



Energienutzungsplan Stadt Regensburg

Teilbericht E – Potenzialbetrachtung zur CO₂-Minderung



<http://www.publicdomainpictures.net/view-image.php?image=1396&picture=blatter-in-der-sonne>

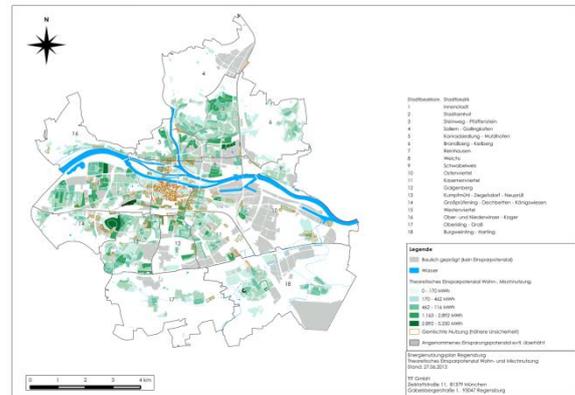
Auftraggeber: Stadt Regensburg
Amt für Stadtentwicklung
Minoritenweg 10
93047 Regensburg

Erstellt: Team für Technik GmbH
Büro München
Zielstattstraße 11
81379 München
Tel. 089. 89 14 61-0
Fax 089. 89 14 61-10

Datum: 17. Juni 2014

Kurzfassung

Am 22.05.2012 hat der Ausschuss für Stadtplanung, Verkehr, Umwelt- und Wohnungsfragen des Regensburger Stadtrats die Erstellung eines Energienutzungsplans beschlossen. Mit dem Energienutzungsplan entwickelt die Stadt ein informelles Planungsinstrument zur Analyse der aktuellen Energieversorgungssituation, zur Potenzialanalyse, zur Koordinierung von Einzelmaßnahmen und zur Entwicklung von Umsetzungskonzepten im Sinne einer Gesamtstrategie. Schwerpunkte liegen auf der räumlich differenzierten Analyse von Bedarf, Infrastruktur und Potenzialen sowie der Konzeptentwicklung. Der vorliegende *Teilbericht E – Potenzialbetrachtung zur CO₂-Minderung zum Energienutzungsplan* für die Stadt Regensburg dokumentiert die CO₂-Minderungspotenziale für Regensburg durch Energieeinsparmaßnahmen, Energieeffizienzmaßnahmen und den Ausbau erneuerbarer Energien. Die ermittelten Energiepotenziale werden bilanziert, vergleichend dargestellt und dem ermittelten Strom- und Wärmeverbrauch der Stadt Regensburg gegenübergestellt.



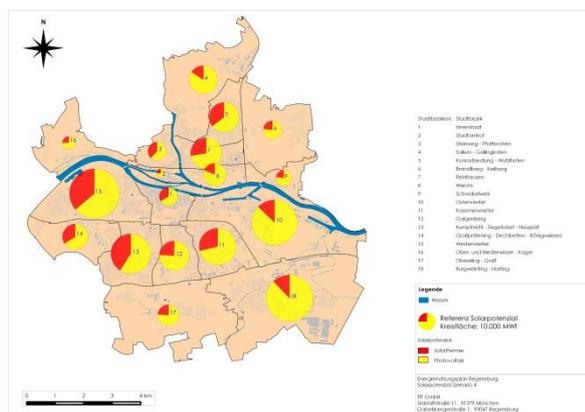
Einsparpotenzial in Wohngebäuden

Energieeinsparung

Die CO₂-Minderungspotenziale durch Energieeinsparung werden gesondert für Wohngebäude einerseits und für Nichtwohngebäude einschließlich Prozessenergieverbrauchern andererseits ermittelt. Bei Wohngebäuden beeinflussen Baualtersklasse, Gebäudetyp und Sanierungszustand den Wärmebedarf maßgeblich. Der Energiebedarf von Nichtwohngebäuden im Allgemeinen und Prozessenergiebedarf im Besonderen werden dagegen überwiegend von der Art der Nutzung und der Anwendungen bestimmt. Der Einfluss von Gebäudetyp und Baualtersklassen ist anders als bei Wohngebäuden in der Regel von untergeordneter Bedeutung.

Solarenergie

Das Solarenergiepotenzial wird anhand von vier Szenarien ermittelt. In *Szenario 4* wird beispielsweise das Solarthermiepotenzial zur Heizungsunterstützung betrachtet. Zunächst wird der Solarthermiebedarf (Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung) soweit möglich gedeckt und anschließend das Fotovoltaikpotenzial der übrigen Dachflächen berechnet. Daraus ergeben sich ein Solarthermiepotenzial von 136 GWh/a sowie ein Fotovoltaikpotenzial von 375 GWh/a in der Stadt Regensburg.



Solarpotenzial in Szenario 4

Die geologischen Verhältnisse in der Region Regensburg ermöglichen keine Nutzung tiefer Geothermie. Oberflächennahe Geothermie sowie Umweltwärme kann vor allem im Neubau und in sanierten Gebäuden als Wärmequelle dienen. Das Potenzial wird daher durch den Wärmebedarf in neuen und sanierten Gebäuden begrenzt. Ein Sonderfall der Umweltwärme ist Wärme aus Abwasser. Abwasser in der Kanalisation hat üblicherweise ganzjährig zuverlässig Temperaturen über 10°C und eignet sich bei ausreichendem Abwasseraufkommen deshalb gut als Wärmequelle für Wärmepumpen. Grundlage der Potenzialermittlung sind alle Kanäle mit Trockenwetterdurchflüssen ab 15 l/s. Nachfrageseitig ist das Potenzial durch den Wärmebedarf von Gebäuden mit einer maximalen Entfernung zum Kanal – häufig 200 Meter – begrenzt. Daraus ergibt sich ein Potenzial von 64 Gigawattstunden nutzbarer Abwasser-Wärme pro Jahr.

Zusammenfassung Strom- und Wärmeeinsparpotenziale

Sektor/Energieträger	Energieeinsparpotenzial [GWh/a]
Nichtwohngebäude, Prozessenergie	551
davon Wärme/Brennstoff	300,2
davon Strom	250,3
Haushalte	456
davon Wärme/Brennstoff	421
davon Strom	35

Biomasse

Das Potenzial für Wärme aus lokal erzeugter Biomasse beträgt für Regensburg etwa 44.600 MWh pro Jahr. Das Potenzial für Strom aus lokal erzeugter Biomasse beträgt etwa 11.600 MWh pro Jahr. Das energetische Potenzial für lokal erzeugte Biomasse liegt damit unterhalb der derzeitigen Erzeugung. Dies zeigt, dass bereits heute signifikante Mengen an Biomasse zur energetischen Verwertung von außerhalb nach Regensburg eingeführt werden. Deshalb gibt es auch bilanziell kein zusätzliches CO₂-Minderungspotenzial durch lokal erzeugte Biomasse. In interkommunalen Brennstoffkonzepten (Versorgung aus dem Umland) könnte die Rolle der Biomasse zusätzlich ausgebaut werden.

Geothermie und Umweltwärme

Die geologischen Verhältnisse in der Region Regensburg ermöglichen keine Nutzung tiefer Geothermie. Oberflächennahe Geothermie sowie Umweltwärme kann vor allem im Neubau und in sanierten Gebäuden als Wärmequelle dienen. Das Potenzial wird daher durch den Wärmebedarf in neuen und sanierten Gebäuden begrenzt. Ein Sonderfall der Umweltwärme ist Wärme aus Abwasser. Abwasser in der Kanalisation hat üblicherweise ganzjährig zuverlässig Temperaturen über 10°C und eignet sich bei ausreichendem Abwasseraufkommen deshalb gut als Wärmequelle für Wärmepumpen. Grundlage der Potenzialermittlung sind alle Kanäle mit Trockenwetterdurchflüssen ab 15 l/s. Nachfrageseitig ist das Potenzial durch den Wärmebedarf von Gebäuden mit einer maximalen Entfernung zum Kanal – häufig 200 Meter – begrenzt. Daraus ergibt sich ein Potenzial von 64 Gigawattstunden nutzbarer Abwasser-Wärme pro Jahr.



Nutzung industrieller Abwärme

In Regensburg gibt es mindestens vier größere gewerblich-industrielle Abwärmepotenziale, die auf technische und wirtschaftliche Nutzbarkeit untersucht werden sollten. Die konkreten Anwendungsfälle wären ggf. die Einspeisung in ein Nahwärmenetz, die Versorgung einer Schule, ein Wärmeverbund im Gewerbegebiet und die Versorgung einer dörflich geprägten Siedlung.

Windkraft

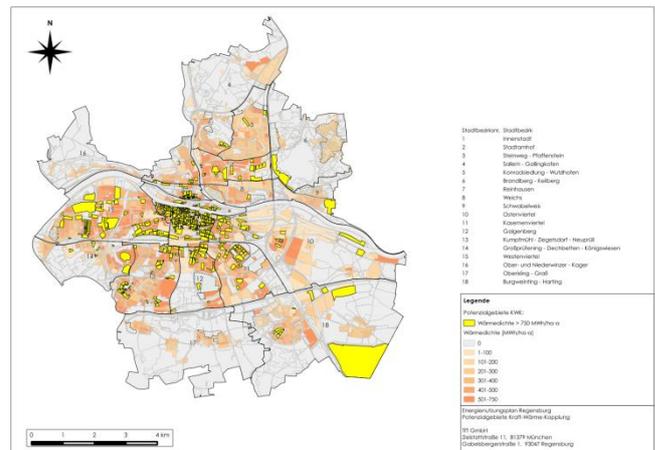
Der bayerische Windatlas weist keinen günstigen Standort für eine weitere Windkraftanlage innerhalb der Stadtgrenzen von Regensburg aus. Aufgrund von Schutzgebieten und einzuhaltenden Abstandsflächen sind im Stadtgebiet keine größeren Potenziale vorhanden. Allerdings werden kleinere Gebiete gegenwärtig untersucht, in denen höhere Windgeschwindigkeiten als im Windatlas genannt erwartet werden und in denen bis zu zwei Anlagen aufgestellt werden könnten. Weiterhin ist es möglich, die bestehende Anlage auf dem Mühlberg durch eine größere und damit leistungsfähigere Windkraftanlage zu ersetzen (sogenanntes „Repowering“).

Wasserkraft

Das CO₂-Vermeidungspotenzial durch den Einsatz von Wasserkraft auf dem Stadtgebiet Regensburg ist wohl weitgehend ausgeschöpft. Einzig ein etwaiges Schleusenkraftwerk könnte möglicherweise zusätzliches Potenzial bergen. Dieses Potenzial ist aber für eine abschließende Beurteilung noch nicht hinreichend untersucht.

Kraft-Wärme-Kopplung

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) stellt eine Möglichkeit dar, den Energieinhalt von Brennstoffen besser auszunutzen als in der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung. In allen Objekten mit größerem Strom- und Wärmebedarf können KWK-Anlagen als Grundlast-Wärmeerzeuger eingesetzt werden. Weiterhin können Wärmenetze mit KWK gespeist werden. Für einen wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen ist ein Mindest-Wärmebedarf pro versorgter Flächeneinheit erforderlich. Gebiete oberhalb dieser Schwelle kommen grundsätzlich für eine Prüfung auf die Eignung für eine Versorgung durch Wärmenetzgebundene Kraft-Wärme-Kopplung in Frage.



Potenzial für wärmenetzgebundene KWK



Inhaltsübersicht

KURZFASSUNG	I
INHALTSÜBERSICHT	III
1 EINLEITUNG	1
1.1 ALLGEMEINES	1
1.2 TEILBERICHT E – POTENZIALBETRACHTUNG ZUR CO ₂ -MINDERUNG	1
2 CO ₂ -MINDERUNGSPOTENZIALE DURCH ENERGIEEINSPARUNG UND ENERGIEEFFIZIENZ	2
2.1 ALLGEMEINES	2
2.2 ENERGIEEINSPARPOTENZIALE IN GEWERBE, HANDEL, DIENSTLEISTUNG, INDUSTRIE	2
2.3 ENERGIEEINSPARPOTENZIALE IN WOHNGBÄUDEN UND HAUSHALTEN	6
2.4 ZUSAMMENFASSUNG	14
3 CO ₂ -MINDERUNGSPOTENZIALE SOLARENERGIE	15
3.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	15
3.2 ANLAGENBESTAND	15
3.3 GRUNDLAGEN DER FOTOVOLTAIK	17
3.4 GRUNDLAGEN DER SOLARTHERMIE	19
3.5 SZENARIEN	20
4 CO ₂ -MINDERUNGSPOTENZIALE BIOENERGIE	29
4.1 BESTAND	29
4.2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	29
4.3 HINWEISE ZUR FLÄCHENNUTZUNG	30
4.4 BIOMASSEFRAKTIONEN FÜR DIE STROM- UND WÄRMEERZEUGUNG	31
4.5 BIOGENE RESTSTOFFE AUS KOMMUNEN UND HAUSHALTEN	32
4.6 RESTSTOFFE UND ROHSTOFFE AUS DER LANDWIRTSCHAFT	34
4.7 RESTSTOFFE AUS DER FORSTWIRTSCHAFT	36
4.8 NUTZUNGSWEGE	37
5 CO ₂ -MINDERUNGSPOTENZIALE GEOTHERMIE UND UMWELTWÄRME	40
5.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	40
5.2 TIEFENGEOTHERMIE	40
5.3 OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE UND UMWELTWÄRME	41
5.4 ANLAGENBESTAND	45
5.5 POTENZIAL FÜR OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE UND DIE NUTZUNG VON UMWELTWÄRME IN REGENSBURG	45
6 CO ₂ -MINDERUNGSPOTENZIALE DURCH THERMISCHE NUTZUNG VON ABWASSER	48
7 CO ₂ -MINDERUNGSPOTENZIALE DURCH ABWÄRMENUTZUNG	53
7.1 ALLGEMEINES	53
7.2 MÖGLICHE IDENTIFIZIERTE POTENZIALE	53
7.3 FAZIT	56
8 CO ₂ -MINDERUNGSPOTENZIALE DURCH WINDENERGIENUTZUNG	57
8.1 ANLAGENBESTAND	57
8.2 WINDKRAFTPOTENZIAL AUF DEM STADTGEBIET REGENSBURG	58
9 CO ₂ -MINDERUNGSPOTENZIALE DURCH WASSERKRAFTNUTZUNG	61
9.1 ANLAGENBESTAND	61
9.2 POTENZIALE FÜR WASSERKRAFTNUTZUNG IN REGENSBURG	61
9.3 FAZIT	62
10 CO ₂ -MINDERUNGSPOTENZIALE DURCH NUTZUNG VON KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG	63
10.1 ANLAGENBESTAND	63
10.2 KWK-POTENZIAL IN REGENSBURG	64
QUELLENVERZEICHNIS	1
ANLAGENVERZEICHNIS	I



1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Am 22.05.2012 hat der Ausschuss für Stadtplanung, Verkehr, Umwelt- und Wohnungsfragen des Regensburger Stadtrats die Erstellung eines Energienutzungsplans beschlossen. Mit dem Energienutzungsplan entwickelt die Stadt ein informelles Planungsinstrument zur Analyse der aktuellen Energieversorgungssituation, zur Potenzialanalyse und zur Koordinierung von Einzelmaßnahmen und zur Entwicklung von Umsetzungskonzepten im Sinne einer Gesamtstrategie. Schwerpunkte liegen auf der räumlich differenzierten Analyse von Bedarf, Infrastruktur und Potenzialen sowie der Konzeptentwicklung.

Im Energienutzungsplan für Regensburg nimmt die Berücksichtigung des denkmalgeschützten Gebäudebestands mit seinen besonderen Restriktionen und Chancen hinsichtlich einer nachhaltigen Wärmeversorgung eine besondere Rolle ein. Weitere Aspekte sind Einflussmöglichkeiten der Stadt über ihre eigenen Liegenschaften sowie über die kommunalen Unternehmen Stadtbau Regensburg GmbH und Regensburger Energie- und Wasserversorgung AG & Co KG.

1.2 Teilbericht E – Potenzialbetrachtung zur CO₂-Minderung

Der vorliegende *Teilbericht E – Potenzialbetrachtung zur CO₂-Minderung* zum Energienutzungsplan für die Stadt Regensburg dokumentiert die CO₂-Minderungspotenziale für Regensburg durch Energieeinsparmaßnahmen, Energieeffizienzmaßnahmen und den Ausbau erneuerbarer Energien. Die ermittelten Energiepotenziale werden bilanziert, vergleichend dargestellt und dem ermittelten Strom- und Wärmeverbrauch der Stadt Regensburg gegenübergestellt. Dabei werden die bereits genutzten Potenzialanteile der erneuerbaren Energien berücksichtigt. Die Stadtbezirke, hier in erster Linie die beiden Bezirke Innenstadt und Stadtamhof, werden, soweit möglich, gesondert betrachtet.



2 CO₂-Minderungspotenziale durch Energieeinsparung und Energieeffizienz

2.1 Allgemeines

Beim Umbau der Energieversorgung hin zu einem klimafreundlichen und ressourcenschonenden System kommt der Energieeinsparung eine zentrale Rolle zu. Je erfolgreicher der Energieverbrauch gesenkt werden kann, desto größer können die Anteile der erneuerbaren Energien an der Deckung des verbleibenden Bedarfs ausfallen.

Die CO₂-Minderungspotenziale durch Energieeinsparung werden gesondert für Wohngebäude einerseits und für Nichtwohngebäude einschließlich Prozessenergieverbrauchern andererseits ermittelt. Bei Wohngebäuden beeinflussen Baualtersklasse, Gebäudetyp und Sanierungszustand den Wärmebedarf maßgeblich. Der Energiebedarf von Nichtwohngebäuden im Allgemeinen und Prozessenergiebedarf im Besonderen werden dagegen überwiegend von der Art der Nutzung und der Anwendungen bestimmt. Der Einfluss von Gebäudetyp und Baualtersklassen ist in der Regel von untergeordneter Bedeutung.

2.2 Energieeinsparpotenziale in Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie

2.2.1 Grundlagen

Der Gesamtenergiebedarf im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung – hier einschließlich der öffentlichen Hand – und Industrie beträgt etwa 1.775 GWh/a. Davon entfallen etwa 58 % auf Strom und 42 % auf Wärme. Die Werte stammen aus Befragungen unter Regensburger Unternehmen und der Träger der öffentlichen Liegenschaften sowie aus Energieabsatzdaten des lokalen Netzbetreibers REWAG.

Das Energieeinsparpotenzial für Prozessenergie und in Nichtwohngebäuden setzt sich aus zahlreichen Einzelpotenzialen aus unterschiedlichen Verwendungszwecken, Branchen und Nutzungsprofilen zusammen. Im Auftrag des WWF Deutschland haben das Ökoinstitut und die Prognos AG in der Untersuchung „Modell Deutschland 2050 – Klimaschutz vom Ziel her denken“ bezogen auf alle Verbrauchsbereiche verschiedene Szenarien für Energiebedarfsentwicklung, Energieträgermix und CO₂-Emissionen entwickelt [1]. Die Einsparpotenziale des Bereichs Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie für Regensburg im Zeitraum 2012 bis 2030 wurden anhand dieser langfristigen deutschlandweiten Szenarien auf Regensburg übertragen. Abbildung 1 und Abbildung 2 enthalten Eckdaten zu den zugrundeliegenden bundesweiten Szenarien von Ökoinstitut und Prognos AG.

		Referenzszenario					Innovationsszenario			
Verwendungszwecke										
Raumwärme	664	415	189	53	7	347	108	18	2	
Prozesswärme	310	310	301	292	291	300	283	265	256	
Kühlen und Lüften	65	85	137	213	215	63	79	96	75	
Beleuchtung	148	119	97	80	66	95	64	43	30	
Bürogeräte	56	52	45	36	28	46	36	26	18	
Kraft	220	189	165	142	124	180	151	126	106	
Gesamt Verwendungszwecke	1.462	1.169	933	815	731	1.031	720	574	486	
Energieträger										
Kohle	5	0	0	0	0	0	0	0	0	
Öl	279	159	80	30	20	140	57	19	15	
Gas	515	394	256	171	147	350	201	141	130	
Strom	443	415	426	465	439	354	310	282	229	
Fernwärme	96	69	43	28	22	61	34	22	19	
Erneuerbare (ohne Biokraftstoffe)	10	34	41	44	35	32	37	39	32	
Kraftstoffe (inkl. Biokraftstoffe)	114	98	87	76	67	94	82	70	60	
Gesamt Energieträger	1.462	1.169	933	815	731	1.031	720	574	486	

Abbildung 1: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Gewerbe, Handel und Dienstleistung in Referenzszenario und Innovationsszenario des „Modell Deutschland 2050 – Klimaschutz bis 2050“ [1]

	Referenzszenario					Innovationsszenario				
	2005	2020	2030	2040	2050	2005	2020	2030	2040	2050
Raumwärme	240	182	162	147	138	240	89	53	38	35
Prozesswärme	1.597	1.524	1.376	1.283	1.248	1.597	1.239	983	844	801
mechanische Energie	516	527	496	475	469	516	403	329	295	293
Information und Kommunikation	33	31	27	24	23	33	18	12	10	10
Beleuchtung	39	37	34	31	30	39	20	14	11	11
Gesamt Endenergienachfrage	2.424	2.301	2.094	1.961	1.909	2.424	1.769	1.391	1.199	1.149
Steinkohle										
Steinkohle	296	252	193	158	137	296	206	130	83	55
Braunkohle										
Braunkohle	59	48	41	35	32	59	38	29	24	22
Mineralöle										
Mineralöle	162	132	107	87	72	162	93	61	43	35
darunter: Heizöl leicht	77	63	54	45	38	77	44	31	23	20
Heizöl schwer	67	55	42	33	27	67	39	24	16	11
übrige Mineralölprodukte	19	14	11	9	7	19	10	7	5	4
Gase										
Gase	921	883	807	759	742	921	677	536	467	451
darunter: Naturgase	800	780	724	687	674	800	597	484	429	422
Flüssiggas, Raffineriegas	11	13	11	9	8	11	9	6	4	3
Kokereigas	33	27	22	19	18	33	21	14	10	8
Gichtgas	77	63	50	44	42	77	49	33	24	18
Erneuerbare										
Erneuerbare	118	129	132	137	144	118	103	96	97	104
Strom										
Strom	823	814	773	748	746	823	623	517	467	466
Fernwärme										
Fernwärme	45	43	40	37	35	45	28	21	17	16
Gesamt Endenergienachfrage	2.424	2.301	2.094	1.961	1.909	2.424	1.769	1.391	1.199	1.149

Abbildung 2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Industrie in Referenzszenario und Innovationsszenario des „Modell Deutschland 2050 – Klimaschutz bis 2050“ [1]

Die Energieverbräuche von Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie in diesen Szenarien setzen sich aus den Verwendungszwecken nach Tabelle 1 bzw. aus den Branchen nach Tabelle 2 zusammen.



Tabelle 1: Verwendungszwecke Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie in den zugrundeliegenden Energiebedarfsszenarios (nach [1])

Verwendungszweck	Industrie	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
Raumwärme	x	x
Klimatisierung		x
Beleuchtung	x	x
Prozesswärme	x	x
Kraft	x	x
Information und Kommunikation		x
Bürogeräte	x	

Tabelle 2: Gewerbe-, Handels-, Dienstleistungs- und Industriebranchen für die zugrundeliegenden Energiebedarfsszenarios (nach [1])

Landwirtschaft, Gärtnerei
Landwirtschaft
Industrielle Kleinbetriebe/Handwerk
Baugewerbe
Handel
Handel, Gastgewerbe, Verkehr
Kreditinstitute / Versicherungen
Finanzierung, Vermietung
Verkehr, Nachrichtenübermittlung
Sonstige private Dienstleistungen
Gesundheitswesen
Unterrichtswesen
Öffentliche Verwaltung, Sozialversicherung
Verteidigung
energieintensive Branchen
übrige Branchen
Produzierendes Gewerbe
Gewinnung von Steinen, sonst. Bergbau
Ernährung und Tabak
Papiergewerbe
Grundstoffchemie
sonstige chemische Industrie
Gummi- und Kunststoffwaren
Glas, Keramik
Verarbeitung von Steinen und Erden
Metallerzeugung
NE-Metalle, Gießereien
Metallbearbeitung
Maschinenbau
Fahrzeugbau
Sonstige Wirtschaftszweige



Bezogen auf die Regensburger Wirtschaftsentwicklung mit einem geringeren Beschäftigtenrückgang als im Bundesdurchschnitt und entsprechend höherem Zuwachs an Wertschöpfung (Abbildung 3) ergibt sich im „Innovationsszenario“ des „Modell Deutschland 2050“ ein Einsparpotenzial von durchschnittlich 2,8 % pro Jahr im Wärmebereich und von 1,5 % pro Jahr im Strombereich. Im Referenzszenario liegt die durchschnittliche jährliche Einsparung bei 1,2 % für Wärme und für Strom bei annähernd Null. In den zugrundeliegenden Szenarien des „Modell Deutschland 2050“ kommt es durch die Überlagerung der zugrundeliegenden Treibergrößen, etwa der Erneuerung des Kraftwerksparks, zu größeren Schwankungen. Zeitweilig kommt es auch zu Anstiegen in der Bedarfsentwicklung. Für die Regensburger Situation werden dagegen vereinfachend konstante jährliche Raten angesetzt. Der aktuelle Energieverbrauch wird für die Szenariorechnung zu 65 % auf Industrie und zu 35 % auf verbleibende Gewerbe, Handel und Dienstleistungen einschließlich der öffentlichen Hand verteilt.

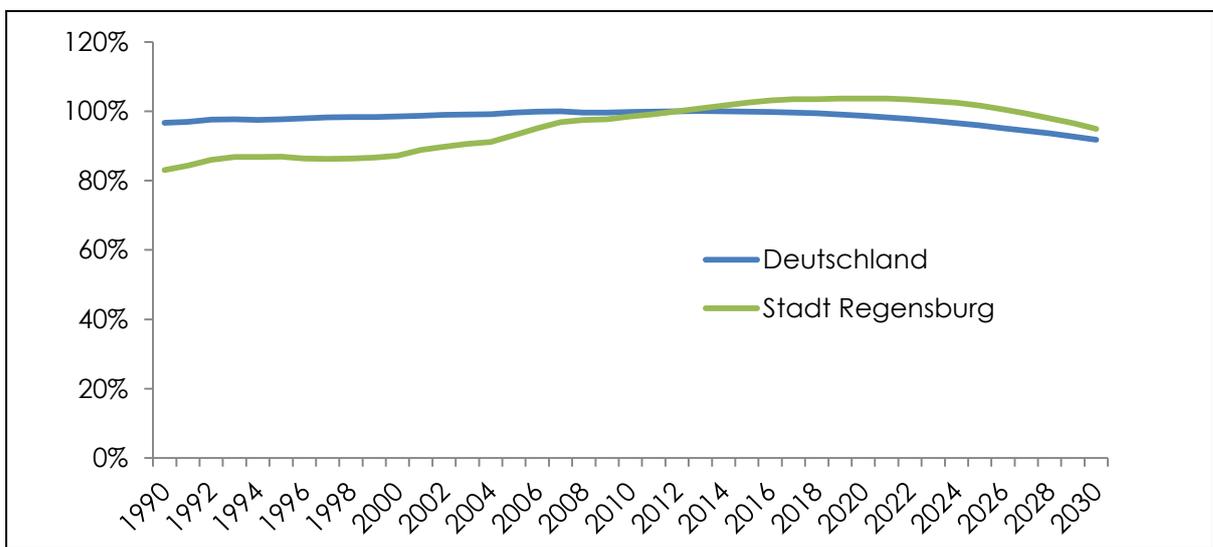


Abbildung 3: Entwicklung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Regensburg und Deutschland bezogen auf das Jahr 2012 (2012 entspricht 100 %). Ab 2010 Prognoserechnung im Zuge der Raumordnungsprognose 2030 [2]

2.2.2 Ergebnisse

Die relativen und absoluten Einsparpotenziale der Verbraucher aus Gewerbe, Handel, Dienstleistung einschließlich der öffentlichen Hand sowie Industrie in Regensburg sind in Tabelle 3 und Abbildung 4 dargestellt.



Tabelle 3: Endenergieeinsparpotenziale in Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie (GHDI) jeweils bis 2030

Sektor/Energieträger	Durchschnittliches jährliches Einsparpotenzial	Relative Einsparung	Einsparpotenzial insgesamt	CO ₂ -Minderungspotenzial
GHDI Gesamt	2,1 %	34 %	550,5 [GWh/a]	
davon Wärme/ Brennstoff	2,8 %	43 %	300,2 [GWh/a]	81 Tsd. t/a
davon Strom	1,5 %	27 %	250,3 [GWh/a]	112 Tsd. t/a

Abbildung 4 stellt für Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie in Regensburg den aktuellen Energieverbrauch und die Energieeinsparpotenziale bis zum Jahr 2030 dar.

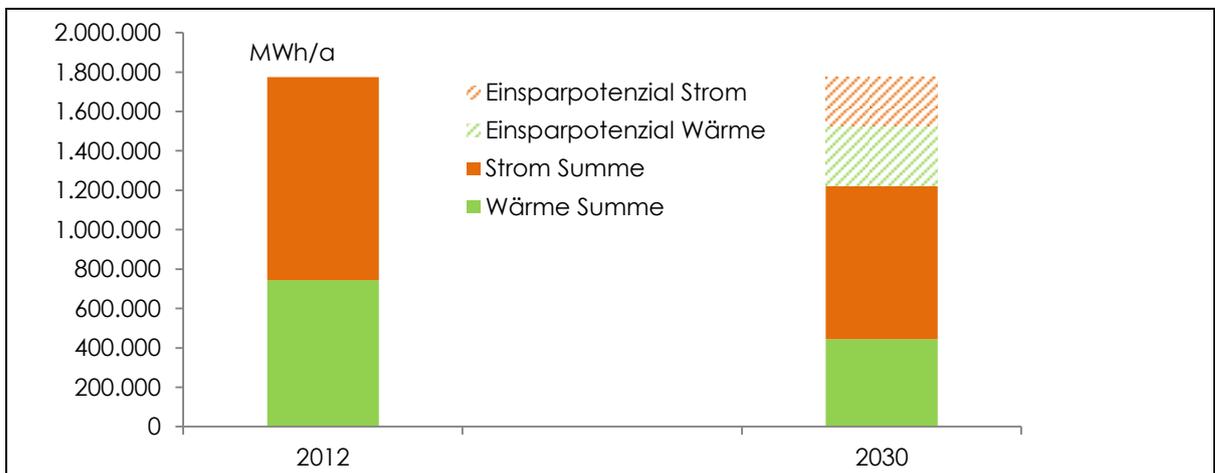


Abbildung 4: Absoluter Energieverbrauch [MWh/a] von Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie in Regensburg im Jahr 2010 und nach Ausschöpfen des Energieeinsparpotenzials bis 2030

2.3 Energieeinsparpotenziale in Wohngebäuden und Haushalten

Der stationäre Gesamtenergiebedarf – d.h. der Energiebedarf ohne Verkehr – des Haushaltssektors betrug im Jahr 2012 1.068 GWh/a. Dabei entfallen knapp 20 % auf Strom und gut 80 % auf Wärme.

2.3.1 KfW-geförderte Sanierungsmaßnahmen - Bestand

Im Jahr 2012 wurden im Stadtgebiet von Regensburg 69 Sanierungen, die durch das KfW-Effizienzhaus-Programm gefördert wurden, durchgeführt. Dies entspricht etwa 0,3 % des Wohngebäudebestands. Weiterhin wurden 71 Einzelmaßnahmen unterstützt sowie 72 Projekte bezuschusst. Insgesamt wurden ca. 18 Mio. Euro an Förderzusagen mit Schwerpunkt Wohnungssanierung ausgegeben.

Einen Überblick über die Entwicklung des KfW-Programms „Energieeffizient Sanieren - Effizienzhaus“ in den letzten Jahren gibt Abbildung 5. Es wird deutlich, dass die bundesweiten Förderzusagen in diesem KfW-Programm stark abgenommen haben.

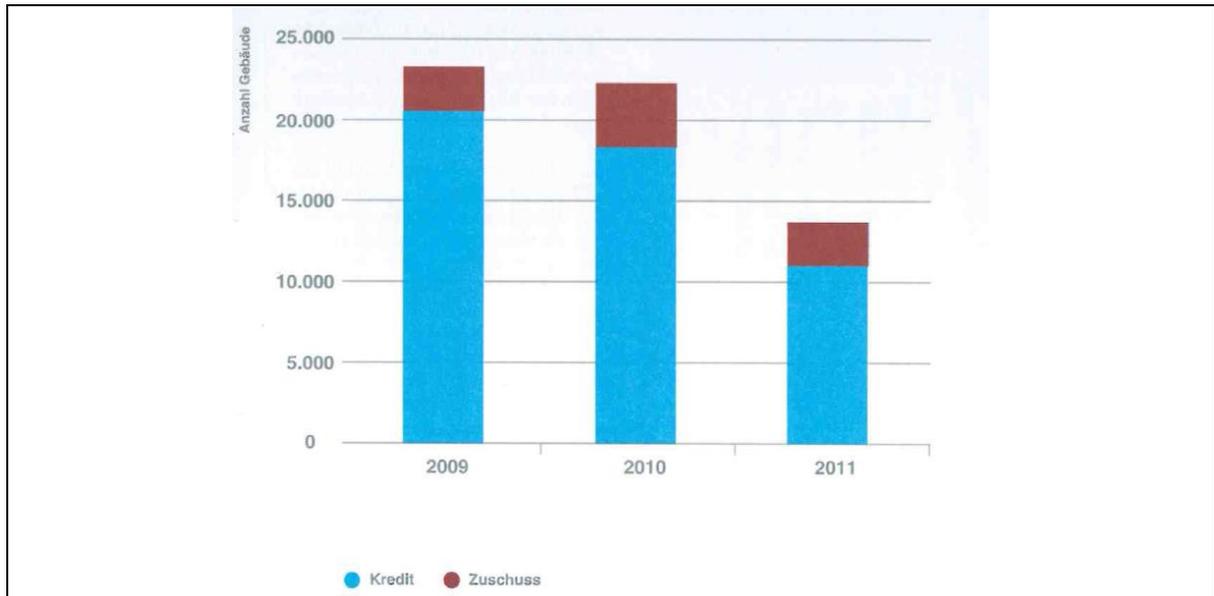


Abbildung 5: Bundesweite Förderzusagen im KfW-Programm „Energieeffizient Sanieren – Effizienzhaus“ [3]

2.3.2 Stromeinsparpotenziale in Haushalten

Stromeinsparungen im Bereich der Haushalte sind insbesondere durch den Einsatz effizienter elektronischer Geräte zu erzielen, die folgende Bereiche betreffen:

- Elektrogeräte
- Kraft
- Informations- und Kommunikationstechnologie
- Warmwasser
- Kochen
- Beleuchtung
- Raumwärme
- Sonstige

Neben dem Einsatz effizienter elektronischer Geräte birgt das Nutzerverhalten, also der individuelle Umgang mit den elektronischen Geräten durch den Nutzer das größte Einsparpotenzial. Tabelle 4 listet beispielhafte Einsparmaßnahmen im Bereich Nutzerverhalten auf.



Tabelle 4: Nutzerverhalten - beispielhafte Maßnahmen nach dem Leitfadens Energienutzungsplan [4]

Einflussbereiche	Beispiele
Lichtkontrollen	„Licht aus“ in Pausen, Lichtschalter beschriften,
Abschaltung nicht benötigter Elektrogeräte	Abschaltung von Warmwasserboilern, Getränkeautomaten, Computern, Druckern, Kaffeemaschinen, etc. manuell, per Zeitschaltuhr oder per Standby-Sensor,
„Leerlaufverluste“: Vermeidung von Stand-By-Betrieb	Verwendung von schaltbaren Steckerleisten

Stromeinsparpotenziale in Haushalten werden nach dem Innovationsszenario des Modell Deutschland 2050 auf Regensburg und den Zeitraum 2012 bis 2030 umgelegt. Stromeinsparpotenziale sind auch in Haushalten tendenziell geringer als Wärmeeinsparpotenziale. Dies liegt unter anderem an neuen Nutzungen (z.B. Wärmepumpen) und erhöhten Ausstattungsgraden (z.B. Klimatisierung).

Für Deutschland liegen die Einsparpotenziale im Zeitraum 2012-2030 bei 17 %. Umgelegt auf Regensburg ergibt dies etwas über 10 %. Grund für den Unterschied zur bundesweiten Entwicklung ist die gegenläufigen Bevölkerungsentwicklung (Anstieg um 5 % anstatt eines Rückgangs von 4 %). Die Einsparung liegt damit bei etwa 20 GWh/a bzw. 8.920 Tonnen CO₂ pro Jahr.

2.3.3 Wärmeeinsparpotenziale in Wohngebäuden

Wärmeeinsparpotenziale in Haushalten sind aufgrund der Länge der Sanierungszyklen stärker als andere Potenziale vom Betrachtungszeitraum abhängig. Eine Sanierungsrate von 0,8 % der Gebäude pro Jahr bedeutet beispielsweise, dass das Einsparpotenzial für ein Gebäude erst ab einem Betrachtungszeitraum von 125 Jahren für den gesamten Gebäudebestand angesetzt werden kann.

Bisherige Sanierungsaktivitäten

Die bisherigen Sanierungsaktivitäten im Regensburger Wohngebäudesektor sind nicht zentral vollständig erfasst. Allerdings geben die Befragungsergebnisse unter größeren Mehrfamilienhaus-Trägern erste Hinweise.

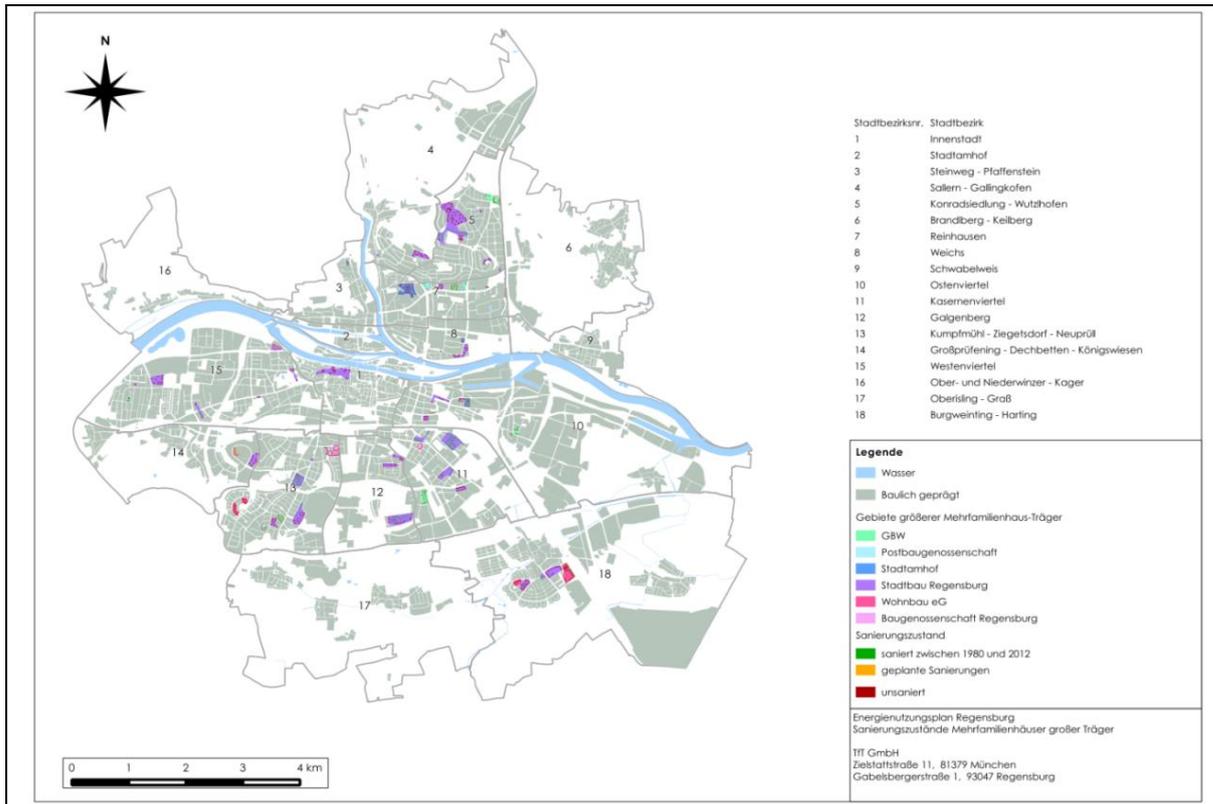


Abbildung 6: Bestände größere Mehrfamilienhausbestände in Regensburg nach Träger und Sanierungsaktivität (unvollständig; vergrößerte Karte im Anhang)

Einsparpotenzial

Für Einzelgebäude ergibt sich das Einsparpotenzial aus der Differenz aus dem heutigen Wärmeverbrauch (beispielhaft für eine Baualtersklasse in Abbildung 7, oben) und dem Wärmeverbrauch nach erfolgter Sanierung (Abbildung 7 unten und Abbildung 8).

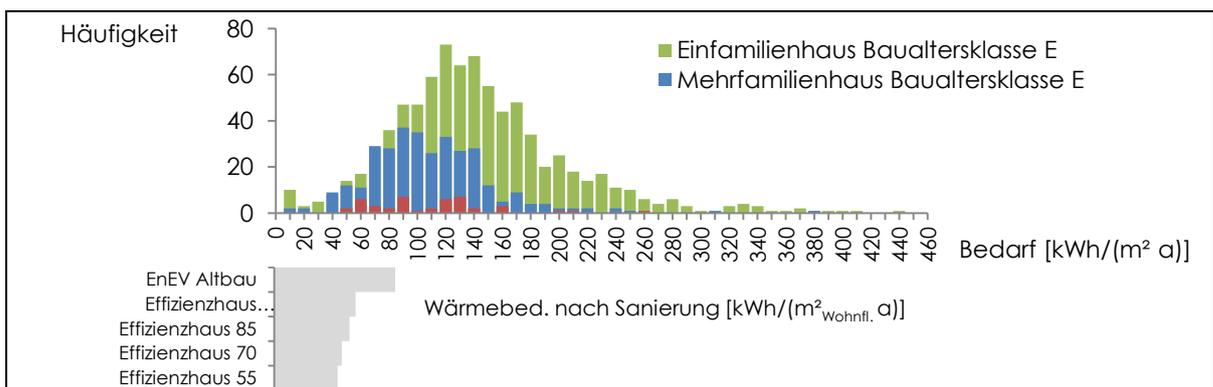


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der Energiebedarfskennwerte¹ im Bestand, Beispiel Baualtersklasse „E“ (1958-1968) im Regensburger Wärmekataster (oben) und verschiedene Sanierungsniveaus

¹ Wärme ab Wärmeerzeuger; Flächenbezug: Energiebezugsfläche aus dem 3D-Gebäudemodell

Der Ermittlung des Wärme-Einsparpotenzials liegen unterschiedliche Sanierungsniveaus für ein Mustergebäude zugrunde. Dabei wurde ein fiktiver Altbau sukzessive auf höhere Effizienzstandards saniert. Da die Dämmung die thermischen Eigenschaften der Bauteile nach der Sanierung maßgeblich bestimmt, hat der Zustand vor der Sanierung nur geringen Einfluss auf den Energiebedarf nach der Sanierung. Die betrachteten Standards richten sich nach dem Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Dabei werden definierte Unterschreitungen der Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV) für den Primärenergiebedarf und den maximalen Transmissionswärmeverlust durch die Gebäudehülle erreicht, die bereits der Bezeichnung des Energiestandards zu entnehmen sind: So ist im „Effizienzhaus 85“ der Primärenergiebedarf auf 85 % des für Neubauten zulässigen begrenzt. Die vorgegebenen Sanierungsniveaus werden durch sukzessive verbesserte Dämmeigenschaften der Gebäudehülle und Energieträger mit niedrigem Primärenergiebedarf erreicht. Aufgrund der dichten Fenster ist zur Gewährleistung des erforderlichen Mindestluftwechsels der Einbau dezentraler Lüftungsanlagen erforderlich. Diese Lüftungsanlagen tragen aufgrund der eingebauten Wärmerückgewinnung erheblich zur Senkung der Lüftungswärmeverluste und des Wärmebedarfs bei. Eine Übersicht über die Sanierungsvarianten des Beispielgebäudes enthält Anlage I.

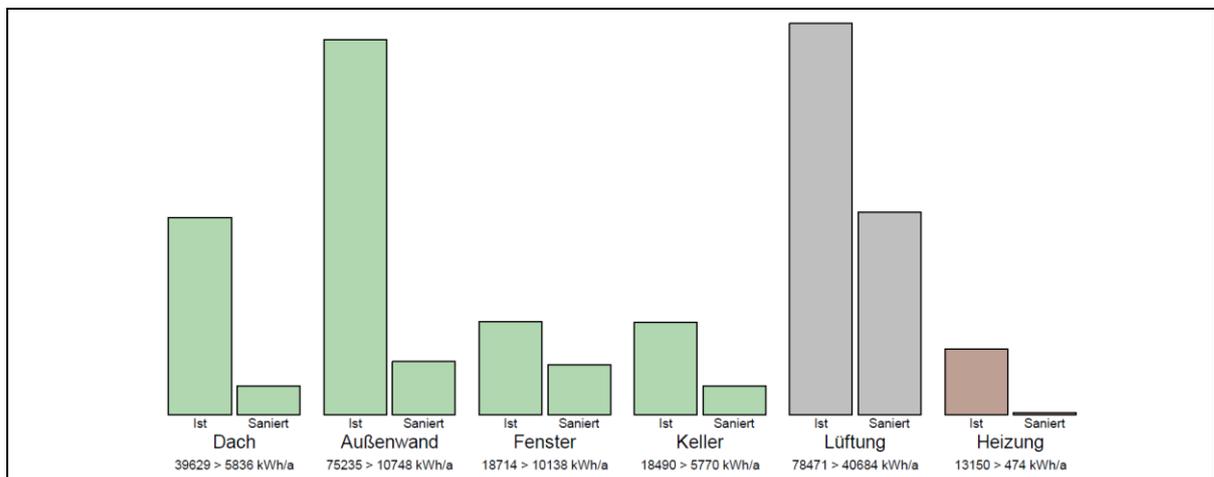


Abbildung 8: Auszug aus der Energiebilanz für ein Beispielgebäude (Bei Sanierung auf den Standard „Effizienzhaus 70“)

Die Resultate für die Einsparpotenzialermittlung sind der Wärmebedarf nach dem Wärmeerzeuger nach der erfolgten Sanierung. Das Wärme-Einsparpotenzial für die Regensburger Wohngebäude beträgt je nach Sanierungsniveau zwischen 24 % und 52 %. Dies entspricht 208 bzw. 415 GWh pro Jahr. Sowohl in der Einzelbetrachtung (Abbildung 9) als auch der Betrachtung des gesamten Wohngebäudebestands ist die Bezugsgröße für die Wärmeeinsparung – übereinstimmend mit dem Wärmekataster – Wärme ab dem Wärmeerzeuger². Alleine die Wärmeeinsparung entspricht einer CO₂-Einsparung in Höhe von 49.400 bzw. 98.600 Tonnen pro

² Vorgaben zum Energiestandard in der Energieeinsparverordnung und den darauf aufbauenden Effizienzhaus-Standards sind für den nicht-erneuerbaren Anteil des Primärenergiebedarfs sowie den zulässigen Transmissionswärmeverlust definiert. Der Primärenergiebedarf ergibt sich durch Multiplikation des Endenergiebedarfs (der ins Gebäude gelieferten Energie) mit einem energieträgerspezifischen Faktor für die Vorketten. Diese Faktoren betragen für Heizöl und Erdgas 1,1, für Holzbrennstoffe 0,2 und für Strom 2,6. Für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sind sie anlagen- und brennstoffabhängig und liegen häufig deutlich unter 1. Diese Definition bewirkt, dass es keine expliziten Vorgaben für den Wärmebedarf gibt.

