihe unterschiedlicher Maßnahmen zusammenwirken müssen. Die Möglichkeiten der Energieeinsparung an den Gebäuden sind eingeschränkt, lassen sich für bestimmte Typengruppen jedoch formulieren und quantifizieren. Einsparungspotenziale im Ensemble sind in der räumlichen Struktur vielfach angelegt. Ein Beispiel stellen Blockheizkraftwerke im Hof für mehrere Gebäude dar. Diese Möglichkeit kann im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nur grundsätzlich benannt werden. Die feingliedrige Struktur der Altstadt, sowohl was die Bausubstanz als auch die Eigentümer anbelangt, erlaubt es nicht, sie konk-

ret zu berechnen. Gleichzeitig wird deutlich, dass die privaten Freiräume zwischen den Gebäuden vielfach untergenutzt sind und Raum für dezentrale Versorgungskonzepte bieten. Hier können von kommunaler Seite jedoch lediglich Anreize für Kooperationen privater Akteure geschaffen werden. Durch das Forschungsprojekt kann das Thema benannt und ein erster wichtiger Grundstein für einen entsprechenden Dialog mit der Bürgerschaft gelegt werden. Dasselbe gilt für strukturell darstellbare Potenziale der Abwärmenutzung benachbarter Gebäude z.B. im Umfeld der zahlreichen Bäckereien.

Parallel zur Typisierung der Einzelelemente wurden die Analysekarten überlagert um strukturelle Potenziale ablesen zu können. Dabei zeigen sich zahlreiche Ansatzpunkte, die hier exemplarisch an den folgenden Beispielen dokumentiert sind.

Zum Beispiel lässt sich in der Überlagerung verschiedener Analysethemen eine Gebäudemenge bestimmen, bei denen eine energetische Sanierung grundsätzlich – wenngleich mit unterschiedlich großem Aufwand – in Frage kommt.



Abb. 44: Überlagerung der Sanierungspotenziale mit den verputzten Denkmälern und leerstehenden Gebäuden

Abb. 44 zeigt exemplarisch die Überlagerung der Sanierungspotenziale (alle Gebäude, die weder Denkmale noch stadtbildrelevant sind und auch nicht in jüngster Zeit saniert wurden s. Abb. 1) mit den verputzten Denkmalen, solchen Gebäuden also, an denen je nach Ausführung eine Dämmung nicht grundsätzlich ausgeschlossen ist. Hinzu kommen leerstehende Gebäude. Hier muss davon ausgegangen werden, dass sie sich lediglich durch eine Sanierung wieder einer Nutzung zuführen lassen. Die Abbildung zeigt, dass die Biberacher Altstadt einen nennenswerten Gebäudebestand hat, in dem eine Energieeinsparung über Sanierungsmaßnahmen an der Hülle erzielt werden könnte.

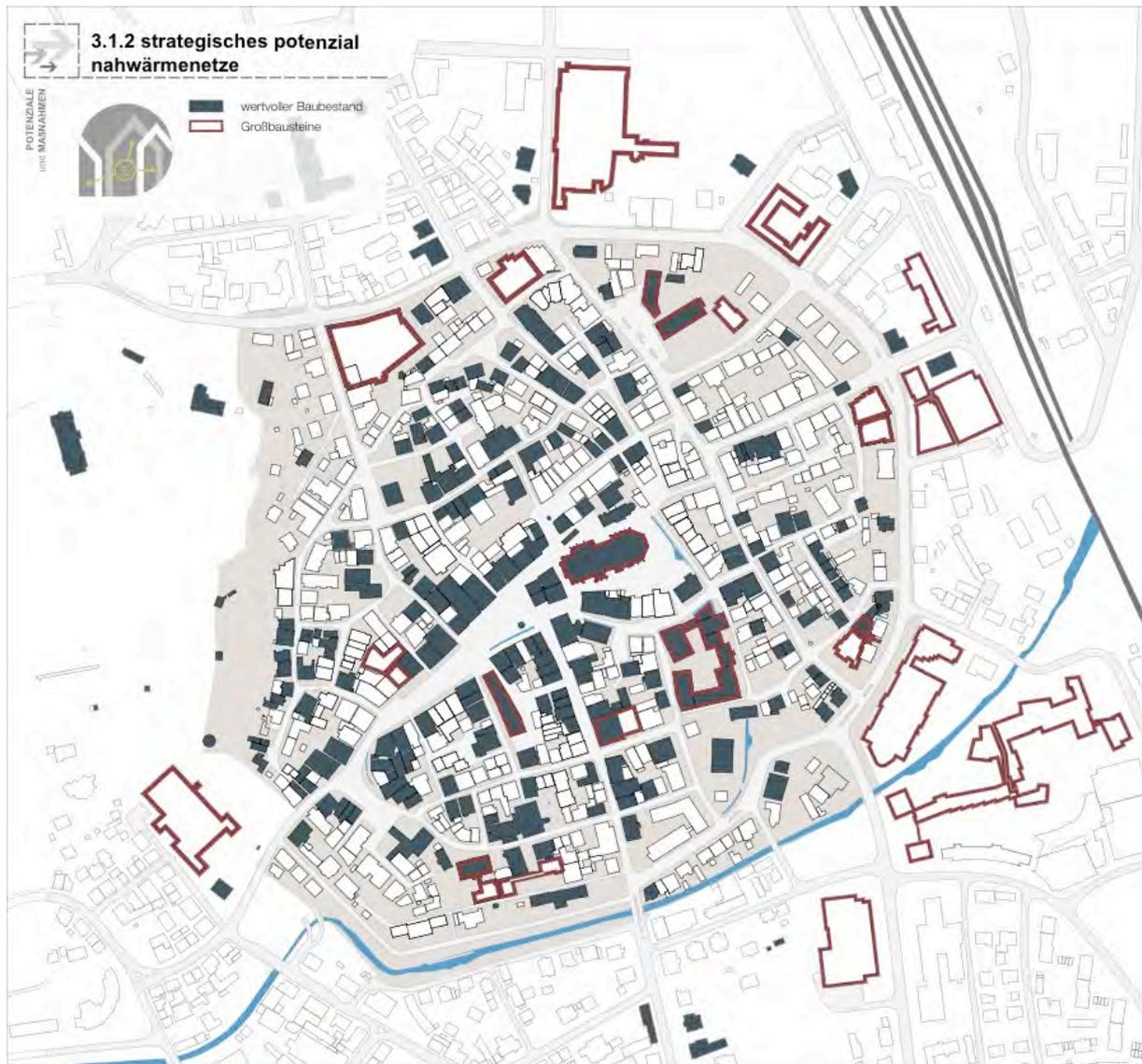


Abb. 45: Überlagerung baukulturell wertvoller Bestandsgebäude und überdurchschnittlich großer Baumassen

Abb. 45 zeigt die Überlagerung baukulturell wertvoller Bestandsgebäude - Denkmale und stadtbildprägende Gebäude zusammengefasst – mit Bauten überdurchschnittlich großer Bruttogeschoßfläche. Die Karte kann einen Hinweis auf ein strategisches Potenzial für Nahwärmenetze geben. Es gilt in Zukunft zu untersuchen, ob in der gemeinsamen Versorgung von Bauten mit einem besonders großen Wärme-/ Kühlbedarf und räumlich nahe gelegenen „schwer zu sanierenden“ Bestandsgebäuden wirtschaftliche Konzepte realisierbar sind. Das-

selbe gilt für ähnliche Darstellungen, in denen baukulturell wertvoller Bestand und öffentliche Gebäude die Konzeptmasse darstellen. An anderer Stelle werden die sanierungsbedürftigen Gebäude mit öffentlichen Einrichtungen oder den großen Baumassen zusammen dargestellt und zeigen ebenfalls einen theoretischen Ansatzpunkt, um eine Nahwärmeoption bei künftigen Veränderungen zu prüfen (z.B. kalte Nahwärme).

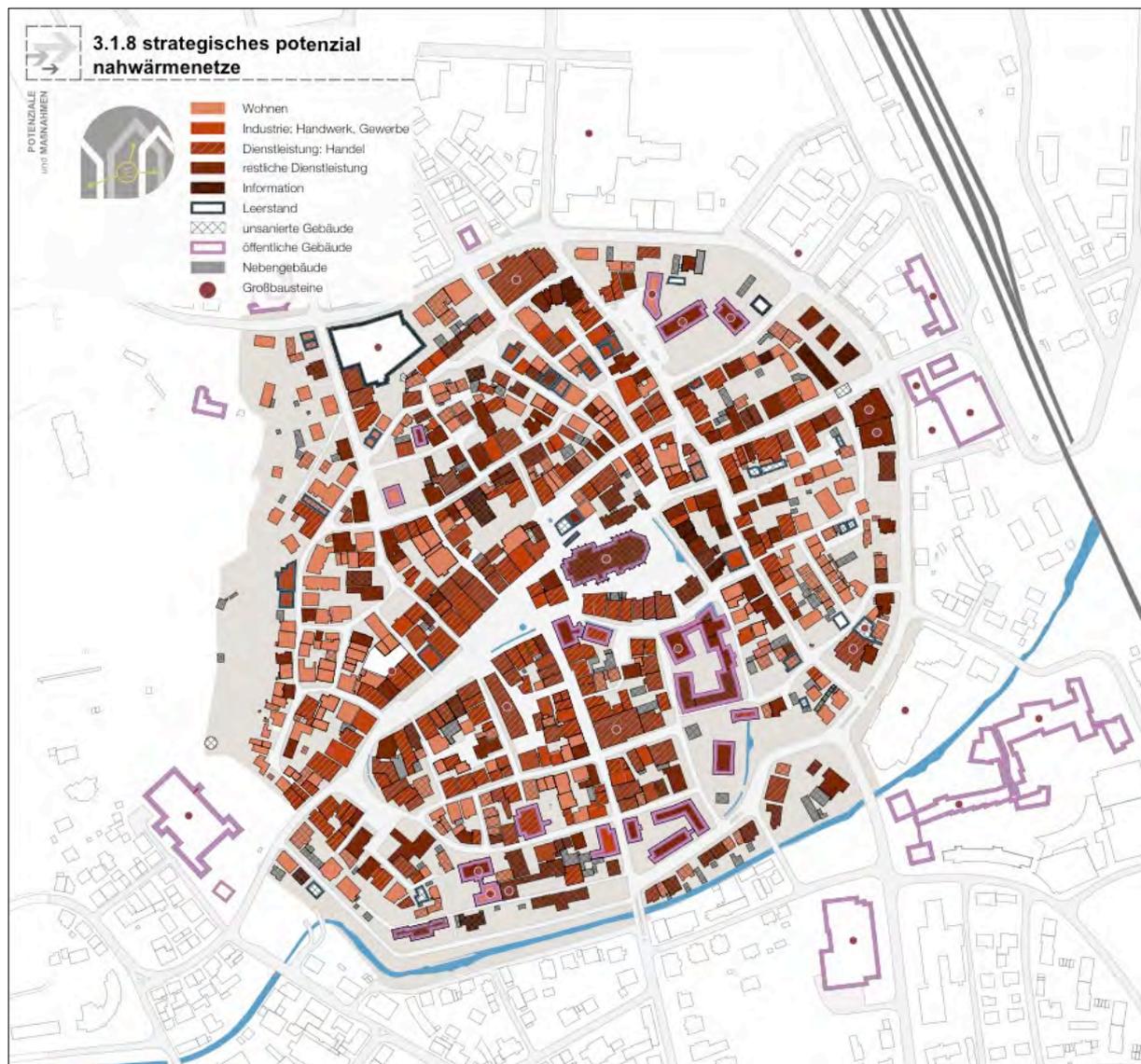


Abb. 46: Überlagerung Gebäudenutzung, Leerstände, Sanierungsbedarf und öffentliche Einrichtungen

Noch einen Schritt weiter gehen die Potenzialkarten, in denen die Gebäude zusätzlich nach den gegenwärtigen Nutzungen klassifiziert sind und so zusätzlich mögliche Abwärmepotenziale abbilden (s. Abb. 46). Ansatzpunkte liefern hier kleine Gewerbe- und Handwerksbetriebe, die nach wie vor in der Altstadt ansässig sind. Im Umfeld beispielsweise mehrere Backstuben kann eine Wirtschaftlichkeit kleiner Nahwärmenetze gegeben sein. Dies gilt insbesondere wo die gewerblich genutzten Gebäude selbst oder Wohngebäude im unmittelbaren Umfeld im Bestand Sanierungsbedarf zeigen. Auch die Nachbarschaft zwischen Gewerbeflächen und leerstehenden Objekten oder öffentlichen Bauten kann die Prüfung gemeinsamer Energieversorgungskonzepte nah legen. Die Gebäude in kommunalem Besitz stellen

einen besonders stabilen Faktor für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen dar. Leerstände bieten eine gewisse Flexibilität hinsichtlich zukünftiger Nutzungs- und Versorgungskonzepte.

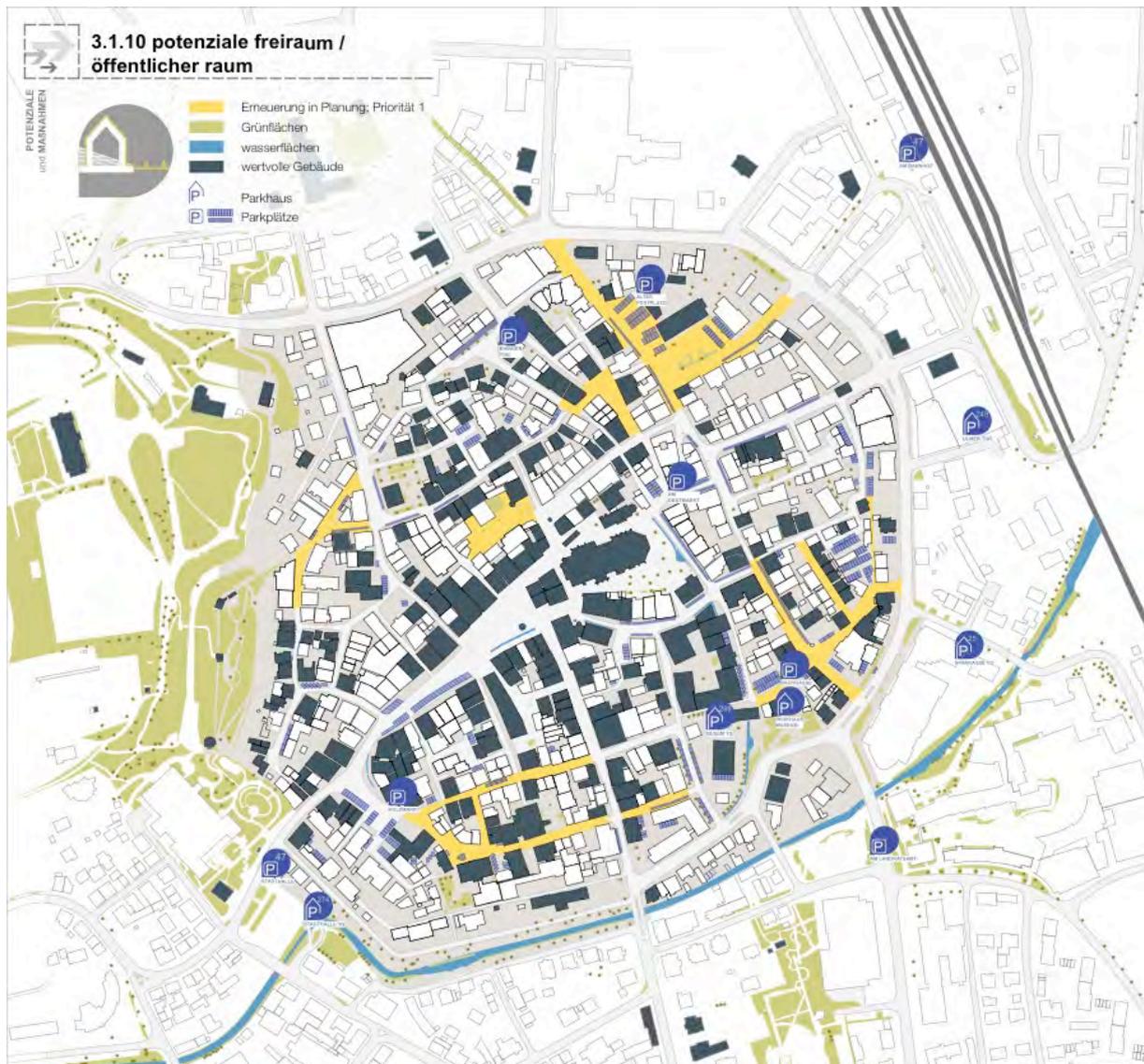


Abb. 47: Überlagerung wertvollen Baubestands mit öffentlichen Räumen, deren Umgestaltung kurzfristig geplant ist und Stellplatzangeboten in der Altstadt

Einen anderen Ansatzpunkt für zukünftige Maßnahmenpakete bietet die Frage, welche räumlichen Zusammenhänge aus Veränderungen in der Mobilität und den Qualitäten der öffentlichen Räume aufgezeigt werden können. In der Überlagerung wertvollen Baubestands mit öffentlichen Räumen, deren Umgestaltung kurzfristig geplant ist und Stellplatzangeboten in der Altstadt wird eine unmittelbare Verknüpfung deutlich. Es gibt mehrere Standorte „in zweiter Reihe“, an denen die Aufwertung des Freiraums von der Stadt als prioritär eingestuft wird. Im Bestand liegen hier vielfach Stellplätze. Die Potenziale im Bereich Mobilität stellen fest, dass es möglich ist, aus dem Zentrum der Altstadt nahezu jeden anderen Punkt des betrachteten Stadtteils innerhalb von fünf Minuten zu Fuß zu erreichen (siehe Absatz II.1.11). Wenn sich aus daraus mittelfristig Maßnahmen zur Verlagerung von Stellplatzangeboten aus der Altstadt heraus ergeben, kann dies mit einer Neugestaltung der markierten öffentlichen Räume koordiniert werden. So lässt sich mit Anstrengungen zur CO₂-Reduktion gleichzeitig

das Stadtbild in zentral gelegenen Bereichen reparieren. Im Umkehrschluss macht eine durchgehend qualitätsvolle Gestaltung der öffentlichen Räume in der Altstadt das zu Fuß gehen attraktiver (s. Absatz II.1.15).

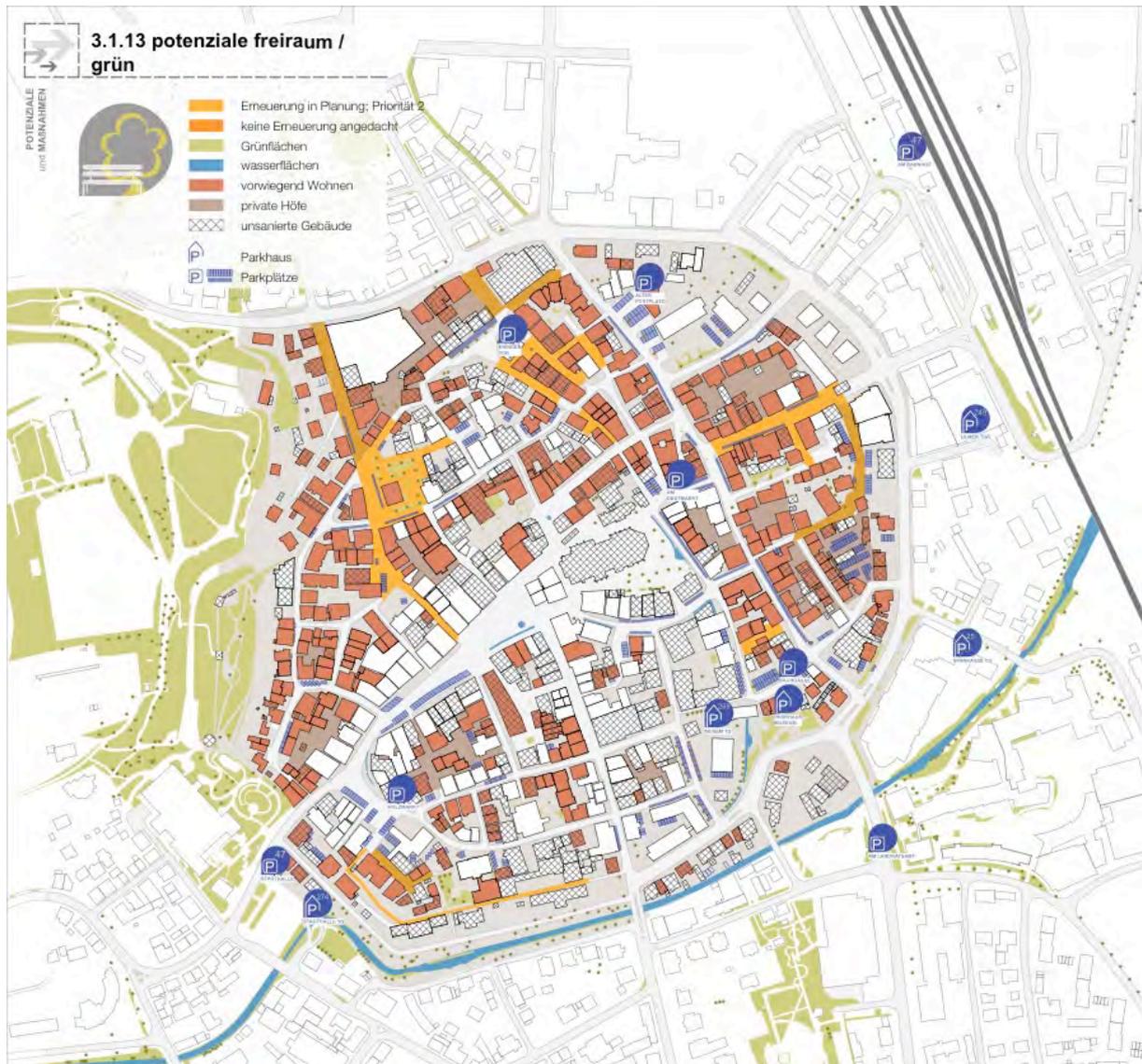


Abb. 48: Überlagerung Wohngebäude und unsanierte Gebäude, private Höfe und öffentliche Räume mit geringer oder gar keiner Dringlichkeit für eine Umgestaltung

Die Ränder der Altstadt im Westen, Norden und Osten zeigen zahlreiche Wohngebäude. Gleichzeitig liegen hier Freiräume deren zukünftige Umgestaltung von der Stadtverwaltung nicht vorrangig angestrebt wird. Sie entsprechen zum Teil der Priorität 2 einer geplanten Erneuerung. In einer weiteren Kategorie sind zum Stand der Untersuchung gar keine Veränderungen geplant. In der Dringlichkeitsabstufung geplanter Aufwertungen spiegelt sich die Rolle, die die jeweiligen öffentlichen Räume für das historische Image der Kernstadt spielen. Im Umkehrschluss können gerade die Orte, die hier erst in zweiter Linie genannt oder als gar nicht relevant klassifiziert sind, einen wichtigen Beitrag dazu leisten, auch ökologische Aspekte bei der Weiterentwicklung der Altstadt zu berücksichtigen. Freiraumkonzepte mit einem Anteil an versickerungsoffenen Belägen können hier angemessener umgesetzt werden

als im Kerngebiet rings um den Marktplatz. Durch den bereits vorhandenen Baumbestand bietet der Bereich Gymnasiumstraße/ Zeughausgasse dafür einen besonders plausiblen Anknüpfungspunkt. Ferner zeigt die Karte Lage und Größe privater Höfe. Auch auf den Privatgrundstücken wäre eine größere Durchlässigkeit der Beläge wünschenswert. Eine gemeinsame Anstrengung benachbarter Eigentümer, die häufig trostlosen Stellplatzflächen zugunsten ökologisch wirksamer Aufenthaltsräume zu reduzieren, kann einen zusätzlichen Beitrag zur Luftqualität leisten. Sie kann auch ein erster Schritt für anschließende Kooperationen in der Energieversorgung sein (z.B. gemeinsame Nutzung eines BHKW mit Standort in dem gemeinsam aufgewerteten Hinterhof).



Abb. 49: Überlagerung Winkel und unsanierte Gebäude

Die Winkel zwischen den Gebäuden sind typische Elemente des historischen Stadtbildes. Ursprünglich dienten sie zur Dachentwässerung aber auch Anordnung von Senkgruben. Daneben bieten die nicht baulich geschlossenen Winkel Blickbezüge zwischen den einzelnen Gassen. Die Untersuchung zeigt, dass die Breite und räumliche Ausbildung der Winkel im Bestand stark variieren. Zahlreiche Winkel sind heute geschlossen. Dabei reicht die Bandbreite von einfachen Brettverschlägen im Erdgeschoss, die lediglich den Zugang zu dem

Winkel aus dem öffentlichen Raum verhindern, bis zu gebäudehohen baulichen Schließungen mit oder ohne Öffnungen ins Freie. Neubauten greifen das Thema der Winkel teilweise auf, interpretieren dieses in der Regel aber als „Schattenfuge“, die durch die zurückgesetzte Ebene der baulichen Verbindung zwei Baukörper einzeln im Stadtbild in Erscheinung treten lässt.

Auf den ersten Blick scheint es nicht vertretbar ein Schließen der Winkel in Betracht zu ziehen. Die für die Altstadt so typischen Abstandsräume scheinen unverzichtbar für die Gesamtqualität des Stadtbildes. Die Untersuchung zeigt jedoch, dass auch in diesem Thema Potenziale im Einzelfall liegen können, einen Beitrag zur Energieeinsparung und damit CO₂-Reduktion in angemessener Weise zu leisten. Während die Steckbriefe und Maßnahmenblätter die Eingriffsoptionen aufzeigen, gibt die Potenzialkarte Aufschluss über die Verteilung der Winkel im Stadtgefüge. Durch diese Übersicht wird z.B. die Nähe zu sanierungsbedürftigen Gebäuden deutlich. So kann im Falle von Baumaßnahmen die Prüfung einer möglichen energetischen Ertüchtigung der Zwischenräume rechtzeitig integriert werden.

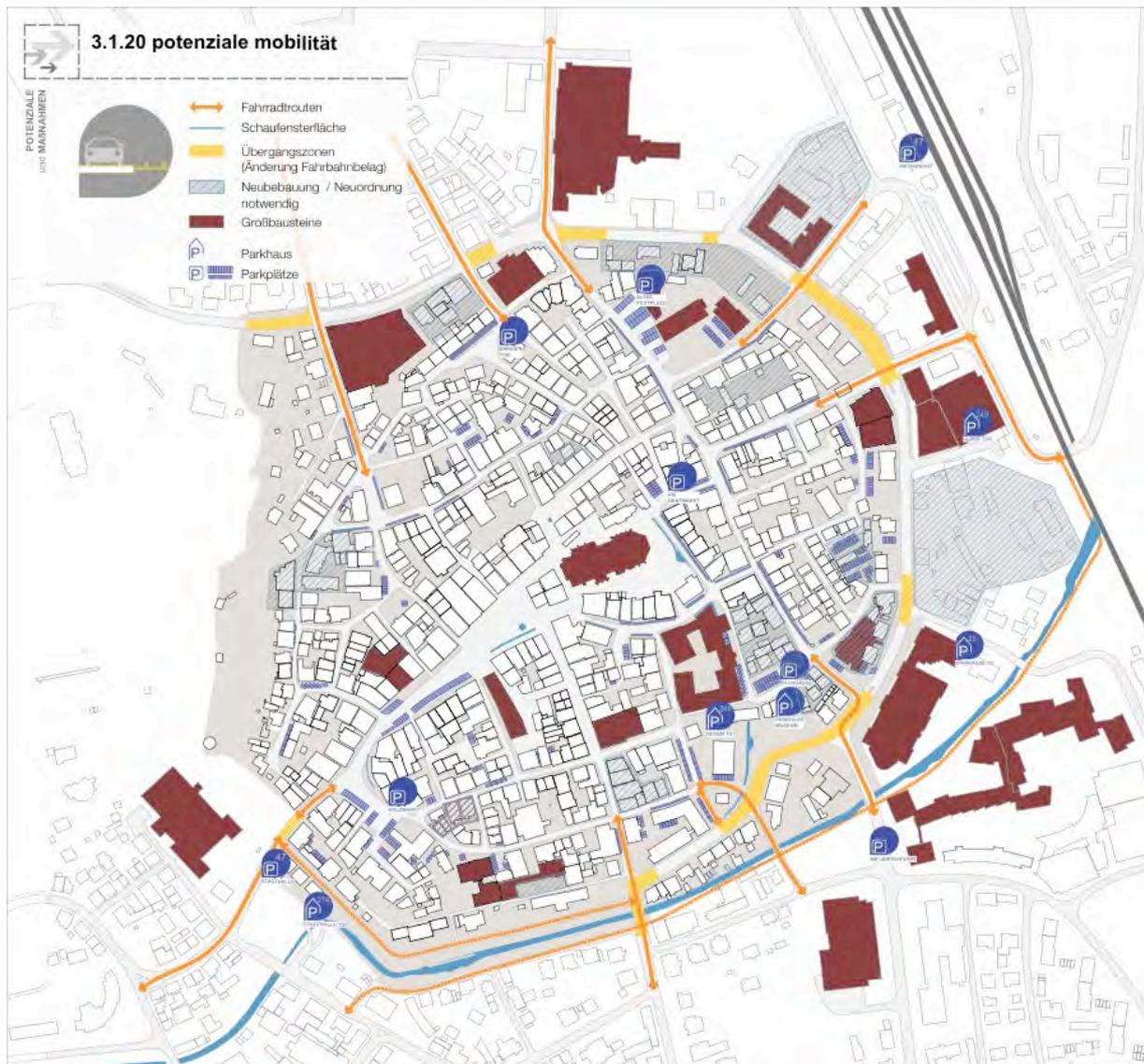


Abb. 50: Überlagerung von Wegebeziehungen in die Altstadt, Übergangszonen am Altstadtring und Stellplatzangeboten mit Neubauten und Entwicklungsbereichen

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Mobilitätspotenziale ist eine attraktivere Gestaltung der Fuß- und Radwege mit dem Ziel einer schrittweisen Veränderung der Verkehrsmittelwahl. Damit wird neben neuen Möglichkeiten der Flächenzuordnung eine zweite unmittelbare Verbindung zu städtebaulichen Themen hergestellt. Die Untersuchung zeigt, dass es insbesondere die vergleichsweise kurzen Wege bis zwei Kilometer sind, die wesentliche Einsparungspotenziale des MIV besitzen (s. Abschnitt II.1.11). Neben einer generellen Aufwertung der Stadträume für nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer spielt dabei der Altstadtring eine Schlüsselrolle. Im Bestand steht der optimale Verkehrsfluss entlang des Ringes im Vordergrund. In der Querrichtung, d.h. aus den angrenzenden Stadtteilen in die Altstadt kommend, wird er hingegen durch lange Wartezeiten an den Signalanlagen und fehlende attraktive Kreuzungsmöglichkeiten als Barriere erlebt. Damit wirkt er möglichen Entscheidungen, diese Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückzulegen direkt entgegen. In der Karte ist eine Gliederung des Altstadtringes exemplarisch aufgezeigt, die mit einer Umgestaltung des Fahrbahnbelags erreicht werden könnte. Diese kann zusammen mit einer Veränderung der

Signalschaltungen dazu beitragen, Querbezüge zwischen Altstadt und den angrenzenden Stadtfeldern zu stärken. So kann der Reduzierung der Wahrnehmung auf die Längsrichtung – und damit den schnell fließenden Verkehr – entgegen gewirkt werden. Dabei gilt es auch zu entwickeln, wie sich die in jüngster Zeit bereits realisierten Neubauten entlang des Rings und die noch zur Neuordnung ausstehende Teilabschnitte mit einer Neuinterpretation des Straßenraums zu einem attraktiven Innenstadtbereich verbinden können.



Abb. 51: Überlagerung aller bislang nicht sanierten Gebäude, die nach 1945 entstanden sind, mit Schaufensterflächen und leerstehenden Bauten

Die letzte der exemplarisch dokumentierten Potenzialkarten fasst mehrere Analyseparameter zusammen, die kurzfristig effektive Ansatzpunkte für eine Energieeinsparung liefern. Schaufensterflächen und insbesondere Warmluftschleier an Ladengeschäften leisten einen erheblichen Beitrag zu den Wärmeverlusten in der Altstadt. Im Rahmen des Forschungsprojektes ist es nicht zu leisten, hier eine konkrete Energiebilanz zu erstellen. Hier sollten ergänzende Untersuchungen die tatsächlichen Verluste beziffern und damit die Basis für den Dialog zwischen Eigentümern und Verwaltung zu diesen Themen legen.

II.1.7 Potenziale der Energienachfrage, Übersicht Szenarien

Um einen Überblick und eine quantitative Bewertung möglicher CO₂-Einsparpotenziale zu erhalten, wurden zu Beginn des Projektes im Top-down Verfahren Abschätzungen zu Einsparmöglichkeiten durchgeführt (Erwartungswerte). Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen dargestellt. Dadurch ist es möglich, die Bereiche zu identifizieren, die große Potenziale aufweisen. Einige Maßnahmen wurden daraufhin genauer untersucht (siehe spätere Abschnitte), andere anhand einer Grobanalyse nur auf deren Relevanz geprüft. Für relevante Maßnahmen sind die Ergebnisse der groben Abschätzung dargestellt. Die genauen Untersuchungen werden in Abschnitt II.1.14 erläutert.

Zuerst wurden die Vorgaben des Energiekonzeptes der Bundesregierung Deutschlands für das Jahr 2050 [BMU11] mit deren Grundlagen für die Energie- und CO₂-Einsparungen verwendet und als 100 % Szenario festgelegt. Damit wird aus den oben dargestellten Abschätzungen der Energiebedarfe und CO₂-Emissionen einzelner Bereiche die möglichen CO₂-Einsparungen für die Altstadt Biberach für dieses und die weiteren Szenarien abgeleitet.

Tab. 14: Ziele Endenergie- und CO₂-Einsparungen für die Altstadt Biberach bis zum Jahr 2050 nach dem Energiekonzept der Bundesregierung Deutschlands (EK D 2050) durch Energieeinsparung (Szenario 100 %)

Einsparung bei:	Vorgabe [%]	Endenergie [MWh/a]	CO ₂ [t _{CO2} /a]
Wärme (TWW+Heizwärme) HH, GHD, öG	80	25.000	5.900
Strom			
Haushalte	25	900	500
GHD, öffentliche Gebäude	25	1.200	650
Straßenbeleuchtung	25	20	10
Summe		2.120	1.160
Mobilität	40		1.200
Gesamtsumme Einsparung:			8.260
Anteil Einsparung CO ₂ 2012			38 %

Für die gleichen Bereiche wurden eigene Abschätzungen vorgenommen. Bei den unten dargestellten Ergebnissen wurde von folgenden Annahmen ausgegangen. Der Wärmebedarf der Gebäude in der Altstadt Biberach lässt sich im Durchschnitt um 25 % reduzieren. Der Strombedarf lässt sich in den Haushalten um 66 % [Sch11], im GHD und in öffentlichen Gebäuden um 10 % und bei der Straßenbeleuchtung um 75 % [Pep13] reduzieren. Die CO₂-Emissionen des Verkehrs lassen sich nach ersten Abschätzungen um ca. 17 % reduzieren. Die genauere Betrachtung der Mobilität ist in Abschnitt II.1.15 dargestellt.

Tab. 15: Abschätzung der Endenergie- und CO₂-Einsparungen (Szenario 50 %)

Einsparung bei:	Vorgabe [%]	Endenergie [MWh/a]	CO ₂ [t _{CO2} /a]
Wärme (TWW+Heizwärme) HH, GHD, öG	25	7.950	1.850
Strom			
Haushalte	66 ¹⁾	2.300	1.250
GHD, öffentliche Gebäude	10	470	260
Straßenbeleuchtung	75 ²⁾	65	40
Summe		3.835	1.545
Mobilität	17		500
Gesamtsumme Einsparung:			3.900
Anteil Einsparung CO ₂ 2012			18 %

1) [Sch11]
2) [Pep13]

Als Worst-Case Szenario (38 %) ist das folgende anzusehen, bei dem nicht einmal die allgemein als wirtschaftlich angesehenen Potenziale ausgeschöpft werden. Dies setzt sich aus den konservativen Ansätzen der beiden vorausgegangenen Szenarien 100 % und 50 % zusammen, eine Unterschreitung auf ein 25 % Szenario erscheint in keiner Weise sinnvoll.

Tab. 16: Abschätzung der Endenergie- und CO₂-Einsparungen (Szenario 38 %)

Einsparung bei:	Vorgabe [%]	Endenergie [MWh/a]	CO ₂ [t _{CO2} /a]
Wärme (TWW+Heizwärme) HH, GHD, öG	25	7.950	1.850
Strom			
Haushalte	25	900	500
GHD, öffentliche Gebäude	10	470	260
Straßenbeleuchtung	25	20	10
Summe		1.390	770
Mobilität	17		500
Gesamtsumme Einsparung:			3.120
Anteil Einsparung CO ₂ 2012			14 %

Da den größten CO₂-Emittenten die Wärmebereitstellung darstellt, wurde hierzu eine genaue Untersuchung der Gebäude im Untersuchungsgebiet vorgenommen (s. Abschnitt II.1.3).

In den nächsten Abschnitten werden die weiteren Potenziale bei der Energiebereitstellung untersucht. Dabei ist zu beachten, dass erst die Betrachtung beider Maßnahmenpakete die

gesamte CO₂-Reduktion darstellt, was in Abb. 52 schon einmal für spezielle Szenarien vorweg genommen wird.

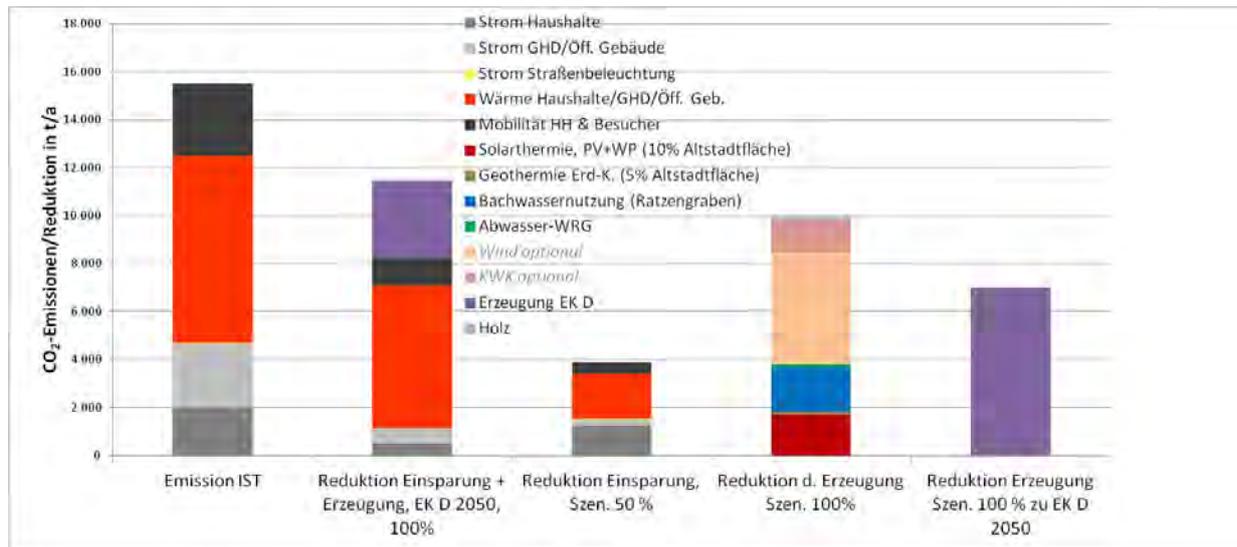


Abb. 52: Gegenüberstellung der Abschätzung des Energieverbrauchs im Ist-Zustand, der Einsparungen nach dem EK D 2050 und der Abschätzung der Einsparungen, ohne tiefe Geothermie

II.1.8 Potenziale der Energiebereitstellung, Übersicht

II.1.8.1 Überschlägige Ermittlung von Einsparpotenzialen bei der Energiebereitstellung, Szenarien

Für die Bereitstellung von Wärmeenergie und Strom wurde ebenfalls eine Abschätzung möglicher Erzeugerarten durchgeführt. Folgende Erzeugungsmöglichkeiten wurden für die ganze Altstadt betrachtet und sind in den folgenden Abschnitten II.1.8.2 bis II.1.8.4 erläutert. Spezielle Fallstudien für einzelne Bereiche sind in Abschnitt II.1.14 dargestellt.

Zunächst wird ein 100 % Szenario entwickelt, in einem zweiten Schritt werden daraus realistischere 50 % und 25 % Szenarien dargestellt:

- Wärmebereitstellung durch Solarthermie und Photovoltaik (mit Wärmepumpe) auf einer Dachfläche entsprechend 10 % der Grundfläche des Untersuchungsgebietes (Solarthermie, PV+WP)
- Wärmebereitstellung durch Geothermie Wärmepumpen mit Erdwärmekollektoren bzw. -körpern in 5 % der Grundfläche des Untersuchungsgebietes (EW-Kollektoren/-körper) (s. auch Abschnitt II.1.10.1 „Oberflächennahes geothermisches Potenzial“)
- Wärmebereitstellung durch Nutzung von Umweltwärme aus einem Bach mittels Wärmepumpe (Bachwasser) mit BHKW-Strom und PV an einem Nahwärmenetz
- Wärmebereitstellung durch Nutzung von Abwasser-/ Umweltwärme aus dem Abwasserkanal mittels Wärmepumpe (Abwasser-WRG)
- Wärmebereitstellung durch Holz (100 % Fläche Altstadt)
- Wärmeerzeugung durch mittlere und tiefe Geothermie, 10% physikalisches Potenzial (s. auch Abschnitt II.1.10.1 „Oberflächennahes geothermisches Potenzial“)

- Stromerzeugung durch eine 3MW-Windkraftanlage z.B. einer Bürgergenossenschaft der Altstadtbewohner (Windkraft)
- Stromerzeugung und Wärmebereitstellung durch Müllverbrennung in KWK, wie derzeit schon umgesetzt (Müllverbrennung Ulm)
- Stromerzeugung und Wärmebereitstellung durch KWK (10 % des Ist-Wärmeverbrauchs durch KWK gedeckt) in Nahwärme

Die Ergebnisse der Abschätzung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 17: Abschätzung der technisch möglichen CO₂-Einsparpotenziale durch die Energiebereitstellung (Szenario 100 %)

Energiebereitstellung:	erzeugte Endenergie [MWh/a]	eingespartes CO₂ [t_{CO2}/a]
Solarthermie, PV+WP	7.400	1.700
Geothermie EW-Kollektoren/-körbe-WP	700	110
Bachwasser –WP	10.800	1.600
Abwasser-WRG-WP	950	110
Geothermie mittel, tief	6600	950
Trinkwasserwärme	160	20
Holzwärme	1000	220
Windkraft Strom	8.400	4.700
Müllverbrennung KWK	630	65
KWK – Nahwärme	5.100	1.350
Gesamtsumme Einsparung:		9875 (10.825)
Anteil CO ₂ Emissionen 2012		ca. 50%

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Nutzung der Umweltwärme z.B. aus dem Bachwasser des Ratzengrabens einen großen Beitrag zur Wärmebereitstellung und CO₂-Reduktion leisten kann. Diese Nutzung wurde daher genauer untersucht (s. Abschnitt II.1.10.1). Durch Nutzung von Solarthermie bzw. Photovoltaik lässt sich ebenfalls eine ähnlich große CO₂-Reduktion realisieren, was jedoch wie bereits erwähnt aufgrund der Stadtbildsatzung [SBi12] nicht so einfach umgesetzt werden kann. In Anbetracht des großen Potenzials sollte die Nutzung von Dachflächen im Altstadtbereich nochmals überdacht werden. Die Nutzung von Windkraft, wenn auch nicht auf der Fläche des Untersuchungsgebietes, stellt ein erhebliches Potenzial insbesondere bei der CO₂-Einsparung dar. Durch z.B. eine Bürgerenergiegenossenschaft der Altstadtbewohner könnte dieses Potenzial jedoch der CO₂-Bilanz der Altstadt zugutekommen. Die Wärme- und Stromerzeugung durch KWK stellt unter den genannten Annahmen das viertgrößte Potenzial dar. Dieses Potenzial kann durch die unter dem Abschnitt II.1.14 untersuchte Maßnahme bereits zu ca. 40 % ausgeschöpft werden. Betrachtet man die geplanten Großbaumaßnahmen am Rande des Untersuchungsgebietes erscheint es realistisch, dass das gesamte Potenzial ausgeschöpft, wenn nicht sogar übertroffen werden kann. Die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser, die Nutzung von Wärmepumpen mit Erdwärmekollektoren/-körben und die Müllverbrennung spielen eine eher untergeordnete Rolle. Durch die oben dargestellten Erzeugungsarten ließe sich die CO₂-Emission des Untersuchungsgebietes bereits ohne Einsparungen um ca. 2/3 reduzieren. Die mittlere und tiefe

Geothermie kann trotz Ansatz von nur 10 % des physikalischen Potenzials einen nicht unwesentlichen Beitrag leisten.

