Energiemanagement für die Liegenschaften der Stadt Frankfurt a.M.

1. Aufgabe und Organisation

Die Abteilung Energiemanagement hat die Aufgabe, die Energie- und Wasserkosten für die ca. 1.000 städtisch genutzten Liegenschaften zu minimieren. Gleichzeitig sollen hier vorbildhaft die Klimaschutzziele des Magistrats umgesetzt werden.
Die Abteilung wurde in dieser Form im Jahr 1991 gegründet und im Jahr 2010 von sechs auf zehn Mitarbeiter(innen) erweitert.

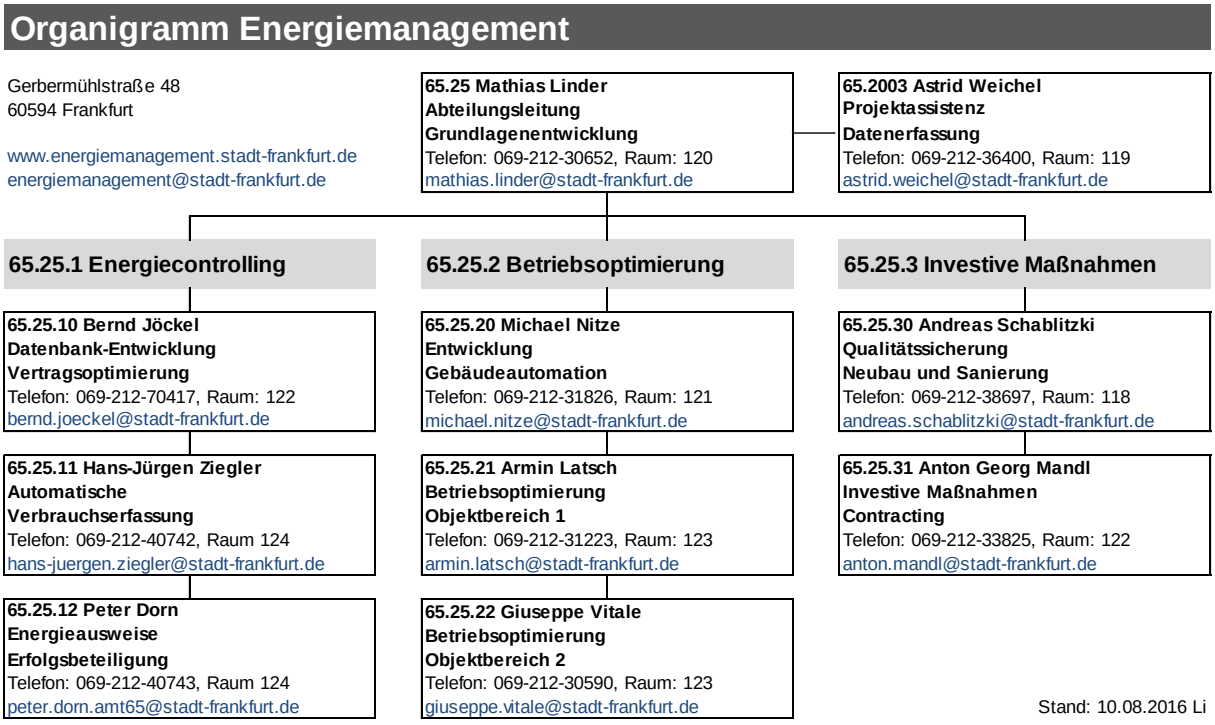

Abbildung 1: Organigramm der Abteilung Energiemanagement

2. Erfolgsbilanz 1990-2015

Von den 29,4 Mio. Euro Energie- und Wasserkosten die im Jahr 2015 im Bereich der Kernverwaltung entstanden, entfallen ca. 14,7 Mio. Euro auf Strom, 10,3 Mio. Euro auf Heizenergie und 4,5 Mio. Euro auf Wasser und Kanaleinleitung. Ein Großteil der Kosten fällt bei den Schulen und Kindertagesstätten, den Bädern und Sportstätten, den Museen, den Amts- und Dienstgebäuden, sowie bei Zoo und Palmengarten an.
Seit dem Jahr 1990 konnte der Stromverbrauch trotz der vor allem im Bereich der IT rasant zunehmenden technischen Ausstattung im Schnitt um 4 % gesenkt werden.
Der Heizenergieverbrauch sank in dieser Zeit um 52 %, der Wasserverbrauch sogar um 57 % und die Kohlendioxid-Emissionen um 45 %.

Verbrauchsentwicklung (witterungsbereinigt)

Verbrauch	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		2015/1990	
Strom	76	80	74	71	71	69	64	75	64	63	68	72	64	67	61	63	61	67	69	64	64	70	68	68	68	73	GWh	-4	%
Erdgas	187	182	229	239	233	215	181	177	203	216	193	158	197	192	218	202	186	191	157	165	135	164	133	130	146	98	GWh	-48	%
Fernwärme	54	51	51	44	58	42	41	51	50	51	54	50	43	55	54	60	62	56	63	63	55	67	62	62	64	61	GWh	13	%
Heizöl	96	89	77	59	68	52	30	34	29	27	28	22	20	18	11	11	10	7	6	9	4	4	5	4	5	3	GWh	-97	%
Heizenergie	337	322	357	342	358	310	252	262	282	295	275	230	260	265	283	274	257	253	225	236	194	235	200	196	216	162	GWh	-52	%
Wasser	3,32	3,19	3,21	2,83	2,43	2,48	2,13	2,02	2,29	1,86	1,65	1,55	1,53	1,94	1,78	1,51	1,58	1,74	1,48	1,42	1,42	1,44	1,07	1,08	1,22	1,44	Mio. m³	-57	%

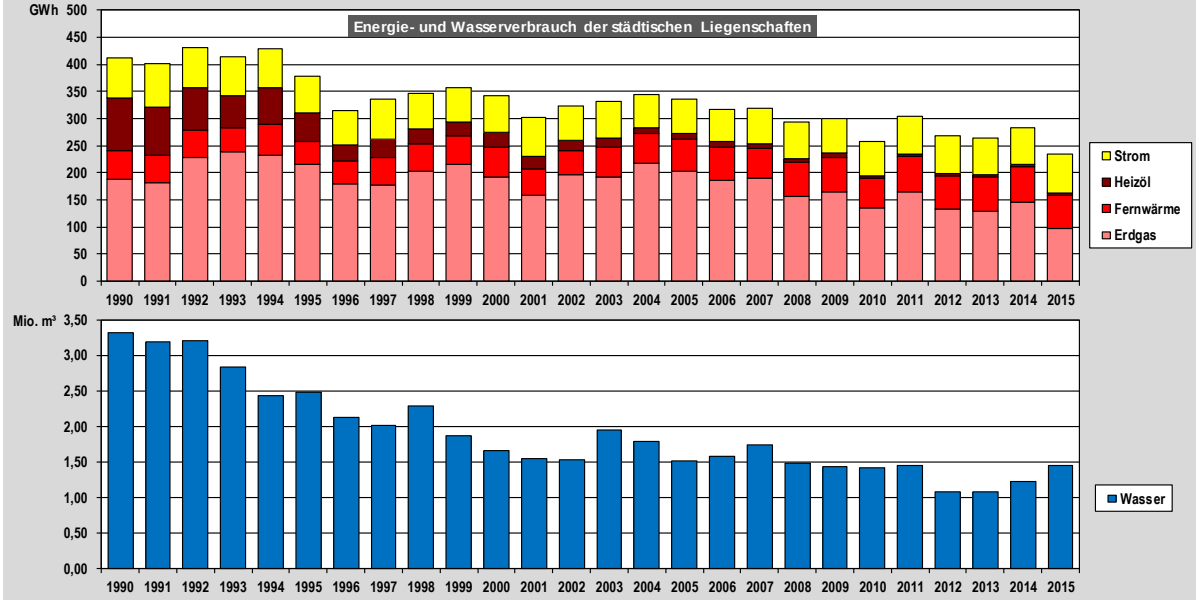

Abbildung 2: Verbrauchsentwicklung (witterungsbereinigt) der städtischen Liegenschaften von 1990 – 2015