Der Wärmebedarf ab Wärmeerzeuger ist weder direkt proportional zum Transmissionswärmeverlust (Einfluss der Lüftungswärmeverluste), noch zum Endenergiebedarf (Einfluss von Lüftungswärmeverlusten, Hilfsstrombedarf und Wärmeerzeuger) noch zum Primärenergiebedarf (Einfluss von Lüftungswärmeverlusten, Hilfsstrombedarf, Wärmeerzeuger und gewähltem Energieträger und seinem Primärenergiefaktor).

Jahr. Der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen werden *zusätzlich* zur eingesparten Wärme auch durch die Änderung des Energieträgers und die Effizienz des Erzeugers bestimmt: Wird etwa ein Gebäude im Zuge der Sanierung von Erdgas auf einen erneuerbaren Energieträger umgestellt, können bei einer Halbierung des Wärmebedarfs CO₂-Emissionen und Primärenergieverbrauch auf nahezu null sinken.

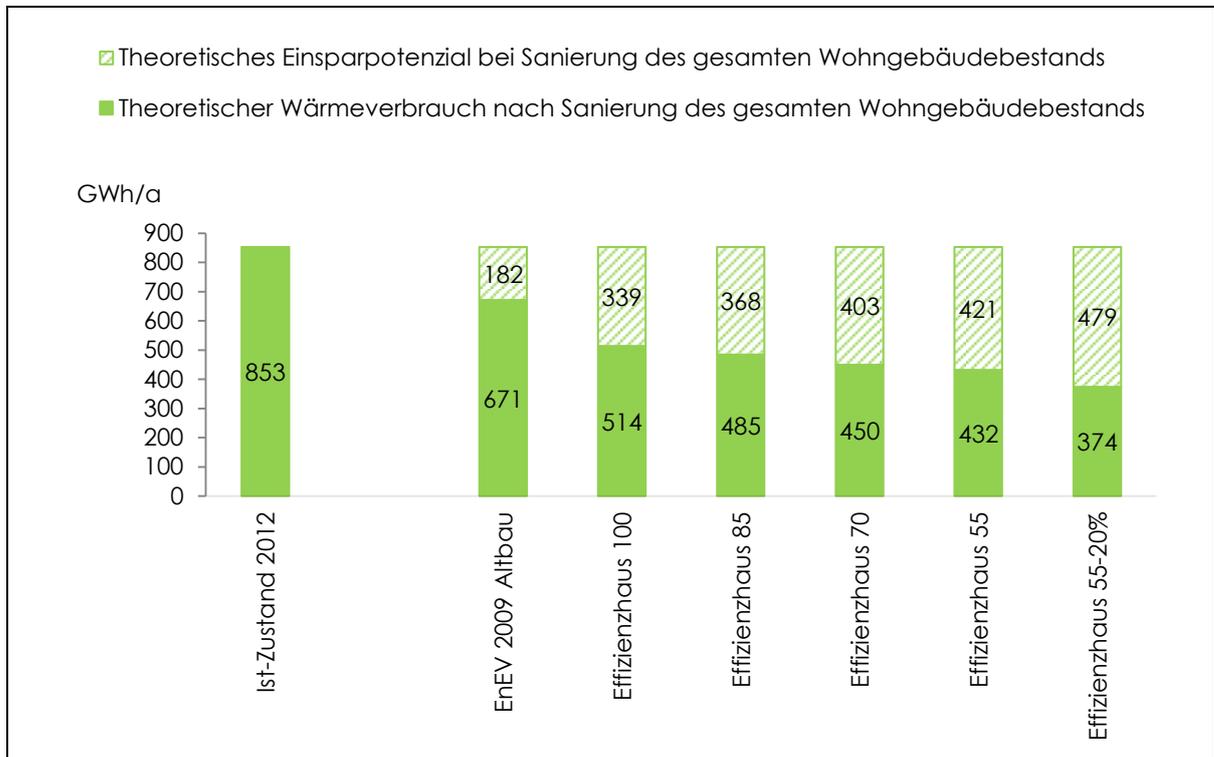


Abbildung 9: Wärmeverbrauch des Wohngebäudebestands: Ist-Zustand 2012, theoretisches Einsparpotenzial bei Sanierung aller nicht denkmalgeschützten Gebäude auf verschiedene Effizienzhaus-Standards nach EnEV 2009³

Räumlich bezogen auf den Wohngebäudebestand ergibt sich für den Sanierungsstandard „Effizienzhaus 55“ eine Verteilung des theoretischen Einsparpotenzials gemäß Abbildung 10. Zur Definition möglicher Sanierungsgebiete mit hohem Wärme-Einsparpotenzial gibt diese Abbildung eine Orientierung. Insbesondere in gemischt genutzten Gebieten und Gebieten neuerer Baualtersklassen sind die Potenziale nicht ohne Weiteres umsetzbar. Dies kann in gemischt genutzten Gebieten an Sondernutzungen liegen, deren Energieverbrauch durch Gebäudesanierung nicht beeinflussbar ist. In Gebieten neuerer Baualtersklassen kann trotz höherer Verbrauchswerte eine Sanierung bei den Eigentümern aufgrund des vergleichsweise geringen Alters unter Umständen nicht vermittelbar sein.

³ Denkmalgeschützte Gebäude: Einsparung im Mittel 10%; Bezugsgröße ist der Wärmeverbrauch ab Wärmeerzeuger; maßgeblich für die Beispielgebäude ist der mittlere auf die Gebäudehülle bezogene Transmissionswärmeverlust

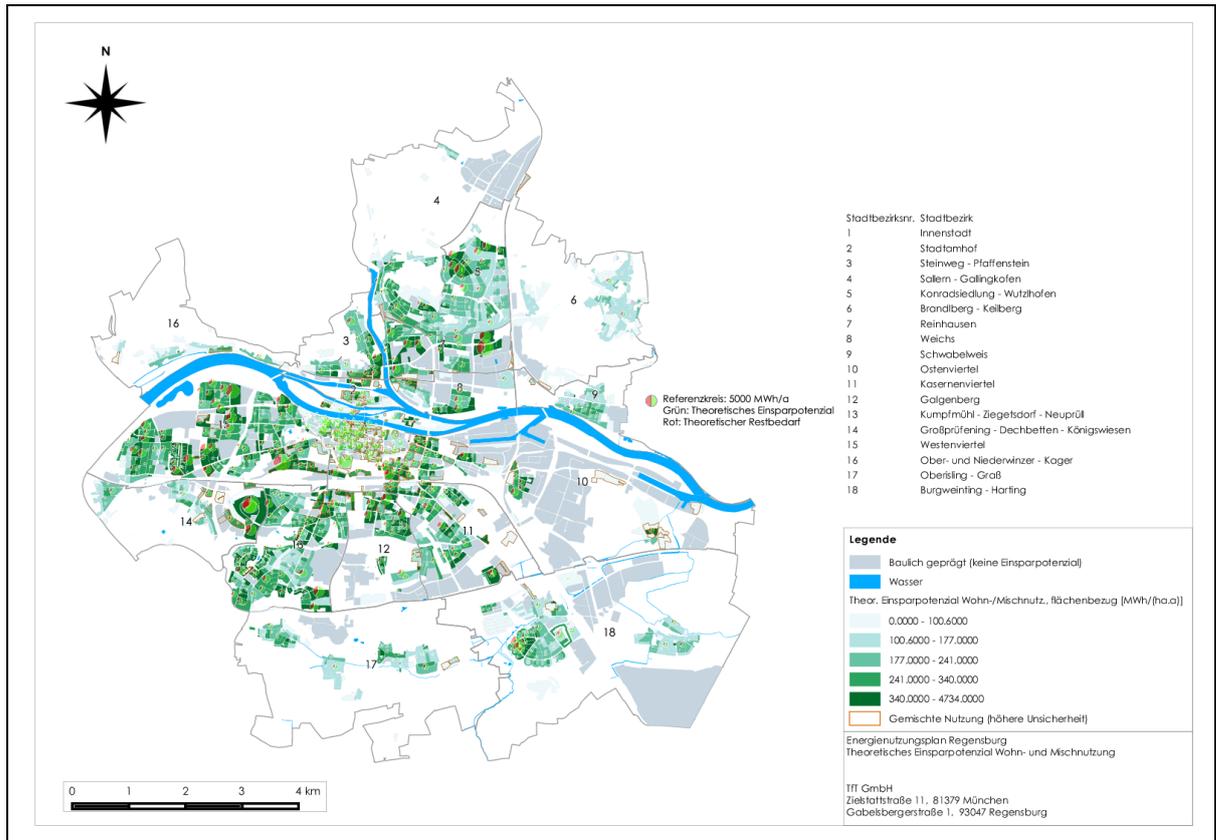


Abbildung 10: Theoretisches Wärme-Einsparpotenzial im Bestand an Wohngebäuden und gemischt genutzten Gebäuden bei Sanierung auf das „Effizienzhaus 55“ absolut und flächenbezogen, bezogen auf die Einzelflächen der Realnutzungskartierung.

Bezogen auf die Stadtviertel ergibt sich das höchste Wärme-Einsparpotenzial im Wohngebäudebestand im Westenviertel und in Kumpfmühl–Ziegetsdorf–Neuprüll. Die prozentualen Einsparungen liegen in den Stadtbezirken 3 bis 18 zwischen 47 % und 62 %. In den Bezirken Innenstadt und Stadtamhof (Bezirke 1 und 2) liegen sie aufgrund der hohen Anteile denkmalgeschützter Gebäude mit 19% bzw. 28 % erheblich niedriger.

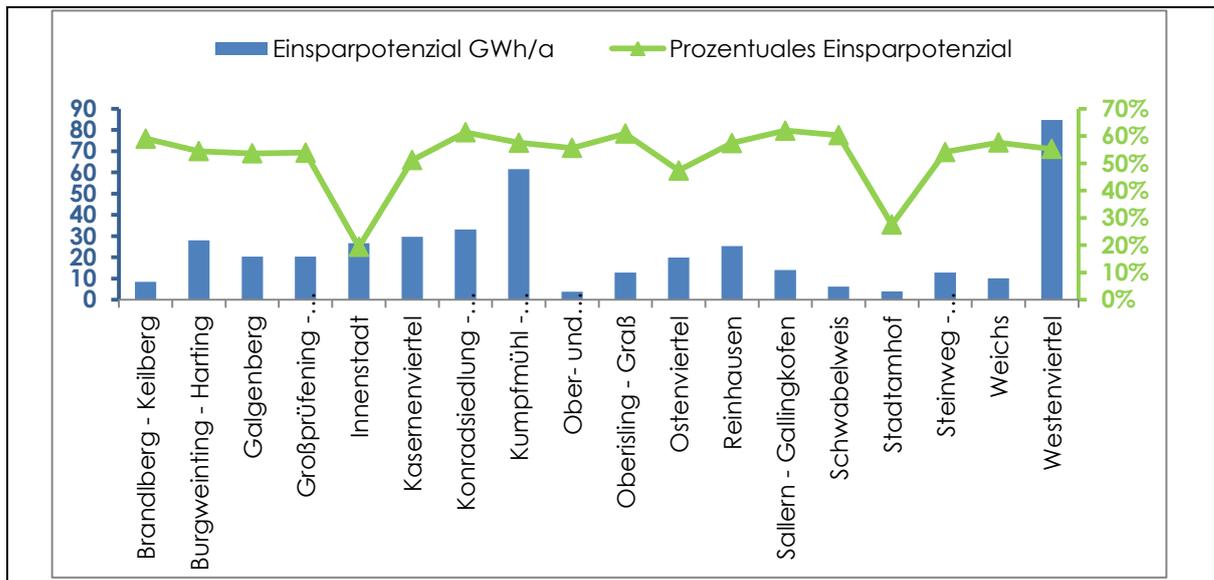


Abbildung 11: Theoretisches Wärme-Einsparpotenzial nach Stadtbezirken bei Sanierung des nicht denkmalgeschützten Wohngebäudebestands auf „Effizienzhaus-55“-Standard

2.3.4 Exkurs: Energetische Sanierung des denkmalgeschützten Bestands

Auch im denkmalgeschützten Bestand gibt es erhebliche Wärmeeinsparpotenziale durch energetische Sanierung. Allerdings sind die Restriktionen bei der Sanierung wesentlich größer als etwa im Geschosswohnungsbau der Nachkriegsjahrzehnte. So kann typischerweise keine außenliegende Wärmedämmung angebracht werden. Auch Fenster können häufig nicht einfach ersetzt werden. Grundsätzlich kann eine innenliegende Dämmung angebracht werden. Diese erfordert allerdings ein geeignetes Konzept zum Schutz der Gebäudehülle vor Kondensationsfeuchte durch Verschiebung des Taupunkts innerhalb des Bauteils. Weiterhin bewirkt innenliegende Dämmung einen Verlust an nutzbarer Fläche. Bei Einzeldenkmälern ist eine Innendämmung ohne denkmalrechtliche Erlaubnis nicht möglich.

Größere Potenziale werden im denkmalgeschützten Bestand häufig der Dämmung der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke zugeschrieben. In der Praxis zeigt sich allerdings insbesondere bei letzterer häufig durch gewölbte, geneigte, kleinteilige oder verschnittene Decken ein gegenüber neueren Gebäuden erhöhter Dämmaufwand. Häufig liegen größere Potenziale in der Dämmung des Dachs und in dem Einbau von Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung. Hierfür ist zunächst ein geeignetes Lüftungskonzept und die Herstellung einer ausreichend dichten Gebäudehülle erforderlich.

Wesentliche Gesichtspunkte bei der Bewertung des Einsparpotenzials durch energetische Sanierung in denkmalgeschützten Gebäuden in Regensburg sind:

- Sanierungen sind häufig aufwändiger als im nicht geschützten Bestand
- Einige Maßnahmen sind nicht oder nur eingeschränkt möglich
- Der Geltungsbereich der Regensburger Altstadtsatzung ist als kompakter Siedlungskörper mit verdichteter Bauweise bereits vergleichsweise nachhaltig: Kurze Wege durch vorhandene Nahversorgung, vergleichsweise geringe Transmissionswärmeverluste durch hohen Anbaugrad (Blockrandbebauung) und kompakte Bauweise, kaum Entsorgungsproblematik durch lange Gebäudelebensdauern und natürliche Materialien.
- Die zersplitterte Eigentümerstruktur kann größerflächige Sanierungen behindern



- Die vergleichsweise größten Potenziale liegen in der Dämmung von Dach, oberster Geschossdecke, Kellerdecke und dem Einbau von dezentralen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Hierfür müssen im konkreten Gebäude die geeigneten Voraussetzungen vorliegen und individuell geprüft werden.
- Aus dem Blickwinkel der Effizienz der eingesetzten Investitionen ist zunächst die energetische Ertüchtigung der nicht geschützten Gebäude zu priorisieren, da in der Regel der Aufwand für Planung und Durchführung geringer und die CO₂-Einsparung pro eingesetztem Euro höher ist.

2.4 Zusammenfassung

Eine Zusammenfassung der CO₂-Minderungspotenziale durch Stromeinsparung und Wärmeeinsparung in den Verbrauchergruppen Haushalte sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistung (einschließlich der öffentlichen Hand) und Industrie enthält Tabelle 5. Eine Einordnung des Einsparpotenzials der Wohngebäude in Szenarien mit Berücksichtigung von Sanierungsraten und Sanierungszyklen enthält *Teilbericht B – Ist-Zustand Verbrauch*.

Tabelle 5: Zusammenfassung der CO₂-Minderungspotenziale durch Strom- und Wärmeeinsparung

Sektor/Energieträger	Energieeinsparpotenzial [Gigawattstunden pro Jahr]	CO ₂ -Minderungspotenzial [1.000 Tonnen pro Jahr]
GHDI Gesamt	551	193
davon Wärme/Brennstoff	300,2	81
davon Strom	250,3	112
Haushalte	450	132
davon Wärme/Brennstoff	415	123
davon Strom	35	9
Summe		325



3 CO₂-Minderungspotenziale Solarenergie

Die auf die Erdoberfläche auftreffende solare Strahlung kann in verschiedenen Formen energetisch genutzt werden. Auf verhältnismäßig kleinen Dachflächen dominieren zwei Nutzungsformen. Zum einen ist Stromerzeugung in Fotovoltaik-Anlagen, zum anderen Wärmeerzeugung zur Brauchwassererwärmung oder Heizungsunterstützung in Solarthermie-Anlagen möglich.

In Abschnitt 3.3 und 3.4 werden zunächst die technischen Systeme kurz charakterisiert und die Berechnung der Potenziale erläutert.

Bei der Betrachtung des CO₂-Minderungspotenzials durch Nutzung der Solarenergie entsteht durch die beiden Nutzungspfade eine Konkurrenz zwischen den Energieformen Strom und Wärme. Diese Konkurrenzsituation wird in den folgenden Abschnitten in vier verschiedene Szenarien zur Betrachtung des CO₂-Minderungspotenzials mit unterschiedlichen Schwerpunkten aufgelöst (Abschnitte 3.1 und 3.5).

3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In *Szenario 1* wird die Nutzung aller verfügbaren und geeigneten Dachflächen für Solarthermieanlagen angenommen. Diese werden nur zur Brauchwassererwärmung eingesetzt. Fotovoltaikanlagen werden nicht betrachtet. In diesem Szenario ergibt sich ein Solarpotenzial von etwa 80 GWh/a. Das Potenzial wird fast ausschließlich durch den Bedarf begrenzt, das heißt es stehen weit mehr freie Dachflächen zur Verfügung als für die solare Versorgung mit Trinkwarmwasser notwendig ist.

Szenario 2 beschreibt das Potenzial einer reinen Fotovoltaiknutzung aller geeigneten Dachflächen der Stadt Regensburg. Solarthermieanlagen werden in diesem Szenario nicht untersucht. Da hier der Bedarf kein begrenzender Faktor ist, können alle geeigneten Dachflächen genutzt werden, um Solarstrom zu produzieren und im jeweiligen Gebäude selbst zu verbrauchen oder in das öffentliche Stromnetz einzuspeisen. Daraus ergibt sich ein Potenzial von etwa 424 GWh/a.

Eine Kombination von Solarthermie- und Fotovoltaiknutzung beschreibt *Szenario 3*. Zuerst wird der Bedarf an Solarthermieflächen an Hand des Brauchwasserbedarfs gedeckt und anschließend die übrigen Dachflächen mit Fotovoltaikmodulen ausgestattet. So ergeben sich ein Solarthermiepotenzial von etwa 80 GWh/a und ein Solarstrompotenzial aus Fotovoltaik von etwa 404 GWh/a.

Szenario 4 wird zusätzlich noch das Solarthermiepotenzial zur Heizungsunterstützung betrachtet. Ähnlich *Szenario 3* wird zuerst der Solarthermiebedarf (Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung) soweit möglich gedeckt und anschließend das Fotovoltaikpotenzial der übrigen Dachflächen berechnet. Daraus ergeben sich ein Solarthermiepotenzial von 136 GWh/a sowie ein Fotovoltaikpotenzial von 375 GWh/a in der Stadt Regensburg.

3.2 Anlagenbestand

3.2.1 Bestand Solarthermie

In Regensburg sind 670 solarthermische Kollektoranlagen mit annähernd 17.000 m² Kollektorfläche installiert (Stand 2012). Von diesen Anlagen werden 232 zur kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung und 438 Anlagen ausschließlich für die Warmwasserbereitung eingesetzt. Insgesamt erzeugen die Kollektoranlagen etwa 3.200 MWh Wärme pro Jahr. Der Ertrag ergibt sich aus der Aufteilung auf die Nutzungsarten Warmwasserbereitung sowie kombinierte Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung in Verbindung mit den jeweiligen spezifischen Ertragswerten. Die Daten liegen nach Postleitzahlen aufgeschlüsselt vor: Im östlichen Postleitzahlenbezirk 93055 ist die installierte Kollektorfläche mit 28 % der Gesamtfläche und damit auch die solarthermische Wärmeerzeugung am höchsten. Auch die einwohnerbezoge-



ne Kollektorfläche ist mit 161 m² pro 1.000 Einwohner deutlich größer als in den übrigen Postleitzahlbezirken. Der Postleitzahlbezirk 93047 liegt weitgehend im Stadtbezirk Innenstadt und im Geltungsbereich der Altstadtchutzsatzung, in dem keine Kollektoranlagen errichtet werden dürfen. Hier ist erwartungsgemäß die Kollektorfläche und die Wärmeerzeugung am geringsten (Tabelle 9) [5].

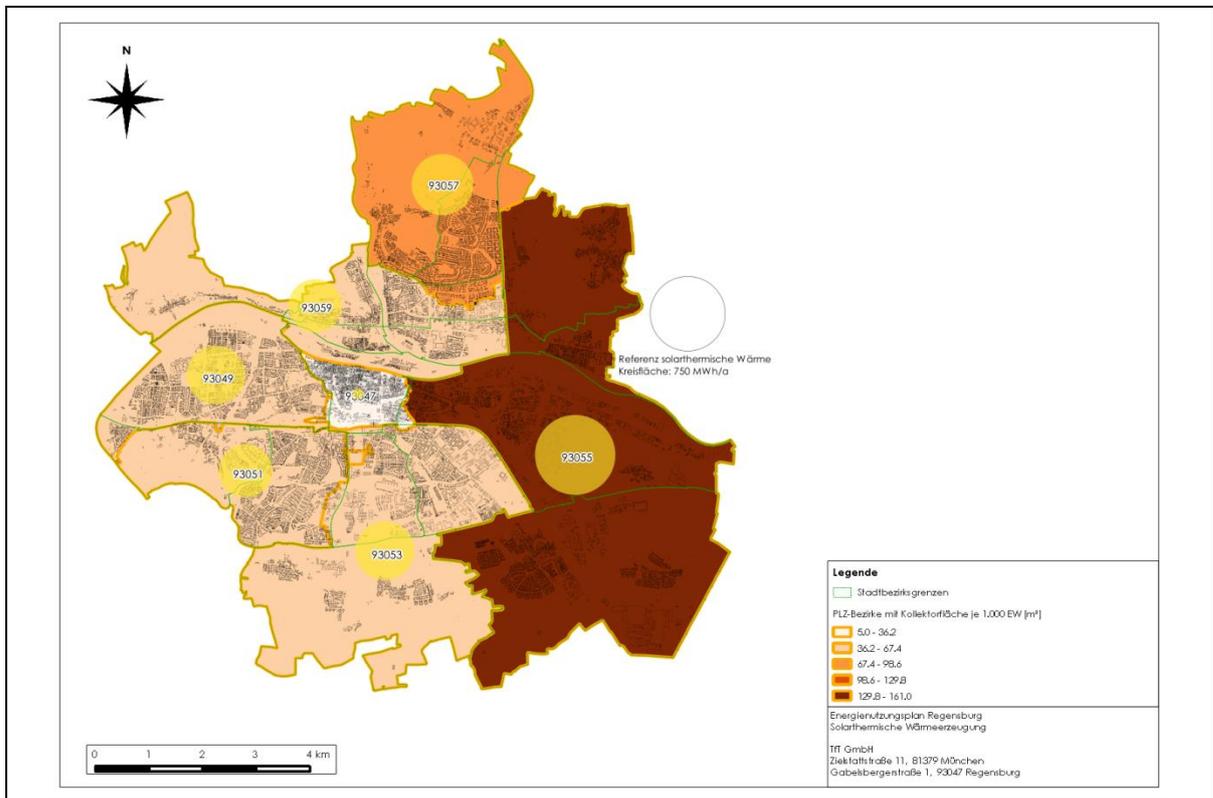


Abbildung 12: Solarthermische Wärmeerzeugung in Regensburg nach Postleitzahlenbezirk

3.2.2 Bestand Fotovoltaik

Die bestehenden Fotovoltaikanlagen im Stadtgebiet (Stand 2012) erzeugen etwa 16 % des Stroms aus erneuerbaren Energien in Regensburg. Dies entspricht etwa 17.967 MWh [6].

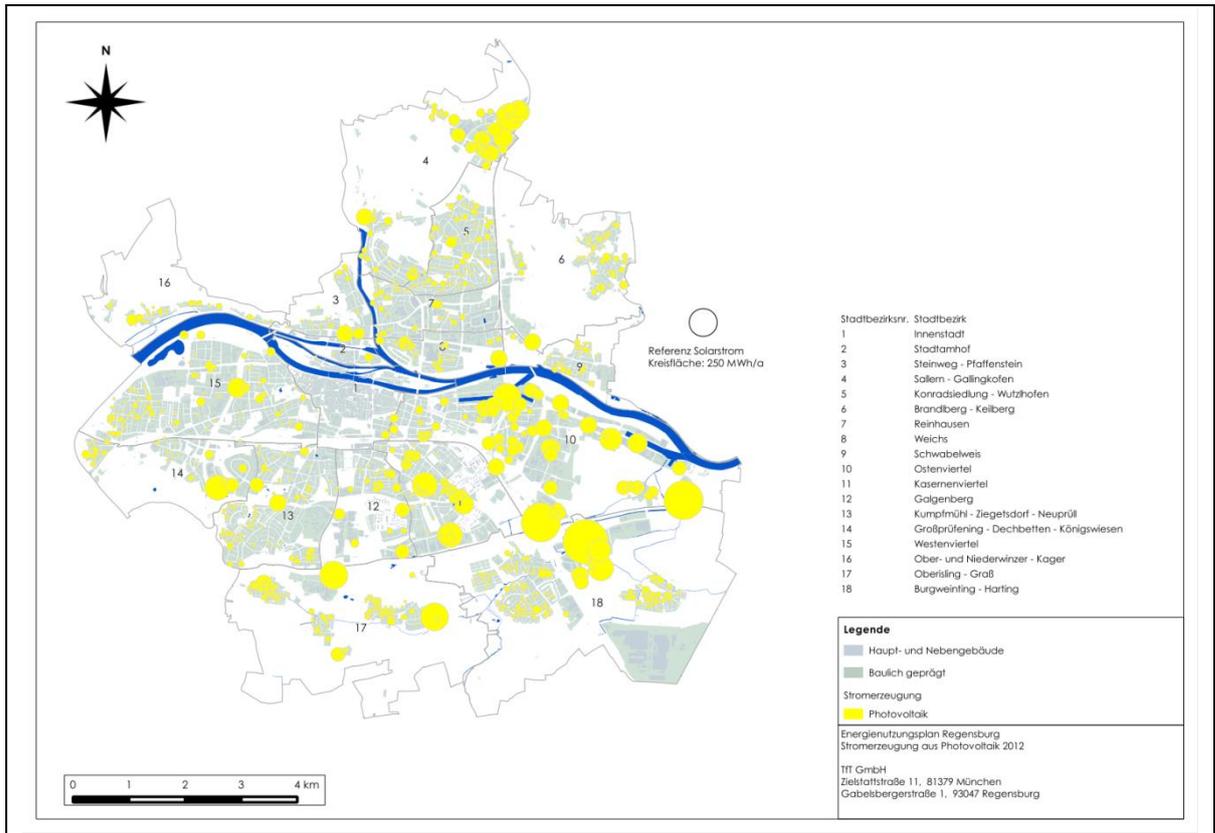


Abbildung 13: Stromerzeugung aus Fotovoltaik in Regensburg 2012 (Eigene Darstellung nach [6])

3.3 Grundlagen der Fotovoltaik

In Fotovoltaik-Anlagen wird die solare Strahlung genutzt, um elektrische Energie zu gewinnen. Dabei werden Elektronen in einem Halbleiter, der im Regelfall aus Silizium besteht, durch Lichtteilchen (Photonen) angeregt. Ist die Energiemenge der Photonen groß genug, können diese, wie in Abbildung 14 dargestellt, vom sogenannten Valenzband in das Leitungsband wechseln und technisch genutzt werden.

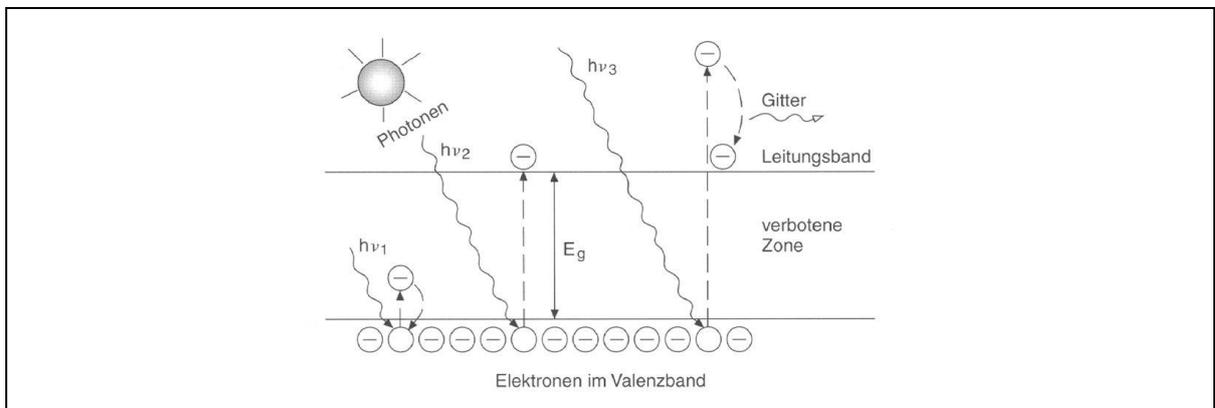


Abbildung 14: Energiebänder-Modell für Fotovoltaik-Anlagen [7]

Es gibt verschiedene Typen von Fotovoltaik-Anlagen, die sich vor allem in Wirkungsgrad und Preis unterscheiden.

Häufig verbaute Typen sind monokristalline und polykristalline Solarzellen. Der Unterschied zwischen beiden Anlagentypen ist der Aufbau der Silizium-Schicht. Bei monokristallinen Anlagen besteht diese aus nur einem Kristall. Dieser Aufbau ermöglicht einen höheren Wirkungsgrad von 14 % bis 24 %, ist aber auch wegen des größeren Aufwands mit höheren Herstellungskosten verbunden. Bei polykristallinen Anlagen besteht die Silizium-Schicht aus einer Vielzahl unterschiedlich ausgerichteter Silizium-Kristalle. Daher kann die einfallende Sonnenstrahlung nicht optimal genutzt werden und die Module haben einen geringeren Wirkungsgrad zwischen 13 % und 18 % [8].

Des Weiteren werden auch Dünnschicht-Module kommerziell vertrieben. Die Silizium-Schicht dieser Elemente besteht meist aus amorphem Silizium. Dabei liegt das verwendete Halbleitermaterial nicht in kristalliner Struktur vor. Diese haben einen sehr viel geringeren Wirkungsgrad von etwa 12 %, jedoch sind auch die Investitionskosten geringer. Abbildung 15 zeigt einzelne Zellen verschiedener Anlagentypen.

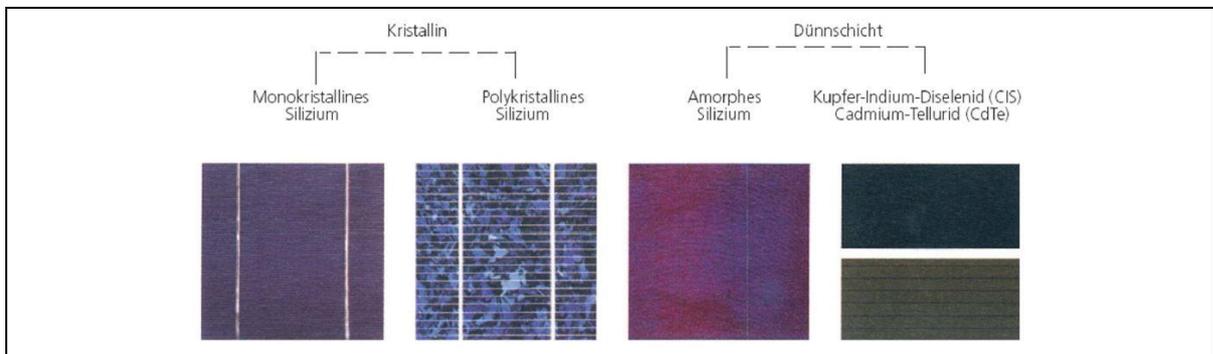


Abbildung 15: Zell-Typen bei Fotovoltaik-Anlagen (Quelle [9])

Um den Wirkungsgrad zu verbessern, werden verschiedene Maßnahmen im Modulaufbau angewendet. Die Silizium-Schicht wird mit einer Anti-Reflexionsschicht beschichtet. Zum Schutz der Module werden diese mit einer widerstandsfähigen Glasplatte überdeckt. Diese besteht aus Solarglas, das sich durch einen besonders geringen Reflexionskoeffizienten auszeichnet und deshalb einen großen Anteil des auftreffenden Lichts durchlässt.

In Fotovoltaik-Modulen kann nur Gleichspannung erzeugt werden. Um den Strom in das Stromnetz einzuspeisen, ist ein Wechselrichter erforderlich, der die Gleichspannung der Fotovoltaik-Module in Wechselspannung umwandelt. Abbildung 16 zeigt schematisch den Aufbau einer Fotovoltaik-Anlage.

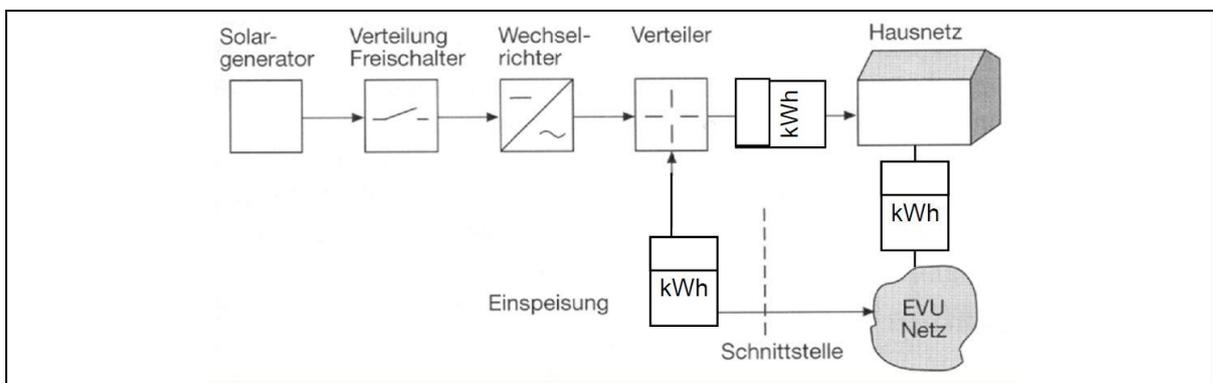




Abbildung 16: Schematischer Zusammenhang der Komponenten einer Fotovoltaik-Anlage [7]

Die Leistung von Fotovoltaik-Anlagen hängt von verschiedenen Einflussgrößen ab. Neben Witterungseinflüssen (Bewölkung, Luftfeuchte) und jahreszeitlichen Abhängigkeiten hat vor allem der Aufstellort einen großen Einfluss auf die Anlagenleistung. Um den Nutzungsgrad der Sonnenstrahlung zu optimieren, sollten Fotovoltaik-Anlagen in südliche Richtung mit einem Neigungswinkel von etwa 30° ausgerichtet werden. Teilverschattungen von Fotovoltaik-Modulen durch Dachaufbauten oder Ähnliches sind dabei – soweit möglich – zu vermeiden, da sie zu Leistungseinbußen führt. Auch die Temperatur hat einen Einfluss auf die Anlagenleistung. Bei geringeren Temperaturen können höhere Wirkungsgrade erzielt werden.

Für die Berechnung des Fotovoltaik-Potenzials wird angenommen, dass 645 kWh/m²a der solaren Einstrahlung bezogen auf die Gebäudegrundfläche $A_{\text{Grundfläche}}$ nutzbar sind [4]. In diesem Wert werden sowohl die durchschnittliche Gebäudeausrichtung und Dachneigung als auch Dachaufbauten berücksichtigt. Die Gebäudegrundfläche wurde aus der digitalen Flurkarte ermittelt. In der Potenzialermittlung ist für die Fotovoltaik-Anlagen ein mittlerer Jahresnutzungsgrad JNG_{PV} von 9 % angesetzt [4]. Das Fotovoltaik-Potenzial ergibt sich mithin aus der Gleichung:

$$E_{PV} = A_{\text{Grundfläche}} \cdot Q_{\text{Str,nutzbar}} \cdot JNG_{PV}$$

Pro Quadratmeter zur Verfügung stehender Gebäudegrundfläche beträgt das Fotovoltaik-Potenzial also etwa 58 kWh/a.

3.4 Grundlagen der Solarthermie

In Solarthermie-Anlagen wird die solare Einstrahlung in Wärmeenergie umgewandelt. Diese Wärmeenergie kann zur Erwärmung des Brauchwassers und zur Gebäudebeheizung genutzt werden.

Es existieren verschiedene technische Möglichkeiten zur Umwandlung der solaren Strahlung in Wärme. Neben Luftkollektoren, die Umgebungsluft zur Gebäudeklimatisierung oder für Prozessanwendungen erwärmen, werden hauptsächlich Flach- oder Röhrenkollektoren eingesetzt, die einen Wasser- oder Glykolkreislauf erwärmen.

Die verschiedenen technischen Möglichkeiten unterscheiden sich vor allem im Nutzungsgrad der solaren Strahlung. Dieser ist neben der Bauart abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Umgebungsluft und der solaren Einstrahlung. Die Einstrahlung auf den Kollektor wird maßgeblich durch den Anstellwinkel sowie die Himmelsorientierung beeinflusst. Abbildung 17 zeigt Wirkungsgradkennlinien für gängige Kollektoren.

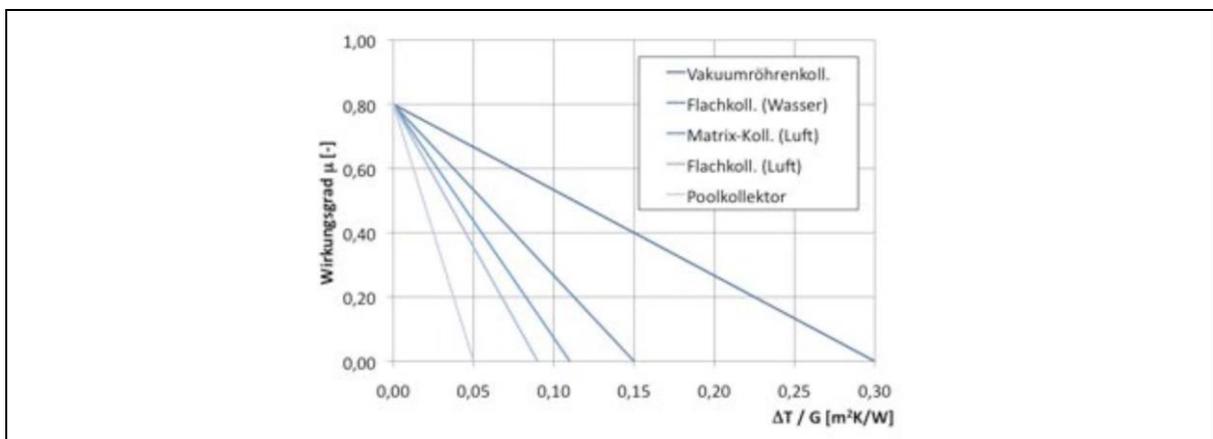


Abbildung 17: Wirkungsgradkennlinien verschiedener Kollektortypen [7]



In die Solarthermie-Potenzialermittlung wurden Dachflächen von Wohngebäuden und gemischt genutzten Gebäuden einbezogen. Nebengebäude und sonstige Nichtwohngebäude, haben wegen des im Allgemeinen geringen Brauchwasserbedarfes üblicherweise nur ein geringes Solarthermie-Potenzial und sind deshalb nicht berücksichtigt. Die Gebäudeflächen sind auch hier der digitalen Flurkarte entnommen.

Der Berechnung wurde weiterhin zugrunde gelegt, dass in der Stadt Regensburg bezogen auf die Grundfläche etwa 645 kWh/(m²a) der solaren Einstrahlung nutzbar sind [4]. Dieser Wert wurde statistisch ermittelt und berücksichtigt allgemeine Abschläge für Dachneigung, Ausrichtung und nutzbare Flächenanteile.

Für Solarthermie-Anlagen wird angenommen, dass sie zur Brauchwassererwärmung einen Jahresnutzungsgrad (JNG) von 35 % und bei Heizungsunterstützung einen Jahresnutzungsgrad von 25 % aufweisen [4]. Damit ergibt sich das technisch mögliche Solarthermie-Potenzial auf Dachflächen aus

$$E_{\text{SolTherm}} = A_{\text{Grundfläche}} \cdot Q_{\text{Str,nutzbar}} \cdot \text{JNG}_{\text{SolTherm}}$$

Weiterhin wird das Solarthermie-Potenzial durch den Wärmebedarf zur Brauchwasserbereitstellung bzw. zur Heizungsunterstützung begrenzt. Hierzu wird angenommen, dass in Wohnräumen etwa ein Bedarf an Wärmeenergie zur Brauchwassererwärmung Q_{Bedarf} von 20 kWh/m²a bezogen auf die Energiebezugsfläche A_{EBF} eines Gebäudes anfällt. Der Wärmebedarf für Wohngebäude wurde zur Ermittlung des solarthermischen Potenzials zur Heizungsunterstützung zu 64,5 kWh/m²a angesetzt, da im allgemeinen solarthermische Heizungsunterstützung energetisch sinnvoll nur in Gebäuden mit niedrigen Heizungstemperaturen einsetzbar ist, also im Neubau oder nach erfolgter energetischer Sanierung. Die Energiebezugsfläche ermittelt sich vereinfacht aus den LOD1-Kartendaten, in denen neben der Grundfläche auch die Gebäudehöhe verzeichnet ist. Weiterhin wird angenommen, dass der Wärmeenergiebedarf zur reinen Brauchwassererwärmung zu 60 % und zur Brauchwassererwärmung mit Heizungsunterstützung zu 25 % über Solarthermie gedeckt werden kann [4]. Der Bedarf an Wärmeenergie zur Brauchwassererwärmung mit oder ohne Heizungsunterstützung ergibt sich somit nach der Formel (mit f_{solar} als prozentualer Deckungsanteil):

$$E_{\text{SolTherm,Bedarf}} = A_{\text{EBF}} \cdot Q_{\text{Bedarf}} \cdot f_{\text{solar}}$$

Das Potenzial für Solarthermie ergibt sich schließlich aus dem jeweils geringeren Wert aus Dachflächenpotenzial und Bedarf. In der Regel wird das Solarthermie-Potenzial jedoch durch den Bedarf an Wärme und nicht durch die verfügbare Dachfläche begrenzt, sodass meist die verbleibende Dachfläche durch Fotovoltaik-Anlagen genutzt werden kann.

3.5 Szenarien

Zur Berechnung des CO₂-Einsparpotenzials durch Nutzung der solaren Strahlung wurden folgende Szenarien betrachtet. Dabei wurde berücksichtigt, dass eine Installation von Solaranlagen (Fotovoltaik und Solarthermie) auf Gebäuden im Geltungsbereich der Altstadtschutzsatzung nicht möglich ist.

3.5.1 Szenario 1: Brauchwassererwärmung

Im ersten betrachteten Szenario wird das Solarpotenzial untersucht, das bei einer reinen Solarthermienutzung zur Brauchwassererwärmung besteht. Fotovoltaiknutzung wird in diesem Szenario nicht betrachtet.

Dieses Potenzial beträgt für die Stadt Regensburg etwa 80 GWh und entspricht in etwa dem Energiegehalt von 8.000.000 Normkubikmetern Erdgas. Die Aufteilung dieses Potenzials auf die einzelnen Stadtbezirke ist in Abbildung 18 dargestellt. Würde die durch Solarthermie nutzbare Energie zur Brauchwassererwärmung durch Erdgas bereitgestellt, so würden hierdurch CO₂-



Emissionen von 18.161 Tonnen pro Jahr entstehen. Dabei ist ein Emissionsfaktor für erdgasbetriebene Heizungen von 0,228 kg CO₂/kWh angesetzt [10].

Der durch Nutzung solarer Strahlung deckbare Anteil von 60 % des Energiebedarfes zur Brauchwassererwärmung ist unter den betrachteten Voraussetzungen in über 99 % der Fälle erfüllbar, d.h. in den meisten Fällen ist nicht die verfügbare Dachfläche der begrenzende Faktor, sondern der Wärmebedarf.

