Fachtagung CO_2-neutrale Schule am 11.11.2021

Ermittlung der schulischen CO_2-Emissionen und Einsparmöglichkeiten am Beispiel Energie

Dipl.-Ing. Mathias Linder
Abteilungsleiter Energiemanagement

Stadt Frankfurt am Main
Amt für Bau und Immobilien
Abteilung Energiemanagement

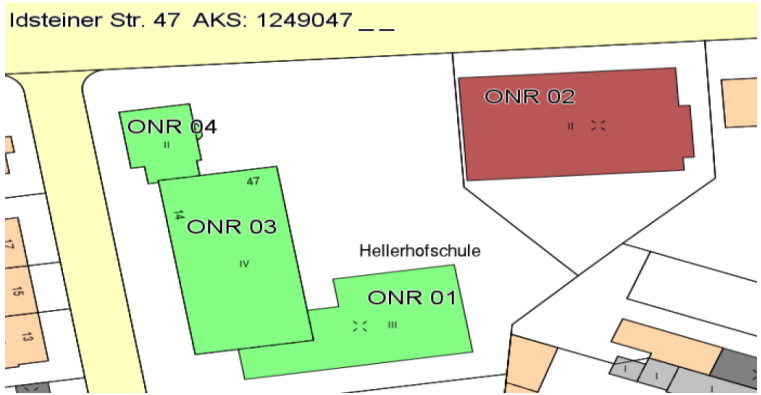
Klimaschutzziele der Stadt Frankfurt a.M.

- Reduktion der CO_2-Emissionen alle fünf Jahre um 10 %
- Reduktion des Energiebedarfs bis 2050 um 50 % gegenüber 1990
- Volle Deckung des Energiebedarfs aus erneuerbaren Quellen bis 2050 (50 % Stadtgebiet, 50 % Region)

Foto: PIA

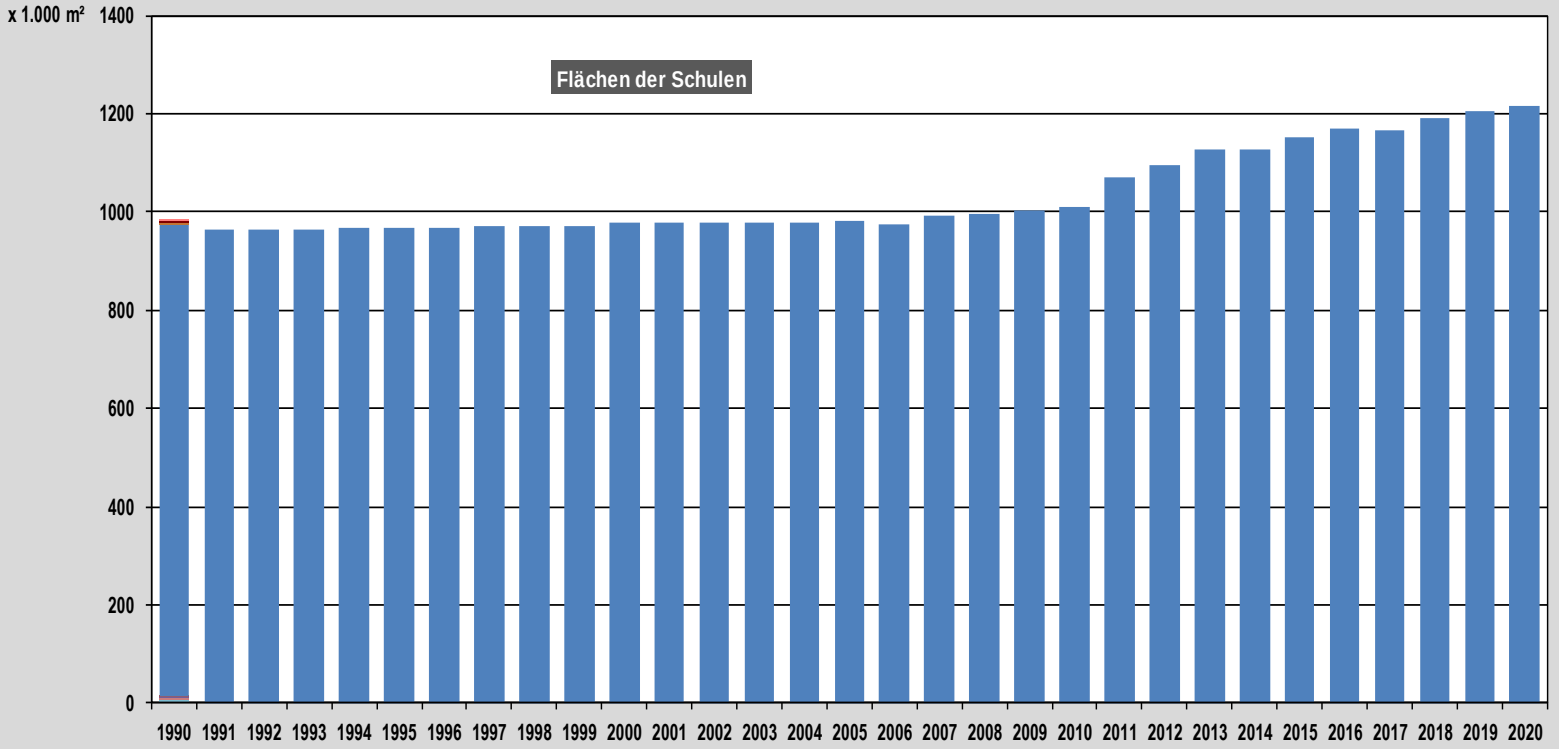
Schulen in Frankfurt a.M.