Emissionsentwickung

Emissionen	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		2015/1990	
SO_2-Heiz.	37	35	33	27	31	25	18	20	19	19	19	16	16	16	15	15	15	14	13	14	11	14	12	12	13	11	to	-71	%
SO_2-Strom	33	34	32	31	31	30	27	32	27	27	29	31	27	29	26	27	26	29	30	27	28	30	29	29	29	31	to	-4	%
SO_2	70	69	65	58	62	54	45	52	46	46	48	47	43	45	42	43	41	42	43	42	39	44	42	41	42	42	to	-40	%
NO_X-Heiz.	70	66	71	66	68	60	45	46	49	51	47	38	45	43	46	43	39	39	32	35	27	33	27	27	30	20	to	-71	%
NO_X-Strom	70	74	68	66	66	64	59	70	59	59	64	67	59	62	57	59	56	62	65	59	60	65	64	63	63	68	to	-4	%
NO_X	140	140	139	133	135	124	104	115	108	110	110	105	104	105	103	102	96	101	97	94	87	99	91	90	93	88	to	-37	%
Staub-Heiz.	5,1	4,8	5,1	4,7	5,0	4,3	3,3	3,5	3,7	3,8	3,6	3,0	3,3	3,3	3,5	3,3	3,1	3,1	2,7	2,9	2,3	2,8	2,4	2,3	2,6	1,9	to	-62	%
Staub-Strom	4,5	4,8	4,4	4,3	4,3	4,1	3,8	4,5	3,8	3,8	4,1	4,3	3,8	4,0	3,7	3,8	3,6	4,0	4,2	3,8	3,8	4,2	4,1	4,1	4,1	4,4	to	-4	%
Staub	9,6	9,6	9,5	9,0	9,3	8,4	7,1	8,0	7,5	7,6	7,7	7,3	7,1	7,3	7,1	7,1	6,8	7,1	6,9	6,7	6,2	7,0	6,5	6,4	6,7	6,3	to	-35	%
CO_2-Heiz.	102	97	106	101	106	91	73	76	81	85	79	66	75	76	80	77	73	71	63	67	54	66	56	55	60	45	1.000 to	-56	%
CO_2-Strom	57	61	54	52	51	49	44	50	43	41	44	47	42	43	38	39	38	43	42	37	37	41	42	42	41	44	1.000 to	-23	%
CO_2-Wasser+Kanal	4,3	4,2	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,3	2,6	2,1	1,8	1,8	1,7	2,1	1,9	1,6	1,7	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,1	1,2	1,3	1,5	1.000 to	-65	%
CO_2	164	162	165	156	160	143	120	128	127	128	125	115	118	121	121	118	112	117	107	105	93	108	99	98	103	91	1.000 to	-45	%

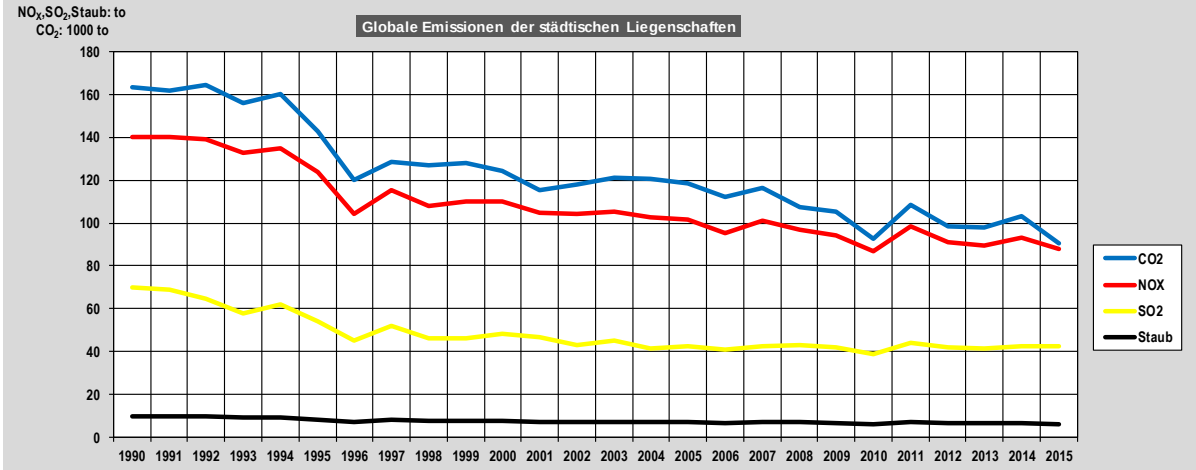

Abbildung 3: Emissionsentwicklung der städtischen Liegenschaften von 1990 - 2015

Um die Ziele des Energie- und Klimaschutzkonzeptes der Stadt zu erreichen (Verringerung alle fünf Jahre um 10 %), sind künftig jedoch noch verstärkte Anstrengungen nötig.

Den Personalkosten, Sachkosten sowie dem Kapitaldienst für Energiesparinvestitionen in Höhe von ca. 4,5 Mio. € im Jahr 2015 standen Einsparungen an Energie- und Wasserkosten in Höhe von ca. 17,2 Mio. € gegenüber. Das Verhältnis zwischen Aufwand und Einsparung liegt also bei ca. 1:4. Seit dem Jahr 1990 wurde durch das Energiemanagement ein Gewinn von 192 Mio. € erwirtschaftet. Eine Zusammenstellung der Zahlen kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Kosten-Nutzen-Analyse für die Abteilung Energiemanagement

Aufwendungen	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Personalaufwand	-0,13	-0,23	-0,23	-0,24	-0,24	-0,25	-0,26	-0,26	-0,27	-0,28	-0,29	-0,29	-0,30	-0,30	-0,34	-0,35	-0,33	-0,31	-0,41	-0,41	-0,50	-0,61	-0,64	-0,68	-0,71	-0,71	Mio. €/a
Sachaufwand	-0,03	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,08	-0,08	-0,10	-0,12	-0,13	-0,14	-0,14	-0,14	Mio. €/a
Kapitaldienst Investitionen	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,06	-0,14	-0,31	-0,79	-1,14	-1,66	-1,95	-2,20	-2,59	-3,03	-3,13	-3,20	-3,24	-3,19	-3,20	-3,21	-3,64	-3,61	-4,10	-3,94	-3,70	Mio. €/a
Summe Aufwendungen	**-0,21**	**-0,32**	**-0,33**	**-0,34**	**-0,35**	**-0,36**	**-0,45**	**-0,62**	**-1,12**	**-1,47**	**-2,01**	**-2,30**	**-2,56**	**-2,95**	**-3,44**	**-3,54**	**-3,60**	**-3,62**	**-3,68**	**-3,69**	**-3,81**	**-4,38**	**-4,38**	**-4,91**	**-4,79**	**-4,55**	Mio. €/a
Einsparungen	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	
Stromkosteneinsparung	0,0	-0,7	0,4	0,8	0,8	1,3	2,1	0,1	1,8	1,8	0,9	0,5	1,5	1,2	2,0	1,9	2,5	1,6	1,2	2,5	2,3	1,1	1,5	1,8	1,5	0,6	Mio. €/a
Heizkosteneinsparung	0,0	0,5	-0,7	-0,1	-0,9	0,7	2,6	1,8	1,0	0,7	1,8	4,1	2,5	2,4	1,5	2,8	4,3	4,0	8,1	4,7	9,7	5,6	9,9	11,1	7,6	10,8	Mio. €/a
Wasserkosteneinsparung	0,0	0,3	0,2	1,1	2,4	2,4	3,7	4,3	3,3	4,8	6,1	6,4	6,6	4,6	5,7	6,6	6,4	5,6	6,6	6,7	6,7	6,8	8,9	7,7	6,8	5,8	Mio. €/a
Summe Einsparung	**0,0**	**0,1**	**-0,1**	**1,8**	**2,4**	**4,4**	**8,5**	**6,3**	**6,1**	**7,3**	**8,8**	**11,0**	**10,6**	**8,1**	**9,2**	**11,2**	**13,2**	**11,3**	**15,9**	**13,9**	**18,8**	**13,5**	**20,2**	**20,6**	**15,9**	**17,2**	Mio. €/a
Kumulierte Summen	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	
Aufwendungen	-0,2	-0,5	-0,9	-1,2	-1,5	-1,9	-2,4	-3,0	-4,1	-5,6	-7,6	-9,9	-12,4	-15,4	-18,8	-22,4	-26,0	-29,6	-33,3	-37,0	-40,8	-45,1	-49,5	-54,4	-59,2	-63,8	Mio. €
Einsparungen	0,0	0,1	0,0	1,8	4,2	8,6	17,1	23,4	29,5	36,8	45,6	56,6	67,1	75,2	84,4	95,7	108,9	120,2	136,1	149,9	168,7	182,2	202,5	223,0	238,9	256,1	Mio. €
Gewinn	**-0,2**	**-0,4**	**-0,9**	**0,6**	**2,6**	**6,7**	**14,7**	**20,4**	**25,4**	**31,2**	**38,0**	**46,7**	**54,7**	**59,8**	**65,6**	**73,3**	**82,9**	**90,6**	**102,8**	**113,0**	**128,0**	**137,1**	**152,9**	**168,6**	**179,7**	**192,4**	Mio. €
Einsparfaktor	**0,0**	**0,2**	**0,0**	**1,5**	**2,7**	**4,5**	**7,2**	**7,8**	**7,2**	**6,6**	**6,0**	**5,7**	**5,4**	**4,9**	**4,5**	**4,3**	**4,2**	**4,1**	**4,1**	**4,1**	**4,1**	**4,0**	**4,1**	**4,1**	**4,0**	**4,0**	