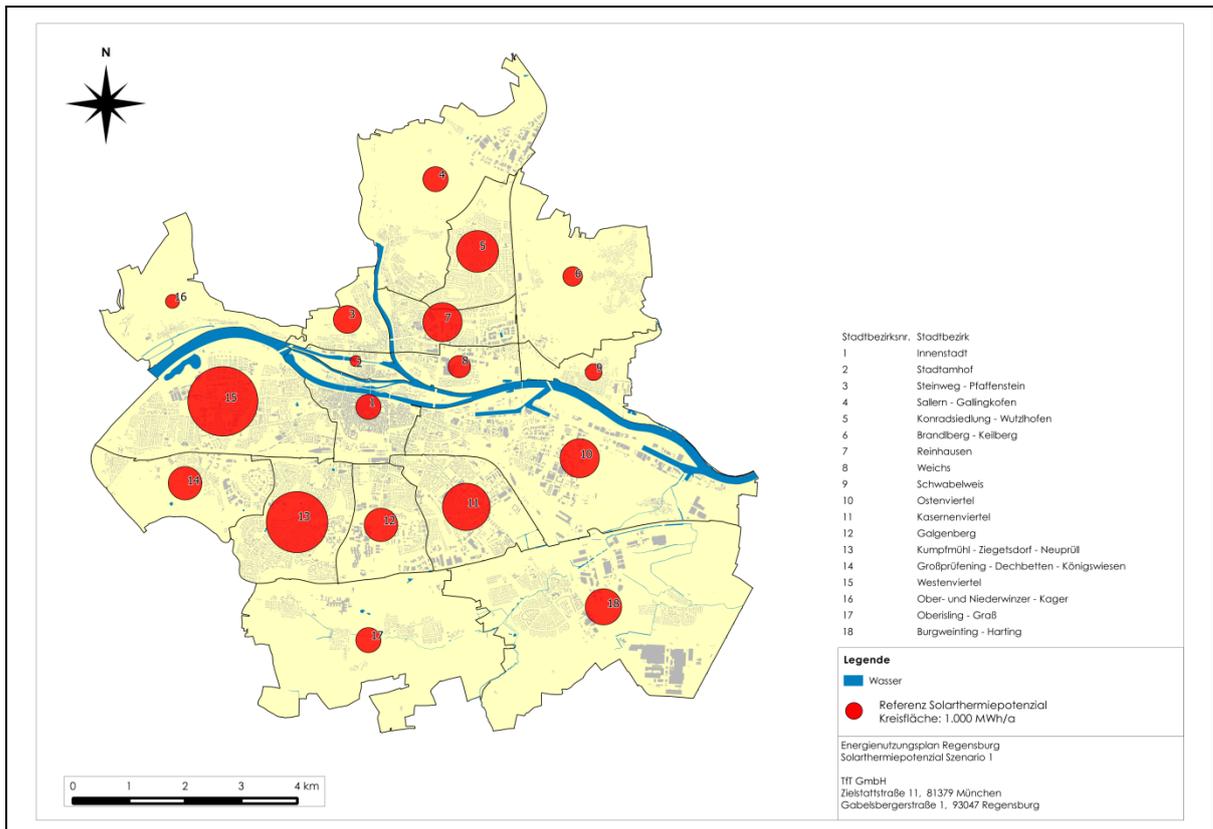


Abbildung 18: Solarpotenzial Szenario 1. Die dargestellten Kreisflächen sind proportional zum Potenzial (siehe Tabelle A - 10 in Anlage III)

Beispiel zur Potenzialermittlung

Abbildung 19 zeigt einen Ausschnitt aus dem Stadtteil Westenviertel. Bei den hellblau hinterlegten Flächen handelt es sich um Wohngebiete. Bei den Gebäuden im Farbverlauf zwischen Blau und Grün handelt es sich um Wohngebäude. Der Farbverlauf charakterisiert das Solarthermie-Potenzial.

Zu erkennen ist im unteren Bereich der Karte eine Wohnhaussiedlung. Im linken und rechten Bereich ist diese durch Reihenhäuser geprägt, im zentralen Bereich durch einige Mehrfamilienhäuser. In der Bildmitte finden sich drei große Mehrfamilienhäuser mit 8 bzw. 9 Stockwerken. Auf der linken Seite befindet sich ebenfalls ein großes Mehrfamilienhaus mit 13 Stockwerken. Bei den weiß eingefärbten Gebäuden handelt es sich entweder um Nebengebäude oder um Gebäude mit gewerblicher oder industrieller Nutzung. Als Nebengebäude gut zu erkennen sind beispielsweise die Garagenflächen im linken Bereich zwischen den großen Mehrfamilienhäusern.

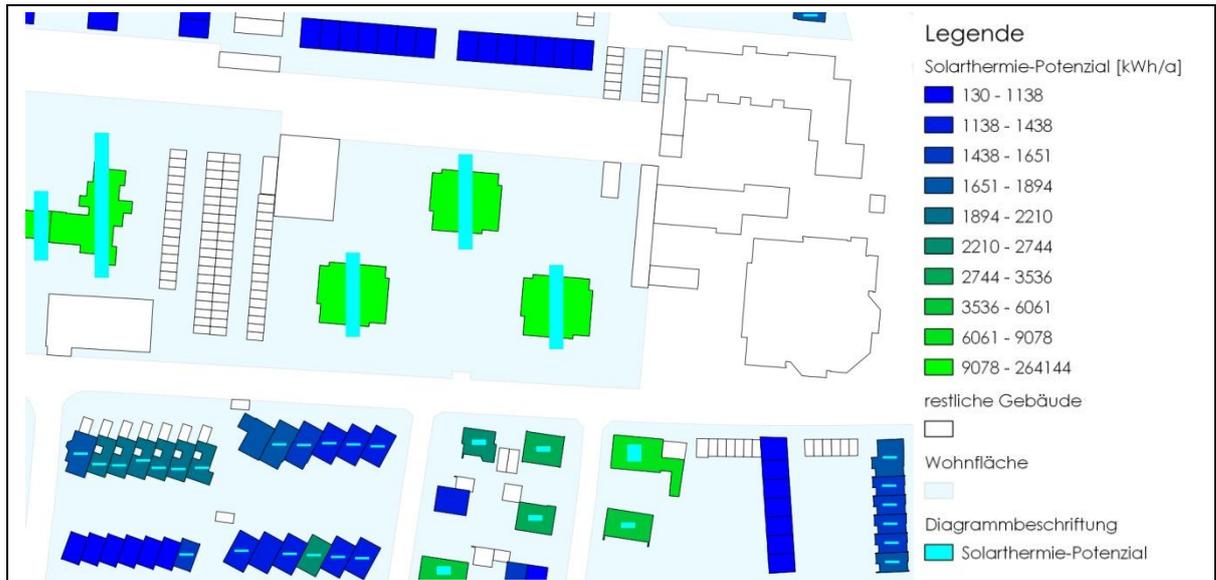


Abbildung 19: Solarthermie-Potenzial zur Brauchwassererwärmung Karten-Ausschnitt Westenviertel (Prinzipskizze)

Es ist zu erkennen, dass die großen Mehrfamilienhäuser ein deutlich höheres Solarthermie-Potenzial als die Reihenhäuser besitzen. Dieses wird zum einen durch den Farbverlauf und zum anderen aus der Länge der Säulen ersichtlich. Bei den großen Mehrfamilienhäusern muss ein großer Teil der Dachfläche für Solarthermie-Anlagen verwendet werden, um den Bedarf decken zu können. Auch ist bereits ein Unterschied zwischen den Einfamilienhäusern in der Reihenhaussiedlung und den Mehrfamilienhäusern im mittleren, unteren Bereich erkennbar. Werte für das Solarthermie-Potenzial lassen sich nach der Farbgebung aus der Legende entnehmen.

3.5.2 Szenario 2: Fotovoltaik

Im Szenario für das Fotovoltaik-Potenzial wird angenommen, dass alle Dachflächen von Gebäuden in der Stadt Regensburg, die nicht im Geltungsbereich der Altstadtsschutzsatzung liegen oder unter Denkmalschutz stehen, mit Fotovoltaik-Anlagen bestückt werden. In diesem Szenario gibt es keine Solarthermie-Nutzung.

Das gesamte Dachflächen-Fotovoltaik-Potenzial im Szenario beträgt etwa 424 GWh/a. Damit wurden im Jahr 2012 etwa 4,2 % des Fotovoltaik-Potenzials ausgeschöpft.

Bei vollständiger Umsetzung des Fotovoltaik-Potenziales ließen sich jährlich 189.100 Tonnen CO₂ einsparen. Dabei wird für den derzeit aus dem Stromnetz beziehbaren Strom ein CO₂-Emissionsfaktor von 446 kg/MWh angenommen (siehe Abschnitt 5.5.3).

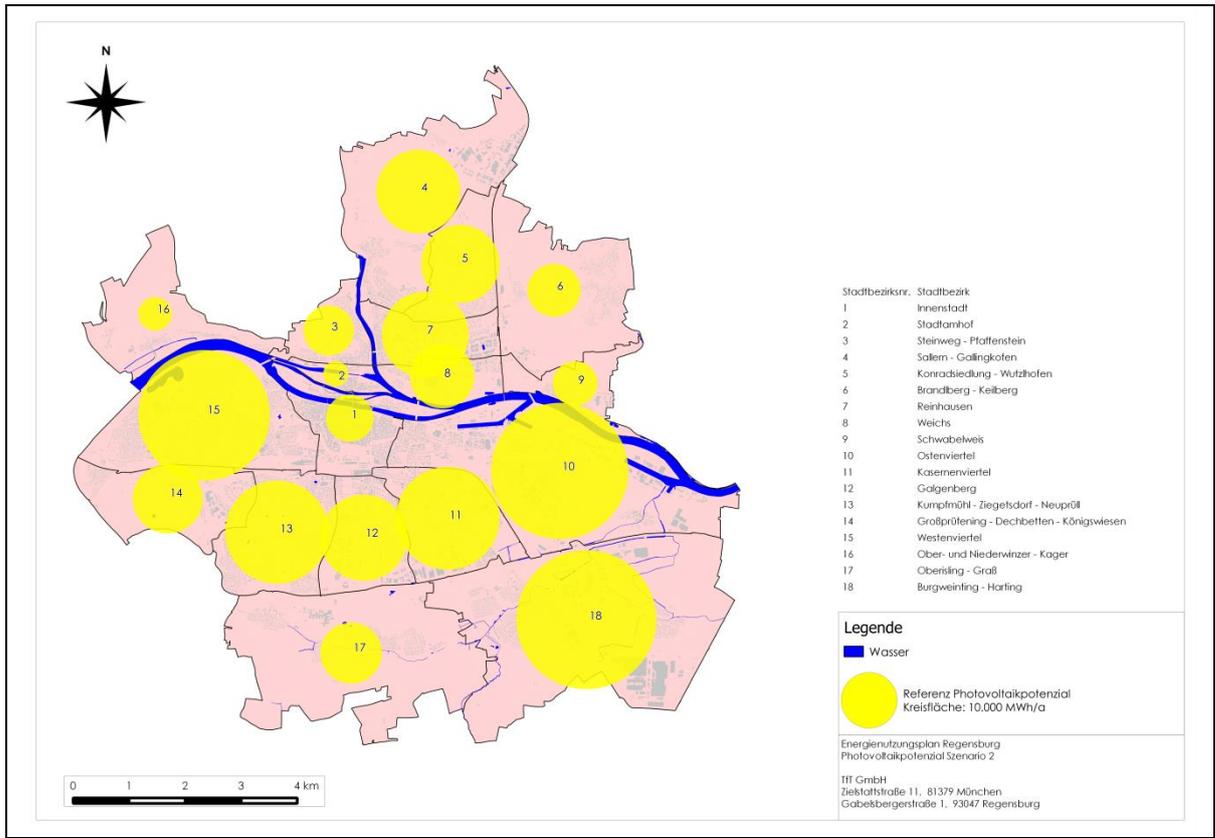


Abbildung 20: Solarpotenzial Szenario 2 . Die dargestellten Kreisflächen sind proportional zum Potenzial (siehe Tabelle A - 10 in Anlage III)

Beispiel zur Potenzialermittlung

Abbildung 21 zeigt den gleichen Ausschnitt aus dem Westenviertel wie Abbildung 19. Da beim Fotovoltaik-Potenzial die Nutzungsform des Gebäudes keinen Einfluss hat, sind alle Gebäude über den gleichen Farbverlauf charakterisiert. Die dunkler eingefärbten Gebäude haben ein geringeres, die heller eingefärbten Gebäude ein höheres Fotovoltaik-Potenzial. Die Gebäude, auf denen bereits eine Fotovoltaik-Anlage installiert ist, sind durch die rote Umrandung und eine Schraffur hervorgehoben.

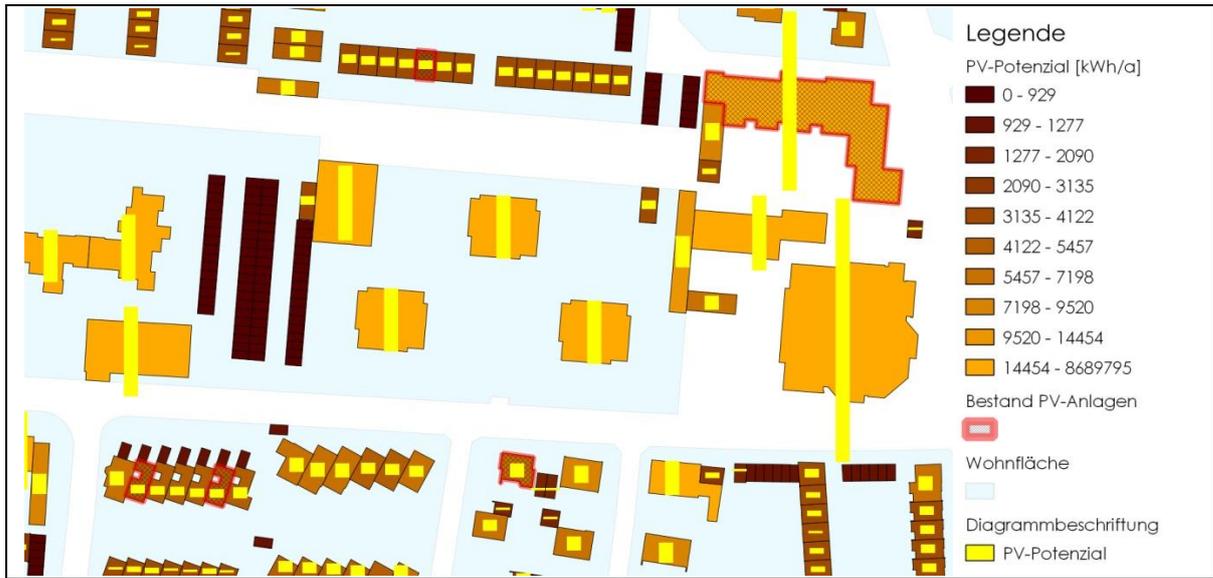


Abbildung 21: Fotovoltaik-Potenzial Karten-Ausschnitt Westenviertel (Prinzipskizze)

Zwischen dem Fotovoltaik-Potenzial und der Grundfläche besteht ein linearer Zusammenhang. Daher haben die Gebäude mit größerer Grundfläche auch ein höheres Fotovoltaik-Potenzial. Das Potenzial kann zum einen durch die Gebäudefärbung und zum anderen über die Länge der Säulen zu jedem Gebäude verglichen werden.

Bei den Garagenflächen im linken mittleren Bereich ist jeweils nur kleines Fotovoltaik-Potenzial eingezeichnet. Es wäre auch denkbar, eine große Anlage über die gesamte Fläche zu installieren. Auf das Gesamtpotenzial hat dies jedoch keinen Einfluss.

3.5.3 Szenario 3: Brauchwassererwärmung mit Nutzung der verbleibenden Dachfläche durch Fotovoltaik

In diesem Szenario wird zunächst eine Erwärmung des Brauchwassers wegen des höheren Nutzungsgrades von 35 % der nutzbaren einfallenden Sonnenstrahlung von Solarthermieanlagen im Vergleich zu Fotovoltaik-Anlagen mit 9 % priorisiert. Die restliche zur Deckung des Bedarfes an Wärmeenergie zur Brauchwassererwärmung nicht erforderliche Dachfläche soll in dieser Betrachtung durch Fotovoltaik-Anlagen genutzt werden.

Im Stadtgebiet beträgt das Fotovoltaik-Potenzial in diesem Szenario 404 GWh/a und das Solarthermie-Potenzial 80 GWh/a. Die Potenziale sind in Abbildung 22 für die Stadtbezirke grafisch dargestellt. Das Solarthermie-Potenzial entspricht dabei dem aus Szenario 1. Durch die Nutzung eines Teils der Dachfläche durch eine Solarthermie-Anlage hat sich das Fotovoltaik-Potenzial im Vergleich zur ausschließlichen Nutzung durch eine Fotovoltaik-Anlage (Szenario 2) verringert.

Nach diesem Szenario würden 5 % der nutzbaren Dachfläche mit Solarthermie und 95 % mit Fotovoltaik genutzt werden. Würde die durch Solarthermie erzeugbare Energie zur Brauchwassererwärmung durch Erdgas mit einem CO₂-Emissionsfaktor wie in Szenario 1 erzeugt werden, würde dieses CO₂-Emissionen von 17.763 Tonnen pro Jahr verursachen. Durch den Ersatz von Strom aus dem Stromnetz durch den aus Fotovoltaik-Anlagen erzeugten Strom ließen sich nach dem im Szenario 2 angenommenen Emissionsfaktor insgesamt 180.200 Tonnen pro Jahr einsparen.

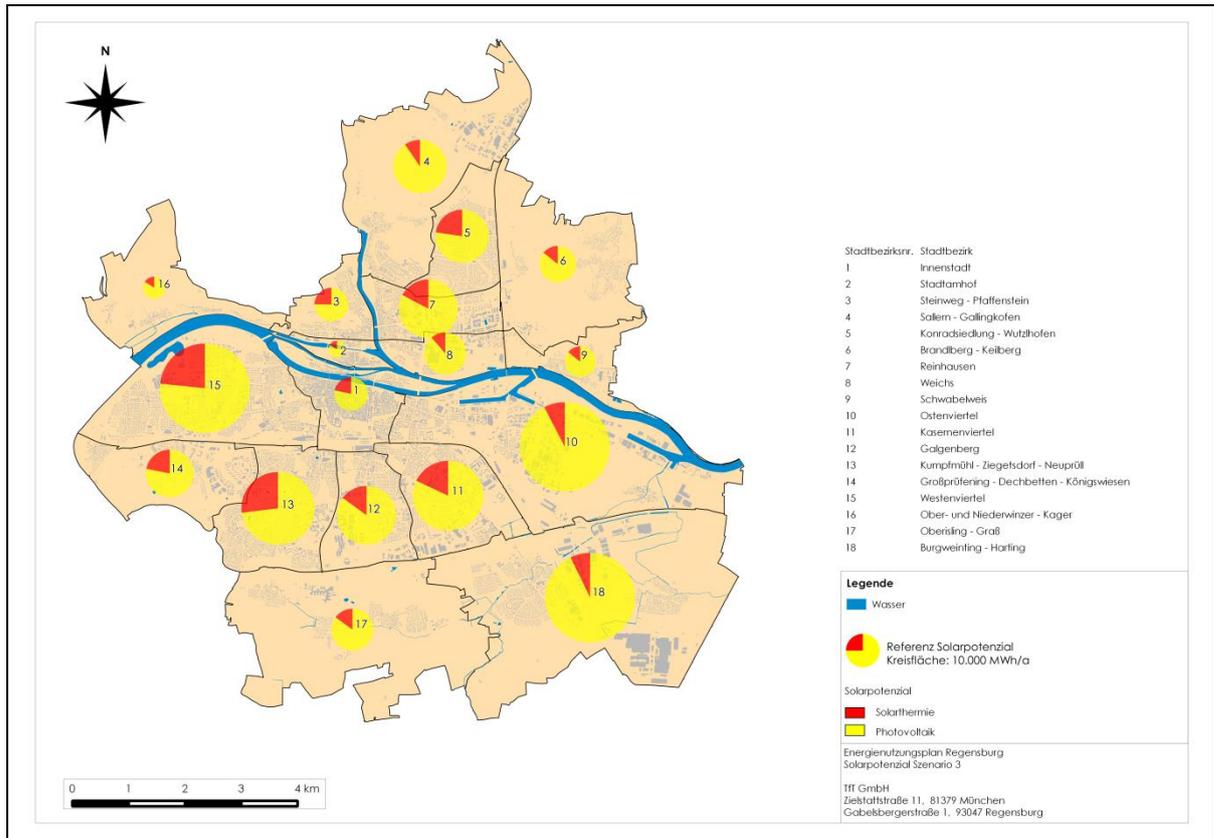


Abbildung 22: Solarpotenzial Szenario 3 . Die dargestellten Kreisflächen sind proportional zum Potenzial (siehe Tabelle A - 12 in Anlage III)

Beispiel zur Potenzialermittlung

Abbildung 23 zeigt den bekannten Ausschnitt aus dem Westenviertel.

Hier ist der Farbverlauf der Gebäude nach dem Solarthermiepotenzial gewählt. Dunkelblau eingefärbte Gebäude weisen ein geringeres, grün eingefärbte Gebäude ein höheres Solarthermiepotenzial auf. Nebengebäude ohne Solarthermiepotenzial werden rot dargestellt.

Zusätzlich zum Farbverlauf werden Solarthermie- und Fotovoltaik-Poteniale in den gelben und türkisfarbenen Säulen dargestellt. Dabei bezeichnet die gelbe Säule das Fotovoltaik-Potenzial und die türkisfarbene Säule das Solarthermie-Potenzial zur Brauchwassererwärmung.

Gebäude, auf denen bereits eine Fotovoltaik-Anlage installiert ist, sind rot umrandet.

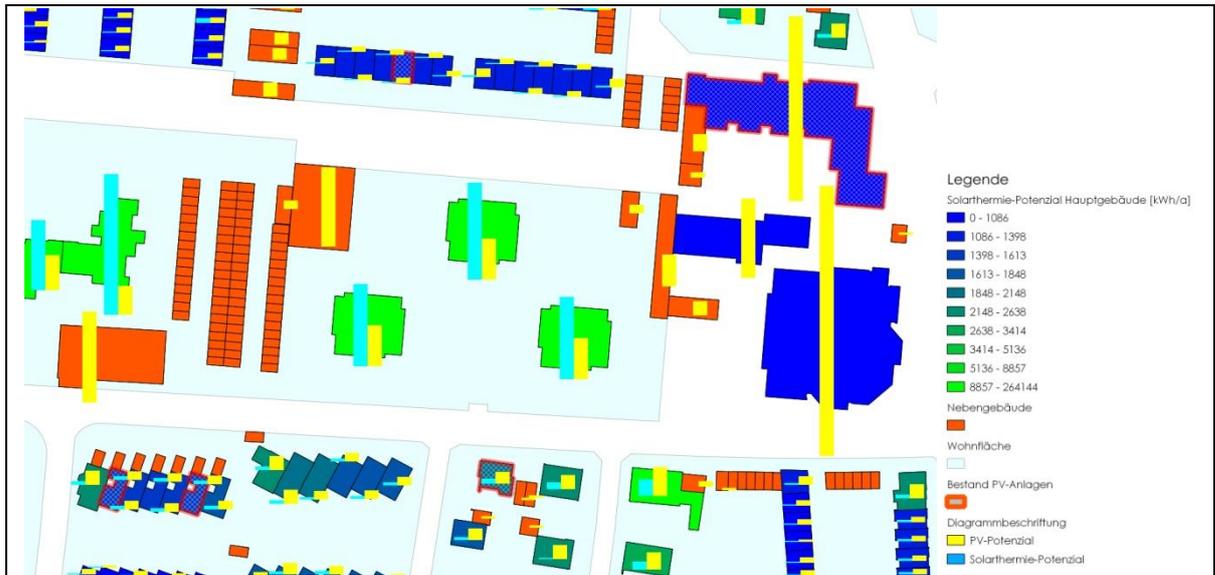


Abbildung 23: Solarthermie-Potenzial zur Brauchwassererwärmung mit PV auf restlicher Dachfläche (Prinzipiskizze)

Deutlich erkennbar ist, dass bei den großen Mehrfamilienhäusern das Solarthermie-Potenzial größer ist als das Fotovoltaik-Potenzial. Bei den kleineren Mehrfamilienhäusern und Einfamilienhäusern verhält es sich andersherum. Da bei großen Mehrfamilienhäusern für eine Wohneinheit weniger Dachfläche zur Verfügung steht, wird also bei mehrstöckigen Wohngebäuden ein größerer Anteil der Dachfläche zur Deckung des Brauchwarmwasserbedarfes benötigt als das bei kleineren Wohngebäuden der Fall ist.

Nicht-Wohngebäude weisen das gleiche Fotovoltaik-Potenzial auf wie im unter Abschnitt 3.5.2 beschriebenen Szenario zur ausschließlichen Nutzung der Dachfläche mit Fotovoltaik.

3.5.4 Szenario 4: Brauchwassererwärmung mit Heizungsunterstützung und Nutzung der verbleibenden Dachfläche durch Fotovoltaik

In diesem Szenario wird zusätzlich zur Brauchwarmwassererwärmung eine Heizungsunterstützung durch eine Solarthermie-Anlage in Betracht gezogen. Die zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung nicht benötigte Dachfläche soll durch Fotovoltaik genutzt werden.

Das Potenzial für Solarthermie beträgt 136 GWh/a, das für Fotovoltaik 375 GWh/a.

Bei einer Heizungsunterstützung durch Solaranlagen ist zu beachten, dass diese in der Regel nur sinnvoll eingesetzt werden kann, wenn die Temperatur des Heizungsvorlaufs niedrig ist, da die Ausgangstemperatur aus der Solaranlage sonst besonders in den Übergangszeiten nicht ausreichend ist. Niedrige Vorlauftemperaturen lassen sich insbesondere in Flächenheizungen (Fußbodenheizungen, o.ä.) erreichen. Das Potenzial, das in diesem Szenario beschrieben wird, kann erst schrittweise gehoben werden, da nur sanierte Gebäude, die mit einem Niedertemperaturheizsystem ausgerüstet sind, sinnvoll geeignet sind.

Tabelle A - 13 in Anlage III enthält die Potenziale der Stadtteile für die Solarthermie zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung sowie für Fotovoltaik. Diese Werte sind in Abbildung 24 grafisch dargestellt.

Der Bedarf an Wärmeenergie zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung kann bei annähernd allen Wohngebäuden gedeckt werden. Lediglich bei 26 Gebäuden (von 18.710 Gebäuden mit Solarthermiepotenzial, entspricht 0,14 %) reicht die vorhandene Dachfläche nicht zur Deckung des Bedarfes aus.



In diesem Szenario werden 8 % der nutzbaren Dachfläche durch Solarthermie und 92 % durch Fotovoltaik genutzt.

Die Energiemenge von 136 GWh, die aus Solarthermie in diesem Szenario gewonnen werden kann, entspricht etwa 14.000.000 Nm³ Erdgas, 8 % des gesamten derzeitigen Erdgasverbrauchs in der Stadt Regensburg. Würde die gesamte Energiemenge, die aus Solarthermie zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung bereitgestellt werden kann, durch Erdgas erzeugt, so wäre dies mit CO₂-Emissionen von 31.174 Tonnen pro Jahr verbunden. Durch die vollständige Ausnutzung des Fotovoltaik-Potenzials in Höhe von 375 GWh ließen sich 173.600 Tonnen pro Jahr einsparen.

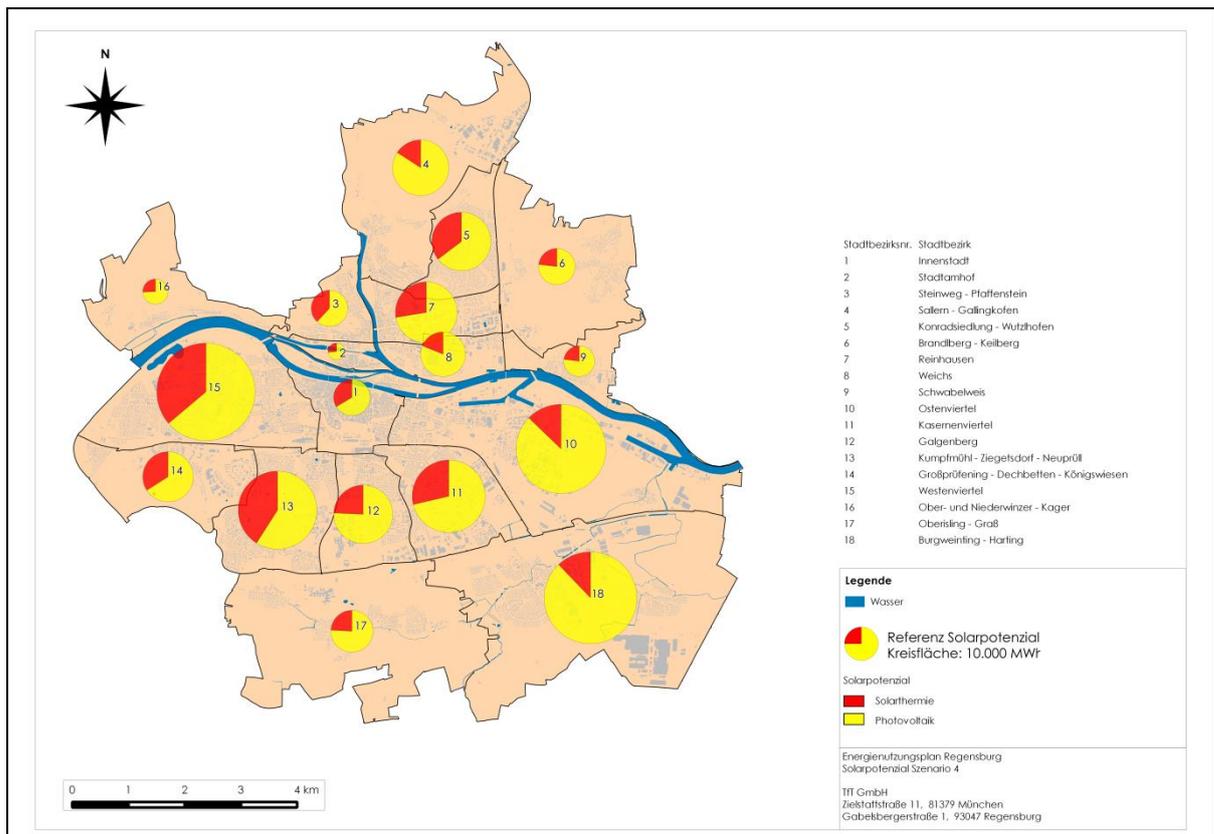


Abbildung 24: Solarpotenzial Szenario 4 . Die dargestellten Kreisflächen sind proportional zum Potenzial

Beispiel zur Potenzialermittlung

In Abbildung 25 ist auch hier noch einmal das bekannte Gebiet aus dem Westenviertel für Szenario 4 gezeigt.

Der Farbverlauf der Hauptgebäude ist nach dem Solarthermie-Potenzial gewählt. Das Solarthermie-Potenzial zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung und das Fotovoltaik-Potenzial werden außerdem zur besseren Vergleichbarkeit in den türkisfarbenen und gelben Säulen dargestellt. Dabei entspricht die türkisfarbene Säule dem Solarthermiepotenzial und die gelbe Säule dem Fotovoltaik-Potenzial.

Bei eingefärbten Gebäuden, die ohne Säulen zum Solarthermie- und Fotovoltaik-Potenzial abgebildet sind, liegt das Potenzial unter der Grenze der Darstellbarkeit. Die Potenziale können aber dennoch größer als 0 sein.

Gebäude, auf denen bereits eine Fotovoltaik-Anlage installiert ist, werden rot umrandet dargestellt.

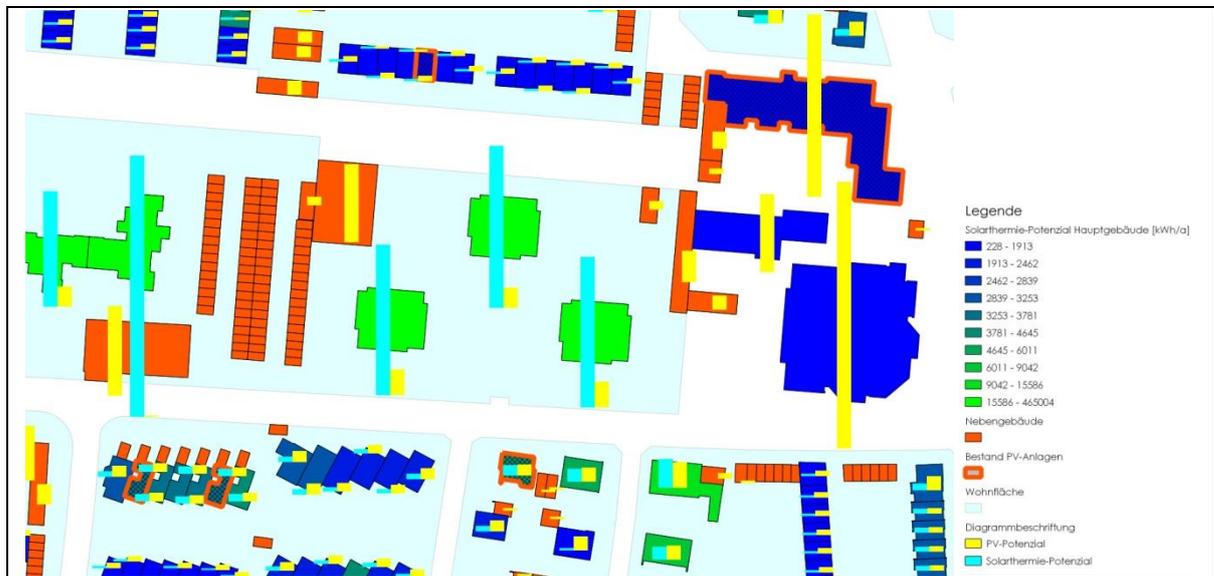


Abbildung 25: Solarthermie-Potenzial (Brauchwasser und Heizungsunterstützung) sowie Fotovoltaik auf der verbleibenden Dachfläche (Prinzipskizze)

Es ist zu erkennen, dass gegenüber Szenario 3 (Solarthermie zur Brauchwassererwärmung mit Nutzung der verbleibenden Dachfläche durch Fotovoltaik) das Fotovoltaik-Potenzial deutlich geringer ist. Gerade bei den großen Mehrfamilienhäusern in der Mitte ist nahezu die komplette Dachfläche erforderlich, um den Wärmebedarf zu decken, sodass kaum noch Dachflächen zur Nutzung durch Fotovoltaik verbleiben. Beim großen Mehrfamilienhaus in der Mitte der linken Bildhälfte ist kein Fotovoltaik-Potenzial vorhanden. Die Dachfläche ist für die Wärmebereitstellung nicht ausreichend.

Bei den Einfamilienhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern im unteren, linken Bereich ist das Fotovoltaik-Potenzial anteilig größer. Hier steht im Verhältnis zur bewohnten Fläche mehr Dachfläche zur Verfügung.

Die Dachfläche von Nicht-Wohngebäuden wird vollständig durch Fotovoltaik-Anlagen genutzt. Das Potenzial dieser Gebäude ist identisch mit dem aus den Szenarien 2 und 3.



4 CO₂-Minderungspotenziale Bioenergie

4.1 Bestand

Im Stadtgebiet von Regensburg werden etwa 28.200 MWh Wärmeenergie pro Jahr in Biomasseheizkesseln erzeugt. Zusätzlich werden in Einzelöfen etwa 8.300 MWh Wärme gewonnen. Häufig dienen diese Öfen der Dekoration und der Behaglichkeit.

4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Potenzial für Wärme aus lokal erzeugter Biomasse beträgt für Regensburg etwa 44.600 MWh pro Jahr. Das Potenzial für Strom aus lokal erzeugter Biomasse beträgt etwa 11.600 MWh pro Jahr. Das energetische Potenzial für lokal erzeugte Biomasse liegt damit im niedrigen einstelligen Prozentbereich des heutigen Strom- und Wärmebedarfs. Das Potenzial liegt auch unterhalb der derzeitigen Erzeugung. Dies zeigt, dass bereits heute signifikante Mengen an Biomasse zur energetischen Verwertung von außerhalb nach Regensburg eingeführt werden. Deshalb gibt es auch bilanziell kein zusätzliches CO₂-Minderungspotenzial durch lokal erzeugte Biomasse.

Als Großstadt verfügt Regensburg bezogen auf die Einwohner über geringe Landwirtschafts- und Waldflächen im Stadtgebiet. Im deutschen Durchschnitt gibt es 0,2 Hektar landwirtschaftliche Fläche pro Einwohner [11]. In Regensburg liegt dieser Wert bei etwa 10 % davon. Die Waldfläche pro Einwohner liegt um mehr als das 35-fache unter dem Bundesdurchschnitt.

Lokal erzeugte Biomasse kann also selbst bei sehr ambitionierten Einsparanstrebungen nur einen kleinen Teil des Bedarfs decken. Allerdings können mit dem Potenzial mehrere mittlere Heizwerke bzw. Blockheizkraftwerke versorgt werden. Zudem sind die Transportwege bei lokaler Nutzung kurz und die Gesamtenergieeffizienz in der Folge vergleichsweise hoch. In kommunenübergreifenden Brennstoffkonzepten (Versorgung aus dem Umland) könnte die Rolle der Biomasse zusätzlich ausgebaut werden. Eine Zusammenstellung des energetischen Potenzials lokal erzeugter Biomasse enthält Tabelle 6.

**Tabelle 6: Bioenergiepotenzial in der Stadt Regensburg**

Reststoff- bzw. Rohstofffraktion	Basisgröße	Potenzial Brennstoff MWh/a	Nutzung	Potenzial Strom MWh _{el}	Potenzial Wärme MWh _{th}
Reststoffe: Grünschnitt	22.782 t/a				
Anteil krautig:	70 % (Ansatz)	16.745	Biogas-BHKW	5.861	7.535
Anteil holzig:	30 % (Ansatz)	22.782	Heizwerk		19.365
Reststoffe: Biomüll					
Bei flächendeckend getrennter Erfassung	5.409 t/a ⁴	3.186	Biogas-BHKW	1.115	1.434
Reststoffe: Altholz					
Kategorie A I	661 t/a	2.577	Heizwerk		2.191
Reststoffe: Tierhaltung					
Pferde	106	321	Biogas-BHKW	112	144
Rinder	270	810	Biogas-BHKW	284	365
Schweine	31	17	Biogas-BHKW	6	8
Summe Tierhaltung		1.147		402	516
Reststoffe: Forstwirtschaft					
Nutzung Waldrestholz	589 ha Waldfläche ⁵	2.070	Heizwerk/ Heizkessel		1.759 ⁶
Reststoffe: Getreide- und Rapsstroh					
1106 ha Getreide 188 ha Raps	1.294 ha Anbaufläche	7.424	Heizwerk		6.311
(alternative Nutzung: Vergärung)	1597 ha Anbaufläche	3.172	Biogas-BHKW	1.110	1.427
Rohstoffe: heutiger Maisanbau (ohne Ausweitung)					
90 % des Maisertrags für Biogasanlagen	311 ha	12.163	Biogas-BHKW	4.257	5.474
Summe		68.094		11.635	44.585

4.3 Hinweise zur Flächennutzung

Landwirtschaftlich genutzte Flächen, Waldflächen und Brachflächen sind wichtige Einflussgrößen auf das lokale Biomassepotenzial. Abbildung 26 zeigt die einschlägigen Flächen aus der Realnutzungskartierung der Stadt Regensburg, überlagert mit Schutzgebieten.

⁴ Bei getrennter Erfassung, Hochrechnung aus durchschnittlichem bayerischen Aufkommen

⁵ Waldfläche nach Regensburger Realnutzungskarte; abweichender Wert nach LfStad: 468 ha; Unterkategorie „Gehölz, flächiges Gehölz, Streuobst“ mit 175 ha, hier sind je nach Art der Pflege oder Bewirtschaftung u.U. Doppelzählungen mit dem Grüngutanfall möglich.

⁶ Bei einem höheren Anteil der energetischen Nutzung am Zuwachs (auch Stammholz) könnte das Potenzial erhöht werden, z.B. bei Nutzung von einem Drittel des Zuwachses als Energieholz unter Berücksichtigung des höheren durchschnittlichen Wassergehalts auf ca. 3.300 MWh pro Jahr. Aufgrund der Nutzungskonkurrenz, mit stofflicher Verwertung, aber auch mit Freizeitfunktionen sowie aufgrund des Einflusses von z.T. überlappenden Schutzgebieten erscheint die reine Restholznutzung realistischer.

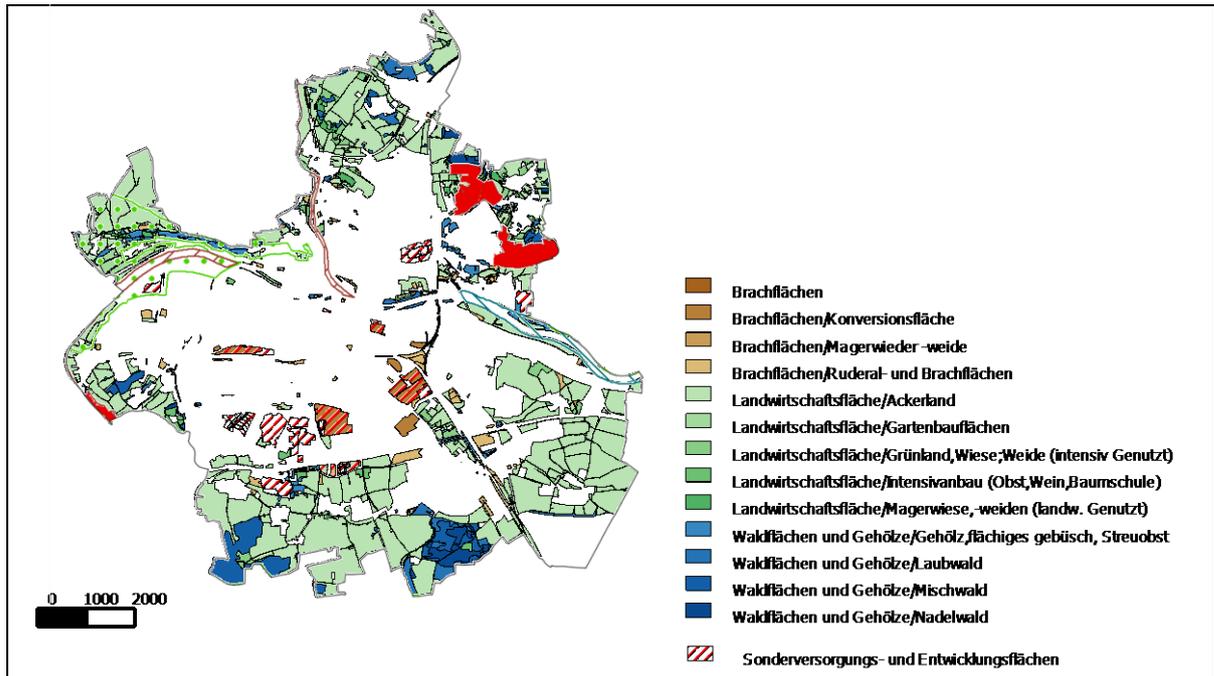


Abbildung 26: Für das lokale Biomassepotenzial relevante Flächennutzung, überlagert mit Schutzgebieten (aufgeschlüsselte Darstellung und Erläuterung der Schutzflächen: siehe Anlage I)

Nutzungskonkurrenz

Auf Landwirtschafts- und Waldflächen ist das Bioenergiepotenzial der üblichen Nutzungskonkurrenz von Nahrungsmittelerzeugung, Futtermittelerzeugung und sonstiger stofflicher Nutzung ausgesetzt. Dazu kommen die teilweise konkurrierenden Funktionen als Schutzgebiete sowie Freizeit- und Erholungsgebiete. Die Abschätzung der Energiepotenziale muss dies berücksichtigen.

Konversionsflächen

Auf Konversionsflächen herrscht in Regensburg aufgrund der hohen Nachfrage nach Wohnraum ein starker Entwicklungsdruck. Diese Flächen werden durch städtebauliche Entwicklungen der Bioenergieproduktion weitgehend entzogen und gehen deshalb nicht in die Potenzialermittlung ein.

Sollten diese Flächen trotzdem anteilig zur Energieproduktion nutzbar werden, könnten hier nochmals etwa 9.000 MWh Biogas zusätzlich gewonnen werden. Dies würde das biogene Brennstoffpotenzial um weitere etwa 18 % erhöhen.

4.4 Biomassefraktionen für die Strom- und Wärmeerzeugung

Unter dem Begriff Biomasse versteht man alle Stoffe organischer Herkunft. Der Begriff Biomasse beinhaltet die in der Natur vorkommenden Phyto- und Zoomasse und die daraus resultierenden Rückstände, abgestorbene, aber noch nicht fossile, Phyto- oder Zoomasse und alle weiteren Stoffe, die durch technische Umwandlung oder stoffliche Nutzung entstanden sind [12]. Biomasse kann sowohl im stationären Sektor in Wärme und Strom umgewandelt werden, als auch als flüssiger Treibstoff zur Nutzung im mobilen Sektor verwendet werden. Biogas ist ein Zwischenprodukt, das aus fester Biomasse hergestellt wird. Biogas hat den Vorteil, dass es nach einem Aufbereitungsprozess in das Erdgasnetz eingespeist werden, und bei Bedarf in Strom und Wärme umgewandelt werden kann. Da dieser Teil des Energienutzungsplans nur den stationären Sektor umfasst, wird nur die Umwandlung der Biomasse in Strom und Wärme betrachtet. In der vorliegenden Untersuchung wird die Biomasse daher in folgende Bereiche unterteilt:

- Biomasse aus kommunalen und privaten Reststoffen
- Biomasse aus der Landwirtschaft einschließlich Viehwirtschaft
- Biomasse aus der Forstwirtschaft

Für die zukünftige Energieversorgung, besonders im Bereich der Stromversorgung, ist die Bioenergie ein wichtiger Baustein. Die Aufgabe der Bioenergie besteht hierbei hauptsächlich in der Deckung des Restbedarfs als Mittel- und Spitzenlaststromerzeuger (siehe Abbildung 27).



Abbildung 27: Funktionsprinzip einer regenerativen Stromversorgung [13]

Im Bereich der dezentralen Wärmeerzeugung kann die Biomasse neben der Wärmeerzeugung über Wärmepumpen ebenfalls ein zentraler Baustein sein. Speziell in Heizungsanlagen mit hohen Vorlauftemperaturen kann eine Wärmeerzeugung durch Biomasse eine Rolle spielen.

4.5 Biogene Reststoffe aus Kommunen und Haushalten

Bei Biomasse aus biogenen Reststoffen handelt es sich um Grünschnitt, Biomüll und Altholz. Diese Fraktion stammt nicht aus Pflanzen, die ausschließlich zur Energieproduktion angebaut werden, sondern fällt als Reststoff an.