Die Nutzung einer Duschwasser-WRG (s. Abschnitt II.1.8.2 „Dezentrale Abwasserwärmenutzung in der Altstadt Biberachs“) wird nur individuell rechnungswirksam. Unter der Annahme, dass alle Duschtassen des Untersuchungsgebietes umgerüstet werden ergibt sich ein maximales Einspar-Potenzial von 145 tCO₂/a, was im Bereich der Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser oder der Nutzung von Wärmepumpen mit Erdwärmekollektoren/-körben liegt.

Tab. 18: Abschätzung der technisch möglichen CO₂-Einsparpotenziale durch die Energiebereitstellung (Szenario 50 %)

Energiebereitstellung:	erzeugte Endenergie [MWh/a]	eingespartes CO₂ [t_{CO2}/a]
Solarthermie, PV+WP	7.400	1.700
Geothermie EW-Kollektoren/-körbe WP	700	110
Bachwasser –WP	10.800	1.600
Abwasser-WRG-WP	950	110
Trinkwasserwärme	160	20
Holzwärme	1.000	220
Müllverbrennung KWK	630	70
KWK – Nahwärme	5.100	1.350
Gesamtsumme Einsparung:		5180
Anteil CO ₂ Emissionen 2012		ca. 25%

Tab. 19: Abschätzung der technisch möglichen CO₂-Einsparpotenziale durch die Energiebereitstellung (Szenario 28 %)

Energiebereitstellung:	erzeugte Endenergie [MWh/a]	eingespartes CO₂ [t_{CO2}/a] gerundet
Solarthermie, PV+WP	2000	460
Geothermie EW-Kollektoren/-körbe-WP	700	110
Bachwasser –WP	2.700	400
Abwasser-WRG-WP	950	110
Trinkwasserwärme	160	20
Holzwärme	1000	220
Müllverbrennung KWK	630	70
KWK – Nahwärme	5.100	1.350
Gesamtsumme Einsparung:		2.710
Anteil CO ₂ Emissionen 2012		ca. 12,5 %

Es ist zu beachten, dass das Erzeugungsszenario 100 % zusammen mit dem Einsparszenario 100 % zu einer Einsparung gegenüber 2012 von zusammen über 18.000 t/a CO₂ führt, mithin zu einer Einsparung von CO₂ von zusammen über 80 %, dem Ziel der Bundesregierung für 2050. Dazu ist allerdings kein Szenario mit einem sicherlich veränderten Strommix

hinterlegt. Unter gleicher Annahme würde die Einsparung CO₂ für die beiden 50 % Szenarien zusammen bei knapp über 40 % gegenüber 2012 liegen, mithin die Vorgabe der EU für 2040 erfüllen.

II.1.8.2 Potenziale der Abwasserwärmenutzung

Abwasser hat je nach Betrachtungsort ganzjährig mindestens Temperaturen zwischen ca. 10° C z.B. am Zulauf von Kläranlagen bis hin zu ca. 35° C z.B. am Ablauf von Badewannen/ Duschtassen oder noch höhere Temperaturen z. B. bei Abwässern aus industriellen Prozessen, welche in Altstädten jedoch in der Regel nicht von Bedeutung sind. Je nach vorliegender Temperatur kann das Abwasser direkt zur Vorerwärmung bei der Warmwasserbereitung oder als Wärmequelle für Wärmepumpenanlagen genutzt werden. Grundsätzlich lassen sich hierbei dezentrale und zentrale Ansätze verfolgen.

II.1.8.2a Möglichkeiten dezentraler Abwasserwärmerückgewinnung

Eine dezentrale Wärmerückgewinnung kann direkt an Warmwasserzapfstellen über Wärmetauscher zur Wasservorerwärmung oder bei Großverbrauchern mit hohem, konstantem Abwasseraufkommen (Krankenhäuser, Hallenbäder, Industriebetriebe, etc.) über Wärmetauscher zur Wasservorerwärmung bzw. über Wärmepumpenanlagen mit Abwasser als Wärmequelle erfolgen.

Für die dezentrale Vorerwärmung direkt bei der Warmwassernutzung im HH gibt es beispielsweise spezielle Duschwannen/ -tassen mit integrierter Wärmerückgewinnung (s. Abb. 53). Laut Hersteller ist eine Erwärmung des Frischwassers um bis zu 15 K möglich. Dies bedeutet eine Einsparung in einem 4-Personenhaushalt von ca. 1.000 kWh pro Jahr [Jou14].

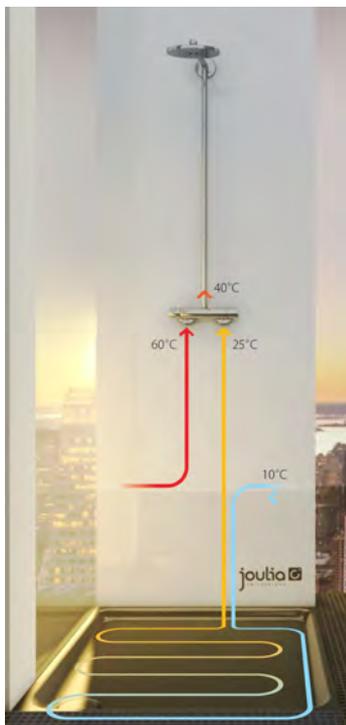


Abb. 53: Duschwasserwärmetauscher der Fa. Joulia [Jou14]

Alternativ gibt es auch in die Abflüsse/ Abwasserleitungen integrierbare Wärmetauscher (s. Abb. 54) mit gleicher Funktion, die nach Herstellerangaben für einen 4-Personenhaushalt Einsparungen von z.B. etwa 180 m³ Erdgas bzw. ca. 145 € pro Jahr ermöglichen [Dut14].

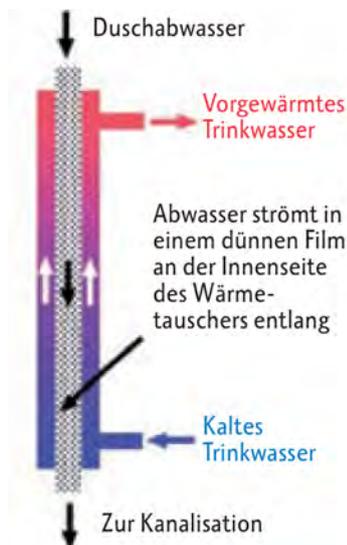


Abb. 54: Abwasserrohrwärmetauscher der Fa. Dutch Solar Systems [Dut14]

Mit beiden Systemen ist je nach Ausführung eine Wärmerückgewinnung zwischen 50 % und 60 % möglich, wodurch die Systeme in Fällen z.B. der elektrischen Warmwasserbereitung wirtschaftlich darstellbar sind.

II.1.8.2b Dezentrale Abwasserwärmenutzung in der Altstadt Biberachs

Für die Analyse des CO₂-Einsparpotenzials dezentraler Abwasserwärmerückgewinnung wurden die beiden oben vorgestellten Möglichkeiten am Beispiel der Altstadt Biberachs näher betrachtet [SDA13].

Als System wurde eine Duschtassenlösung gewählt, welche durch einen integrierten Wärmetauscher die Wärme des Abwassers direkt an das zufließende Frischwasser überträgt. Dadurch, kann die zuzumischende Heißwassermenge und der Warmwasserverbrauch reduziert werden. Laut Hersteller ist eine Erwärmung des Frischwassers um bis zu 15 K möglich [Jou14]. Bei einer durchschnittlichen Duschkdauer von 7 Minuten und 200 Duschen pro Person und Jahr ergibt das eine Nutzenergieeinsparung von 245 kWh pro Person und Jahr, was sich gut mit den Herstellerangaben deckt. Hochgerechnet auf die Einwohner der Altstadt Biberach von ca. 2.000 ist eine Einsparung von ca. 500 MWh Nutzenergie möglich. Dies entspricht unter der Annahme eines Jahresnutzungsgrades der Heizungsanlage von 0,8 und eines CO₂-Ausstoßes von 228 g/kWh für eine Erdgasheizung [GEM13] einer Einsparung von ca. 630 MWh Endenergie und ca. 145 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Für eine statische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird ein Gaspreis für private Haushalte von 6,95 ct/kWh (Grundversorgungspreis 2012 [BNA14]) angenommen. Die berechnete Endenergieeinsparung führt damit zu einer Kostenersparnis von 44.000 €/a. Die Kosten pro Duschtasse belaufen sich derzeit noch auf ca. 2.300 €. Unter der Annahme eines Preises von 300 € für eine Standardduschtasse ergeben sich bei ähnlichem Installationsaufwand Mehrkosten von 2.000 €. Wird eine Duschtasse von durchschnittlich 2 Personen genutzt ergibt sich eine statische Amortisation bei Gasheizung von ca. 47 Jahren. Für eine Warm-

wasserbereitung mit Strom (Annahme 25,95 c/kWh [SAE14]) reduziert sich die Zeit auf knapp 13 Jahre. Bei Halbierung der Kosten für dieses oder vergleichbare Systeme ergeben sich interessant kurze Amortisationszeiten und deutliche Einsparungen, da die Lebensdauer der Systeme dann deutlich die Amortisationszeit der Investition übersteigt (Strombetrachtung).

Für das System mit in Abwasserleitungen integriertem Wärmetauscher ergeben sich deutlich geringere Mehrkosten von ca. 500 €. Bei gleicher Energieeinsparung ergeben sich statische Amortisationszeiten von lediglich ca. 12 Jahren (Gasheizung) bzw. 3 Jahren (Elektroboiler). Dieses System lässt sich wirtschaftlich darstellen und könnte einen Beitrag zur CO₂-Einsparung der Altstadt Biberachs in Höhe von ca. 145 t/a liefern. Zum Projektende waren weitere Hersteller derartiger Systeme bekannt, was annehmen lässt, dass diese Systeme sich am Markt verbreiten, ihr Preis günstiger und ihr Einsatz noch rentabler wird.

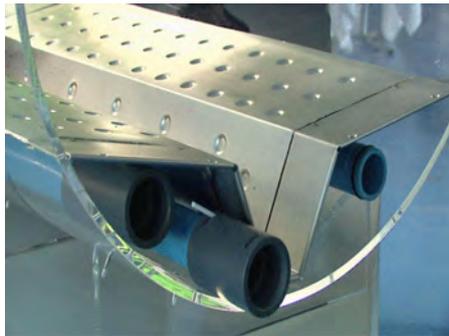
II.1.8.2c Möglichkeiten zentraler Abwasserwärmerückgewinnung

Eine zentrale Wärmerückgewinnung erfolgt üblicherweise in großen Abwasserkanälen oder vor Kläranlagen. Dort wird dem Abwasser in einem Kanalwärmetauscher auf einem niedrigen Temperaturniveau von ca. 10 °C Wärme entzogen und diese über eine Wärmepumpe auf einem höheren Temperaturniveau (z. B. 50 °C) direkt einem Heizsystem oder nach einer weiteren Erwärmung durch z.B. ein BHKW und/ oder einen Heizkessel einem Nahwärmenetz zur Verfügung gestellt. Festzuhalten ist dabei, dass die Temperatur in Abwasserkanälen nur auf einer kurzen Strecke durch die Zuflüsse bestimmt wird. Je nach Menge und Temperatur des Zuflusses zum Abwasser sind dies wenige Meter bis zu wenigen hundert Metern. Die Temperatur im Kanal und damit auch die Temperatur nach einer Abwasserabkühlung werden nach längeren Strecken (einige hundert Meter, je nach Dimension) wesentlich durch die Erdreichtemperatur bestimmt. Es wird daher eher die vom Abwasser im Austausch mit dem Erdreich enthaltene Wärme genutzt.

Je nach Bauart und hydraulischer Auslastung der Kanäle können unterschiedliche Wärmetauscherarten eingesetzt werden. In bestehenden, großen, nicht ausgelasteten Kanälen können am Boden nachträglich Wärmetauscherprofile eingesetzt werden. Für den Neubau können Kanalstücke mit bereits integrierten Wärmetauschern verwendet werden. Bei beiden Systemen spricht man von Inline-Kanalwärmetauschern. Sind die Kanalquerschnitte zu klein für eine Nachrüstung kommen Bypasswärmetauscher zum Einsatz. Dies sind Schächte, die neben dem eigentlichen Kanal gebaut werden. Über sie wird der gesamte oder ein Teil des Abwasserstroms abgezweigt, gefiltert, dem Wärmetauscher der Wärmepumpenanlage zugeführt und das abgekühlte Abwasser wieder in den Kanal geleitet.

Eine dritte Art von Wärmetauschern stellen die Schachtwärmetauscher dar. Diese können entweder in bestehenden Sammelschächten oder Vorlaufbecken nachgerüstet werden. Dazu werden an den Schachtwänden nachträglich Kunststoffrohre angebracht. Beim Neubau derartiger Schächte sind diese Rohre in den Wänden bereits integriert.

In beiden Fällen werden die Rohre von einem Wärmeträgerfluid durchströmt, das die Wärme vom Abwasser zur Wärmepumpe transportiert. Die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpenanlagen hängen von vielen Parametern ab, auf die später genauer eingegangen wird. Deshalb muss jeder Einzelfall mit konkreten Randbedingungen betrachtet und durchgerechnet werden. Eine pauschale Aussage zur Wärmerückgewinnung wie oben ist hier nicht möglich.



Quelle: <http://www.uhrig-bau.eu/de/index.html>)



Quelle: Huber SE

Abb. 55: Wärmetauscher, Kanal-Bypass über Wasserschacht

II.1.8.2d Zentrale Abwasserwärmenutzung in der Altstadt Biberachs

Für die Potenzialanalyse der zentralen Abwasserwärmenutzung wurden die im Untersuchungsgebiet anfallenden Abwassermengen zunächst aus Messungen bestimmt und mit einem Top-down und in Gegenrechnung mit einem Bottom-up Ansatz im Detail verifiziert (siehe Kap. II.1.2.4). Aus der ermittelten Abwassermenge wurde dann unter Annahme bestimmter Parameter wie z.B. der möglichen Abkühlung des Abwasserstroms, der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe etc. die Heizleistung und die Jahreswärmemenge, welche zur Verfügung gestellt werden können, ermittelt. Neben dieser Ermittlung sind weitere wichtige Aspekte wie z.B. Art des Wärmetauschers, Abnahmeleistung und Temperaturniveau des versorgten Heizsystems, Entfernung von Wärmequelle und -abnehmer etc. zu berücksichtigen, die für den sinnvollen Einsatz einer Abwasserwärmenutzung von Bedeutung sind. Die Vorgehensweise und Ergebnisse für den konkreten Anwendungsfall "Altstadt Biberach" werden im Folgenden beschrieben.

Grundlage für die durchgeführte Potenzialabschätzung ist die Abwassermenge im Sammelkanal, der das Untersuchungsgebiet verlässt. Für die Untersuchung relevant ist der sogenannte Trockenwetterabfluss, d. h. die mittlere Abwasser- und Fremdwassermenge an niederschlagsfreien Tagen. Hinzukommende Abwassermengen durch Niederschlag wurden betrachtet, können aber aufgrund des zeitlich begrenzten und unkalkulierbaren Auftretens nicht berücksichtigt werden. Um dies zu verdeutlichen wurde aus dem Wetterdatensatz des DWD von 2010 für die Stadt Augsburg eine Jahresdauerlinie für das Tagesmittel des Regenwasserabflusses erstellt (s. Abb. 56). Die Stadt Augsburg liegt in derselben Klimaregion wie die Stadt Biberach. Als Fläche wurden dafür 28 ha des Untersuchungsgebietes angesetzt. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass ein Anteil von 60 % des Niederschlags über die Kanalisation abgeführt wird. Wie die Jahresdauerlinie zeigt sind die Zeiten, in denen eine höhere Abwassermenge aufgrund des Niederschlags vorhanden ist, sehr selten und können daher nicht berücksichtigt werden.

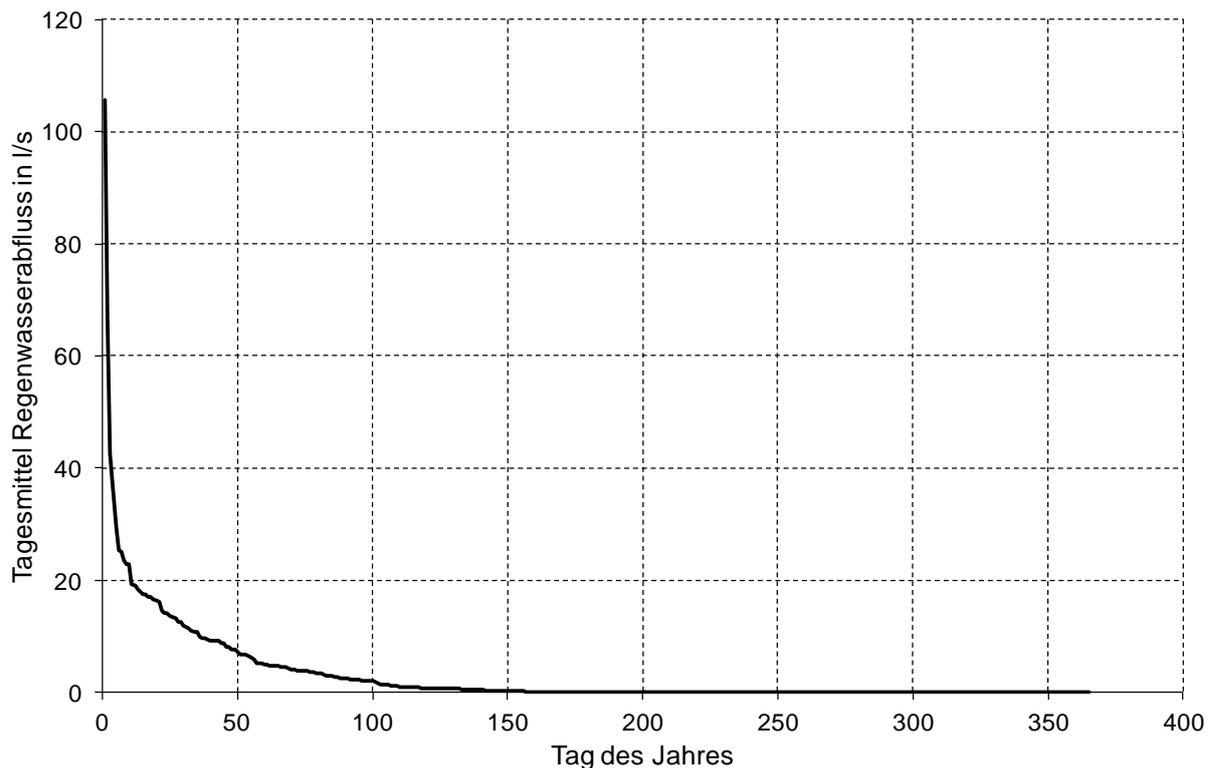


Abb. 56: Jahresdauerlinie des Niederschlags für die Stadt Augsburg und das Jahr 2011

Bei der Auslegung ohne Niederschlagswasser ist bei Wärmeabnehmern mit möglichst kontinuierlicher Abnahme eine hohe Betriebsstundenanzahl erreichbar, welche für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage notwendig ist.

Da der von der Stadtentwässerung angegebene Trockenwetterabfluss von 8 l/s an der Grenze des Untersuchungsgebietes nur aus einer Messung an einer anderen Stelle (Regenüberlaufbecken Bleicherstraße) rückgerechnet wurde, wurde eine Plausibilitätsprüfung für notwendig erachtet. Hierzu wurde mit dem oben beschriebenen Bottom-up Ansatz eine mittlere Abwassermenge von ca. 4 l/s ermittelt, eine ähnliche Menge ergab sich aus den Abrechnungen der e.w.a riss. Zuzüglich des Fremdwasseranteils von ca. 5,5 l/s für das Untersuchungsgebiet ergibt sich ein mittlerer Gesamtabwasserstrom von 9,5 l/s, der Trockenwetterabfluss erscheint daher plausibel. Die Hochrechnung nach dem Top-down Ansatz mit dem statistischen, flächenspezifischen Kennwert von 0,35 l/(s ha) ergibt bei einer Fläche von ca. 28 ha eine Abwassermenge von ca. 10 l/s. Die Hochrechnung mit dem statistischen, einwohnerbezogenen Kennwert von 4-5 l/(s 1.000EW) ergibt einen Abwasserstrom von ca. 8-10 l/s. Der von der Stadtentwässerung ermittelte Trockenabflusswert von 8 l/s wird daher als plausibel erachtet. Die weiteren Betrachtungen gehen daher von dieser Abwassermenge aus.

Für die Abschätzung des Wärme-Potenzials der ermittelten Abwassermenge wurden die Formeln aus der Broschüre "Heizen und Kühlen mit Abwasser - Ratgeber für Bauherren und Kommunen" herangezogen [BWP05]. Diese dienen einer groben Abschätzung und ersetzen nicht die genauen Berechnungen, die im Planungsfall notwendig sind. Auch zur Überprüfung der für eine Abwasserwärmenutzung notwendigen Randbedingungen wurden die Angaben dieser Broschüre verwendet. Neben der Abwassermenge und dem damit verbundenen Wärmepotenzial sind weitere wichtige Aspekte zu berücksichtigen, welche im Folgenden kurz zusammengefasst werden.

- Nähe des Gebäudes zum Abwasserkanal (100-300 m)
- Niedrige Systemtemperaturen bei der Wärmenutzung (z. B. Niedertemperaturheizsysteme: Fußbodenheizung, Betonkerntemperierung oder Brauchwasservorwärmung), abhängig von den Leistungszahlen des verwendeten Wärmepumpensystems
- möglichst konstanter ganzjähriger Wärmebedarf (z. B. Brauchwasservorwärmung Turnhalle), idealerweise mindestens gemäß Abwasserwärmepotenzial
- hohe Abwassertemperaturen (im Winter meist über 10 °C)
- für Wärmetauscher ausreichend großer Kanalquerschnitt mind. 800 mm und möglichst gerader Verlauf des Kanals auf einer Länge von mind. 20 bis 100 m zur Vereinfachung des Einbaus eines Kanalwärmetauschers (alternativ Bypass oder Schacht)
- mögliche Nutzung des Kanals als Wärmesenke (direkte Kühlung oder Kühlung über reversible Wärmepumpe/Kältemaschine), dabei ggf. aber direkte Nutzung der Abwärme von Kühlanlagen prüfen!

Unter der Annahme, dass die genannten Randbedingungen erfüllt sind, lässt sich aus einer Abwassermenge von 8 l/s bei einer durchschnittlichen Abkühlung von 3 K und einem anzusetzenden Sicherheitsfaktor von 0,64 eine durchschnittliche Entzugsleistung von ca. 65 kW und eine Heizleistung von ca. 85 kW bei einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 4 berechnen. Bei Beachtung der Vorgabe eines kontinuierlich höheren Wärmebedarfs kann unter Nutzung eines Speichers beim Abnehmer auf den Sicherheitsabschlag verzichtet oder die Anlage kleiner ausgelegt werden. Der Sicherheitsfaktor berücksichtigt laut Aussage von Herrn Müller, Geschäftsführer des Vereins InfraWatt [Mül14], die tageszeitlichen Differenzen von Angebot und Nachfrage. Beim mittleren Trockenwetterabfluss werden Schwankungen während des Tages nicht berücksichtigt. Geht man von dem Extremfall einer ganzjährigen Nutzung der Wärme und damit von 8.760 Vollnutzungsstunden pro Jahr aus, lässt sich mit einer derartigen Anlage im Vergleich zu einem üblichen Gaskessel lediglich eine CO₂-Einsparung von 110 t/a realisieren. Diese Einsparung ließe sich erhöhen, wenn der für die Wärmepumpe benötigte Strom regenerativ erzeugt wird. In der dargestellten Betrachtung wurde die CO₂-Emission nach GEMIS für ein „Stromnetz lokal“ angesetzt.

Laut den Angaben in der genannten Broschüre ist eine wirtschaftliche Energienutzung aus Abwasser erst ab einem Heizwärmebedarf von mindestens 150 kW möglich, was einem Bedarf von ca. 50 Wohneinheiten entspricht. Hierfür ist ein Trockenwetterabfluss von mindestens 15 l/s notwendig. Genaue Aussagen können jedoch erst durch eine detaillierte Vollkostenrechnung getroffen werden. Es lässt sich daraus jedoch schließen, dass eine Abwasserwärmenutzung nur aus dem Abwasser des Untersuchungsgebietes Altstadt Biberach nicht sinnvoll ist.

Das Einzugsgebiet müsste, um die geforderte Abwassermenge liefern zu können, in etwa die doppelte Größe aufweisen. D.h. erst eine (Alt-)Stadtgröße von mindestens 4.000 Einwohnern ist für derartige Überlegungen relevant. In der Stadt Biberach käme, wenn man das Untersuchungsgebiet verlässt, eine Anlage erst nach dem Zusammenfluss der Abwässer aus den Gebieten „Lindele“, „Ehinger Straße“ und „obere Altstadt“ in Betracht. Dort ist ein Abwasserfluss von ca. 18,5 l/s vorhanden. Die folgende Karte (Abb. 57) zeigt die Kanalabschnitte (rot) mit den gemessenen/ rückgerechneten Trockenwetterabflüssen (blau bzw. grün).

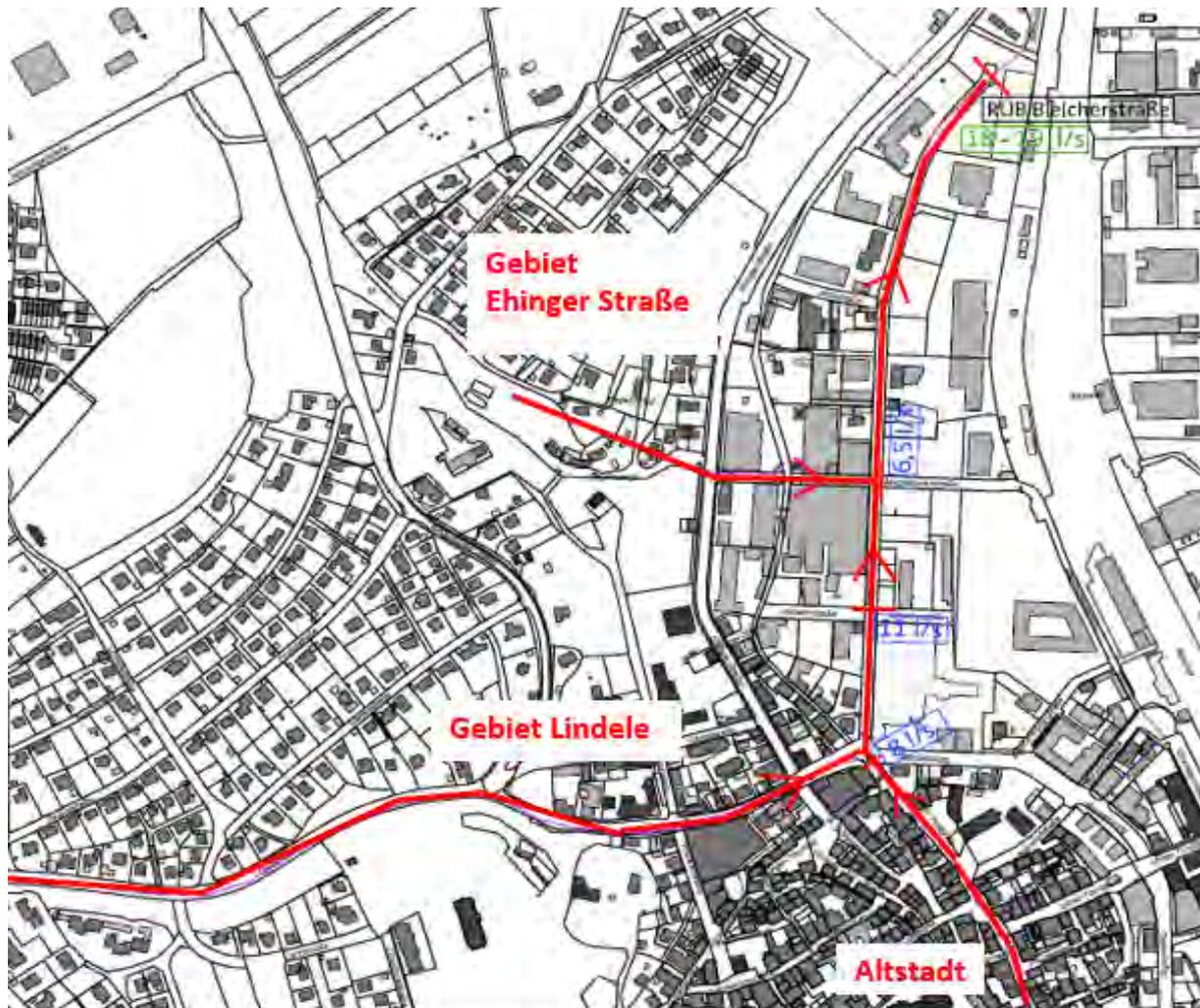


Abb. 57: Übersicht Abwasserkanäle mit Abwassermengen [SDA13] / [SBI13]

Bei einer Installation einer Anlage zur Abwasserwärmenutzung nach dem Zusammenfluss der genannten Kanäle wäre eine Entzugsleistung von ca. 150 kW möglich, womit mit einer Wärmepumpe eine Heizleistung von ca. 200 kW zur Verfügung gestellt werden könnte. Mögliche Abnehmer in diesem Gebiet sind die Firma KaVo Dental GmbH, die Pflugschule sowie das neu geplante Feuerwehrhaus. Unter der Annahme, dass es einen entsprechenden Abnehmer der Wärme gibt, wird im Folgenden eine grobe, statische Abschätzung der Wärmegestehungskosten dargestellt. Da der Kanal im betrachteten Bereich hydraulisch ausgelastet ist, kann nur ein Bypasswärmetauscher eingesetzt werden. In der Abschätzung werden für die Anbindungssituation des Verbrauchers an den Kanal eine Entfernung von 100 m, für die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ein Wert von 4, für Wartungskosten jährlich 0,5 % und für Reparaturkosten jährlich 1,0 % der Investitionskosten und ein Zinssatz von 3,5 % angenommen. Um einen in Biberach realistisch erzielbaren Wärmepreis von 0,10 €/kWh_{Wärme} anbieten zu können, muss bei einem Strompreis von 0,20 kWh der Wärmeabnehmer eine Laufzeit der Wärmepumpenanlage von 2.500 h pro Jahr ermöglichen. Dies ist eine durchaus realistisch erreichbare Laufzeit derartiger Anlagen. Eine genauere Betrachtung der Wirtschaftlichkeit kann dann für ein konkretes Objekt geführt werden. Es ist allerdings erkennbar, dass ein derartiges System durchaus konkurrenzfähig zu herkömmlichen Arten der Wärmebereitstellung sein kann, wie einige bereits umgesetzte Projekte bestätigen. Im Rahmen der Untersuchungen zeigte sich aber, dass der Bereich Nutzung von Oberflächengewässern für

das Konzept einer in ein Nahwärmenetz eingebundene Wärmepumpe für viele Altstädte ein noch größeres Potenzial darstellen kann (siehe Abschnitte II.1.10.1, II.1.14.2 sowie II.1.14.3). Weitere Ausführungen zu den Wärmepotenzialen in Gewässern, insbesondere in Baden-Württemberg, sind [Sch12] zu entnehmen.

II.1.8.3 Potenziale KWK

Die in der Fallstudie zum Sennhofareal (s. Abschnitt II.1.14.2) untersuchte Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung zur Versorgung der Gebäude mit Wärme und Strom ließe sich – betrachtet man die geplanten großen Bauvorhaben im Umfeld der Altstadt – an weiteren Stellen einsetzen. Damit wären eine Vervielfachung des dort gezeigten Einsparpotenzials sowie die Erreichung des von der Bundesregierung geforderten KWK-Anteils bei der Stromerzeugung von 25 % bis 2020 [BMW14] möglich, die in Abschnitt II.1.7 dargestellt sind.

II.1.8.4 Potenziale Abfallverwertung

Neben den herkömmlichen fossilen und regenerativen Energiequellen, kann auch der im Untersuchungsgebiet anfallende Abfall als Energiequelle genutzt oder die in ihm enthaltenen Stoffe wiederverwertet und damit Rohstoffe, Energie und CO₂ eingespart werden. Eine Betrachtung der in den Abfallmengen enthaltenen grauen Energie erfolgt nur bei der Bewertung Recycling oder Verbrennung.

Wie oben bereits beschrieben wird der in Biberach anfallende Hausmüll im Müllheizkraftwerk in Ulm zur Erzeugung von Wärme und Strom genutzt. Die Wertstoffe werden in einem Holzsystem gesammelt und recycelt. Neben dem bisherigen Verwertungsweg wurden im Rahmen dieses Projektes alternative, in folgender Grafik dargestellte Verwertungswege für den Hausmüll und die Wertstoffe untersucht.

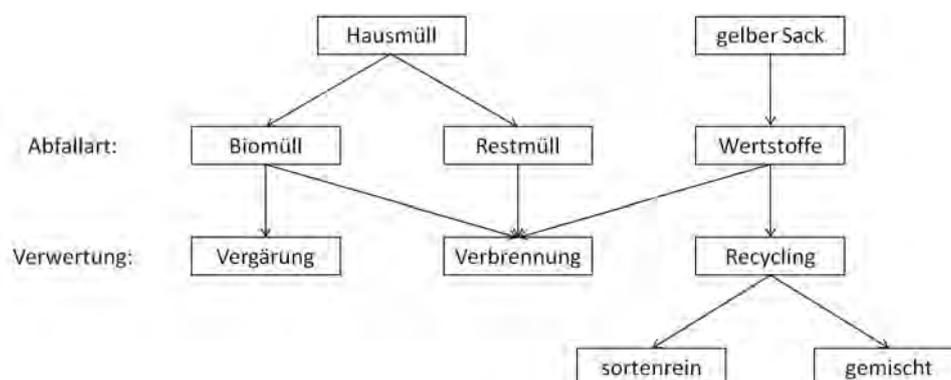


Abb. 58: Verwertungswege für Hausmüll und Wertstoffe

Die im Hausmüll enthaltenen biogenen Anteile können entweder wie bisher mit dem Restmüll verbrannt oder getrennt gesammelt und separat behandelt werden (z. B. Vergärung zur Biogaserzeugung). Die separate Sammlung und Entsorgung ist ab dem Jahr 2015 durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG12] vorgeschrieben. Bei den Wertstoffen ist entweder eine energetische Nutzung durch Verbrennung zur Erzeugung von Strom und Wärme oder zur Substitution von z. B. Schweröl in bestimmten Industrieprozessen (Rohstoffliche Verwertung) oder das Recycling (Werkstoffliche Verwertung) möglich. Beim Recycling lassen sich eine hochwertige, sortenreine Wiederverwertung, die hochwertige Kunststoffe aus den Wertstof-

fen bereit stellt, und die Verarbeitung zu Mischkunststoffen, bei welcher durch thermoplastische Verformung minderwertigere Kunststoffe produziert werden, unterscheiden. Diese beiden Verwertungswege zeigen deutlich unterschiedliche Energie- und CO₂-Einsparpotenziale auf, wie noch beschrieben wird.

Eine erste Untersuchungsvariante für den Hausmüll betrachtet das bisherige Entsorgungssystem mit einer Verbrennung des Bio- und Restmülls in einem Müllheizkraftwerk. Die Ergebnisse zur Energieerzeugung und CO₂-Emission werden einer getrennten Wärme- und Stromerzeugung gegenübergestellt, um ein CO₂-Emissions-Reduktionspotenzial ausweisen zu können.

Zur Bestimmung des Heizwertes wurde im ersten Schritt die durchschnittliche Zusammensetzung des Restmülls aus Literaturwerten ermittelt. In [Wei05] sind die in folgender Tabelle aufgeführten Angaben zur Aufteilung des Grobmülls in Sortierobergruppen gemacht. Die Bestandteile des Mittel- und Feinmülls sind in [LfU08] aufgeführt und ebenfalls in der folgenden Tabelle dargestellt. Geht man von der in der Bestandsaufnahme ermittelten Müllmenge von ca. 193 kg pro Einwohner und Jahr aus, ergeben sich die in der letzten Spalte der Tab. 20 aufgeführten Mengen auf Kilogramm pro Einwohner und Jahr heruntergerechnet.

Tab. 20: Zusammensetzung des Restmülls nach Sortierobergruppen

Sortierobergruppe	Grobmüll		Mittel/Feinmüll		Gesamt Menge [kg/(E·a)]
	Anteil [%]	Menge [kg/(E·a)]	Anteil [%]	Menge [kg/(E·a)]	
Organik	22,5	43,4	78,1	37,8	81,2
Hygieneprodukte	14,7	28,3	2,6	1,3	29,6
Papier, Pappe, Kartonagen	7,7	14,8	1,4	0,7	15,5
Kunststoffe	7,0	13,5	2,0	1,0	14,5
Glas	4,4	8,5	1,0	0,5	9,0
Inertes	2,8	5,4	2,6	1,3	6,7
Textilien	3,7	7,1	-	-	7,1
Verbunde	7,0	13,5	4,9	2,4	15,9
Holz	1,2	2,3	-	-	2,3
Metalle	2,4	4,6	3,4	1,6	6,3
Sonstige Abfallarten	1,1	2,1	4,0	1,9	4,1
Problemabfall	0,4	0,8	-	-	0,8
Feinmüll	10,9	21,0	-	-	-
Mittelmüll	14,2	27,4	-	-	-
Summe	100,0	192,8	100,0	48,4	192,8

Um aus den Abfall-Bestandteilen einen Heizenergiegehalt ermitteln zu können wurden die in [Mül00] aufgeführten Heizwerte verwendet und ein mengengewichteter, mittlerer Heizwert des Abfalls von 9.104 kJ/kg berechnet (s. Tab. 21).

Tab. 21: Mengen und Heizwerte nach Sortierobergruppe

Sortierobergruppe	Menge [kg/(E·a)]	Heizwert [kJ/kg]	Heizenergiegehalt [MJ/(E a)]
Organik	81	6.617	537
Hygieneprodukte	30	12.369	366
Papier, Pappe, Kartonagen	16	10.283	160
Kunststoffe	14	22.055	319
Glas	9	-48	0
Inertes	7	-71	0
Textilien	7	14.712	105
Verbunde	16	11.813	187
Holz	2	14.834	34
Metalle	6	-190	-1
Sonstige Abfallarten	4	11.562	47
Problemabfall	1	2.529	2
gewichteter Mittelwert:		9.104	
Summe:	193		1.755

Der gemittelte Heizwert liegt im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte von 8.000 bis 11.000 kJ/kg und ist somit plausibel. In der anfallenden Müllmenge ist somit eine nutzbare Heizenergie von 1.755 MJ pro Einwohner und Jahr enthalten. Nach Angabe des Kraftwerksbetreibers des Müllheizkraftwerks Ulm beträgt der Gesamtwirkungsgrad der Anlage ca. 60 %. Dieser setzt sich zusammen aus einem thermischen Wirkungsgrad von 42 % und einem elektrischen Wirkungsgrad von 18 %, welche aus den Erzeugungsdaten des Jahres 2012 ermittelt wurden.

Aus der Müllmenge, dem mittleren Heizwert und den Anlagenwirkungsgraden lässt sich eine Wärmeproduktion von 737 MJ/(E a) und eine Stromproduktion von 316 MJ/(E a) aus dem Restmüll eines Einwohners pro Jahr abschätzen. Diese Werte auf das Untersuchungsgebiet hochgerechnet ergeben eine Wärmemenge von 423 MWh/a und eine Strommenge von 181 MWh/a. Dabei wird eine CO₂-Menge von 163 t/a emittiert, wobei davon nur ca. 50 % also 82 t/a als nicht regenerativer Anteil anzusetzen sind, da die biogenen Anteile ca. 50 % betragen und somit als CO₂-neutral betrachtet werden können. Als Referenz wurde die getrennte Erzeugung von Wärme und Strom betrachtet. Bei der Erzeugung der gleichen Wärmemenge aus Gas in einem Heizwerk oder Gaskessel fallen ca. 85 t/a an CO₂ an. Diese stellt im Vergleich zu anderen Wärmeerzeugungsmöglichkeiten (Kohle, Öl etc.) eine bereits CO₂-arme Wärmeproduktion dar. Für die Produktion der gleichen Strommenge wird beim derzeitigen deutschen Strommix eine CO₂-Menge von 99 t/a emittiert. Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich also eine CO₂-Einsparung von ca. 102 t/a. Der Vorteil der Müllverbrennung liegt also weniger in der Reduktion der CO₂-Emissionen als in der Entsorgung der Abfälle, so dass im Vergleich zu den anderen CO₂-Einsparpotenzialen die Müllverbrennung einen geringen Stellenwert hat. Eine Steigerung der Effizienz und damit der Reduktion der CO₂-Emissionen könnte im betrachteten MHKW noch zu Verbesserungen führen.

Eine zweite Untersuchungsvariante für den Hausmüll betrachtet die Verbrennung des Restmülls und eine separate Entsorgung des Biomülls. Hierfür wurde die gleiche Abschätzung wie oben für den Hausmüll durchgeführt, wobei jedoch der Anteil an Biomüll (Sor-

tierobergruppe Organik) nicht berücksichtigt wurde. Der mittlere Heizwert des Abfalls steigt durch den Wegfall der biogenen Anteile auf 10.913 kJ/kg. Die einwohnerbezogenen Restmüllmenge sinkt aufgrund des hohen Organikanteils auf 112 kg/(E a). Es lässt sich eine Wärmemenge von 512 MJ/(E a) und eine Stromproduktion von 219 MJ/(E a) aus dem Restmüll eines Einwohners pro Jahr abschätzen. Diese Werte auf das Untersuchungsgebiet hochgerechnet ergeben eine Wärmemenge von 294 MWh/a und eine Strommenge von 126 MWh/a. Dabei wird eine CO₂-Menge von 113 t/a emittiert, wobei nur ca. 95 t/a als nicht regenerativer Anteil anzusetzen sind. Bei der Erzeugung der gleichen Wärmemenge aus Gas fallen ca. 59 t/a an CO₂ an. Für die Produktion der gleichen Strommenge wird beim derzeitigen deutschen Strommix eine CO₂-Menge von 69 t/a emittiert. Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich also eine CO₂-Einsparung durch thermische Verwertung des Organik freien Restmülls von ca. 32 t/a.