(Minuszeichen bezeichnet Aufwendungen)

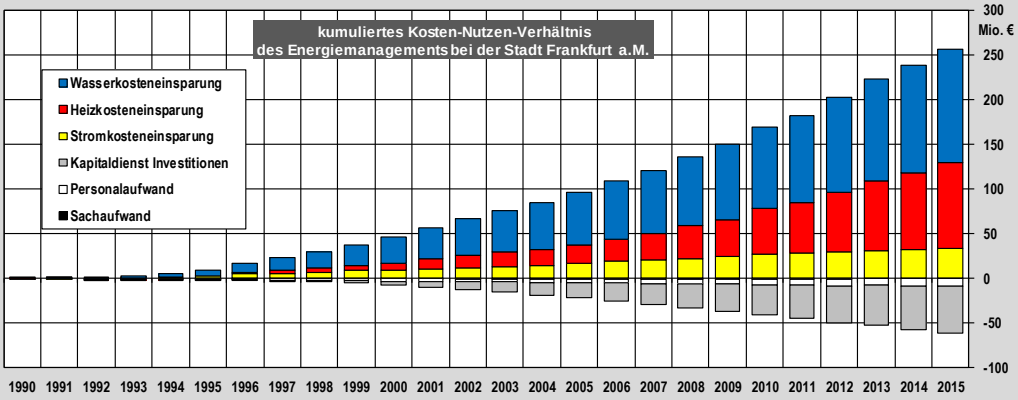

Abbildung 4: Kosten-Nutzen-Analyse des Energiemanagements in Frankfurt am Main von 1990 - 2015

3. Wege zum erfolgreichen Energiemanagement

Diese Erfolge wurden mit den drei wesentlichen Instrumenten des kommunalen Energiemanagements erreicht:

Instrumente	Einsparpotential	Kosten : Nutzen
Energiecontrolling	> 5 %	1:5 – 1:10
Betriebsoptimierung	> 15 %	1:3 – 1:5
Investive Maßnahmen	> 30 %	1:1 – 1:3

3.1 Energiecontrolling

Grundlage jedes Energiecontrollings ist die Auswertung der Rechnungen der Energieversorgungsunternehmen (EVU). In der Datenbank der Abteilung Energiemanagement sind ca. 400.000 Abrechnungen seit dem Jahr 1993 gespeichert. Mit der Datenbankanwendung kann die zeitliche Entwicklung der spezifischen Verbrauchswerte und der Kosten für sämtliche städtischen Liegenschaften dargestellt werden. Zur genaueren Analyse sind jedoch mindestens monatliche Verbrauchswerte notwendig. Hierfür steht eine weitere Datenbank zur Verfügung, in der die monatlichen Ablesungen der Hausverwalter vor Ort ausgewertet werden. Gegenwärtig werden 150 Liegenschaften auf diese Weise überwacht. Hier sind Ausreißer schneller erkennbar und können entsprechend verfolgt werden.
Eine noch genauere Analyse des Energieverbrauches erlaubt die automatische Verbrauchserfassung. Hier werden Viertelstunden-Lastprofile in Datenloggern vor Ort gespeichert und einmal täglich in eine zentrale Datenbank eingelesen. Auf diese Weise kann die Übereinstimmung zwischen Nutzungsprofil und Verbrauch sehr zeitnah überwacht werden. Gegenwärtig sind ca. 700 Zähler in 270 Liegenschaften auf das System aufgeschaltet. Die Lastprofile stehen online unter www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de > Automatische Verbrauchserfassung zur Verfügung.

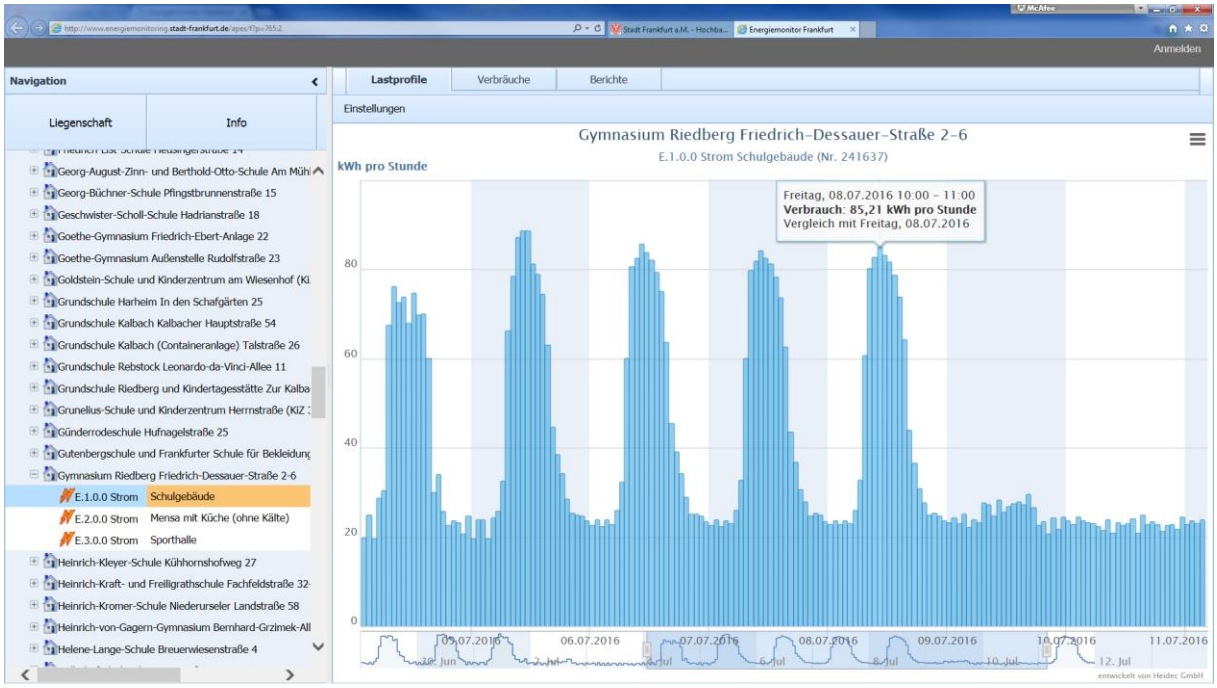

Abbildung 5: Lastprofile aus der automatischen Verbrauchserfassung

Nach der aktuellen Energieeinsparverordnung müssen seit dem 08.07.2015 in allen Gebäuden, in denen sich „mehr als 250 qm Nutzfläche mit starkem Publikumsverkehr befinden, der auf behördlicher Nutzung beruht“ Energieausweise ausgehängt werden. Die Abteilung Energiemanagement hat bislang 240 Energieausweise ausgestellt und den Liegenschaften zum Aushang zur Verfügung gestellt. Alle Energieausweise stehen auch im Internet zur Verfügung (www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de > Energieausweise).
Auf dem von der Abteilung Energiemanagement weiterentwickelten Energieausweis sind zusätzlich zu den gesetzlich vorgeschriebenen Daten weitere Angaben gemacht. Dazu gehören die Einstufung in eine Energieeffizienzklasse, die absoluten und spezifischen Energiekosten, Wasserverbrauch und Kosten, sowie das Kosten-Nutzen-Verhältnis der vorgeschlagenen Maßnahmen zur kostengünstigen Modernisierung. Ergänzt werden Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb inklusive des zugehörigen Einsparpotentials.