Der Inhalt von Bioabfall-Sammelbehältern enthält meist wasserreiche und strukturarmer Materialien, wie krautige Grünabfälle, Küchenabfälle und Speisereste. Bei der Landschaftspflege fallen neben krautigen Grünabfällen beispielsweise aus der Pflege von Rasenflächen holzige Strauch- und Baumschnitte an.

4.5.1 Grünschnitt

In der Stadt Regensburg fallen jährlich etwa 19.400 Tonnen an Grünschnitt an, die am Recyclinghof, Grünsammelstellen oder direkt im Kompostwerk angenommen werden. Für die Potenzialermittlung werden Anteile von 70% krautigem Grünschnitt und 30% holzigem Grünschnitt angesetzt [14].

Bislang wird der getrennt erfasste Grünschnitt überwiegend kompostiert. Im Jahr 2009 wurde etwa ein Viertel des erfassten Grünschnitts energetisch genutzt [15].

4.5.2 Biomüll

In bayerischen Großstädten fiel im Jahr 2011 eine durchschnittliche Menge von 39,6 kg pro Einwohner biogener Hausmüll an [16]. Übertragen auf Regensburg ergibt dies ein Potenzial von etwa 5.400 Tonnen Biomüll pro Jahr. Derzeit werden in der Stadt Regensburg mit 79 Tonnen pro Jahr nur 1,5% dieses Potenzials gesondert erfasst [17]. Eine gesonderte energetische Verwer-



ung würde also den Aufbau einer flächendeckenden Biomüll-Sammlung voraussetzen. Zwei weitere Aspekte berühren einen solchen möglichen Aufbau einer getrennten Biomüll-Sammlung:

- Der Heizwert des restlichen Mülls kann durch den Wegfall einer Fraktion mit hohem Wassergehalt ggf. steigen. Diese Steigerung des Heizwerts im Regensburger Müllaufkommen käme der Müllverbrennungsanlage Schwandorf in Form eines höherwertigen Brennstoffs zugute. Die gesamte Energiemenge würde im Gegenzug durch die Trennung sinken.
- Durch die Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wurde die Erfassung von Biomüll neu geregelt. Es gibt unterschiedliche Auffassungen dazu, ob bereits ein Angebot einer Biotonne an alle Bürger (in Regensburg praktiziertes Modell) die gesetzlichen Anforderungen erfüllt oder ob eine getrennte Erfassung verpflichtend vorzuschreiben ist.

Der bislang in der Stadt Regensburg getrennt erfasste Biomüll wird kompostiert.

Bei vollständiger gesonderter Erfassung, Vergärung und Verfeuerung in Blockheizkraftwerken könnten etwa 1.115 MWh Strom und 1.434 MWh Wärme erzeugt werden.

4.5.3 Altholz

Altholz ist Holz, das nach der stofflichen Nutzung aus dieser Nutzung fällt und für Sekundärnutzungen oder zur Entsorgung ansteht.

Tabelle 7: Altholzkategorien, Anteile am Aufkommen und immissionsschutzrechtliche Einordnung

Kategorie	Beschreibung	Anteile ⁷	Immissionsschutzrechtliche Einordnung
A I:	naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt	36 %	< 1 MW nach 1. BImSchV ≥ 1 MW nach 4. BImSchV/ TA Luft
A II:	verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel,	45 %	0,03- 1 MW nach 1. BImSchV (nur holzverarbeitende Betriebe) ≥ 1 MW nach 4. BImSchV/ TA Luft
A III:	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel,	6 %	4. BImSchV / 17. BImSchV
A IV:	mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz	13 %	4. BImSchV / 17. BImSchV

Zur Potenzialabschätzung werden in erster Näherung die bundesdeutschen Anteile an den Altholzkategorien für Regensburg übernommen. Grundsätzlich kommen die Kategorien A I und A II für typische Heizwerke in kommunalen Größenordnungen in Frage. Aufgrund des lokalen Biomasse-Aufkommens und der hierfür geeigneten Kesselgrößen von typischerweise < 1 MW ist im Wesentlichen die Altholzkategorie A I für das Energiepotenzial relevant (Tabelle 7). Hiervon

⁷ Anteile für Deutschland für das Jahr 2013. Anteile können nach Herkunft stark schwanken, deshalb für Regensburg nur grobe Anhaltswerte; nach LfU: infoBlatt Abfallwirtschaft; Augsburg, 2012 (<http://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/doc/infoblatter/altholz.pdf>)



werden 62 % für die energetische Verwertung und 38 % für die stoffliche Verwertung angesetzt (Abbildung 28). Altholz der Kategorien II bis IV ist nach dieser Bilanzierung außerhalb des Stadtgebiets in größeren Anlagen gemeinsam mit anderen Altholzströmen zu verwerten.

Damit liegt das Brennstoffpotenzial aus Altholz in Regensburg bei etwa 2.191 MWh pro Jahr.

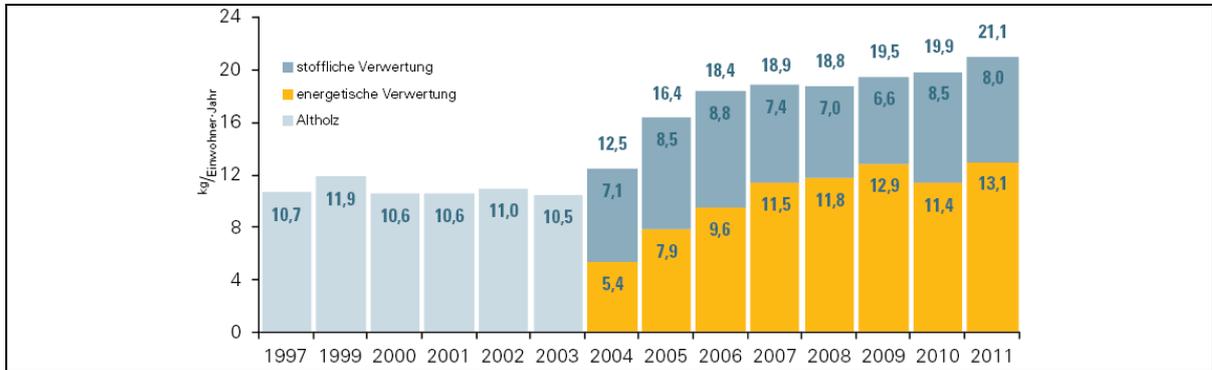


Abbildung 28: Aufkommen und Nutzung von Altholz in Bayern je Einwohner (Quelle: LFU [16])

4.6 Reststoffe und Rohstoffe aus der Landwirtschaft

4.6.1 Allgemeines

Bioenergie aus der Landwirtschaft kann aus vier Bereichen gewonnen werden:

- Nutzung von Reststoffen aus der Tierhaltung
- Nutzung von Nebenprodukten aus dem Ackerbau
- Nutzung von Gräsern auf Grünlandflächen
- Nutzung von Energiepflanzen auf Ackerflächen

Je nach nutzbarer Fläche werden unterschiedliche Pflanzen und unterschiedliche energetische Verwertungsverfahren genutzt.

Als Energiepflanzen auf Äckern werden zurzeit meist Silomaisarten mit einem hohen Massenertrag verwendet. Diese werden nach der Ernte gehäckselt, siliert und im Anschluss in einer Biogasanlage vergoren. Je nach Maissorte ergeben sich unterschiedliche Methanerträge, die die Energieausbeute in der Biogasanlage bestimmen.

Gräser auf Grünflächen werden zur energetischen Nutzung zu einer Grassilage umgewandelt und können ebenfalls in einer Biogasanlage verwertet werden.

Die dritte Möglichkeit, Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion zu verwenden, ist die Nutzung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten und Rückständen. Auf den Ackerflächen, die weiterhin als rein landwirtschaftliche Flächen zur Nahrungs- oder Futtermittelproduktion genutzt werden, können die landwirtschaftlichen Nebenprodukte zur Energieerzeugung genutzt werden. Unter landwirtschaftlichen Nebenprodukten versteht man z.B. Stroh oder andere halmgutartige Nebenprodukte von Getreide oder Ölsaaten bei einer nicht-energetischen Nutzung des Hauptproduktes. Diese werden aufgrund ihres geringen Wassergehalts nicht in Biogasanlagen verwendet, sondern als Brennstoff in Biomasseheizwerken in rein thermische Energie umgewandelt. Dabei können Strohballen z.B. nach dem Zigarrenbrandverfahren energetisch verwertet werden.



4.6.2 Reststoffe aus der Viehwirtschaft

Die Biomasse aus der Viehwirtschaft setzt sich aus dem Gülle- und Mistanfall der im Stadtgebiet gehaltenen Tiere zusammen und wird im Weiteren als Wirtschaftsdünger bezeichnet. Wirtschaftsdünger kann in den vorhandenen Biogasanlagen z.B. als Ko-Substrat mitvergoren werden. Eine Studie der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUF) Kassel hat zudem gezeigt, dass durch die Vergärung von Wirtschaftsdünger der Nährstoffgehalt der Gülle nicht sinkt [18]. Somit steht die Vergärung des Wirtschaftsdüngers nicht im Widerspruch zur Düngung der landwirtschaftlichen Flächen. Nach der energetischen Nutzung kann der Wirtschaftsdünger wieder seinem ursprünglichen Verwendungszweck zugeführt werden.

In Regensburg gibt es in geringem Maßstab Viehwirtschaft. Im Jahr 2010 wurden 270 Rinder, 30 Schweine, 268 Schafe und 106 Pferde gehalten [19].

Bei einer Verwertung des anfallenden Wirtschaftsdüngers als Ko-Substrat in Biogasanlagen und einer Verfeuerung in Blockheizkraftwerken ergibt sich die für die Stadt Regensburg ein Stromerzeugungspotenzial von rund 402 MWh pro Jahr und ein Wärmeerzeugungspotenzial von 516 MWh pro Jahr.

Die Anzahl der gehaltenen Tiere 2010 war also verhältnismäßig gering und auch in Zukunft ist nicht mit einer deutlichen Erhöhung zu rechnen. Daher spielt das Energiepotenzial von Wirtschaftsdünger eine untergeordnete Rolle.

4.6.3 Reststoffe aus dem Ackerbau

Im Regensburger Stadtgebiet werden insgesamt 2.761 ha landwirtschaftlich genutzt. Davon entfallen 443 ha auf Wiesen und Weiden (5,6 % der Gesamtfläche) und 2.274 ha auf Ackerfläche (28,7 % der Gesamtfläche) [19]. Derzeit wird im Bereich der Stadt Regensburg auf 1.440 ha Getreide angebaut und auf etwa 189 ha Raps [19]. Pro Hektar fallen etwa 6 t Getreidestroh bzw. etwa 4,5 t Rapsstroh [20] an.

Bisher werden Getreide- und Rapsstroh in Deutschland aufgrund von technischen und immissionsschutzrechtlichen Rahmenbedingungen nur zu einem geringen Anteil energetisch genutzt. Aufgrund des hohen Aufkommens werden technische Nutzungsmöglichkeiten zur Verbrennung und zur anaeroben Vergärung allerdings intensiv untersucht.

Stroh kann aufgrund des geringen Wasseranteils und des daher hohen Heizwertes einer thermischen Verbrennung zugeführt werden. Dabei wird das Stroh in einer sogenannten Zigarrenverbrennung in Ballen verbrannt oder zunächst in Pellets gepresst und anschließend in einer Wirbelschicht umgesetzt. Jedoch entstehen bei der Verbrennung von Getreidestroh Probleme durch den hohen Kalium-Anteil. Dieser führt zu erhöhter Korrosion im Verbrennungsraum und den Wärmeübertragungsflächen des Kessels, sodass eine thermische Nutzung von Getreidestroh in herkömmlichen Verbrennungssystemen zu einer Reduzierung der Anlagenlebensdauer führt. Um dies zu verhindern, sind spezielle Werkstoffe im Kesselbau erforderlich.

Zur Gewährleistung einer hinreichenden Humusbilanz können etwa 25 % des Strohanfalls energetisch genutzt werden [21]. Damit beträgt das Brennstoffpotenzial in Regensburg bei Direktverbrennung etwa 7.400 MWh pro Jahr.

Ein alternativer Verwertungspfad für Stroh ist die anaerobe Vergärung in Biogasanlagen als Ko-Substrat. Dieser Verwertungspfad ist noch in der Entwicklung. Dabei betrüge das Brennstoffpotenzial etwa 3.200 MWh pro Jahr.



4.6.4 Reststoffe aus Grünlandnutzung

Bestehendes Grünland

Für die Potenzialermittlung wird davon ausgegangen, dass die Biomasseerzeugung auf den im Stadtgebiet bestehenden Grünlandflächen (443 ha) überwiegend für die Tierhaltung verwertet wird und nicht für eine energetische Nutzung zur Verfügung steht.

Zusatzflächen durch Effizienzsteigerungen und Strukturwandel in Land- und Viehwirtschaft

Für Bayern fallen durch Effizienzsteigerungen in der Viehwirtschaft bei konstanter Erzeugungsleistung voraussichtlich bis 2020 rund 260.000 ha Grünland und Ackerfläche aus ihrer derzeitigen Nutzung und werden für alternative Nutzungen zur Verfügung stehen [22]. In den bayerischen Gäugebieten wird ein Rückgang der Grünlandflächen und Futterflächen um fast 40 % erwartet. Im Jahr 2010 gab es 443 ha Dauergrünland und 311 ha Futterpflanzen-Ackerfläche.

Aufgrund der hohen Nutzungskonkurrenz und der für Großstädte typischen geringen Agrarflächen pro Einwohner erscheint eine Nutzung der freiwerdenden Flächen zur Produktionsausweitung wahrscheinlicher als zur Energiepflanzenenerzeugung. Die Nutzung solcher Flächen wird deshalb in der Potenzialermittlung nicht angesetzt.

Sollten diese Flächen entgegen dieser Annahmen auch im Regensburger Stadtgebiet anteilig für eine energetische Nutzung frei werden, würde sich bei Grünlandnutzung zur Biogasenerzeugung aus Grassilage bzw. Frischgras ein Brennstoffpotenzial von etwa 6.900 MWh ergeben.

4.6.5 Rohstoffe aus dem Ackerbau

Bisher werden in der Stadt Regensburg bereits auf 311 ha Mais [19] angebaut. Aufgrund des geringen Viehbestands und des folglich geringen Futtermittelbedarfs wird davon ausgegangen, dass rund 90 % der Maisernte für die Biogasenerzeugung genutzt wird. Daraus ergibt sich eine Jahres-Brennstoffproduktion von etwa 12.000 MWh Biogas.

Aufgrund der vielfältigen Nutzungskonkurrenz und der kritischen Diskussion über die Ausweitung von Energiemaisanbau wird in der Potenzialermittlung keine Ausweitung der Mais-Anbauflächen unterstellt.

4.7 Reststoffe aus der Forstwirtschaft

Mit dem Begriff "Biomasse aus der Forstwirtschaft" wird im vorliegenden Teilbericht der Holzzuwachs auf der Waldfläche im Stadtgebiet verstanden. Ausgehend von der gesamten Zuwachsmenge werden unter Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit Minderungsfaktoren berücksichtigt.

Im Jahr 2010 war in der Stadt Regensburg eine Fläche von 466 ha bewaldet. Dies entspricht einem Anteil am Stadtgebiet von 5,8 % [19]. Im Dienstbezirk des Amts für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Regensburg beträgt der mittlere Zuwachs 8,8 Festmeter pro Hektar und Jahr [23]. Die Potenzialermittlung basiert auf einem Anteil von 20 % des Zuwachses für die energetische Nutzung, da die vergleichsweise kleinen Flächen, die komplementären Nutzungen für Freizeit und diverse Schutzfunktionen (vgl. auch Abschnitt 4.3) sowie die stoffliche Nutzung einem höheren Anteil entgegenstehen.



Abbildung 29: Anteile an der Waldfläche (Quelle: Auswertung der städtischen Realnutzungskartierung)

Mit diesen Ansätzen ergibt sich ein Brennstoffpotenzial von etwa 2.070 MWh pro Jahr aus den Wäldern im Regensburger Stadtgebiet.

Einordnung des Waldholzpotenzials

Im Bayerischen Energieatlas sind für Regensburg bereits drei Biomasseheizwerke mit einer Gesamt-Feuerungsleistung von insgesamt 3,1 MW und einer Biomasse-Feuerungsleistung 1,3 MW [24] verzeichnet. Im Stadtgebiet sind nach der Regensburger Brennstoffsatzung zum Jahresende 2012 3.732 Biomassefeuerungen genehmigt [25]. Davon sind für 187 Feuerungen aus der Förderung im Marktanzreizprogramm die durchschnittliche Leistung (16 kW) bekannt.

Der größte Teil des Bestands ist in diesen Teilmengen allerdings noch nicht enthalten: Gemäß der Kkehrbücher der Bezirkskaminkehrermeister gibt es etwa 600 Holz-Heizkessel mit einer Feuerungswärmeleistung von ca. 18 MW. Dazu kommen etwa 6.500 Holz-Einzelöfen mit einer Feuerungswärmeleistung von etwa 43 MW. Insgesamt wird die Jahres-Wärmeerzeugung aus Biomasse zu 36,5 Gigawattstunden pro Jahr abgeschätzt (siehe *Teilbericht C - Ist-Zustand Erzeugung*, Abschnitt 2.2).

Es werden also bereits heute Ressourcen von außerhalb des Stadtgebietes zur Wärmeerzeugung genutzt. Verbunden mit der Nutzung des Holzanteiles aus biogenen Reststoffen wäre eine Deckung mit Ressourcen aus dem Stadtgebiet allerdings möglich.

Exkurs: Waldrestholzpotenzial in der Region

In der Region Regensburg ist ein deutlich größeres Bioenergiepotenzial vorhanden als in der Stadt selbst. Die Waldfläche im Landkreis Regensburg von 48.745 ha beträgt mehr als das Hundertfache der Waldfläche der Stadt [23]. Dieser Wald ist zu 85 % in Privatbesitz, 11 % gehören dem Staat und 4 % sind Körperschaftswald.

In diesem Waldgebiet wachsen jährlich etwa 430.000 Erntefestmeter pro Jahr an Holz zu, was einem Energieinhalt von etwa 946.000 MWh entspricht. Das für die Stadt Regensburg als Bioenergie nutzbare Potenzial beträgt davon etwa 5,4 %, was etwa 51.400 MWh entspricht. Dieser Abschätzung liegt zugrunde, dass 20 % des jährlichen Zuwachses als Energieholz genutzt werden können und sich diese Energiemenge auf die Bewohner des Landkreises und der Stadt Regensburg aufteilen. Weiterhin wurde angenommen, dass der spezifische Holzbedarf je Stadteinwohner die Hälfte des Holzbedarfes eines Landkreisbewohners beträgt [23].

4.8 Nutzungswege

4.8.1 Anaerobe Vergärung

Die Anaerobe Vergärung wird hauptsächlich in Biogas-Anlagen zur Herstellung von Biogas aus verschiedenen Substraten technisch genutzt. Mögliche Substrate sind vor allem aus dem landwirtschaftlichen Bereich die nachwachsenden Rohstoffe Mais- und Grassilage sowie Gülle aus der Viehzucht.



Die biogenen Reststoffe lassen sich neben ihrer Herkunft auch in ligninhaltige und weitgehend ligninfreie Reststoffe unterteilen. Lignin bezeichnet den Holzanteil im biogenen Reststoff. Lignin kann nicht durch anaerobe Vergärung, welche insbesondere in Biogasanlagen genutzt wird, verwertet werden, daher kommen hierfür insbesondere der biogene Hausabfall sowie krautiger Grünabfall aus der Landschaftspflege, nicht aber Strauch- und Baumschnitt sowie Altholz in Frage [26].

Technisch wird bei der anaeroben Vergärung zwischen Trocken- und Nassfermentation unterschieden. Bei der Nassfermentation hat das Substrat einen Trockenmasseanteil von weniger als 16 % und kann durch Pumpen gefördert werden. Bei der Trockenfermentation ist der Wasseranteil geringer, sodass das Substrat nicht gepumpt werden kann. Biologisch findet jedoch ein ähnlicher Prozess statt, bei dem durch bakteriell erzeugte Enzyme die komplexen organischen Verbindungen des Substrates gespalten und zu einem hauptsächlich aus CH₄ und CO₂ bestehenden Gasgemisch verarbeitet werden.

Zur Nutzung des entstehenden Biogases gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- die Verwertung vor Ort in einem Blockheizkraftwerk in Kraft-Wärme-Kopplung. Hierfür ist eine ausreichend große Wärmesenke erforderlich.
- die Verwertung in einem über eine Biogasleitung angebotenen Blockheizkraftwerk zur Versorgung eines eigenen Standorts in begrenzter Entfernung.
- die Aufbereitung zu Biomethan durch Trocknung, Abscheidung von CO₂ und Einspeisung in das Erdgasnetz. Diese Möglichkeit kann immer dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn keine Nutzung der Abwärme vor Ort möglich ist, eine leistungsfähige Anschlussmöglichkeit ans Erdgasnetz besteht und eine ausreichende Erzeugungsleistung gegeben ist.

4.8.2 Direkte Verbrennung

Die stark ligninhaltigen Bestandteile aus Strauch- und Baumschnitt sowie das Altholz bilden eine Fraktion mit einem höheren Heizwert als krautiges Grüngut und Bio-Abfälle. Bei der thermischen Nutzung der biogenen Reststoffe wird die entstehende thermische Energie durch die Menge und den Heizwert der biogenen Abfallstoffe bestimmt. Dieser hängt stark vom Wassergehalt der Reststoffe ab.

Um den Energieinhalt aus dem Strauch- und Baumschnitt nutzbar zu machen, müssen diese zunächst konditioniert werden. Dazu gehört eine Zerkleinerung mit anschließender Trocknung. Nach einer Trockenzeit von 5 Monaten in einem trockenen Raum hat das Material einen Wassergehalt von 22 % (vormals 38 %) und einen Heizwert von etwa 14 MJ/kg [27]. Nach einer Trocknung kann das Material entweder roh einer energetischen Nutzung zugeführt werden oder in Pellets gepresst werden, um besser gelagert oder transportiert werden zu können.

Größere Feuerungsanlagen können auch als konventionelle Heizkraftwerke ausgeführt werden, in dem Stromerzeugungsanlagen mit organischen Arbeitsmitteln (sog. ORC-Anlagen) oder Dampf der Feuerung nachgeschaltet werden.

4.8.3 Thermochemische Vergasung

Neben der Verbrennung in Biomasseheizkraftwerken besteht auch die Möglichkeit, das Holz zunächst thermisch zu vergasen und die entstehenden Vergasungsprodukte in einem Blockheizkraftwerk, einer Mikrogasturbine oder Brennstoffzellen zu nutzen. Bei einer autothermen Vergasung besteht zusätzlich noch die Möglichkeit, das Vergasungsprodukt aufzureinigen und entweder in das Erdgasnetz einzuspeisen oder das Gas stofflich zu nutzen. Diese Technik ist aber seit längerem im Demonstrationsstadium. Der Zeitpunkt der großflächigen Markteinführung ist nicht gesichert abzusehen.



Tabelle 8: Beispielhafte Potenzialabschätzungen für Energieholz mit verschiedenen Nutzungstechnologien (Leistungsbereiche und Wirkungsgrade beispielhaft)

Technologie		Leistungs- bereich	Elektrischer Wirkungs- grad	Thermischer Wirkungs- grad	Strom- potenzial [MWh/a]	Wärme- potenzial [MWh/a]
Verbrennung	Wärme- nutzung [28] [29]	0,4 MW _{therm}	-	80 %	-	1.656
		1,7 MW _{therm}	-	90 %	-	1.863
Verbrennung	DT [30]	6,1 MW _{el}	17 %	44 %	352	904
	ORC ⁸	1 MW _{el}	9,3 %	61 %	192	1.263
Vergasung	autotherm, BHKW [31]	2x1,2 MW _{el}	31 %	58 %	642	1.200
	Allotherm, BHKW [32]	0,4 MW _{el}	30 %	50 %	621	1.035
	Allotherm, GT [33]	0,5-1 MW _{el}	30 %	45 %	621	931

⁸ Organic-Rankine-Cycle



5 CO₂-Minderungspotenziale Geothermie und Umweltwärme

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die geologischen Verhältnisse in der Region Regensburg ermöglichen keine Nutzung tiefer Geothermie. Oberflächennahe Geothermie sowie Umweltwärme kann vor allem im Neubau und in sanierten Gebäuden als Wärmequelle dienen. Das Potenzial wird daher durch den Wärmebedarf in neuen und sanierten Gebäuden begrenzt.

5.2 Tiefengeothermie

Erdwärme kann in geeigneten Gebieten durch Tiefenbohrungen erschlossen und genutzt werden. Die Erdschichten in mehreren Tausend Meter Tiefe haben Temperaturen, die zur direkten Nutzung für Heizzwecke ausreichend sind. Technisch möglich sind derzeit Bohrungen bis etwa 7.000 m Tiefe [34]. Um dieses Potenzial zu nutzen, müssen Bohrungen durchgeführt werden, die sehr kostenintensiv sind. Bei günstigen geologischen Verhältnissen können sich diese Investitionen lohnen, da eine kontinuierlich bereitstehende, nahezu unendliche Wärmequelle erschlossen werden kann. Bei ausreichend hohen Temperaturen kann in einem Geothermiekraftwerk auch Strom erzeugt werden [35].

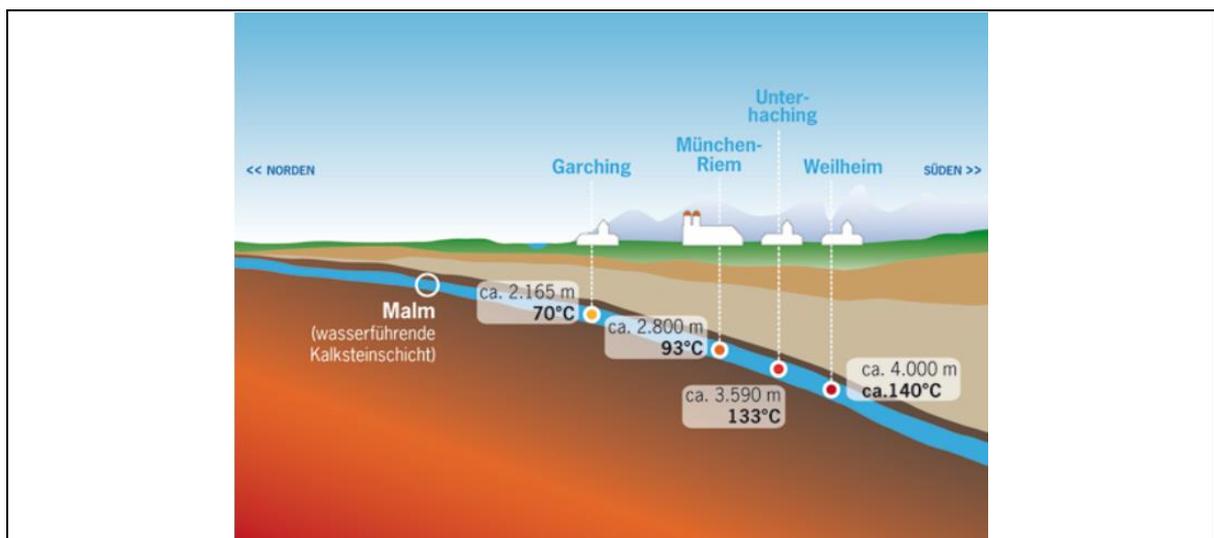


Abbildung 30: Geothermische Potenziale im des bayerischen Voralpenland (Schnitt) [36]

Der Untergrund in der Region um Regensburg eignet sich nicht für eine geothermale Nutzung zur Wärme- bzw. Stromerzeugung, da der Malm als wasserführende Schicht im Regensburger Raum nicht in ausreichender Tiefe liegt und damit zu niedrige Temperaturen für eine direkte thermische Nutzung aufweist (siehe Abbildung 31).

Einzig das Westbad wird neben dem BHKW auch durch eine Thermalwasserbohrung mit Wärme versorgt. Die Bohrung zur balneologischen Nutzung fördert Thermalwasser mit Temperaturen aus der Tiefe, die über den Temperaturen im Trinkwassernetz liegen und so den Wärmebedarf im Bad verringern [37]. Für weitere Anwendungen wie Raumbeheizung oder Trinkwarmwasserbereitung sind diese Temperaturen allerdings zu niedrig.

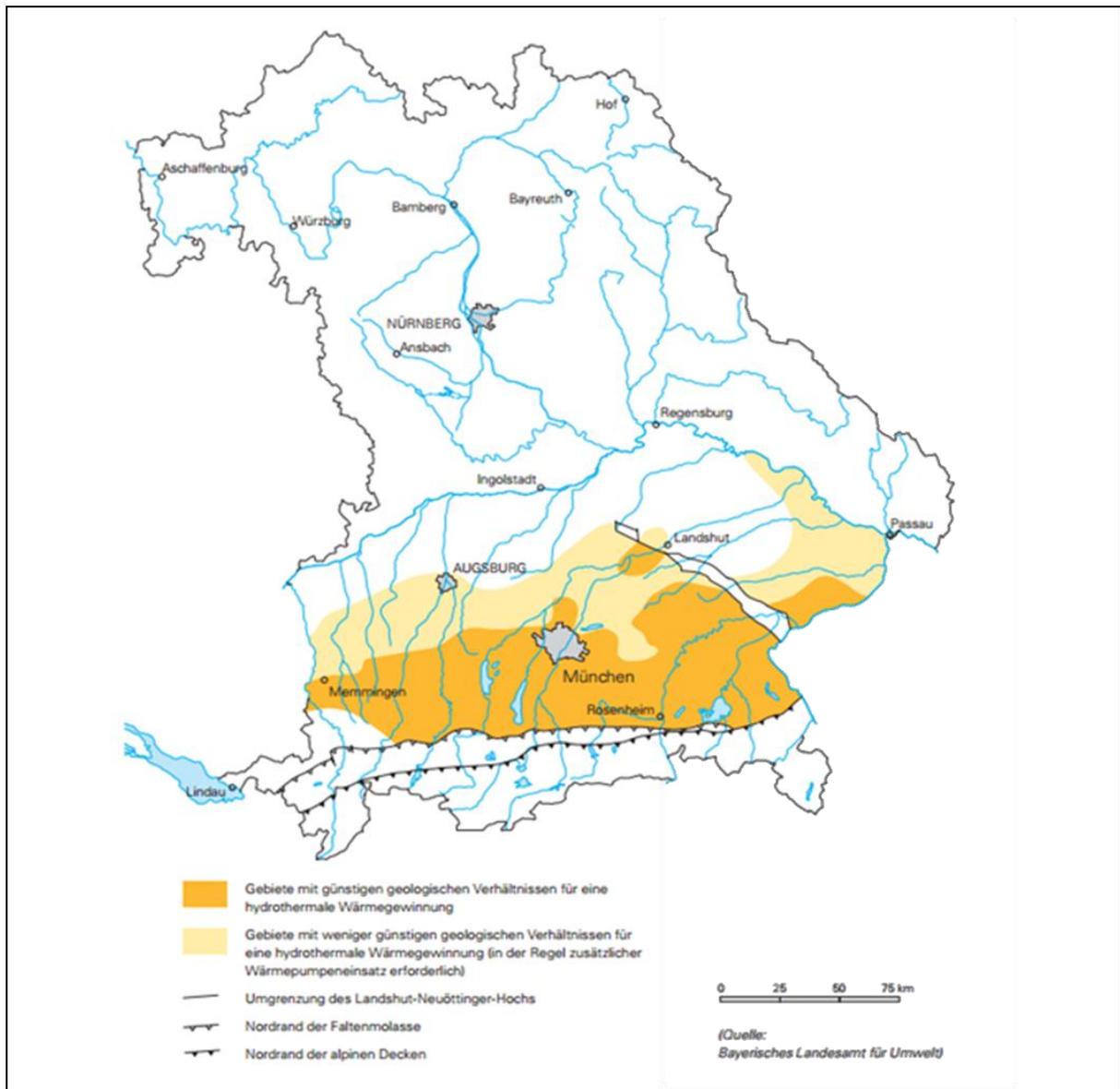


Abbildung 31: Gebiete mit günstigen geologischen Verhältnissen für eine geothermale Wärmeherzeugung

5.3 Oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme

Im Unterschied zur Tiefengeothermie wird oberflächennahe Geothermie auf einem deutlich niedrigeren Temperaturniveau und dezentral genutzt. Auch die Außenluft kann als Wärmequelle genutzt werden. Um die Umgebungsenergie zu Heizzwecken und zur Trinkwarmwasserbereitung nutzbar zu machen, muss das Temperaturniveau durch eine Wärmepumpe angehoben werden. Es gibt verschiedene Arten, die oberflächennahe Geothermie und die Außenluft als Wärmequellen zu erschließen.

Der Anteil elektrisch angetriebener Wärmepumpen am deutschen Heizungsmarkt beträgt etwa acht bis zehn Prozent, wobei der Trend nach oben zeigt. Bereits etwa 25-30 % der Neubauten werden mit einer Wärmepumpe ausgerüstet [38]. Im größeren Leistungsbereich werden Wärmepumpen mitunter als Grundlastwärmeerzeuger eingesetzt, die im Bedarfsfall durch Spitzenlastkessel unterstützt werden.



Durch den steigenden Anteil an erneuerbaren Energien im Strommix verbessert sich die ökologische Bilanz von elektrisch angetriebenen Wärmepumpen stetig.

5.3.1 Erdwärmesonden

Erdwärmesonden erschließen das Geothermiefotenzial durch Bohrungen in Tiefen bis etwa 400 m. In diesen Tiefen herrschen höhere Temperaturen vor als direkt unter der Erdoberfläche. Das Wärmeträgermedium wird durch die Sonde gepumpt und nimmt dabei Wärmeenergie aus dem Erdreich auf (in Abbildung 32 Nr. 2). Ein Vorteil dieser Technologie ist der geringe Platzbedarf, allerdings sind die Sondenbohrungen relativ teuer.

Auch sogenannte „Energiepfähle“ sind eine Art von Erdwärmesonden. Besteht das Fundament eines Gebäudes aus Pfählen, können diese zur Wärmeaufnahme aus dem Erdreich genutzt werden. Sie werden meist nicht so tief gebohrt, dafür ist ihre Anzahl pro Anlage höher als bei Erdwärmesonden.

5.3.2 Erdwärmekollektoren

Erdwärmekollektoren sind im Gegensatz zu Erdwärmesonden horizontal in geringerer Tiefe eingebaut und unterscheiden sich von Sonden deshalb durch ihren Platzbedarf. Um genügend wärmeübertragende Fläche zu erhalten, werden Erdwärmekollektoren über eine große Fläche, dafür aber nur wenige Meter tief verlegt (in Abbildung 32 Nr. 5). Diese Methode wird häufig im Neubau angewandt, da so der Raum unter der Bodenplatte genutzt werden kann. Erdwärmesonden sind häufiger als Erdkollektoren auch bei Gebäudesanierungen einsetzbar. Eine weitere Variante von Erdwärmekollektoren stellen sogenannte Erdwärmekörbe dar (in Abbildung 32 Nrn. 3 und 4). Sie ähneln im Aufbau Erdwärmekollektoren, verbrauchen aber weniger Fläche und werden tiefer im Boden verlegt.

5.3.3 Grundwasserbrunnen

Auch das Grundwasser kann als Wärmequelle für Wärmepumpensysteme dienen. Dem Grundwasser, das durchgehend relativ konstante Temperaturen im Bereich von 7-14°C aufweist, wird Energie entzogen, die für Heizung und Warmwasserbereitung verwendet wird. Dafür werden meist zwei Grundwasserbrunnen gebohrt, ein Saug- und ein Schluckbrunnen. Für diese Variante müssen die geologischen Verhältnisse am geplanten Standort geeignet sein, d.h. die Grundwasserquantität und -qualität müssen ausreichend hoch sein. Weiterhin dürfen keine wasserrechtlichen Gründe gegen eine geothermische Nutzung sprechen.

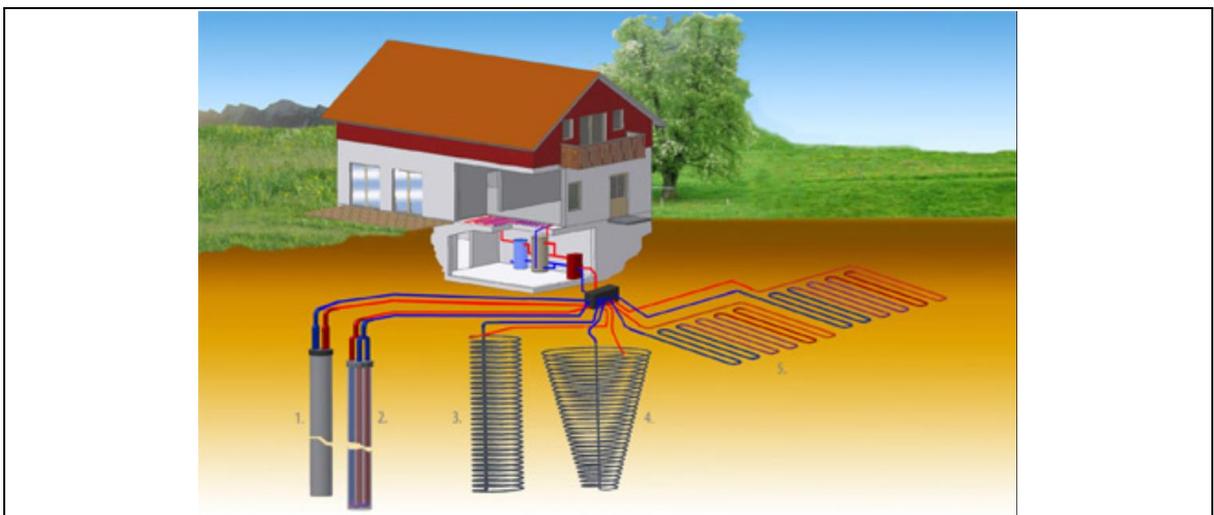


Abbildung 32: Verschiedene Arten von oberflächennaher Geothermienutzung (Quelle: [39])



5.3.4 Außenluft-Wärmepumpen

Immer mehr Gebäude werden mit Luft-Wasser-Wärmepumpen ausgestattet. Sie nutzen die in der Außenluft enthaltene Enthalpie, um das Gebäude zu heizen und Trinkwarmwasser bereitzustellen. Das Temperaturniveau der Außenluft wird im Wärmepumpenkreislauf angehoben, wobei etwa 25 % der nutzbaren Wärmeenergie aus dem Antrieb (elektrischer Strom) und etwa 75 % aus der Umwelt (Außenluft) kommen. Die Effizienz von Luft-Wasser-Wärmepumpen ist aufgrund der geringeren Wärmequellentemperatur in der Regel geringer als die von Erdreich- oder Grundwasserwärmepumpen. Für besonders kalte Tage mit hohem Heizbedarf und niedrigen Außentemperaturen sind Luft-Wasser-Wärmepumpen mit einem Elektroheizstab ausgerüstet, der im Bedarfsfall zusätzlich eingesetzt werden kann, um den Heizwärmebedarf zu decken. Dadurch verschlechtert sich die Gesamteffizienz der Anlage deutlich. Dies ist bei Anlagen mit den Wärmequellen Erdreich oder Grundwasser nicht der Fall, da deren Temperaturen ganzjährig für einen effizienten Anlagenbetrieb ausreichend hoch sind. Allerdings hat sich die Effizienz der Luft-Wasser-Wärmepumpen in den vergangenen Jahren durch technische Weiterentwicklungen deutlich verbessert.

Vor allem in Gebäuden mit einem niedrigen Wärmebedarf werden Luft-Wärmepumpen häufig eingesetzt, da sie im kleinen Leistungsbereich vergleichsweise gute Jahresarbeitszahlen aufweisen. In größeren Gebäuden, etwa im Geschosswohnungsbau, steht dem Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpen ein zusätzliches Hemmnis entgegen: Aufgrund der Entfernungen und Kältemittelvolumina müssen hier häufig Splitgeräte mit Zwischenkreis eingesetzt werden. Durch den zusätzlichen Wärmeübergang sinkt die Wärmequellentemperatur im Winter nochmals um mehrere Kelvin, so dass diese Geräte de facto nur als Bivalente Anlagen, in der Regel in Kombination mit einem Gaskessel, eingesetzt werden.

5.3.5 Solar-Eisspeichersysteme mit Wärmepumpen

Eine neuere technische Entwicklung kombiniert den Einsatz von Wärmepumpen mit Solar- und Umgebungswärme Kollektoren und Eisspeichersystemen (siehe Abbildung 33). Diese Anlagen werden zum Beispiel eingesetzt, wenn weder Erdreich noch Grundwasser als Wärmequelle verfügbar sind oder wenn zeitgleich mit dem Wärmebedarf ein hoher Kühlbedarf besteht.

Hierbei wird vornehmlich die von sogenannten Solar-/Luftabsorbern erzeugte Energie als Wärmequelle der Wärmepumpen genutzt. Diese Kollektoren erschließen sowohl den Energieinhalt der Außenluft als auch des Sonnenlichts auf einem niedrigen Temperaturniveau und können so auch an sonnenlichtarmen Tagen und sogar Nachts Erträge liefern. Überschüssige Energie, die im Sommer nicht in den Wärmepumpen genutzt werden kann, weil nicht genug Bedarf besteht, wird in Wasser-/ Eisspeichern als Latentwärme gespeichert, indem das Eis, das in der Heizperiode entstanden ist geschmolzen wird. Durch diesen Phasenübergang im Speicher kann eine hohe Energiedichte erreicht werden. Durch das niedrige Temperaturniveau des Speichers (meist um 0°C) sind die Verluste sehr gering bzw. es wird sogar Wärme aus dem umgebenden Erdreich aufgenommen.

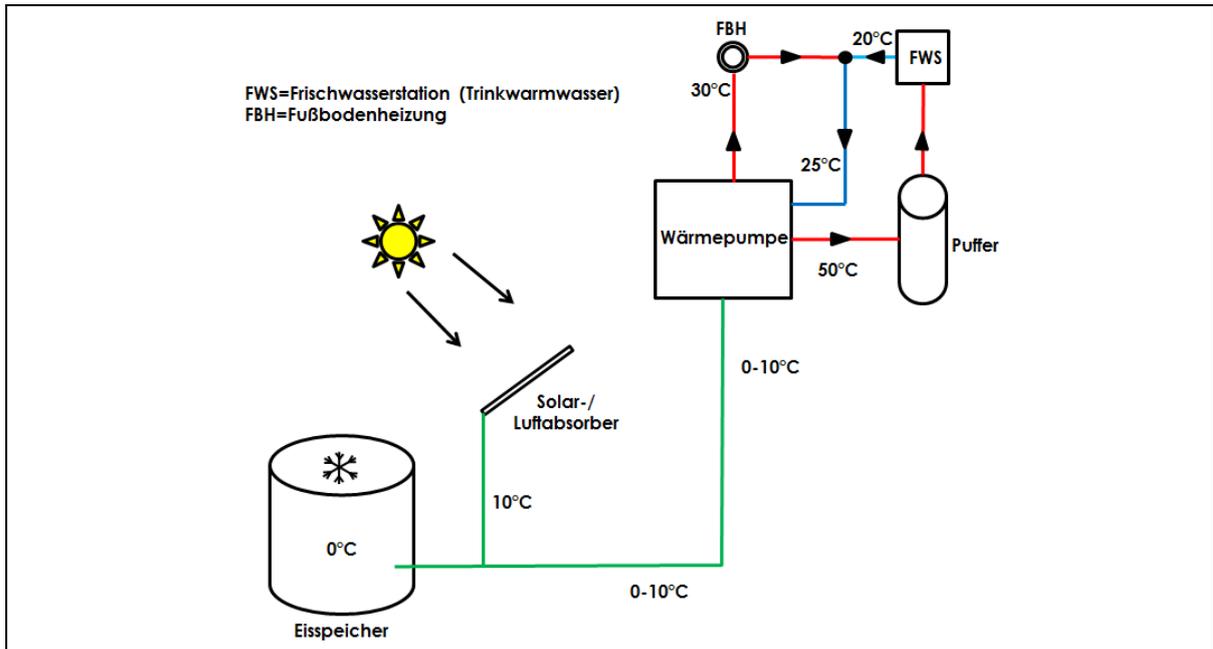


Abbildung 33: Funktionsschema Eisspeicher-Wärmepumpensystem

Wenn im Winter die Leistung der Solar-/Luftabsorber nicht ausreicht, um die Heizleistung (in Kombination mit Wärmepumpen) vollständig bereitzustellen, wird die Energie aus dem im Sommer aufgeladenen Speicher genutzt, um den Restbedarf zu decken. Dazu wird das Temperaturniveau der gespeicherten Energie mit Hilfe von Wärmepumpen angehoben, um die Heizkreise zu bedienen. Dabei gefriert das Wasser im Eisspeicher wieder.

Diese Technologie ist unabhängig von den geologischen Verhältnissen oder der Grundwasserbeschaffenheit, solange genügend Platz für den Wasser-/Eisspeicher vorhanden ist. Momentan ist das wirtschaftliche Potenzial noch gering, weil die Investitionen in die Speicher und die Solar-Luft-Absorber sehr hoch sind. Durch eine Lernkurve und Weiterentwicklungen der Technologie wird sie mittelfristig kostengünstiger. In Regensburg wird dieses System bereits in öffentlichen Gebäuden umgesetzt. Ein Beispiel hierfür ist die Schule am Napoleonstein.

Zur Regeneration des Eisspeichers können auch weitere Wärmequellen wie Flusswasser oder Abwasser genutzt werden. Darüber kann gegebenenfalls der Eisspeicher geladen oder das Flusswasser direkt durch Wärmepumpen genutzt werden. Mit Temperaturen von 4-18°C könnte das Donauwasser vor allem in bivalenten Heizsystemen⁹ als Wärmequelle dienen (siehe Abbildung 34).