Für den Biomüll wird eine getrennte Sammlung und Entsorgung angenommen, welche ab dem Jahr 2015 zur Pflicht wird. Dabei wird eine Erzeugung von Biogas und die Nutzung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Erzeugung von Wärme und Strom betrachtet. In [Ker10] wird der Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung betrachtet. Die folgenden Abschätzungen orientieren sich an diesen Untersuchungen bzw. verwenden deren Ergebnisse. Der Biomüll eignet sich besonders für eine anaerobe Vergärung, welche derzeit schon vielerorts zum Einsatz kommt und deren Anzahl weiter zunimmt. Das Bundesumweltministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wünscht eine Ausweitung der Bioabfallsammlung und eine verbesserte Nutzung der Ressourcen in Vergärungsanlagen. Die eingesetzten Vergärungsverfahren lassen sich in zwei Kategorien nämlich kontinuierliche (K) und diskontinuierliche (D) Verfahren einteilen. Bei den kontinuierlichen Verfahren gibt es je nach Gehalt an Trockensubstanz (TS) eine Nassfermentation (NF) oder eine Trockenfermentation (TF). Die diskontinuierlichen Verfahren setzen nur eine Trockenfermentation ein (s. folgende Abb. 59)

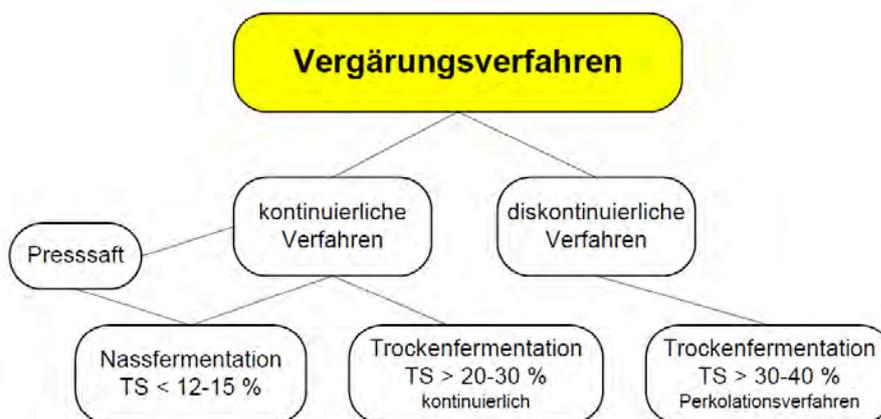


Abb. 59: Übersicht zu Vergärungsverfahren [Ker10]

Jedes Vergärungsverfahren weist unterschiedliche Gaserträge auf. In Abhängigkeit von Verfahren und dem verwendeten Substrates (Input) entstehen bei der Vergärung zwischen 80 und 130 Nm³ Biogas pro Tonne Bioabfall. Der untere Heizwert des Biogases liegt je nach Methananteil zwischen 5,0 und 7,5 kWh/Nm³. Die mittleren spezifischen Gaserträge der Vergärungsanlagen sowie die mittleren Netto-Wärme- und Stromerträge von üblicherweise in Verbindung mit Biogasanlagen betriebenen Blockheizkraftwerken sind für die unterschiedlichen Anlagentypen in der folgenden Grafik Abb. 60 dargestellt.

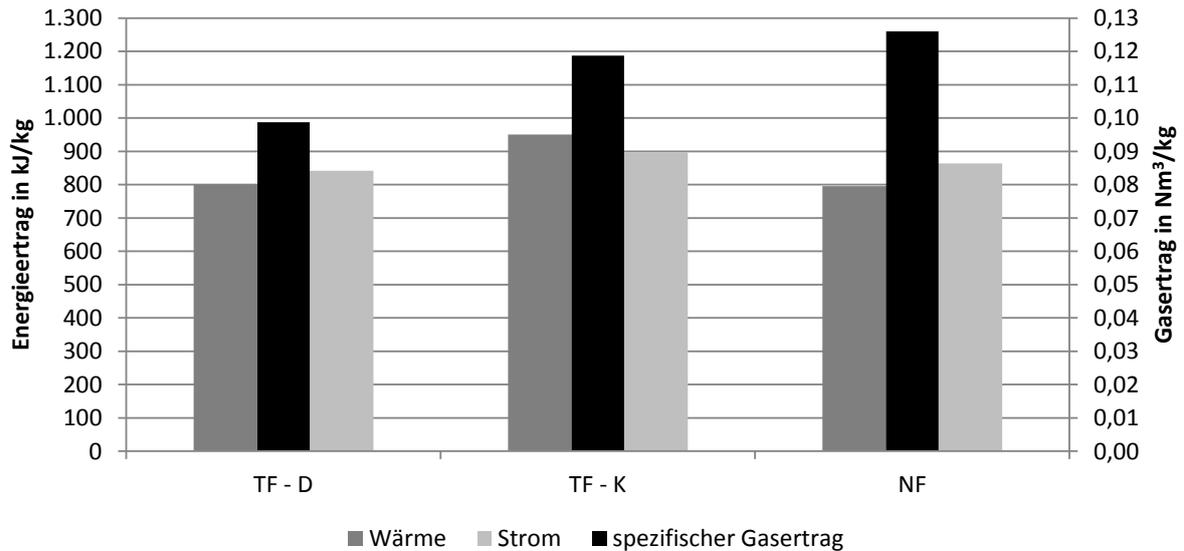


Abb. 60: Energie- und Gasertrag verschiedener Arten von Vergärungsanlagen

Die auf das Untersuchungsgebiet hochgerechneten Energieerträge pro Jahr und der aus den drei Anlagentypen gebildete Mittelwert sind in der folgenden Grafik Abb. 61 dargestellt. Dabei wurde nur die sich aus der Abfallzusammensetzung ergebende Menge an Biomüll (Ober-sortiergruppe Organik) von ca. 81 kg/(E a) berücksichtigt (siehe Tab. 21).

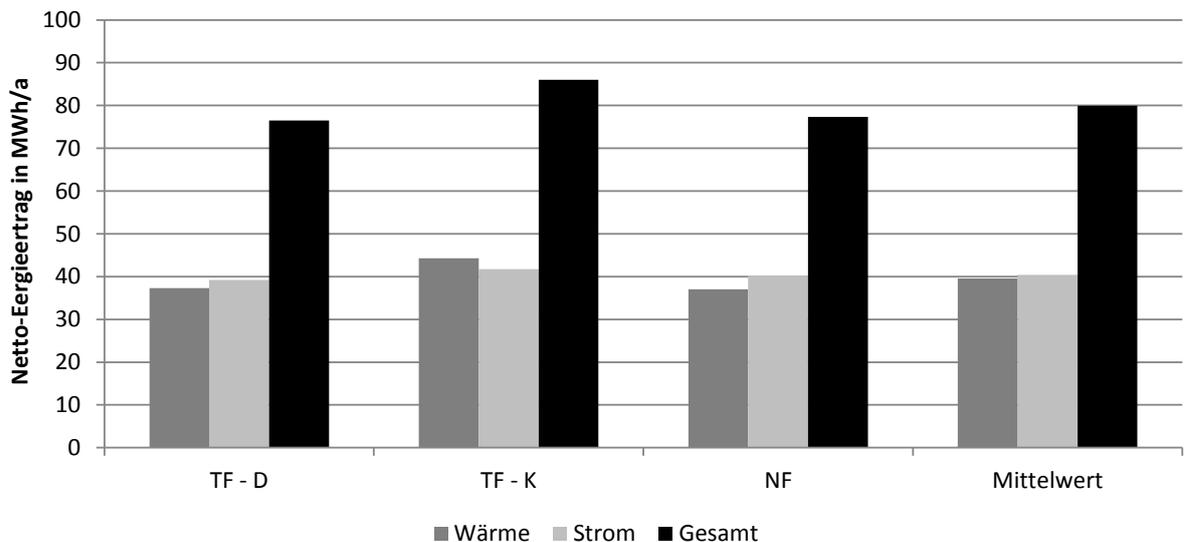


Abb. 61: Nettoenergieertrag verschiedener Arten von Vergärungsanlagen

Es ist zu erkennen, dass in etwa die gleiche Menge an Wärme und Strom produziert wird. Dabei sind die Eigenverbräuche der Anlagen (Wärme für Fermenter und Strom zum Anlagenbetrieb) bereits berücksichtigt, so dass hier die tatsächlich abgegebene Netto-Energiemenge dargestellt ist. Geht man davon aus, der Biomüll CO₂-neutral ist, da die darin enthaltenen Pflanzen die CO₂-Menge, die bei der Gasverbrennung emittiert wird, vorher der Atmosphäre entzogen haben, kann durch diese Nutzung im Vergleich zur oben bereits herangezogenen separaten Erzeugung von Wärme und Strom ca. 30 t/a an CO₂ eingespart werden. Für die Untersuchungsvariante „Restmüllverbrennung & separate Biomüllverwertung“ ergibt das eine gesamte Einsparung von ca. 62 t_{CO2}/a.

In der folgenden Tab. 22 sind die CO₂-Einsparungen für die beiden Entsorgungsvarianten dargestellt.

Tab. 22: Vergleich der CO₂-Einsparungen durch Müllverwertung in t_{CO2}/a

Entsorgungsvariante:	CO ₂ -Einsparung gegenüber Wärme aus Gas in t _{CO2} /a
Müllverbrennung	102
Restmüllverbrennung & separate Biomüllverwertung	62

Es ist zu erkennen, dass die separate Biomüllverwertung keine Vorteile bringt, wenn alleine die erzeugbaren Energien betrachtet werden. Die Energiegehalte (Heizwert) und die aus der Biomasse gewinnbaren Gasmengen hängen jedoch stark von der Zusammensetzung und dem Anteil an organischen Bestandteilen ab, wofür es keine lokalen Daten des Untersuchungsgebietes vorlagen.

Es besteht bei der separaten Biomüllverwertung jedoch neben der Nutzung zur Energiegewinnung auch noch die Möglichkeit der stofflichen Nutzung der Gärreste. Diese können als Dünger weiterverwendet werden und damit Kunstdünger, der energieintensiv produziert werden muss, substituieren, oder verbrannt werden (was aber hier nicht betrachtet wird). Eine Betrachtung der dadurch möglichen CO₂-Reduktionen konnte in diesem Projekt aufgrund der hohen Komplexität nicht durchgeführt werden. Es gewinnt dadurch jedoch die separate Biomüllverwertung an Bedeutung.

Für die Wertstoffe wurden ebenfalls verschiedene Entsorgungswege untersucht. Zum einen das vollständige Wertstoffrecycling in zwei unterschiedlichen Ausprägungen (Werkstoffliche Verwertung der Kunststoffe) und alternativ eine rein thermische Verwertung.

Prinzipiell kann die Verwertung der Kunststoffe in eine werkstoffliche, rohstoffliche und energetische Nutzung unterteilt werden. Bei der werkstofflichen Nutzung werden aus den recycelten Kunststoffen neue Kunststoffe produziert. Diese können entweder minderwertigere Mischkunststoffe oder hochwertige, sortenreine Kunststoffe sein. Eine rohstoffliche Nutzung bedeutet, dass die Kunststoffe andere fossile Brennstoffe z. B. Schweröl in Hochöfen substituieren. Bei der energetischen Nutzung werden die Wertstoffe verbrannt und Wärme und Strom erzeugt. Wertstoffe wie Glas oder Metall werden wieder zu neuen Glas- oder Metallprodukten verarbeitet.

Die folgende Tab. 23 zeigt die Aufteilung der Verwertungswege der Leichtverpackungen (LVP) aus dem Dualen-System Deutschlands aus dem Jahr 2010 [Sch12]. Für die ersten beiden Untersuchungen wurde für eine überwiegend werkstoffliche Verwertung der LVP angenommen, dass der Anteil, der derzeit energetisch genutzt wird, sich anteilig auf die werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung aufteilt. Die rohstoffliche Verwertung wird weiter mit berücksichtigt, da ihr Abzug aus dieser Nutzung den Einsatz anderer fossiler Rohstoffe zur Folge hätte. Dadurch ergibt sich ein Anteil von 79 % werkstofflicher und 21 %rohstofflicher Verwertung.

Tab. 23: Verteilung der Wertstoffmengen auf die unterschiedlichen Verwertungswege

Verwertungsweg	Insgesamt	Werkstoffliche Verwertung	Rohstoffliche Verwertung	Energetische Nutzung
Menge [kt]	976	372	97	507
Verteilung [%]	100	38	10	52
Menge [kt]	976	773	203	-
Verteilung [%]	100	79	21	-

In der ersten Untersuchungsvariante wurde eine hochwertige, sortenreine Wiederverwertung der Kunststoffe betrachtet. Dabei wurden aus der Literatur die Energieeinsparungen des Sekundär- im Vergleich zum Primärprozess ermittelt (Differenz des kumulierten Energieaufwandes KEA).

Für die LVP ergeben sich folgende Einsparungen in kJ pro kg LVP.

Tab. 24: Zusammenstellung der Einsparungen durch sortenreine Wiederverwertung in kJ pro kg LVP

Kunststoffart	sortenreine werkstoffliche Verwertung	Rohstoffliche Verwertung	Gesamte spezifische Einsparung
HDPE	53.612	9.680	63.292
LDPE	57.186	9.680	66.866
PET	73.464	6.809	80.273
PVC	30.765	4.308	35.073

Für die Nicht-LVP konnten folgende Werte aus der Literatur entnommen werden [Sch13].

Tab. 25: Zusammenstellung der Energieeinsparung je Wertstoffart

Wertstoffart	Energieeinsparung in kJ/kg
Metallverpackungen	49.039
Verpackungsverbunde	25.516
Styropor	21.500
Metalle/Schrott	49.039
Glas	3.400
Papier/Pappe	24.000

Werden diese Einsparungen mit den entsprechenden Wertstoffmengen aus der Grundlagenermittlung verrechnet und aufsummiert, ergibt sich eine jährliche Energieeinsparung durch die aufgeführten Wertstoffe bei einer hochwertigen Verwertung der Kunststoffe von 2.770 MWh. Analog hierzu wurde eine Betrachtung für eine Verwertung der Kunststoffe zu minderwertigeren Mischkunststoffen durch thermoplastische Verformung durchgeführt.

Für die LVP ergeben sich dann folgende Einsparungen in kJ pro kg LVP.

Tab. 26: Zusammenstellung der Einsparungen durch Verwertung der Kunststoffe zu minderwertigeren Mischkunststoffen in kJ pro kg LVP

Kunststoffarten	gemischte werkstoffliche Verwertung	Rohstoffliche Verwertung	Gesamte spezifische Einsparung
HDPE	8.775	9.680	18.455
LDPE	8.985	9.680	18.665
PET	8.897	6.809	15.706
PVC	8.887	4.308	13.195

Die Energieeinsparungen bei der Verwertung der anderen Wertstoffe verändern sich dadurch nicht. Die jährliche Energieeinsparung beläuft sich dann noch auf 2.290 MWh bei nicht sortenreiner Verwertung der Kunststoffe, aber für alle Wertstoffe. Folglich ist eine sortenreine Verwertung der Kunststoffe zu hochwertigen Sekundärstoffen vorzuziehen.

Im Vergleich dazu wurde eine Betrachtung durchgeführt, bei der angenommen wird, dass alle Wertstoffe einer thermischen Verwertung zugeführt werden.

Hierzu wurden folgende Heizwerte angesetzt.

Tab. 27: Zusammenstellung unterer Heizwerte der Wertstoffe

Wertstoffart	Unterer Heizwert in kJ/kg
Becher/Blister (HDPE)	11.813
Folien (LDPE)	22.055
Kunststoff (PET)	22.055
Sonst. Kunststoffe (PVC)	22.055
Metallverpackungen	-190
Verpackungsverbunde	11.813
Styropor	22.055
Metalle/Schrott	-190
Glas	-48
Papier/Pappe	10.283

Unter Annahme der thermischen Verwertung in dem oben beschriebenen Heizkraftwerk ergeben sich dann eine erzeugbare Strommenge von 156 MWh/a und eine Wärmemenge von 365 MWh/a. Die Gesamtenergieerzeugung ist mit 522 MWh/a deutlich kleiner (Faktor 4-5,5) als die Gesamtenergieeinsparung bei den beiden vorherigen Betrachtungen (Recycling zu hochwertigen Kunststoffen 2.770 MWh & minderwertigeren Mischkunststoffen 2.290 MWh). Somit ist rein energetisch betrachtet das sortenreine Recycling der Wertstoffe die beste Verwertungsmöglichkeit. Diese ergibt unter der Annahme einer CO₂-Emission zwischen 300 und 550 kg_{CO2}/MWh für die Wertstoffproduktion eine Einsparung von ca. 800 bis 1500 t_{CO2}/a.

Aufgrund des deutlichen Vorteils des sortenreinen Recyclings wurde auf eine Betrachtung der gesamten CO₂-Bilanz verzichtet. Stattdessen wird nur ein Vergleich der beiden Kunststoffverwertungsverfahren angestellt. In [DeC12] werden Untersuchungen zu verschiedenen Verwertungswegen dargestellt. Darin sind auch Global-Warming-Potenziale (GWP) aufgeführt. Die sortenreine Verwertung der Kunststoffe hat dabei ein um 0,6 kg_{CO2eq}/kg niedrigeren

GWP als die thermoplastische Verformung zu Mischkunststoffen. Das bedeutet unter der Annahme einer rein werkstofflichen Verwertung der jährlichen Kunststoffmenge im Untersuchungsgebiet von ca. 48,2 t eine maximale Reduzierung des GWP um ca. 28,7 t_{CO₂eq}/kg.

Eine detaillierte Untersuchung zu Abfallverwertungsszenarien ist in der vom Umweltministerium herausgegebenen Studie [UBW06] zu finden.

II.1.9 Potenziale im Bereich Gebäudehülle

Das in Abschnitt II.1.3.2 beschriebene Modell konnte aus zeitlichen Gründen nicht mehr in der Breite angewendet werden. Hier muss kritisch festgestellt werden, dass der Aufwand zur Erstellung eines konsistenten Modells das verfügbare Budget bei weitem überstieg. Dennoch bildet das Modell eine solide Plattform für weitergehende detaillierte Analysen. Um den erforderlichen Prozess in der Stadt zu unterstützen, wurden nach Gebäudetypen kategorisierte Optimierungsszenarien entwickelt. Diese sind in Abschnitt II.1.6 dokumentiert.

II.1.10 Potenzial im Bereich Geothermie

II.1.10.1 Oberflächennahes geothermisches Potenzial

II.1.10.1a Physikalisches Potenzial

Die Fläche des Altstadtbereiches von Biberach an der Riß beträgt laut dem Geoinformationssystem der Stadt Biberach 279.000 m². Bezogen auf diese Fläche stehen - rein physikalisch betrachtet - die in Tab. 28 angegebenen Leistungen und jährlichen Energiemengen oberflächennaher geothermischer und anderer im oberflächennahen Untergrund liegender Quellen zur Verfügung. Die Energiemengen entsprechen den reinen Entzugsenergien, die der jeweiligen Quelle entnommen werden können, wenn diese jeweils über die gesamte Altstadtfläche nutzbar wären ohne Beschränkung durch Bebauung, Infrastruktur usw. Die Energie, die für den Antrieb entsprechender Wärmepumpensysteme nötig ist, ist von vielerlei Faktoren abhängig und hierbei zunächst ebenfalls nicht betrachtet.

Weiterhin sind die aufgeführten energetischen Potenziale der einzelnen Quellen nicht durchgängig additiv zu sehen, d. h. ihre Nutzung an einem Ort (einer Teilfläche) schließt sich bereits auf der physikalischen Ebene zum Teil gegenseitig aus. Beispielsweise kann die im oberflächennahen Untergrund enthaltene Wärme diesem nur einmal entzogen werden, z. B. entweder durch Grundwasserbrunnen oder durch Erdwärmekollektoren/-körbe.

Abhängig vom Temperaturniveau der jeweiligen Quelle und eventueller Nutzungen können die meisten der in Tab. 28 aufgeführten thermischen Quellen auch als Wärmesenken für Kühlzwecke herangezogen werden. Grundsätzlich hierfür geeignet sind Niederschläge, Grundwasser, Oberflächenwasser sowie Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren/-körbe. Eine Wärmeeinleitung in die Trinkwasserversorgung ist dagegen i. d. R. auszuschließen, da eine Erwärmung aus hygienischen Gründen unerwünscht ist. Die Leistungsfähigkeit und Erergiebigkeit (Jahresenergie) der dafür geeigneten Quellen liegt bei der Kühlung (Wärmeeintrag) grundsätzlich in derselben Größenordnung wie beim Wärmeentzug. Ein Wechselspeicherbetrieb aus Wärmeeintrag und Wärmeentzug ist in vielen Fällen vorteilhaft.

Tab. 28: Physikalisches Leistungs- und Energiepotenzial geothermischer und anderer Quellen im Altstadtgebiet von Biberach bei Wärmeentzug/Wärmegewinnung

Quelle	spezifische Dauerleistung	mittlere Leistung [MW]	Jahresenergie [MWh/a]	Anmerkungen
Solare Einstrahlung	115 W/m ² (Spitzenleistung: 1000 W/m ²)	32,1 (Spitzenleistung: 279)	281.000	spezifische Werte sind Mittelwerte für Deutschland
Geothermische Wärmestromdichte	0,08 W/m ²	0,022	196	geologische Randbedingung für Ulm gemäß [EED]
Niederschläge	0,35 W/m ²	0,1	850	bei 3 K Temperaturänderung
Erdwärmesonden (EWS)	5 W/m _{EWS} (Spitzenleistung: 40 W/m _{EWS})	0,57 (Spitzenleistung: 4,4)	5.000	34 x 34 EWS mit 16 m Abstand à 100 m Tiefe
Erdwärmekollektoren/-körbe	6 W/m ² (Spitzenleistung: 25 W/m ²)	1,7 (Spitzenleistung: 7)	14.000	2000 h/a Betrieb
Thermische Nutzung von Grundwasser	0,75 W/m ² (Spitzenleistung: 3 W/m ²)	0,2 (Spitzenleistung: 0,8)	1.770	nachhaltig regenerativ gemäß Poppei [POP13]
Thermische Nutzung von Trinkwasser (Reinwasser Lindele)	1,17 kW/(m ³ /h)	0,174	1.530	bei 1 K Temperaturänderung (1.309.953 m ³ /a)
Thermische Nutzung von Trinkwasser (Reinwasser Altstadt)	1,17 kW/(m ³ /h)	0,018	158	bei 1 K Temperaturänderung (135.432 m ³ /a)
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (oberer Stadtbach)	6,3 kW/(l/s)	0,095	828	15 l/s bei 1,5 K Temperaturänderung
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (unterer Stadtbach)	6,3 kW/(l/s)	0,2	1.770	32 l/s bei 1,5 K Temperaturänderung
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (Ratzengraben)	6,3 kW/(l/s)	2,17	19.040	345 l/s bei 1,5 K Temperaturänderung
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (Riß ohne Rotbach)	6,3 kW/(l/s)	9,2	80.630	1.461 l/s bei 1,5 K Temperaturänderung

Obwohl es sich bei der solaren Einstrahlung nicht direkt um eine geothermische Quelle handelt, wird der Vollständigkeit halber das physikalische Potenzial für das Altstadtquartier angegeben. Die energetische Leistungsfähigkeit und energetische Ergiebigkeit direkt unter der Erdoberfläche liegender geothermischer Quellen (Erdwärmekollektoren/-körbe, Grundwasserbrunnen) sowie deren Wärmeregeneration sind hauptsächlich auf die solare Einstrahlung und die Versickerung von Niederschlägen zurückzuführen.

Der geothermische Wärmestrom stellt die geologische Randbedingung dar und strömt über das gesamte Jahr konstant aus dem Erdinneren an die Erdoberfläche. Die Niederschlagsmenge in Biberach entspricht dem jährlichen Mittelwert langjähriger Messreihen, die vom Labor für Wasserbau der Hochschule Biberach durchgeführt worden sind. Da im Altstadtbe-

reich von Biberach der Grundwasserspiegel mit ca. 2 m unter Geländeoberkante (uGOK) relativ hoch liegt, kann von maximal möglichen Leistungen und Energieerträgen bei Erdwärmekollektoren/-körben ausgegangen werden. Diese Systeme sind auf eine direkte Regeneration durch die Erdoberfläche angewiesen, weshalb bei der Ermittlung der Energien nur mit ca. 2000 Vollbenutzungsstunden zu rechnen ist. Ihr Einfluss auf die Temperatur des Grundwassers und die sich daraus ergebenden Temperaturfahnen ist aufgrund ihrer Tiefenlage (ca. 1,5 m uGOK) nicht so stark ausgeprägt. Ähnliches gilt für die thermische Nutzung von Grundwasser. Um das Grundwasserreservoir langfristig nicht auszukühlen und die gegenseitige Beeinflussung der Brunnen zu verhindern, kann bei der Ermittlung der Energien nur mit ca. 2200 Vollbenutzungsstunden gerechnet werden. Für die Bestimmung des physikalischen Potenzials von Erdwärmesonden wird ein quadratisches Sondenfeld mit 16 m Abstand und einer Sondentiefe von 100 m betrachtet. Um die Temperaturgrenzvorgaben aus [VDI46402] auch nach 50 Jahren noch einzuhalten, wird für die Energieermittlung von einer jährlichen Vollbenutzungsdauer von ca. 1200 h ausgegangen. Bei der thermischen Nutzung von Trinkwasser sowie Oberflächenwasser kann von einem relativ konstanten Wasserfluss über das gesamte Jahr ausgegangen werden. Die ermittelten Energien entsprechen der gesamten Jahresenergie (8760 h).

In Abb. 62 ist das physikalische regenerative energetische Potenzial der untersuchten oberflächennahen geothermischen und anderen Wärmequellen in der Biberacher Altstadt dargestellt. Der prozentuale Anteil wird dabei stets auf den Endenergie-Wärmebedarf der Altstadt für Trinkwarmwasser und Heizung von Haushalten (HH), Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) und den öffentlichen Gebäuden (öG) bezogen. Daraus wird ersichtlich, dass der thermischen Nutzung von Oberflächenwasser generell das höchste physikalische, d. h. theoretische Potenzial zuzuschreiben ist.

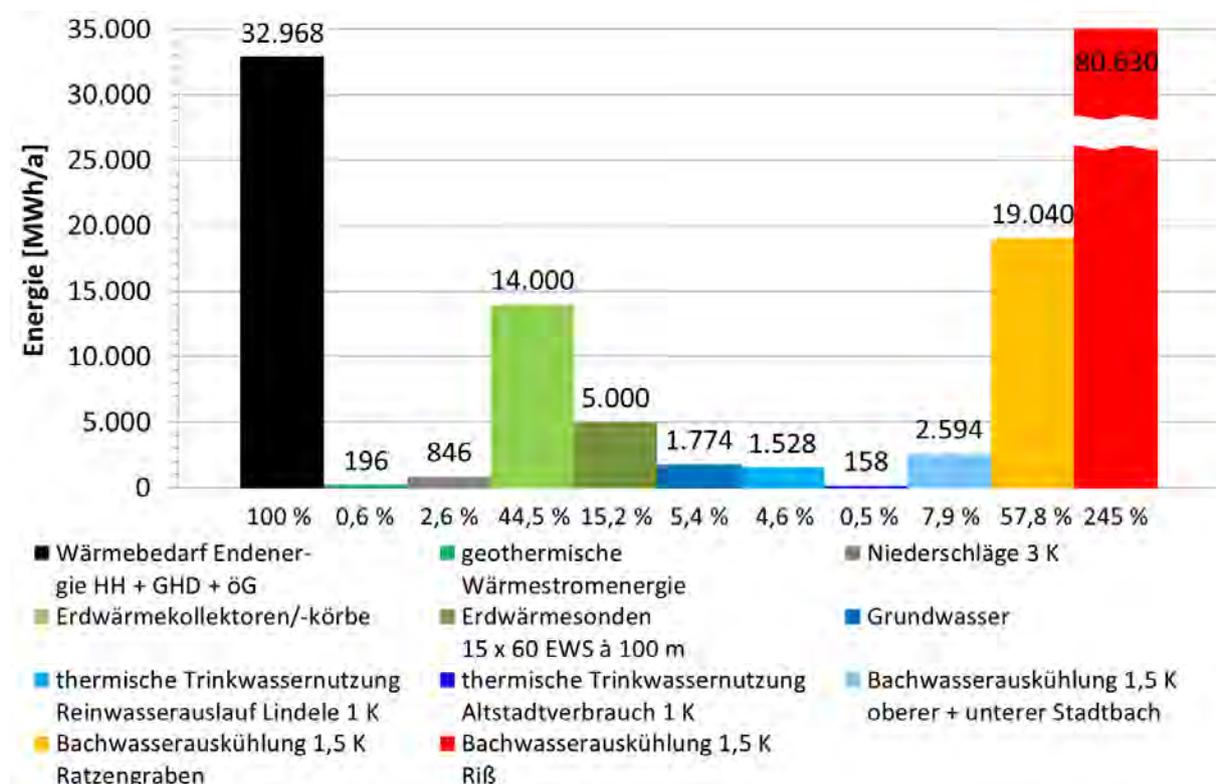


Abb. 62: Physikalisches Energiepotenzial geothermischer und weiterer oberflächennaher Wärmequellen im Altstadtbereich von Biberach

II.1.10.1b Technisch maximal nutzbares Potenzial

Da das physikalische Potenzial technisch nicht komplett genutzt werden kann, sind im Folgenden die technisch maximal nutzbaren Potenziale der jeweiligen Quellen abgeschätzt. Die errechneten Entzugsenergien stellen die technisch maximal mögliche Ausschöpfung des physikalischen Potenzials ohne Berücksichtigung eines, z. B. saisonal variierenden Wärmebedarfs oder evtl. Einschränkungen aufgrund der Nutztemperatur dar. Ob die erzeugte Wärme zeitgleich komplett genutzt werden kann, muss anhand der Wärmebedarfs- bzw. Wärmeverbrauchscharakteristik (Höhe und zeitliche Verteilung, benötigte Nutztemperaturniveaus) der Biberacher Altstadt bewertet werden. Ferner ist zu berücksichtigen, dass die aufgeführten technischen Potenziale nicht durchgängig additiv zu sehen sind (vgl. Ausführungen zu den zugrunde liegenden physikalischen Potenzialen).

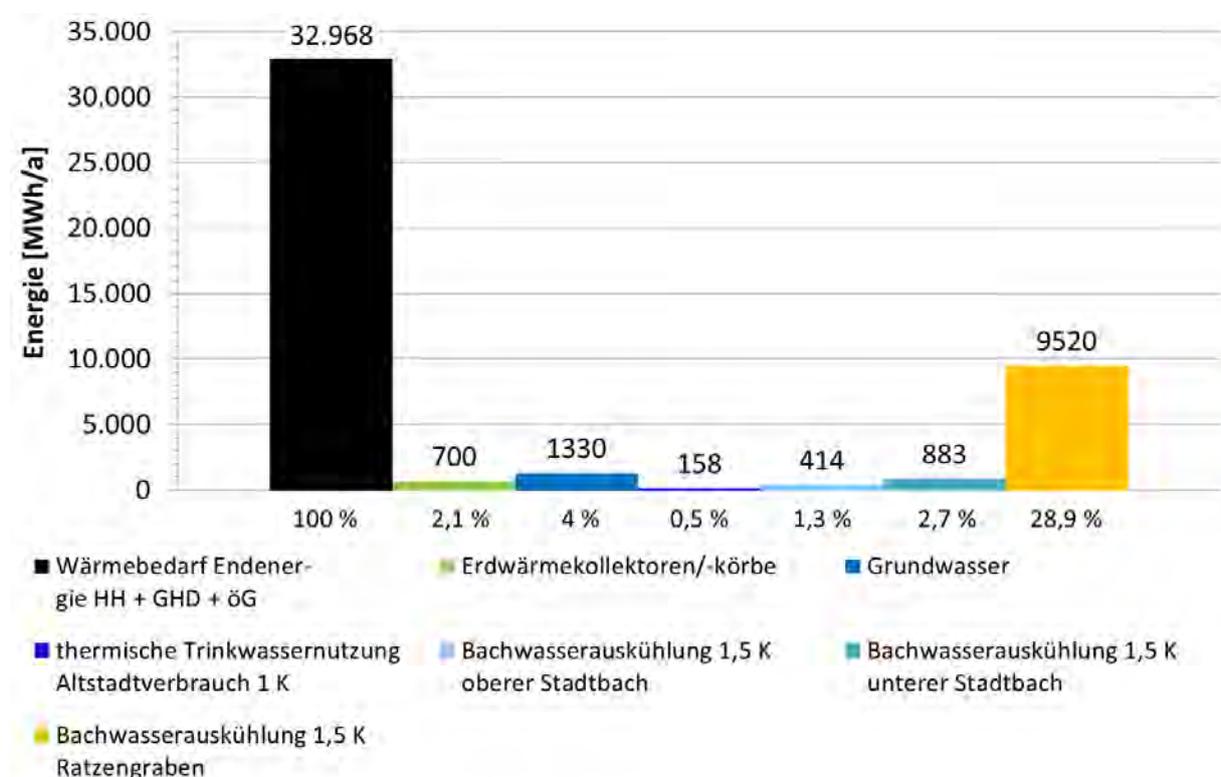


Abb. 63: Technisch maximal nutzbares Potenzial der oberflächennahen geothermischen Quellen im Altstadtquartier von Biberach

Geothermischer Wärmestrom

Der geothermische Wärmestrom ist technisch nicht direkt nutzbar. Sein Betrag fließt aber in andere geothermische Wärmequellen ein.

Niederschläge

Die thermische Energie von Niederschlägen, die direkt im Untergrund versickern oder in Oberflächengewässern abgeleitet werden, fließt in die energetischen Potenziale der thermischen Oberflächenwassernutzung als auch anderer oberflächennaher geothermischer Wärmequellen mit ein. Bei Ableitung in eine Abwasserkanalisation ist sie Teil des dortigen Potenzials.

Daneben ist in speziellen individuellen Anwendungen die energetische Nutzung von aufgefangenem Niederschlagswasser möglich, z. B. zur Kühlung. Dies steht allerdings im Zusammenhang mit zu entwässernden versiegelten Flächen (Dächern) und technischen Speichern (Zisternen) und stellt damit keine Energiequelle im natürlichen Untergrund dar, weshalb Niederschläge bei den thermischen nutzbaren Energiepotenzialen des Untergrunds hier nicht weiter berücksichtigt werden.

Erdwärmekollektoren/-körbe

Eine geothermische Nutzung mittels Erdwärmekollektoren bzw. -körben kann im Altstadtgebiet allenfalls individuell und punktuell erfolgen. Die Gründe hierfür sind zum einen die nur spärlich zur Verfügung stehenden unversiegelten Freiflächen und zum anderen die Beschränkungen im Bodeneingriff durch archäologischen Denkmalschutz (vgl. Abschnitt II.1.4.2a). Es wird von maximal 5 % des physikalischen Potenzials ausgegangen (was immer noch eine optimistische Annahme darstellt). Damit ergeben sich folgende Werte:

Spitzenleistung: 0,35 MW; Dauerleistung: 0,084 MW; Entzugsenergie: 700 MWh/a.

Erdwärmesonden

Aufgrund der Bohrtiefenbeschränkung (vgl. Abschnitt II.1.4.2a) im Altstadtgebiet kann mittels Erdwärmesonden kein energetisch sinnvoller geothermischer Ertrag erzielt werden, weshalb es hier kein nennenswertes technisch nutzbares Potenzial gibt.

Thermische Nutzung von Grundwasser

Die in Tab. 29 genannten Entzugsleistungen und -energien gelten nur bei einer standortoptimierten Anordnung der Grundwasserbrunnen. Aufgrund der Bebauungsdichte und bereits vorhandener Anlagen sowie lokaler Bohrbeschränkungen und evtl. Altlasten (Grundwasserunreinigungen) wird eine optimale Anordnung zukünftiger Anlagen bestenfalls bedingt möglich sein. Als technisch maximal nutzbares Potenzial wird deshalb von 75 % des physikalischen Potenzials ausgegangen. Damit ergeben sich folgende Werte:

Spitzenleistung: 0,6 MW; Dauerleistung: 0,15 MW; Entzugsenergie: 1.330 MWh/a.

Bei Nutzung des Grundwassers als Wärmequelle ergeben sich trotz der nahezu konstanten Quellentemperatur aufgrund der Abhängigkeit von der Heizsystemvorlauftemperatur unterschiedliche Jahresarbeitszahlen (*JAZ*) und damit verschiedene Heiz- und Antriebsenergien des erforderlichen Wärmepumpensystems. Im Folgenden werden ausschließlich elektrisch angetriebene Kompressionswärmepumpen betrachtet (Tab. 29). Deren *JAZ* wurde vereinfacht mit 90 % des Coefficient of Performance (*COP*) angesetzt. Der *COP* wird gemäß Gleichung (4) mit 50 % des Carnot-Wirkungsgrades abgeschätzt. Eine genauere Abschätzung für konkrete Anlagen könnte z. B. nach VDI 4650 erfolgen.

$$JAZ \approx 0,9 \cdot COP = 0,9 \cdot 0,5 \cdot \varepsilon_C = 0,45 \cdot \frac{T_{\max}}{(T_{\max} - T_{\min})} \quad (4)$$

Tab. 29: Wärmeentzugs-, Antriebs- und Heizenergie von Kompressionswärmepumpen in Abhängigkeit der Heizsystemtemperatur bei Grundwassernutzung im Altstadtquartier Biberach

Quellentemperatur	Heizsystemtemperatur	JAZ	Entzugsenergie	Heizenergie	Antriebsenergie
[°C]	[°C]	[-]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
5	30	5,5	1330	1629	299
5	35	4,6	1330	1698	367
5	40	4,0	1330	1770	440
5	45	3,6	1330	1846	516
5	50	3,2	1330	1927	596
5	55	3,0	1330	2012	681
5	60	2,7	1330	2101	771

Zur Bestimmung des effektiven Anteils erneuerbarer Energie an der von Wärmepumpenanlagen gelieferten Erzeuger-Nutzwärmeabgabe (Heizenergie in Tab. 29) ist der Primärenergieaufwand der Antriebsenergie zu berücksichtigen. Dies erfolgt mit Gleichung (5). Darin sind e_P die primärenergetische Jahres-Anlagenaufwandszahl, f_P der Primärenergiefaktor der Antriebsenergie (elektrischer Strom bei Kompressionswärmepumpen) und e die endenergetische Jahres-Anlagenaufwandszahl der Wärmeherstellungsanlage (Kehrwert von JAZ).

$$1 - e_p = 1 - \frac{f_p}{JAZ} = 1 - f_p \cdot e \quad (5)$$

Welcher Wert für f_P im Falle von Strom als Antriebsenergie für die Wärmepumpe verwendet wird, ist Gegenstand kontroverser Diskussionen. Legt man den durchschnittlichen Strom-Mix Deutschlands zugrunde, sind die in der Energieeinsparverordnung EnEV anzusetzenden Primärenergiefaktoren für Strom ansetzbar, die ausschließlich den nicht-erneuerbaren Primärenergieaufwand im Strom-Mix beinhalten (derzeit: 2,4, ab 1.1.2016: 1,8). Dem ist entgegenzuhalten, dass der Einsatz elektrisch angetriebener Wärmepumpen als Ersatz für konventionelle Heizkessel zu einem zusätzlichen Stromverbrauch führt, der (zunächst) durch konventionelle Kraftwerke gedeckt werden muss. Für diese kann als gute Näherung der für den Gesamt-Primärenergieaufwand (nicht-erneuerbar + erneuerbar) der Stromerzeugung in Deutschland geltende Primärenergiefaktor angesetzt werden (bisher: 3,0, neuerdings: 2,8). Solange keine signifikanten Überschüsse an aus erneuerbaren Energiequellen erzeugtem Strom während der Heizperiode zuverlässig vorliegen, wird empfohlen den Gesamtprimärenergieaufwand ($f_P = 3,0$ bzw. 2,8) anzusetzen.

Thermische Nutzung von Trinkwasser

Die thermische Nutzung des Trinkwassers stellt sich insofern als problematisch dar, dass die dem Trinkwasser entnommene Energiemenge bei der häuslichen Trinkwarmwasserbereitung vom Verbraucher selbst wieder zugeführt werden muss, insoweit die Abkühlung des Trinkwassers bei der Wärmeentnahme nicht durch Wärmegewinne auf dem Weg zum Verbraucher (erdverlegte Leitungen) kompensiert wird. Zwar handelt es sich hierbei nur um maximal die Hälfte der gesamten Trinkwassermenge, dennoch entstehen hier Mehrkosten und ein zusätzlicher Energieaufwand für die jeweiligen Verbraucher. Inwieweit sich die Abkühlung des Trinkwassers in den Erdleitungen hin bis zum Warmwasserspeicher beim Verbraucher

regeneriert hat, kann im Rahmen dieser Studie nicht geklärt werden und sollte mittels einer Messkampagne genauer untersucht werden (vgl. Anhang Abb. 106)

Für die Betrachtung des technisch maximal möglichen Potenzials wird die Wassermenge verwendet, die im Jahr im Altstadtquartier 2012 verbraucht wurde. Bei Auskühlung der Altstadtwassermenge um 1 K und einer Nutzung über das gesamte Jahr (8760 h) ergeben sich folgende Werte:

Spitzen- und Dauerleistung: 0,018 MW; Entzugsenergie: 158 MWh/a.

Tab. 30: Wärmeentzugs-, Antriebs- und Heizenergie von Kompressionswärmepumpen in Abhängigkeit der Heizsystemtemperatur bei thermischer Nutzung der Altstadttrinkwassermenge (Abkühlung um 1 K)

Quellentemperatur	Heizsystemtemperatur	JAZ	Entzugsenergie	Heizenergie	Antriebsenergie
[°C]	[°C]	[-]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
10	30	6,8	158	185	27
10	35	5,5	158	193	35
10	40	4,7	158	201	43
10	45	4,1	158	209	51
10	50	3,6	158	218	60
10	55	3,3	158	228	69
10	60	3,0	158	237	79
10	65	2,8	158	248	90
10	70	2,6	158	259	101
10	75	2,4	158	270	112
10	80	2,3	158	283	125
10	85	2,1	158	296	138
10	90	2,0	158	310	152

Thermische Nutzung von Oberflächenwasser

Für die Ermittlung der technisch maximal möglichen Potenziale bei der thermischen Oberflächenwassernutzung wird mit einer Temperaturabkühlung des Gewässers um 1,5 K und mit der Hälfte des mittleren Niedrigwasserabflusskennwertes (MNQ) gerechnet. Der mittlere Durchfluss des Gewässers liegt in der Regel deutlich über dem MNQ wodurch die so bestimmte Leistung über das gesamte Jahr als konstantes Minimum angesehen werden kann. Der Wärmeentzug erfolgt mit in die Bachbette eingelegten Wärmetauschern entsprechender Leistungen. Zu beachten ist, dass ab Gewässerzulauftemperaturen von 3,5 °C die Leistungsfähigkeit des Energieentzugs stark abnimmt (Abb. 64). Ab 2 °C kann aufgrund der Frostgefahr keine Energie mehr aus dem Gewässer entnommen werden. Um Zeiten dieser niedrigen Gewässertemperaturen zu überbrücken sind eventuelle Back-up-Systeme bzw. Stau- und/oder Vorhaltebecken notwendig (vgl. Abschnitt II.1.4.1c). Die Wärmeentzugsenergie wird mit einer Jahreslaufzeit von 8760 h berechnet. Da sich die Riß nicht innerhalb des betrachteten Altstadtquartiers befindet, wird sie nicht weiter als technisch nutzbares Potenzial betrachtet.