STADT FRANKFURT AM MAIN

Hochbauamt
Energiemanagement

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 18.11.2013

Gültig bis: 11.10.2025 Registriernummer: HE-2015-000472842 **Aushang**

Liegenschaft	**Hochbauamt**		
Adresse	**Gerbermühlstraße 48**		
Hauptnutzung	Verwaltungsgeb. mit norm. techn. Ausst.		9.711 m²
2. Nutzung	Verpflegungseinrichtungen		350 m²
Baujahr Gebäude	1980	Nettogrundfläche	**10.062 m²**
Wesentliche Energieträger für Heizung & Warmwasser		Heizöl EL	
Erneuerbare Energien			

Heizenergie **Verbrauchskennwert 2012 - 2014** **Kosten/Jahr**

Diese Liegenschaft: **94** kWh/m²a — **61.808 €/a**

0	71	89	104	120	139	175	kWh/m²a
effizient A	B	**C**	D	E	F	G	ineffizient

Vergleichswert EnEV: 86 kWh/m²a — 6,14 €/(m²a)

Heizenergie enthält ☑ Warmwasser

Strom **Verbrauchskennwert 2012 - 2014** **Kosten/Jahr**

Diese Liegenschaft: **52** kWh/m²a — **83.120 €/a**

0	14	19	25	30	36	49	kWh/m²a
effizient A	B	C	D	E	F	**G**	ineffizient

Vergleichswert EnEV: 32 kWh/m²a — 8,26 €/(m²a)

Strom enthält ☐ Zusatzheizung ☐ Warmwasser ☑ Lüftung ☑ Beleuchtung ☐ Kühlung ☑ Sonstiges

Wasser **Verbrauchskennwert 2012 - 2014** **Kosten/Jahr**

Diese Liegenschaft: **120** l/m²a — **3.917 €/a**

0	90	133	173	222	268	378	l/m²a
effizient A	**B**	C	D	E	F	G	ineffizient

Mittelwert: 271 l/m²a — 0,39 €/(m²a)

Primärenergieverbrauch **228 kWh/m²a** **Energie und Wasserkosten** **148.845 €/a**

Erläuterungen

Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten.

Empfehlungen zur kosteneffizienten Modernisierung	**Kosten**	**Einsparung**
Einbau von Bewegungsmeldern in den Fluren	2.000 €	500 €/a
Dämmung oberste Geschossdecke	30.000 €	1.000 €/a

Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	**Einsparung**
Lüftung nur kurz und stoßweise	5.200 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht	5.500 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen	500 €/a

Aussteller:
Hochbauamt Frankfurt
Dipl. Wirtschaftsingenieur Peter Dorn
Gerbermühlstraße 48
60459 Frankfurt a. Main

12.10.15 Dipl. Wirtschaftsingenieur Peter Dorn

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

Abbildung 6: Beispiel eines Energieverbrauchsausweises

3.2 Betriebsoptimierung

Mit der geringen Personalausstattung kann die Abteilung Energiemanagement den Betrieb nur in einem kleinen Teil der städtisch genutzten Liegenschaften optimieren. Daher wird jährlich ein viertägiges Seminarprogramm für Energiebeauftragte angeboten, wo die Mitarbeiter für den energie- und wassersparenden Betrieb der technischen Anlagen geschult werden. Neben umfangreichen Seminarunterlagen stehen Plakate, Faltblätter, Aufkleber, sowie praktische Demonstrationsmodelle und Messgeräte zum Ausleihen zur Verfügung. Dieses Seminarprogramm steht auch externen Interessierten offen.

Abbildung 7: Materialien aus dem Seminarprogramm für Energiebeauftragte

Wesentlich für die Motivation des Betriebspersonals ist das Programm Erfolgsbeteiligung für Nutzer. Danach kann jede städtische Liegenschaft 50 % der nutzerbedingten Energie- und Wasserkosteneinsparungen behalten. Davon kann wiederum die Hälfte als persönliche Prämie an den oder die Energiebeauftragte(n) ausgezahlt werden. Die verbleibenden 50 % stehen für investive Energie- und Wassersparmaßnahmen zur Verfügung. Im Jahr 2014 wurden mit diesem Projekt Energie- und Wasserkosten von insgesamt 1,3 Mio. Euro eingespart. Die Anzahl der städtischen Liegenschaften, die eigene Energiebeauftragte benennen und an unserem Programm teilnehmen, ist stetig gewachsen.

Das Programm „Beitrag zur Haushaltsentlastung durch Energie- und Wasserspar-maßnahmen“ beruht auf einem Magistratsbeschluss von 1996 und hat zum Ziel, Bedienungspersonal und Gebäudenutzer kommunaler Gebäude stärker zur Einsparung von Energie und Wasser zu motivieren. Seit Beginn des Programmes wurden Einsparungen von mehr als 8,2 Millionen Euro erzielt (siehe Abbildung 8) – ein frühzeitiges und aus heutiger Sicht weit vorausschauendes Erfolgsprogramm.

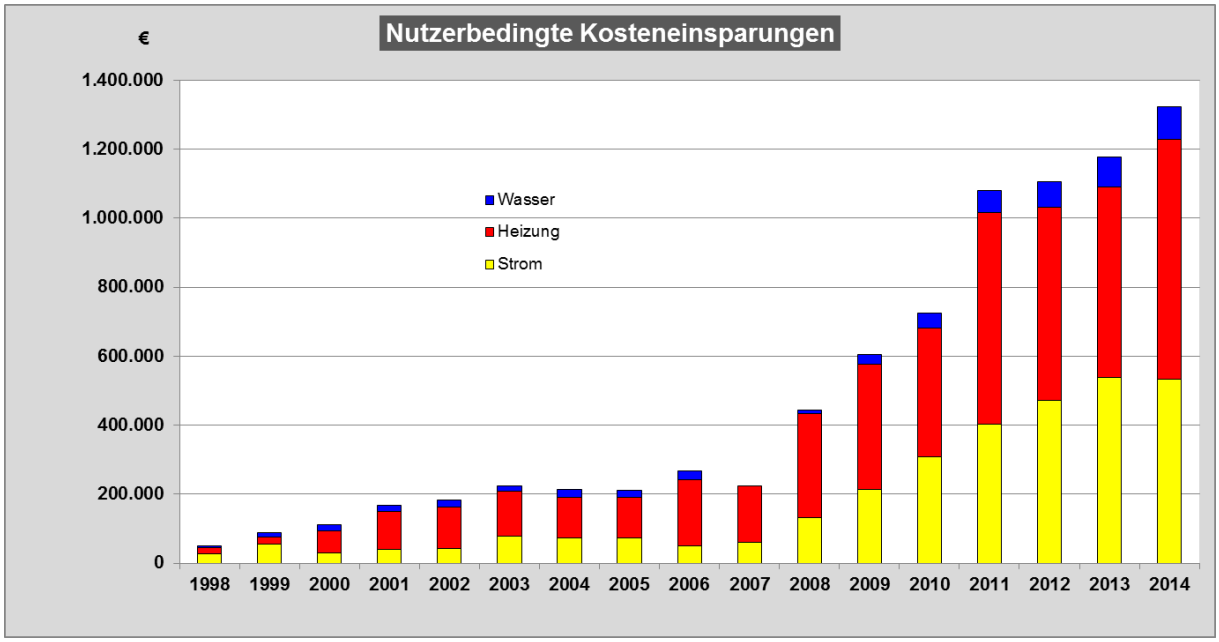

Abbildung 8: Einsparungen durch das Programm „Erfolgsbeteiligung für Nutzer“

Um die Nutzer städtischer Liegenschaften und insbesondere die Schüler in den städtischen Schulen noch stärker zum energiesparenden Verhalten anzuregen, wurde im Auftrag der Abteilung Energiemanagement die sogenannte „Energiespar-Toolbox“ entwickelt. Dabei können sich die Nutzer städtischer Liegenschaften auf der Internetseite www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de > Energiespar-Toolbox über einen bestimmten Zeitraum zu Aktionen verpflichten. Die erzielten Einsparungen werden dann für die Personen und Teams in einem Ranking dargestellt.