⁹ Anlagen, die zwei verschiedene Brennstoffe nutzen können

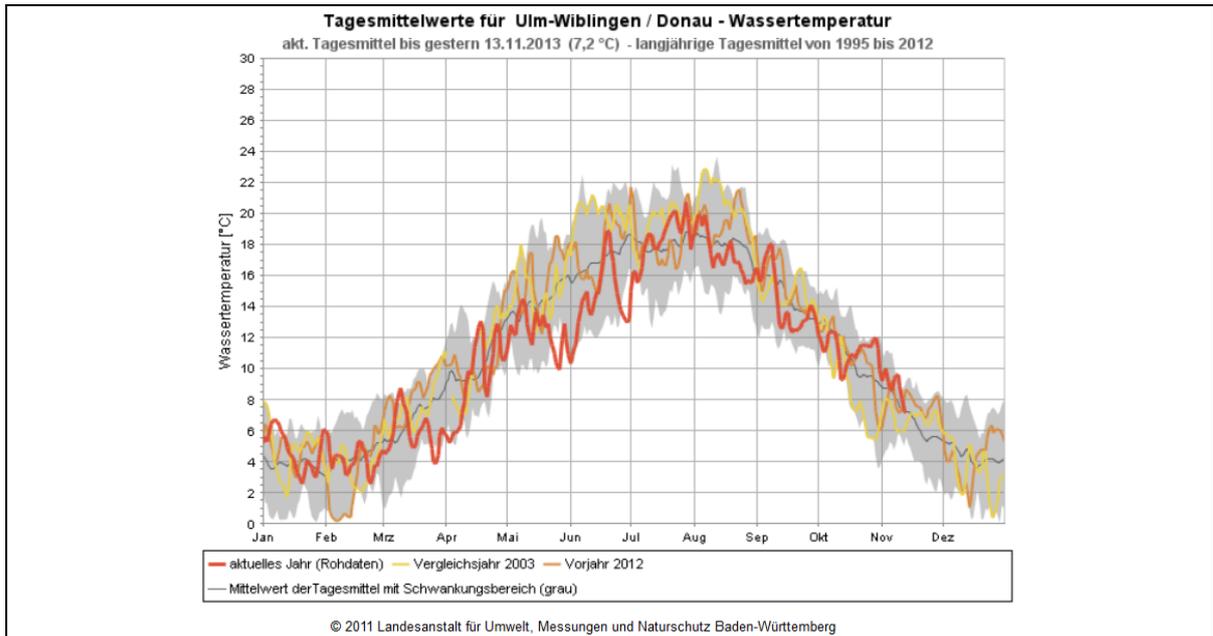


Abbildung 34: Langjährige Tagesmitteltemperaturen des Donaflußwassers [40]

5.4 Anlagenbestand

Im Stadtgebiet Regensburg gibt es 64 Grundwasserwärmepumpen sowie 49 Erdwärmesonden (Stand 12/2012, siehe Abschnitt 2.4 in *Teilbericht C – Ist-Zustand Erzeugung*). Dazu kommen die nicht-genehmigungspflichtigen Anlagen (vornehmlich Außenluft-Wärmepumpen), die etwa 40 % der Wärmemenge bereitstellen [41]. Zusammen erzeugen sie etwa 4.068 MWh Wärme aus Geothermie und Umweltwärme.

5.5 Potenzial für oberflächennahe Geothermie und die Nutzung von Umweltwärme in Regensburg

5.5.1 Geologische Verhältnisse im Stadtgebiet Regensburg

In Abbildung 35 ist zu erkennen, dass im südlichen Teil des Stadtgebiets der Bau von Erdwärmesonden und -kollektoren möglich ist. In Teilbereichen ist zusätzlich ein Einsatz von Grundwasserwärmepumpen durchführbar.

Im Gürtel um die Donau wird vom Bayerischen Landesamt für Umwelt der Einsatz von Grundwasserwärmepumpen und Erdwärmekollektoren empfohlen, während im nördlichen Stadtgebiet hauptsächlich nur Erdwärmesonden möglich sind.

In der Gegend um Gallingskofen im Nordwesten der Stadt besteht kein Potenzial für oberflächennahe Geothermie (rotes Gebiet, Abbildung 35).

Luft-Wasser-Wärmepumpen sind grundsätzlich unabhängig von äußeren Bedingungen wie z.B. den geologischen Verhältnissen. Daher sind sie auf dem gesamten Stadtgebiet sowohl bei Neubauten als auch in Sanierungsfällen einsetzbar.

5.5.2 Wärmepumpeneinsatz in Neubauten und Sanierungsfällen

Grundsätzlich können Wärmepumpen in fast jedem Gebäude als Wärmeerzeuger eingesetzt werden. Das Potenzial ist also nahezu dem jetzigen bzw. zukünftigen Wärmeverbrauch gleichzusetzen. Ein Einbau ist allerdings meist nur in vollsanierten oder neuen Gebäuden sinnvoll, vor



allem wegen des niedrigen Temperaturniveaus der Heizsysteme. Das Potenzial entspricht also im Wesentlichen dem Energiebedarf aller neuen und energetisch sanierten Gebäude.

5.5.3 CO₂-Emissionsfaktor für Wärmepumpensysteme

Ausgehend von einer Jahresarbeitszahl von modernen Wärmepumpensystemen von 4 wird der spezifische CO₂-Ausstoß berechnet. Im Jahr 2012 betrug der CO₂-Emissionsfaktor des deutschen Strommixes 576 gCO₂/kWh [42]. Unter der Annahme, dass der Emissionsfaktor in den kommenden 20 Jahren bei durchschnittlich 446 gCO₂/kWh liegt (Extrapolation mit Annahme 80 % erneuerbarer Anteil am Strommix im Jahr 2050) resultiert ein spezifischer CO₂-Ausstoß für Wärmepumpen von 112 g/kWh erzeugter Heizwärme über die nächsten 20 Jahre.

In der Regel liegt die Jahresarbeitszahl von Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen (Oberflächennahe Geothermie bzw. Grundwasser) höher als die von Außenluftwärmepumpen.

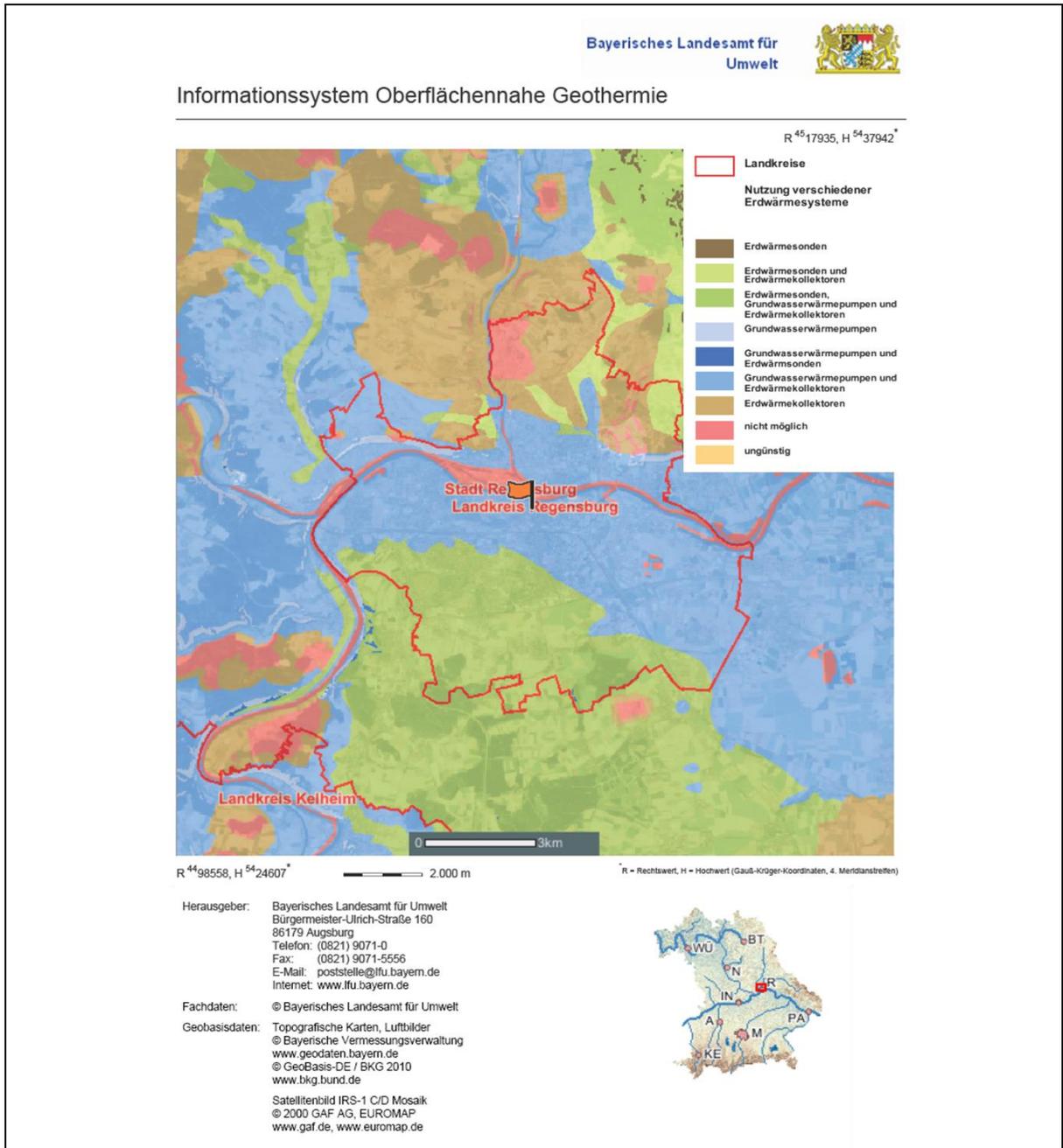


Abbildung 35: Eignungsgebiete für oberflächennahe Geothermie in Regensburg

6 CO₂-Minderungspotenziale durch thermische Nutzung von Abwasser

Abwasser in der Kanalisation hat üblicherweise ganzjährig zuverlässig Temperaturen über 10°C und eignet sich bei ausreichendem Abwasseraufkommen deshalb gut als Wärmequelle für Wärmepumpen.

Um Abwärme aus Kanalabwasser zu nutzen, wird ein Wärmetauscher in den Abwasserkanal eingebracht, um Energie aus dem vorbeifließenden Wasser aufzunehmen. Da das Kanalwasser nur relativ niedrige Temperaturen (etwa 10-20°C) aufweist, muss das Temperaturniveau mit Hilfe einer Wärmepumpe angehoben werden, damit die enthaltene Wärme zu Heizzwecken genutzt werden kann. Dabei muss darauf geachtet werden, dass das Kanalabwasser nicht zu stark ausgekühlt wird, weil die Kläranlagen eine Mindesttemperatur benötigen (meist etwa 10°C), um das Abwasser ausreichend reinigen zu können (Verringerung der Nitrifikationsleistung durch Temperatursenkung). Meist wird bei derartigen Projekten das Abwasser allerdings nur geringfügig abgekühlt, was die Temperatur des gesamten Abwassers in der Kläranlage nur unwesentlich beeinflusst. In den nächsten zehn bis fünfzehn Jahren ist in Regensburg eine Zubaurate an Abwasserwärmeanlagen zu erwarten, die keine signifikante Auswirkung auf das Temperaturniveau in der Kläranlage bewirkt, so dass eine Nutzung auch für größere Gebäudezahlen unproblematisch ist (siehe hierzu die Dokumentation der Fachworkshops zum Energienutzungsplan).

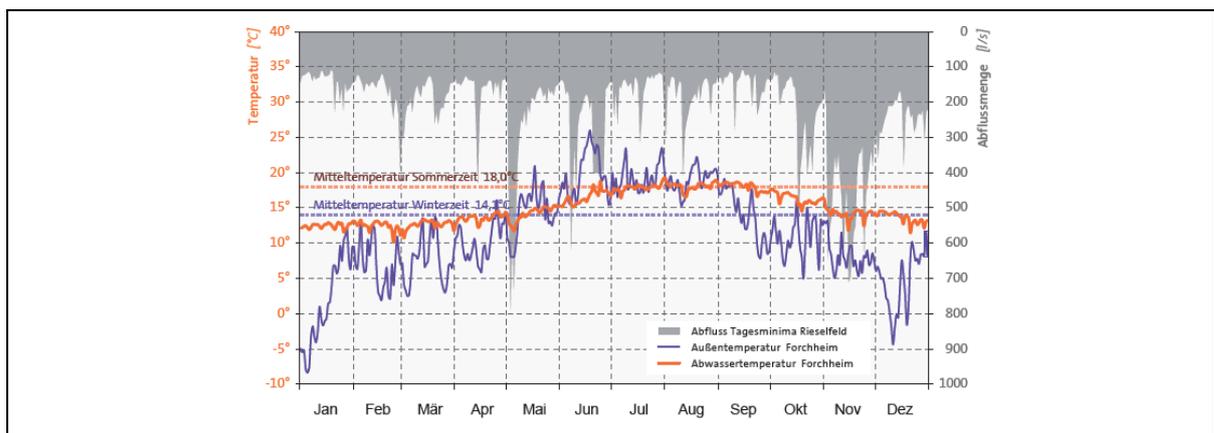


Abbildung 36: Beispielhafter Temperaturverlauf des Abwassers in der Breisgauer Bucht [43]

Kanalabwasser ist erst ab einer bestimmten kontinuierlich verfügbaren Zuflussmenge im Kanal sinnvoll nutzbar. Ein Orientierungswert für eine solche Untergrenze ist ein Trockenwetterdurchfluss von 15 Liter pro Sekunde¹⁰. Zudem darf die Entfernung der zu beheizenden Gebäude vom Kanal nicht zu groß sein, um die Investitionen für die Verbindungsleitung und die Pumpleistung für den Wärmeträger zu begrenzen.

Weitere Voraussetzungen/betriebliche Anforderungen für die Wärmeenergiegewinnung aus Kanalabwasser sind [44]:

- Mindestdurchmesser der Kanäle von 800mm
- Mindestlänge des Kanals von 20m bis 150m

¹⁰ In geeigneten Fällen können auch Kanalabschnitte mit geringeren Durchflüssen untersucht werden.



- relativ gerade Streckenabschnitte der Kanäle
- Begehbarkeit der Kanäle
- Wärmebedarf des Wärmeabnehmers von mind. 150 kW (entspricht etwa 30 bis 50 Wohneinheiten)
- zusätzlich vorhandene Energieversorgung zur Abdeckung von Spitzenlasten
- keine Behinderungen des Kanalunterhalts durch eventuelle Einbauten

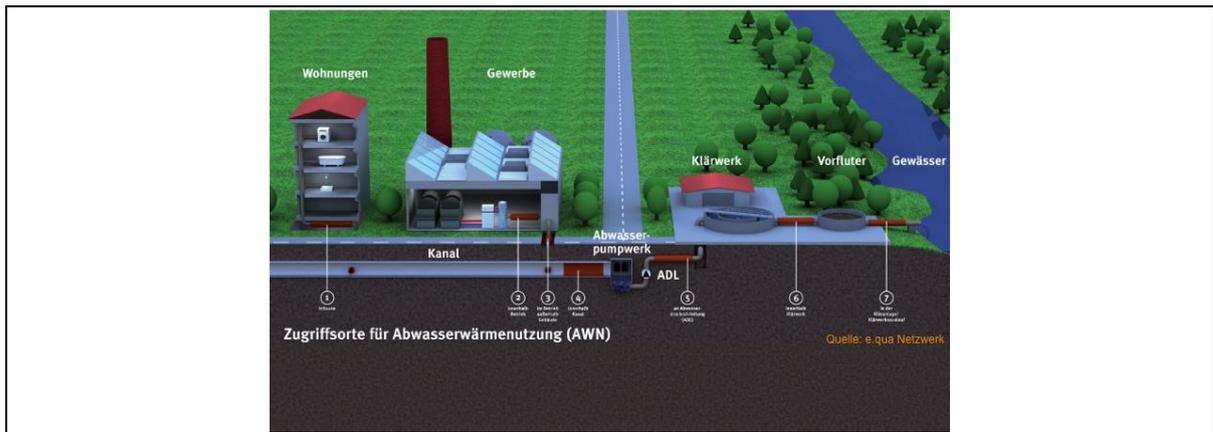


Abbildung 37: Einsatzgebiete der Abwasser-Wärmenutzung

Eine bereits in Regensburg eingesetzte Alternativtechnologie verwendet einen Entnahmeschacht, der in der Nähe des Abwassersammlers installiert wird. Durch diesen wird ein Teil des Abwassers ausgeleitet und durch einen externen Wärmeübertrager abgekühlt. Die enthaltene Wärme kann über eine Wärmepumpe zu Heizzwecken genutzt werden. Diese Variante kann eingesetzt werden, wenn der Kanal nicht für den Einbau eines Wärmetauschers geeignet ist.

In Regensburg gibt es bereits mehrere Projekte zur Abwasser-Wärmenutzung. Abbildung 38 zeigt als Ergebnis einer ersten Potenzialuntersuchung der Stadt aus dem Jahr 2008 Flächen, die für eine Wärmenutzung des Abwassers in die engere Auswahl kommen. Die bekannten Gesamtwärmeverbräuche dieser Gebiete bzw. Einzelabnehmer betragen nach der damaligen Untersuchung etwa 56 GWh/a. Dazu kommen Verbräuche von bisher unbebauten Gebieten, wie beispielsweise das Gebiet „Frauenzellstraße“ (Abbildung 38, Baugebiet „B2“).

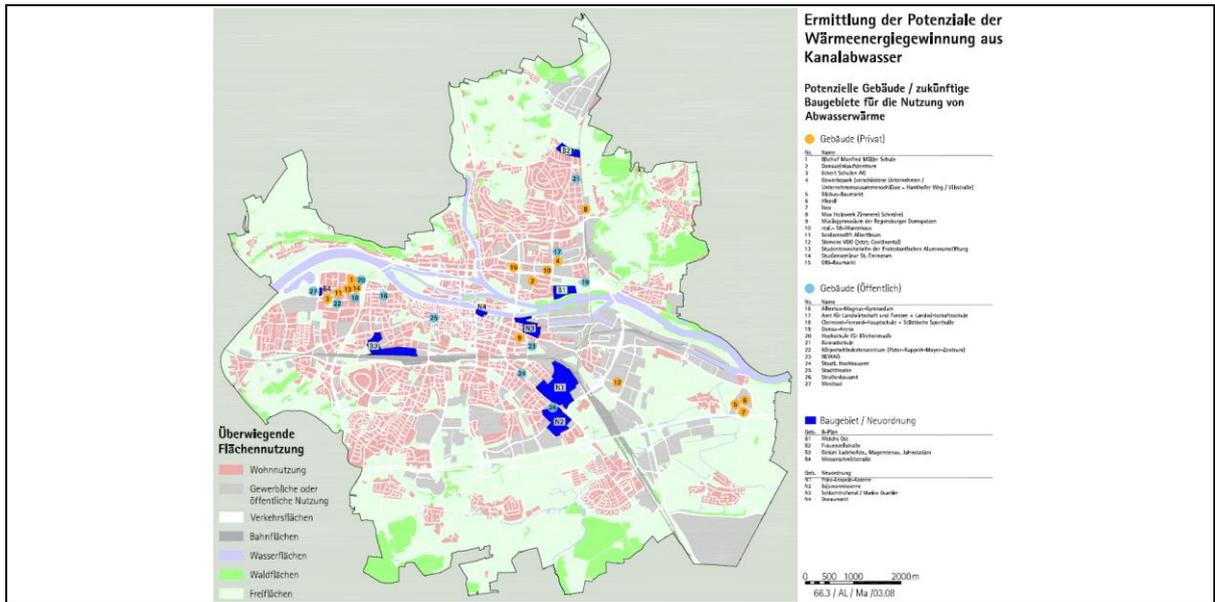


Abbildung 38: Potenzialkarte der Stadt Regensburg aus dem Jahr 2008 für die Wärmeenergiegewinnung aus Kanalabwasser [45]

Zur Zeit sind bereits zwei Projekte in Regensburg in der Planung und Umsetzung: das Gelände am Donaumarkt (Museum der Bayerischen Geschichte) sowie das Haus der Musik¹¹ am Bismarckplatz.



Abbildung 39: Arbeiten am Entnahmeschacht für das Haus der Musik in Regensburg [46]

Eine Darstellung des aktuellen Abwasser-Wärmepotenzials in Regensburg enthält Abbildung 40. Darin sind alle Kanäle mit Trockenwetterdurchflüssen ab 15 l/s dargestellt. Es sind weiterhin alle Gebäude nach ihren Distanzen zum nächstgelegenen geeigneten Abwasserkanal eingefärbt. Die maximalen Trockenwetter-Durchflussmengen betragen etwa 580 l/s, was bei einer Temperaturdifferenz von beispielsweise 3 Kelvin einer maximalen Wärmeentnahmeleistung von etwa 7,3 MW entspricht. Daraus lassen sich jährlich bis zu 64 GWh Wärme gewinnen. Die An-

¹¹ In den Untersuchungen der Stadt Regensburg wurde dieses Gebäude nicht untersucht



triebsenergie der Wärmepumpen (elektrisch) steht zusätzlich als Nutzenergie bereit, sodass weitere 20-30% dieser Wärmemenge zur Deckung des Heizbedarfs bereitstünden.

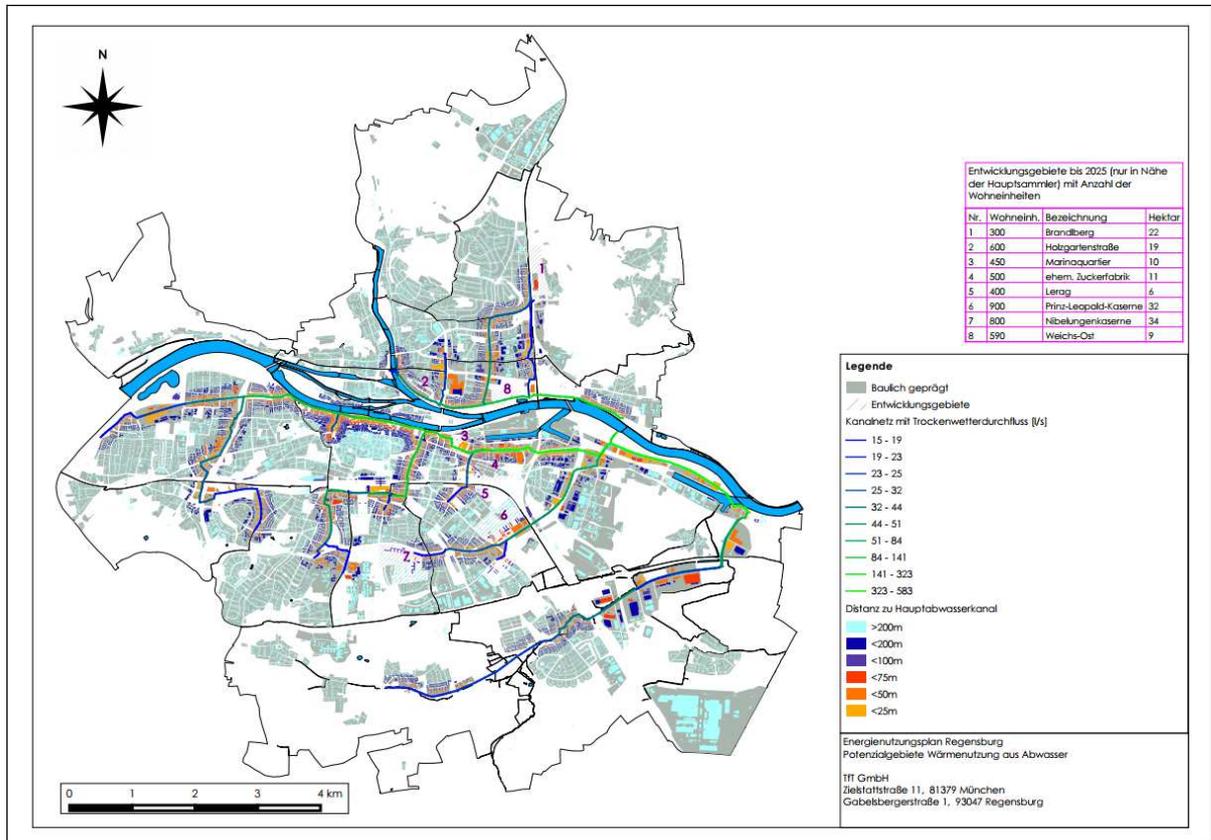


Abbildung 40: Kanalnetz mit Trockenwetterdurchflüssen ab 15 Litern pro Sekunde überlagert mit Gebäuden, eingestuft nach Abstand zum nächsten Hauptabwasserkanal und Entwicklungsgebiete in Nähe der Abwasserhauptsammler

Der Wärmebedarf der Gebäude in den definierten Korridoren beiderseits der großen Sammelkanäle ist in Abbildung 41 zusammengestellt. Beispielsweise beträgt der Wärmebedarf aller Gebäude innerhalb eines Abstands von maximal 75 Metern von größeren Sammlern etwa 330 GWh pro Jahr. Von diesem Bedarf könnte bei einer Auskühlung um 3 Kelvin etwa ein Viertel aus Abwasser-Wärme gedeckt werden. Zusätzlich zu diesem bestehenden Potenzial werden bis zum Jahr 2025 neue Wohngebiete mit annähernd 4.000 Wohneinheiten in der Nähe der Hauptsammler entwickelt (siehe ebenfalls Abbildung 40).

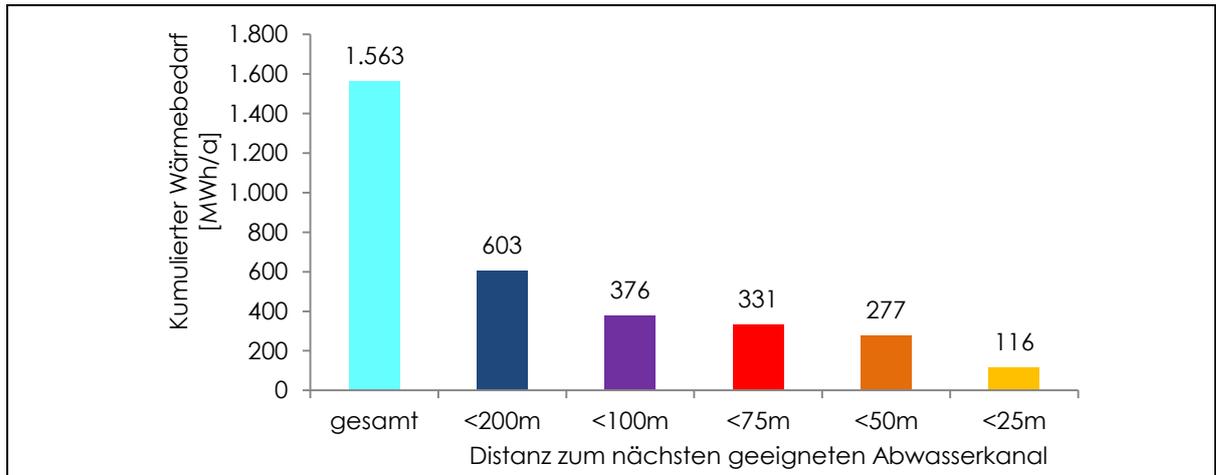


Abbildung 41: Kumulierter Wärmebedarf der Gebäude innerhalb definierter Abstände zu einem Hauptabwasserkanal¹²

¹² Verbrauchswerte aus dem Wärmekataster, daher nur örtlich bekannte Werte; Gesamtsumme geringer als realer Wärmeverbrauch



7 CO₂-Minderungspotenziale durch Abwärmenutzung

7.1 Allgemeines

Abwärme aus Industriebetrieben, die ansonsten ungenutzt in die Umgebung abgegeben würde, kann als Wärmequelle zur Heizung von umliegenden Gebäuden verwendet werden, wenn das Abwärmepotenzial zeitlich, räumlich, bezüglich der Leistung und bezüglich des Temperaturniveaus zu dem Wärmebedarf möglicher Versorgungsobjekte passt. Darüber hinaus müssen die Abwärmeströme technisch und wirtschaftlich sinnvoll auskoppelbar sein. Eine Nutzung kann schwierig sein, wenn etwa über Betriebsgelände verstreute Teilströme oder verunreinigte Abwärmemedien genutzt werden sollen. Weiterhin ist häufig neben Abwärmeerzeuger und potenziellem Abnehmer ein dritter Partner als Dienstleister erforderlich, der Versorgungssicherheit mit Heizkesseln sicherstellt und der die Investitionen in die erforderlichen technischen Maßnahmen vornimmt.

Eine Befragung unter Regensburger Unternehmen ergab, dass in den Produktionsstätten der BMW AG, der Molkereibetrieb Bayernland e.G., der Brauerei Bischofshof und der Druckerei Niedermayr möglicherweise Potenziale für nutzbare Abwärme bestehen.

7.2 Mögliche identifizierte Potenziale

7.2.1 Brauerei

Die Brauerei Bischofshof könnte Abwärme, die auf relativ niedrigem Temperaturniveau (35°C) in der Tageszeit zwischen 20.00 - 6.00 Uhr anfällt, in Zukunft auf dem Gelände Nähe Ladehofstraße (Neubaugebiet Innerer Westen – Dörnberg) in ein mögliches Nahwärmenetz einspeisen. Dazu müsste das Temperaturniveau mit Hilfe einer Wärmepumpe erhöht werden.

7.2.2 Kraftfahrzeugindustrie

Der Eigennutzungsgrad der Abwärme im BMW-Werk ist nicht bekannt, laut Energie-Atlas Bayern [34] und der Fragebogenauswertung existiert ein Abwärmepotenzial von 21.200 MWh/a auf einem Temperaturniveau von 110-170°C. Dies entspricht etwa einer Dauerleistung von 2,4 MW Wärme, die in einem Nah- oder Fernwärmenetz genutzt werden könnte. Allerdings ist dieses Abwärmepotenzial möglicherweise im Wesentlichen aus der im Rauchgas der Blockheizkraftwerke und Kessel noch vorhandenen Energie abgeleitet. Eine etwaige Nutzung dieser Energie muss erst an den Anlagen beurteilt werden. Sie kann deshalb nicht a priori als verfügbar eingestuft werden.

Etwa einen Kilometer nördlich der Abwärmequelle des BMW-Werks liegt die Ortschaft Harting, die noch zum Stadtgebiet von Regensburg gehört. Sie könnte – bei einem positiven Ergebnis der Beurteilung des Abwärmepotenzials – durch einen Nahwärmeanschluss über das BMW-Werk versorgt werden. Der Wärmebedarf in diesem bisher zu etwa zwei Dritteln mit Gas und etwa einem Drittel mit Heizöl versorgten Ortsteil beträgt etwa 9.164 MWh/a. Auch eine interkommunale Kooperation mit den Gemeinden Obertraubling oder Neutraubling ist denkbar, bei der die Abwärme in die umliegenden Gemeinden transportiert wird. Obertraubling liegt etwa 700 m entfernt, das Gewerbegebiet Neutraubling etwa 1,3 km (siehe Abbildung 42). Es ist zu untersuchen, inwiefern die Abwärmequellen auf dem Gelände technisch nutzbar gemacht und sinnvoll ausgekoppelt werden können und ob sich eine Nutzung in den umliegenden Gebieten wirtschaftlich darstellen lässt.

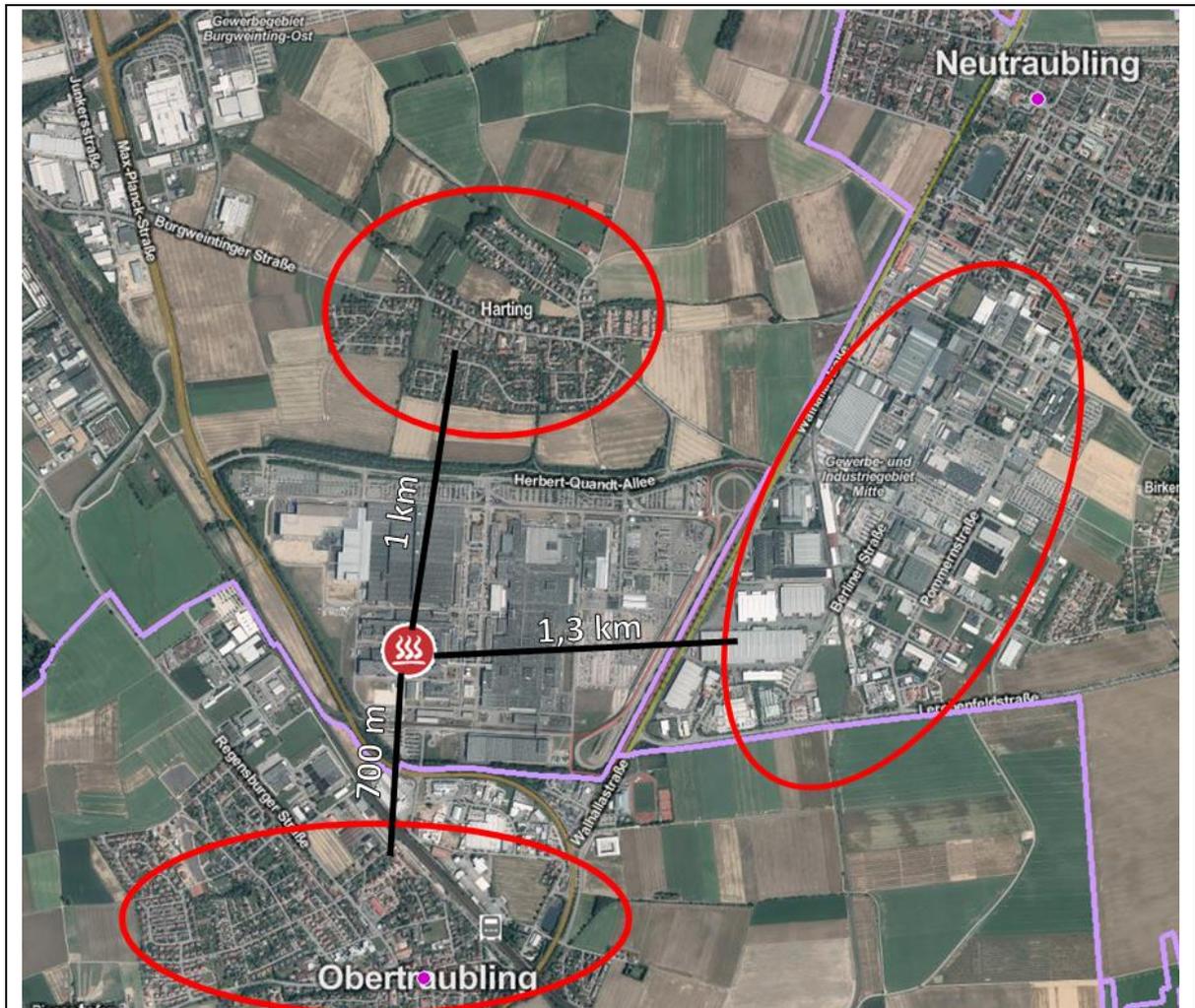


Abbildung 42: Lageplan der Abwärmequelle BMW-Werk und der umliegenden Bebauungsgebiete als potenzielle Wärmeabnehmer (Quelle Luftbild: [34])

Die Wärmebedarfsdichte ist in Harting im Vergleich zu anderen Teilen Regensburg gering. Sie liegt allerdings überwiegend deutlich über 150 Megawattstunden pro Hektar. Dies ist nach dem Leitfadens Energienutzungsplan die Untergrenze für den Einsatz von Wärmenetzen. Ab einem Anschlussgrad von etwa 60 % wäre diese Grenze erreicht. Im Klimaschutzszenario (siehe *Teilbericht B – Ist-Zustand Verbrauch*) sinken die Wärmebedarfsdichten zwischen den Jahren 2012 und 2030 um etwa 10 % bis 20 % ab. Wenn ein Wärmenetz errichtet würde, müsste also während der allmählichen energetischen Sanierung der Gebäude die Anschlussdichte sukzessive erhöht werden.



Abbildung 43: Wärmebedarfsdichten in Megawattstunden pro Hektar und Jahr in Harting für 2012 und für 2030 im Klimaschutzscenario

7.2.3 Molkerei

Weiterhin steht im Werk der Bayernland eG (ehemalige Domspitz Milch) trotz weitgehender betriebsinterner Abwärmenutzung ein noch ungenutztes Rest-Abwärmepotenzial zur Verfügung, das potenziell in der Umgebung als Wärmequelle genutzt werden könnte. Belastbare Potenzialzahlen liegen zum Zeitpunkt der Anfertigung des Energienutzungsplans nicht vor. Ein mögliches Versorgungsobjekt bei positivem Ausgang der technischen Prüfung könnte das benachbarte Werner-von-Siemens-Gymnasium sein.

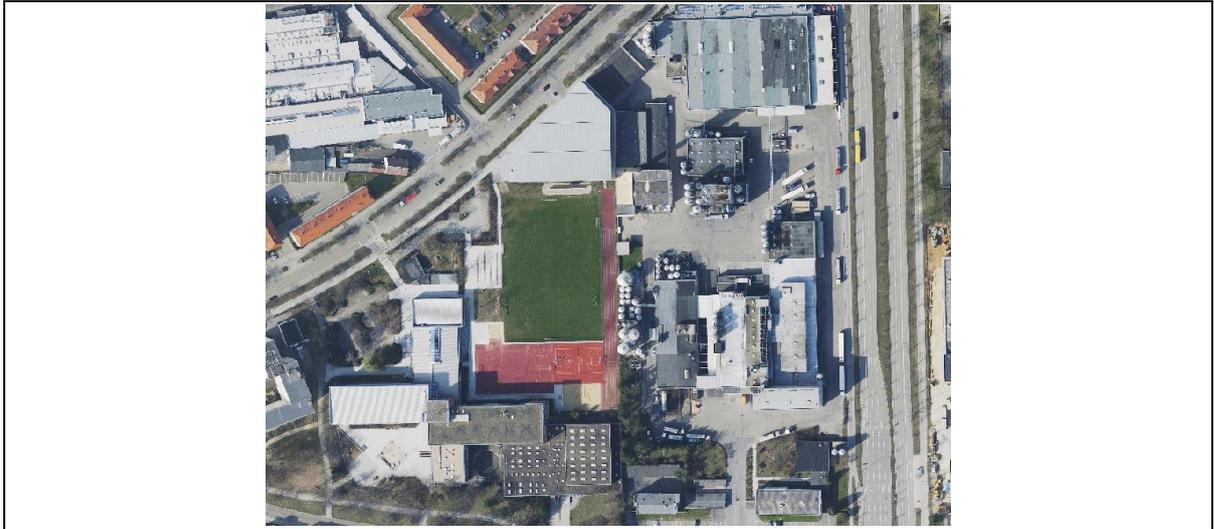


Abbildung 44: Molkerei und benachbartes Werner-von-Siemens-Gymnasium [47]

7.2.4 Druckerei

Auch die Druckerei Niedermayr besitzt aus Ihren großen Trocknungsanlagen möglicherweise ein Potenzial an nutzbarer Abwärme. Zurzeit wird betriebsintern das Energiemanagement und das Energiemonitoring erweitert. Nach Abschluss dieser Arbeiten wird ein etwaiges Abwärmepotenzial voraussichtlich nach Medien, Temperaturen, Leistungen und Zeitprofil bekannt sein. Damit kann beurteilt werden, ob ein Wärmeverbund mit benachbarten Betrieben möglich ist, und welche Voraussetzungen ggf. vorliegen müssen.

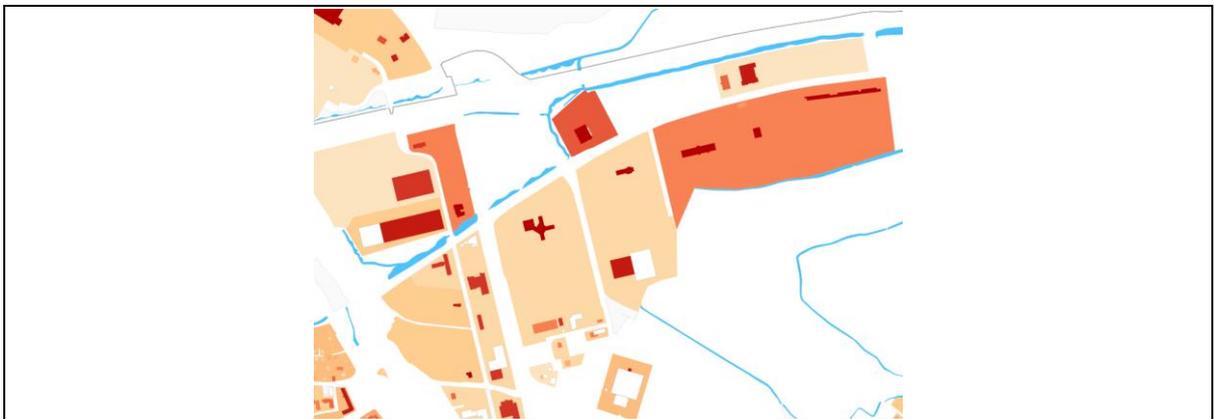


Abbildung 45: Ausschnitt aus Wärmekataster und Wärmedichtekarte: Gewerbegebiet in Burgweinting mit Druckerei Niedermayr und benachbarten Betrieben

7.3 Fazit

In Regensburg gibt es mindestens vier größere gewerblich-industrielle Abwärmepotenziale, die auf technische und wirtschaftliche Nutzbarkeit untersucht werden sollten. Die nutzbaren Leistungen und Energiemengen sind erst nach diesen Untersuchungen quantifizierbar, so dass keine Einsparpotenziale benannt werden können. Pro eingesparter Megawattstunde Erdgas könnten durch Abwärmenutzung 202 kg CO₂-Emissionen vermieden werden.



8 CO₂-Minderungspotenziale durch Windenergienutzung

Seit langer Zeit wird die Kraft des Windes vom Menschen nutzbar gemacht. Die Umwandlung der Bewegungsenergie der Luftmassen in mechanische (Windmühlen) oder elektrische Energie (moderne Windkraftwerke) wurde bisher vor allem an Land verwirklicht. Seit einigen Jahren wird auch der Bau von Windrädern im Meer forciert, da dort aufgrund der niedrigeren Rauigkeitswerte der Wasseroberfläche im Gegensatz zu Gebieten an Land deutliche höhere mittlere Windgeschwindigkeiten erreicht werden. Da die Windgeschwindigkeit in der dritten Potenz in die Berechnung des Energieertrags von Windkraftanlagen eingeht, können in Offshore-Anlagen deutlich höhere Volllaststunden erzielt werden. Allerdings stellen sich die Errichtung sowie der Netzanschluss der Anlagen bisher als sehr aufwändig dar.

Einzelanlagen gibt es in Größenordnungen von wenigen kW Leistung bis hin zu etwa 7,5 MW. Durch den Zusammenschluss zu Windparks mit mehreren Anlagen können an günstigen Standorten beträchtliche Leistungen installiert werden.

Aus Immissionsschutz- und baurechtlichen Gründen muss ein Mindestabstand von einem Windkraftstandort zu Wohn-, Schutz- und Mischgebieten sowie zu Infrastruktursystemen (z.B. Straßen oder Stromleitungen) eingehalten werden.

8.1 Anlagenbestand

In der Nähe von Wutzlhofen im Norden von Regensburg steht die einzige Windkraftanlage auf dem Stadtgebiet. Mit einer Leistung von 500 kW und einer Nabenhöhe von 65m wurde sie im Jahr 1998 von der Firma Windpower GmbH in Betrieb genommen [34]. Als Bürgerenergieanlage wurde sie u.a. mit der finanziellen Unterstützung von etwa 90 Bürgern errichtet.

Das Investitionsvolumen betrug etwa 1,15 Mio. DM und wurde mit insgesamt etwa 114.000 DM von der Stadt Regensburg gefördert.



Abbildung 46: Windkraftanlage Regensburg auf dem Mühlberg [48]



8.2 Windkraftpotenzial auf dem Stadtgebiet Regensburg

Der bayerische Windatlas [34] weist keinen günstigen Standort für eine weitere Windkraftanlage innerhalb der Stadtgrenzen von Regensburg ausdrücklich aus (Gebietskulisse Windkraft, günstiges Gebiet).

Die mittleren Windgeschwindigkeiten in 140 m Höhe betragen in weiten Teilen der Stadt unter 4,5 Meter pro Sekunde, in den Außenbereichen größtenteils zwischen 4,5 und 5,4 Meter pro Sekunde ([34], siehe Abbildung 49).

Im Nordwesten des Stadtgebiets befindet sich eine potenzielle Fläche zur Windkraftnutzung, die „Tremmelhauserhöhe“ mit etwa 10 Hektar. Diese Fläche muss allerdings noch die im Einzelfall untersucht werden. Die Windgeschwindigkeiten in 140 m Höhe betragen hier nach dem bayerischen Windatlas etwa 4,5-5,4 Meter pro Sekunde (Abbildung 49). Nach Untersuchungen der Ostwind GmbH liegen die Windgeschwindigkeiten abweichend davon sogar bei 5,8-6 Meter pro Sekunde (siehe *Teilbericht G - Dokumentation der Fachworkshops zum Energienutzungsplan*). Auf der betrachteten Fläche ließen sich zwei Anlagen aufstellen. Die potenzielle Energieerzeugung in dieser Lage beträgt etwa 12.600 MWh/a mit Windenergieanlagen von 140 m Nabenhöhe und einer Rotorfläche von etwa 7.854 m²¹³. Dies entspricht etwa einem Anteil von 1,1 % am Gesamtstromverbrauch in Regensburg. Setzt man den durchschnittlichen CO₂-Emissionsfaktor des deutschen Strommixes über die nächsten 20 Jahre an¹⁴, könnten die Anlagen etwa 5.620 Tonnen CO₂ pro Jahr vermeiden.

Trotz des nur spärlich besiedelten Gebiets in der Nähe des potenziellen Windkraftanlagenstandorts sind – auch wegen der Anlagenhöhe von etwa 200 m - Vorbehalte und Widerstand in der Bevölkerung gegen ein solches Projekt nicht auszuschließen. Auch hier sind die Städtebaulichen und stadtgestalterischen Zusammenhänge und Auswirkungen etwa auf Sichtachsen, das Welterbe etc. zu beachten.

Weiterhin ist es möglich, die bestehende Anlage durch eine größere und damit leistungsfähigere Windkraftanlage zu ersetzen (sogenanntes „Repowering“). Am bisherigen Anlagenstandort auf dem Mühlberg herrscht eine ähnliche Windhöflichkeit wie auf der Tremmelhauserhöhe.