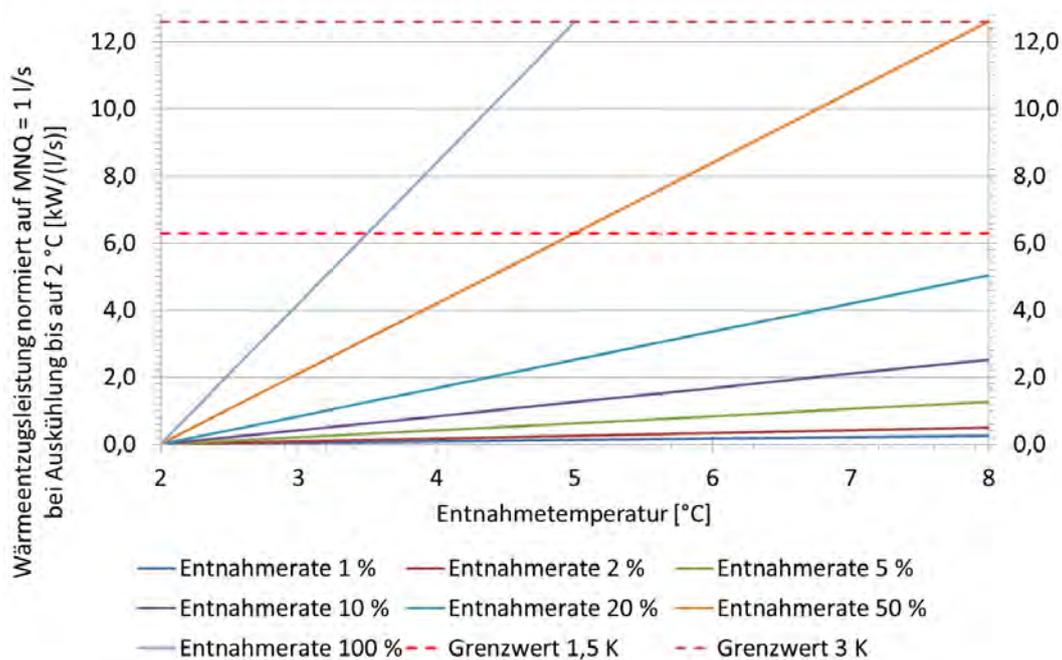


Abb. 64: Mögliche Wärmeentzugsleistung normiert auf 1 l/s mittlerer Niedrigwasserabfluss in Abhängigkeit der Entnahmetemperatur und der Wasser-Entnahmerate

Tab. 31: Kennwerte der thermischen Oberflächenwassernutzung in Biberach

Gewässer	Abflusskennwert [m ³ /h]	Spitzen- und Dauerleistung [kW]	Entzugsenergie [MWh/a]
oberer Stadtbach	27	47	414
unterer Stadtbach	58	101	883
Ratzengraben	621	1.087	9.520

II.1.10.1c Beispiele vorhandener Anlagen in Biberach

Im bzw. in der Nähe des Innenstadtbereichs von Biberach befindet sich bereits eine Reihe von Gebäuden, die mit oberflächennaher geothermischer bzw. aus Bachwasser gewonnener Energie beheizt bzw. beheizt und gekühlt werden. Folgende dieser Objekte sind in [KOE11] bzw. in [EBC11] samt ihrer wesentlichen Daten beschrieben:

- Bürogebäude der Sparkasse Immobilien BC GmbH und der Volksbank Ulm Biberach eG (Heizung und Kühlung mit Grundwasserbrunnen und Wärmepumpe)
- Bürogebäude der EnBW AG (Heizung und Kühlung mit Erdwärmesonden und Wärmepumpe)
- Gebhard-Müller-Schule im Berufsschulzentrum (Heizung und Kühlung mit Grundwasserbrunnen und Wärmepumpe)
- Busbetriebshof der Stadtwerke Biberach (Heizung mit Grundwasserbrunnen und Gas-Wärmepumpe)
- Alte Holzmühle im Wolfental (Stromerzeugung mit Kleinwasserkraft und bachwasser- gespeiste Wärmepumpe zur Heizung und Trinkwassererwärmung).

Darüber hinaus erfolgt die Rückkühlung der Kälteanlage des Braith-Mali-Museums mittels Bachwasser und es befindet sich der Neubau der Kreissparkasse Biberach am Zeppelinring im Bau (Heizung und Kühlung mit Grundwasserbrunnen und Wärmepumpe).

II.1.10.2 Tiefes und mitteltiefes geothermisches Potenzial

Das süddeutsche Molassebecken, an dessen Rand sich Biberach befindet, stellt in Baden-Württemberg neben dem Oberrheingraben die primäre Zielregion der tiefen Geothermie für hydrothermale Nutzungen dar (Abb. 65) Bei einer hydrothermalen Nutzung wird Wasser aus tiefen Grundwasserleitern (Aquifere) gefördert. Diesem wird an der Erdoberfläche durch einen Wärmetauscher die Wärme entzogen, die dem Nutzer dann für die Weiterverarbeitung, sei es für Heizzwecke und/oder zur Stromerzeugung, zur Verfügung steht. Das abgekühlte Wasser muss zur Erneuerung (Recharge) des Aquifers, meist auch aus entsorgungstechnischen Gründen - denn die Tiefenwässer sind in der Regel höher mineralisiert als oberflächennahe Wässer, in einer bestimmten Entfernung zur Entnahmebohrung in denselben Aquifer zurückgegeben (injiziert) werden. Ein hydrothermales Nutzungssystem besteht daher meist aus mindestens zwei Bohrungen (Dublette) [RPF13].



Abb. 65: Lage der primären Zielregionen zur hydrothermalen Nutzung in Baden-Württemberg [RPF13]

Im Bereich rund um Biberach gibt es bereits seit vielen Jahren zahlreiche Tiefenbohrungen, mit welchen die Zielhorizonte Oberjura und Muschelkalk geothermisch genutzt werden. Daher besteht prinzipiell auch in Biberach die Möglichkeit, diese geothermischen Nutzhorizonte zu Heizzwecken zu nutzen. Abb. 66 gibt einen Überblick über die bereits bestehenden geothermischen Bohrungen und deren Nutzungsarten um Biberach.

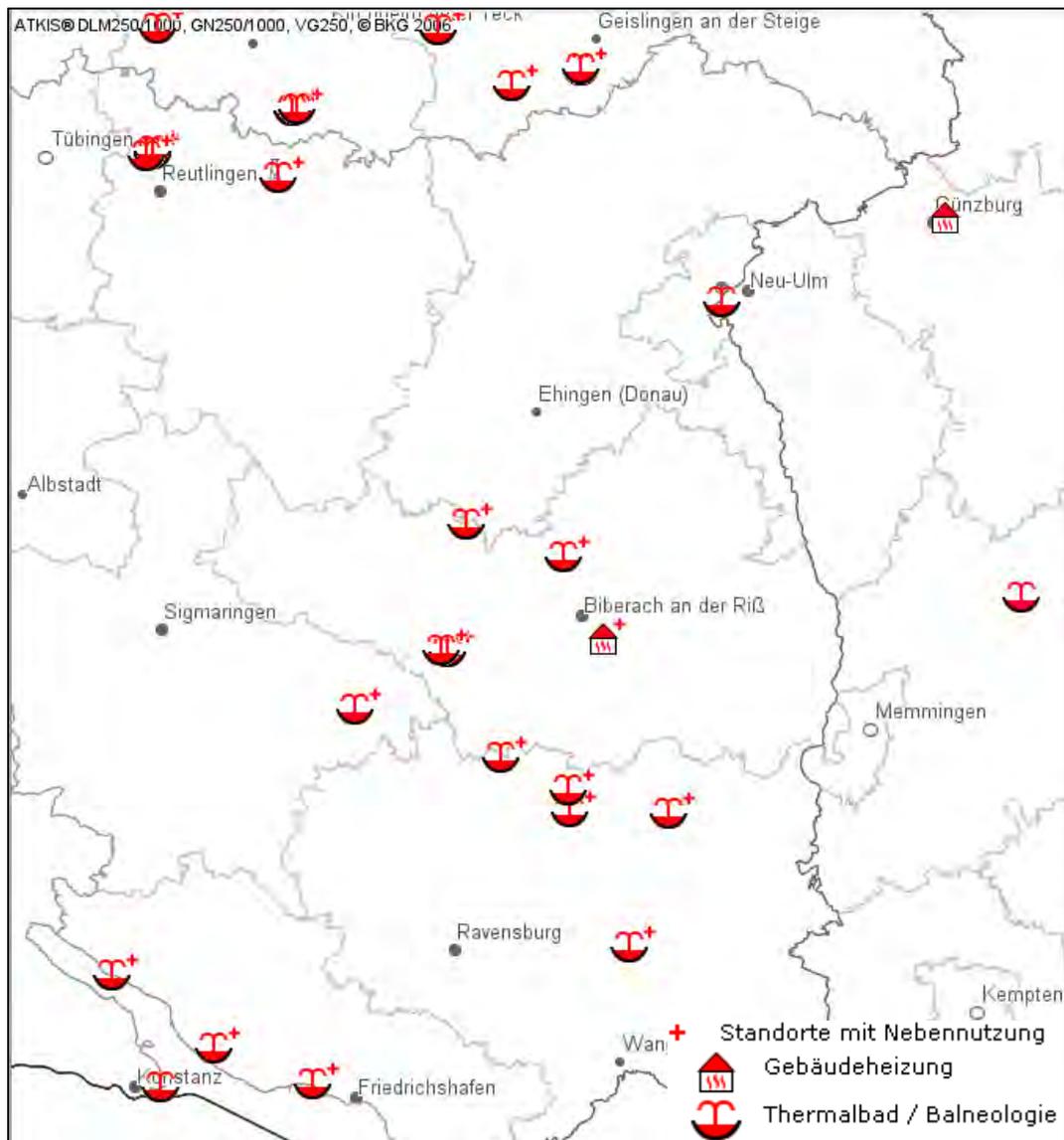


Abb. 66: Standorte geothermischer Nutzungen um Biberach [GeotIS]

Aufgrund der prognostizierten Temperaturen in den Zielhorizonten Oberjura Aquifer und Muschelkalk Aquifer kann das Thermalwasser für Heizzwecke, nicht aber zur Stromerzeugung, genutzt werden. Mittels eines Nahwärmenetzes kann die geothermische Energie zu den Verbrauchern transportiert werden. Die Temperaturen der genannten Horizonte können den folgenden Abbildungen Abb. 68 und Abb. 69 entnommen werden. Im Stadtkern von Biberach liegt der Oberjura Aquifer ungefähr in einer Tiefe von 600 m unter Geländeoberkante (uGOK). Der obere Muschelkalk Aquifer befindet sich ca. 1500 m uGOK [RPF13]. Je nach dem welcher Zielhorizont angestrebt wird, muss eine Wärmepumpe die Temperatur des Thermalwassers auf die Betriebstemperatur eines Nahwärmenetzes anheben (Abb. 67)

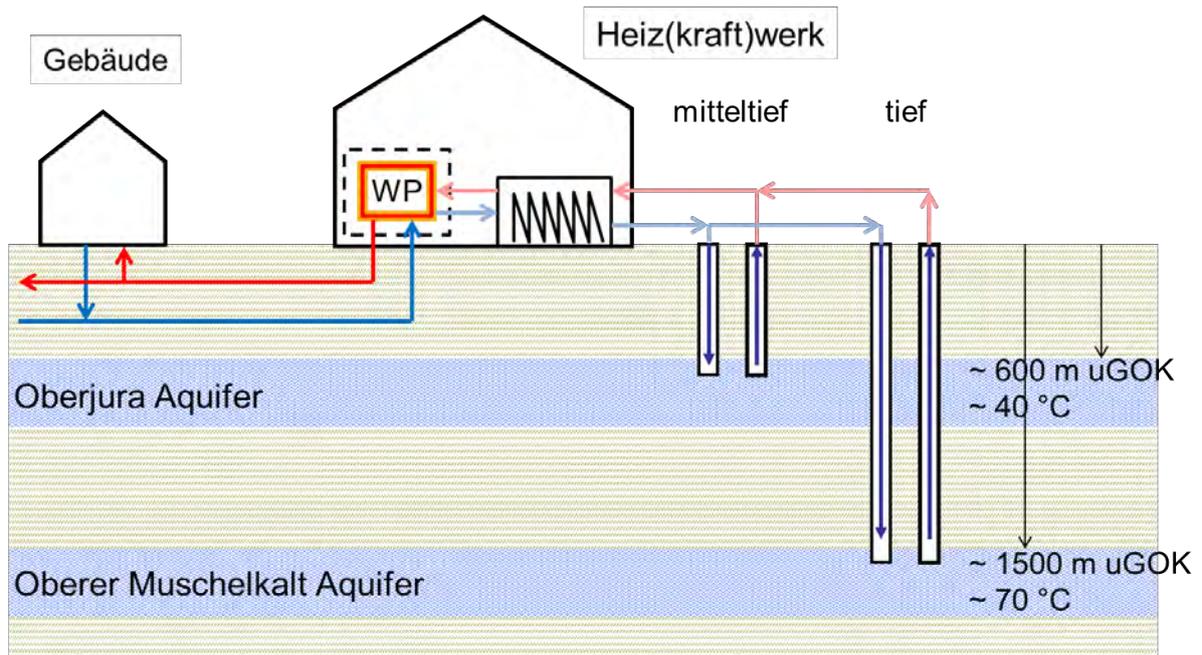


Abb. 67: Schematische Nutzungsmöglichkeit der Zielhorizonte unter Biberach

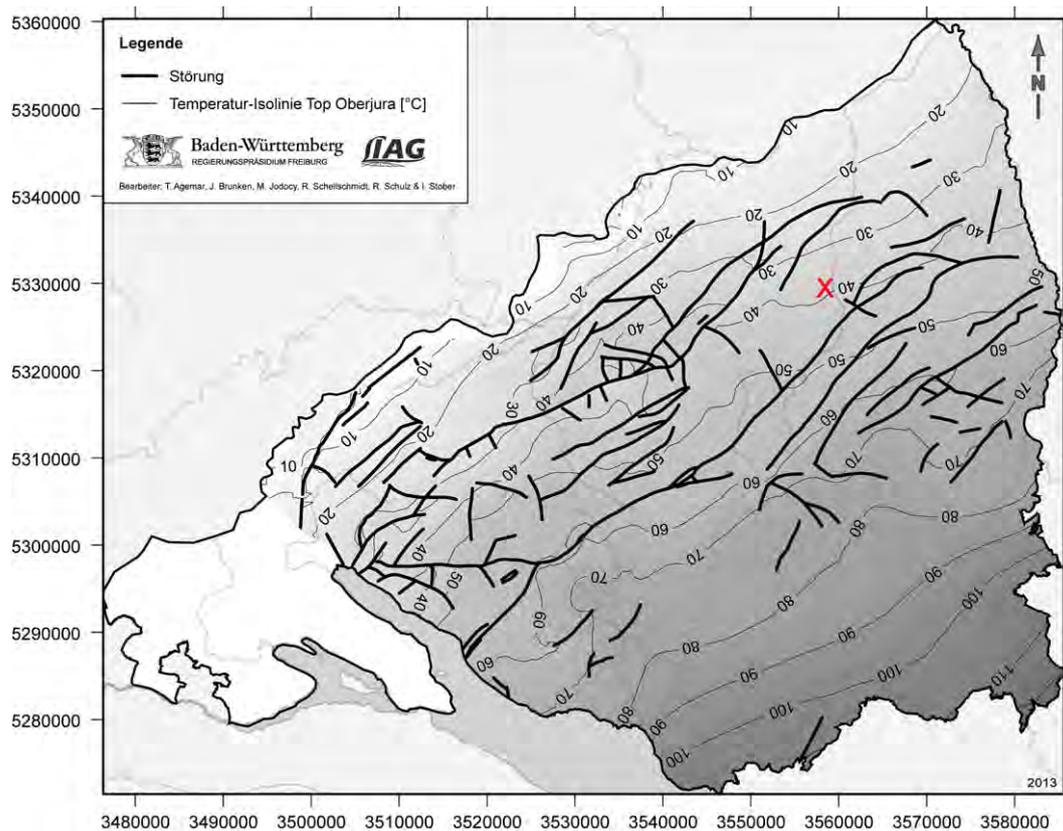


Abb. 68: Temperaturen des Oberjura Aquifer, Standort Biberach (rotes Kreuz) [STO13]

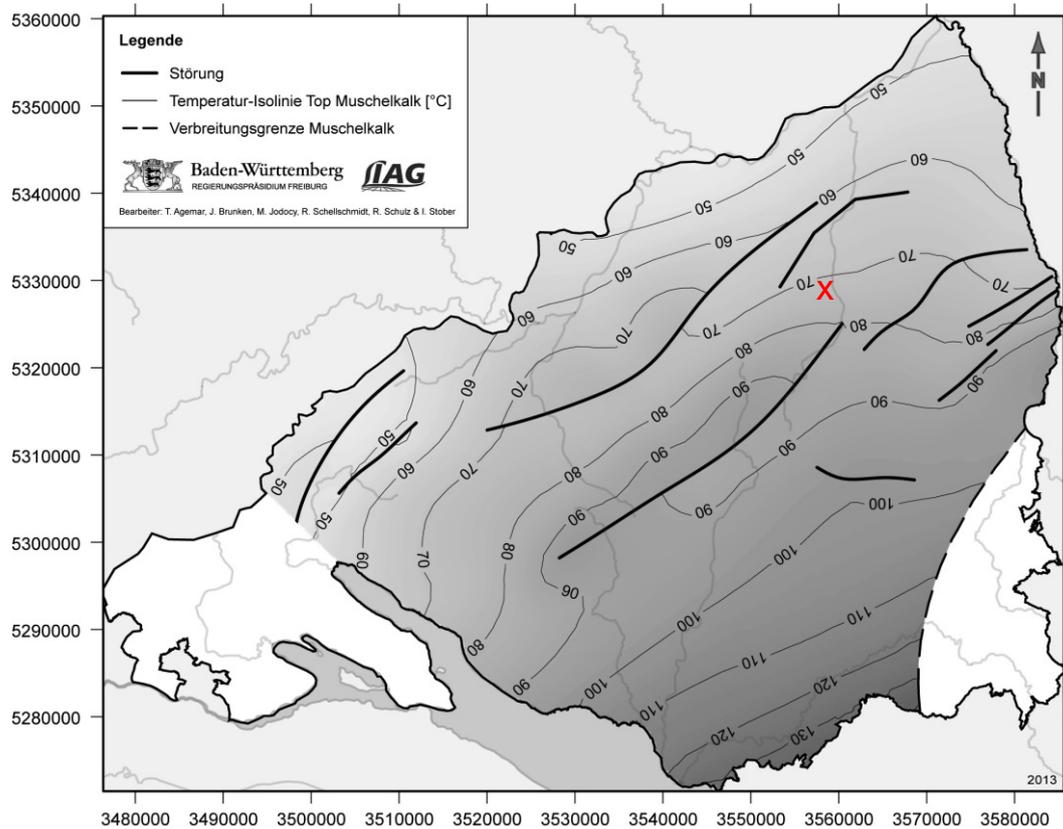


Abb. 69: Temperaturen des Muschelkalk Aquifer, Standort Biberach (rotes Kreuz) [STO13]

Tab. 32: Leistungs- und Energiepotenzial Wärme aus mitteltiefer und tiefer Geothermie

Quelle / Nutzhorizont	Thermalwasserförderrate [l/s]	mittlere Leistung [MW]	Jahresenergie [GWh/a]	Anmerkungen
mitteltiefe Geothermie (Oberjura)	57	4,12	32,9	Temperaturniveau 40/20 °C; 8000 Betriebsstunden
tiefe Geothermie (Muschelkalk)	23	4,15	33,2	Temperaturniveau 70/20 °C; 8000 Betriebsstunden

In Tab. 32 sind die abgeschätzten physikalischen Potenziale für mitteltiefe und tiefe Geothermie in Biberach aufgeführt. Dabei wurde jeweils eine Thermalwasserförderrate angesetzt, die bei den jeweils angegebenen Temperaturdifferenzen in etwa den endenergetischen Wärmebedarf des Altstadtquartiers von Biberach decken. Um jedoch detaillierte Aussagen über die tatsächlich mögliche Ergiebigkeit (Förderrate) der Mitteltiefen- oder der Tiefenbohrung treffen zu können, müssen aussagekräftige Bodenuntersuchungen über die Durchlässigkeiten und tatsächlich erreichbaren Temperaturen des Gebirges unter Biberach erstellt werden. Ein solches geologisches Fachgutachten muss von mit den lokalen Verhältnissen vertrauten Geologen angefertigt werden und ist nicht Bestandteil dieser Potenzialstudie.

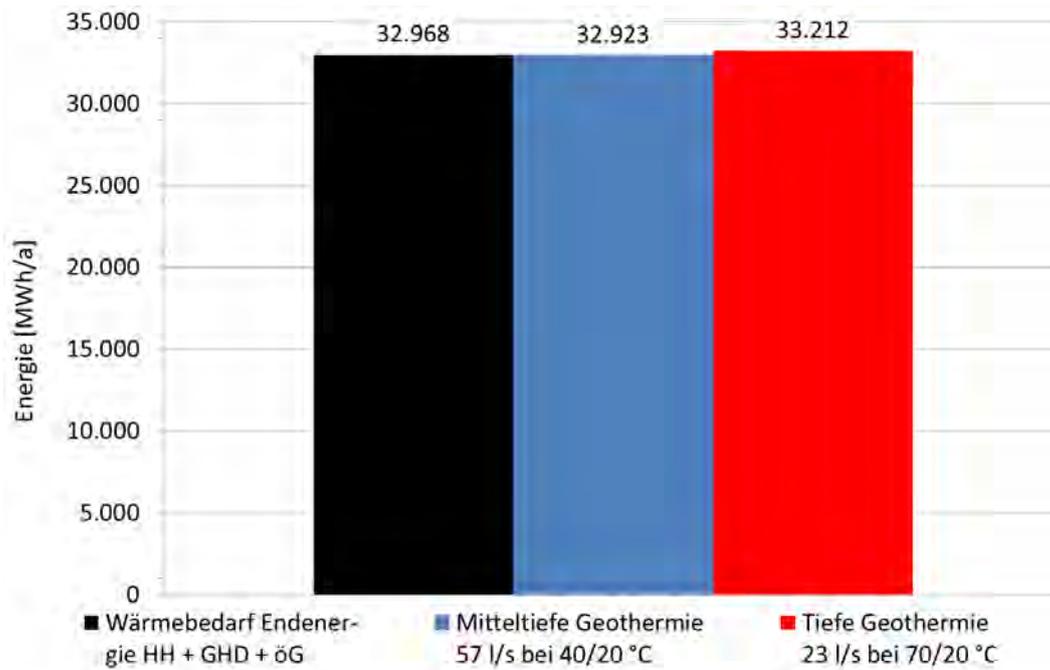


Abb. 70: Energiepotenzial Mitteltiefer und Tiefer Geothermie im Altstadtbereich Biberach

Neben der möglichen hydrothermalen geothermischen Nutzung der beiden Aquifere Oberjura und Muschelkalk besteht zudem die Möglichkeit der petrothermalen geothermischen Nutzung des kristallinen Grundgebirges. In Abb. 71 sind die Temperaturen in 2000 m uNN abgebildet. Daher könnten unter dem Altstadtbereich von Biberach Temperaturen um $102 \text{ °C} \pm 17 \text{ K}$ im Gebirge vorhanden sein. Mit diesem Temperaturniveau, wäre neben der Wärmenutzung ebenfalls eine Stromproduktion mittels Kalina- oder ORC-Prozess denkbar.

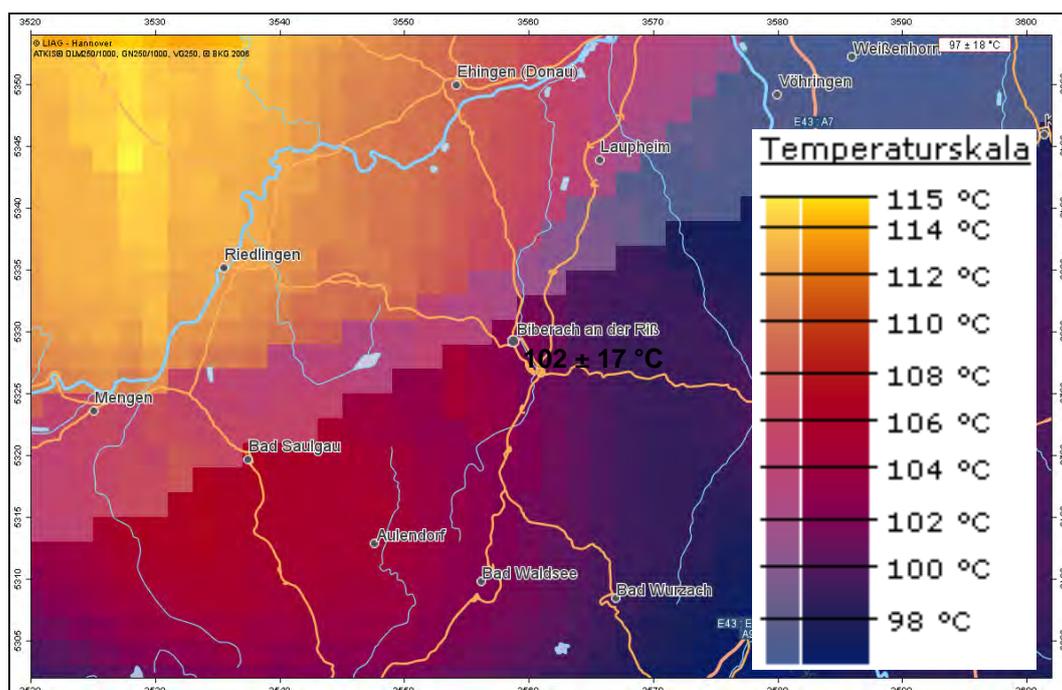


Abb.71: Temperaturverteilung in 2000 m uNN in und um Biberach [RPF13]

II.1.10.2a Beispiel Tiefe Geothermie: Jordanbad, Biberach [KOE11]

Das Jordanbad Biberach nutzt bereits seit gut 30 Jahren tiefe geothermische Energie. Seit 1984 wird ein großer Teil – gegenwärtig ca. die Hälfte – der benötigten Wärme aus Thermalwasser gewonnen, welches aus einem Brunnen aus ca. 1.000 m mit einer Temperatur von 48 °C gefördert wird. Die restliche Wärme, von der wiederum ca. die Hälfte aus Kraft-Wärme-Kopplung stammt, wird vom lokalen Energieversorger (e.wa riss) vor Ort in einer Heizzentrale erzeugt und als Nahwärme geliefert.

Die Hauptnutzung des Thermalwassers ist die Versorgung der verschiedenen Bade- und Therapiebecken mit Frischwasser. In einem zweiten Strang wird das Trinkwasser für die Duschen vorgewärmt, ein dritter Strang versorgt die Vorwärmestufe (Vorerhitzer) der Lüftungsanlagen des Bades. Entsprechend der ganzjährig benötigten hohen Raumtemperatur in den Bädern muss die Zuluft nahezu das ganze Jahr über erwärmt werden.

Nachdem das Thermalwasser im dritten Strang einen Teil seiner Wärme an die Lüftungsanlagen abgegeben hat, wird es in einem 35 m³ großen Pufferbehälter gesammelt. Im Sommer und in der Übergangszeit, wenn moderate Temperaturen von ca. 60 °C für die anfallenden Heizzwecke ausreichen, dient das gepufferte Thermalwasser zwei Wärmepumpen als Wärmequelle (Abb. 72) In Tab. 33 sind die wichtigsten Daten zur Tiefen Geothermie im Jordanbad aufgelistet.

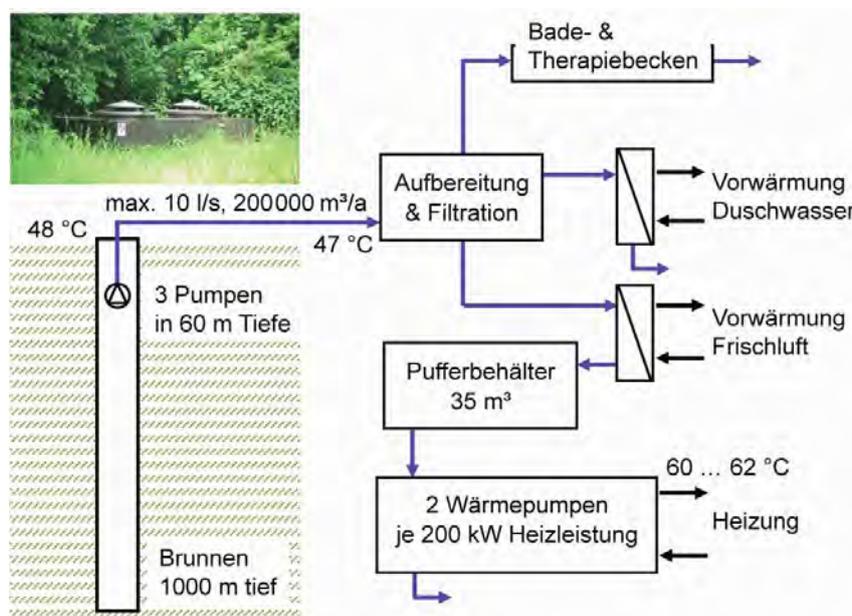


Abb. 72: Integriertes Wärmenutzungskonzept mit Thermalbrunnen und Wärmepumpenanlage im Jordanbad Biberach

Tab. 33: Kennwerte tiefe Geothermie (hydrothermal) Jordanbad

Tiefe der Bohrung [m]	Thermalwasserförderrate [l/s]	Spitzenleistung [MW]	Jahresenergieproduktion [GWh/a]
1036	maximal: 10 im Mittel: 6,5	1,17	0,8

II.1.11 Potenziale im Bereich Mobilität

Im Bereich Mobilität liegen die wesentlichen Veränderungspotenziale in der Verkehrsmittelwahl. Welche Potenziale aktiviert werden können, lässt sich durch eine genauere Betrachtung der Reisezeit darstellen. Grundsätzlich setzt sich diese aus der Zugangs-, der Fahrt- und der Abgangszeit zusammen.

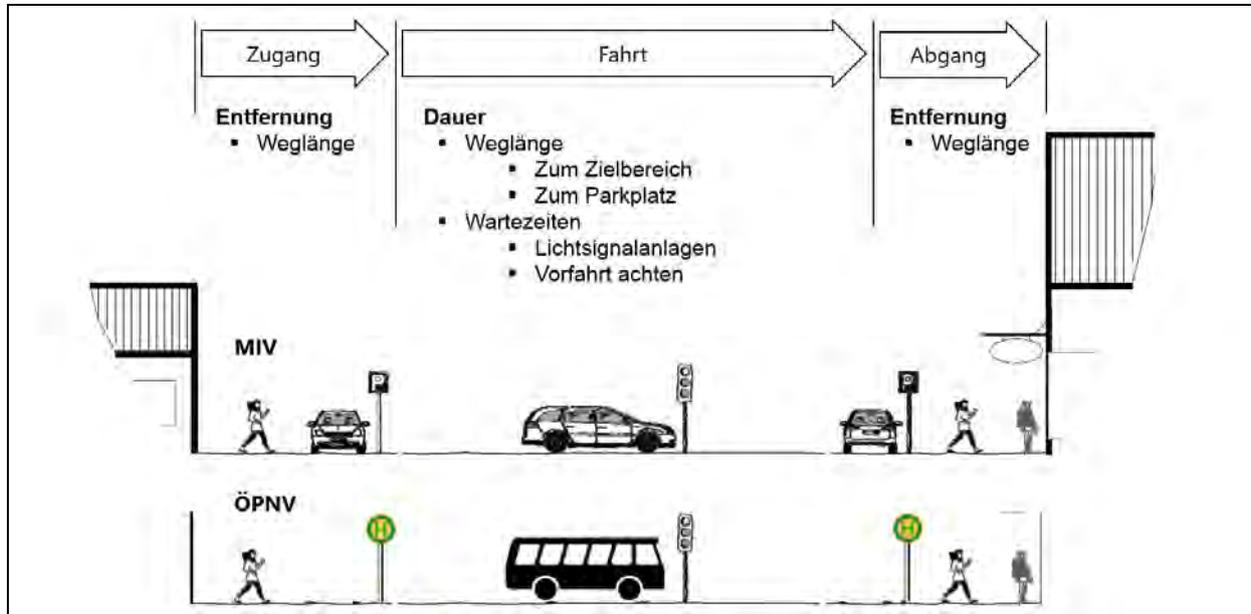


Abb. 73: Darstellung der einzelnen Phasen der Reisezeit für MIV und ÖPNV

Beim MIV definiert sich die Zugangszeit durch die aufzuwendende Zeit, um zum Fahrzeug zu gelangen. Beim ÖPNV ist dies der Zeitaufwand für den Hinweg zur Haltestelle zuzüglich der Wartezeit.

Die Fahrtzeit wird durch die Weglänge und anfallende Wartezeiten beeinflusst. Beim MIV sind das beispielsweise Wartezeiten an Lichtsignalanlagen, vorfahrtgeregelten Knotenpunkten oder Fußgängerüberwegen. Beim ÖPNV kommt zusätzlich die Wartezeit an Haltestellen hinzu. Auch die Weglänge unterscheidet sich im ÖPNV von der des MIV, da sich die Linienführung im ÖPNV an den Siedlungsstrukturen orientiert und Umwege in Kauf genommen werden, um eine möglichst große Erschließung zu erreichen. Im Gegensatz zum ÖPNV unterliegt der MIV keiner Linienführung und gelangt so frei von Umwegen zum Ziel. Zusätzlich sind beim ÖPNV ggf. Umstiegszeiten zu berücksichtigen.

Bei der Abgangszeit ist im MIV das Parkierungsangebot im Zielbereich entscheidend. Je näher ein Stellplatz dem Zielort vorzufinden ist, desto kürzer fällt die Abgangszeit aus. Beim ÖPNV ist wie bei der Zugangszeit der Erschließungsgrad für die Abgangszeit ausschlaggebend. Ist die Haltestelle nah am Zielort, fällt die Abgangszeit entsprechend kurz aus. Ein Qualitätskriterium für den ÖPNV ist der Vergleich der Reisezeit zwischen dem öffentlichen Verkehr und dem Individualverkehr. Das Reisezeitverhältnis ÖV/IV wird als gut beurteilt, wenn es nicht größer als 1,5 ist.

Die Betrachtungsweise der beschriebenen Reisezeiten verdeutlicht zugleich die Eingriffsmöglichkeiten, an denen die Reisezeit beeinflusst werden kann. Beispielsweise kann durch einen höheren Erschließungsgrad und somit eine höhere Haltestellendichte die Zugangszeit zum ÖPNV verkürzt werden, oder die Fahrtzeit aufgrund einer ÖPNV-Bevorrechtigung ver-

ringert werden. Infolge einer strikteren Parkierungsregulierung (z. B. Beschränkung der Höchstparkdauer) kann die Abgangszeit für den Individualverkehr erhöht werden. Die beschriebenen Maßnahmen folgen der PUSH-and-PULL Strategie. Hierbei erfolgt eine gezielte Förderung der Verkehrsmittel des Umweltverbundes (PULL), um dessen Attraktivität zu erhöhen und so die Verkehrsteilnehmer dazu zu bewegen, diese häufiger zu nutzen. Gleichzeitig werden konkurrierende Verkehrsmittel deattraktiviert (PUSH). Wichtig ist, dass eine Umsetzung von PUSH-and-PULL Maßnahmen gleichzeitig erfolgt, da ansonsten der gewünschte Wirkungseffekt nicht erreicht wird. Beispielsweise würde die Senkung des Parkplatzangebots bei gleichzeitiger Verbesserung des ÖPNV-Angebots auf eine verstärkte Nutzung des öffentlichen Verkehrs abzielen.

Zur Abschätzung der Veränderungspotenziale in der Verkehrsmittelwahl wurde sowohl der Modal Split der Altstadtbewohner als auch der Zielverkehre der Biberacher Altstadt analysiert. Bei der Verkehrsmittelwahl umliegender Stadtteile und Gemeinden erfolgte eine Betrachtung altstadtnaher (Weglängen bis zwei Kilometer) und altstadtfernerer Gebiete (Wege zwischen zwei und fünf Kilometern). Erwartungsgemäß wird von altstadtfernen Gebieten am häufigsten der Pkw für den Weg in die Altstadt genutzt. 74 % der Wege werden als MIV-Fahrer bzw. Mitfahrer zurückgelegt. Mit 6 % Anteil ist die ÖPNV Nutzung am geringsten. Fußwege haben einen Anteil von 11 %, Radwege einen Anteil von 9%.

Für vergleichbar kurze Wege mit einer maximalen Länge von zwei Kilometern hat der Motorisierte Individualverkehr (MIV-Fahrer + Mitfahrer) mit 50 % ebenfalls den höchsten Anteil am Modal Split. Mit einem Wert von 33 % werden am zweithäufigsten die Wege zu Fuß in die Altstadt zurückgelegt. Der Radverkehrsanteil liegt bei 11 % und der des ÖPNV bei 6 %.

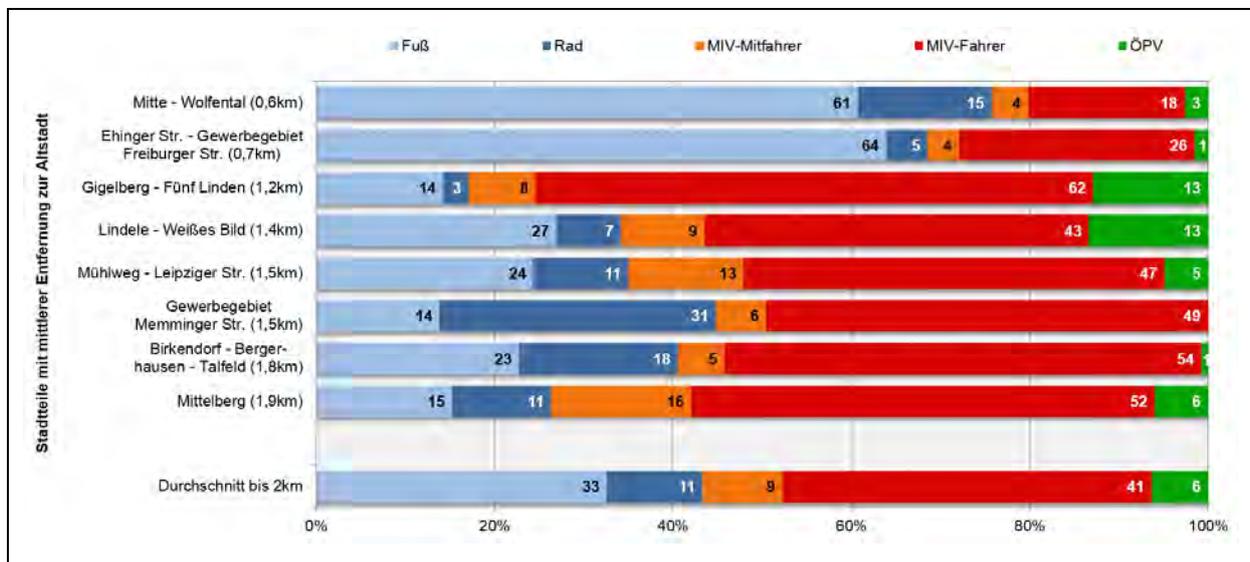


Abb. 74: Modal Split der Wege mit Ziel Altstadt bis zu einer maximalen Länge von zwei Kilometern (eigene Auswertung Verkehrserhebungen Biberach 2002)

Um die aktuelle Verkehrsmittelwahl nachzuvollziehen, wurden die Verkehrsträger unter Berücksichtigung der beschriebenen Merkmale der Reisezeit untersucht und das MIV/ÖPNV Reisezeitverhältnis gebildet. Neben einem überregionalen ÖPNV Angebot betreiben die Stadtwerke Biberach auch einen innerstädtischen ÖPNV. Es wird ein dichtes Haltestellenetz vorbehalten, wodurch eine hohe Erschließungsqualität garantiert wird. Hierdurch werden kurz Zugangszeiten ermöglicht. Die Fahrtzeit wird durch die Linienführung geprägt. In

Biberach werden die Buslinien in einer Tourenform betrieben. Das bedeutet, an einem Haltepunkt gibt es nicht wie gewöhnlich zwei Haltestellen (Hin- und Rückrichtung) sondern nur eine. Die Busse fahren im übertragenen Sinne im Kreis. Im Vergleich zur klassischen Zwei-richtungsbetriebsform können so, bei gleichem Ressourcenaufwand, größere Gebietsstrukturen bedient, bzw. die Erschließungsqualität verbessert werden. Allerdings müssen zum Teil deutlich längere Reisezeiten in Kauf genommen werden, da die Haltepunkte nur einmal pro Umlauf bedient werden.

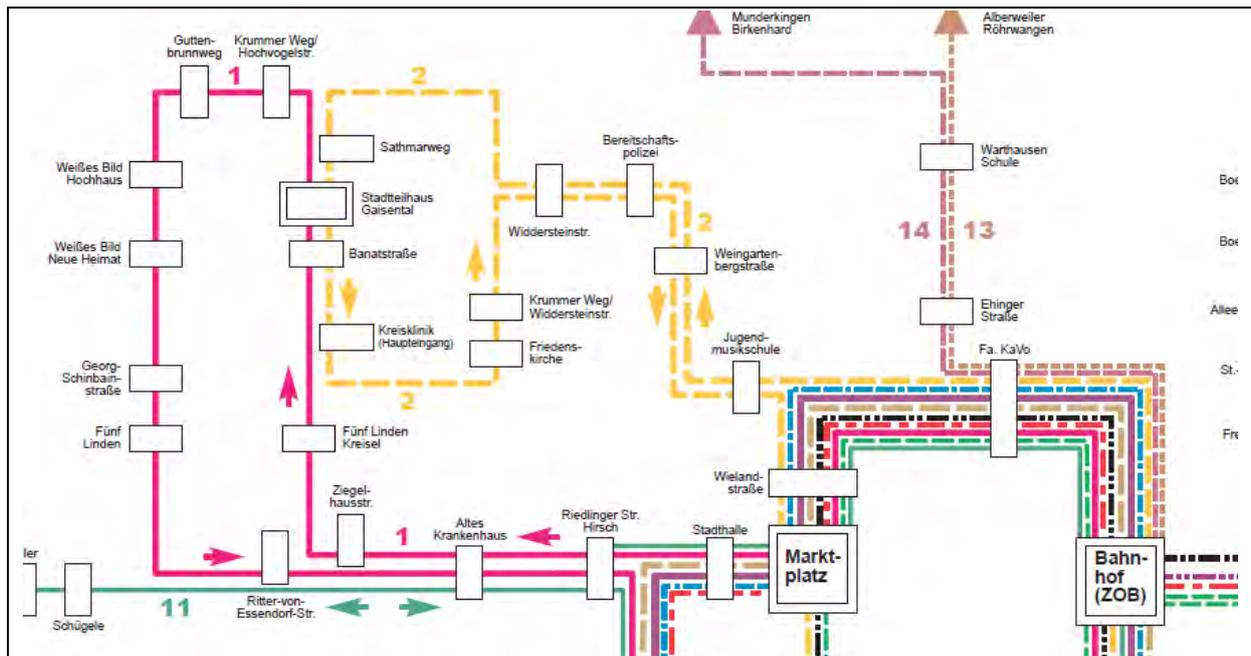


Abb. 75: Ausschnitt aus dem Liniennetzplan der Stadt Biberach (Stadtwerke Biberach)

Die Abgangszeit wird durch die Nähe zum Ziel beurteilt. In Biberach sind rund um den Altstadt Ring sechs Haltestellen verteilt. Eine davon (Haltestelle Marktplatz) führt etwas weiter in die Altstadt hinein. Dem gegenüber stehen für den MIV rund 450 Stellplätze in der gesamten Altstadt zu Verfügung. Dies ermöglicht ein Abstellen des Fahrzeuges im unmittelbaren Umfeld der geplanten Aktivität und somit einen kurze Abgangszeit. Zudem kommen die kurze Zugangszeit sowie ein direkter Weg hinzu, weshalb der MIV im Vergleich zum ÖPNV attraktiver wirkt. Dies spiegelt sich auch im Reisezeitverhältnis ÖV/IV wieder. In Abhängigkeit des betrachteten Stadtteils muss für einen Weg mit dem ÖPNV zumeist doppelt bzw. dreimal mehr Zeit für eine vergleichbare MIV-Fahrt investiert werden.

Das Potenzial, die Verkehrsmittelwahl zugunsten des Umweltverbundes zu beeinflussen, wird grundsätzlich durch die kompakten Strukturen der Altstadt begünstigt. Bei einer Analyse der Fuß- und Radwege wurden 5-Minuten, 10-Minuten, sowie 15-Minuten Zonen gebildet, um zu veranschaulichen, welche Entfernungen bzw. Wege in dieser Zeit im Kontext der Stadtstruktur zurückgelegt werden können. Beispielsweise ist es möglich, aus dem Zentrum der Altstadt nahezu jeden anderen Punkt des betrachteten Stadtteils innerhalb von fünf Minuten zu Fuß zu erreichen.