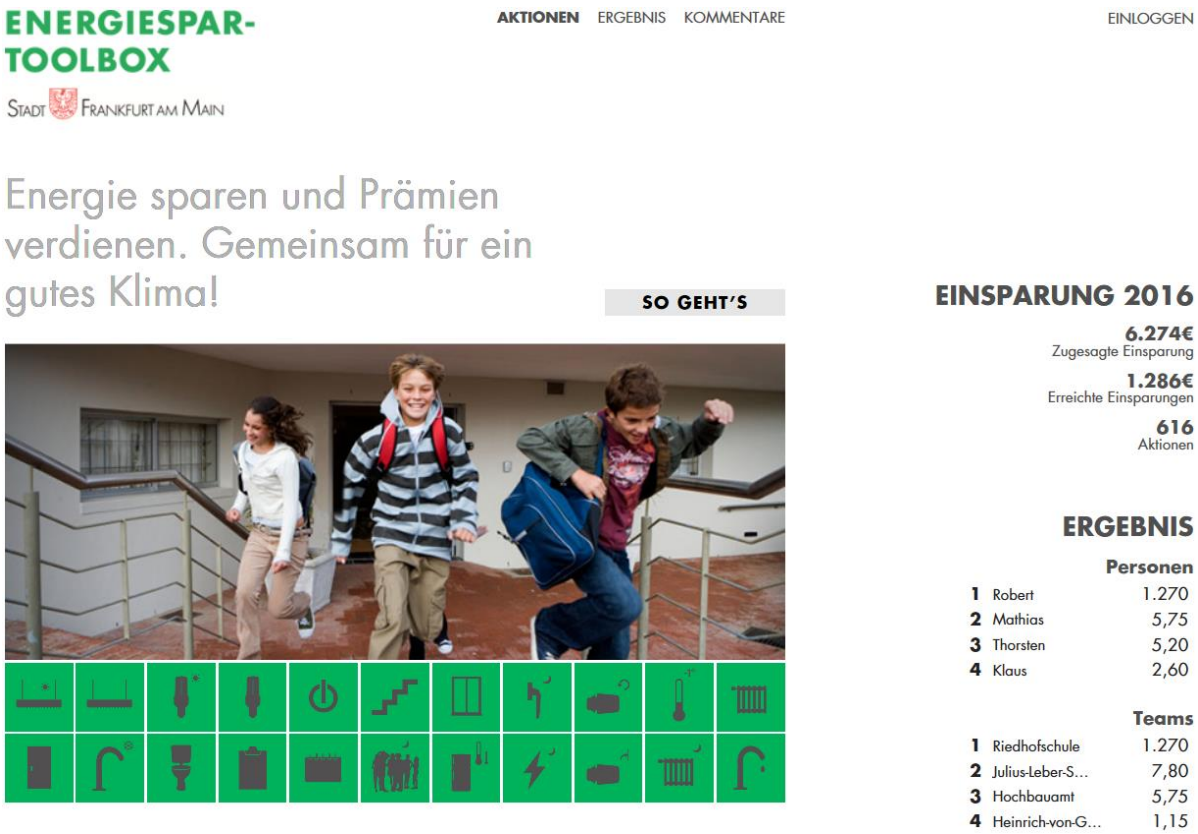

Abbildung 9: Startseite der Energiespar-Toolbox

3.3 Investive Maßnahmen

Im umfangreichen Liegenschaftsbestand der Stadt Frankfurt werden jedes Jahr zahlreiche Neubau- und Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Wichtig ist, dass bei diesen Maßnahmen auch die künftigen Betriebskosten berücksichtigt werden und jeweils das wirtschaftliche Optimum eingebaut wird. Deshalb hat das Hochbauamt Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen aufgestellt, die die wichtigsten Standards zusammenfassen. Diese Leitlinien liegen allen städtischen Bauvorhaben zugrunde. Sie wurden vom Magistrat der Stadt Frankfurt beschlossen und werden möglichst jährlich fortgeschrieben. Dort ist unter anderem festgelegt, dass neue städtische Gebäude in der Regel nur noch im Passivhausstandard errichtet werden. Dies umfasst im Wesentlichen eine hervorragende Wärmedämmung und eine auf den hygienischen Frischluftbedarf ausgelegte Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Zur Qualitätssicherung wird die Einhaltung der Leitlinien an vier Meilensteinen (zum Abschluss der Vorplanung, zur Bau- und Finanzierungsvorlage, bei der Abnahme und nach zwei Jahren Betrieb) mit einer Checkliste überprüft.

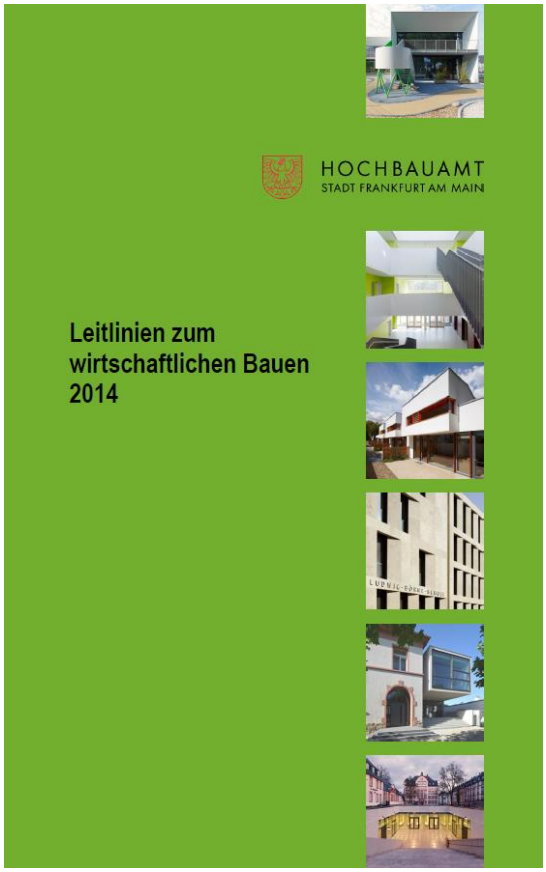

Abbildung 10: Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2014

Abweichungen von den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen sind möglich. Allerdings muss mit dem von der Abteilung Energiemanagement entwickelten Verfahren zur Gesamtkostenberechnung nachgewiesen werden, dass durch die Abweichung ein wirtschaftlicheres Ergebnis erzielt wird. Das Excel-Tool zur Gesamtkostenberechnung steht ebenso wie die Leitlinien unter www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de zur Verfügung. Bislang wurden für die Stadt Frankfurt 81 Neubauprojekte mit insgesamt 179.000 m² Nettogrundfläche (NGF) und 8 Sanierungsprojekte mit insgesamt 18.000 m² NGF mit Passivhaus-Komponenten fertiggestellt. Darunter befinden sich Feuerwachen, Jugendhäuser, Kindertagesstätten, Schulen bzw. Schulerweiterungen, Schulmensen, Sportfunktionsgebäude, Turnhallen und ein Verwaltungsgebäude. Weitere 11 Projekte befinden sich in Planung oder im Bau. Sämtliche Projekte sind auf der Internetseite www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de > Bauprojekte dargestellt.

Vor der Sanierung von komplexen Liegenschaften sollten grundsätzlich Energiekonzepte erstellt werden. In den letzten Jahren wurden in der Stadt Frankfurt bereits 29 Energiekonzepte erarbeitet. Darüber hinaus hat sich die Abteilung Energiemanagement an dem Forschungsprojekt Teilenergiekennwerte unter der Federführung des Instituts Wohnen und Umwelt in Darmstadt beteiligt. Im Rahmen dieses Projektes wurden fünf Schulen und fünf Museen der Stadt exemplarisch mit diesem neuen Rechentool untersucht und entsprechende Energieberatungsberichte erstellt. Hinzu kommen vier Wärmeversorgungskonzepte, unter anderem für das Museumsufer und den Zoo. Alle Energiekonzepte stehen unter www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement > Energiekonzepte zum Download zur Verfügung.