Ein weiteres Potenzialgebiet befindet sich im äußersten Südwesten des Stadtgebiets (s. Abbildung 47). Der potenzielle Standort befindet sich im Staatswald und in einem sogenannten „Bannwald“, weshalb er besonders geschützt ist. Trotzdem kann ein derartiges Gebiet unter bestimmten Rahmenbedingungen als Standort für Windkraftanlagen dienen. Hier ist ein ähnliches Potenzial wie an den anderen beiden möglichen Standorten vorhanden.

¹³ $\varnothing_{\text{Rotor}}=100\text{m}$; ca. 3 MW; 2.100 Volllaststunden, Berechnung aus [45] mit Werten mittlere Windgeschwindigkeit in 10m Höhe: 2,8 Meter pro Sekunde; Höhe 140 m; Rauigkeit 0,4m; Formparameter 2; Fläche 7854 m²)

¹⁴ 446 g CO₂/kWh, siehe Abschnitt 5.5.3

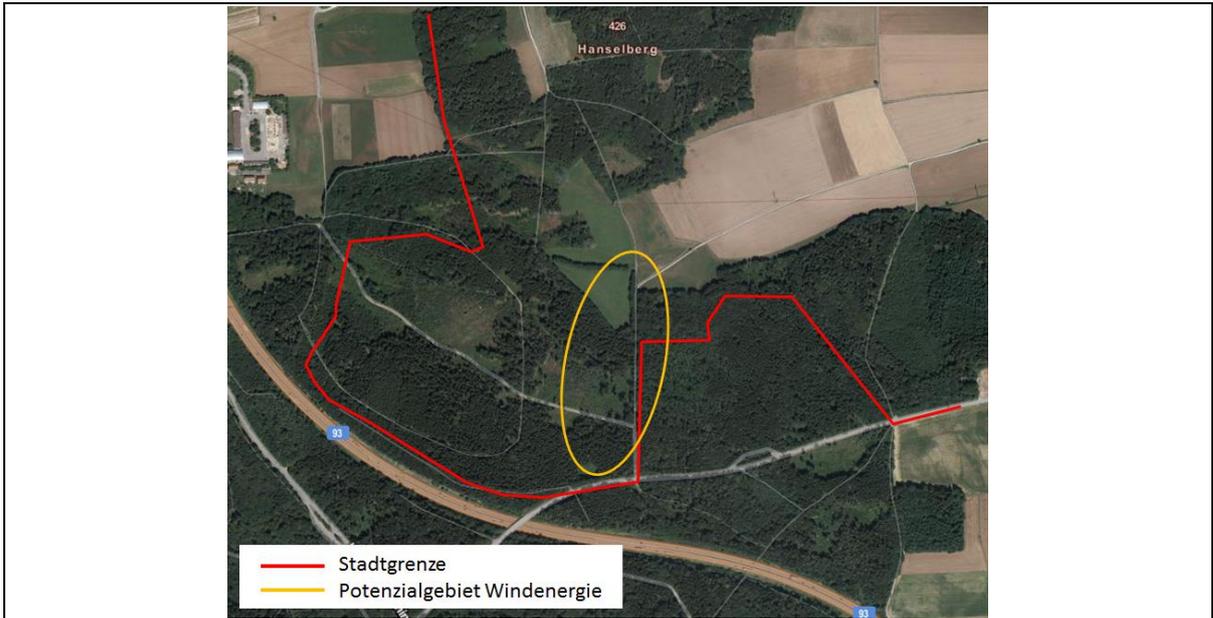


Abbildung 47: Potentialgebiet Windenergie im Südwesten des Stadtgebiets

Im Zuge der Regionalplanung für das Regionsgebiet 11, in dem die Stadt Regensburg liegt, sollen Vorrang-, Vorbehalts- sowie Ausschlussgebiete zur Windkraftnutzung ausgewiesen werden. Die Regionalplanung soll fortgesetzt werden, sobald der Landesentwicklungsplan 2013 in Kraft getreten ist ([49], Mitteilung vom 20.6.2013).

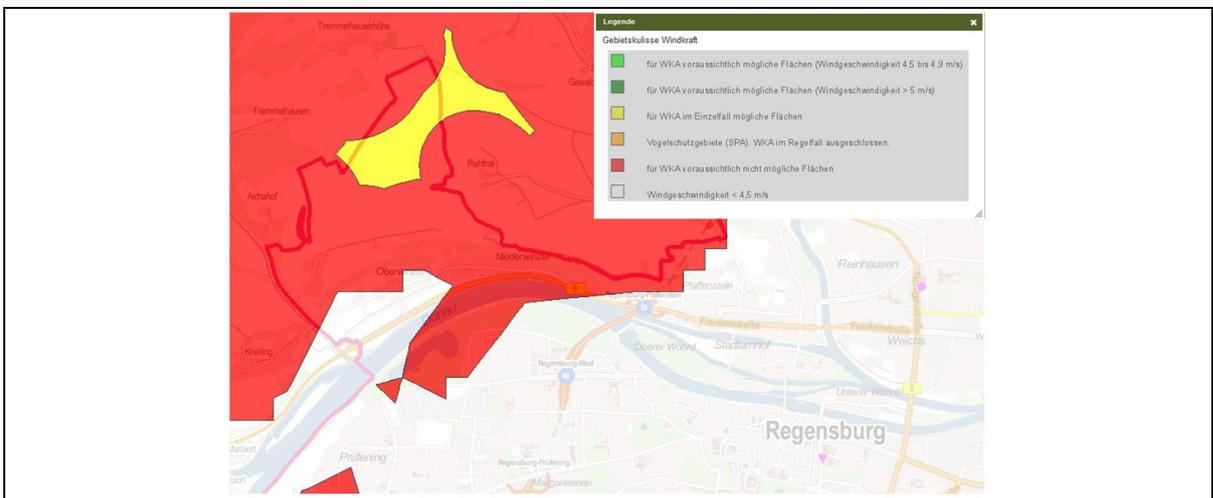


Abbildung 48: Gebietskulisse Windkraft [34]

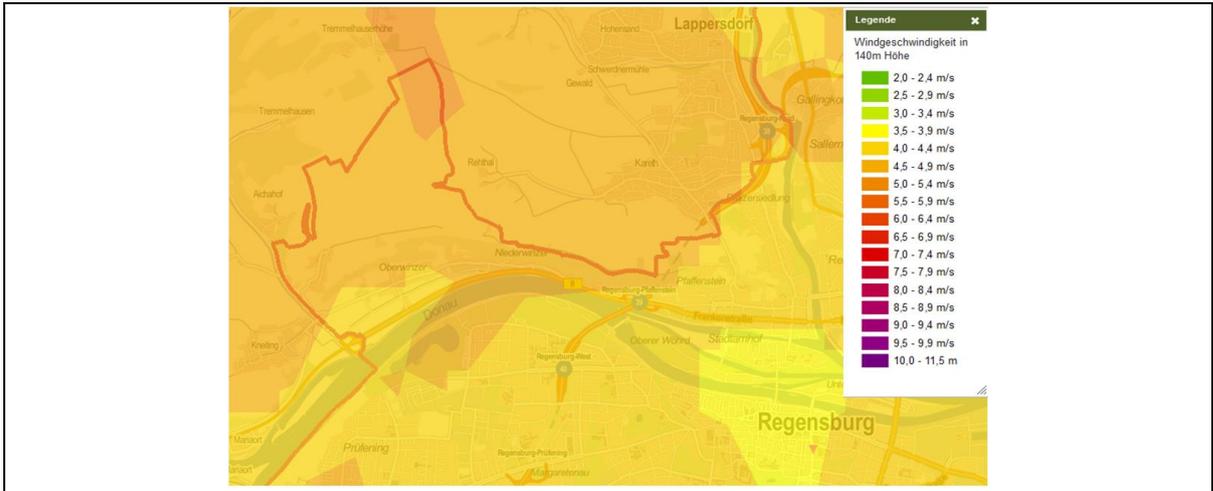


Abbildung 49: Windgeschwindigkeiten in 140 m Höhe im Nordwesten von Regensburg [34]



Abbildung 50: Überschneidung von im Einzelfall möglichen Flächen für die Windkraftnutzung (siehe Abbildung 48) und den windstärksten Gebieten in Regensburg (siehe Abbildung 49) (eigene Darstellung nach [34])



9 CO₂-Minderungspotenziale durch Wasserkraftnutzung

9.1 Anlagenbestand

Innerhalb des Stadtgebiets von Regensburg fließen die großen Flüsse Donau und Regen. Weiterhin gibt es den Islinger Mühlbach, den Aubach, den Aufragen sowie den Lohgraben als (sehr) kleine Bäche. Diese sind aufgrund der geringen Dimensionen nicht für eine Nutzung als Wasserkraftstandort geeignet.

Die einzige gewerbliche Wasserkraftanlage in der Stadt Regensburg liegt am westlichen Ende des Stadtteils „Stadtamhof“ [50] bzw. der Donauinsel „Oberer Wöhrd“. Hier werden das Donauwasser südlich der Donauinseln sowie der Mittelstrom zwischen den Donauinseln gestaut. Die installierte Leistung beträgt 7,2 MW mit zwei Turbinen und einer Fallhöhe von 5,20 m. Das Regelarbeitsvermögen der Anlage wird vom Eigentümer, der RMD AG, mit 49 Mio. kWh angegeben [51]. Das Kraftwerk wurde im Jahr 1977 errichtet und wird seitdem von der E.ON Kraftwerke GmbH betrieben.

Im Jahr 1990 wurde zudem am gleichen Standort das sogenannte „Triebwerk Regensburg“ mit 2,25 MW Leistung installiert. Das Regelarbeitsvermögen dieser Anlage beträgt 14 Mio. kWh.

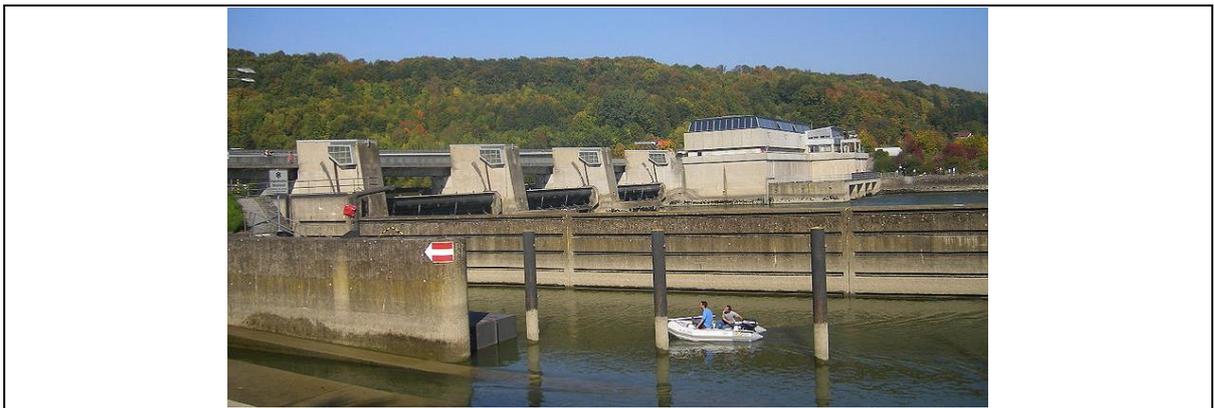


Abbildung 51: Wasserkraftwerk in Regensburg [52]

9.2 Potenziale für Wasserkraftnutzung in Regensburg

9.2.1 Donau

Der Höhenunterschied der Donau innerhalb des Stadtgebiets von Regensburg beträgt etwa 6,4 m (Mariaort: 332,5m ü. NN, Kreuzhof: 326,1m ü. NN). Mit einer Fallhöhe von 5,20 Metern nutzt das bestehende Wasserkraftwerk Regensburg bereits den größten Teil des Wasserkraftpotenzials der Donau aus. Das Potenzial eines möglichen Schleusenkraftwerks im nördlichen Donauström muss gesondert untersucht werden.

Als Alternative ließen sich sogenannte „Strombojen“ im fließenden Gewässer installieren, die momentan noch nicht verfügbar sind, voraussichtlich aber in naher Zukunft (siehe Abbildung 52). Sie ernten bis zu 70 kW Dauerleistung und benötigen 300cm Mindestwassertiefe bei Niederwasser¹⁵. Das System benötigt kein Querbauwerk wie eine Staustufe, sondern kann im freien

¹⁵ L: 11m, B: 5,5m, H: 3,4m, Gewicht: 6,4t [53]



Fließgewässer installiert werden. Pro Einheit sind laut Hersteller bis zu 300.000 kWh/a Stromerzeugung möglich.

Das Wasserwirtschaftsamt Regensburg sieht in Regensburg allerdings kein Potenzial für Strom-Bojen, da diese für einen wirtschaftlichen Betrieb ausreichende Fließgeschwindigkeiten benötigen. Im Bereich westlich des Donaukraftwerks befindet sich allerdings das Rückstauwasser des Kraftwerks, weshalb hier kein geeigneter Standort für derartige Anlagen liegt. Im Innenstadtbereich ist ein Einsatz aus denkmalschutzrechtlichen Gründen voraussichtlich nicht gestattet. Donauabwärts beginnt bereits bei Tegernheim die nächste Rückstauenebene mit der Staustufe Geisling, die hohe Fließgeschwindigkeiten verhindert.



Abbildung 52: „Strom-Boje®“ der Firma Aqua Libre [53]

9.2.2 Regen

Der Regen hat auf dem Stadtgebiet Regensburg kein Gefällepotenzial, sodass eine Staustufe mit Wasserkraftwerk nicht möglich ist. Der Rückstau der Donau im Regen geht fast bis Pielmühle im Norden von Regensburg, wo sich eine Wehranlage befindet. Diese wird aktuell noch nicht zur Stromerzeugung genutzt.

Von den Landeskraftwerken Bayern wird jedoch jenseits der Stadtgrenze im Rahmen eines Pilotprojekts der Bau eines Wasserkraftwerks für die Wehranlage mit einer Leistung von max. 500 kW und etwa 3.000 MWh/a geplant. Da der Regen nach der FHH-Richtlinie jedoch als Natura-2000-Schutzgebiet ausgezeichnet worden ist, besteht ein Verschlechterungsgebot, welches Eingriffe in die Durchgängigkeit des Flusses verhindern soll. Daher wird vorgeschlagen, zwei VLH- (Very Low Head) Turbinen einzusetzen, die durch ihre geringe Drehzahl als fischverträglich eingestuft werden. Für den Antrieb der Turbinen stehen eine Fallhöhe von etwa 1,70 m und ein Durchfluss von 36 m³/s zur Verfügung. Durch den Bau des Wasserkraftwerks könnten jährlich 1.650 t/CO₂ eingespart werden [54] [55] [56].

9.3 Fazit

Das CO₂-Vermeidungspotenzial durch den Einsatz von Wasserkraft auf dem Stadtgebiet Regensburg ist wohl weitgehend ausgeschöpft. Unmittelbar jenseits der Stadtgrenze wird momentan das Projekt Pielmühle entwickelt, mit dem zusätzliches Wasserkraftpotenzial erschlossen werden soll.



10 CO₂-Minderungspotenziale durch Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung

Kraft-Wärme-Kopplung stellt eine sehr gute Möglichkeit dar, den Energieinhalt von Brennstoffen bestmöglich auszunutzen. Im Gegensatz zu getrennten Anlagen zur Strom- bzw. Wärmeerzeugung erhöht sich der Brennstoffausnutzungsgrad bei KWK-Systemen deutlich. Bei modernen KWK-Anlagen liegt der Nutzungsgrad bei bis zu 85-90 %. Ausgehend von einem Nutzungsgrad von konventionellen Kraftwerken zur Stromerzeugung von 40 % und bei Gasbrennwertgeräten zur Wärmebereitstellung von 90 % erreicht man nur Gesamtwerte von etwa 65-70 %. Durch den deutlichen Anstieg der erneuerbaren Energien im deutschen Strommix verringert sich allerdings der ökologische Vorteil von KWK-Anlagen verglichen mit getrennten Erzeugungssystemen zunehmend.

KWK-Anlagen gibt es in den verschiedensten Dimensionen von wenigen Kilowatt bis hin zu mehreren 100 Megawatt Leistung. Im kleinen Leistungsbereich werden z.B. Einfamilienhäuser mit Heizwärme versorgt, während der erzeugte Strom im Gebäude selbst verbraucht oder, seltener, ins Stromnetz eingespeist wird. Gerade bei steigenden Strompreisen und sinkenden Einspeisevergütungen wird die Eigenstromproduktion immer attraktiver für Anlagenbetreiber. Größere Anlagen erzeugen Wärme häufig für Prozessanwendungen in der Industrie oder für Nah- bzw. Fernwärmesysteme.

Meist werden KWK-Anlagen als Grundlastwärmeerzeuger eingesetzt, damit sich die relativ hohen Anfangsinvestitionen über eine hohe Auslastung amortisieren. In Verbindung mit Spitzenlastkesseln können sie so den gesamten Wärmebedarf von angeschlossenen Verbrauchern abdecken. Zudem werden Blockheizkraftwerke meist wärmegeführt betrieben, d.h. dass sich der Betrieb nach dem Wärmebedarf richtet. In Einzelfällen wird eine KWK-Anlage nach dem Strombedarf gefahren, wobei in diesen Fällen sichergestellt werden sollte, dass ein genügend großer Abnehmer für die erzeugte Wärme vorhanden ist.

Als Brennstoff dient in vielen Fällen Erdgas, aber auch Biomethan. Kraft-Wärme-Kopplung mit Holzgas steht gerade am Übergang von der Pilotanlagenphase zur breiteren Markteinführung. Viele dieser Anlagen haben aber nach wie vor Probleme im Betrieb.

10.1 Anlagenbestand

In Regensburg wird die Kraft-Wärme-Kopplung bereits in mehreren Anlagen eingesetzt (siehe *Teilbericht C – Ist-Zustand Erzeugung*). Davon werden die meisten gewerblich mit fossilen Energieträgern betrieben und erzeugen Strom für den Eigenbedarf.

Abbildung 53 zeigt den Bestand an erdgasbefeuelten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in Regensburg und deren erzeugte Strommengen. Sie erzeugen etwa 108 GWh Strom und 112 GWh Wärme.

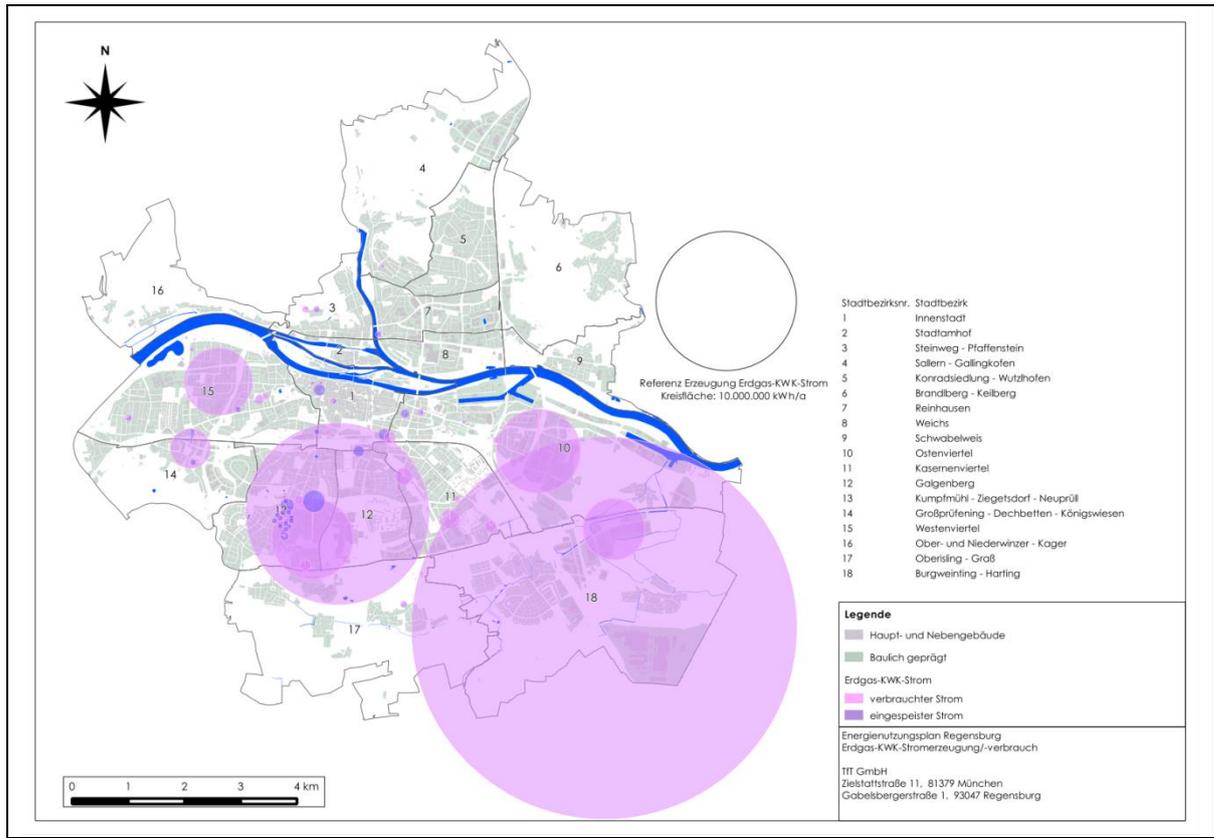


Abbildung 53: Bestand an KWK-Anlagen in Regensburg und zugehörige erzeugte Strommenge

10.2 KWK-Potenzial in Regensburg

Durch das erklärte Ziel der Bundesregierung, in Zukunft den Wärmebedarf von Gebäuden auf ein Mindestmaß zu reduzieren [57], wird der Absatzmarkt für Wärmeerzeuger wie zentrale KWK-Anlagen mittelfristig kleiner. Durch die relativ hohen Investitionskosten müssen KWK-Anlagen wie auch Fernwärmenetze mit geringer werdendem Wärmeabsatz große Herausforderungen bzgl. ihrer Wirtschaftlichkeit im Wettbewerb mit dezentralen (z.B. Wärmepumpen) oder mit erneuerbaren Energien betriebenen Systemen meistern.

Als lokaler Energieversorger investiert die REWAG bereits stark in den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. Durch die Neuordnung mehrerer Areale auf dem Stadtgebiet (z.B. Innerer Westen-Dörnberg, Neues Stadion, Leopoldkaserne) besteht teilweise erhebliches Potenzial für den Einsatz von KWK-Anlagen im Stadtgebiet. Im Innenstadtbereich besteht bisher kein größeres Fernwärmenetz und der Denkmalschutz erschwert eine Errichtung. Insellösungen für einzelne Großabnehmer sind aber denkbar.

Im kleineren Leistungsbereich mit dezentralen Anlagen besteht Potenzial im Bereich von Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern. Sowohl im Sanierungsfall als auch im Neubau können in solchen Gebäuden statt einer konventionellen Heizung Mini- oder Mikro-Blockheizkraftwerke eingebaut werden. Allerdings sind die hohen Anfangsinvestitionen ein Hindernis für den flächendeckenden Ausbau der KWK im kleinen Leistungsbereich [58]. Auch der Trend zu Niedrigenergiehäusern und Niedrigstenergiehäusern vermindert das KWK-Potenzial im privaten Bereich, da für Neubauten der Wärmebedarf immer niedriger wird und die BHKWs im kleinen Leistungsbereich höhere spezifische Kosten aufweisen als andere Wärmeversorgungstechnologien.

Das wärmenetzgebundene Potenzial für KWK-Anlagen in Regensburg wird an Hand der aktuellen Wärmedichte abgeschätzt. Ausgehend vom spezifischen Wärmeverbrauch pro Hektar und Jahr wird eine zukünftige Energieeinsparung von 50 % angenommen, was zu einem verminderten Wärmeabsatz für ein potenzielles Wärmenetz führt. Weiterhin wird für ein neues Wärmenetz ein Anschlussgrad von 40 % angenommen. Ferner wird eine Grundlastabdeckung durch KWK-Wärmeerzeuger von 60 % der Gesamtwärmemenge zu Grunde gelegt.

Diese Annahmen begrenzen das vorhandene KWK-Potenzial. Als Grenzwert für den wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmenetzes werden 150 MWh/(ha*a) verwendet [4]. Ausgehend von diesem Wert addiert sich das Potenzial für wärmenetzgebundene KWK-Anlagen auf etwa 108.000 MWh/a.

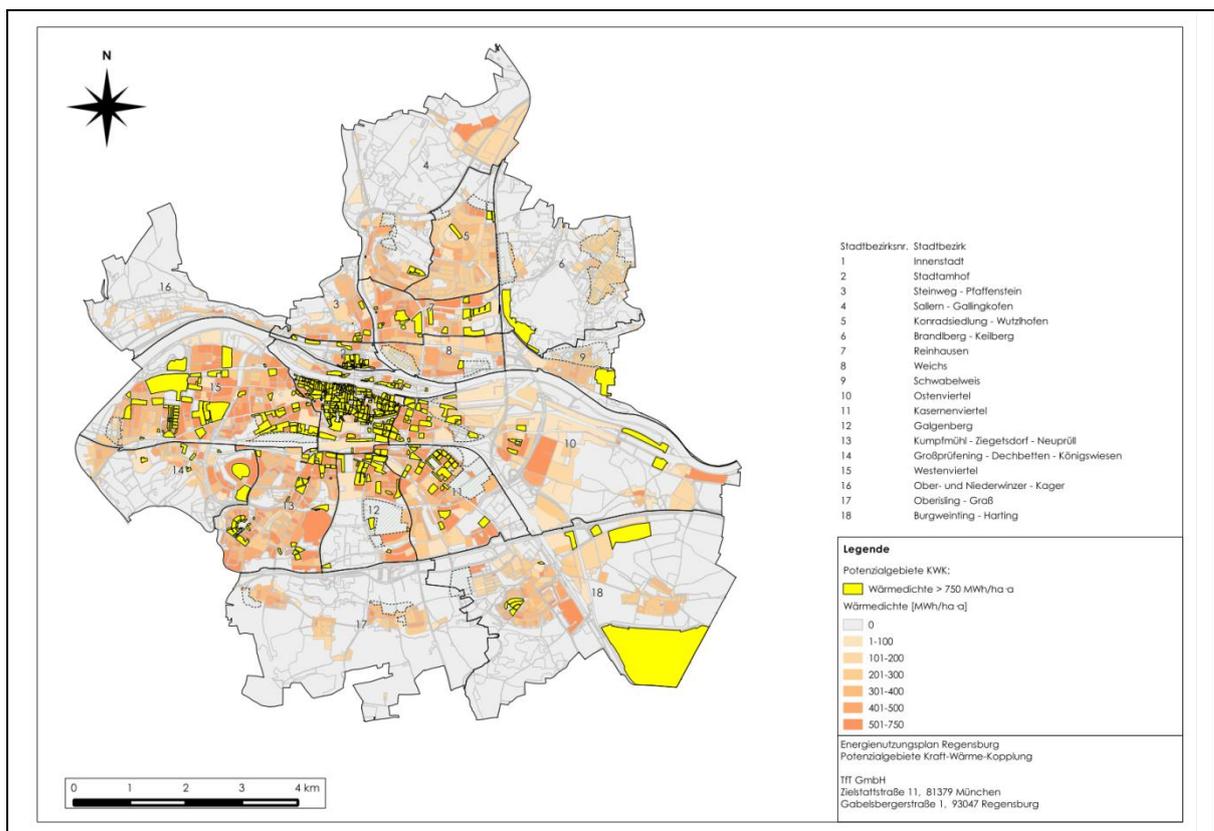


Abbildung 54: Potenzialgebiete für KWK-versorgte Wärmenetze. Gelbe Flächen markieren Gebiete mit einer Wärmedichte von >750 MWh/(ha*a), was unter den gegebenen Annahmen die Wirtschaftlichkeitsgrenze darstellt.



Quellenverzeichnis

- [1] Prognos AG, Öko-Institut, „Modell Deutschland - Klimaschutz vom Ziel her denken,“ Basel / Berlin, 2003.
- [2] S.-. u. R. i. B. f. B. u. R. Bundesinstitut für Bau-, „Raumordnungsprognose 2030,“ [Online]. Available: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumb Beobachtung/UeberRaumb Beobachtung/Komponenten/Raumordnungsprognose/Downloads/DL_uebersicht.html?nn=444934. [Zugriff am 16 10 2013].
- [3] Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI), „Faktencheck: Gebäudeenergieeffizienz,“ Berlin, 2013.
- [4] Technische Universität München - Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik und Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, „Leitfaden Energienutzungsplan,“ 2011.
- [5] Eclareon GmbH, „www.Solaratlas.de,“ [Online]. Available: www.solaratlas.de. [Zugriff am 29 07 2013].
- [6] EEG/KWK-G, „EEG / KWK-G,“ [Online]. Available: <http://www.eeg-kwk.net/de/index.htm>. [Zugriff am 13 09 2013].
- [7] TU München, *Vorlesung Solarthermie und Photovoltaik*, München, 2012.
- [8] Wikipedia, „Photovoltaik - Wikipedia,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik>. [Zugriff am 24 05 2013].
- [9] B. Hagemann, *Gebäudeintegrierte Photovoltaik: architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle*, Köln, 2002.
- [10] ECOSPEED AG, „ECOSPEED AG,“ [Online]. Available: <http://ecospeed.ch/>. [Zugriff am 12 09 2013].
- [11] Statistisches Bundesamt, „Statistisches Jahrbuch Deutschland und Internationales,“ Wiesbaden, 2012.
- [12] K. M., „Energie aus Biomasse (2.Auflage),“ Berlin, 2009.
- [13] Agentur für Erneuerbare Energien, „Hintergrundpapier,“ Berlin, 2008.
- [14] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), „Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen - Anregungen für kommunale Entscheidungsträger,“ Berlin, 2012.
- [15] Stadt Regensburg, Rechts- und Umweltreferat, „Klimaschutz - Aktivitäten in der Stadt Regensburg,“ Regensburg, 2012.
- [16] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Informationen aus der Abfallwirtschaft Hausmüll in Bayern - Bilanzen 2011,“ Augsburg, 2012.
- [17] StmUG, „<http://www.abfallberatung.bayern.de/>,“ [Online]. Available: <http://www.abfallberatung.bayern.de/koerperschaft.asp?gkz=362#TitelAllgemein>. [Zugriff am September 2013].
- [18] S. H., „Biogasgülle als aufgewerteter Wirtschaftsdünger für den landwirtschaftlichen Betrieb,“ Kassel.
- [19] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, „Statistik kommunal 2011 - Kreisfreie Stadt Regensburg,“ München, 2012.
- [20] Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), „Basisdaten Bioenergie Deutschland - Festbrennstoffe Biokraftstoffe Biogas,“ Gülzow, 2012.
- [21] R. Schütte, „Förderung der Strohnutzung in Deutschland (Folien zum Tagungsbeitrag zur 2. Internationalen Fachtagung Strohenergie),“ [Online]. Available: http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/Strohenergie2012/01_Schuette-freigegeben.pdf. [Zugriff am 2012].
- [22] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), „Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung - Machbarkeitsstudie,“ 2011.
- [23] Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Regensburg, „Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Regensburg - Der Wald in Zahlen im Dienstgebiet,“ [Online]. Available: http://www.aelf-re.bayern.de/daten_fakten/25414/index.php. [Zugriff am 02 10 2013].
- [24] „geoportal.bayern.de,“ [Online]. Available: <http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/>.
- [25] Stadt Regensburg, Umwelt- und Rechtsamt.
- [26] Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, „ICU – Ingenieurconsulting Umwelt und Bau: Nutzung von Biomasse in Berlin,“ Berlin, 2009.



- [27] G. H. H.-J. S. T. Raussen, „Konditionierung von Grünabfällen zur regionalen energetischen Nutzung,“ *Bio- und Sekundärrohstoffverwertung* 5, pp. 561-575.
- [28] Deutsches Biomasse Forschungs-Zentrum, „Bioenergie heute und morgen - 11 Bereitstellungskonzepte,“ Leipzig, 2010.
- [29] „www.viessmann.de,“ [Online]. Available: http://www.viessmann.de/de/Industrie-Gewerbe/Produkte/Holzfeuerungsanlagen/Pyroflex_FSB.html.
- [30] L. E. J. Moerschner, „Biomasse Heizkraftwerke - Technikauswahl und aggregierte Ergebnisdarstellung - Kurzfassung,“ Stuttgart.
- [31] Schnell Motoren AG, „Schnell Biomasse Kraftwerk 200-800kW,“ Amtzell, 2012.
- [32] „www.agnion.de,“ [Online]. Available: <http://www.agnion.de/technologie/anlagendaten.html>.
- [33] „www.hsenergie.eu,“ [Online]. Available: <http://www.hsenergie.eu/de/home/produkte/turbohpr/>.
- [34] Bayerische Staatsregierung, „Energie-Atlas Bayern,“ München.
- [35] Landesamt für Umwelt, [Online]. Available: http://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/geothermie_tief/index.htm. [Zugriff am 21. 08. 2013].
- [36] Erdwärme Bayern, „Erdwärme Bayern - Wissen - Geologie,“ [Online]. Available: <http://www.erdwaerme-bayern.de/geologie.htm>. [Zugriff am 22. 08. 2013].
- [37] Westbad Regensburg, „Westbad und Sauna-Paradies in Regensburg,“ [Online]. Available: www.westbad.de. [Zugriff am 26. 08. 2013].
- [38] BINE Informationsdienst, „BINE Informationsdienst: Themeninfo: Elektrisch angetriebene Wärmepumpen,“ [Online]. Available: <http://www.bine.info/themen/publikation/elektrisch-angetriebene-waermepumpen/>. [Zugriff am 22. 08. 2013].
- [39] Elektro Anderl, „Elektro Anderl OHG Bammental,“ [Online]. Available: <http://www.elektro-anderl.de/Bilder/erdwaerme.jpg>. [Zugriff am 21. 08. 2013].
- [40] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, „Jahresgang Temperatur,“ [Online]. Available: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/79926/>. [Zugriff am 14 11 2013].
- [41] Ecofys GmbH, „Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichtes gemäß § 18 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz,“ 2013.
- [42] Statista, „CO2-Emissionsfaktor für den Strommix in Deutschland bis 2012,“ [Online]. Available: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/>. [Zugriff am 22. 08. 2013].
- [43] Badenova AG und Co. KG, „Wärme aus Abwasser Technik und Potenzial in Freiburg i.Br. - 2002-6_KanalwaermeAbschlussbericht,“ [Online]. Available: https://www.badenova.de/mediapool/media/dokumente/unternehmensbereiche_1/stab_1/innovationsfonds/abschlussberichte/2002_1/2002-6_KanalwaermeAbschlussbericht.pdf. [Zugriff am 06 11 2013].
- [44] Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung, „Wärmeenergiegewinnung aus Kanalabwasser,“ Regensburg, 2008.
- [45] Stadt Regensburg, Tiefbauamt, „Ermittlung der Potenziale der Wärmeenergiegewinnung aus Kanalabwasser,“ Regensburg, 2008.
- [46] F. Bachstefel, *unveröffentlichte Präsentation zur Abwasserwärmenutzung der Stadt Regensburg, Amt für Hochbau und Gebäudeservice*, Regensburg, 2013.
- [47] Stadt Regensburg (Internetauftritt), „Stadtportal Regensburg,“ [Online]. [Zugriff am 10 11 2013].
- [48] Windpower GmbH, „Windpower GmbH - Windkraftanlagen in Bayern,“ [Online]. Available: <http://www.windpower-gmbh.de/bilder-windenergie/windkraftanlage-regensburg-hi.jpg>. [Zugriff am 23. 08. 2013].
- [49] Region Regensburg, [Online]. Available: <http://www.region-regensburg.de/aktuell.php>. [Zugriff am 22. 08. 2013].
- [50] E.ON Kraftwerke GmbH, „E.ON SE - Kraftwerkssuche,“ [Online]. Available: http://www.eon.com/de/ueberuns/struktur/asset-finder.html?_charset_=UTF-8&arearegion=deutschland&business-area-scope=on&business=wasser. [Zugriff am 26. 07. 2013].
- [51] Rhein-Main-Donau AG, [Online]. Available: <http://www.rmd.de/kraftwerke.php>. [Zugriff am 21. 08. 2013].
- [52] Wikipedia, „Kraftwerk Regensburg,“ [Online]. Available:



- https://de.wikipedia.org/wiki/Kraftwerk_Regensburg. [Zugriff am 23. 08. 2013].
- [53] Aqua Libre, „aqualibre.at,“ [Online]. Available: <http://www.aqualibre.at/>. [Zugriff am 21. 08. 2013].
- [54] Bayerische Landeskraftwerke, „Neubau Pielmühle,“ [Online]. Available: <http://www.landeskraftwerke.de/index.php?q=79>. [Zugriff am 11 11 2013].
- [55] Green Responsibility, „CO2-Umrechnungsfaktoren,“ [Online]. Available: <http://www.green-responsibility.de/wp-content/uploads/CO2-Umrechnungsfaktoren.pdf>. [Zugriff am 11 11 2013].
- [56] DoNaReA, „Informationsveranstaltung Pielmuehle 2012_7_16 Vortrag Paukner,“ [Online]. Available: http://www.donarea.de/Uploads/InformationsveranstaltungPielmuehle2012_07_16VortragPaukner.pdf. [Zugriff am 11 11 2013].
- [57] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, „BMU - Energiewende - Energiekonzept 2050 - Meilensteine: Gebäude,“ [Online]. Available: <http://www.bmu.de/themen/klima-energie/energiewende/beschluesse-und-massnahmen/energiekonzept-2050-meilensteine-gebaeude/>. [Zugriff am 22. 08. 2013].
- [58] Focus online, „Für wen lohnen sich die kleinen BHKW? - Strom und Wärme hausgemacht - FOCUS Online - Nachrichten,“ [Online]. Available: http://www.focus.de/immobilien/energiesparen/tid-24801/strom-und-waerme-hausgemacht-fuer-wen-lohnen-sich-die-kleinen-bhkw_aid_703083.html. [Zugriff am 22. 08. 2013].
- [59] Renewable Energy Concepts, „Renewable Energy Concepts Wind,“ [Online]. Available: <http://www.renewable-energy-concepts.com/german/windenergie/wind-basiswissen/kalkulator-windkraft-berechnen.html>. [Zugriff am 22. 08. 2013].
- [60] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), „dena-Sanierungsstudie Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden. Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“,“ Berlin, 2010.
- [61] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), „dena-Sanierungsstudie. Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden. Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“,“ Berlin, 2012.



Anlagenverzeichnis

ANLAGE I	UNTERSCHIEDLICHE SANIERUNGSNIVEAUS AM BEISPIELGEBÄUDE	II
ANLAGE II	FLÄCHEN MIT SCHUTZGEBIETEN	III
ANLAGE III FOTOVOLTAIK	BESTAND UND POTENZIAL AN SOLARTHERMIE UND DACHFLÄCHEN- IV	
ANLAGE IV	POTENZIELLE UNTERSUCHUNGSOBJEKTE FÜR ABWASSER-WÄRME	IX
ANLAGE V	KARTEN	X



Anlage I Unterschiedliche Sanierungsniveaus am Beispielgebäude

Allgemeine Angaben zum Gebäude

Objekt:

Beschreibung:

Gebäudetyp: freistehendes Mehrfamilienhaus
Baujahr: 1900
Wohneinheiten: 3

Beheiztes Volumen V_e : 3289 m³

Das beheizte Volumen wurde gemäß EnEV unter Verwendung von Außenmaßen ermittelt.

Nutzfläche A_n nach EnEV: 1052 m²

Die Bezugsfläche A_N in m² wird aus dem Volumen des Gebäudes mit einem Faktor von 0,32 ermittelt. Dadurch unterscheidet sich die Bezugsfläche im Allgemeinen von der tatsächlichen Wohnfläche.

Lüftung:

Das Gebäude wird mittels Fensterlüftung belüftet.

Nutzerverhalten:

Für die Berechnung dieses Berichts wurde das EnEV-Standard-Nutzerverhalten zugrunde gelegt:

mittlere Innentemperatur: 19,0 °C,
Luftwechselrate: 1,00 h⁻¹,
interne Wärmegewinne: 38498 kWh pro Jahr,
Warmwasser-Wärmebedarf: 13156 kWh pro Jahr.

Verbrauchsangaben:

Der Berechnung dieses Berichts wurde das EnEV-Standard-Nutzerverhalten und die Standard-Klimabedingungen für Deutschland zugrunde gelegt. Daher können aus den Ergebnissen keine Rückschlüsse auf die absolute Höhe des Brennstoffverbrauchs gezogen werden.

Den mittleren jährlichen Brennstoffverbrauch im aktuellen Zustand zeigt die nachfolgende Tabelle.

	berechneter Verbrauch	tatsächlicher Verbrauch
Nah-/Fernwärme aus KWK, erneuerbar	195.019 kWh	

Ist-Zustand des Gebäudes

Gebäudehülle

In der folgenden Tabelle finden Sie eine Zusammenstellung der einzelnen Bauteile der Gebäudehülle mit ihren momentanen U-Werten. Zum Vergleich sind die Mindestanforderungen angegeben, die die EnEV bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden stellt. Die angekreuzten Bauteile liegen deutlich über diesen Mindestanforderungen und bieten daher ein Potenzial für energetische Verbesserungen.

	Typ	Bauteil	Fläche in m ²	U-Wert in W/m ² K	U _{max} EnEV ^{*)} in W/m ² K	U _{max} KfW ^{**)} in W/m ² K
X	OG	Oberste Geschossdecke	299,00	2,10	0,24	0,14
X	WA	Außenwand	561,00	1,70	0,24	0,20
X	FA	Doppelverglasung	88,00	2,70	1,30	0,95
X	BK	Kellerdecke	299,00	1,20	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der EnEV vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Bei Innendämmung darf ein Wärmedurchgangskoeffizient von 0,35 W/m²K nicht überschritten werden. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke einzubauen. Wird bei vorhandenen Fenstern nur die Verglasung ersetzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert 1,30 W/m²K.

**) Die Mindestanforderungen an U-Werte für KfW-Förderungen gelten nicht für KfW-Effizienzhäuser, sondern für die KfW-Förderung von Einzelmaßnahmen. Die Anforderungen Stand 03/2013 können jederzeit aktualisiert werden.

Anlagentechnik

Heizung:

Zentralheizung mit Nah- oder Fernwärme (Kraft-Wärme-Kopplung, regen...

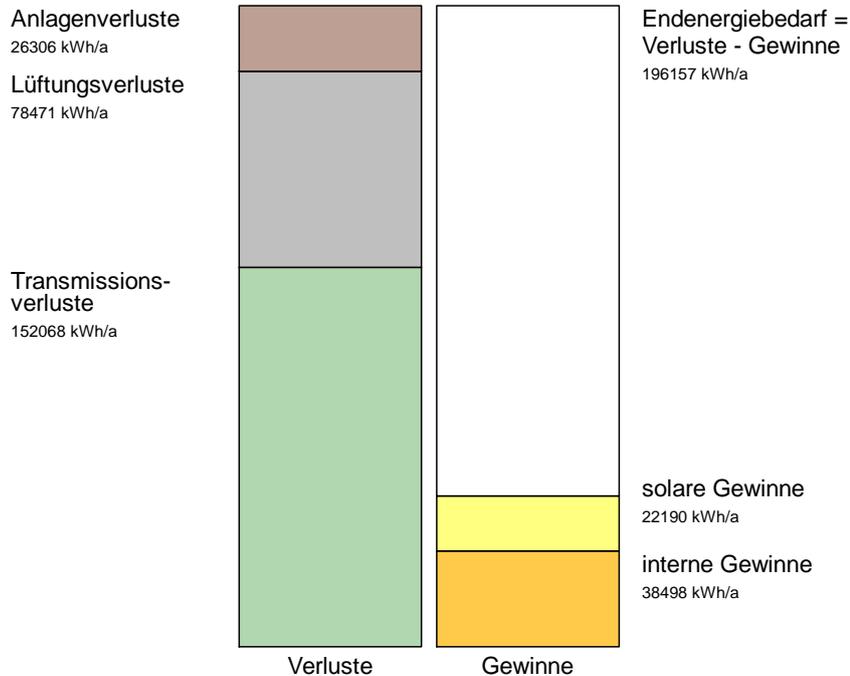
Warmwasser:

Zentrale Warmwasserbereitung über Nah- oder Fernwärme (Kraft-Wärm...

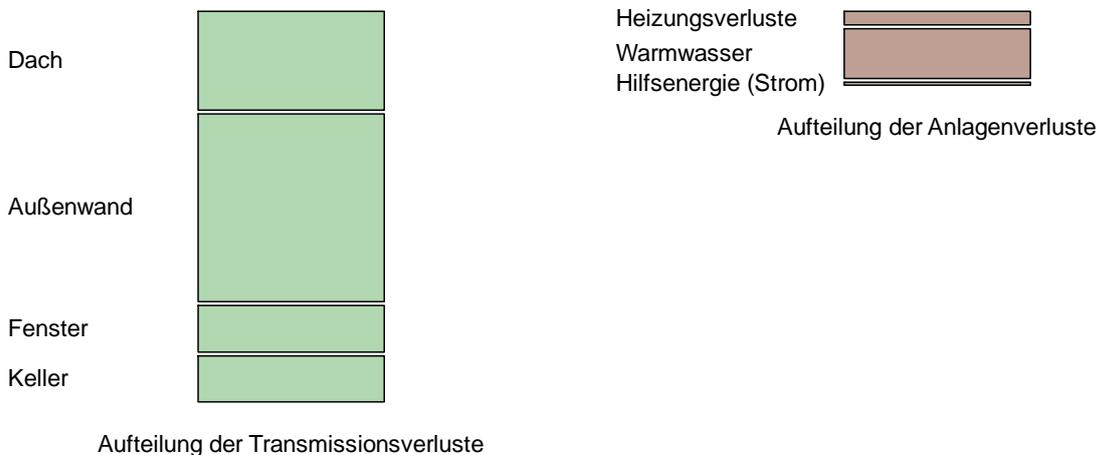
Energiebilanz

Energieverluste entstehen über die Gebäudehülle, durch den Luftwechsel sowie bei der Erzeugung und Bereitstellung der benötigten Energie.

In dem folgenden Diagramm ist die Energiebilanz für die Raumwärme aus Wärmegewinnen und Wärmeverlusten der Gebäudehülle und der Anlagentechnik dargestellt.



Die Aufteilung der Transmissionsverluste auf die Bauteilgruppen - Dach - Außenwand - Fenster - Keller - und der Anlagenverluste auf die Bereiche - Heizung - Warmwasser - Hilfsenergie (Strom) - können Sie den folgenden Diagrammen entnehmen. Die Energiebilanz gibt Aufschluss darüber, in welchen Bereichen hauptsächlich die Energie verloren geht, bzw. wo zurzeit die größten Einsparpotenziale in Ihrem Gebäude liegen.