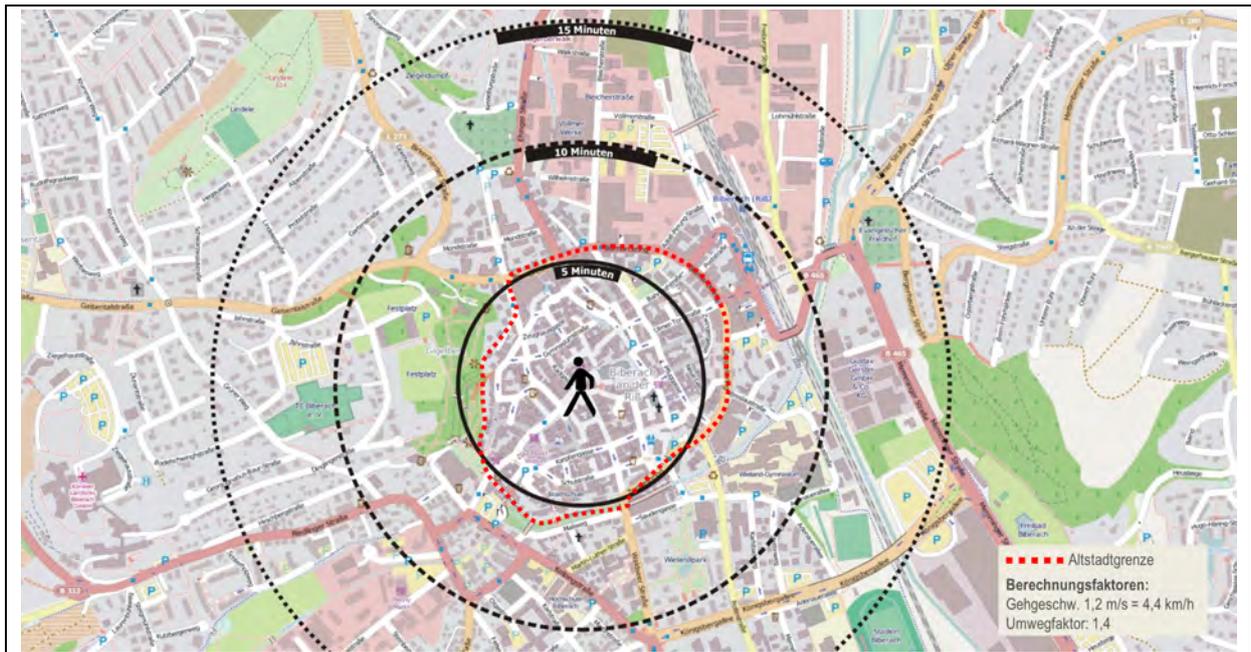


Abb. 76: Darstellung der vereinfachten fußläufigen Erreichbarkeit der Altstadt (eigene Darstellung)

Für Radwege zeigt sich, dass innerhalb von 5 Minuten die an die Altstadt angrenzenden Stadtviertel erreichbar sind. Innerhalb von 10 Minuten kann sogar der Großteil weiter entfernter Stadtviertel erreicht werden.

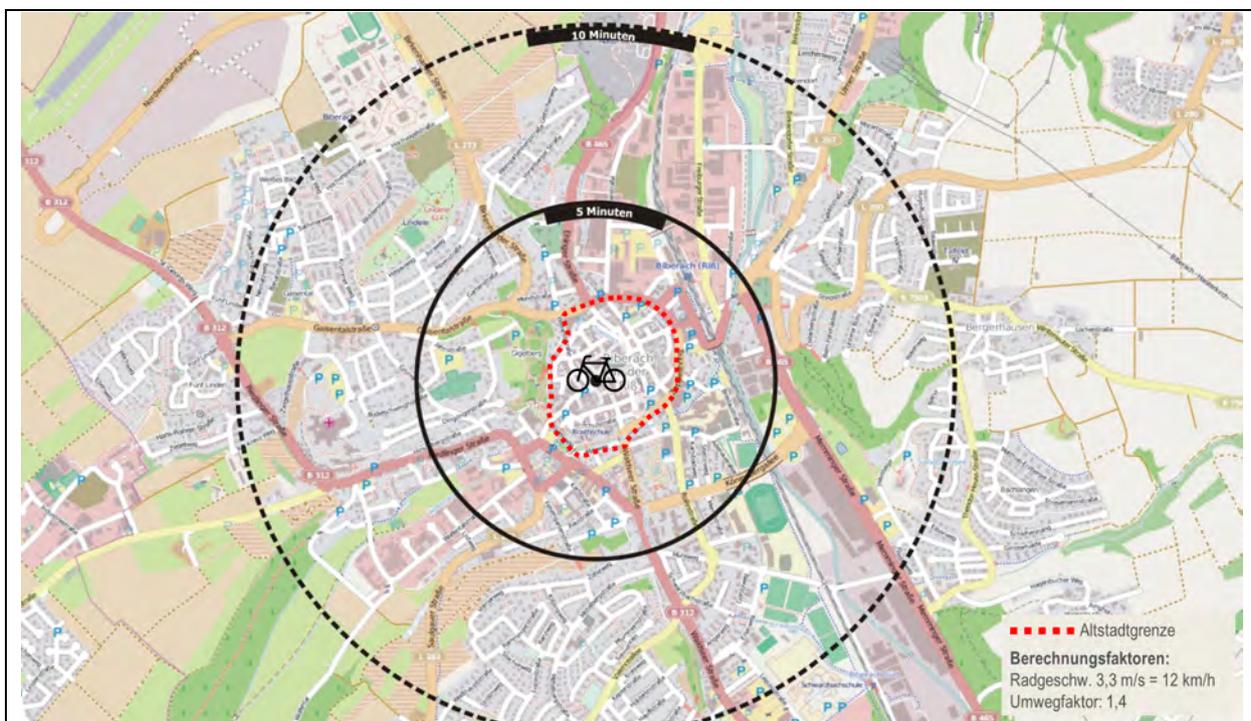


Abb. 77: Darstellung der vereinfachten Erreichbarkeit der Altstadt mit dem Fahrrad (eigene Darstellung)

Mit diesen Darstellungen kann das Bewusstsein für Entfernungen gestärkt werden. Um auf eine veränderte Verkehrsmittelwahl hinzuwirken, müssen die Wege für Fußgänger und Radfahrer attraktiver werden. Dies kann u.a. mit folgenden Maßnahmen erreicht oder gefördert

werden: Abbau von Umwegen, Öffnung der Einbahnstraßen für Radfahrer, Öffnung der Fußgängerzone für Radfahrer, umwegfreies Queren an Knotenpunkten, Beseitigen von Unfall- und Konfliktstellen, Steigerung der Aufenthaltsqualität, Abstellmöglichkeiten für Fahrräder, Wegweisung oder Image verändernde PR Kampagnen.

Arbeitsphase C 1+2 _ Fokus Denkmalschutz, Maßnahmenpakete, Fallstudien

Zeitraum: 7/2013 bis 1/2014

Die Arbeitsphase wird im Projektverlauf zweigeteilt. Zunächst werden in der Projektgruppe die Möglichkeiten der energetischen Sanierung im baukulturell relevanten Bestand aufgenommen. Die Einzelbetrachtung von Gebäuden in einem Teilgebiet der Altstadt zeigt eine breite Palette von Ergebnissen. Sie reicht von denkmalgeschützten Gebäuden, an denen ein Eingriff absolut ausgeschlossen ist, bis zu solchen, an denen bei entsprechender Ausführung selbst eine Außendämmung möglich wäre. Ferner werden zusätzliche Themenfelder aufbereitet. Zu dem 4. Meilenstein werden wie im Projektantrag dargestellt Vertreter der Landesdenkmalschutzbehörde hinzugezogen. Zur Diskussion stehen bei dem Meilenstein auch die oben dargestellten Möglichkeiten die Winkel stadtbildverträglich zu schließen.

II.1.12 Fokus Denkmalschutz

Das Plenum im Meilenstein steht einer energetischen Sanierung von Denkmalen und stadtbildprägenden Gebäuden grundsätzlich offen gegenüber. Aus Denkmalschutzsicht kann eine Entscheidung aber ausschließlich im Einzelfall getroffen werden. Die oben gezeigte Typisierung der historischen Altstadtgebäude kann daher lediglich einen Anreiz für weitere Untersuchungen schaffen. Im Einzelnen vorgestellt und besprochen werden die im Folgenden beschriebenen Gruppen.



Abb. 78: Denkmale mit wertvoller Fassadengestaltung

Einzelne Denkmale ohne Sanierungsmöglichkeiten an der Gebäudehülle von außen sind geprägt durch eine wertvolle Fassadengestaltung (s. Abb. 78). In dieser Gruppe enthalten sind Gebäude, deren Fachwerk unverändert aus der Entstehungszeit erhalten wurde als auch Gebäude bei denen das Fachwerk bei der Sanierung freigelegt wurde.

In einer zweiten Gruppe werden Denkmale diskutiert, deren Fassade, überformt, beispielsweise verputzt wurde (s. Abb. 79). Häufig stammen diese Überformungen aus dem 19. Jahrhundert. In dieser Gruppe ist eine Außendämmmaßnahme im Einzelfall denkbar. Hier muss es darum gehen, die Dicke der Dämmung so zu wählen, dass Leibungen an Öffnungen, konstruktive und dekorative Details zufriedenstellend wieder hergestellt werden können. In dieser Gruppe finden sich Gebäude unterschiedlichster Qualität, die zum Teil mehrfach bereits umgebaut wurden. Eine Prüfung im Einzelfall ob, und mit welchem Aufwand eine energetisch wirksame Sanierung durchgeführt werden ist sinnvoll.

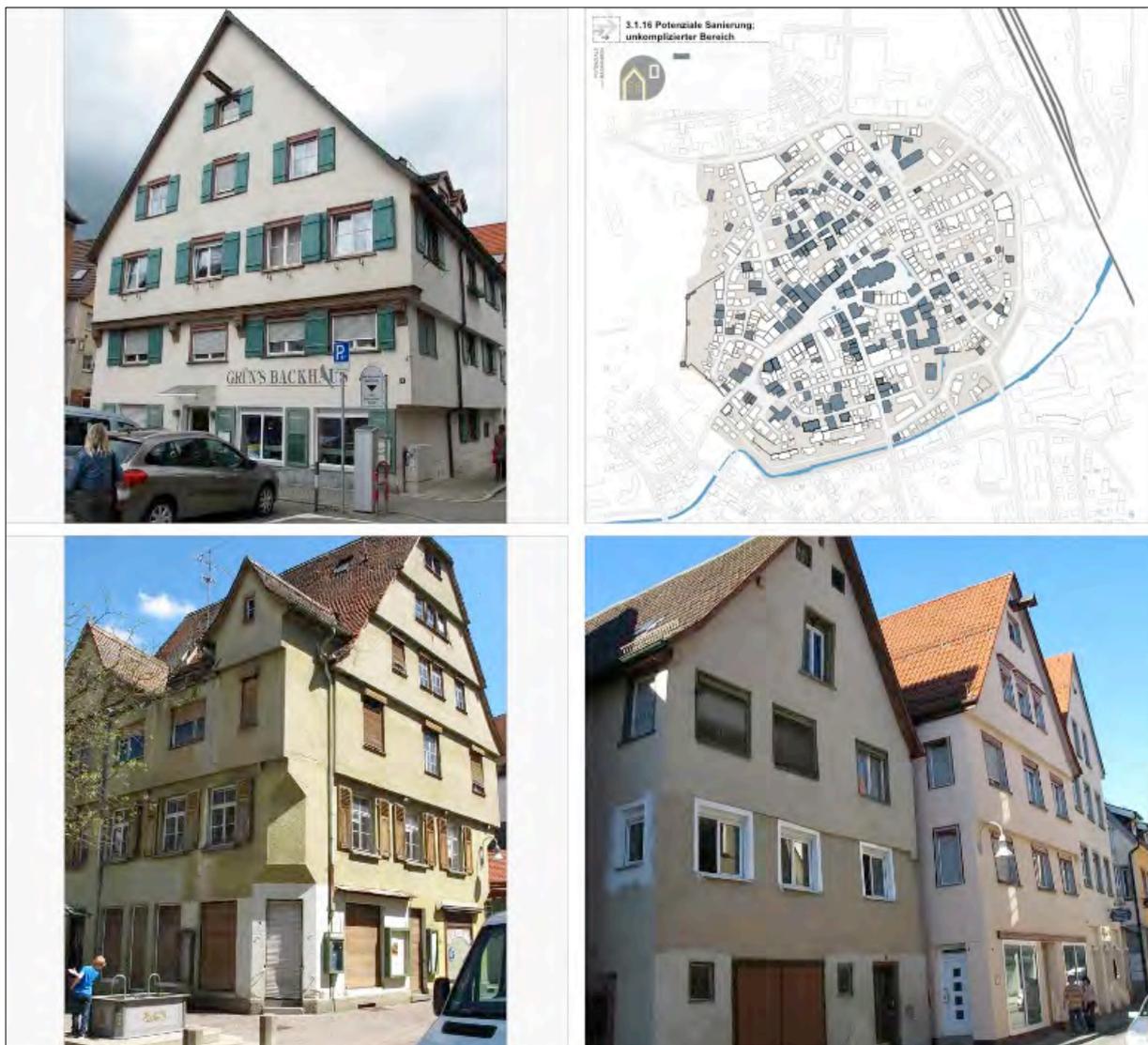


Abb. 79: Denkmale mit überformter Fassade

In Teilen steht die historische Bausubstanz in der Altstadt leer und ist vom Verfall bedroht (s. Abb. 80). Eine Instandsetzung muss heute energetische Fragen mit berücksichtigen und kann z.T. sogar Voraussetzung dafür sein, dass die Bestandsgebäude einer neuen Nutzung zugeführt werden können. Gleichzeitig gilt es zu beachten, dass im Sinne des Denkmalschutzes eine achtsame Sanierung mit Blick auf denkmalschützende Belange angestrebt wird.



Abb. 80: Denkmale und Leerstand

In der letzten Gruppe werden bei dem Meilenstein Denkmale vorgestellt, die bereits energetisch saniert wurden (s. Abb. 81). In den meisten Fällen fügen sie sich in gelungener Weise in das Stadtbild ein, obgleich die Gebäude außen gedämmt wurden. Es wird deutlich, dass relativ „lebendige“ Oberflächen erreicht werden können, die im Stadtbild vertretbar sind.



Abb. 81: Energetisch sanierte Denkmale mit Außendämmung

Arbeitsphase C zeigt auch, dass der Begriff des „Szenarios“ in den beteiligten Disziplinen völlig unterschiedlich definiert wird. Im Städtebau wird der Begriff benutzt um Entwicklungsperspektiven alternativ aufzuzeigen. Dabei liegt der Fokus darauf, unterschiedliche Maßnahmenpakete zu bündeln und ihre Auswirkungen darzustellen. In den Ingenieurwissenschaften errechnen Szenarien bestimmte Ergebnisse innerhalb konkret festgelegter Rahmenbedingungen anhand sich verändernder Variablen. Im Projektverlauf wird deutlich, dass die in unter I.2 dargelegte Heterogenität der verwendeten Daten es nicht erlaubt, für bestimmte, städtebaulich motivierte Maßnahmenpakete eine daraus resultierende CO₂-Reduktion hochzurechnen. In der Konsequenz werden zwischen den Projektpartnern drei Szenarien festgelegt, bei denen bestimmte Maßnahmen, Technologien usw. mit Umsetzungsgraden von 25 % (Szenario 1), 50 % (Szenario 2) bzw. 100 % (Szenario 3: Maximalszenario) angesetzt werden. Die Auswirkungen werden in den einzelnen Fachdisziplinen separat kommentiert (s. Abschnitte II.1.7, II.1.8.1, II.1.13, II.1.14.3, II.1.15).

II.1.13 Maßnahmenpakete im Bereich Städtebau

Im Städtebau werden Maßnahmenpakete gebildet, welche die drei vereinbarten Entwicklungsszenarien bedienen (CO₂-Reduktion um 25 %, 50 % und 100 %). Dazu werden verschiedene der untersuchten Themen überlagert und in ihren Auswirkungen geprüft. Die in der Mobilitätsentwicklung zugrunde gelegten Parameter können dabei in den Karten konkret eingearbeitet und in ihren Auswirkungen auf eine Neuordnung der öffentlichen Räume in den Collagen mit verarbeitet werden. Die Auswirkungen der Berechnungen aus den Energiewissenschaften werden demgegenüber weniger „sichtbar“, fließen aber soweit möglich, z.B. im Fall konkreter Nahwärmenetzverläufe mit in die Gesamtdarstellungen mit ein.

Für Szenario 1 werden folgende Themen überlagert und dargestellt: Sanierungspotenzial der Gebäude, Leerstand, öffentliche Bauten das bestehende Nahwärmenetz und die Gewässer als potenzielle Energielieferanten. Im Gebäudebestand bilden sich die Typen ab, die kurzfristig und mit Standardmaßnahmenpaketen energetisch saniert werden können. Die leerstehenden Gebäude stellen ein besonderes Potenzial dar. Hier reicht das Spektrum möglicher Deutungen von einer energetischen Ertüchtigung im Bestand, und damit Vorbereitung zur Neunutzung, bis zu Ersatzneubauten. Insofern die Leerstände denkmalgeschützte Substanz betreffen kommt der Verwaltung ggf. eine Moderatorenrolle zu, bei städtischen Liegenschaften bieten sich Ansatzpunkte für die Umsetzung beispielhafter Konzepte. Bereits in diesem ersten Szenario leisten die Gewässer einen Beitrag zur Nutzung der geothermischen Potenziale. Auch das bereits bestehende Nahwärmenetz, das ausgehend vom Sennhofareal mehrere kommunale Gebäude versorgt, wird in die Zusammenstellung aufgenommen (s. Abb. 82 und Abb. 83).

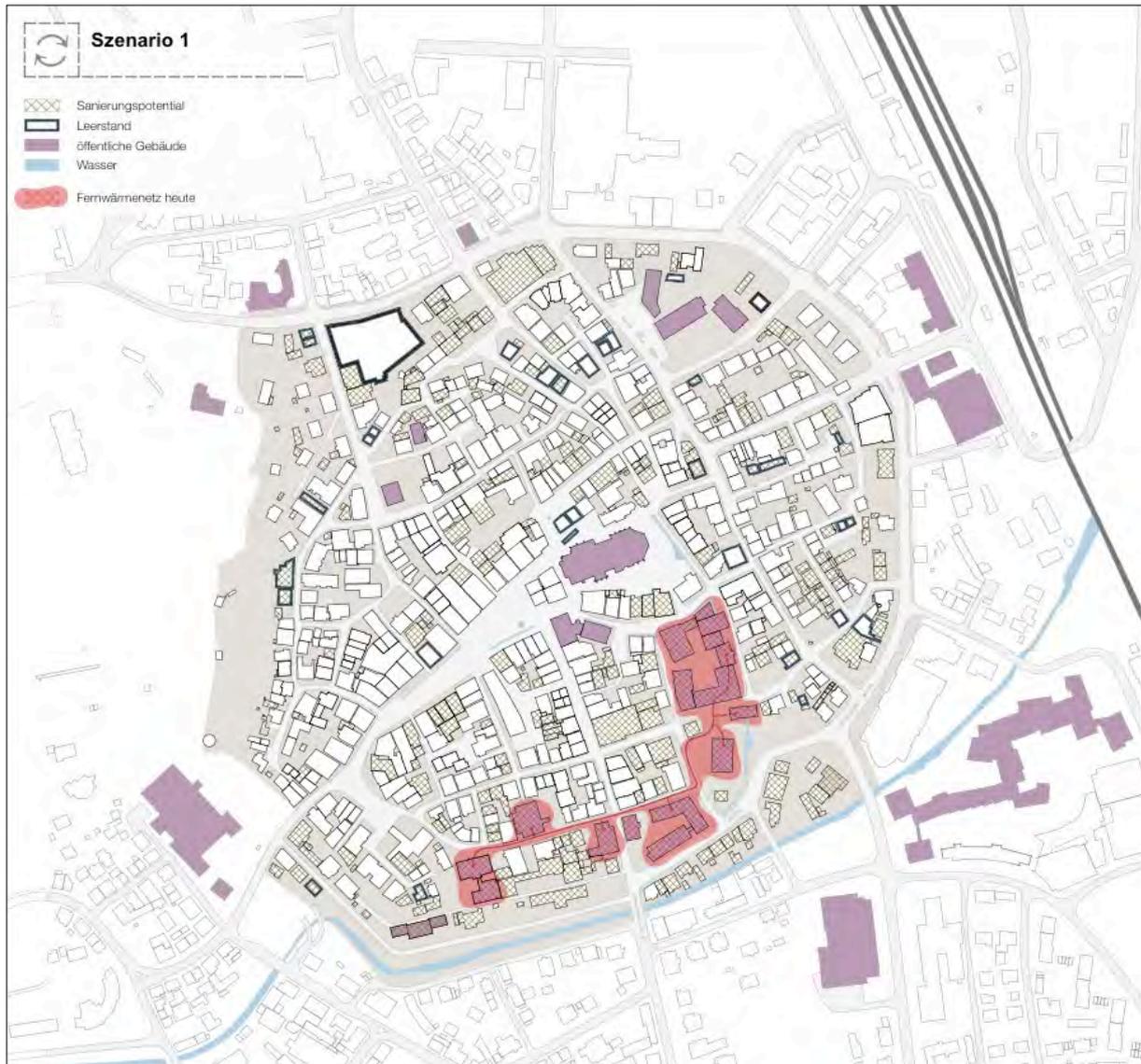


Abb. 82: Szenario 1_ angestrebt 25 % CO₂-Einsparung



Abb. 83: Visualisierung Szenario 1 _ Behutsame Umwidmung der Flächen am Ulmer Tor

Für Szenario 2 werden folgende Themen überlagert und dargestellt: Sanierungspotenzial der Gebäude, Leerstand und öffentliche Bauten wie in Szenario 1. Hinzu kommen private Höfe und öffentliche Räume, für die keine Erneuerung angedacht ist. Sie werden als Bereiche dargestellt, in denen die Versickerungsfähigkeit der Böden verbessert und die Freiräume auch ökologisch gestaltet werden können. Das bestehende Nahwärmenetz wird erweitert dargestellt und die Gewässer leisten in diesem Szenario einen weitergehenden Beitrag zur Nutzung der geothermischen Potenziale. Fahrradroutes und Übergangsbereiche für Fußgänger und Radfahrer am Ring sind als Annahmen aus den Mobilitätsszenarien aufgegriffen. Eine Aufwertung der öffentlichen Räume kann eine veränderte Verkehrsmittelwahl unterstützen. Sie wird zusätzlich wirksam zu der in diesem Szenario angesetzte Reduktion von Zufahrtsmöglichkeiten in die Altstadt und Stellplatzangeboten für den individuellen motorisierten Verkehr (s. Abb. 84 und Abb. 85).

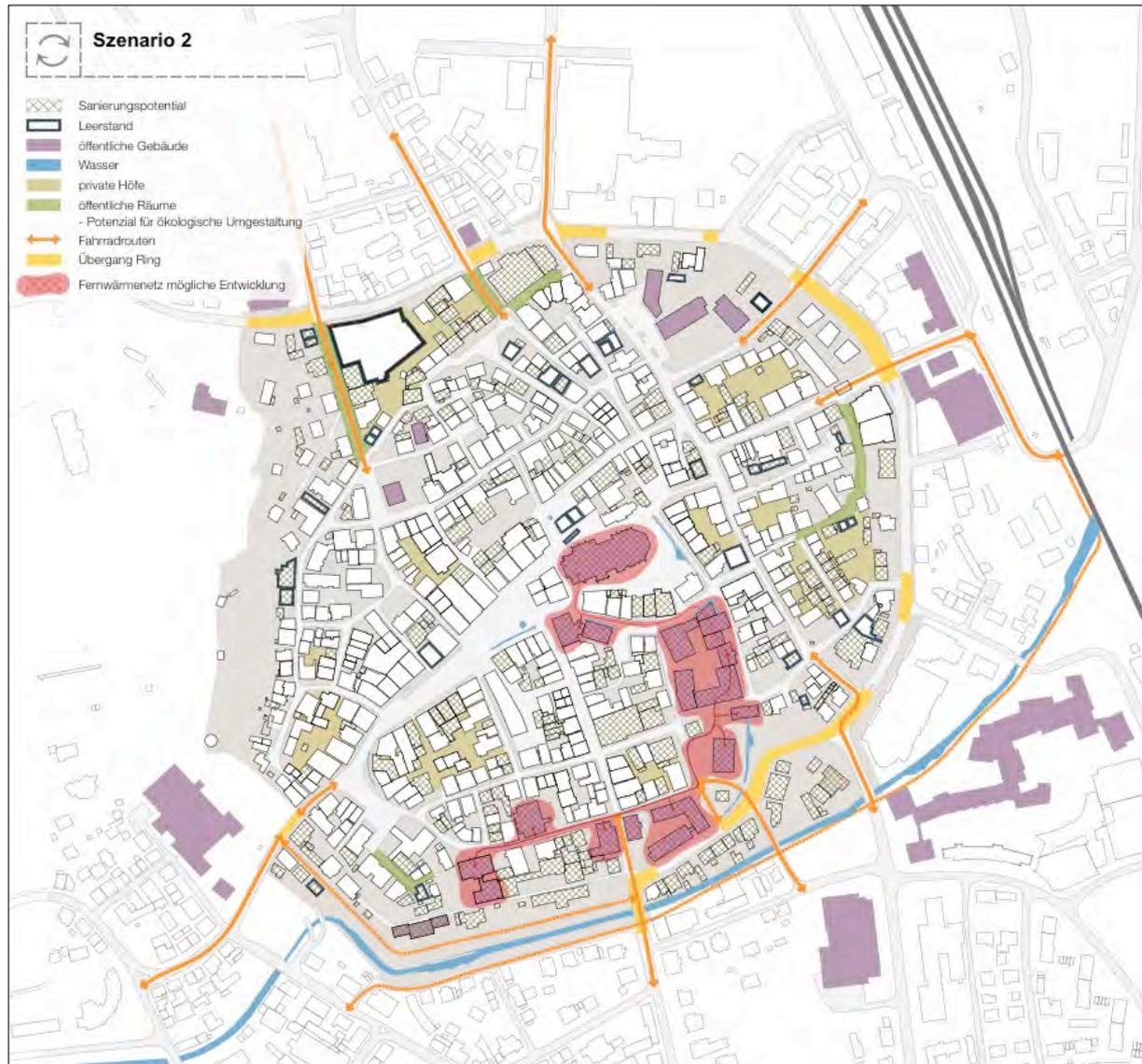


Abb. 84: Szenario 2 _ angestrebt 50 % CO₂-Einsparung



Abb. 85: Visualisierung Szenario 2 _ Altstadttring mit attraktiven Querbeziehungen

Das Maximalszenario 3 reicht am weitesten. Hier werden folgende Themen überlagert und dargestellt: Sanierungspotenzial der Gebäude, Leerstand und öffentliche Bauten wie in Szenario 1; dazu das erweiterte Nahwärmenetz, die private Höfe und weniger prominent gelegenen öffentliche Räume als Potenziale für ökologisch wirksame Freiräume sowie Fahrradrouten und Übergangsbereiche für Fußgänger und Radfahrer als Anreize für verändertes Mobilitätsverhalten wie in Szenario 2. Hinzu kommen in der Maximalvariante noch folgende Aspekte: Neubebauung und notwendige Neuordnung von Gebäuden und Gebäudeensembles, primär entlang des Zeppelin-/ und Bismarckringes. Im Wechselspiel zwischen hochbaulichen Entwicklungen und Freiraumkonzepten kann dieser Randbereich der Altstadt besonders wirksam neu gegliedert werden. Ferner fließen alle Denkmale und stadtbildprägenden Gebäude ein, die verputzt sind und damit gemäß den Ergebnissen aus Meilenstein 4 grundsätzlich als (mit entsprechendem Aufwand) energetisch sanierbar eingestuft werden können. Die Gewässer übernehmen einen wesentlichen Beitrag der Energieversorgung und werden entsprechend deutlich markiert. In diesem Szenario werden auch die öffentlichen Räume der Erneuerungspriorität 2 als grüne Freiräume mit aufgenommen, der Umbau der Höfe und Randzonen wird intensiviert. Schließlich fließen auch Schaufensterflächen in die Darstellung mit ein als individuelle Ansatzpunkt, besonders große Wärmeverluste einzusparen (s. Abb. 86 und Abb. 87).

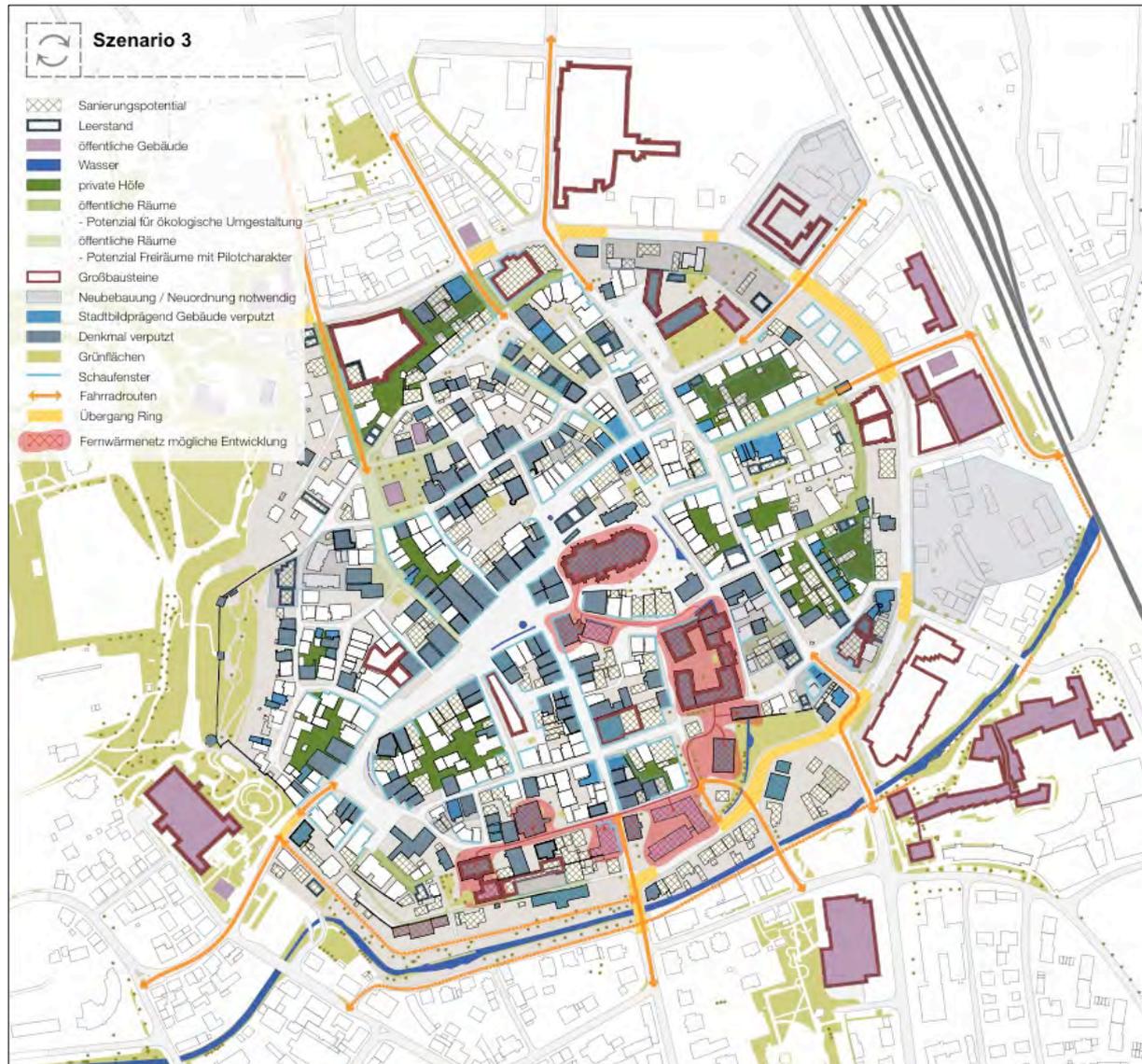


Abb. 86: Szenario 3 _ angestrebt 100 % CO₂-Einsparung



Abb. 87: Visualisierung Szenario 3 _ Vision einer „grünen Altstadt“

II.1.14 Fallstudien Potenziale der Energiebereitstellung

II.1.14.1 Zentrale und dezentrale Abwassernutzung

Die Wärmebereitstellung durch eine dezentrale Abwasserwärmerückgewinnung wurde an dem Beispiel eines Duschwasserwärmetauschers betrachtet und für das gesamte Untersuchungsgebiet hochgerechnet (s. Abschnitt II.1.8.2b „Dezentrale Abwasserwärmenutzung in der Altstadt Biberachs“). Die zentrale Abwasserwärmerückgewinnung wurde an dem konkreten Fall des Sammelkanals, der das Untersuchungsgebiet entwässert, untersucht (s. Abschnitte II.1.8.2c und II.1.8.2d). Beide Untersuchungen stellen deshalb eine Fallstudie dar, welche jedoch aufgrund der Aussage für das Potenzial des gesamten Untersuchungsgebiets bereits im Abschnitt II.1.8 „Potenziale der Energiebereitstellung“ dargestellt werden.

II.1.14.2 Fallstudie zentrale Energiebereitstellung durch Oberflächengewässer mit Wärmepumpe, BHKW und Photovoltaik am Beispiel des Sennhofareals

Als ein konkretes Beispiel für eine zentrale Bereitstellung von Wärme und Strom bot sich im Untersuchungsgebiet das sogenannte Sennhofareal mit bereits bestehendem Nahwärmenetz an. Bei dem Areal handelt es sich um einen in Besitz der Stadt Biberach liegenden und als Verwaltungsbau genutzten Gebäudekomplex, der derzeit über ein Energiewärmelieferungscontracting mit dem regionalen Energieversorger e.wa riss Netze GmbH mit Wärme und Strom versorgt wird. Die Energiebereitstellung erfolgt über zwei im Gebäude aufgestellte gasbetriebene Blockheizkraftwerke für die Grund- und Mittellast sowie zwei Spitzenlast-Gaskessel. Diese versorgen neben dem Gebäudekomplex weitere über ein Nahwärmenetz angebundene städtische Gebäude mit Wärme (s. Abb.88).

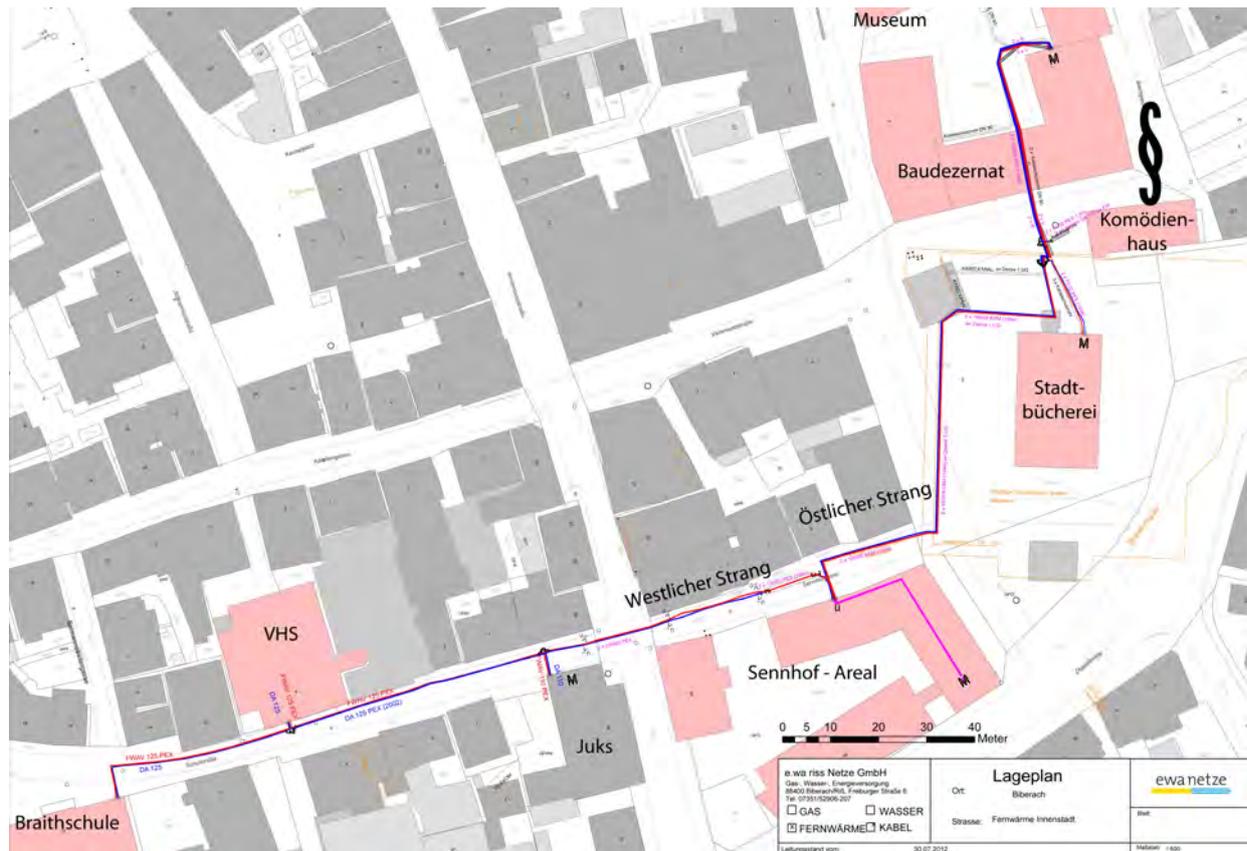


Abb. 88: Lageplan der Nahwärmeversorgung des Sennhofareals mit den untersuchten und z.T. angeschlossenen Gebäuden [EWR13]

Das Nahwärmenetz ist jedoch nur zum Teil in Betrieb, manche direkt an der Nahwärmeleitung liegende Gebäude (VHS, Braithschule & Komödienhaus) sind nicht angeschlossen oder verfügen trotzdem über eine eigene Wärmeerzeugung. Die nicht in Betrieb befindlichen Teile des Netzes sind entweder angeblich unterdimensioniert oder vorsorglich für eine spätere Anbindung der Gebäude verlegt worden. Da die BHKW's kurzfristig ersetzt werden müssen (in Betrieb seit 1995), wurde es als sinnvoll und für das Projekt und darüber hinaus zusätzlich dienlich erachtet, die Möglichkeiten einer KWK-Nahwärme mit Nutzung von Umweltwärme und Wärmepumpe mit Studierendengruppen exemplarisch zu untersuchen. Dazu wurde die derzeitige Energieerzeugung und Verteilung analysiert und in Hinblick auf eine Aktivierung der nicht betriebenen Nahwärmlösungen, eine mögliche Erweiterung des Versorgungsnetzes und einen möglichen Einsatz alternativer Wärmequellen untersucht. Es werden im Folgenden die in [RDT14] genauer erläuterten Teil-Untersuchungen und Ergebnisse dargestellt. Die Untersuchungen umfassten neben der Energiezentrale selbst das vorhandene Leitungsnetz, die angeschlossenen Gebäude und mögliche weitere Wärmeabnehmer. In weiteren Studien-Projekten werden die Möglichkeiten und Details für die Nutzung des Oberflächen-/ Bachwassers ([HJR14], abgeschlossen) als auch der Nutzung des Paketes BHKW und Wärmepumpe mit PV im Energiemarkt (noch in Bearbeitung) untersucht.

Um zu prüfen, ob die an das Nahwärmenetz angeschlossenen, aber nicht versorgten Gebäude doch über die vorhandenen Leitungen versorgt werden können bzw. ob weitere Gebäude versorgt werden können, wurden für alle öffentlichen Gebäude im Einzugsgebiet der bisherigen Leitungen die benötigten Heizenergien und -leistungen aus dem Energiebericht

[SBi11] entnommen und anhand von Berechnungen verifiziert. Effizienzverbesserungen aus dieser Untersuchung wurden vorgeschlagen.

Die maximale Heizleistung aller bisher versorgten Gebäude beträgt laut Berechnung und Simulation 585 kW_{th} und die Wärmeenergie 1.040 MWh_{th}/a, was sehr gut zu den Angaben im Energiebericht von 1.039 MWh_{th}/a passt.

Eine berechnete Analyse der Strömungssituation und Temperaturen des Nahwärmenetzes zeigt, dass zum Beispiel bei einer Temperaturspreizung von 20 K und einer möglichen Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s im Hauptstrang eine maximale Leistung von 821 kW_{th} transportiert werden kann, womit sich eine freie Kapazität von 236 kW_{th} ergibt. Eine weitere Leistungssteigerung wäre möglich. Die Leistung des östlichen Strangs beträgt 518 kW_{th}, die des westlichen Strangs beträgt 303 kW_{th}. Die Vermutung einer Unterdimensionierung konnte dadurch widerlegt werden. Es sind somit unter den gegebenen Bedingungen Kapazitäten im Leitungsnetz frei. Aus diesem Grund wurde ein erweitertes Nahwärmekonzept entwickelt.

Bezeichnung	Formelzeichen	Hauptstrang	westlicher Versorgungsstrang	östlicher Versorgungsstrang		Rathaus/Kirche	Einheit	
Ermittlung der maximale Wärmeleistung								
Trassenlänge	l_{Trasse}	5	155	110	45	45	150	m
Rohrbezeichnung - Nennweite	-	DN 65	DN 50	DN 65	DN 50		DN 65	-
Rohrdurchmesser - Außen mit Isolierung	d_a	160	125	160	125	125	160	mm
Wandstärke des Rohres	s_{Rohr}	4,0	3,2	4,0	3,2	3,2	4,0	mm
Rohrdurchmesser - Außen	d_{an}	88	63	88	63	63	88	mm
Rohrdurchmesser - Innen	d_i	0,080	0,057	0,080	0,057	0,057	0,080	m
maximale Wärmeleistung	\dot{Q}_{max}	787	290	497	215	215	342	kW

Abb. 89: Leistungspotenzial des bestehenden und erweiterten Nahwärmenetzes [RDT14]

Das Nahwärmenetz kann um die zum Anschluss vorbereiteten Gebäude VHS, Braithschule & Komödienhaus, Rathaus und weitere Gebäude der Innenstadt erweitert werden (s. Abb. 90, Gebäude 1,2,6,9,10). Für die Erweiterung des Nahwärmenetzes kommen unter anderem das Rathaus und die Kirche St. Martin in Frage. Aus der bereits für die Abbildung des Bestandes verifizierten Berechnung/Simulation (BHKW-Plan und Monatsbilanz nach DIN 4108-6) ergibt sich für alle Gebäude eine Leistung von 787 kW_{th}, was immer noch unter der Leistungsfähigkeit des Hauptstranges liegt. Die bestehende Leitung des westlichen Strangs zur VHS und der Braithschule ist ausreichend groß und muss nur in Betrieb genommen werden. Die bestehenden Leitungen des östlichen Strangs sind ebenfalls ausreichend. Für den Anschluss des Rathauses und der Kirche St. Martin müsste das Leistungsnetz im nördlichen Teil vom Baudezernat bis zur Kirche mit einer Leitung z.B. der Größe DN 65 erweitert werden. Das vorhandene Leerrohr für den Anschluss des Komödienhauses müsste an das bestehende Netz angeschlossen werden.