Eine besonders erfolgreiche Methode zur Energieeinsparung und zum Klimaschutz ist der Einsatz von Blockheizkraftwerken (BHKW). Deshalb wurden bei der Stadt Frankfurt 25 BHKW-Module mit insgesamt 1,9 MW elektrisch errichtet. Damit konnte seit 1992 ein finanzieller Gewinn von 1,77 Mio. € und eine Kohlendioxid-Einsparung von 33.342 to erzielt werden.

Blockheizkraftwerke der Stadt Frankfurt a.M. — Stand der Betriebsdaten: 31.12.2015

Alle Kosten brutto (incl. MWSt.) sofern nicht anders vermerkt — 2015 nicht aktiv

Name der Liegenschaft	Anzahl Module	Gesamtleistung elektrisch (kW)	Gesamtleistung thermisch (kWth)	Gesamt-Investition (T€)	Förderung (T€)	Eigeninvestition (T€)	Inbetriebnahme	Benutzungs-stunden kumuliert (h)	Stromerzeugung BHKW kumuliert (MWh)	Wärmeerzeugung BHKW kumuliert (MWh)	CO2-Einsparung kumuliert (to)	Überschuß kumuliert (T€)
Berthold-Otto-Schule	2	60	100	169	29	**140**	Okt 00	12.280	631	1.234	247	**-100**
Carl-Schurz-Schule	2	107	205	245	55	**190**	Okt 92	96.081	9.107	17.186	4.711	**371**
Dahlmann-Schule	1	56	106	148	33	**115**	Okt 92	93.606	2.988	10.221	2.025	**174**
Friedrich-Ebert-Schule	1	30	50	87	17	**70**	Okt 00	48.064	1.348	2.396	554	**-29**
Gartenhallenbad Fechenheim	1	14	32	33	20	**13**	Nov 00	81.555	594	2610	522	**91**
Rebstockbad	2	460	900	890	0	**890**	Nov 00	99.893	26.968	93.302	17.333	**546**
Helmholtz-Schule	1	5	13	15	15	**0**	Nov 98	92.482	342	1.149	186	**0**
Hermann-Luppe-Haus	1	24	55	72	21	**51**	Jul 09	16.130	387	887	145	**-1**
KiZ 143 Kunterbunt	1	6	13	15	6	**10**	Feb 94	115.868	610	1.304	225	**56**
KiZ 143 Kunterbunt 2	1	6	13	20	7	**13**	Jan 00	19.751	109	254	49	**20**
Liebig-Schule	1	50	81	109	0	**109**	Mrz 05	52.307	1.467	4.237	986	**4**
Linné-Schule	1	6	13	15	3	**13**	Aug 00	64.456	257	775	142	**32**
Ludwig-Richter-Schule	1	6	13	15	6	**10**	Feb 94	97.592	449	1.206	228	**42**
Palmengarten	2	844	1244	115	0	**0**	Dez 96	108.000	91.152	134.352		**0**
Panoramaschule	1	5,5	12,5	31	7	**24**	Jan 12	15.392	85	192	36	5
Schiller-Schule	1	14,5	26	69,4	6	**64**	Jan 12	20.531	298	534	126	23
Schule am Hang	1	6	15	31	7	**23**	Feb 10	24.496	29	363	75	**11**
Sportzentrum Kalbach	1	50	97	221	0	**221**	Feb 09	48.313	630	4.686	1.144	**27**
Umweltamt	1	5	12	15	3	**13**	Aug 00	85.887	297	1038	206	**32**
Wöhler-Schule	2	107	205	243	55	**188**	Okt 92	105.801	9.951	17.893	4.404	**469**
Summe	**25**	**1.860**	**3.204**	**2.559**	**289**	**2.156**		**1.298.485**	**147.699**	**295.819**	**33.342**	**1.772**

Abbildung 11: Betriebsergebnisse der städtischen Blockheizkraftwerke

Darüber hinaus setzt die Stadt Frankfurt am Main auch auf regenerative Energiequellen. Seit dem Jahr 2008 stammen im Mainova-Versorgungsgebiet 50 % des Stroms für die städtischen Liegenschaften aus regenerativen Energiequellen (zertifiziert nach Grüner-Strom-Label) und 50 % aus Kraft-Wärme-Kopplung. Nach der Ausschreibung für elektrische Energie werden seit 2014 praktisch alle städtischen Abnahmestellen mit diesem Strommix versorgt.
Darüber hinaus sind auf den Liegenschaften der Stadt Frankfurt gegenwärtig 33 stadteigene Photovoltaik-Anlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von 578 kW_{peak} im Betrieb. Hinzu kommen 35 fremdfinanzierte Anlagen mit insgesamt 4.176 kW_{peak}.

Photovoltaikanlagen auf Gebäuden der Stadt Frankfurt a.M.

a) städtische Anlagen	Inbetrieb-nahme	Leistung (kW_{peak})	Bemerkung
Liegenschaft			
ARA Niederrrad	2010	28	
ARA Griesheim	2011	80	
Bettina-Schule	1999	1	
Bürgerhaus Nied	2010	30	
Ernst-Reuter-Schule I und II	2001	1	
FES Callcenter	2014	30	
FES Ferdinand-Porsche Straße - Kantine	2016	12	
FES Max-Holder-Straße	2012	24	
FES Weidenbornstraße	2011	11	
Franz-Böhm-Schule	1999	1	
Friedrich-Ebert-Schule	2001	1	
Goethe-Gymnasium	1993	2	
Heinrich-Kleyer-Schule	1999	1	
Holbein-Schule	2001	1	
Julius-Leber-Schule	1998	1	
Kindertagesstätte Alkmenestraße	2006	16	Dachhautintegriert
Kindertagesstätte Schwanheim	2007	3	
Kinderzentrum am Ulmenrück (KiZ 137)	2012	43	
Kinderzentrum Eichhörnchenpfad (KiZ 120)	1990	10	
Kinderzentrum Melibocusstrasse (KiZ 121)	1990	10	
Kinderzentrum Rendeler Strasse (KiZ 126)	1993	5	
Liebig-Schule	1998	1	
Liebig-Schule Turnhalle	2009	11	
Otto-Hahn-Schule	2000	1	
Rhein-Main-Biokompost	2011	231	
Sozialrathaus und Bürgeramt Sachsenhausen	2009	8	
Sport- und Freizeitzentrum Kalbach	1990	5	
Textorschule (Oppenheimer Landstr.)	1999	1	
Viktor-Frankl-Schule	2000	1	
Werner-von-Siemens-Schule	1990	5	
Wilhelm-Merton-Schule	2001	1	
Wöhler-Schule	1998	1	auf IPI-Bau
Ziehen-Schule	1999	1	
33 Anlagen		578	

b) fremdfinanzierte Anlagen	Inbetrieb-nahme	Leistung (kW_{peak})	Investor
Liegenschaft			
Anne-Frank-Schule	2010	25	Mainova
Bergiusschule	2010	17	Mainova, derzeit Gesamtsanierung
Bettina-Schule	2010	21	Mainova
Carlo-Mierendorff-Schule, Cafeteria	2011	21	Solarverein Frankfurt
Ernst-Reuter-Schule	2001	24	Megasol I
Ernst-Reuter-Schule	2001	20	Megasol II
Fraport Arena	2013	180	Sonneninitiative Marburg
Freiherr-vom-Stein-Schule	2012	98	Sonneninitiative Marburg
Friedrich-Dessauer-Gymnasium	2012	155	Sonneninitiative Marburg
Friedrich-Ebert-Schule	2000	22	Megasol Nord
Friedrich-Ebert-Schule	2000	21	Megasol Süd
Friedrich-Ebert-Schule Sporthalle	2008	30	Sonneninitiative Marburg
Friedrich-Ebert-Schule	2012	152	Sonneninitiative Marburg
Frischezentrum	2009	1.300	Wagner & Co
FSV-Stadion	2001	30	Mainova Bürgersolaranlage
Georg-August-Zinn-Schule	2000	22	Megasol
Heinrich-Kleyer-Schule	2013	160	Sonneninitiative Marburg
Heinrich-Seliger-Schule	2010	41	Mainova
Johann-Hinrich-Wichern-Schule	2010	18	Mainova
Karl-von-Ibell-Schule	2010	37	Mainova
Kindertagesstätte Blauglockenweg	2005	5	Mainova Bürgersolaranlage
Kindertagesstätte Rödelheim	2013	47	Sonneninitiative Marburg
Messehalle 10	2010	490	Sonneninitiative Marburg
Messe Parkhaus am Rebstock	2012	612	
Michael-Grzimek-Schule	2010	11	Mainova
Panorama-Schule	2011	21	Solarverein Frankfurt
Peter-Petersen-Schule	2012	140	Sonneninitiative Marburg
Schule am Riedberg	2004	8	Mainova, finanziert durch ÖkaWe-Aufschlag
Schule am Riedberg	2007	19	Mainova, finanziert durch ÖkaWe-Aufschlag
Schule-am-Ried	2010	116	Mainova
Stadtwerke Holding	2013	212	Sonneninitiative Marburg
Textorschule (Oppenheimer Landstr.)	2014	31	Mainova
Wilhelm-Merton-Schule	2011	17	Solarverein Frankfurt
Wöhler-Schule	2010	46	Mainova auf Hauptgebäude und IPI-Bau
Wöhler-Schule	2008	8	Schulverein auf Mensa
35 Anlagen		4.176	