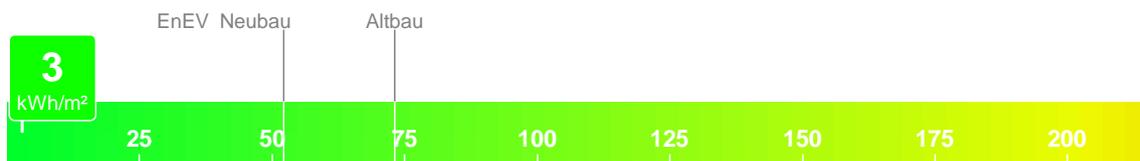
Bewertung des Gebäudes

Die Gesamtbewertung des Gebäudes erfolgt aufgrund des jährlichen Primärenergiebedarfs pro m² Nutzfläche - zurzeit beträgt dieser 3 kWh/m²a.

Gesamtbewertung

Primärenergiebedarf

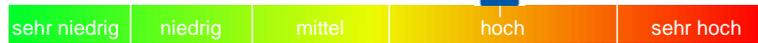
Ist-Zustand: 3 kWh/m²a



Gebäudehülle

Heizwärmebedarf

Ist-Zustand: 161 kWh/m²a



Anlagentechnik

Anlagenverluste

Ist-Zustand: -171 kWh/m²a



Umweltwirkung

CO₂-Emission

Ist-Zustand: -60 kg/m²a



Vorschläge für die energetische Modernisierung

Variante 1 : EnEV Altbau

Modernisierung der Gebäudehülle

Außenwände: Außendämmung um 6 cm, WLS 035

Dach / oberste Decke: Dämmung der obersten Geschosdecke um 4 cm, WLS 035

Fenster: Wärmeschutzverglasung

U-Wert-Übersicht der einzelnen Bauteile im modernisierten Zustand

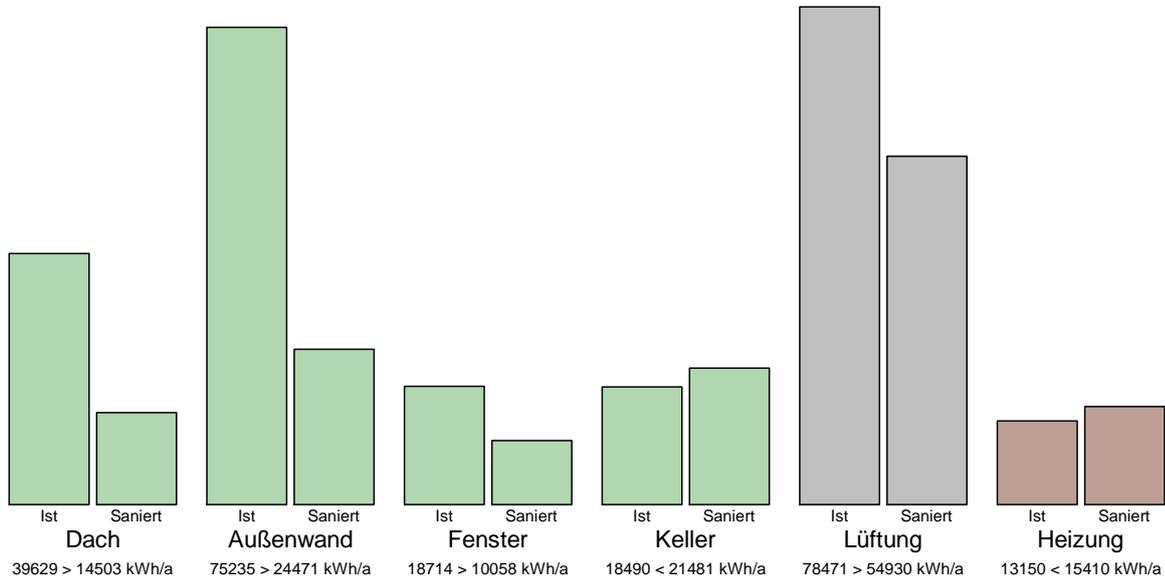
Typ	Bauteil	Fläche in m ²	U-Wert in W/m ² K	U _{max} EnEV ^{*)} in W/m ² K	U _{max} KfW ^{**)} in W/m ² K
OG	Oberste Geschosdecke - Dämmung 4 cm, W...	299,00	0,62	0,24	0,14
WA	Außenwand - Außendämmung 6 cm, WLS 035	561,00	0,43	0,24	0,20
FA	Doppelverglasung - Wärmeschutzverglasung	88,00	1,30	1,30	0,95
BK	Kellerdecke	299,00	1,20	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der EnEV vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Bei Innendämmung darf ein Wärmedurchgangskoeffizient von 0,35 W/m²K nicht überschritten werden. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke einzubauen. Wird bei vorhandenen Fenstern nur die Verglasung ersetzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert 1,30 W/m²K.

**) Die Mindestanforderungen an U-Werte für KfW-Förderungen gelten nicht für KfW-Effizienzhäuser, sondern für die KfW-Förderung von Einzelmaßnahmen. Die Anforderungen Stand 03/2013 können jederzeit aktualisiert werden.

Einsparung

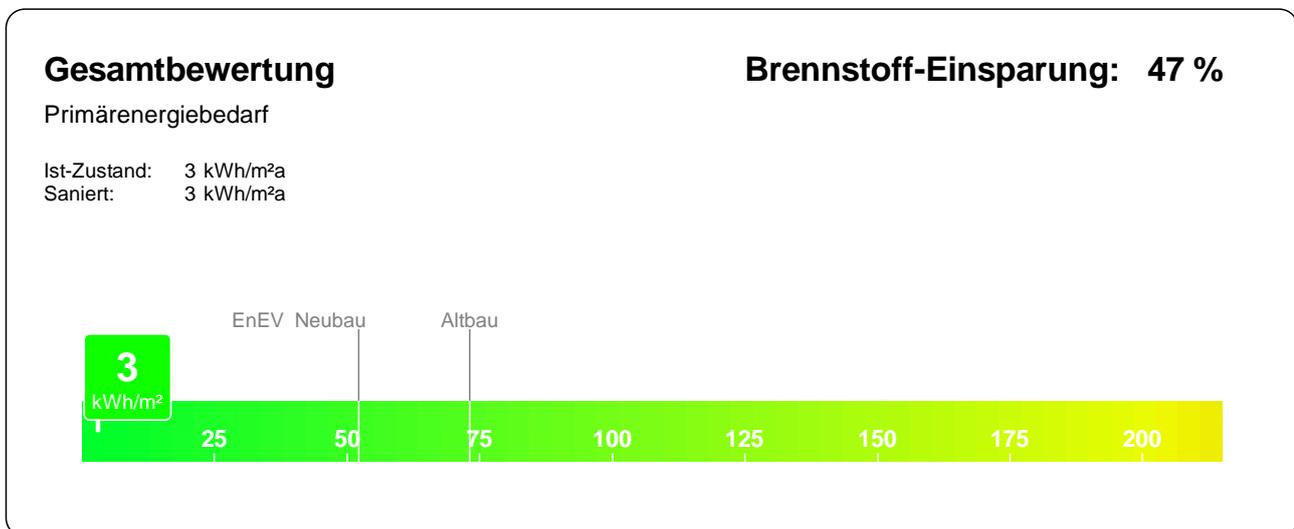
Nach Umsetzung aller vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes um 47 %. Den Einfluss auf die Wärmeverluste über die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage zeigt das folgende Diagramm.



Der derzeitige Endenergiebedarf von 196157 kWh/Jahr reduziert sich auf 103953 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 92204 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzerverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO₂-Emissionen werden um 30488 kg CO₂/Jahr erhöht. Dies wirkt sich negativ auf den Treibhauseffekt aus und schadet unserem Klima.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen erhöht sich der Primärenergiebedarf Ihres Gebäudes auf 3 kWh/m² pro Jahr. Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorgelagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.



Vorschläge für die energetische Modernisierung Variante 2 : Effizienzhaus 100 LA

Modernisierung der Gebäudehülle

Außenwände: Außendämmung um 12 cm, WLS 035

Dach / oberste Decke: Dämmung der obersten Geschosdecke um 12 cm, WLS 035

Keller: Dämmung der Kellerdecke von unten um 2 cm, WLS 035

Fenster: Wärmeschutzverglasung

U-Wert-Übersicht der einzelnen Bauteile im modernisierten Zustand

Typ	Bauteil	Fläche in m ²	U-Wert in W/m ² K	U _{max} EnEV ^{*)} in W/m ² K	U _{max} KfW ^{**)} in W/m ² K
OG	Oberste Geschosdecke - Dämmung 12 cm, ...	299,00	0,26	0,24	0,14
WA	Außenwand - Außendämmung 12 cm, WLS 035	561,00	0,25	0,24	0,20
FA	Doppelverglasung - Wärmeschutzverglasung	88,00	1,30	1,30	0,95
BK	Kellerdecke - Dämmung 2 cm, WLS 035	299,00	0,71	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der EnEV vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Bei Innendämmung darf ein Wärmedurchgangskoeffizient von 0,35 W/m²K nicht überschritten werden. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke einzubauen. Wird bei vorhandenen Fenstern nur die Verglasung ersetzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert 1,30 W/m²K.

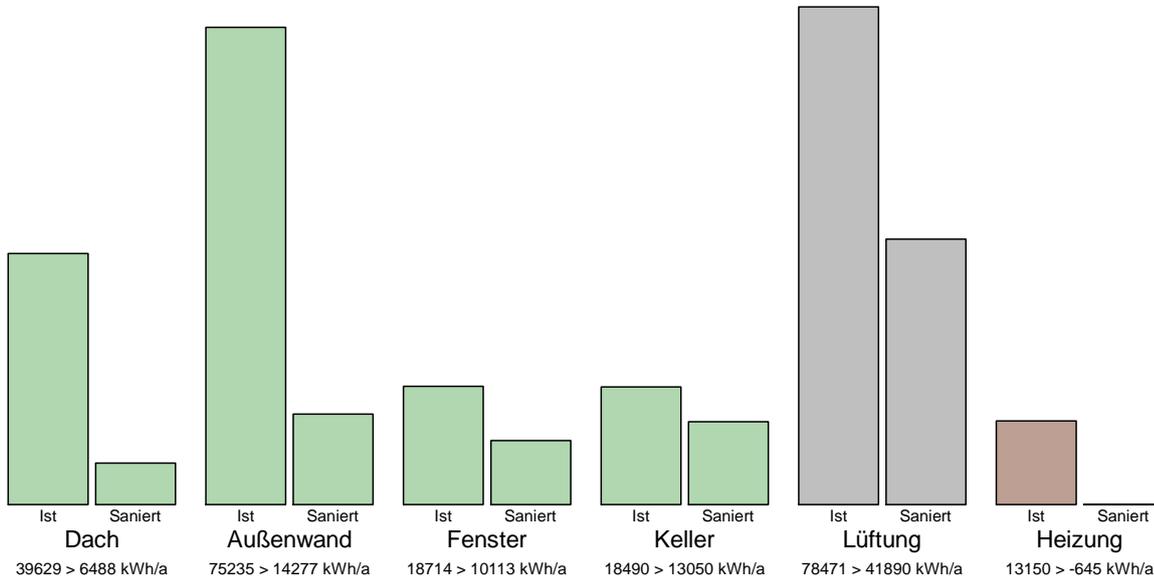
**) Die Mindestanforderungen an U-Werte für KfW-Förderungen gelten nicht für KfW-Effizienzhäuser, sondern für die KfW-Förderung von Einzelmaßnahmen. Die Anforderungen Stand 03/2013 können jederzeit aktualisiert werden.

Modernisierung der Anlagentechnik

Heizung: dezentrale Lüftungsanlage
Zentralheizung mit Nah- oder Fernwärme (Kraft-Wärme-Kopplung, regenerativ)

Einsparung

Nach Umsetzung aller vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes um 71 %. Den Einfluss auf die Wärmeverluste über die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage zeigt das folgende Diagramm.



Der derzeitige Endenergiebedarf von 196157 kWh/Jahr reduziert sich auf 56245 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 139912 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzerverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO₂-Emissionen werden um 50358 kg CO₂/Jahr erhöht. Dies wirkt sich negativ auf den Treibhauseffekt aus und schadet unserem Klima.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen erhöht sich der Primärenergiebedarf Ihres Gebäudes auf 14 kWh/m² pro Jahr. Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorgelagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 71 %

Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 3 kWh/m²a
 Saniert: 14 kWh/m²a



Vorschläge für die energetische Modernisierung Variante 3 : Effizienzhaus 70 LA

Modernisierung der Gebäudehülle

Außenwände: Außendämmung um 18 cm, WLS 035

Dach / oberste Decke: Dämmung der obersten Geschossdecke um 14 cm, WLS 035

Keller: Dämmung der Kellerdecke von unten um 10 cm, WLS 035

Fenster: Wärmeschutzverglasung

U-Wert-Übersicht der einzelnen Bauteile im modernisierten Zustand

Typ	Bauteil	Fläche in m ²	U-Wert in W/m ² K	U _{max} EnEV ^{*)} in W/m ² K	U _{max} KfW ^{**)} in W/m ² K
OG	Oberste Geschossdecke - Dämmung 14 cm, ...	299,00	0,22	0,24	0,14
WA	Außenwand - Außendämmung 18 cm, WLS 035	561,00	0,17	0,24	0,20
FA	Doppelverglasung - Wärmeschutzverglasung	88,00	1,30	1,30	0,95
BK	Kellerdecke - Dämmung 10 cm, WLS 035	299,00	0,27	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der EnEV vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Bei Innendämmung darf ein Wärmedurchgangskoeffizient von 0,35 W/m²K nicht überschritten werden. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke einzubauen. Wird bei vorhandenen Fenstern nur die Verglasung ersetzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert 1,30 W/m²K.

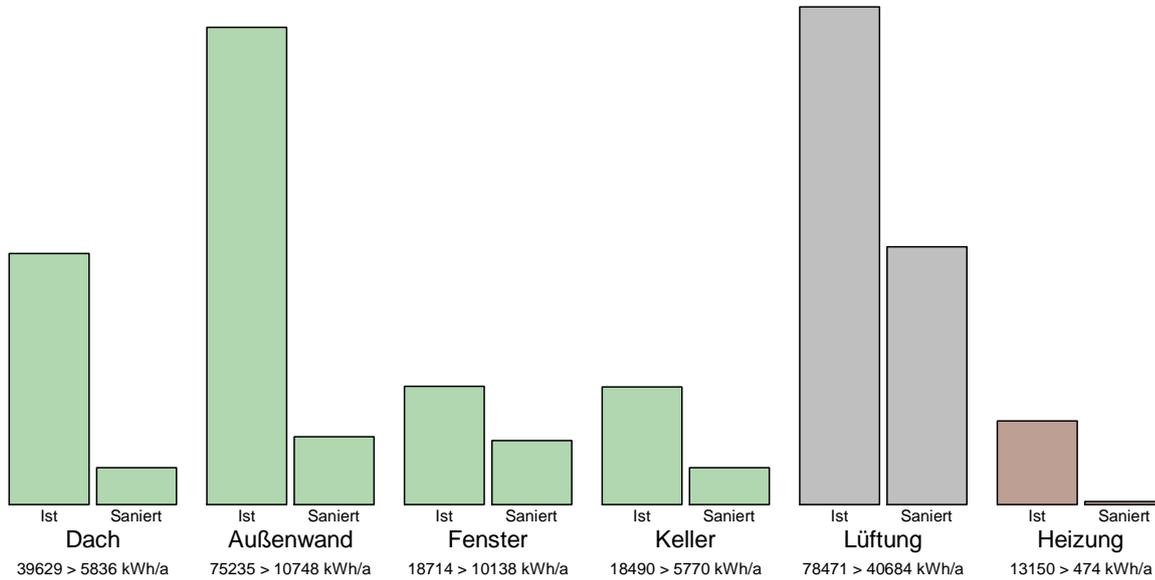
***) Die Mindestanforderungen an U-Werte für KfW-Förderungen gelten nicht für KfW-Effizienzhäuser, sondern für die KfW-Förderung von Einzelmaßnahmen. Die Anforderungen Stand 03/2013 können jederzeit aktualisiert werden.

Modernisierung der Anlagentechnik

Heizung: dezentrale Lüftungsanlage
Zentralheizung mit Nah- oder Fernwärme (Kraft-Wärme-Kopplung, regenerativ)

Einsparung

Nach Umsetzung aller vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes um 76 %. Den Einfluss auf die Wärmeverluste über die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage zeigt das folgende Diagramm.



Der derzeitige Endenergiebedarf von 196157 kWh/Jahr reduziert sich auf 47556 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 148601 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzerverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO₂-Emissionen werden um 53218 kg CO₂/Jahr erhöht. Dies wirkt sich negativ auf den Treibhauseffekt aus und schadet unserem Klima.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen erhöht sich der Primärenergiebedarf Ihres Gebäudes auf 14 kWh/m² pro Jahr. Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorgelagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 76 %

Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 3 kWh/m²a
 Saniert: 14 kWh/m²a



Vorschläge für die energetische Modernisierung Variante 4 : Effizienzhaus 55 LA

Modernisierung der Gebäudehülle

Außenwände: Außendämmung um 18 cm, WLS 035

Dach / oberste Decke: Dämmung der obersten Geschossdecke um 18 cm, WLS 035

Keller: Dämmung der Kellerdecke von unten um 8 cm, WLS 035

Fenster: Wärmeschutzverglasung

U-Wert-Übersicht der einzelnen Bauteile im modernisierten Zustand

Typ	Bauteil	Fläche in m ²	U-Wert in W/m ² K	U _{max} EnEV ^{*)} in W/m ² K	U _{max} KfW ^{**)} in W/m ² K
OG	Oberste Geschossdecke - Dämmung 18 cm, ...	299,00	0,18	0,24	0,14
WA	Außenwand - Außendämmung 18 cm, WLS 035	561,00	0,17	0,24	0,20
FA	Doppelverglasung - Wärmeschutzverglasung	88,00	0,90	1,30	0,95
BK	Kellerdecke - Dämmung 8 cm, WLS 035	299,00	0,32	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der EnEV vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Bei Innendämmung darf ein Wärmedurchgangskoeffizient von 0,35 W/m²K nicht überschritten werden. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke einzubauen. Wird bei vorhandenen Fenstern nur die Verglasung ersetzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert 1,30 W/m²K.

**) Die Mindestanforderungen an U-Werte für KfW-Förderungen gelten nicht für KfW-Effizienzhäuser, sondern für die KfW-Förderung von Einzelmaßnahmen. Die Anforderungen Stand 03/2013 können jederzeit aktualisiert werden.

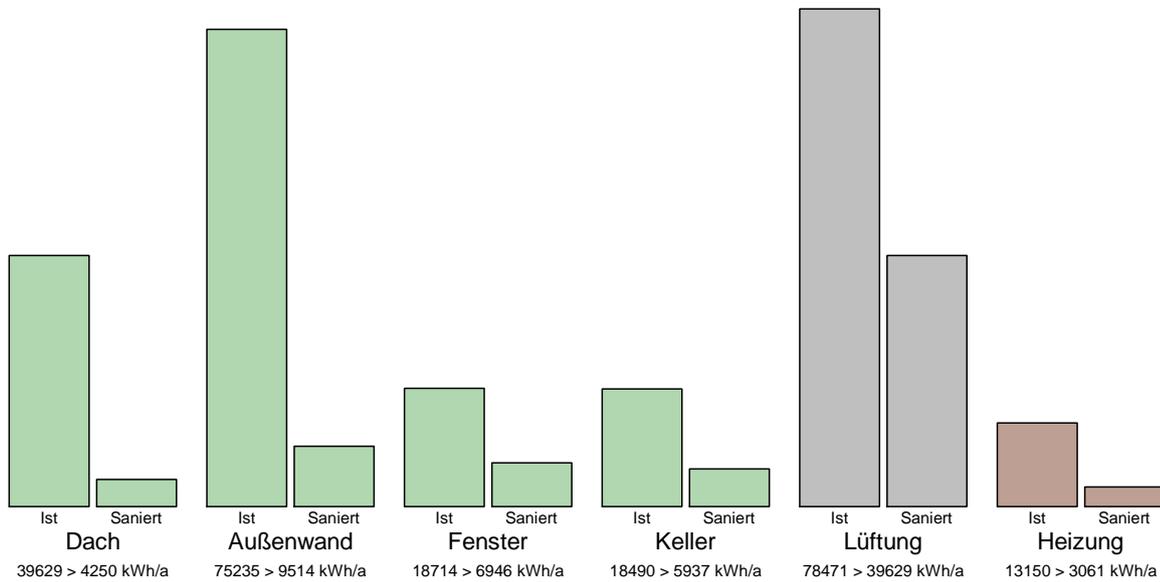
Modernisierung der Anlagentechnik

Heizung: dezentrale Lüftungsanlage
Zentralheizung mit Nah- oder Fernwärme (Kraft-Wärme-Kopplung, regenerativ)

Warmwasser: Zentrale Warmwasserbereitung über Heizungsanlage

Einsparung

Nach Umsetzung aller vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes um 77 %. Den Einfluss auf die Wärmeverluste über die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage zeigt das folgende Diagramm.



Der derzeitige Endenergiebedarf von 196157 kWh/Jahr reduziert sich auf 44931 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 151225 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzerverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO₂-Emissionen werden um 53951 kg CO₂/Jahr erhöht. Dies wirkt sich negativ auf den Treibhauseffekt aus und schadet unserem Klima.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen erhöht sich der Primärenergiebedarf Ihres Gebäudes auf 14 kWh/m² pro Jahr. Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorgelagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 77 %

Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 3 kWh/m²a
 Saniert: 14 kWh/m²a

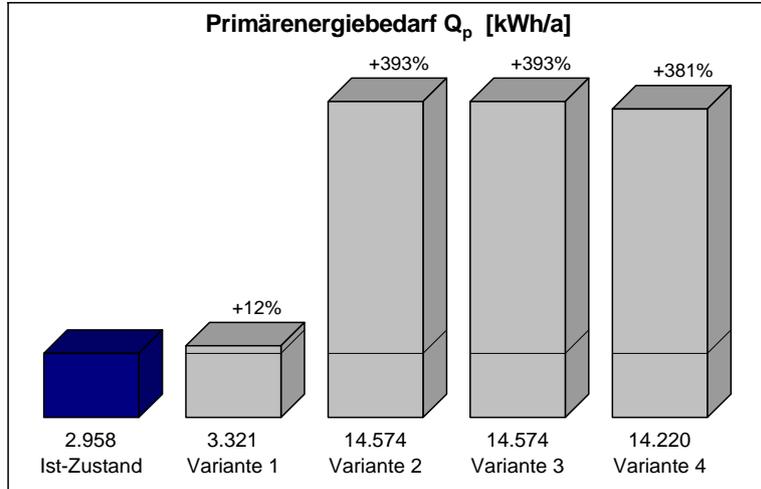


Zusammenfassung der Ergebnisse

Primärenergiebedarf

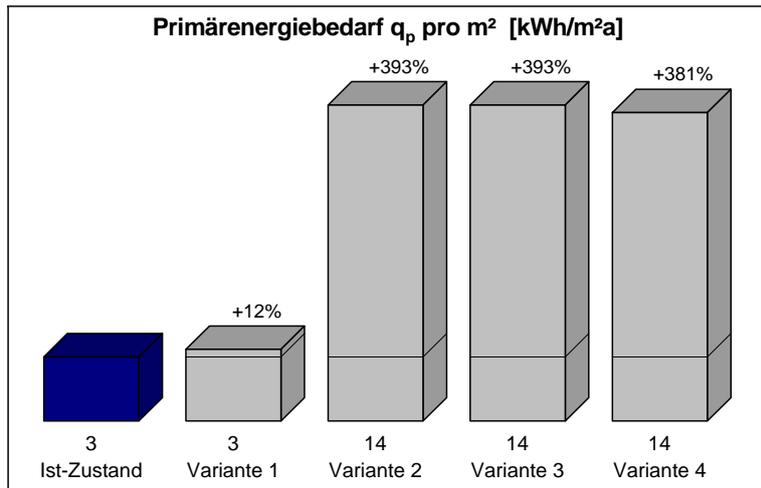
Primärenergiebedarf Q_p :

- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA



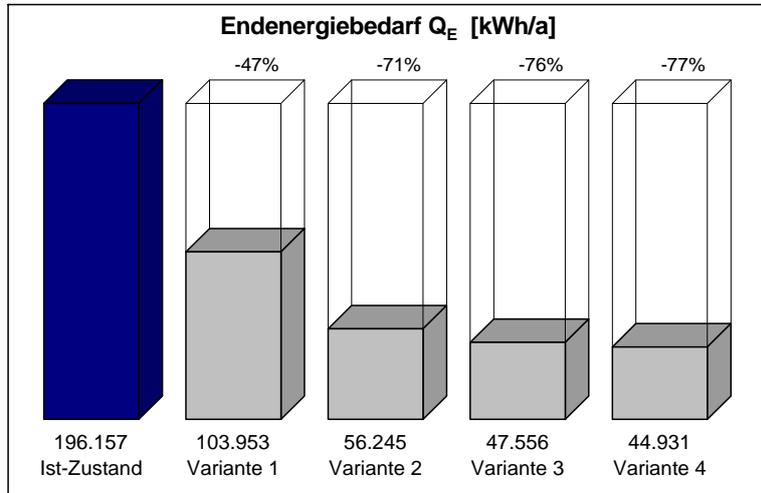
Primärenergiebedarf q_p pro m^2 :

- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA



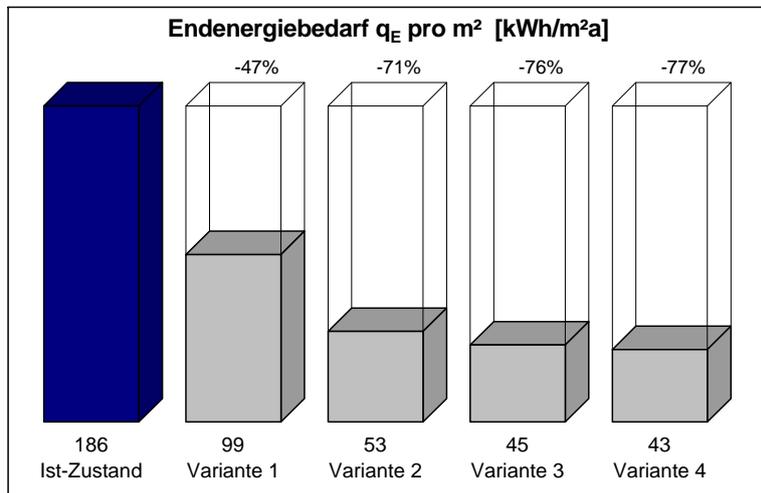
Endenergiebedarf

Endenergiebedarf Q_E :



- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA

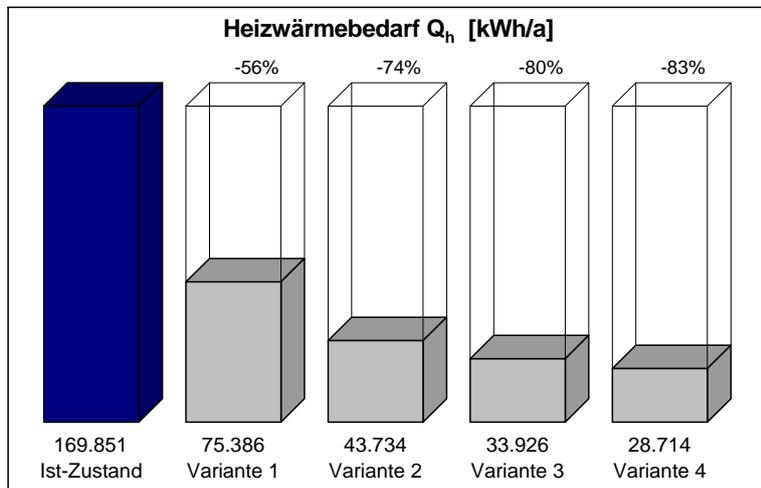
Endenergiebedarf q_E pro m^2 :



- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA

Heizwärmebedarf

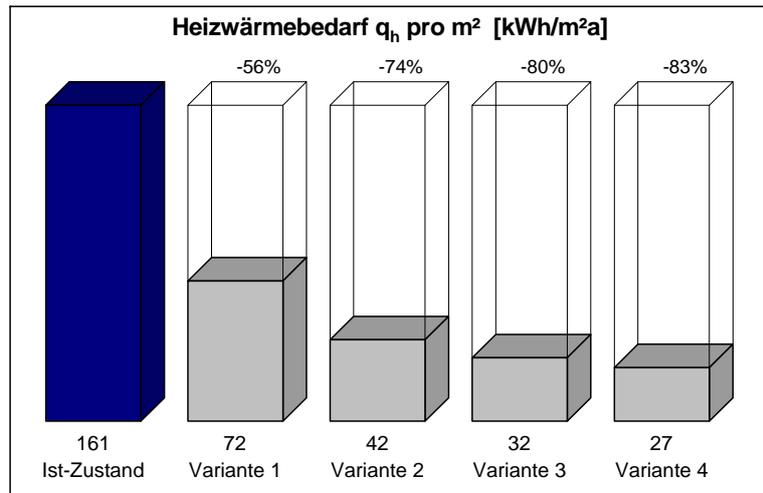
Heizwärmebedarf Q_h :



- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA

Heizwärmebedarf q_h pro m^2 :

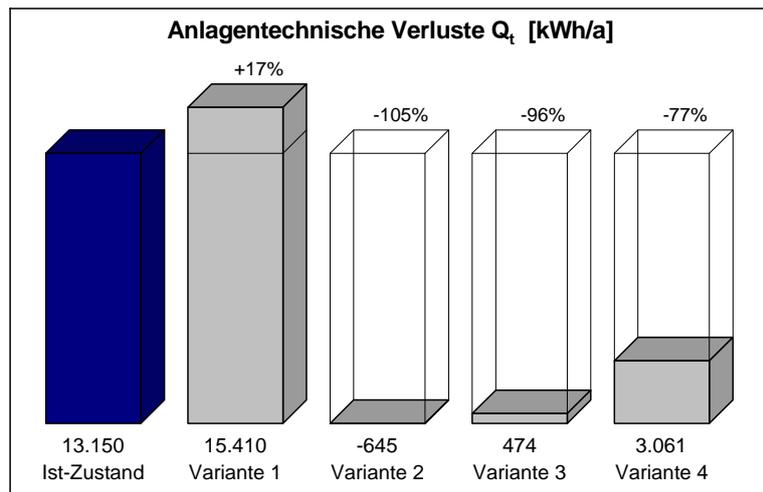
- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA



Anlagentechnische Verluste

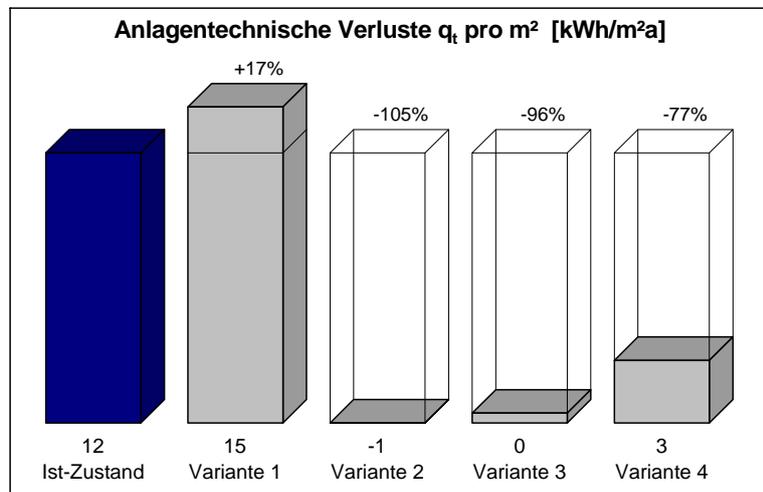
Anlagentechnische Verluste Q_t :

- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA



Anlagentechnische Verluste q_t pro m^2 :

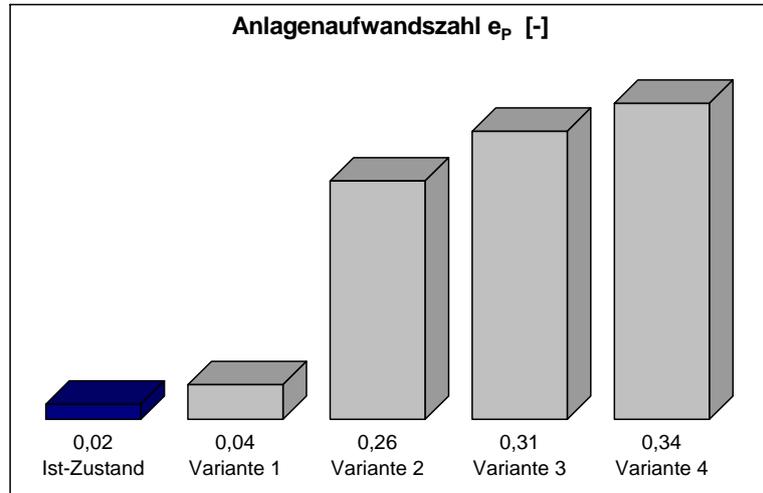
- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA



Anlagenaufwandszahl

Anlagenaufwandszahl e_p :

- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA

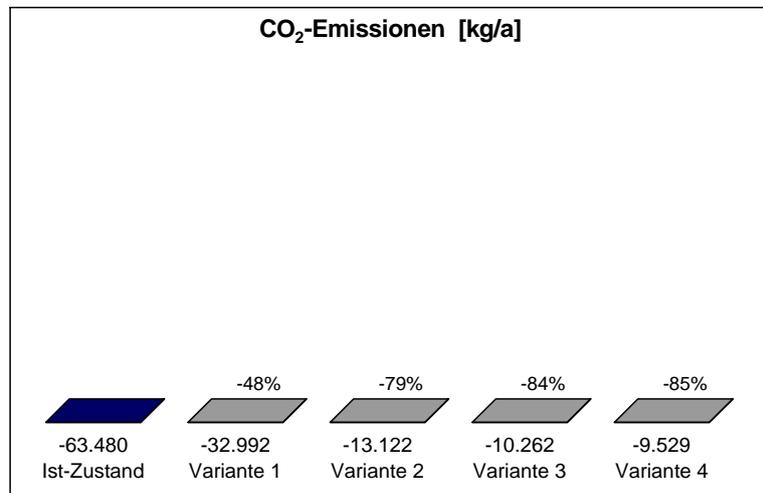


Schadstoff-Emissionen

CO₂-Emissionen

CO₂-Emissionen:

- Ist-Zustand
- Var.1 - EnEV Altbau
- Var.2 - Effizienzhaus 100 LA
- Var.3 - Effizienzhaus 70 LA
- Var.4 - Effizienzhaus 55 LA



Anlage II Flächen mit Schutzgebieten

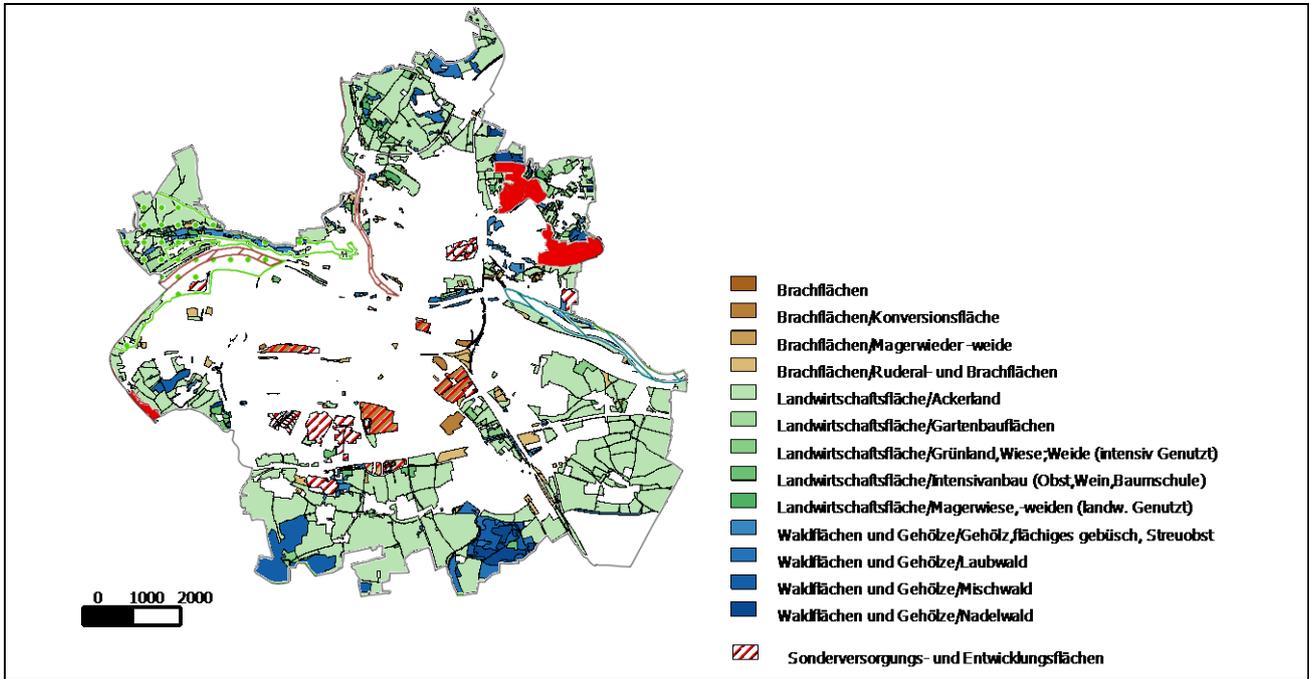


Abbildung A- 1: Überlagerung von Brachflächen, Landwirtschaftsflächen und Waldflächen mit Schutzgebieten

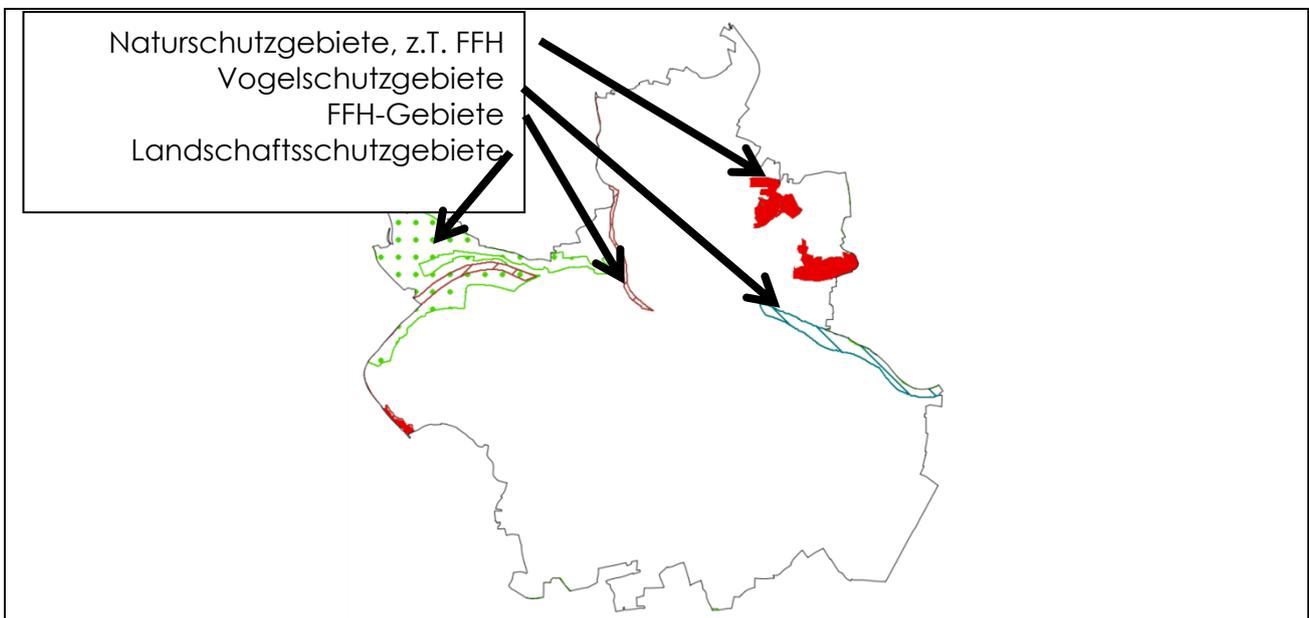


Abbildung A- 2: Schutzgebiete



Anlage III Bestand und Potenzial an Solarthermie und Dachflächen-Fotovoltaik

Tabelle 9: Solarthermische Wärmeerzeugung in Regensburg nach Postleitzahlbezirk

Postleitzahl	Kollektorfläche	Anteil an der Gesamt-Kollektorfläche	Kollektorfläche in m ² pro 1000 EW	Ertrag in MWh/a
93047	61	0,7 %	5	23
93049	1.267	15,0 %	55	481
93051	1.060	12,6 %	43	403
93053	1.308	15,5 %	64	497
93055	2.335	27,7 %	161	887
93057	1.331	15,8 %	78	506
93059	1.077	12,8 %	67	409
Summe	8.439			3.207

**Tabelle A - 10: Solarthermiefpotenzial nach Stadtteilen – Szenario 1**

Stadtteil	Solarthermie-Potenzial [kWh/a]
Brandlberg - Keilberg	1.579.194
Burgweinting - Harting	4.872.117
Galgenberg	4.131.957
Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen	4.156.808
Innenstadt	2.242.370
Kasernenviertel	7.450.398
Konradsiedlung - Wutzlhofen	5.702.021
Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll	12.201.886
Ober- und Niederwinzer - Kager	770.336
Oberisling - Graß	2.161.005
Ostenviertel	4.944.491
Reinhausen	5.021.758
Sallern - Gallingkofen	2.314.843
Schwabelweis	1.072.749
Stadtamhof	431.766
Steinweg - Pfaffenstein	2.657.021
Weichs	1.781.866
Westenviertel	16.162.602
Summe	ca. 80 GWh

**Tabelle A - 11: Fotovoltaik-Potenzial nach Stadtbezirken – Szenario 2**

Stadtteil	Potenzial Fotovoltaik [kWh/a]	Einspeisung 2012 [6] [kWh/a]
Brandlberg - Keillberg	9.848.937	606.662
Burgweinting – Harting	63.182.607	2.624.719
Galgenberg	24.608.672	460.775
Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen	15.659.278	567.092
Innenstadt	8.003.295	32.985
Kasernenviertel	35.213.536	1.240.313
Konradsiedlung - Wutzlhofen	20.279.477	812.738
Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll	35.261.370	878.649
Ober- und Niederwinzer - Kager	4.152.897	301.259
Oberisling - Graß	12.740.698	1.762.191
Ostenviertel	60.763.605	3.939.902
Reinhausen	24.426.685	327.404
Sallern - Gallingshofen	22.588.648	1.925.168
Schwabelweis	6.762.999	273.102
Stadtamhof	2.267.085	28.830
Steinweg - Pfaffenstein	8.579.674	321.266
Weichs	14.006.710	468.940
Westenviertel	55.905.633	920.798
Summe	ca. 424 GWh	ca. 18 GWh


Tabelle A - 12: Potenzial von Fotovoltaik und Solarthermie zur Brauchwassererwärmung nach Stadtbezirken – Szenario 3

Stadtteil	Potenzial Solarthermie Brauchwasser [kWh/a]	Potenzial Fotovoltaik [kWh/a]
Brandlberg - Keilberg	1.579.193	9.447.303
Burgweinting - Harting	4.872.116	61.953.068
Galgenberg	4.131.956	23.544.328
Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen	4.156.808	14.604.095
Innenstadt	2.242.369	7.473.407
Kasernenviertel	7.450.398	33.336.732
Konradsiedlung - Wutzlhofen	5.702.020	18.856.110
Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll	12.201.886	32.197.926
Ober- und Niederwinzer - Kager	770.336	3.960.663
Oberisling - Graß	2.161.004	12.190.000
Ostenviertel	4.944.491	59.510.778
Reinhausen	5.021.758	23.185.602
Sallern - Gallingskofen	2.314.843	21.998.702
Schwabelweis	1.072.748	6.487.495
Stadtamhof	431.766	2.157.232
Steinweg - Pfaffenstein	2.657.020	7.911.912
Weichs	1.781.866	13.560.492
Westenviertel	16.162.601	51.842.372
Summe	ca. 80 GWh	ca. 404 GWh


Tabelle A - 13: Potenzial von Fotovoltaik und Solarthermie zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung nach Stadtbezirken – Szenario 4

Stadtteil	Potenzial Solarthermie [kWh/a]	Potenzial Fotovoltaik [kWh/a]
Brandlberg - Keilberg	2.749.615	8.859.076
Burgweinting - Harting	8.413.168	60.153.866
Galgenberg	7.286.570	21.985.507
Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen	6.975.458	13.148.113
Innenstadt	3.573.861	6.716.705
Kasernenviertel	12.845.954	30.588.993
Konradsiedlung - Wutzlhofen	9.735.552	16.774.679
Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll	20.715.176	27.803.906
Ober- und Niederwinzer - Kager	1.316.044	3.679.121
Oberisling - Graß	3.749.098	11.391.023
Ostenviertel	8.564.102	57.680.528
Reinhausen	8.378.875	21.410.290
Sallern - Gallingkofen	4.038.813	21.134.676
Schwabelweis	1.880.037	6.086.186
Stadtamhof	752.058	1.996.344
Steinweg - Pfaffenstein	4.567.523	6.935.366
Weichs	3.054.837	12.906.969
Westenviertel	27.578.084	45.977.523
Summe	ca. 136 GWh	ca. 375 GWh



Anlage IV Potenzielle Untersuchungsobjekte für Abwasser-Wärme

Tabelle 14: Untersuchungsobjekte und –gebiete Wärmenutzung aus Abwasser (eig. Berechnungen nach [45])