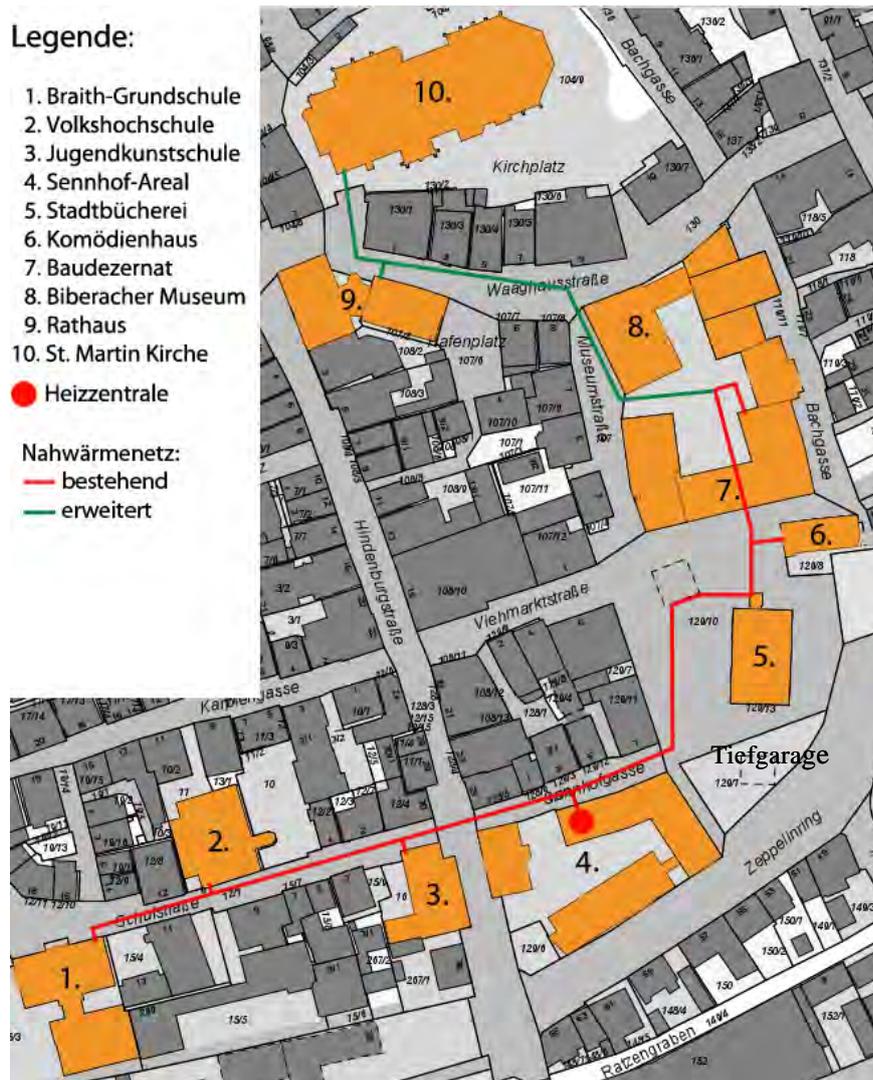


Abb. 90.: Mögliche Erweiterung der Nahwärmeversorgung des Sennhofareals [RDT14]

Die Gebäude mit Flächenheizsystemen (Stadtbücherei, Museum, Kirche) werden zur Absenkung der Rücklauftemperatur an den Rücklauf angeschlossen, da das dort vorhandene Temperaturniveau ausreichend für deren Versorgung ist. Über eine Kopplung an den Vorlauf ist auch über Beimischung eine Versorgung über den Vorlauf möglich. Durch die Rücklauf-temperaturabsenkung werden einerseits der Einsatz einer Wärmepumpe zur Vorwärmung und andererseits die Erhöhung der Temperaturspreizung und damit eine weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit des Nahwärmenetzes ermöglicht (Abb. 91).

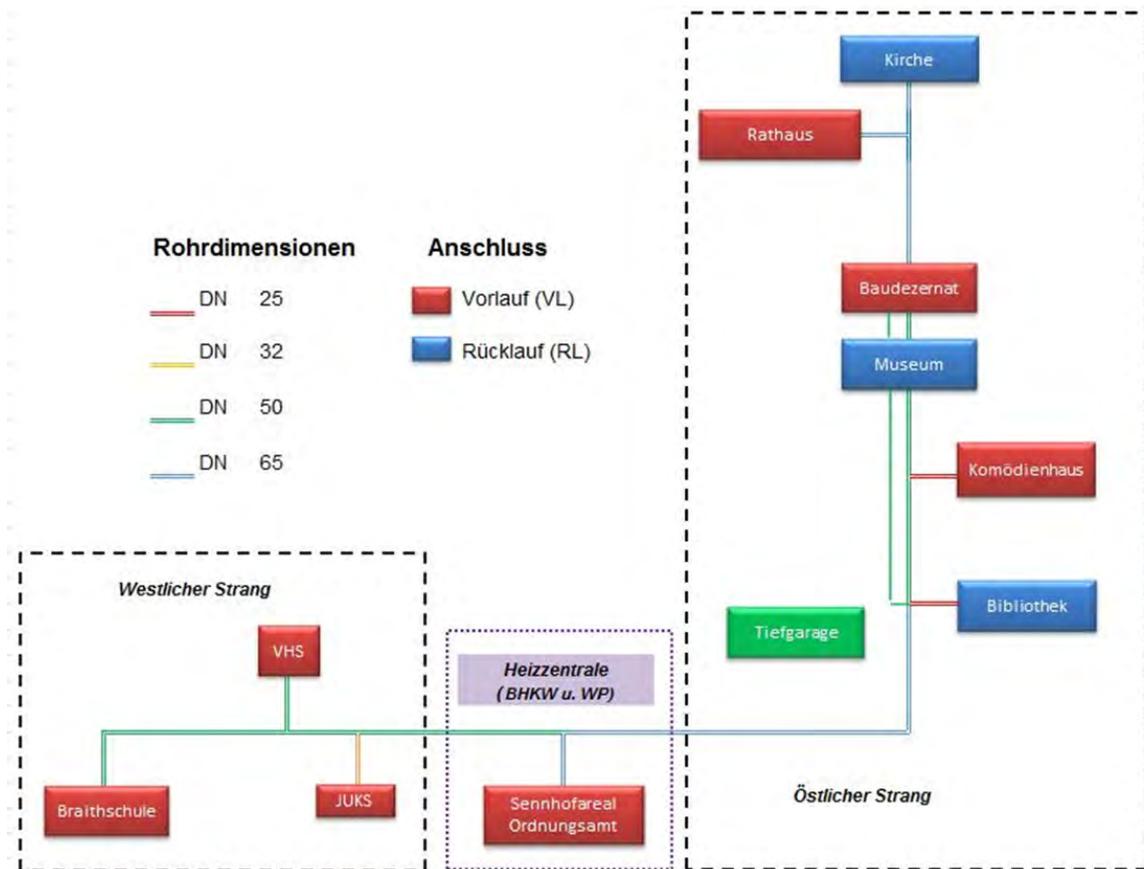


Abb. 91: Schema des erweiterten Nahwärmenetzes mit Nutzung NT-Wärme im Rücklauf [RDT14]

Für die Wärmebereitstellung werden der Ersatz der bestehenden BHKW's durch zwei neue, effizientere BHKW's mit einer Leistung von 150 kW_{th} und 100 kW_{el} sowie eine Bachwasser-Wärmepumpe mit einer Leistung von 380 kW_{th} vorgeschlagen. Dazu wurde wegen diverser Probleme am derzeitigen Standort auch eine Alternative in der bestehenden Tiefgarage betrachtet, durch die die Wärmeleitungen führen.

Der Strom zum Betrieb der Wärmepumpe wird überwiegend vom BHKW bereitgestellt (s.u.), da dieser günstiger als die Konditionen zum Bezug aus dem Stromnetz ist. Zur Spitzenlastabdeckung Wärme sollen die bestehenden Gaskessel und Pufferspeicher erhalten bleiben.

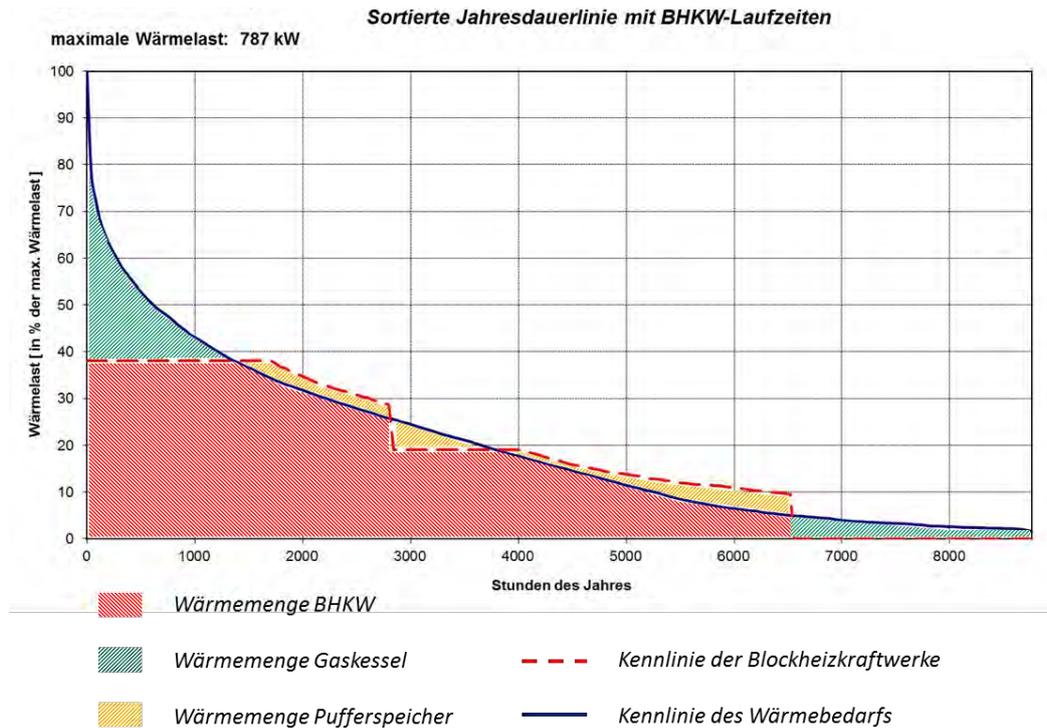


Abb. 92: Wärmelastkurve für Auslegung BHKW ohne WP [RDT14]

Die Wärmepumpe dient dazu, die Temperatur des möglichst weit abgekühlten Rücklaufs vor dem BHKW auf ca. 50 °C anzuheben (Abb. 93). Sie kann als Wärmequelle den in der Nähe des Sennhofareals fließenden Ratzengraben nutzen. Das dort vorhandene Wärmepotenzial wurde bereits in den vorangegangenen Abschnitten zur Geothermie erläutert und wird durch diese Maßnahme nur zu einem geringen Teil ausgeschöpft. Ideal für diese Anwendung wäre eine CO₂-Wärmepumpe, die eine gleitende Anpassung an tiefe Außentemperaturen bei gleichzeitig hoher Abgabetemperatur hat. Diese sind aber bisher nur in Japan für die Warmwasserbereitung üblich.

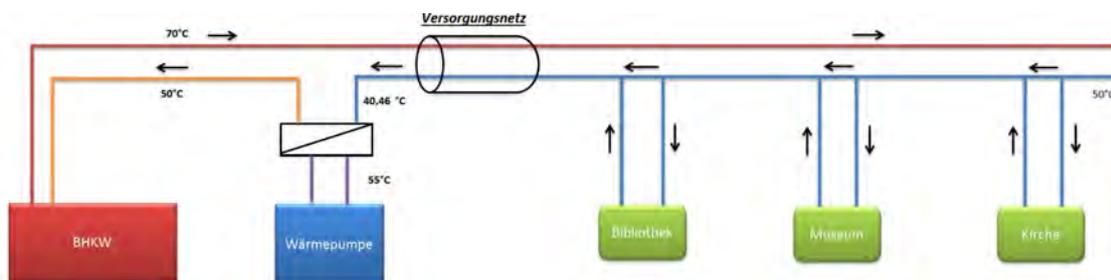


Abb. 93: Schema Einbindung der Wärmepumpe in den Rücklauf des Nahwärmenetzes [RDT14]

Der von den BHKW's erzeugte Strom soll in erster Linie dem Eigenverbrauch der Anlage zur Versorgung der Netzpumpen und der Wärmepumpe sowie Deckung weiterer Hilfsenergien dienen. Derzeit wird der gesamte erzeugte Strom in das Netz der e.wa riss eingespeist. Überschüssiger Strom soll bevorzugt im Sennhofareal verbraucht oder, wenn nicht benötigt, in das Netz der e.wa riss eingespeist werden.

Die durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab Stromgestehungskosten von 10 ct/kWh_{el} und Wärmegestehungskosten von 6,9 bis 7,8 ct/kWh_{th}, was die vorgeschlagene Anlage zu einer durchaus konkurrenzfähigen Alternative zu herkömmlichen Wärme- und Stromproduktionsarten macht. Durch die Einbindung der Anlage BHKW und elektrische Wärmepumpe in die zukünftigen Möglichkeiten des Smart Market mit Regelenergie und anderen gekoppelten Produkten ergeben sich weitere Verbesserungen der wirtschaftlichen Situation wie eine laufende Studie bereits aufzeigt.

Die ökologische Bewertung des Konzeptes ergibt einen Primärenergieeinsparungsfaktor von 0,298 nach der Finnischen Methode. D. h. gegenüber einer konventionellen Wärme- bzw. Stromerzeugung benötigt das vorgeschlagene Konzept 29.8 % weniger Primärenergie. Nach der Gutschriftenmethode ergibt sich eine jährliche CO₂-Vermeidung von 1.240 t/a gegenüber einer konventionellen Strom- und Wärmeerzeugung.

Konzept für die Wärmepumpe mit Bachwasser

Für die Wärmeentnahme aus dem Gewässer wurden folgende vier Varianten untersucht und bewertet, die ähnlich sind wie Entnahmesysteme für Abwasser-Wärmepumpen.

- Wärmetauscher im Bachwasser oder im Bachbett
- Schachtentnahmesystem mit direkter oder indirekter Nutzung des Bachwassers

Bei jeder Variante besteht darüber hinaus die Möglichkeit, direkt das gefilterte Bachwasser zum Solekreis der Wärmepumpe zu führen oder diesen direkt in das Gewässer zu führen.

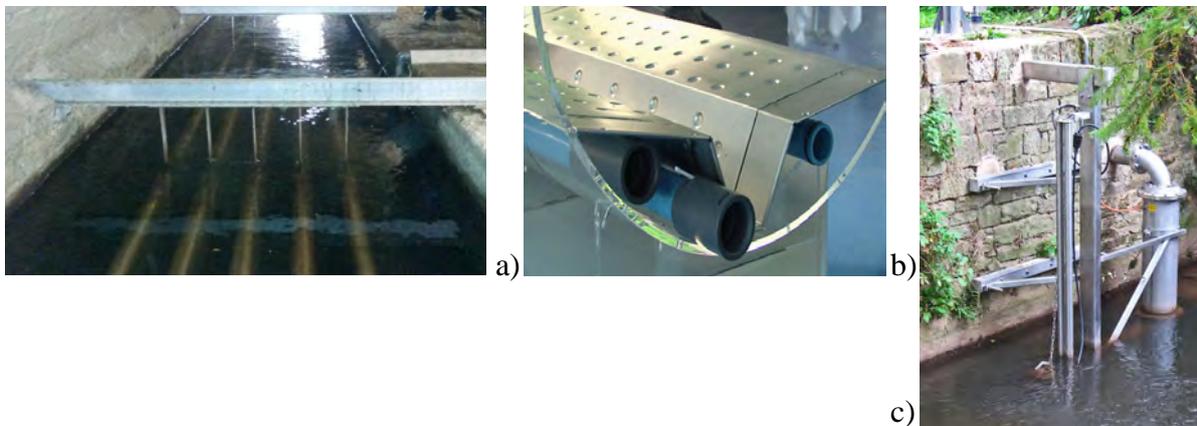


Abb. 94: a) Museum Biberach, b) www.uhrig-bau.eu/de/index.html, c) Entnahmesysteme ohne Schacht www.thermea.de

Aus Gründen der einfachen Einbringung der notwendigen Bauwerke als auch für eine einfache, preiswerte Leitungsführung wurde ein Standort am sogenannten Ratzengraben (330 l/s Trockenwettermassenstrom) an einer Brücke mit einigen hundert Metern gefasster Führung des Baches gewählt. Alternative Gewässer in der Nähe der Heizzentrale, die unter anderem schon für Kühlzwecke genutzt werden, wurden im Detail bewertet, haben sich jedoch für die gewünschten Parameter als ungeeignet erwiesen [HJR14].

Als Bewertungskriterien wurden gewählt:

- zeitliche Verteilung Massenstrom und Temperatur (Abb. 96)

- Mögliche Entnahmemenge und Abkühlungstemperatur (u.a. Begrenzung Naturschutz, Fische etc., beim Ratzengraben 20 l/s und 2 K)
- Begrenzung Verunreinigung im Bach, ggf. durch Sole (Beachtung von wasserwirtschaftlichen Vorgaben, siehe z.B. Wasserwirtschaftsamt Deggendorf)
- Anschluss/ Entfernung an das Nahwärmenetz und technischer Aufwand
- Möglichkeiten Entnahmesystem

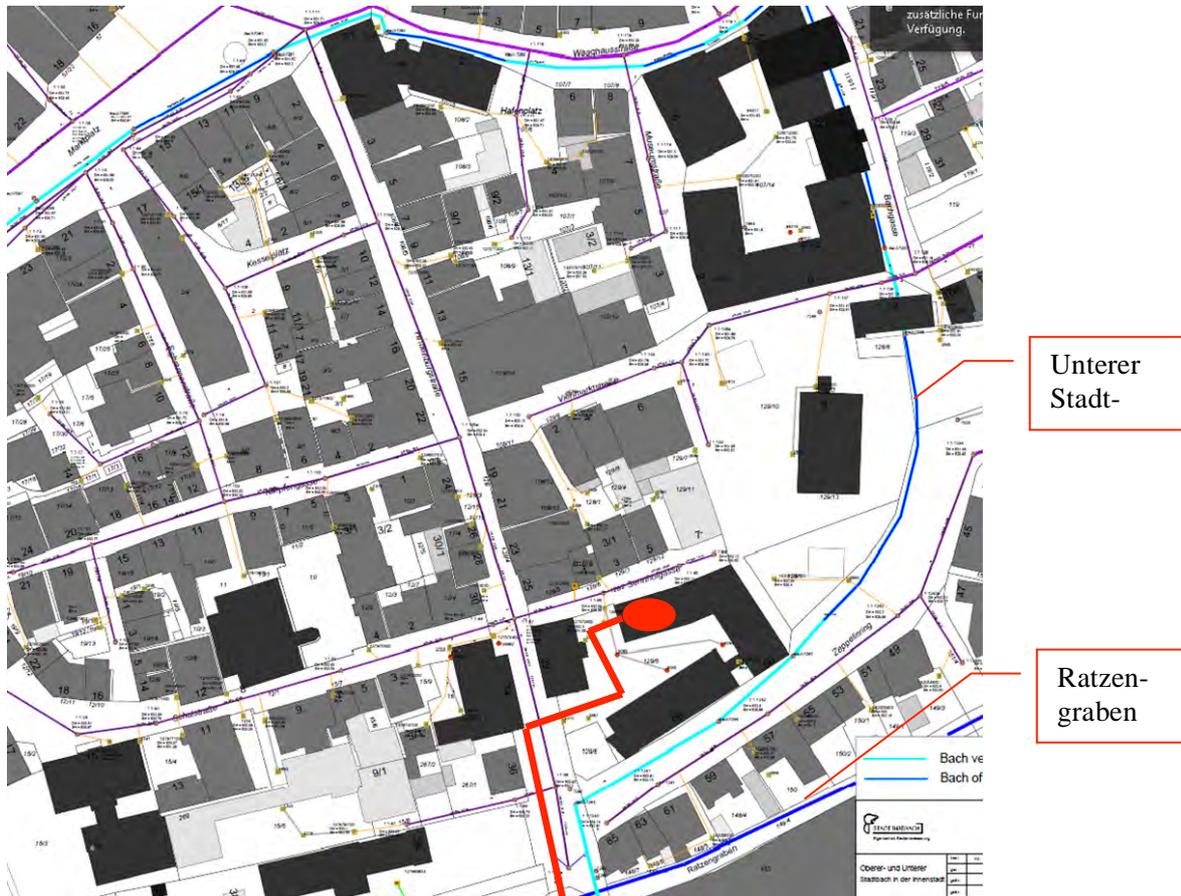


Abb. 95: Oberflächengewässer in der Altstadt Biberach, Heizzentrale mit Wegeföhrung Anschluss Wärmepumpe ans Bachwasser (rot) [HJR14]

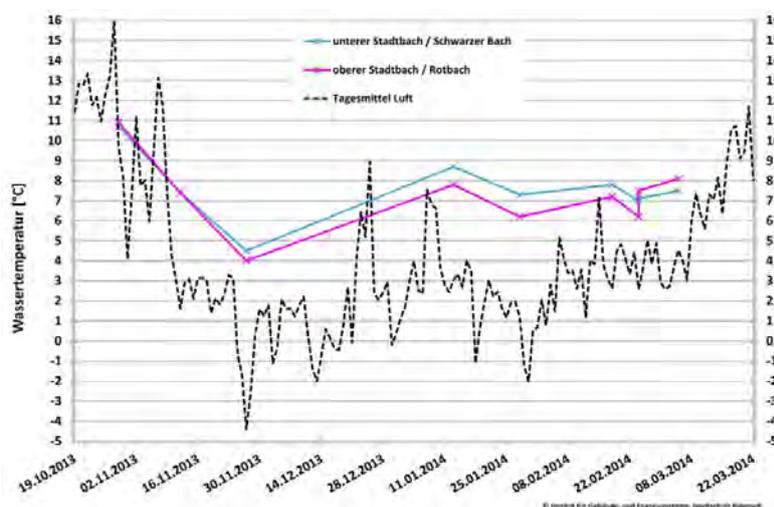


Abb. 96: Wassertemperaturen der betrachteten Oberflächengewässer

Die Entnahmesysteme selber wurden mit vergleichbaren Kriterien wie die Entnahmestelle bewertet. Dazu kamen die Kriterien

- Kosten und baulicher Aufwand
- Wartungsaufwand/ Selbstreinigung
- Wärmeübertragung, Flächen/ räumliche Möglichkeiten im oder am Bach
- Wärmeträgermedium/ Toxizität
- Länge der Netzleitung

Als Ergebnis einer gewichteten Bewertung wurde ein Entnahmesystem mit Schachtbauwerk/ Filterung und Weiterleitung des gereinigten Bachwassers zur Wärmepumpe vorgeschlagen (ähnlich Abb. 97) [HJR14]), wie es z.B. bei der Flusswasser-Wärmepumpe in Lauter- ecken/Pfalz eingesetzt wird. Weitere Ausführungen zu den Wärmepotenzialen in Gewäs- sern, insbesondere in Baden-Württemberg, sind [Sch12] zu entnehmen.

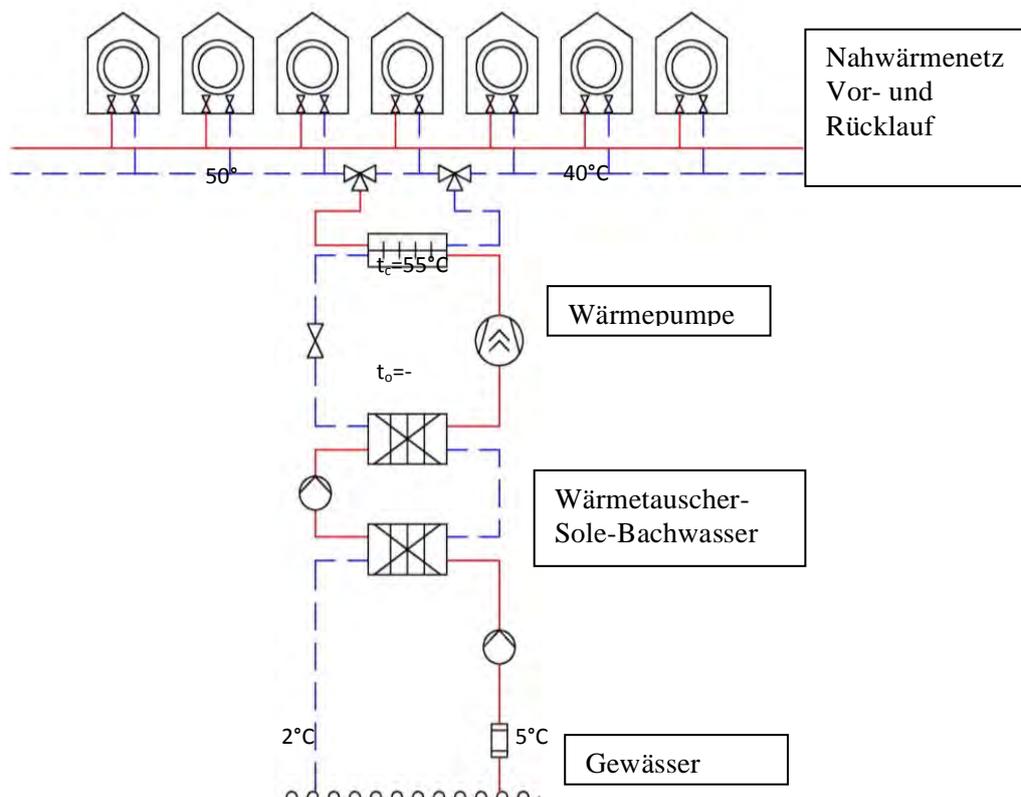


Abb. 97: Schema Wärmepumpe mit Gewässer [HJR14]

II.1.14.3 Potenziale für die Projekt-Szenarien im Bereich Geothermie

Im Gesamtprojekt eCO₂centric sind drei Szenarien festgelegt, bei denen bestimmte Maßnahmen, Technologien usw. mit Umsetzungsgraden von 25 % (Szenario 1), 50 % (Szenario 2) bzw. 100 % (Szenario 3: Maximalszenario) angesetzt werden. Für die oberflächennahen und anderen im Untergrund liegenden potenziellen thermischen Energiequellen werden im Folgenden die oben dargestellten technisch maximal nutzbaren Potenziale als Ausgangs-

punkt herangezogen. Wie bereits erläutert, sind dabei die einzelnen Potenziale nicht durchgängig additiv zu sehen sie gelten noch ohne Berücksichtigung eines, z. B. saisonal, variierenden Wärmebedarfs oder evtl. Einschränkungen auf aufgrund der Nutztemperatur. Weitere Einschränkungen aufgrund der Wärmebedarfs- bzw. Wärmeverbrauchscharakteristik (Höhe und zeitliche Verteilung, benötigte Nutztemperaturniveaus) der Biberacher Altstadt sind deshalb ggf. noch hinzuzufügen.

Tab. 34: Potenziale Szenario 1: 25 % des technisch maximal nutzbaren Potenzials

Quelle	spezifische Dauerleistung	mittlere Leistung [MW]	Jahresenergie [MWh/a]
Szenario 1: 25 % des technisch maximal möglichen Potenzials			
Erdwärmekollektoren/-körbe	6 W/m ² (Spitzenleistung: 25 W/m ²)	0,021 (Spitzenleistung: 0,09)	175
Thermische Nutzung von Grundwasser	0,75 W/m ² (Spitzenleistung: 3 W/m ²)	0,04 (Spitzenleistung: 0,15)	333
Thermische Nutzung von Trinkwasser (Reinwasser Altstadt)	1,17 kW/(m ³ /h)	0,005	40
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (oberer Stadtbach)	6,3 kW/(l/s)	0,012	104
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (unterer Stadtbach)	6,3 kW/(l/s)	0,025	221
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (Ratzengraben)	6,3 kW/(l/s)	0,27	2.380

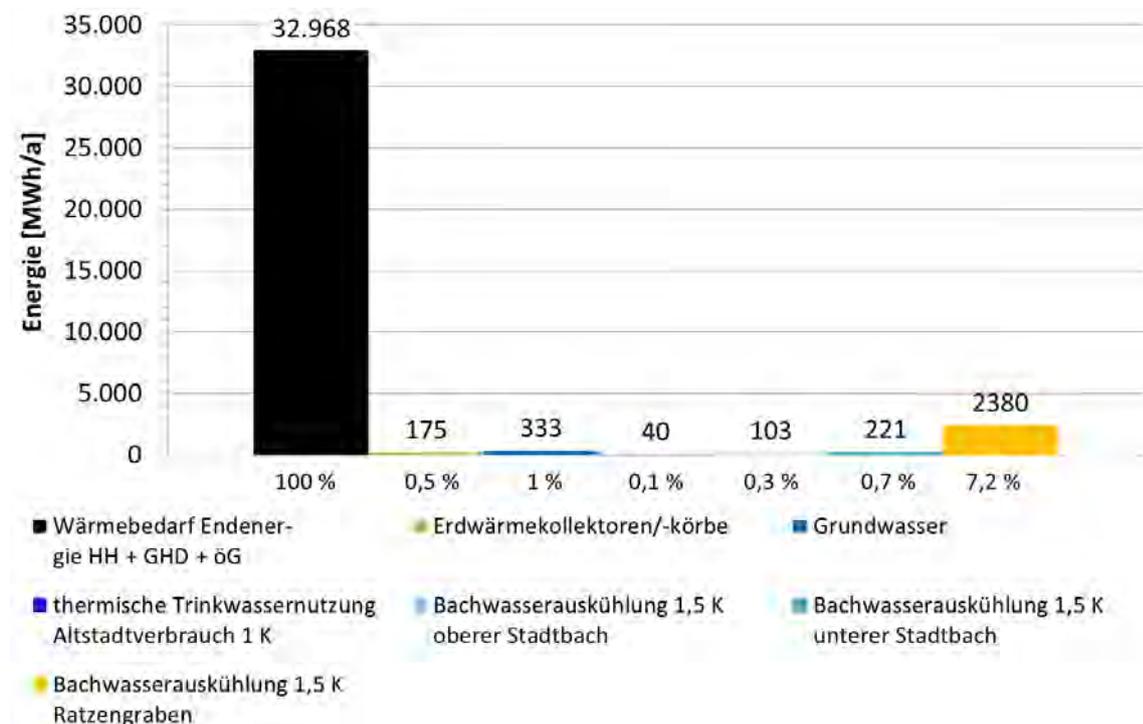


Abb. 98: Energetisches Potenzial Szenario 1 oberflächennaher geothermischer Quellen im Altstadtquartier von Biberach

Tab. 35: Potenziale Szenario 2: 50 % des technisch maximal nutzbaren Potenzials

Quelle	spezifische Dauerleistung	mittlere Leistung [MW]	Jahresenergie [MWh/a]
Szenario 2: 50 % des technisch maximal möglichen Potenzials			
Erdwärmekollektoren/-körbe	6 W/m ² (Spitzenleistung: 25 W/m ²)	0,042 (Spitzenleistung: 0,18)	350
Thermische Nutzung von Grundwasser	0,75 W/m ² (Spitzenleistung: 3 W/m ²)	0,08 (Spitzenleistung: 0,3)	665
Thermische Nutzung von Trinkwasser (Reinwasser Altstadt)	1,17 kW/(m ³ /h)	0,009	79
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (oberer Stadtbach)	6,3 kW/(l/s)	0,024	207
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (unterer Stadtbach)	6,3 kW/(l/s)	0,05	442
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (Ratzengraben)	6,3 kW/(l/s)	0,54	4.760

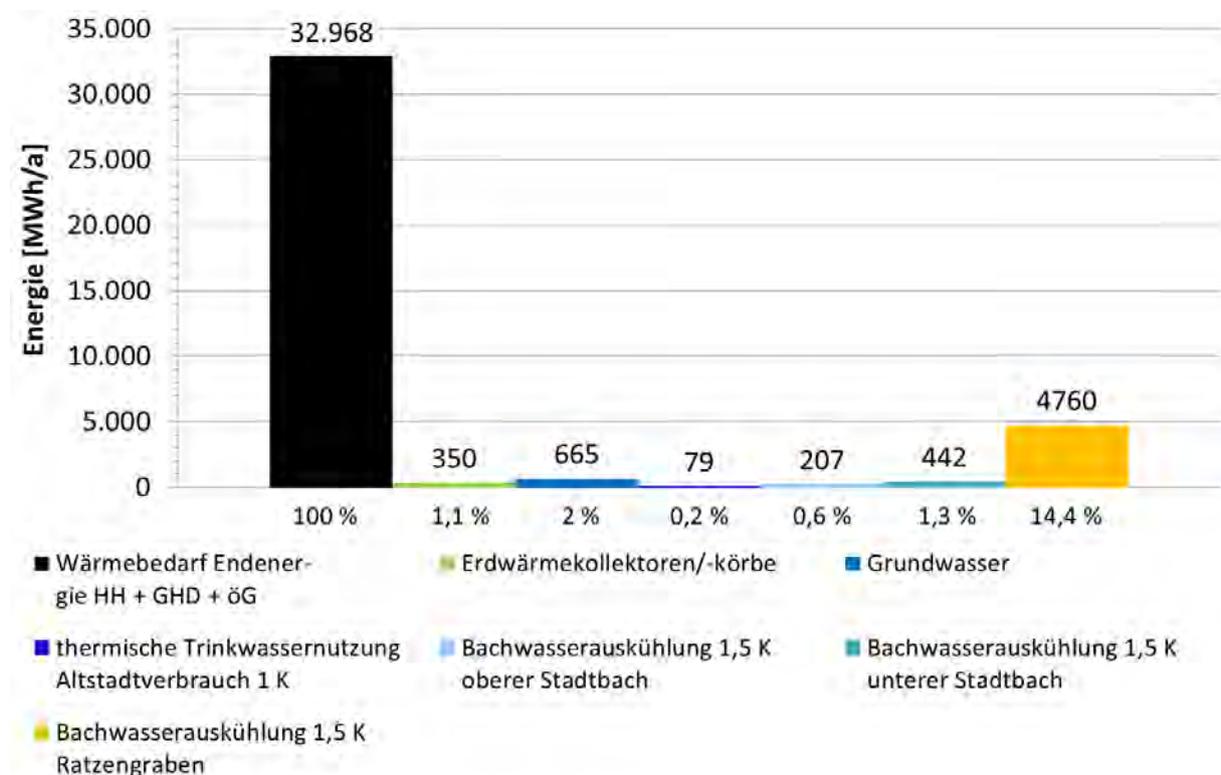


Abb. 99: Energetisches Potenzial Szenario 2 oberflächennaher geothermischer Quellen im Altstadtquartier von Biberach

Tab. 36: Potenziale Szenario 3: 100 % des technisch maximal nutzbaren Potenzials

Quelle	spezifische Dauerleistung	mittlere Leistung [MW]	Jahresenergie [MWh/a]
Szenario 3: 100 % des technisch maximal möglichen Potenzials			
Erdwärmekollektoren/-körbe	6 W/m ² (Spitzenleistung: 25 W/m ²)	0,084 (Spitzenleistung: 0,35)	700
Thermische Nutzung von Grundwasser	0,75 W/m ² (Spitzenleistung: 3 W/m ²)	0,15 (Spitzenleistung: 0,61)	1.330
Thermische Nutzung von Trinkwasser (Reinwasser Altstadt)	1,17 kW/(m ³ /h)	0,018	158
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (oberer Stadtbach)	6,3 kW/(l/s)	0,047	414
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (unterer Stadtbach)	6,3 kW/(l/s)	0,10	883
Thermische Nutzung von Oberflächenwasser (Ratzengraben)	6,3 kW/(l/s)	1,09	9.520

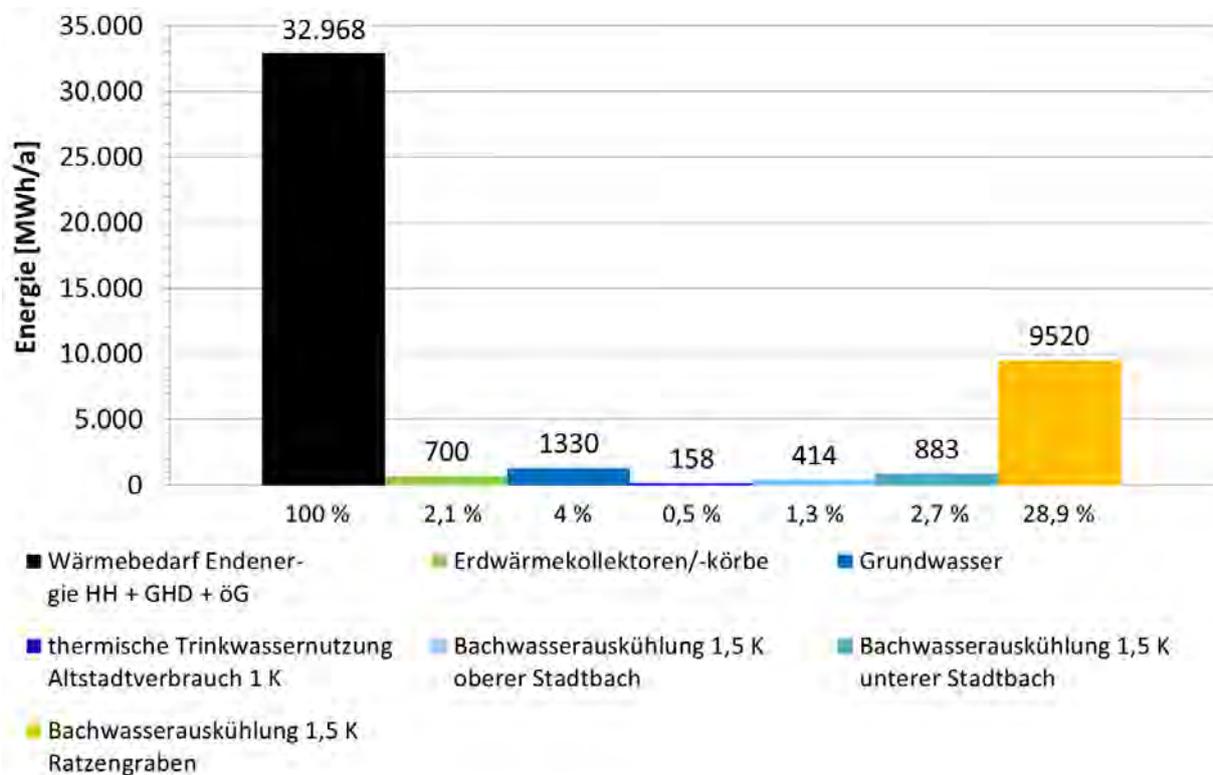


Abb. 100: Energetisches Potenzial Szenario 3 oberflächennaher geothermischer Quellen im Altstadtquartier von Biberach

II.1.15 Potenziale für die Projekt-Szenarien im Bereich Mobilität

Im Bereich der Mobilität wird bei den Maßnahmenpaketen der jeweiligen Szenarien vorausgesetzt, dass die Mobilität nicht eingeschränkt wird. Die Ansätze liegen vor allem in der Verkehrsmittelwahl, der Zielwahl sowie der Förderung technischer Lösungen wie beispielsweise der Elektromobilität. In Bezug auf die Altstadtbewohner werden Binnen- und Quellverkehre in die Betrachtung einbezogen während bei den Altstadtbesuchern Zielverkehre fokussiert werden.

Das Ziel der nachhaltigen Mobilitätsgestaltung im Altstadtbereich soll mit gezielten PUSH and PULL Maßnahmen erreicht werden. Die Einführung einer Parkierungseinschränkung in unterschiedlicher Intensität bei gleichzeitiger Attraktivierung nachhaltiger Verkehrsmittel soll potenzielle MIV-Altstadtverkehre reduzieren und eine Umverteilung auf Verkehrsmittel des Umweltverbundes initiieren.

Die so erreichten Verlagerungen in der Verkehrsmittelwahl werden in Form von CO₂-Emissionsersparnissen quantifiziert. Hierfür werden Annahmen getroffen, die entsprechend der Szenarien und der beinhalteten Maßnahmen eine Verlagerung der Wege von MIV zu den Verkehrsmitteln des Umweltverbundes zugrunde legen.

Die im Folgenden beschriebenen Maßnahmenpakete der drei Szenarien sind gesamtheitlich zu betrachten. Die Szenarien bauen aufeinander auf und ergänzen die Maßnahmen voranstehender Szenarien.

Szenario 1

Ziel des ersten Szenarios ist eine **Steigerung des Fußwegeanteils** innerhalb der Altstadt. Aufgrund der kompakten städtebaulichen Strukturen der Altstadt ist, vom Zentrum aus gesehen, jeder Punkt der Altstadt in maximal fünf Minuten zu erreichen. Mit gezielten Maßnahmen sollen die Fußwege und das „zu Fuß gehen“ innerhalb der Altstadt attraktiver gestaltet werden. Als PULL-Maßnahmen des ersten Szenarios liegt der Fokus auf folgenden Punkten:

- Verbesserung der Sichtfelder für die Fußgänger
- Minimierung der Wartezeiten und Umwege
- Umverteilung der Flächen zugunsten der Fußgänger
- Einführung eines Fußgängerleitsystem zur Verbesserung der Orientierung sowie der Wahrnehmung von Entfernungen
- Öffentlichkeitsarbeit zur Förderung von Fußwegen

Mit der Umsetzung restriktiver Vorgaben bezüglich der Parkierungsdauer wird ein unterstützender Effekt erzielt. Parkierungsvorgänge im öffentlichen Straßenraum der Altstadt werden zeitlich stark begrenzt. Für einen längeren Aufenthalt sind Parkieranlagen am Ring aufzusuchen, bzw. auf ein Verkehrsmittel des Umweltverbundes zurückzugreifen. Mit der Verlagerung längerer Parkierungsvorgänge in die Parkieranlagen am Ring wird Einfluss auf die Abgangszeit genommen. Die Verlängerung der Reisezeit der Altstadtbesucher, welche mit dem Pkw anreisen, bewirkt eine Attraktivierung der konkurrierenden Verkehrsmittel. Daher werden als PUSH-Maßnahme folgende Punkte aufgeführt:

- Beschränkung der Parkdauer auf 30 Minuten
- Reduzierung der Stellplätze in der Altstadt, da aufgrund der kürzeren Parkdauer ein höherer Umschlag erzielt wird.
- Umwidmung von freigewordenen Flächen zugunsten des Umweltverbundes

Bei längeren Altstadtbesuchen sind Parkierungsflächen im Bereich des Ringes zu nutzen, um von dort aus fußläufig in die Altstadt zu gelangen. Eine finanzielle Begünstigung der Pkw-Stellflächen in Parkhäusern verringert zudem die Attraktivität der Parkierungsmöglichkeiten im Straßenraum.

Konkret erwirken diese Maßnahmen kürzere Pkw-Fahrten, da das Parken auf den Ring verlagert wird und hierdurch die Parksuchverkehre innerhalb der Altstadt abnehmen. Weiterhin werden weniger Wege mit dem Pkw zurückgelegt, da kurze Wege zunehmend zu Fuß gelaufen werden können.

Für das erste Szenario wurde eine CO₂-Ersparnis von 11 % berechnet.

Szenario 2

Im Szenario 2 wird **zusätzlich** zum Szenario 1 eine stärkere Nutzung von Verkehrsmitteln des Umweltverbundes für Wege in die Altstadt betrachtet. Dies wird durch eine schnelle und komfortable Erreichbarkeit der Altstadt zu Fuß, mit dem Rad und dem ÖPNV sichergestellt. Die Erreichbarkeit der Altstadt aus den benachbarten Stadtteilen wird insbesondere durch die Minimierung der Trennwirkung des Rings begünstigt.

Die beschriebenen Ziele werden durch folgende PULL-Maßnahmen erzielt:

- Koordinierung der Lichtsignalanlagen am Ring zugunsten der Fußgänger und Radfahrer
- Reduzierung der Wartezeiten am Ring
- Attraktive und sichere Radfahrerführung zur und von der Altstadt
- Ausbau der Radinfrastruktur wird vorangetrieben
- Priorisierung von ÖPNV Fahrzeugen an Knotenpunkten
- Erweiterung des im ersten Szenario beschriebenen Fußgängerleitsystem auf das gesamte Stadtgebiet und den Verkehrsträger Fahrrad
- Öffentlichkeitsarbeit unterstützt die Akteure bei der Umsetzung der erarbeiteten Maßnahmen.

Die beschriebenen PULL-Maßnahmen werden auch hier bei gleichzeitiger Anwendung gezielter PUSH-Maßnahmen durchgeführt. Aufbauend auf dem ersten Szenario erfolgt eine weitere Begrenzung der Parkierungsmöglichkeiten in der Altstadt. Eine Einfahrtmöglichkeit mit dem MIV besteht nur noch für Bewohner und notwendige Verkehre wie zum Beispiel Lade- und Liefervorgänge als auch Bring- und Holverkehre. Eine Koordinierung zugunsten der Fuß- und Radverkehre entlang des Rings verringert die Grünzeiten für den MIV und wirkt so restriktiv diesem gegenüber. Die vorhandenen Verkehrsflächen werden unter einer Berücksichtigung der Priorisierung des Umweltverbundes neu aufgeteilt.