Abbildung 12: Photovoltaikanlagen auf städtischen Liegenschaften

Auf den Liegenschaften der Stadt Frankfurt sind weiterhin acht Solarkollektor-Anlagen mit einer Gesamtfläche von 119 m² im Betrieb. Außerdem sind gegenwärtig zwei Holzhackschnitzel- und zehn Holzpellet-Heizkessel mit einer thermischen Gesamtleistung von 2.063 kW im Betrieb.

Holzfeuerungsanlagen der Stadt Frankfurt a.M.

Objekt	Inbetrieb-nahme	Leistung (kW)	Typ
Betriebshof ARA Griesheim, Gutleutstraße 407	2005	55	Pellet
Betriebshof Bethmannpark, Mauerweg 8	2006	14	Pellet
Betriebshof Hauptfriedhof, Eckenheimer Landstraße 194	2006	99	Pellet
Betriebshof, Isenburger Schneise 200	1987	100	Hackschnitzel
Comeniusschule, Burgstraße 59	2009	150	Pellet
Forsthaus Niederrad, Flughafenstraße 120	2005	25	Pellet
Forsthaus Schwanheim, Schwanheimer Bahnstraße 51	2005	25	Pellet
Grundschule Riedberg, Zur Kalbacher Höhe 15	2004	120	Pellet
Landschulheim Wegscheide bei Bad Orb	2001	750	Hackschnitzel
Liesel-Oestreicher-Schule, Boskoopstraße 6	2007	125	Pellet
Sozialstation Gallus, Krifteler Straße 80-86	2009	300	Pellet
Theobald-Ziegler-Schule, Theobald-Ziegler-Straße 10	2009	300	Pellet
12 Anlagen		**2.063**	

Abbildung 13: Holzfeuerungsanlagen in städtischen Liegenschaften

Schließlich sind in den städtischen Liegenschaften sieben Geothermie-Anlagen mit einer Wärmeleistung von insgesamt 855 kW und einer Kälteleistung von 600 kW im Betrieb.

4. Ausblick

Um die Ziele der Energiewende der Bundesregierung und des Energie- und Klimaschutzkonzeptes der Stadt zu erreichen (Verringerung der CO_2-Emissionen alle fünf Jahre um 10 %, bis 2050 Halbierung des Energiebedarfs und Deckung ausschließlich aus regenerativen Quellen) sind künftig noch deutlich verstärkte Anstrengungen nötig.
Die technische Lebensdauer aller energetisch relevanten Bauteile (thermische Gebäudehülle und komplette technische Gebäudeausrüstung) beträgt maximal 50 Jahre. Wenn man sämtliche städtischen Gebäude (ca. 2.500 Stück mit 2,5 Mio. m² Nettogrundfläche) einmal innerhalb von 50 Jahren nach dem gesetzlichen Standard der Energieeinsparverordnung sanieren will, müssen ca. 70 Mio. Euro pro Jahr aufwendet werden. Der Mehraufwand für die Sanierung nach den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen (Passivhauskomponenten) beträgt ca. 4 Mio. Euro pro Jahr. Dem stehen zusätzliche Energiekosteneinsparungen von ca. 5 Mio. Euro pro Jahr gegenüber.
Zur Erreichung der Klimaschutzziele müssen weiterhin ca. 4 Mio. Euro pro Jahr für Photovoltaikanlagen und 1 Mio. Euro pro Jahr für Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen aufgewendet werden. Dem stehen Einsparungen von ca. 6 Mio. Euro pro Jahr an Energiekosten gegenüber.
Die Ziele der Energiewende sind also mit wirtschaftlichen Mitteln erreichbar. Sämtliche Kosten und Einsparungen der Energiewende sind in der folgenden Abbildung 14 zusammengestellt.