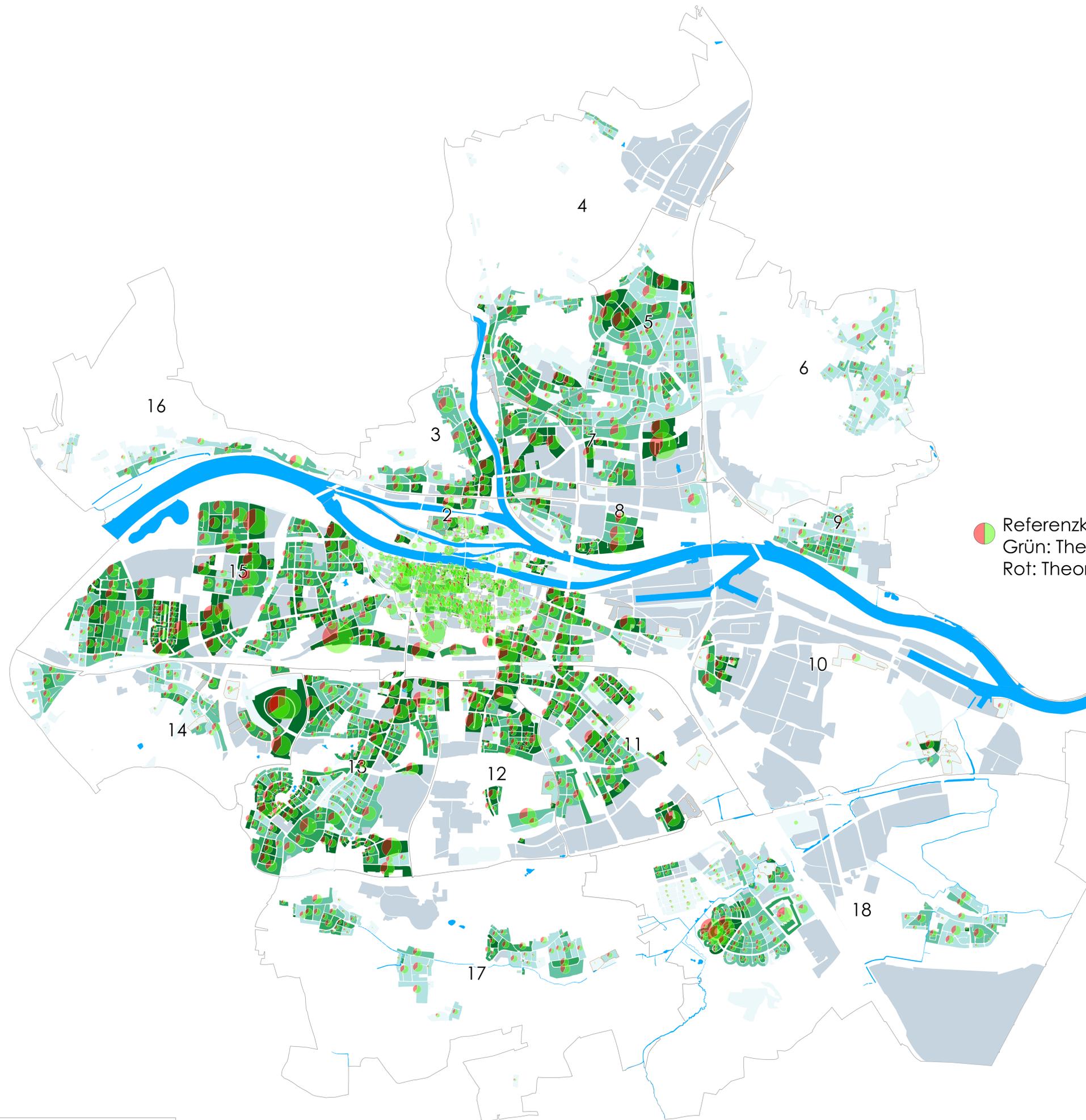
Gebäude/Baugebiet	Trockenwetter- zufluss ¹⁶ [l/s]	Potenzial ¹⁷ Wär- meleistung [kW]	Potenzial Wärme- menge [MWh/a]
B2_Frauenzellstraße	56,0	703	6.158
B2_Frauenzellstraße_2		s.o.	s.o.
B1_Weichs Ost	71,4	896	7.851
B4_Messerschmittstraße	54,6	685	6.004
N4_Gelände am Donaumarkt	118,3	1.485	13.008
Stadttheater	46,9	589	5.157
Max Holzwerk Zimmerei Schreinerei	56,1	704	6.169
Donaueinkaufszentrum	16,8	211	1.847
Unternehmen Gewerbepark (Hanthofer Weg)	67,0	841	7.367
Unternehmen Gewerbepark (Vilsstraße)	28,0	351	3.079
Donau-Arena	71,4	896	7.851
Konradschule	56,0	703	6.158
Real	67,2	843	7.389
Prinz-Leopold-Kaserne	34,0	427	3.738
Musikgymnasium der Rgbg. Domspatzen	210,0	2.636	23.091
Siemens Vdo/ Siemens Automotive	34,3	431	3.771
Straßenbauamt	34,0	427	3.738
Staatl. Hochbauamt	34,3	431	3.771
REWAG	35,7	448	3.925
Ikea	22,4	281	2.463
Hiendl	32,0	402	3.519
Bischof Manfred Müller Schule	54,6	685	6.004
Globus Baumarkt	32,0	402	3.519
Dr. Robert Eckert Schulen AG	54,6	685	6.004
Westbad	54,6	685	6.004
Körperbehindertenzentrum (Pater Rupert Mayer)	54,6	685	6.004
Clermont-Fernand-Hauptschule + städt. Sporthalle	54,6	685	6.004
Seniorenstift Albertinum	54,6	685	6.004
Studienseminar St. Emmeram	54,6	685	6.004
Albertus Magnus Gymnasium	54,6	685	6.004
Amt für Landwirtschaft und Forsten	67,2	843	7.389
Studentenwohnheim der Protest. Alumneumstiftung	54,6	685	6.004

¹⁶ max. Zufluss minus 30%

¹⁷ Annahme: Durchschnittliche Auskühlung des Abwassers um 3K



Anlage V Karten



Referenzkreis: 5000 MWh/a
Grün: Theoretisches Einsparpotenzial
Rot: Theoretischer Restbedarf

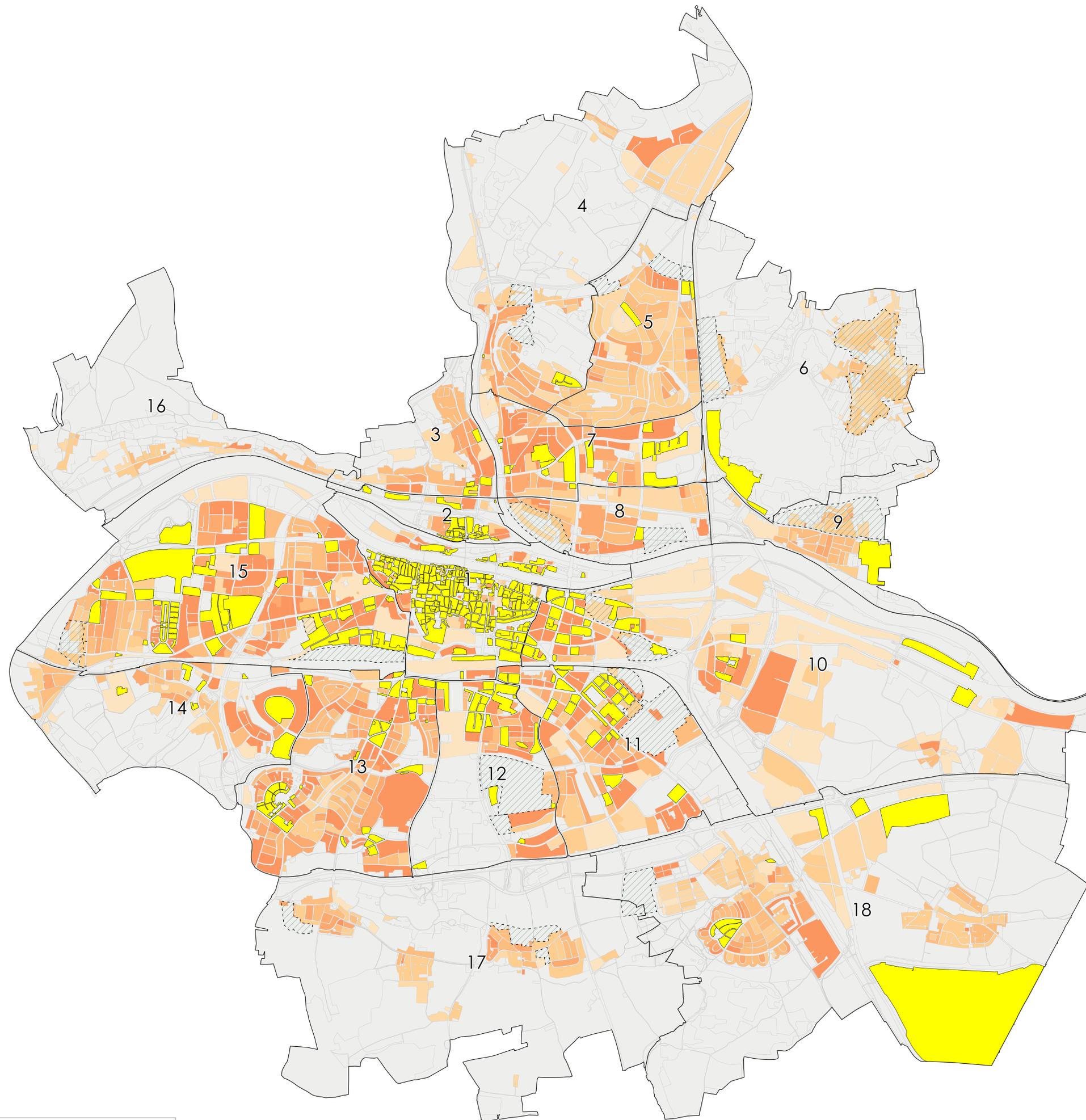
- Stadtbezirk: Stadtbezirk
- 1 Innenstadt
 - 2 Stadtamhof
 - 3 Steinweg - Pfaffenstein
 - 4 Salern - Gollingkofen
 - 5 Konradsiedlung - Wutzhofen
 - 6 Brandberg - Keilberg
 - 7 Reihnhäuser
 - 8 Weichs
 - 9 Schwäbelsweis
 - 10 Ostenviertel
 - 11 Kasernerviertel
 - 12 Galgenberg
 - 13 Kumpfmühl - Ziegelsdorf - Neupföll
 - 14 Großpräfering - Deichbetten - Königswiesen
 - 15 Westenviertel
 - 16 Ober- und Niederwinzer - Kager
 - 17 Oberliling - Groß
 - 18 Burgweinting - Harting

Legende

- Baulich geprägt (kein Einsparpotenzial)
- Wasser
- Theor. Einsparpotenzial Wohn-/Mischnutz., flächenbezug [MWh/(ha*a)]
 - 0.0000 - 100.6000
 - 100.6000 - 177.0000
 - 177.0000 - 241.0000
 - 241.0000 - 340.0000
 - 340.0000 - 4734.0000
- Gemischte Nutzung (höhere Unsicherheit)

Energienutzungsplan Regensburg
Theoretisches Einsparpotenzial Wohn- und Mischnutzung
TTF GmbH
Zeilhofstraße 11, 81379 München
Gabekbergerstraße 1, 93047 Regensburg





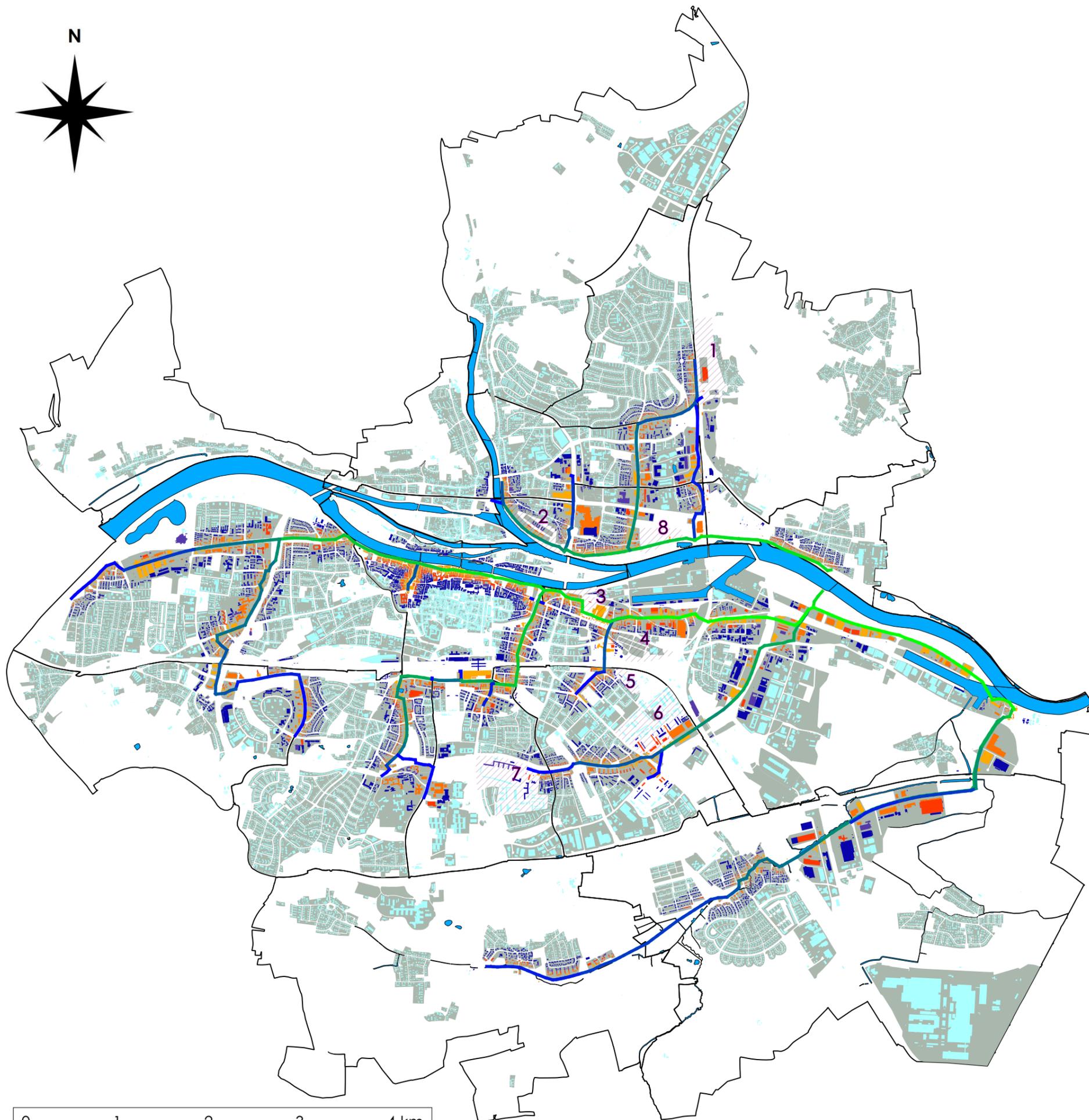
- Stadtbezirksnr. Stadtbezirk
- 1 Innenstadt
 - 2 Stadthof
 - 3 Steinweg - Pfaffenstein
 - 4 Salern - Gallgraben
 - 5 Konradsiedlung - Wutzhofen
 - 6 Brandberg - Keilberg
 - 7 Reinhausen
 - 8 Weichs
 - 9 Schwabweiß
 - 10 Osterviertel
 - 11 Kasernerviertel
 - 12 Golgenberg
 - 13 Kumpfmühl - Ziegelsdorf - Neuprüll
 - 14 Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen
 - 15 Westerviertel
 - 16 Ober- und Niederwinzer - Koger
 - 17 Oosering - Graß
 - 18 Burgweinting - Harting

Legende

Potenzialgebiete KWK:

- Wärmedichte > 750 MWh/ha a
- Wärmedichte [MWh/ha a]
- 0
- 1-100
- 101-200
- 201-300
- 301-400
- 401-500
- 501-750





Entwicklungsgebiete bis 2025 (nur in Nähe der Hauptsammler) mit Anzahl der Wohneinheiten

Nr.	Wohneinh.	Bezeichnung	Hektar
1	300	Brandlberg	22
2	600	Holzgartenstraße	19
3	450	Marinaquartier	10
4	500	ehem. Zuckerfabrik	11
5	400	Lerag	6
6	900	Prinz-Leopold-Kaserne	32
7	800	Nibelungenkaserne	34
8	590	Weichs-Ost	9

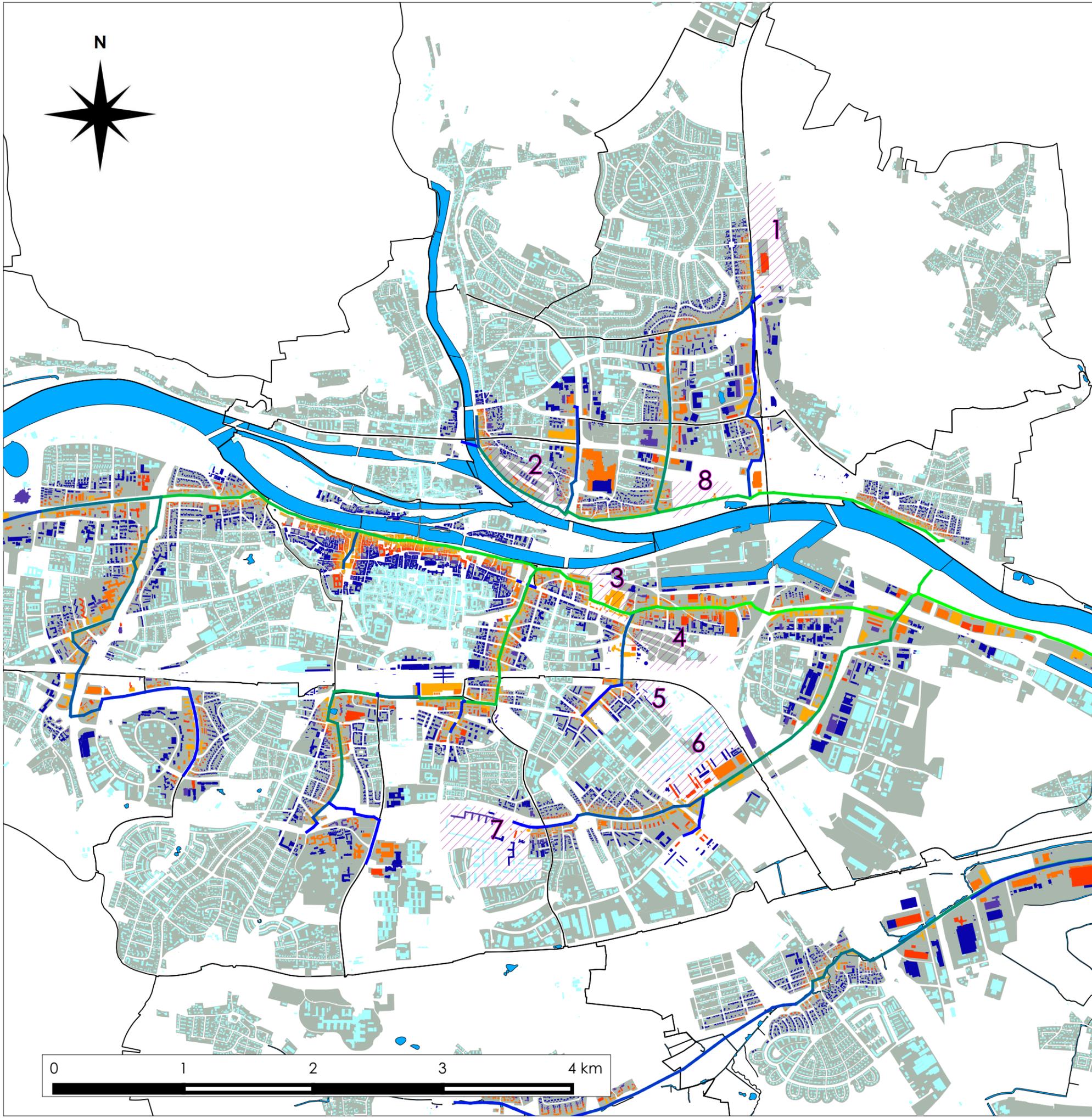
Legende

- Baulich geprägt
- Entwicklungsgebiete
- Kanalnetz mit Trockenwetterdurchfluss [l/s]
 - 15 - 19
 - 19 - 23
 - 23 - 25
 - 25 - 32
 - 32 - 44
 - 44 - 51
 - 51 - 84
 - 84 - 141
 - 141 - 323
 - 323 - 583
- Distanz zu Hauptabwasserkanal
 - >200m
 - <200m
 - <100m
 - <75m
 - <50m
 - <25m

Energienutzungsplan Regensburg
Potenzialgebiete Wärmenutzung aus Abwasser

TfT GmbH
Zielstattstraße 11, 81379 München
Gabelsbergerstraße 1, 93047 Regensburg





Entwicklungsgebiete bis 2025 (nur in Nähe der Hauptsammler) mit Anzahl der Wohneinheiten

Nr.	Wohneinh.	Bezeichnung	Hektar
1	300	Brandlberg	22
2	600	Holzgartenstraße	19
3	450	Marinaquartier	10
4	500	ehem. Zuckerfabrik	11
5	400	Lerag	6
6	900	Prinz-Leopold-Kaserne	32
7	800	Nibelungenkaserne	34
8	590	Weichs-Ost	9

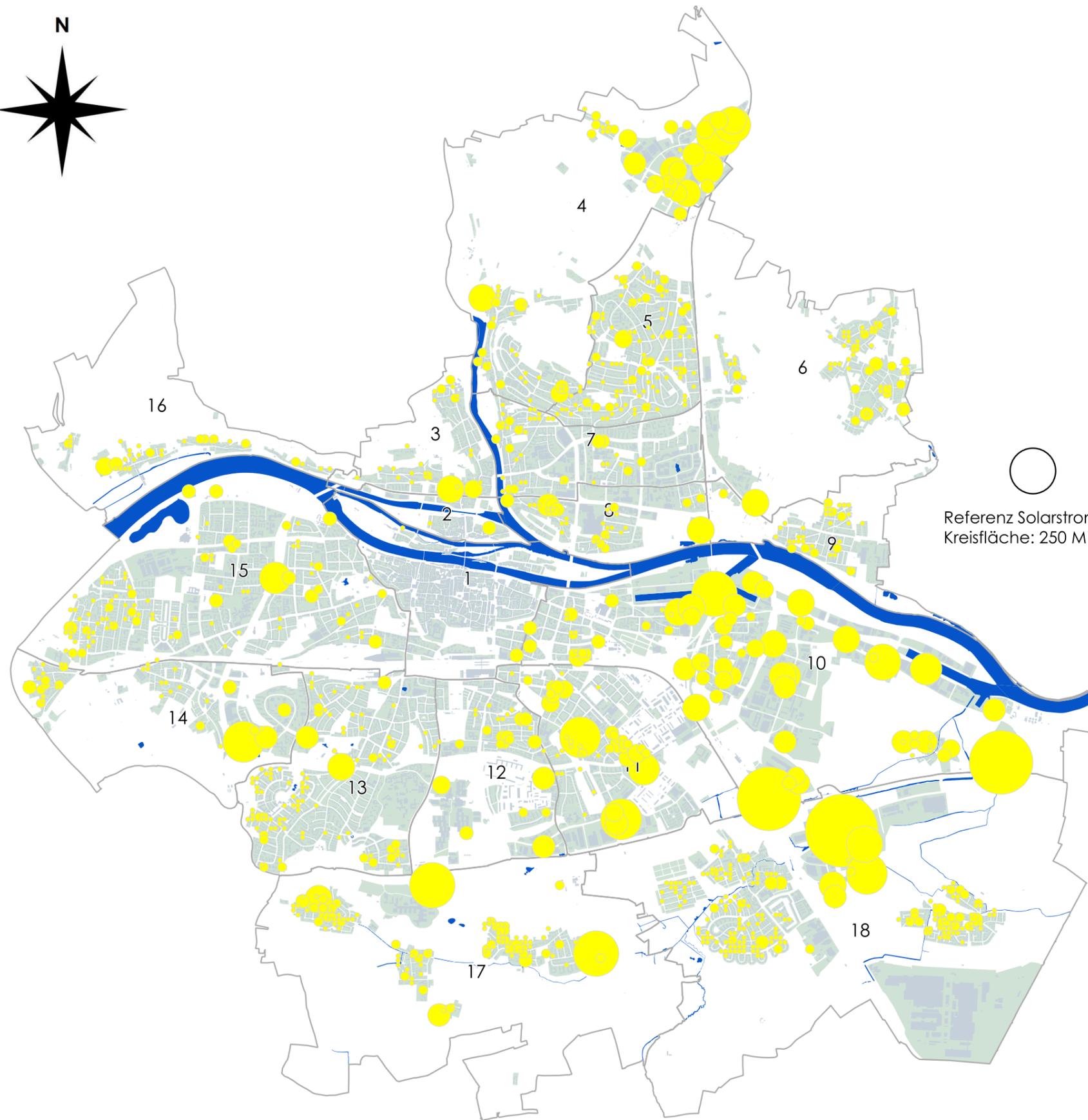
Legende

- Baulich geprägt
- Entwicklungsgebiete
- Kanalnetz mit Trockenwetterdurchfluss [l/s]
 - 15 - 19
 - 19 - 23
 - 23 - 25
 - 25 - 32
 - 32 - 44
 - 44 - 51
 - 51 - 84
 - 84 - 141
 - 141 - 323
 - 323 - 583
- Distanz zu Hauptabwasserkanal
 - >200m
 - <200m
 - <100m
 - <75m
 - <50m
 - <25m

Energienutzungsplan Regensburg
Potenzialgebiete Wärmenutzung aus Abwasser

TfT GmbH
Zielstattstraße 11, 81379 München
Gabelsbergerstraße 1, 93047 Regensburg





Referenz Solarstrom
Kreisfläche: 250 MWh/a

Stadtbezirksnr.	Stadtbezirk
1	Innenstadt
2	Stadtamhof
3	Steinweg - Pfaffenstein
4	Sallern - Gallingkofen
5	Konradsiedlung - Wutzlhofen
6	Brandlberg - Keilberg
7	Reinhausen
8	Weichs
9	Schwabelweis
10	Ostenviertel
11	Kasernenviertel
12	Galgenberg
13	Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll
14	Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen
15	Westenviertel
16	Ober- und Niederwinzer - Kager
17	Oberisling - Graß
18	Burgweinting - Harting

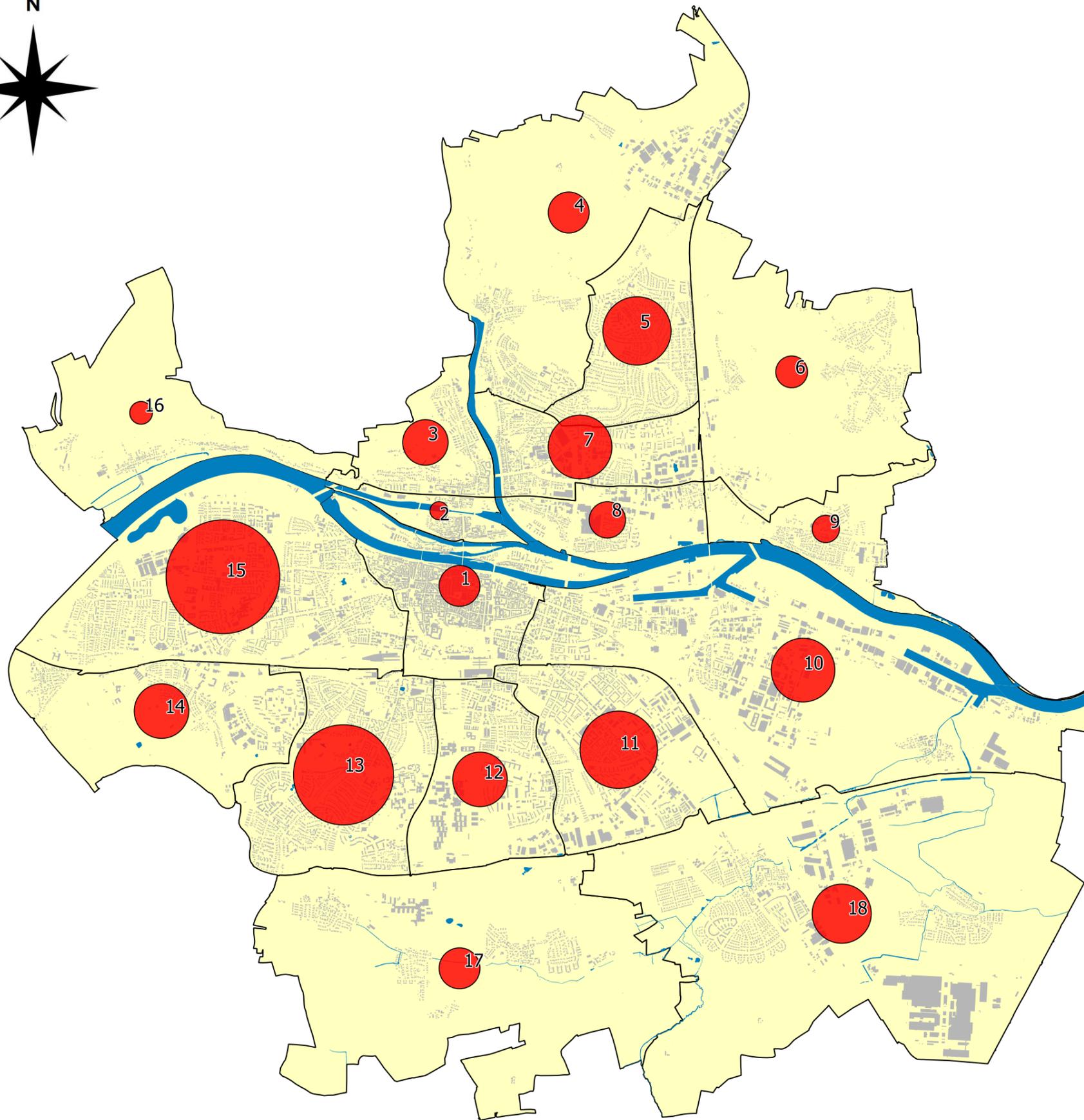
Legende

- Haupt- und Nebengebäude
- Baulich geprägt
- Stromerzeugung
 - Photovoltaik

Energienutzungsplan Regensburg
Stromerzeugung aus Photovoltaik 2012

TfT GmbH
Zielstattstraße 11, 81379 München
Gabelsbergerstraße 1, 93047 Regensburg





Stadtbezirksnr.	Stadtbezirk
1	Innenstadt
2	Stadtamhof
3	Steinweg - Pfaffenstein
4	Sallern - Gallingkofen
5	Konradsiedlung - Wutzlhofen
6	Brandlberg - Keilberg
7	Reinhausen
8	Weichs
9	Schwabelweis
10	Ostenviertel
11	Kasernenviertel
12	Galgenberg
13	Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll
14	Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen
15	Westenviertel
16	Ober- und Niederwinzer - Kager
17	Oberisling - Graß
18	Burgweinting - Harting

Legende



Wasser

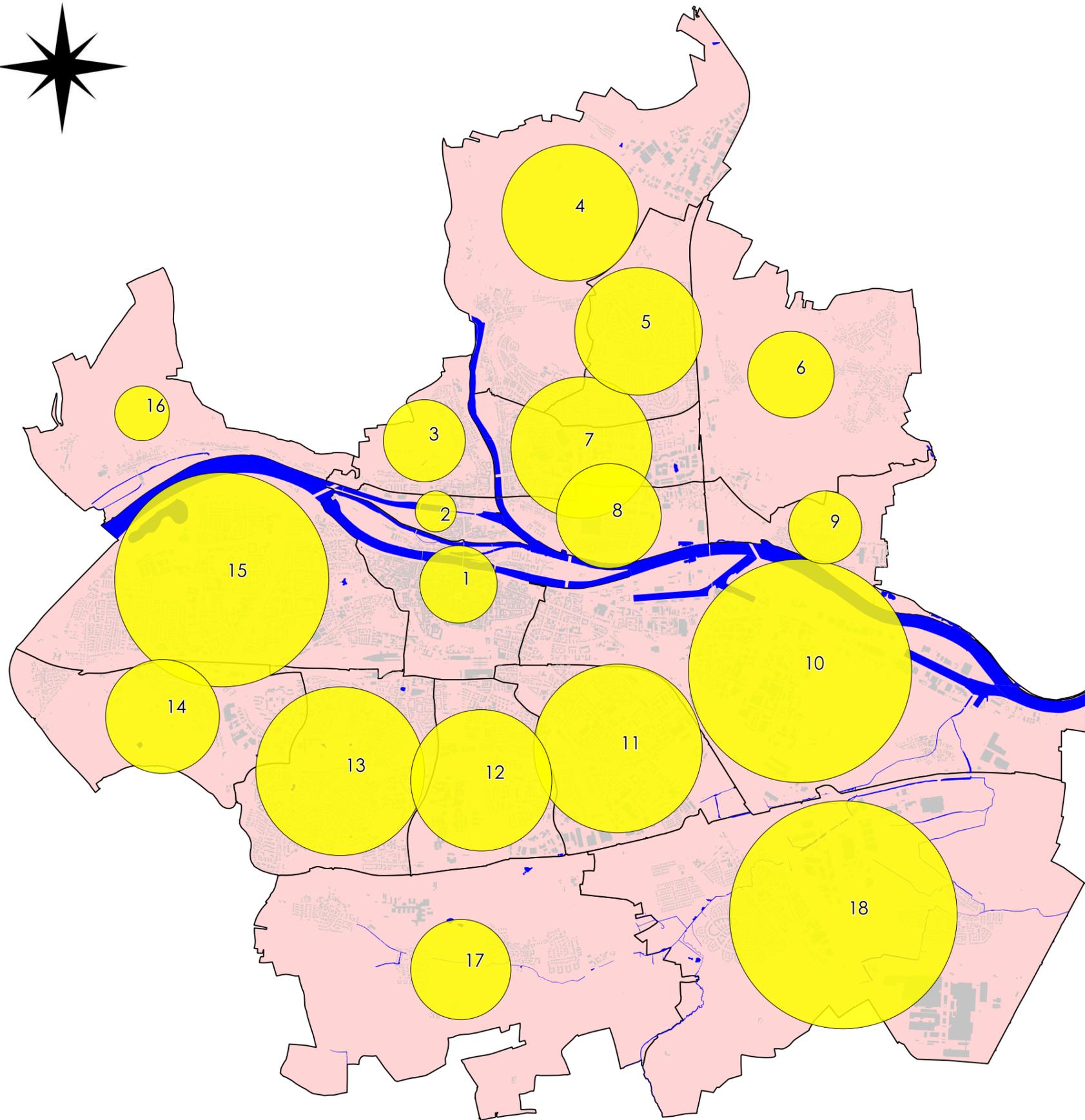


Referenz Solarthermiepotenzial
Kreisfläche: 1.000 MWh/a

Energienutzungsplan Regensburg
Solarthermiepotenzial Szenario 1

Tft GmbH
Zielstattstraße 11, 81379 München
Gabelsbergerstraße 1, 93047 Regensburg

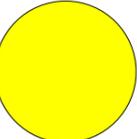




Stadtbezirksnr.	Stadtbezirk
1	Innenstadt
2	Stadtamhof
3	Steinweg - Pfaffenstein
4	Sallern - Gallingkofen
5	Konradsiedlung - Wutzlhofen
6	Brandlberg - Keilberg
7	Reinhausen
8	Weichs
9	Schwabelweis
10	Ostenviertel
11	Kasernenviertel
12	Galgenberg
13	Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll
14	Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen
15	Westenviertel
16	Ober- und Niederwinzer - Kager
17	Oberisling - Graß
18	Burgweinting - Harting

Legende

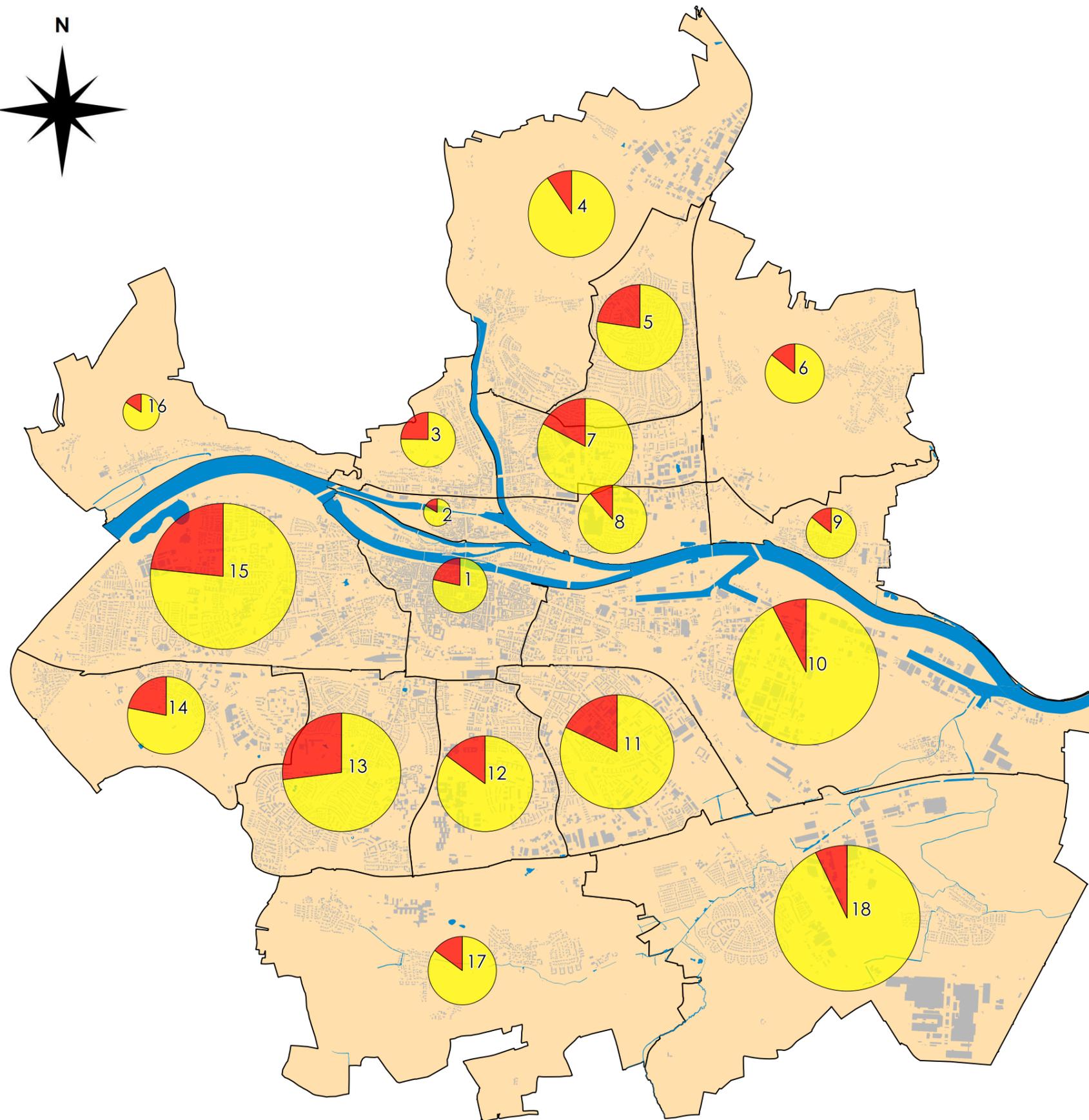
 Wasser

 Referenz Photovoltaikpotenzial
Kreisfläche: 10.000 MWh/a

Energienutzungsplan Regensburg
Photovoltaikpotenzial Szenario 2

Tft GmbH
Zielstattstraße 11, 81379 München
Gabelsbergerstraße 1, 93047 Regensburg





Stadtbezirksnr.	Stadtbezirk
1	Innenstadt
2	Stadtamhof
3	Steinweg - Pfaffenstein
4	Sallern - Gallingkofen
5	Konradsiedlung - Wutzlhofen
6	Brandlberg - Keilberg
7	Reinhausen
8	Weichs
9	Schwabelweis
10	Ostenviertel
11	Kasernenviertel
12	Galgenberg
13	Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll
14	Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen
15	Westenviertel
16	Ober- und Niederwinzer - Kager
17	Oberisling - Graß
18	Burgweinting - Harting

Legende

Wasser

Referenz Solarpotenzial
Kreisfläche: 10.000 MWh/a

Solarpotenzial

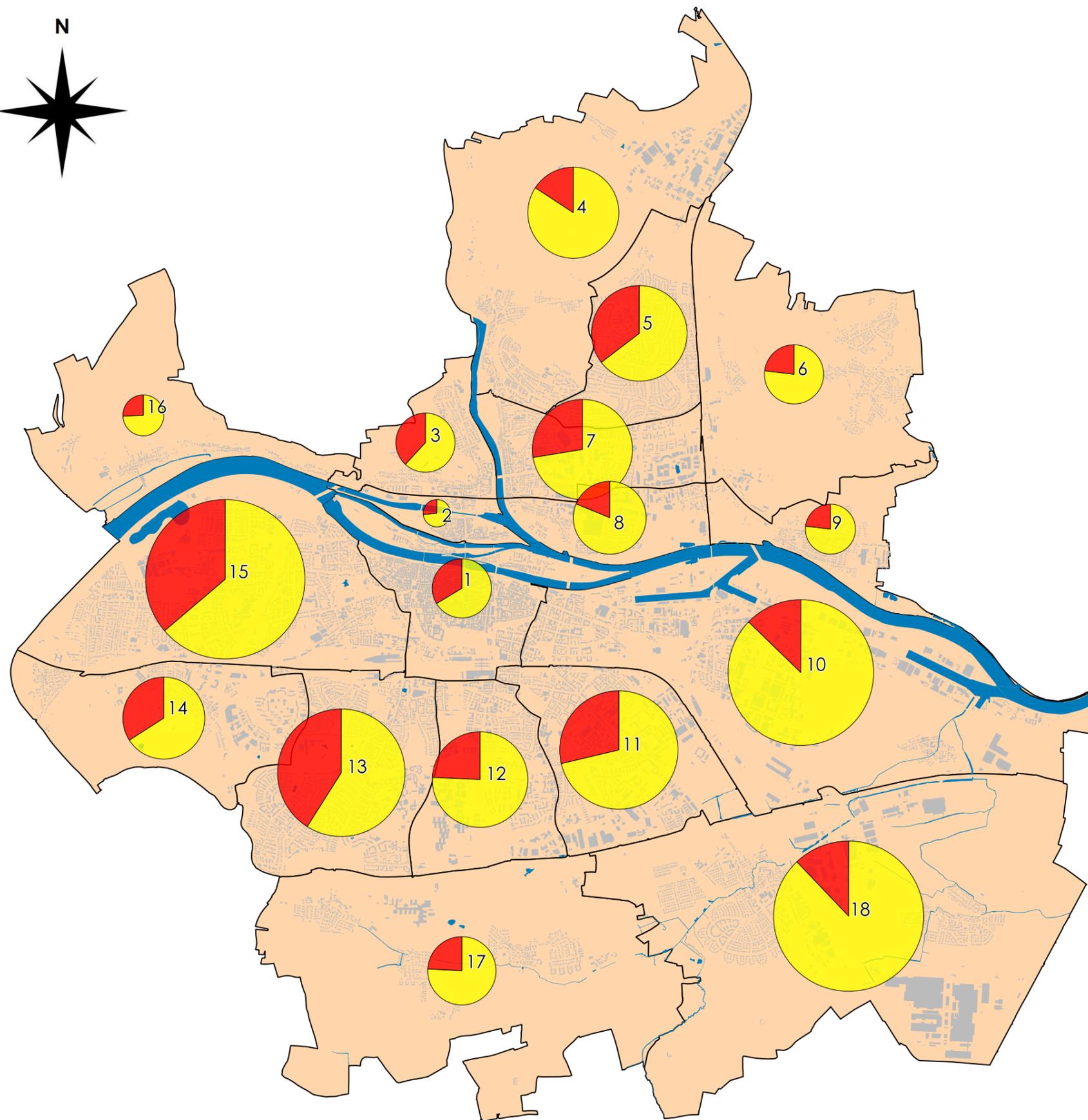
Solarthermie

Photovoltaik

Energienutzungsplan Regensburg
Solarpotenzial Szenario 3

Tft GmbH
Zielstattstraße 11, 81379 München
Gabelsbergerstraße 1, 93047 Regensburg





Stadtbezirksnr.	Stadtbezirk
1	Innenstadt
2	Stadtamhof
3	Steinweg - Pfaffenstein
4	Sallern - Gallingskofen
5	Konradsiedlung - Wutzlhofen
6	Brandlberg - Keilberg
7	Reinhausen
8	Weichs
9	Schwabelweis
10	Ostenviertel
11	Kasernenviertel
12	Galgenberg
13	Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll
14	Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen
15	Westenviertel
16	Ober- und Niederwinzer - Kager
17	Oberisling - Graß
18	Burgweinting - Harting

Legende

 Wasser

 Referenz Solarpotenzial
Kreisfläche: 10.000 MWh

Solarpotenzial

 Solarthermie

 Photovoltaik

Energienutzungsplan Regensburg
Solarpotenzial Szenario 4

TfT GmbH
Zielstattstraße 11, 81379 München
Gabelsbergerstraße 1, 93047 Regensburg





Stadtbezirksnr.	Stadtbezirk
1	Innenstadt
2	Stadtamhof
3	Steinweg - Pfaffenstein
4	Sallern - Gallingkofen
5	Konradsiedlung - Wutzlhofen
6	Brandlberg - Keilberg
7	Reinhausen
8	Weichs
9	Schwabelweis
10	Ostenviertel
11	Kasernenviertel
12	Galgenberg
13	Kumpfmühl - Ziegetsdorf - Neuprüll
14	Großprüfening - Dechbetten - Königswiesen
15	Westenviertel
16	Ober- und Niederwinzer - Kager
17	Oberisling - Graß
18	Burgweinting - Harting

Legende

- Wasser
- Baulich geprägt
- Gebiete größerer Mehrfamilienhaus-Träger
 - GBW
 - Postbaugenossenschaft
 - Stadtamhof
 - Stadtbau Regensburg
 - Wohnbau eG
 - Baugenossenschaft Regensburg
- Sanierungszustand
 - saniert zwischen 1980 und 2012
 - geplante Sanierungen
 - unsaniert

Energienutzungsplan Regensburg
Sanierungszustände Mehrfamilienhäuser großer Träger

TfT GmbH
Zielstattstraße 11, 81379 München
Gabelsbergerstraße 1, 93047 Regensburg