Die Maßnahmen bewirken im Vergleich zum ersten Szenario eine weitere Reduzierung der Parksuchverkehre, da die Einfahrtsbeschränkungen in die Altstadt tiefergehend eingreifen. Daher werden kurze Wege, beginnend in den angrenzenden Stadtteilen, verstärkt zu Fuß bzw. mit dem Rad zurückgelegt. Bei den mittleren Wegelängen steigt der Rad- und ÖPNV-Anteil.

Mit der Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen aus Szenario 1 und Szenario 2 wird eine Reduzierung der CO₂-Emissionen von 15 % erwartet.

Szenario 3

Beim dritten Szenario ist das Ziel, eine **maximal mögliche CO₂-Einsparung** im Bereich Mobilität zu erzielen. Zusätzlich zu den Maßnahmen des zweiten Szenarios dürfen nun lediglich Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotor in die Altstadt einfahren, bei weiterhin eingeschränkter Parkierungsdauer. Dies gilt auch für ÖPNV-Fahrzeuge. Neben den Altstadtbewohnern können nur noch CO₂-freie Fahrzeuge für autoaffine Einzelnutzungen kurzer Dauer einfahren und parken. Weiterer Gegenstand des Szenarios ist die Einrichtung von Bewohnerparkierungsanlagen am Ring. Die Parkflächen in der Altstadt werden hier lediglich für notwendige CO₂-freie Mobilität zu Verfügung gestellt. Ergänzend wirken PULL-Maßnahmen zum weiteren Infrastrukturausbau freigewordener Flächen für Fuß, Rad und ÖPNV. Durch die angestrebte Emissionsminimierung und weitere Flächennutzungen für Aufenthalt, Gestaltung und Begrünung erfährt die Altstadt eine deutliche Steigerung der Attraktivität. In Bezug auf das CO₂-Einsparpotenzial werden die Effekte aus Szenario eins und zwei nochmal verstärkt und führen so zu einer höheren CO₂-Reduktion in der Altstadt.

Im dritten Szenario können so bis zu 21 % der CO₂-Emissionen eingespart werden.

II.1.16 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Mit dem hier vorliegenden Projektbericht kann im Hinblick auf Nachhaltigkeitsstrategien für historische Altstadtquartiere eine erste Lücke geschlossen werden. Bisher lag im Rahmen vergleichbarer Studien über Nachhaltigkeit in Bestandsquartieren der Schwerpunkt entweder auf stadträumlichen Untersuchungen, Fragen des Stadtbildes und Denkmalschutzes, oder war überwiegend als Technologieforschung angelegt. Im hier dokumentierten Forschungsprojekt wurde hingegen ein interdisziplinärer Ansatz gewählt. Ziel war es, jenseits der Betrachtung einzelner Gebäude in der Verknüpfung verschiedener Ansätze zur CO₂-Reduktion Maßnahmenpakete zu beschreiben, die gemeinsam ein Handlungsgerüst für ein Altstadtquartier darstellen.

Am konkreten Fallbeispiel der Stadt Biberach/ Riß können zahlreiche Ansatzpunkte für eine sukzessive Reduktion der CO₂-Emissionen beschrieben werden. Diese Ansätze ergeben sich aus den einzelnen Disziplinen, können aber im Sinne der oben dargestellten Szenarien zu Maßnahmenpaketen verknüpft werden und in der Summe breitere Wirkung entfalten als isoliert. Entgegen der im Antrag formulierten Absicht ist es allerdings nicht möglich, die durch unterschiedliche Szenarien erzielbare CO₂-Reduktion konkret zu beziffern und zusammen zu addieren. Hintergrund dafür sind die Verschiedenartigkeit der verfügbaren Daten (s. I.2) sowie die unterschiedliche Verfahrenspraxis in den beteiligten Fachdisziplinen. Dies führt dazu, dass die Einsparpotenziale lediglich innerhalb der einzelnen Disziplin benannt werden. Die beispielhaften Szenarien zeigen daher zunächst im Sinn städtebaulicher „Visionen“ auf, welche Veränderungen für die Altstadt durch die Umsetzung unterschiedlich großer Maßnahmenpakete möglich sind. So sind im Szenario 1 Maßnahmen zusammengefasst, die mit wenig zusätzlichem Aufwand zu ohnehin bereits bestehenden Bemühungen eine CO₂-Reduktion in einer Größenordnung von 25 % realistisch erscheinen lassen. In Szenario 2 wird eine umfassendere Veränderung beschrieben. Diese setzt eine weitaus größere Bereitschaft der Bürger z.B. für eine veränderte Verkehrsmittelwahl voraus und nimmt eine stärkere Beteiligung privater Hauseigentümer durch Investitionen in energetische Sanierungen an. Gleichzeitig fließen in dieses Szenario auch intensivere kommunale Bemühungen z.B. mit dem Ausbau bestehender Nahwärmenetze oder dem Umbau öffentlicher Räume mit ein, so dass in diesem Fall eine CO₂-Reduktion in der Größenordnung von 50 % abgeschätzt werden kann. Ein drittes Szenario beschreibt im Hinblick auf eine möglichst CO₂-neutrale Altstadt alle im Projekt erarbeiteten Ansatzpunkte in einer maximalen Umsetzung. Jenseits der Frage einer konkreten Berechenbarkeit wird deutlich, dass eine so weitreichende Reduktion nicht nur eine erhebliche Veränderung des Nutzerverhaltens und breite private wie öffentliche Investitionen erfordert. In Szenario 3 muss dazu eine deutliche Inanspruchnahme technologischer Neuerungen (ÖPNV ohne Verbrennungsmotoren, intensive Nutzung geothermischer Potenziale) angesetzt werden um diese Größenordnung der Einsparung zu erzielen.

Folgende Kennzahlen werden in den einzelnen Fachdisziplinen als Einsparpotenziale konkret benannt. Im Bereich Mobilität können durch Szenario 1 ca. 11 % der CO₂-Emissionen eingespart werden, durch Szenario 2 ca. 15 % und durch Szenario 3 ca. 21 %. Im Bereich geothermischer Potenziale können parallel dazu durch Szenario 1 ca. 9,8 % des Gesamtwärmebedarfs gedeckt werden, durch Szenario 2 ca. 19,6 % und durch Szenario 3 ca. 39,5%. Bei dieser Bilanz werden technisch maximal nutzbare Potenziale als Ausgangspunkt herangezogen, die nicht durchgängig additiv zu sehen sind und noch ohne Berücksichtigung

eines, z. B. saisonal variierenden Wärmebedarfs gelten. Im Bereich der Energienachfrage und Energiebereitstellung wurden große physikalische Potenziale deutlich, deren reale Wirksamkeit jedoch von zahlreichen Parametern abhängt und in weiteren Schritten verifiziert werden muss. Grundsätzlich wurde jedoch deutlich, dass sich im Bereich der Umweltwärme ein hohes wirtschaftliches Realisierungspotenzial liegen könnte.

Im Bereich Städtebau können Einsparungen nicht konkret bilanziert werden. Es werden dagegen die Eingriffe in die Bebauung oder den Stadtraum beschrieben, die entweder notwendig sind um bestimmte Ziele zu erreichen oder aus den angesetzten Maßnahmen resultieren. Ein wesentliches Handlungsfeld ist hier ein offensiver Umbau der öffentlichen Räume. Sie spielen eine wichtige Rolle um ein neues Mobilitätsverhalten für die Bürger attraktiv zu machen. Ein zentraler Ansatzpunkt liegt in einer qualitätvollen Neugestaltung im Zuge der Umwidmung von (z.B. Stellplatz) Flächen, um den daraus resultierenden Nutzen jenseits der für die Bürgerinnen und Bürger eher „abstrakten“ CO₂-Bilanzen sichtbar zu machen. Dies gilt für die öffentlichen Räume in der Altstadt und in besonderem Maße den Altstadtring (s. Visualisierung Szenario 2 Abb. 85).



Abb. 101: Grünflächen und Grünelemente anstelle von Stellplätzen erhöhen die Aufenthaltsqualität und sind ökologisch wirksam

Ein ebenso wichtiger Aspekt ist es deutlich zu machen, dass das Bild der historischen Altstadt weiterentwickelt werden kann, ohne das baukulturelle Erbe eines historischen Stadtbildes zu gefährden. Innenhöfe und Randzonen sind im Bestand vielfach wenig qualitativ und können bei einer Neugestaltung ökologische Belange berücksichtigen und wo immer möglich zur Umsetzung der beschriebenen Maßnahmenpakete beitragen. Dies gilt für die Anordnung von Photovoltaikanlagen auf nicht einsehbaren (Neben-)Gebäuden oder Blockheizkraftwerken für nachbarschaftliche Nahwärmenetze, für Freiraumangebote auf von Infrastruktur freigewordenen Flächen oder Stellplatzkonzepte für gemeinsame Fahrzeug-Pools.

Daneben stellen das oben nur in Auszügen dokumentierte Planwerk der Analyse- und Potenzialkarte und die dazugehörige Datenbank der Kommune ein wichtiges Werkzeug zur Verfügung. Durch die Überlagerung unterschiedlicher Layer können schnell Abhängigkeiten

sichtbar gemacht werden. Sie können in Planungsüberlegungen einfließen oder diese anstoßen und auch im Dialog mit den Bürgerinnen und Bürgern genutzt werden um Sachverhalte zu verdeutlichen. Gleichzeitig konnte damit methodisch eine Basis bei den beteiligten Instituten gelegt werden mit der es in Zukunft deutlich einfacher sein wird, vergleichbare Fallbeispiele zu untersuchen.

Insbesondere im Bereich des Denkmalschutzes konnte durch das Forschungsprojekt eine Tür geöffnet werden. Die Einschätzung eine energetische Sanierung sei im Altstadtbereich weitgehend ausgeschlossen konnte zumindest partiell widerlegt werden. Zwar gibt es keine allgemeingültige Vorgehensweise mit der eine schnelle Prognose zu tatsächlichen Gesamteinsparungen erstellt werden könnte. Gleichzeitig konnte mit den beteiligten Denkmalschutzexperten eine Haltung erarbeitet und an die Kooperationspartner in der Verwaltung kommuniziert werden, die eine konkrete Untersuchung von Sanierungsmöglichkeiten am konkreten Einzelfall für lohnenswert hält. Ferner sollten die Gebäude verstärkt für energetische Einsparungen in den Mittelpunkt gerückt werden, die nicht denkmalgeschützt oder stadtbildrelevant sind. Sie werden in der Altstadt zwar wenig wahrgenommen, ihre Anzahl ist aber groß genug um in Zukunft einen wichtigen Beitrag zu einer verbesserten CO₂-Bilanz zu leisten.

II.1.17 Schlussfolgerungen und Empfehlungen im Bereich Geothermie

Im hier beschriebenen Arbeitspaket „Geothermisches Potenzial im Altstadtbereich der Stadt Biberach an der Riß“ wurden, aufbauend auf einer auf der geografischen Gesamtfläche der Biberacher Altstadt beruhenden physikalischen Potenzialanalyse, folgende oberflächennahen geothermischen und weiteren im oberflächennahen Untergrund liegenden thermischen Energiepotenziale untersucht:

- Erdwärmesonden
- Erdwärmekollektoren und -körbe
- thermische Grundwassernutzung
- thermische Nutzung von Trinkwasser
- thermische Nutzung von Oberflächenwasser.

Für die Nutzung dieser thermischen Energiequellen als Wärmequellen (Raumheizung, Trinkwassererwärmung) ist der Einsatz von Wärmepumpen erforderlich. Diese benötigen zusätzliche Antriebsenergie, was bei der primärenergetischen Bilanzierung zu berücksichtigen ist.

Der weiteren Analyse der physikalischen Potenziale in Richtung maximal nutzbarer technischer Potenziale für die Wärmeversorgung liegen folgende Einschränkungen bzw. Einsatzgrenzen zugrunde:

- kein Einsatz von Erdwärmesonden im Gebiet der Biberacher Altstadt aufgrund der geltenden Bohrtiefenbeschränkungen (Tallage)
- (optimistischer) Ansatz der Verfügbarkeit von unversiegelter Freiflächen für den Einsatz von Erdwärmekollektoren bzw. -körben von 5 % der Altstadtfläche
- Nutzbarkeit von 75 % des nachhaltig nutzbaren thermischen Potenzials des Grundwassers
- Begrenzung der Auskühlung des Trinkwassers in den Versorgungsleitungen auf 1 K
- maximale Auskühlung des verfügbaren Oberflächenwassers (Ansatz: 50 % des mittleren Niedrigwasserabflusskennwerts) um 1,5 K.

Mit diesen Randbedingungen ergeben sich technisch maximal nutzbare Potenziale für Erdwärmekollektoren/-körbe, thermische Grundwassernutzung, thermische Trinkwassernutzung sowie die thermische Nutzung des Oberflächenwassers im oberen und im unteren Stadtbach zwischen jeweils 0,5 % und 4 % des geschätzten Wärmeenergieverbrauchs der Altstadt (Szenario 3: 100 % Nutzung des technisch maximalen nutzbaren Potenzials). Von diesen thermischen Energiequellen weist die thermische Grundwassernutzung mit ca. 4 % (ca. 1.300 MWh/a) den höchsten Wert auf. Mit maximal knapp 30 % deutlich über diesen Potenzialen liegt das thermische Potenzial des Ratzengrabens aufgrund des hohen Wasserdurchsatzes, wenn die entzogene Wärme ganzjährig konstant genutzt werden kann (bei z. B. nur 2.000 h jährlicher Nutzungszeit reduziert sich dieses Potenzial auf knapp ¼ des Ausgangswertes). Zum energetischen Potenzial durch Wärmeentzug kommt allerdings bei nahezu allen untersuchten Quellen noch ein Kühlpotenzial (Wärmeeintrag) in grundsätzlich derselben Größenordnung hinzu.

Neben diesen oberflächennahen thermischen Potenzialen wurde auch das Potenzial mitteltiefer und tiefer geothermischer Energie unter der Altstadt von Biberach untersucht. Aus verfügbaren Informationen zur Geologie lässt sich ableiten, dass im Raum um Biberach zwei Aquifere in ca. 600 m Tiefe (ca. 40 °C) und ca. 1.500 m Tiefe (ca. 70 °C) vorhanden sind, die für eine hydrothermale Wärmeengewinnung genutzt werden könnten. Die im Raum um Biberach vorhandenen Anlagen zur hydrothermalen Nutzung (v. a. Thermalbäder, z. B. Jordanbad) belegen, dass dies auch praktisch möglich ist. Bei entsprechend hohen Förderraten vom 2- bis 6fachen der maximalen Förderrate am Jordanbad und einer optimierten Auskühlung des gewonnenen Thermalwassers auf 20 °C (mit Hilfe von Wärmepumpen) lässt sich bei ganzjährigem Betrieb theoretisch (bilanziell) der gesamte Wärmeenergieverbrauch der Biberacher Altstadt abdecken. Für eine geologisch abgesicherte Qualifizierung des hydrothermalen Potenzials unter Biberach ist allerdings zunächst ein geologisches Fachgutachten erforderlich.

Das energetische Potenzial der einzelnen Wärmequellen im Untergrund reicht somit – mit Ausnahme des theoretischen Potenzials der tiefen Geothermie – lediglich aus, um jeweils einen kleineren Teil des Wärmebedarfs der Biberacher Altstadt zu decken. Es stehen allerdings mehrere thermische Quellen zur Verfügung, deren Potenziale sich zwar zum Teil, aber nicht komplett gegenseitig ausschließen und die grundsätzlich sowohl für eine Wärmeengewinnung (Heizen) als auch für eine Wärmeabfuhr (Kühlen) geeignet sind. In der Summe und mit entsprechenden Nutzungskonzepten ist das Gesamtpotenzial aller Quellen in einer relevanten Größenordnung, sodass sich eine zielgerichtete Erschließung lohnt.

Für die weitere Nutzung und Verwertung der Ergebnisse dieses Arbeitspakts sind deshalb folgende Schritte in der folgenden Reihen- bzw. Rangfolge zu empfehlen:

- **Thermische Grundwassernutzung:** Die bereits vorhandenen, erfolgreich betriebenen Anlagen in bzw. nahe dem Innenstadtbereich von Biberach belegen das hohe praktisch realisierbare Potenzial der thermischen Grundwassernutzung zur Heizung und Kühlung. In welchem Umfang dieses Potenzial in Zukunft weiter erschlossen werden kann, hängt entscheidend davon ab, dass vorhandene und zukünftige Anlagen sich thermisch möglichst wenig gegenseitig beeinflussen (Temperaturfahnen). Aus diesem Grund sollte für den Innen- und Altstadtbereich von Biberach eine nutzer- und grundstücksübergreifende „geothermische Erschließungsplanung“ für die thermische Grundwassernutzung mit dem Ziel eines übergreifenden „thermischen Managements“ erfolgen, um hierfür ökologisch und ökonomisch optimale Lösungen zu er-

möglichen. Beispielsweise lässt sich das erschließbare Potenzial durch eine aufeinander abgestimmte Kombination von Wärmeentzug und Wärmeeintrag maximieren.

- **Thermische Oberflächenwassernutzung:** Die hier erstmals ermittelten Potenziale erscheinen vielversprechend. Auch für die thermische Oberflächenwassernutzung existiert bereits eine erfolgreiche Anwendung (Alte Holzmühle). Es wird empfohlen, die bislang erhobenen Daten durch eine ergänzende Datenerhebung abzurunden und darauf aufbauend modellhafte Nutzungskonzepte zu entwickeln. Neben der Versorgung einzelner Objekte mit Wärme und/oder Kälte sollte hierbei auch die Einbindung in Wärmenetze einbezogen werden, z. B. die Rücklaufanhebung eines Wärmenetzes mit Hilfe einer aus Bachwasser gespeisten Wärmepumpe. Für die Wärmeübertragung von bzw. zu Oberflächengewässern existieren seit Kurzem neue Wärmeübertrager am Markt, die für Tests zur Verfügung stünden.
- **Integrierte Nutzungsszenarien:** Voraussetzung für die Nutzung von Wärme- und Kältequellen im Untergrund ist die Abstimmung mit den Wärme- und Kälteverbrauchern, insbesondere beim Einsatz von Wärmepumpen. Da viele Altbauten mit Wärme auf einem hohen Temperaturniveau versorgt werden, ist die Erarbeitung darauf abgestimmter objektspezifischer integrierter energetischer Sanierungskonzepte erforderlich.
- **Thermische Trinkwassernutzung:** Diese Technologie befindet sich andernorts in der erfolgreichen Pilotnutzung, sodass sie ebenfalls als aussichtsreich einzustufen ist. Für eine Anwendung in Biberach sollten gemeinsam mit der e.wa riss die hier erarbeiteten Grundlagen weiter detailliert werden (z. B. feiner aufgelöste Mengen- und Temperaturmessungen), um die günstigsten Anwendungsfälle zu identifizieren.
- **Tiefe und mitteltiefe hydrothermale Geothermie:** Die Erschließung des evtl. erheblichen Potenzials der tiefen hydrothermalen Geothermie für Biberach setzt aufgrund der erforderlichen tiefen Bohrungen erhebliche Investitionen und ein zentrales Wärmeversorgungskonzept mit Leistungen mit MW-Bereich und einer entsprechenden Verbraucherstruktur voraus, ist also eine langfristige und grundsätzliche Option. Abhängig davon, ob ein solches Versorgungskonzept grundsätzlich in Frage kommt, müsste zunächst ein geologisches Fachgutachten erstellt werden, um das hier ermittelte Potenzial abzusichern.

Neben den projektspezifischen Ergebnissen lassen sich aus den durchgeführten Arbeiten und dabei gewonnenen Erkenntnissen folgende grundsätzliche Hinweise ableiten:

- **Energetisches Potenzial des urbanen Untergrunds:** Das thermische Energiepotenzial des Untergrundes ist auch bezogen auf Städte, die naturgemäß eine verhältnismäßig große Energieverbrauchsichte aufweisen, nicht vernachlässigbar und sollte genutzt werden. Mit Ausnahme sehr ergiebiger tiefer geothermischer Quellen ist dabei i. d. R. nur eine Teildeckung durch einzelne Quellen möglich, sodass eine aufeinander abgestimmte Nutzung mehrerer Quellen zielführend ist. Städtische Bebauung, insbesondere in Ballungsräumen, verursacht grundsätzlich eine langfristige Erwärmung des Untergrunds durch die Dämmwirkung von Bebauung und Versiegelung sowie den anthropogenen Wärmeeintrag. Eine (Netto-)Wärmeentnahme ist damit nicht nur aus energetischer Sicht, sondern auch als thermische Regeneration in Richtung der ursprünglichen Temperaturverhältnisse ökologisch wünschenswert.
- **Vorgehen bei der Potenzialermittlung:** Die energetische Potenzials des Untergrunds lässt sich nur bis zu einem bestimmten Grad auf Basis vorliegender physikali-

scher, geologischer, geografischer und meteorologischer Daten theoretisch ermitteln. Alle weiter gehenden Schritte bedürfen individueller Erhebungen vor Ort (z. B. auch Messungen, wie im vorliegenden Fall) und einer Berücksichtigung der individuellen Randbedingungen. Mit zunehmender Bearbeitungstiefe rücken dabei zunehmend individuelle Verbraucher und ihre Eigenschaften in den Fokus, gleichzeitig bleibt allerdings der Charakter objekt- und grundstücksübergreifender Zusammenhänge erhalten (Beispiel: Temperaturfahnen bei der Grundwassernutzung).

- **Öffentliche Planungsaufgabe:** Aus den beiden vorhergehenden Punkten folgt, dass die energetisch, ökologisch und ökonomisch sachgerechte bzw. optimale Erschließung der thermischen Energiepotenziale des Untergrunds einer umfassenden „geothermischen bzw. untergrundbezogenen energetischen Erschließungsplanung“ bedarf. Diese ist von ihrer Natur her eine Nutzer- und grundstücksübergreifende Aufgabe, bei der verschiedene Wechselwirkungen und Interessen betrachtet und gegeneinander abgewogen werden müssen. Sie ist somit zumindest im Kern eine öffentliche Aufgabe. Die existierenden öffentlich-rechtlichen Genehmigungsverfahren berücksichtigen zwar bereits zentrale Belange, wie z. B. den Grundwasser- und Bodenschutz, sind für die hier skizzierte Planungsaufgabe jedoch nicht ausreichend. Um die erforderliche Entwicklung in diese Richtung voranzutreiben, sollten entsprechende Pilotprojekte durchgeführt werden.

II.1.18 Schlussfolgerungen und Empfehlungen im Bereich Energieeffizienz und erneuerbare Energien

In diesem Arbeitspaket des Projektes „eCO₂centric – Energieeffiziente Stadtentwicklungsplanung für ein Altstadtquartier im Spannungsfeld von CO₂-Reduktion und Denkmalschutz“ werden anhand eines Top-down Ansatzes die Energie- und CO₂-Bilanz für die Altstadt erstellt und analysiert sowie die Potenziale für Energieeffizienz und die Nutzung Erneuerbarer Energien dargestellt. In einem weiteren Schritt werden diese Ergebnisse für einige Arbeitsbereiche mit einem Bottom-up Ansatz verifiziert. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgt dies für ein Nahwärmenetz mit Bachwasserwärmepumpe sowie für die Untersuchung der Potenziale der Nutzung der Abwässer und der Abfälle der Altstadt.

Für diese Aufgaben wurden eine Vielzahl von Datengrundlagen der Qualitäten A (regionale Primärdaten) bis D (bundesweit) und Studien ausgewertet.

Alle für die Bilanzierung relevanten Bereiche in der Altstadt Biberach wurden betrachtet und dafür Einspar szenarien vorgestellt:

- Strom für HH, GHD, öffentlicher Sektor
- Wärme HH, GHD, öffentlicher Sektor
- Mobilität
- Konsum

Der Bereich Industrie spielt in der Altstadt keine Rolle.

Für die zukünftige, lokale Energiebereitstellung wurden die Potenziale folgender Systeme betrachtet:

- Wärmebereitstellung durch Solarthermie und Photovoltaik (mit Wärmepumpe) auf einer Dachfläche entsprechend 10 % der Grundfläche des Untersuchungsgebietes (Solarthermie, PV+WP)

- Wärmebereitstellung durch Geothermie Wärmepumpen mit Erdwärmekollektoren bzw. –körben in 5 % der Grundfläche des Untersuchungsgebietes (EW-Kollektoren/-körbe)
- Wärmebereitstellung durch Nutzung von Umweltwärme aus einem Bach mittels Wärmepumpe (Bachwasser) mit BHKW-Strom und PV an einem Nahwärmenetz
- Wärmebereitstellung durch Nutzung von Abwasser-/Umweltwärme aus dem Abwasserkanal mittels Wärmepumpe (Abwasser-WRG)
- Wärmebereitstellung durch Holz (100 % Fläche Altstadt)
- Wärmeerzeugung (Strom?) durch mittlere und tiefe Geothermie, 10 % physikalisches Potenzial
- Stromerzeugung durch eine 3MW-Windkraftanlage z.B. einer Bürgergenossenschaft der Altstadtbewohner (Windkraft)
- Stromerzeugung und Wärmebereitstellung durch Müllverbrennung in KWK, wie derzeit schon umgesetzt (Müllverbrennung Ulm)
- Stromerzeugung und Wärmebereitstellung durch KWK (10 % des Ist-Wärmeverbrauchs durch KWK gedeckt) in Nahwärme

Top-down Bewertung CO₂-Bilanz

Die Altstadt Biberach wurde anhand einer Top-down Analyse über Daten der Qualität D bis C bezüglich des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen bewertet. Der Erwartungswert des Energieverbrauchs pro Person liegt danach im Rahmen der bundesweit üblichen ca. 11 t pro Person und Jahr.

Der Schwerpunkt der Emissionen liegt im Bereich der Gebäudewärme, dicht gefolgt von Emissionen aufgrund des Stromverbrauchs und des Konsumverhaltens. Erst dann folgen die Emissionen durch den Mobilitätsbedarf. Daraus ergeben sich auch die Vorschläge für die Schwerpunktsetzung bei der weiteren Entwicklung eines Klimaschutzkonzeptes.

Bottom- up Analyse

Eine erste Analyse von Daten der Qualität A, zeigen beim Stromverbrauch eine deutliche Überschreitung von 2000 kWh/Pa zum üblichen Werte von ca. 5000 kWh/Pa für vergleichbare Städte oder gegenüber dem Top-down Ansatz von ca. 4000 kWh/Pa. Hier ist weitere Analyse insbesondere bei den Verbrauchsschwerpunkten (Kaufhaus, Stadtverwaltung, etc.) gefragt.

Die Daten der Schornsteinfeger weisen aus, dass die Gebäude überwiegend mit Gas beheizt werden (679 von 751 Anlagen), dazu kommen aber noch weitere 244 Einzelfeuerungen. Da ca. 25% aller Anlagen älter als 26 Jahre sind, besteht hier noch deutliches Effizienzpotenzial, unter anderem durch Anschluss an ein erweitertes Nahwärmenetz. Bei einer Heizungserneuerung in Baden-Württemberg müssen 10% erneuerbare Energien eingesetzt werden. Als Ersatz kann dafür der Anschluss an Kraft-Wärme-Kopplung (Nahwärme) sowie als Ersatz Maßnahmen Energieeffizienz (Wärmedämmung) gewählt werden, was vor allem für denkmalgeschützte Gebäude eine Option darstellt.

Die Daten über den Trinkwasserverbrauch der Datengüte A bis D korrelieren gut. Das sich daraus ergebende Potenzial an Wärmegewinnung aus dem Abwasser ist allerdings mit ca. 100 kW für die Altstadt Biberach gering.

Die Daten für die Betrachtung Abfall waren aufwändig zu erheben, da die Altstadt nur einen Teilbereich eines Abfuhrbezirkes mit je nach Charge unterschiedlichen Abfuhrzeiten darstellt. Da zudem die Wertstoffeffassung bis 2013 als Bringsystem mit nicht nachvollziehbaren Mengen arbeitete, war eine Analyse nur mit aufwändigen Evaluationen und Abgleich machbar. Durch die Abfälle könnte thermisch eine Wärmemenge von 423 MWh/a und eine Strommenge von 181 MWh/a erzeugt werden, wobei 82 t CO₂ pro Jahr nicht regenerativ emittiert werden. Gegenüber einer Erzeugung der Wärme in Gaskesseln und der Stromerzeugung im deutschen Stromnetz werden daher schon aktuell durch die Müllverbrennung im MHKW Ulm ein Großteil der möglichen 102 t/a eingespart.

Potenziale Reduzierung der Energienachfrage und Energiebereitstellung

Im Rahmen dieser Aufgabe wurde eine Top-down Analyse der möglichen Einsparungen anhand der Vorgaben des Energiekonzeptes der Bundesregierung 2010 durchgeführt, so dass ein Einsparpotenzial an Primärenergie/CO₂ von 80 % erreicht werden kann (100 % Szenario). Durch Einsparungen kann eine Reduktion gegenüber den CO₂-Emissionen von 2012 von 38 % (Tab. 16) erreicht werden, durch die Energiebereitstellung ist ein Potenzial von weiteren 50 % möglich (Tab. 15).

Diese Szenarien wurden dann im Weiteren abgestuft gegenüber diesem 100 % Szenario betrachtet. Dies kann in der Realisierung auch als zeitliches Entwicklungspotenzial verstanden werden. Für die Szenarien 25 % und 50 % wurden bei der Energiebereitstellung die im Vergleich überwältigend großen Potenziale an Windkraft, Solar, Holz und tiefe Geothermie noch kaum berücksichtigt. Für die Energieeinsparung wurden für die Szenarien 50 % und 38% im Wesentlichen die Potenziale bei der energetischen Gebäudesanierung (von 80 % auf 25 %) und bei der Mobilität (von 40 % auf 17 %) deutlich nach unten korrigiert. Das Potenzial durch Kraft-Wärme-Kopplung wurde in allen Szenarien unverändert gelassen, da das Fallbeispiel Sennhofareal in Abschnitt II.1.14.2 allein schon einen deutlichen Hinweis auf das hohe wirtschaftliche Realisierungspotenzial gibt.

Die Potenziale durch die energetische Nutzung von Abwasser und Abfall sind nach detaillierter Auswertung als nachrangig zu betrachten. Im Vergleich zu der geringen Abwassermenge aus der Altstadt Biberach (Trockenwetterabfluss 8 l/s) ist das Wärmeentzugs-Potenzial der Oberflächengewässer deutlich höher, allein der Ratzengraben hat 330 l/s im gemessenen Minimum. Selbst unter Beachtung der wasserrechtlichen Vorschriften sind dort noch deutliche Potenziale von bis zu 1600 t/a CO₂ vorhanden, etwas mehr als durch die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung. Eine Alternative stellt die Nutzung der Wärme der Abwässer direkt nach der Nutzung dar. Neben den üblichen Abwasser-Wärmetauscher-Systemen können hier seit neuestem auch verschiedene Systeme der Dusch- oder Badewasserwärmerückgewinnung schon wirtschaftlich dargestellt werden (Abschnitt II.1.8.2). Dies ist ein Bereich, der bei zunehmend energieeffizienteren Gebäudehüllen immer wichtiger wird, um den anteilig steigenden Energiebedarf zur Warmwasserbereitstellung ebenfalls zu reduzieren.

Da die Abfälle der Stadt Biberach und des Landkreises bereits in der Müllverbrennungsanlage Ulm thermisch in einem KWK-Prozess verwertet werden, ist eine weitere Verbesserung

nur noch in geringem Umfang nur durch sortenreine Wertstoffeffassung möglich mit einem Potenzial von ca. 65 t/a Einsparung an CO₂.

Fallstudie Nahwärmenetz Sennhofareal

Am Beispiel des KWK-Nahwärmenetzes Sennhof-Areal wird in detaillierten Analysen deutlich gemacht, welches Potenzial allein das bestehende Netz noch aufweist und wie dies noch deutlich, z.B. durch eine Bachwasser-Wärmepumpe im Rücklauf erweitert werden kann. Dafür ist eine entsprechende Abnahmestruktur zu schaffen, dies ist durch die Nutzung von z.T. schon vorhandenen Niedertemperatur-Heizsystemen (Fußbodenheizung, Frischwasserstationen im Gegenstromprinzip etc.) machbar. Weiteres Potenzial, weitere Gebäude an das vorhandene Netz anzuschließen, erschließt sich auch durch den energieeffizienteren Betrieb oder die Sanierung der bereits angeschlossenen Gebäude, die in Detailuntersuchungen dargestellt worden sind.

Das Potenzial des Wärmeentzugs an dem untersuchten Gewässer, wird durch die Bachwasser-Wärmepumpe des untersuchten Fallbeispiels nicht annähernd ausgeschöpft. Es bestehen zudem noch weitere nutzbare Gewässer in der Altstadt Biberach und vor allem darüber hinaus (z.B. Riß), die im besten Fall einen deutlichen Beitrag (ca. 17 %) zu den CO₂ Emissionseinsparungen durch Energiebereitstellung für die Altstadt liefern könnten, eine entsprechende Nutzungsinfrastruktur vorausgesetzt.

Zudem erschließen sich mit dem Konzept, Nahwärme mit BHKW, einer Bachwasser-Wärmepumpe und einer PV-Anlage zu koppeln, erhebliche Potenziale im Smart Grid, Smart Market (z.B. Regelenergie) und damit weitere Kostensenkungspotenziale.

Fazit

Bei Nutzung der dargestellten Potenziale der Einsparung aber vor allem auch der regenerativen Energien ist eine Erreichung des Ziels der Bundesregierung, 80% der CO₂ Emissionen einzusparen, sicherlich auch für die Altstadt Biberach auch überwiegend wirtschaftlich realisierbar. Absehbar sind es aber andere Gründe, die eine Umsetzung erschweren oder gar verhindern werden (Windkraft, tiefe Geothermie, Wärmedämmung, Wasserwirtschaft und andere). Ein möglicher Zeitrahmen mit auch städtebaulich notwendigen Vorgaben muss daher in einem weiteren Prozess innerhalb der Stadt mit allen Beteiligten erarbeitet werden.

II.2 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Zuwendungsbescheid vom 3. Oktober 2012 wurde die Gesamtsumme von 208.632,00 € bewilligt. Darin enthalten waren 173.860,00 € Projektförderung sowie eine Projektpauschale von 34.772,00 €. Das Forschungsprojekt konnte in diesem Kostenrahmen abgeschlossen werden.

In der Antragssumme enthalten waren 121.766,00 € für Personalkosten, 41.006,00 € für externe Aufträge sowie 11.088,00 € für Nebenkosten. Verschiebungen haben sich lediglich im Bereich der Personalkosten ergeben. Im Projektverlauf hat sich gezeigt, dass durch die erschwerte Datenerhebung sowie die Herausforderung die Arbeit in den unterschiedlichen Fachdisziplinen zu synchronisieren mehr Arbeit im Bereich der wissenschaftlicher Mitarbeiter geleistet werden musste. Diese konnte zum Großteil durch Einsparungen im Bereich der wissenschaftlichen Hilfskräfte ausgeglichen werden. So wurden im einzelnen für wissenschaftliche Mitarbeiter in der Summe 126.863,00 € anstelle der veranschlagten 101.750,00 € ausgegeben. Dem gegenüber steht die Reduktion der Kosten im Bereich der Hilfskräfte von 20.016,00 € auf 8.103,00 € in der Endabrechnung.

Die Vergabe eines externen Auftrages an die Kooperationspartner an der Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft im Studienfeld Verkehrssystemmanagement der Fakultät Informationsmanagement und Medien erfolgte wie veranschlagt über 41.006,00 €. Die Beratungsleistungen im Bereich Denkmalschutz in Höhe von 2.800,00 € konnten als indirekte Projektkosten aus der Pauschale finanziert werden. Bei den Nebenkosten musste mit 2.070,00 € für Dienstreisen und 779,00 € für Anschaffungen lediglich ein kleiner Teil des kalkulierten Betrages eingesetzt werden. Der verbleibende Rest von 8.239 € konnte aufgewendet werden um das Delta in den Personalkosten auszugleichen.

II.3 Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

In dem Forschungsprojekt wurde eine Zusammenarbeit zwischen einzelnen Fachdisziplinen praktiziert, die alle Beiträge zur Reduktion von CO₂-Emissionen erarbeiten, jedoch im Regelfall nicht innerhalb eines Projektes direkt kooperieren. Ein Teil der geleisteten Arbeiten war daher mit größerem Aufwand verbunden als bei Projekten innerhalb einer einzigen Disziplin. Untersuchungsmethoden bis hin zu im Alltag verwendeter Software mussten zunächst soweit aufeinander abgestimmt werden, dass der Austausch von Daten überhaupt möglich wurde. Die entwickelte Methode macht es möglich in Zukunft unmittelbar auf die inhaltliche Zusammenarbeit zu fokussieren.

Die Darstellung der Potenzialanalyse in einem Planwerk hat sich als geeignete Methode erwiesen, auch komplexe Zusammenhänge anschaulich transportieren zu können. Das Planwerk ist Kommunikationsmedium mit den Partnern und auch für einen Dialog mit der Bürgerschaft. Gleichzeitig stellt es ein Planungswerkzeug dar, das innerhalb der Kommune fortgeschrieben werden kann. Der erhebliche Zeitaufwand, der mit der Erstellung der Karten verbunden ist, ist daher gerechtfertigt

In dieser Untersuchung erfolgte erstmals die Untersuchung der Mobilität als Teil einer Gesamtbetrachtung zu CO₂-Emissionen. Hierbei wurde eine Methodik entwickelt, die es auf der Basis vorhandener Daten ermöglicht, eine Abschätzung mobilitätsbezogener CO₂-Emissionen durchzuführen. Vorhandene ortsspezifische Informationen erhöhen die Aussagegenauigkeit und den Ortsbezug. Damit wird das Erfordernis einer umfangreichen Mobilitätsanalyse als Grundvoraussetzung für diese Betrachtungen vermieden. Somit steht das Verfahren für viele Anwendungsfälle zur Verfügung und ermöglicht unmittelbar einen Einstieg in das Thema mit einer guten Abschätzung.

Des Weiteren sind in den Szenarien konkrete Maßnahmen mit ihren Wirkungsweisen beschrieben, sowohl hinsichtlich der verkehrsplanerischen Aspekte als auch – in der szenarienhaften Anwendung – hinsichtlich Auswirkungen auf CO₂-Emissionen.

In Summe wurde mit einem geringen Aufwand ein handhabbares Verfahren entwickelt, welches, unabhängig vom lokalspezifischen Datenstand – eine Behandlung des Themas auf fachlicher und – umsetzungsrelevant – politischer Ebene sowie für die Öffentlichkeitsarbeit bietet.

II.4 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens und der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Zwischenergebnisse des Projektes konnten in Biberach bereits mehrfach in öffentlichen Veranstaltungen vorgestellt werden und dokumentieren vor Ort die Kooperation der Hochschule und der Stadtverwaltung. Durch das Projekt wird der Grundstein für weitere Planungsschritte zu einer nachhaltigen Entwicklungsplanung in der Biberacher Altstadt gelegt. Inwiefern die Hochschule darin eingebunden sein kann wird in Gesprächen nach Projektende erörtert werden. Ein gegenseitiges Bekenntnis dazu ist ausdrücklich erfolgt.

Folgende Veranstaltungen seien genannt:

- Vortrag: eCO₂centric Energieeffiziente Stadtentwicklung in der Altstadt, im Rahmen der Veranstaltungsreihen „Biberach Weiter Bauen“ der VHS Biberach (13.06.2013)
- Impulsvortrag: Energieeffizienz und Denkmalschutz, im Rahmen der Berichtes der Stadt Biberach über den EEA Prozess der Stadt (14.03.2014)
- Impulsvortrag: Stadt im Wandel, im Rahmen der „Schuehaus“ Installation auf dem Biberacher Marktplatz (30.06.2014)

Ferner konnten mehrere Förderanträge auf der Basis der bislang vorliegenden Ergebnisse gestellt werden.

Folgende Anträge seien genannt:

- Stadt- / und Mobilitätsplanung als zivilgesellschaftlicher Prozess, Antrag auf Förderung eines Projektes im Rahmen des Programms „Innovative Projekte / Kooperationsprojekte an den Hochschulen Baden-Württemberg (Prof. Meyer / Prof. Hupfer)
- Reallabor Campus³, Antrag auf Förderung eines Projektes im Rahmen der IQF Ausschreibung „Stärkung des Beitrags der Wissenschaft für eine Nachhaltige Entwicklung“ des MWK Baden-Württemberg (Prof. Bretzke / Prof. Koenigsdorff / Prof. Meyer)

- Big-Data für die Energiewende - Verteiltes Management- und Informationssystem, Antrag auf Förderung eines Projektes im Rahmen des Programms IKT 2020 - Forschung für Innovationen BMBF (Prof. Gerber)

II.5 Darstellung des während der Durchführung dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

An dieser Stelle genannt seinen folgende Publikationen:

- Drittenpreis, Julia/ Schmid, Thomas/ Zadow, Oliver: Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes am Beispiel der Stadt Iphofen, Untersuchung des Potenzials von Nahwärmeversorgungskonzepten in Verbindung mit Sanierungskonzepten denkmalgeschützter, historischer Gebäude in innerörtlichen Quartieren, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2013
- energiekonsens (Hg.): Energieeffizient modernisieren – Fassaden erhalten, Ergebnisse der Studie „Strategien und Potenziale energie effizienter Sanierung für den Bremer Wohnungsbestand“, Bremen 2013
- ExWoSt Informationen 39/3 BMVBS (Hg.): StadtKlima, Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel, Berlin 2012
- ExWoSt Informationen 42/1 BMVBS (Hg.): Anforderungen an energieeffiziente und klimaneutrale Quartiere, Berlin 2012
- Stadtverwaltung Biberach Baudezernat (Hg.): Baufibel Biberach Weiter Bauen, Modellvorhaben im Rahmen des ExWoSt Forschungsfeldes „Baukultur in der Praxis“, Biberach/ Riss 2013
- EnEff:Stadt Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere: Software, die im Rahmen der EnEff:Stadt-Begleitforschung vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik für Stadtplaner und andere in diesem Bereich Aktive in den ersten Planungsphasen einer Quartiersentwicklung entwickelt wurde

II.6 Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung

Die Arbeiten haben sowohl hinsichtlich der Vorgehensweise, der Einzelaspekte und der ganzheitlichen Betrachtung eine hohe Relevanz bezüglich der Übertragbarkeit für andere Städte. Daher sollen im Rahmen von Fachartikeln in Fachzeitschriften (z.B. Internationales Verkehrswesen) sowie auf den Internetangeboten der beteiligten Hochschulen und Institutionen vorgesehen.

III Ergebniskontrollbericht als Anlage

III.1 Beitrag zu förderpolitischen Zielen

Thematischer Förderbereich des Projektes:

Ingenieurwissenschaften mit den Schwerpunktthemen der Hightech-Strategie 2010 der Bundesregierung: Energie/Klima und Mobilität, eingebettet in eine übergreifende städtebauliche Untersuchung

III.2 wissenschaftlich technisches Ergebnis

Das wissenschaftlich technische Ergebnis ist in den Einzelergebnissen der Bereiche Architektur und Städtebau, Energie und Klima, Gebäudeklimatik und Energiesysteme sowie Mobilität zu sehen. Alle Einzelansätze zu Aufnahme, Analyse, Maßnahmen und deren Wirkungsweisen sind nicht nur für historische Altstädte beispielgebend.

III.3 Fortschreibung Verwertungsplan

- Öffentlichkeitsarbeit mit Bürgerinnen und Bürger Biberach,
- Info-Veranstaltung für andere Städte inkl. Bürgerbeteiligung
- Veröffentlichungen

III.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Keine

III.5 Präsentationsmöglichkeiten

Vorträge, Veröffentlichungen, Workshops mit/in anderen Städten

III.6 Einhaltung Ausgaben- und Zeitplanung

Der Ausgabenplan konnte eingehalten werden. Die Projektlaufzeit wurde in Abstimmung mit dem Projektträger um vier Monate bis April 2014 verlängert.