Kosten und Einsparung der Energiewende im kommunalen Gebäudebestand

Mengengerüst mit stark gerundeten Werten

Gebäudebestand	/m² NGF	/Einwohner		Frankfurt a.M.	Deutschland	
Einwohnerzahl		1	EW	700.000	81.800.000	EW
Anzahl der öffentlichen Gebäude				2.500	290.000	Gebäude
Beheizte Nettogrundfläche der öffentlichen Gebäude	1	4	m²	2,5	290	Mio. m²
Heizenergiekosten 2015	4	15	€/Jahr	10	1.200	Mio. €/Jahr
Stromkosten 2015	6	21	€/Jahr	15	1.700	Mio. €/Jahr
Energiekosten 2015	**10**	**36**	**€/Jahr**	**25**	**2.900**	**Mio. €/Jahr**
Energiecontrolling und Betriebsoptimierung	**/m² NGF**	**/Einwohner**		**Frankfurt a.M.**	**Deutschland**	
Personalbedarf (1 Mitarbeiter(in) für 2 Mio. € Energiekosten)				13	1.450	Mitarbeiter
Personalkosten (75.000 € / Mitarbeiter, Jahr)	**0,4**	**1,3**	**€/Jahr**	**1**	**109**	**Mio. €/Jahr**
Energiekosteneinsparung durch Energiemanagement (15 %)	**1,5**	**5,4**	**€/Jahr**	**4**	**435**	**Mio. €/Jahr**
Gebäudesanierung auf EnEV-Standard	**/m² NGF**	**/Einwohner**		**Frankfurt a.M.**	**Deutschland**	
Mittlere Lebensdauer der energierelevanten Bauteile	50	Jahre				
jährliche Sanierungsrate	2,0%	/Jahr				
jährlich zu sanierende Gebäude				50	5.800	Gebäude/Jahr
jährlich zu sanierende Nettogrundfläche				50.000	5.800.000	m²/Jahr
spez. Kosten für Sanierung auf EnEV-Standard (ohnehin erforderlich!)	1.400	€/m²				
jährliche Kosten für Sanierung nach EnEV (ohnehin erforderlich!)	**28**	**100**	**€/Jahr**	**70**	**8.120**	**Mio. €/Jahr**
Personalkosten Bauverwaltung (20 % Honorar, davon 25 % Projektleit.)	**1**	**5**	**€/Jahr**	**4**	**406**	**Mio. €/Jahr**
Personalbedarf Bauverwaltung (bei 75.000 €/P)				47	5.413	Mitarbeiter
Heizenergieeinsparung durch Sanierung auf EnEV-Standard	40%					
Stromeinsparung durch Sanierung auf EnEV-Standard	15%					
Energiekosteneinsparung durch Sanierung auf EnEV-Standard	**3**	**9**	**€/Jahr**	**6**	**735**	**Mio. €/Jahr**
Gebäudesanierung auf optimierten Standard	**/m² NGF**	**/Einwohner**		**Frankfurt a.M.**	**Deutschland**	
spez. Mehrkosten für optimierten Sanierungsstandard	80	€/m²				
jährl. Mehrkosten für optimierten Sanierungsstandard	**1,6**	**5,7**	**€/Jahr**	**4**	**464**	**Mio. €/Jahr**
Personalmehrkosten Bauverwaltung	**0,1**	**0,3**	**€/Jahr**	**0,2**	**23**	**Mio. €/Jahr**
Personalmehrbedarf Bauverwaltung				3	309	Mitarbeiter
zus. Heizenergieeinsparung durch optimierten Sanierungsstandard	30%					
zus. Stromeinsparung durch optimierten Sanierungsstandard	15%					
zus. Energiekosteneinsparung durch optimierten Sanierungsstandard	**2,1**	**7,6**	**€/Jahr**	**5**	**615**	**Mio. €/Jahr**
Einbau von Photovoltaikanlagen	**/m² NGF**	**/Einwohner**		**Frankfurt a.M.**	**Deutschland**	
Nutzbare Dachfläche (im Mittel 2,5 Geschosse, 50 % nutzbar)	0,2	m²		0,5	58	Mio. m²
Mittlere Lebensdauer der PV-Anlagen	25	Jahre				
jährliche Zubau-/Sanierungsrate	4%	/Jahr				
jährlich zu errichtende Photovoltaikanlagen (Fläche)				20.000	2.320.000	m²/Jahr
jährlich zu errichtende Photovoltaikanlagen (Leistung)				2.000	232.000	kW_{peak}/Jahr
spez. Kosten für Photovoltaikanlagen	1.800	$€/kW_{peak}$				
jährliche Kosten für den Bau von Photovoltaikanlagen	**1,4**	**5,1**	**€/Jahr**	**4**	**418**	**Mio. €/Jahr**
Personalkosten Bauverwaltung	**0,1**	**0,3**	**€/Jahr**	**0,2**	**21**	**Mio. €/Jahr**
Personalbedarf Bauverwaltung				2	278	Mitarbeiter
Ertrag aus den Photovoltaikanlagen (850 h/a, 0,12 €/kWh)	102	$€/kW_{peak}$,Jahr				
Stromertrag aus den Photovoltaikanlagen im Endausbau	**2,0**	**7,3**	**€/Jahr**	**5**	**592**	**Mio. €/Jahr**
Einbau von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen	**/m² NGF**	**/Einwohner**		**Frankfurt a.M.**	**Deutschland**	
Anzahl von Heizzentralen				1.000	120.000	Stück
Wärmeverbrauch nach optimierter Sanierung				66	7.700	GWh
Mittlere Lebensdauer der KWK-Anlagen	10	Jahre				
jährliche Zubau-/Sanierungsrate	10%	/Jahr				
jährlich einzubauende KWK-Anlagen (Anzahl in 50 % der Heizzentralen)				50	6.000	Stück/Jahr
jährlich einzubauende KWK-Anlagen (Leistung für 50 % der Wärmeerzeugung)				330	39.000	kW_{el}/Jahr
spez. Kosten für KWK-Analgen	2.800	$€/kW_{el}$				
jährliche Kosten für den Bau von KWK-Anlagen	**0,4**	**1,3**	**€/m²/Jahr**	**1**	**109**	**Mio. €/Jahr**
Personalkosten Bauverwaltung	**0,0**	**0,1**	**€/Jahr**	**0,0**	**5**	**Mio. €/Jahr**
Personalbedarf Bauverwaltung				1	73	Mitarbeiter
Ertrag aus den KWK-Anlagen (5.000 h/a, 0,07 $€/kWh_{el}$)	350	$€/kW_{el}$,Jahr				
Ertrag aus den KWK-Anlagen im Endausbau	**0,5**	**1,7**	**€/m²,Jahr**	**1**	**137**	**Mio. €/Jahr**
Zusammenfassung	**/m² NGF**	**/Einwohner**		**Frankfurt a.M.**	**Deutschland**	
Energiekosten 2015	**10**	**36**	**€/m²,Jahr**	**25**	**2.900**	**Mio. €/Jahr**
Energiekosten 2065 (zu Preisen von 2015)	**1**	**5**	**€/m²,Jahr**	**3**	**387**	**Mio. €/Jahr**
jährliche Kosten für Sanierung nach EnEV (ohnehin erforderlich!)	**28**	**100**	**€/m²,Jahr**	**70**	**8.120**	**Mio. €/Jahr**
jährliche Mehrkosten für EM, optimierten Standard, PV und KWK	**3**	**12**	**€/m²,Jahr**	**9**	**991**	**Mio. €/Jahr**
jährliche Einsparung für EM, optimierten Standard, PV und KWK	**6**	**22**	**€/m²,Jahr**	**15**	**1.778**	**Mio. €/Jahr**
Personalbedarf für Sanierung nach EnEV (ohnehin erforderlich)				**47**	**5.413**	**Mitarbeiter**
Personalmehrbedarf für EM, optimierten Standard und PV				**18**	**2.111**	**Mitarbeiter**

Abbildung 14: Kosten und Einsparungen der Energiewende

Der Energiewenderechner ist genauso wie alle anderen genannten Informationen auf der Internetseite der Abteilung Energiemanagement verfügbar.

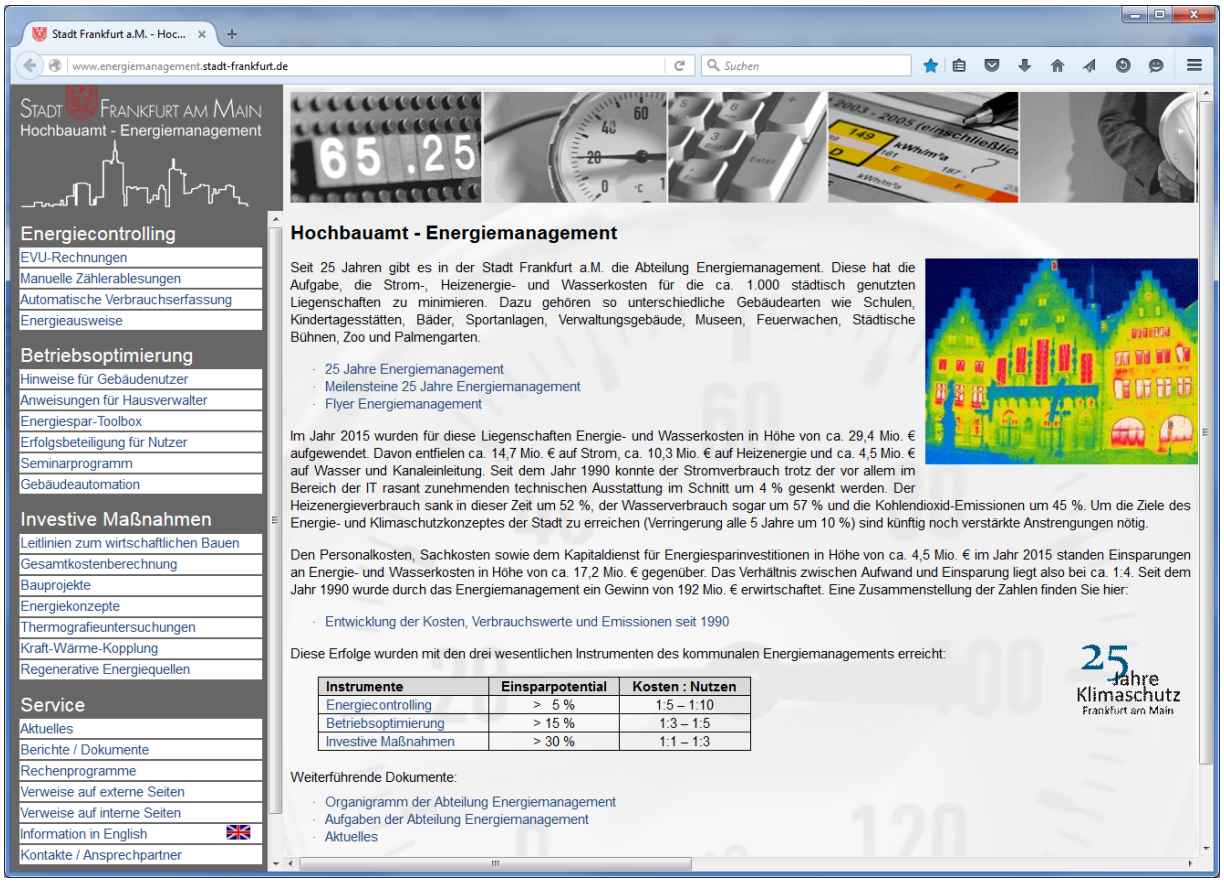

Abbildung 15: Startseite www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

Mathias Linder
Abteilungsleiter Energiemanagement