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Beispiele Analysekarten _ Sanierungspotenzial
- Abb. 2: Beispiele Analysekarten _ Öffentlicher Raum und Gestaltung
- Abb. 3: Beispiele Analysekarten _ Winkel
- Abb. 4: Beispiele Analysekarten _ Leerstand
- Abb. 5: Datengütegrade
- Abb. 6: Altstadtbereich von Biberach
- Abb. 7: CO₂ Emissionen Altstadt Biberach in t/a
- Abb. 8: Plan Abwasser Stadt Biberach, Zentralsammler Altstadt [SBI13]
- Abb. 9: Tagesgang Wasserabgabe nach Gebietsstruktur [BayLa]
- Abb. 10: Übersicht über die Modellierung des Energiebedarfs
- Abb. 11: Problematik bei der Zuweisung verschiedener Merkmalsausprägungen zu einem Gebäude: Die transparenten Geometrien im Vordergrund stellen die zuzuordnende Information dar, die dem Gebäudegrundriss, dem blauen Hintergrund, zugeordnet werden sollen
- Abb. 12: Arbeitsstand 3D-Modell
- Abb. 13: Gegenüberstellung der Einteilung der Klassen der Gebäudetypologie nach Stadtbildanalyse und energetischen Aspekten [TABULA] am Zeitstrahl
- Abb. 14: Schema einer Kompressionswärmepumpe mit Quelle und Senke
- Abb. 15: Leistungszahlen ϵ , berechnet durch Multiplikation der idealen Carnot-Leistungszahlen ϵ_C mit einem Gütegrad $h_G = 50\%$ für unterschiedliche Heizwassertemperaturen ϑ_H
- Abb. 16: Schema eines möglichen Nahwärmesystems mit zentraler Wärmepumpe, BHKW und Spitzenlastkessel _ Heißwassernetz
- Abb. 17: Schema eines möglichen Nahwärmesystems mit zentraler Wärmepumpe und optionalen dezentralen Spitzenlast-Wärmeerzeugern _ Warmwassernetz
- Abb. 18: Schema eines möglichen Nahwärmesystems mit optionaler zentraler Wärmepumpe und dezentralen Wärmepumpen _ kalte Nahwärme
- Abb. 19: Grundwasserwärmepumpensystem [WEI13]
- Abb. 20: Schema Wasser/ Wasser-Wärmepumpensystem mit Oberflächenwasser als Wärmequelle
- Abb. 21: Direkte thermische Nutzung von Oberflächenwasser
- Abb. 22: Indirekte thermische Nutzung von Oberflächenwasser
- Abb. 23: Thermische Oberflächenwassernutzung mit Vorhaltebecken
- Abb. 24: Bezeichnungen einer vom Bach durchströmten Querschnittsfläche

Schlussbericht der Hochschule Biberach (HBC) zum Projekt eCO₂centric 03FH021PX2

- Abb. 25: Beispielhafte Abflusskurve, erstellt aus ermittelten Wertepaaren für hW und VB
- Abb. 26: Altstadtbereich von Biberach (links: Geoinformationssystem, <http://www.gis-biberach.de>; rechts: Google Maps, <https://www.google.de/maps/preview>)
- Abb. 27: Verlauf des oberen und unteren Stadtbachs durch das Altstadtquartier (links: detailliert) sowie des Ratzengrabens und der Riß an dessen Rändern (rechts: www.bw-abfluss.de)
- Abb. 28: Lage der Pegel, Saug- und Schluckbrunnen (rote Punkte) von WW-WP im Altstadtquartier von Biberach (Quelle: Herr Egger – Landratsamt Biberach)
- Abb. 29: Jahresverlauf der Wassertemperaturen am Auslauf Trinkwasserbehälter Lindele sowie einzelne Temperaturmesswerte an Hausanschlüssen in der Altstadt (Quelle: e.wa riss)
- Abb. 30: Täglicher sowie aufsummierter Gesamtauslauf am Trinkwasserbehälter Lindele (Quelle: e.wa riss)
- Abb. 31: Schematische Darstellung der Komponenten zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen (blau=Daten Haushaltsbefragungen; grau=regionale Durchschnittswerte; weiß=Kraftstoffabhängige CO₂-Emissionsfaktoren)
- Abb. 32: Schematische Darstellung der Bilanzierungsgrößen nach dem Territorial- und Verursacherprinzip
- Abb. 33: Vergleich Modal Split der Stadt Biberach, der Altstadt sowie vergleichbaren Raumkategorien (Ergebnisse Verkehrserhebungen Biberach 2002, [MiD])
- Abb. 34: Darstellung der ermittelten CO₂-Emissionen für Biberach und vergleichbarer Regionstypen
- Abb. 35: Steckbrief und Maßnahmen A0
- Abb. 36: Steckbrief und Maßnahmen D1
- Abb. 37: Steckbrief und Maßnahmen E0
- Abb. 38: Steckbrief und Maßnahmen F4
- Abb. 39: Winkel Typ W1 _ energetisch nicht optimierbar
- Abb. 40: Winkel Typ W2 _ energetisch im Einzelfall optimierbar
- Abb. 41: Winkel Typ W3 _ geschlossen, energetisch möglicherweise optimierbar
- Abb. 42: Steckbriefe Winkel
- Abb. 43: Steckbriefe Höfe
- Abb. 44: Überlagerung der Sanierungspotenziale mit den verputzten Denkmalen und leerstehenden Gebäuden
- Abb. 45: Überlagerung baukulturell wertvoller Bestandsgebäude und überdurchschnittlich großer Baumassen
- Abb. 46: Überlagerung Gebäudenutzung, Leerstände, Sanierungsbedarf und öffentliche Einrichtungen

Schlussbericht der Hochschule Biberach (HBC) zum Projekt eCO₂centric 03FH021PX2

- Abb. 47: Überlagerung wertvollen Baubestands mit öffentlichen Räumen, deren Umgestaltung kurzfristig geplant ist und Stellplatzangeboten in der Altstadt
- Abb. 48: Überlagerung Wohngebäude und unsanierte Gebäude, private Höfe und öffentliche Räume mit geringer oder gar keiner Dringlichkeit für eine Umgestaltung
- Abb. 49: Überlagerung Winkel und unsanierte Gebäude
- Abb. 50: Überlagerung von Wegebeziehungen in die Altstadt, Übergangszonen am Altstadtring und Stellplatzangeboten mit Neubauten und Entwicklungsbereichen
- Abb. 51: Überlagerung aller bislang nicht sanierten Gebäude, die nach 1945 entstanden sind, mit Schaufensterflächen und leerstehenden Bauten
- Abb. 52: Gegenüberstellung der Abschätzung des Energieverbrauchs im Ist-Zustand, der Einsparungen nach dem EK D 2050 und der Abschätzung der Einsparungen, ohne tiefe Geothermie
- Abb. 53: Duschwasserwärmetauscher der Fa. Joulia [Jou14]
- Abb. 54: Abwasserrohrwärmetauscher der Fa. Dutch Solar Systems [Dut14]
- Abb. 55: Wärmetauscher, Kanal-Bypass über Wasserschacht
- Abb. 56: Jahresdauerlinie des Niederschlags für die Stadt Augsburg und das Jahr 2011
- Abb. 57: Übersicht Abwasserkanäle mit Abwassermengen [SDA13] / [SBI13]
- Abb. 58: Verwertungswege für Hausmüll und Wertstoffe
- Abb. 59: Übersicht zu Vergärungsverfahren [Ker10]
- Abb. 60: Energie- und Gasertrag verschiedener Arten von Vergärungsanlagen
- Abb. 61: Nettoenergieertrag verschiedener Arten von Vergärungsanlagen
- Abb. 62: Physikalisches Energiepotenzial geothermischer und weiterer oberflächennaher Wärmequellen im Altstadtbereich von Biberach
- Abb. 63: Technisch maximal nutzbares Potenzial der oberflächennahen geothermischen Quellen im Altstadtquartier von Biberach
- Abb. 64: Mögliche Wärmeentzugsleistung normiert auf 1 l/s mittlerer Niedrigwasserabfluss in Abhängigkeit der Entnahmetemperatur und der Wasser-Entnahmerate
- Abb. 65: Lage der primären Zielregionen zur hydrothermalen Nutzung in Baden-Württemberg [RPF13]
- Abb. 66: Standorte geothermischer Nutzungen um Biberach [GeotIS]
- Abb. 67: Schematische Nutzungsmöglichkeit der Zielhorizonte unter Biberach
- Abb. 68: Temperaturen des Oberjura Aquifer, Standort Biberach (rotes Kreuz) [STO13]
- Abb. 69: Temperaturen des Muschelkalk Aquifer, Standort Biberach (rotes Kreuz) [STO13]

Schlussbericht der Hochschule Biberach (HBC) zum Projekt eCO₂centric 03FH021PX2

- Abb. 70: Energiepotenzial Mitteltiefer und Tiefer Geothermie im Altstadtbereich Biberach
- Abb. 71: Temperaturverteilung in 2000 m uNN in und um Biberach [RPF13]
- Abb. 72: Integriertes Wärmenutzungskonzept mit Thermalbrunnen und Wärmepumpenanlage im Jordanbad Biberach
- Abb. 73: Darstellung der einzelnen Phasen der Reisezeit für MIV und ÖPNV
- Abb. 74: Modal Split der Wege mit Ziel Altstadt bis zu einer maximalen Länge von zwei Kilometern (eigene Auswertung Verkehrserhebungen Biberach 2002)
- Abb. 75: Ausschnitt aus dem Liniennetzplan der Stadt Biberach (Stadtwerke Biberach)
- Abb. 76: Darstellung der vereinfachten fußläufigen Erreichbarkeit der Altstadt
- Abb. 77: Darstellung der vereinfachten Erreichbarkeit der Altstadt mit dem Fahrrad
- Abb. 78: Denkmale mit wertvoller Fassadengestaltung
- Abb. 79: Denkmale mit überformter Fassade
- Abb. 80: Denkmale und Leerstand
- Abb. 81: Energetisch sanierte Denkmale mit Außendämmung
- Abb. 82: Szenario 1 _ angestrebt ca. 25 % CO₂-Reduktion
- Abb. 83: Visualisierung Szenario 1 _ Behutsame Umwidmung der Flächen am Ulmer Tor
- Abb. 84: Szenario 2 _ angestrebt ca. 50 % CO₂-Reduktion
- Abb. 85: Visualisierung Szenario 2 _ Altstadtring mit attraktiven Querbeziehungen
- Abb. 86: Szenario 3 _ angestrebt ca. 100 % CO₂-Reduktion
- Abb. 87: Visualisierung Szenario 3 _ Vision einer „grünen Altstadt“
- Abb. 88: Lageplan der Nahwärmeversorgung des Sennhofareals mit den untersuchten und z.T. angeschlossenen Gebäuden [EWR13]
- Abb. 89: Leistungspotential des bestehenden und erweiterten Nahwärmenetzes [RDT14]
- Abb. 90: Mögliche Erweiterung der Nahwärmeversorgung des Sennhofareals [RDT14]
- Abb. 91: Schema des erweiterten Nahwärmenetzes mit Nutzung NT-Wärme im Rücklauf [RDT14]
- Abb. 92: Wärmelastkurve für Auslegung BHKW ohne WP [RDT14]
- Abb. 93: Schema Einbindung der Wärmepumpe in den Rücklauf des Nahwärmenetzes [RDT14]
- Abb. 94: a) Museum Biberach, b) www.uhrig-bau.eu/de/index.html, c) Entnahmesysteme ohne Schacht www.thermea.de

Schlussbericht der Hochschule Biberach (HBC) zum Projekt eCO₂centric 03FH021PX2

- Abb. 95: Oberflächengewässer in der Altstadt Biberach, Heizzentrale mit Wegeführung Anschluss Wärmepumpe ans Bachwasser (rot) [HJR14]
- Abb. 96: Wassertemperaturen der betrachteten Oberflächengewässer
- Abb. 97: Schema Wärmepumpe mit Gewässer [HJR14]
- Abb. 98: Energetisches Potenzial Szenario 1 oberflächennaher geothermischer Quellen im Altstadtquartier von Biberach
- Abb. 99: Energetisches Potenzial Szenario 2 oberflächennaher geothermischer Quellen im Altstadtquartier von Biberach
- Abb. 100: Energetisches Potenzial Szenario 3 oberflächennaher geothermischer Quellen im Altstadtquartier von Biberach
- Abb. 101: Grünflächen und Grünelemente anstelle von Stellplätzen erhöhen die Aufenthaltsqualität und sind ökologisch wirksam

Anhang 01

- Abb. 102: Wärmeentzugs-, Antriebs- und Heizenergie in Abhängigkeit von der Heizsystemtemperatur bei Grundwassernutzung mit Wärmepumpen im Altstadtquartier Biberach
- Abb. 103: Wärmeentzugsleistung bei thermischer Trinkwassernutzung in Abhängigkeit vom Volumenstrom und der Temperaturabsenkung des Trinkwassers
- Abb. 104: Wärmeentzugsenergie bei ganzjähriger thermischer Trinkwassernutzung in Abhängigkeit vom Volumenstrom und der Temperaturabsenkung des Trinkwassers
- Abb. 105: Wärmeentzugs-, Antriebs- und Heizenergie in Abhängigkeit von der Heizsystemtemperatur bei thermischer Trinkwassernutzung im Altstadtquartier Biberach
- Abb. 106: Abnahme der Fluidtemperatur in einer DN 180 PE-Rohrleitung bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 2,5 m/s verlegt in 1,5 m Tiefe im Erdreich bei einer Umgebungstemperatur (Luft, Erde, Grundwasser) von 3 °C
- Abb. 107: Temperaturänderung des Mischwassers in Abhängigkeit von der Temperaturspitzung im Wärmequellenkreis und der Wasser-Entnahmerate
- Abb. 108: Mögliche Wärmeentzugsleistung an der Riß (ohne Rotbach) in Abhängigkeit vom der Wasser-Entnahmetemperatur und der Wasser-Entnahmerate
- Abb. 109: Mögliche Wärmeentzugsleistung am Ratzengraben in Abhängigkeit von der Wasser-Entnahmetemperatur und der Wasser-Entnahmerate
- Abb. 110: Mögliche Wärmeentzugsleistung am oberen Stadtbach in Abhängigkeit von der Wasser-Entnahmetemperatur und der Wasser-Entnahmerate
- Abb. 111: Mögliche Wärmeentzugsleistung am unteren Stadtbach in Abhängigkeit von der Wasser-Entnahmetemperatur und der Wasser-Entnahmerate
- Abb. 112: Abflusskurve oberer Stadtbach (Messpunkt siehe Abb. 27)

Abb. 113: Abflusskurve unterer Stadtbach der Wasser-Entnahmerate

Abb. 114: Temperaturverlauf der Stadtbäche und Tagesmittel der Lufttemperatur in Biberach (Messwerte: Hochschule Biberach)

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: ausgeführte Arbeitspakete und Arbeitsschritte im Berichtszeitraum
- Tab. 2: Abschätzung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen im Ist-Zustand, Top-down (Erwartungswert, div. Quellen, [SBI11], [IFEU])
- Tab. 3: Übersicht Feuerungsanlagen aus den Schornstiefegerdaten (Stand 2012)
- Tab. 4: Übersicht Verbrauchsdaten 2012 Strom, Gas, Trinkwasser der e.w.a riss [EWR13]
- Tab. 5: Verbrauchsdaten 2011 öffentliche Gebäude Altstadt Biberach aus [SBI11]
- Tab. 6: Kennwerte für Wasserverbräuche in Haushalten
- Tab. 7: Kennwerte für Wasserverbräuche in GHD
- Tab. 8: Zusammensetzung von Wertstoffen [UBW12b], [Kra10]
- Tab. 9: Datenquellen
- Tab. 10: Datenverfügbarkeit verschiedener Berechnungsgrößen
- Tab. 11: Rechtliche Rahmenbedingungen zur thermischen Nutzung von Oberflächen-gewässern
- Tab. 12: Rahmenbedingungen in Baden-Württemberg zur thermischen Nutzung von Grundwasser
- Tab. 13: Ermittelte Kennwerte des Altstadtgebietes Biberach
- Tab. 14: Ziele Endenergie- und CO₂-Einsparungen für die Altstadt Biberach bis zum Jahr 2050 nach dem Energiekonzept der Bundesregierung Deutschlands (EK D 2050) durch Energieeinsparung (Szenario 100 %)
- Tab. 15: Abschätzung der Endenergie- und CO₂-Einsparungen (Szenario 50 %)
- Tab. 16: Abschätzung der Endenergie- und CO₂-Einsparungen (Szenario 38 %)
- Tab. 17: Abschätzung der technisch möglichen CO₂-Einsparpotenziale durch die Energiebereitstellung (Szenario 100%)
- Tab. 18: Abschätzung der technisch möglichen CO₂-Einsparpotenziale durch die Energiebereitstellung (Szenario 50%)
- Tab. 19: Abschätzung der technisch möglichen CO₂-Einsparpotenziale durch die Energiebereitstellung (Szenario 28%)
- Tab. 20: Zusammensetzung des Restmülls nach Sortierobergruppen
- Tab. 21: Mengen und Heizwerte nach Sortierobergruppen

Schlussbericht der Hochschule Biberach (HBC) zum Projekt eCO₂centric 03FH021PX2

- Tab. 22: Vergleich der CO₂-Einsparungen durch Müllverwertung in tCO₂/a
- Tab. 23: Verteilung der Wertstoffmengen auf die unterschiedlichen Verwertungswege
- Tab. 24: Zusammenstellung der Einsparungen durch sortenreine Wiederverwertung in kJ pro kg LVP
- Tab. 25: Zusammenstellung der Energieeinsparung je Wertstoffart
- Tab. 26: Zusammenstellung der Einsparungen durch Verwertung der Kunststoffe zu minderwertigeren Mischkunststoffen in kJ pro kg LVP
- Tab. 27: Zusammenstellung unterer Heizwerte der Wertstoffe
- Tab. 28: Physikalisches Leistungs- und Energiepotenzial geothermischer und anderer Quellen im Altstadtgebiet von Biberach bei Wärmeentzug/Wärmegewinnung
- Tab. 29: Wärmeentzugs-, Antriebs- und Heizenergie von Kompressionswärmepumpen in Abhängigkeit der Heizsystemtemperatur bei Grundwassernutzung im Altstadtquartier Biberach
- Tab. 30: Wärmeentzugs-, Antriebs- und Heizenergie von Kompressionswärmepumpen in Abhängigkeit der Heizsystemtemperatur bei thermischer Nutzung der Altstadttrinkwassermenge (Abkühlung um 1 K)
- Tab. 31: Kennwerte der thermischen Oberflächenwassernutzung in Biberach
- Tab. 32: Leistungs- und Energiepotenzial Wärme aus mitteltiefer und tiefer Geothermie
- Tab. 33: Kennwerte tiefe Geothermie (hydrothermal) Jordanbad
- Tab. 34: Potenzielle Szenario 1: 25 % des technisch maximal nutzbaren Potenzials
- Tab. 35: Potenzielle Szenario 2: 50 % des technisch maximal nutzbaren Potenzials
- Tab. 36: Potenzielle Szenario 3: 100 % des technisch maximal nutzbaren Potenzials

Quellenverzeichnis

- [0644EG] Richtlinie 2006/44/EG des europäischen Parlaments und des Rates von 06.09.2006 über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten. ABl. Eu Nr. L 264/20
- [ABW07] LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Abfluss-Kennwerte in Baden-Württemberg. Karlsruhe, 2007. ISBN: 978-3-88257-322-6
- [AGEB11] Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2010 und 2011, Seite 16 (AGEB_Endbericht_Anwendungsbilanzen_2010_2011_.pdf), 2011
- [ARGE11] Wohnungsbau in Deutschland – 2011, Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, Kiel 2011, ISBN 978-3-939268-02-4
- [BayLa] Bayrisches Landesamt für Umwelt, „Bayrisches Landesamt für Umwelt,“ 2013. [Online]. Available: www.lfu.bayern.de/wasser/trinkwasserversorgung_oeffentlich/trinkwasserverbrauch/index.htm [Stand 18 Mai 2013]
- [BBSR] Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/raumabgrenzungen_node.html, Stand 20.02.2013
- [BMU11] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011, Berlin, 2011
- [BMVBS13] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg.) : Anforderungen an energieeffiziente und klimaneutrale Quartiere – EQ, Werkstatt:Praxis Heft 81. Berlin, 2013 http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/WP/2013/heft81_DL.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Stand 24.10.2014
- [BMW14] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): Zweiter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“- Kurzfassung, Berlin, 2014
- [BNA14] Bundesnetzagentur über Statista, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/168286/umfrage/entwicklung-der-gaspreise-fuer-haushaltskunden-seit-2006/>, Stand 06.08.2014
- [BWP05] Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung (ASEW) GbR im Verband kommunaler Unternehmen, Institut Energie in Infrastrukturanlagen (Hrsg.): Heizen und Kühlen mit Abwasser - Ratgeber für Bauherren und Kommunen, Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., 2005

- [DeC12] Dehoust, G.; Christiani, J.: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquote für Wertstoffe – Sammel- und Verwertungsquoten für Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen als Lenkinstrument zur Ressourcenschonung, Umweltbundesamt, Fachgespräch, Dessau-Roßlau, 2012
(<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4342.pdf> Stand 07.08.2014)
- [DIN 4108 Teil 6] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Beuth Verlag, Berlin, 2003
- [DIN V 4701-10: 2003-08] Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Beuth Verlag, Berlin, 2003
- [DIN EN 13790] Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008); Deutsche Fassung EN ISO 13790:2008, Beuth Verlag, Berlin, 2008
- [DIN EN 16212: 2012-11] Energieeffizienz- und -einsparberechnung – Top-Down und Bottom-Up Methoden; Deutsche Fassung EN 16212:2012, Beuth Verlag, Berlin, 2012
- [DIN 18599 Teil 10] Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten, Beuth Verlag, Berlin, 2011
- [DIU11] Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Hrsg.): Klimaschutz in Kommunen – Praxisleitfaden, Berlin; 2011
(http://klimaktiv.klimaktiv-co2-rechner.de/de_DE/page/,
<http://www.leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/download.html>
Stand 07.08.2014)
- [Dut14] Dutch Solar Systems Herstellerangaben,
(http://www.dutchsolarsystems.com/douche_wtw/installatie.php,
Stand 20.01.2014)
- [EBC11] Mit Energie zur Energie – Radtour und Spaziergang. Informationsbroschüre der Stadtverwaltung Biberach, Biberach, 2011
- [EED] Hellström, G., et al.: Earth Energy Designer. Version 3.16. Software zur Auslegung von Erdwärmesonden der Firma Blocon, Lund, Schweden, 2010
- [EWG07] Erneuerbare-Wärme-Gesetz EWärmeG: Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EwärmeG) vom 20. November 2007
- [EWR13] Daten erhalten von der e.wa riss Netze GmbH und e.wa riss GmbH & Co. KG: Strom-, Gas- und Wasserverbräuche im Untersuchungsgebiet für das Jahr

- 2012, Messergebnisse von Trinkwassertemperaturen im Untersuchungsgebiet, Trinkwasserausflussmengen aus dem Hochbehälter Lindele für das Jahr 2012, Lageplan der Nahwärmeleitungen des Sennhofareals
- [Fal13] Stadt Biberach, Stadtentwässerung Biberach, Telefonate/Treffen mit Herrn Joachim Falk
- [GEC13] Michalzik, D.: Mitteltiefe Geothermie – was ist das? Homepage GeoEnergy Celle e.V., <http://www.geoenergy-celle.de/mitteltiefe.html>
- [GEM13] GEMIS Excel-Datei mit ausgewählten Ergebnisdaten für Energiesysteme aus GEMIS 4.8, <http://www.iinas.org/gemis-download-de.html> Stand: 08.08.1013
- [GeotIS] Homepage Geothermisches Informationssystem für Deutschland – Geothermische Standorte, <http://www.geotis.de/vgs/templates/listing.php>
- [GSchV] Gewässerschutzverordnung vom 28.10.1998. Schweizerischer Bundesrat, Stand am 01.01.2014
- [HJR14] R. Hartmann, S. Jona, Michael Rettinger, Karim Rösch, Erstellen von Energiekonzepten, Studienarbeit Sennhofareal, Hochschule Biberach, 2014
- [IFEU]) IFEU, KlimaAktiv CO₂-Rechner, Url: http://klimaktiv.klimaktiv-co2-rechner.de/de_DE/page/, Stand 03.12.2014
- [ISONG] Homepage Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Fachbereich Geothermie, Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg (ISONG) http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Fachbereiche/geothermie/is_geothermie
- [IWU11] Nikolaus Diefenbach, Tobias Logam Basisdaten für Hochrechnungen mit der Deutschen Gebäudetypologie des IWU: Neufassung August 2011, Darmstadt 2011
- [Jou14] Joulia Herstellerangaben, (http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDgQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.novatlantis.ch%2Ffileadmin%2Fdownloads%2Fprojekte%2Fbau%2Fbauforum%2FBF13Basel%2FJOULIA_11pager_Mai2013_D.PDF&ei=b6j7UpXqHsTXtAbfKw&usg=AFQjCNG_K4w8CSM5I-BQbbB_GmVxAgnvXQ, Stand 12.02.2014)
- [Kar13] Karger, R.; Hofmann, F.: Wasserversorgung, Gewinnung - Aufbereitung - Speicherung - Verteilung, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2013, S. 15, Tafel 2.4
- [Ker10] Kern M., et. al.: Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2010, ISSN 1862-4804 (<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aufwand-nutzen-einer-optimierten>, Stand 07.08.2014)

Schlussbericht der Hochschule Biberach (HBC) zum Projekt eCO₂centric 03FH021PX2

- [KiD] WVI, IVT, DLR, KBA: Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010) – Erhebungen zum motorisierten Wirtschaftsverkehr in Deutschland 2009/2010, Schlussbericht, Braunschweig, 2012
- [KOE11] Koenigsdorff, R.: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude – Grundlagen und Anwendungen zukunftsfähiger Heizung und Kühlung. Stuttgart: Fraunhofer IRB, 2011. ISBN: 3-8167-8271-1
- [KÖN13] König, J.: Innovative Anwendungen für Wärmepumpen. Max Weishaupt GmbH. Vortrag am 10. Biberacher Geothermietag (veröffentlicht auf Tagungs-CD der Akademie der Hochschule Biberach), 2013
- [Kra10] Kranert, M., Cord-Landwehr, K.: Einführung in die Abfallwirtschaft, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2010, ISBN 978-3-8351-0060-2
- [KrWG12] Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen vom 24.02.2012,
- [LfU08] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Restmüllzusammensetzung, Einflussfaktoren, Abhängigkeit von lokalen Rahmenbedingungen (EFRE-Ziel-2-Gebiete in Bayer), Augsburg, 2008,
(http://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=STMUG&DIR=stmug&ACTIONxSETVAL%28artdtl.htm,APGxNODENR:283761,AARTxNR:lfu_abfall_00161,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x%29=X, Stand 07.08.2014)
- [LGWPBW] Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen. Arbeitshilfe. Umweltministerium Baden-Württemberg, 2009
- [LRA12] Landratsamt Biberach: Abfallfibel des Landkreises Biberach, Biberach, 2012
- [LRA13] Landratsamt Biberach, Abfallwirtschaft: Auskünfte und Daten von Herrn Krug per Mail: Karten, Straßenlisten der Abfuhrbezirke, Müllmengen in Bezirk 8 (entspricht ca. dem Untersuchungsgebiet) und Bezirk 4 (teilweise gemeinsame Leerung mit Bezirk 8) für zwei Leerungstage und Anzahl der Abfallbehälter in Bezirk 4 und 8 aufgeteilt nach Behältervolumen
- [MiD] infas, DLR: Mobilität in Deutschland 2008– Deutschlandweite Erhebungen zum Mobilitätsverhalten, eigene Auswertungen des Auswertetools „Mobilität in Tabellen (MIT),
http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/02_MiD2008/index.htm, 2010
- [Mül00] Müller, W.; et.al: Wertstoffgewinnung in der mechanischen Aufbereitung, Brandenburgische Umweltberichte (BUB) 6 S.160-171, Brandenburg, 2000,
(<http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2005/331/pdf/BUB06160.pdf>, Stand 07.08.2014)
- [Mül14] E-Mail von Ernst A. Müller, Geschäftsführer InfraWatt Energie in Infrastrukturanlagen, vom 30.01.2014

- [Neu12] Neubrand, Claudia, Schornsteinfeger Biberach, Tabellen mit Anzahl der Heizungsanlagen aufgelistet nach Art, Brennstoff, Altersklasse und Leistungsklasse
- [Pep13] Pepler, W.; Schiller, C.; Khanh, T. Q. (Hrsg.): Kommunen in neuem Licht Praxiserfahrungen zur LED in der kommunalen Beleuchtung, TU Darmstadt, 2013
- [POP13] Poppei, J., Schulte, P.: Ressourcenmanagement: Thermische Grundwassernutzung in Ballungsgebieten. bbr – Fachmagazin für Leitungsbau, Brunnenbau und Geothermie Heft 02-2013
- [RDT14] Rietzler, U.; Diepold, C.; Tschätsch, C.; Strohbücker, T.; Wannewetsch, B.: eCO₂centric Nachhaltige Altstadt Biberach – Energie- & Optimierungskonzept, Studienarbeit, Hochschule Biberach, Biberach, 2014
- [RPF13] Homepage Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 5, Referat 54.2, GeoTool <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1337770/index.html>
- [SAE14] Statistisches Amt der Europäischen Union über Statista, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/197196/umfrage/elektrizitaetspreise-ausgewaehlter-europaeischer-laender/>, Stand 20.01.2014
- [SBI11] Stadt Biberach: Energiebericht 2011, Biberach, 2011
- [SBI12] Stadt Biberach: Stadtbildsatzung für die Altstadt von Biberach, Örtliche Bauvorschriften (Neufassung 2010) in der Fassung vom 09.07.2012, Biberach, 2012
- [SBI13] Stadt Biberach, Stadtentwässerung Biberach: Kanalplan der Altstadt Biberach mit Dimensionen und Bauwerken (Knotenpunkte, Staubecken etc.), Beschreibung des Kanalsystems Abflusswerte aus Messungen und Berechnungen Fremdwassermengen einzelner Stadtgebiete
- [Sch03] Schramek, E.-R. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 03/04, Oldenburg Industrie Verlag, München, 2003, Seite 1742
- [Sch11] Schleicher, Tobias: Effizienz-Ranking „Stromsparen in Haushalten“, Vortrag auf Kongress „Stromsparen in Haushalten“, Berlin, 02.12.2011
- [Sch12] Schüler, K.: Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2010, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2012, ISSN 1862-4804 (<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aufkommen-verwertung-von-verpackungsabfaellen-in-5>, Stand 07.08.2014)
- [Schw12] Schwinghammer, F.: Thermische Nutzung von Oberflächengewässern. Master-Thesis, Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., 2012
- [Sch13] Schmid, F.: Abfall als Bestandteil einer nachhaltigen Altstadt, Forschungsprojekt, Hochschule Biberach, 2013

Schlussbericht der Hochschule Biberach (HBC) zum Projekt eCO₂centric 03FH021PX2

- [Sch94] Schneider, K.-J.: Bautabellen für Ingenieure, Werner Verlag GmbH, Düsseldorf, 1994
- [SDA13] Sigg, F.; Dangel, N.; Aßfalg, F.; Rodi, S.: Studienarbeit Nachhaltige Altstadt – Abwasser – Energetisches Potential in der Altstadt Biberach, Studienarbeit, Hochschule Biberach, Biberach, 2013
- [STO13] Stober, I. u. a.. Persönliche Mitteilung per E-Mail vom 13.07.2013
- [STü08] Stadtwerke Tübingen (2008). Stadtverkehr Tübingen, Haushaltsbefragungen 2007 zum Mobilitätsverhalten der Tübinger Einwohner – Mobilitätssteckbrief. Tübingen,
(http://www.svtue.de/fileadmin/user_upload/pdf/Aktuell/SVT-Mobilitaetssteckbrief-07.pdf)
- [TABULA] „TABULA“ – Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern
(<http://www.iwu.de/forschung/energie/abgeschlossen/tabula/>)
- [UBA14] Umweltbundesamt,
www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland , Stand: 06.12.2014
- [UBW06] Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Abfallentsorgung mit geringeren Lasten für Haushalte, weitgehender Abfallverwertung und dauerhaft umweltverträglicher Abfallbeseitigung – Konzepte zur langfristigen Umgestaltung der heutigen Hausmüllentsorgung, Endbericht, in Reihe Abfall Heft 78, Stuttgart, 2006
(http://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Abfallentsorgung_geringe_Lasten_Haushalte_1_.pdf Stand 07.08.2014)
- [UBW12a] Umweltministerium Baden-Württemberg: Abfallbilanz 2012, Stuttgart, Juli 2013, (<http://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/publikation/did/abfallbilanzen/>, Stand: 05.08.2014)
- [UBW12b] Umweltministerium Baden-Württemberg: Abfallbilanz 2011, Stuttgart Juli 2012, (http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/102777/Abfallbilanz_2011.pdf, Stand: 08.10.2013)
- [UBW14] Umweltministerium Baden-Württemberg:
<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energieeffizienz/erneuerbare-waerme-gesetz-bw/>, Stand: 05.08.2014
- [VDI46401] VDI 4640 Blatt 1: 06/2010, Thermische Nutzung des Untergrundes – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte, Richtlinie. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag, Berlin, 2001
- [VDI46402] VDI 4640 Blatt 2: 09/2001, Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, Richtlinie. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag, Berlin, 2001

- [WEI13] Homepage Max Weishaupt GmbH
<http://www.weishaupt.de/produkte/waermepumpen/waermequelle-erdeweishaupt-sole-wasser-waermepumpen>
- [Wei05] Weigand, H., Marb, C.: Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Restmüll aus Haushaltungen – Teil 2: Restmüllzusammensetzung als Funktion von Siedlungsstruktur und Abfallwirtschaftssystem, Müll und Abfall 37 (2005) 10, S. 522-530

Literaturliste

Angelil, M., Siress, C.:

GOING AROUND IN CIRCLES; in archithese 6.2009, S. 56ff, (Hrsg.) Verlag Niggli AG

ARCH+ Zeitschrift für Architektur und Städtebau

Architektur im Klimawandel; Heft 184; Aachen, 2007

Post Oil City; Heft 196/ 197; Aachen, 2009

Baumüller, Jürgen; Hoffmann, Ulrich; Reuter, Ulrich:

Städtebauliche Klimafibel Online (www.-PDF, Stand 21.02.2008), (Hrsg.) Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem Amt für Umweltschutz Stuttgart

Bertuccio et al.:

Il Mobility management in Italia o.O.; 2003

Better Bankside Travel Planning Group:

Draft Bankside Master Travel Plan; London

BMVBS 2010 (Hrsg.)

Nationale Strategien europäischer Staaten zur Anpassung an den Klimawandel aus Perspektive der Raumordnung/Raumentwicklung; BMVBS-Online-Publikation 20/10

BMVBS / BBSR (Hrsg.)

Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Wirkfolgen des Klimawandels; BBSR-Online-Publikation 23/2009 urn:nbn:de:0093-ON2309R153

BMVBS / BBSR (Hrsg.)

Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Rolle der bestehenden städtebaulichen Leitbilder und Instrumente; BBSR-Online-Publikation 24/2009 urn:nbn:de:0093-ON2409R159

BMVBS / BBSR (Hrsg.)

Klimawandelgerechte Stadtentwicklung – Planungspraxis; BBSR-Online-Publikation 25/2009 urn:nbn:de:0093-ON2509R155

BMVBS / BBSR (Hrsg.)

Klimawandelgerechte Stadtentwicklung – „Climate-Proof Planning“; BBSR-Online-Publikation 26/2009 urn:nbn:de:0093-ON2609R151

BMVBS / BBSR (Hrsg.)

Urbane Strategie zum Klimawandel – Dokumentation der Auftaktveranstaltung 2010

BMVBS / BBSR (Hrsg.)

Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel; MORO-Informationen 7/1 und 7/2

BMVBS / BBSR (Hrsg.)

Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel; 2.MORO – Fachkonferenz

BMVBS / BBSR (Hrsg.):

Planspiel Modell-Stadt-Ökologie. Bonn, 2004

BMVBW (Hrsg.):

direkt – Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden, Mobilitätsmanagement _ Ziele, Konzepte und Umsetzungsstrategien. Heft 58/2004. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH. Berlin, 2004

BMVBW (Hrsg.):

Mobilitätsmanagement – Ziele, Konzepte und Umsetzungsstrategien. Direkt-Heft Nr. 58, Bremerhaven, 2004

Bott, Helmut/ Grassi Gregor/ Anders, Stephan:

Nachhaltige Stadtplanung; Frankfurt, 2013

Bracher, T.; Eichmann, V.; Kühn, G.; Lehmbrock, M.:

ÖPNV im Wettbewerb – Management-Planspiel in der Region Berlin; Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin, 2004

BSUGV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz) (Hrsg.):

Luftreinhalteplan für die Stadt München. München, 2004

Bundesverband CarSharing. e.V.:

CarSharing-Stationen im öffentlichen Straßenraum. Stellungnahme des bcs zum Gesetzentwurf des Bundesverkehrsministeriums. Hannover, 2007

Bunzel, Arno; Coulmas, Diana; Schmidt-Eichstaedt, Gerd:

Städtebauliche Verträge. Ein Handbuch. 3. Auflage. Berlin, 2007

Burdett, Ricky; Sudjic, Deyan (Hrsg.):

The Endless City: The urban Age Project by the London School of Economics and Deutsche Bank's Alfred Herrhausen Society; London, New York, 2007

Buttler, Maike (Hrsg.):

Bewertungssysteme nachhaltiger Siedlungsplanung – Bilanzierungssystem zur Gegenüberstellung der Auswirkungen von Siedlungsstrukturen auf eine nachhaltige Entwicklung, Stuttgart, 2008

Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen – Anwendung des Zertifizierungssystems und der Kriteriensteckbriefe Nr. 18/10

Droege, Peter:

Bodensee–Alprhein Energieregion; In:

www.baernet.org/downloads/091102_Droege_BAER_IBH.pdf Stand 22.09.10, (Hrsg.)
Institut für Architektur und Raumentwicklung Hochschule Liechtenstein

Droege, Peter (Hrsg.):

100% Renewable: Energy Autonomy in Action; London, Sterling, VA, 2009

Droege, Peter (Hrsg.):

Urban Energy Transition: From Fossil Fuels to Renewable Power; Amsterdam, Boston, Heidelberg, 2008

Droege, Peter:

The Renewable City: A Comprehensive Guide to an Urban Revolution; West Sussex, Hoboken, Weinheim, 2006

Duany, Andreas:

The Smart Growth Manual, (Hrsg.) McGraw-Hill Professional, 2009

Engel, Kirsten; Orbach, Barak:

Micro-Motive and State and Local Climate Change Initiative; in Harvard Law & Policy Review 2, 2008 , www.hlpronline.com/Engel_Orbach_HLPR.pdf

ExWoSt - Experimenteller Wohnungs- und Städtebau des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen:

Modellvorhaben, Betriebsbezogenes Mobilitätsmanagement und Stadtentwicklung Dresden, Ergebnisbericht. Berlin, 2006

Fuss e.V., Fachverband Fußverkehr Deutschland (Hrsg.):
Reservierte CarSharing-Stationen im öffentlichen Straßenraum. In: Mobilogisch. 1/2007, S.46-50. Berlin, 2007

Greater Manchester Joint Transport Team (2006):

Best practice model supplementary-Planning document: Travel Plans

Gunßer, Christoph.:

Welche Ökologie - Viele Ökologien!; In Energiesparsiedlungen S.152ff, (Hrsg.) Callwey Verlag

Gunßer Christoph.; Callwey (Hrsg.):

Energiesparsiedlungen; München, 2000

Haag, M.; Hupfer, C.:

Verkehrsmanagementmaßnahmen – systemanalytisch untersucht Pilotstudie im Auftrag des Umlandverbandes Frankfurt/Main, Kaiserslautern, 1995

Hecke, Lizette:

Fast Track to Abu Dhabi's Future; in The National (Hg.) Wm Srite, 2008

ILS gGmbH, FGM:

Mobilität trifft Wohnen – Eine aussichtsreiche Begegnung, 2008

ILS NRW; ISB (Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr) (Hrsg.):

Mobilitätsmanagement Handbuch, 2000

Institut für Architektur und Raumplanung der Hochschule Liechtenstein (Hrsg.):

Die Ökologische Stadt, Positionen Architektur – Vol. 1; Petersberg, 2007

Institut für Architektur und Raumplanung der Hochschule Liechtenstein (Hrsg.):

Nachhaltige Raumentwicklung – Positionen, Architektur, Vol. 2; Petersberg, 2007

Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr; Ingenieurgruppe für Verkehrswesen und Verfahrensentwicklung:

Mobilitätsmanagement in Deutschland und im Ausland – Stand von Theorie und Praxis. Abschlussbericht. Aachen, 2003

Internationale Bauausstellung IBA Hamburg GmbH (Hrsg.):

Metropole: Ressourcen; Metropolis: Resources; Berlin, 2008

Internationale Bauausstellung IBA Hamburg GmbH (Hrsg.):

Metropole : Reflexionen; Metropolis : Reflections; Hamburg, 2007

Katzschner, Lutz; Röttgen, Mathias:

Hohe Feinstaubbelastungen in Städten. Stadtplanung als ein wichtiger Einflussfaktor. In: PlanerIn, 3/2005, S.27-28. Berlin, 2005

Kraft, Sabine:

Zeitenwende; in Arch+; Heft 184 10-2007, S.24ff, (Hrsg.) Arch+ Verlag

Kraft, Sabine:

Nachhaltigkeit, in Arch+ Heft 196-197, 01.2010, (Hrsg.) Arch+ Verlag

Landeshauptstadt München (Hrsg.):

Verkehrs- und Mobilitätsmanagementplan (VMP), Teil Gesamtkonzept Mobilitätsmanagement. München, 2006

Mahammazadeh, Dr. Mahammad:

Anpassung an den Klimawandel – Notwendigkeit und Probleme; in www.fona.de,
(Hrsg.) Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Forschungsstelle Ökonomie/ Ökologie;
Berlin, 2008

Mogge, Dr. John:

The Technology of Personal Rapid Transit; In: faculty.washington.edu/jbs/itrans/moggeprtpaper.pdf

Mostafavi, Mohsen; Doherty, Gareth (Hrsg.):

Ecological Urbanism; Baden CH, 2010

Register, Richard:

Ecocities, Rebuilding Cities in Balance with Nature, New Society Publisher, 2006

Ritchie, Adam; Thomas, Randall (Hrsg.):

Sustainable Urban Design, 2ND Edition; New York, 2009

Ruppert, Hans et al.:

Wege zum Bioenergie-dorf – Leifaden für eine eigene Wärme- und Stromversorgung auf
Basis von Biomasse im ländlichen Raum

Schäfer, Rudolf:

Rechtliche Aspekte des Wohnens ohne Auto. In: Bündnis 90/Die Grünen Bundestagsfraktion:
Wohnen ohne Auto. Planen und Bauen für eine neue Mobilität; Berlin, 2000

Sloterdijk, Peter:

Stadt Energetik – Stichworte zur urbanen Verschwendungskultur, in Stadt und
Nachhaltigkeit, (Hrsg.) Arnold Klotz, Otto Frey u. Werner Rosinak, Institut für
interdisziplinäre Stadtforschung; Wien, 2007

Sobek, Werner:

Bauschaffen - auch im Sinn der Nachhaltigkeit, in Arch+ Heft 184 10-2007, S.88ff,
(Hrsg.) Arch+ Verlag

Städtebauliche Klimafibel – Hinweise zur Bauleitplanung

(Hrsg.) Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem Amt für Umweltschutz Stuttgart; Onlinebeitrag vom 21.02.2008

State of the Art of Mobility Management in France (ohne Autor):
ECOMM ,2007

Töpfer, Klaus:

Baby Steps and Giant Leaps; In: Archithese 6.2009, S. 28ff, (Hrsg.) Verlag Niggli AG

Wachten, Kunibert:

Bewahrte Bausteine nachhaltiger Stadtentwicklung, Stadt und Nachhaltigkeit – Ein Diskurs, (Hrsg.) Ludwig Boltzmann, Institut für Interdisziplinäre Stadt-forschung, Springer, Wien, 2007