- Liegenschaften schulischer Nutzung: 178
- Gebäude mit schulischer Nutzung: 1.048



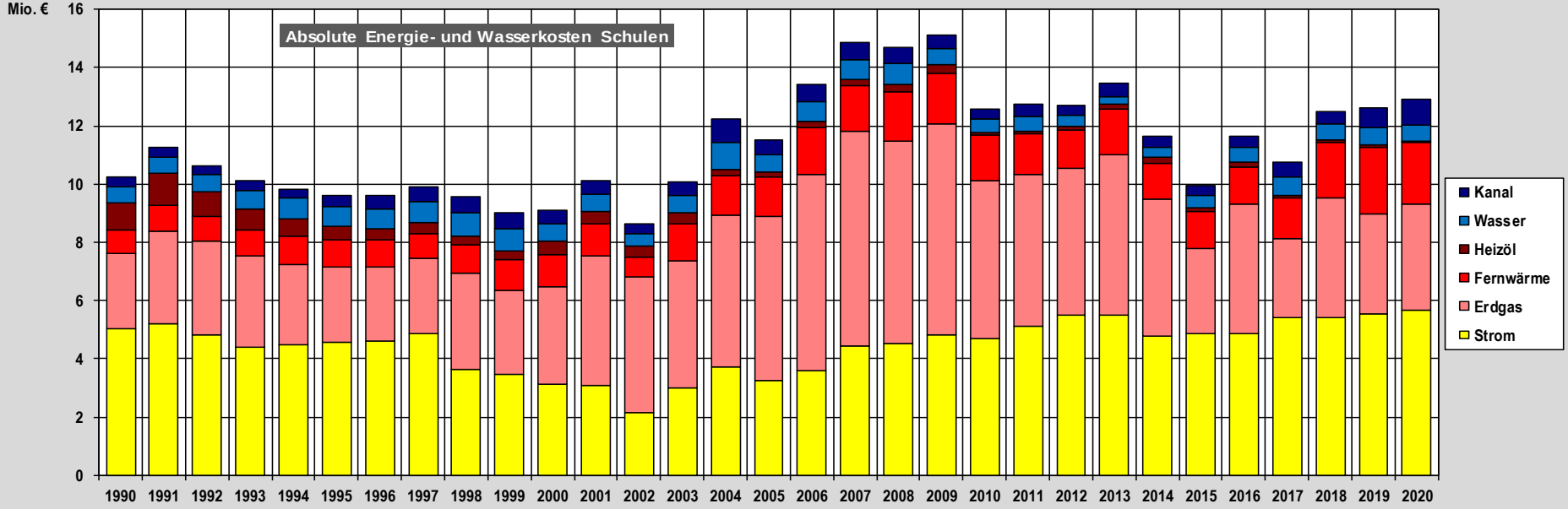
Flächenentwicklung 1990-2020

Flächen (konditionierte NRF)	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	2016	2017	2018	2019	2020		2020/1990
Schulen	962	964	964	964	969	969	969	972	972	972	977	978	978	978	979	981	974	991	996	1.002	1.010	1.071	1.097	1.126	1.129	1.154	1.169	1.165	1.190	1.205	1.216	Tm²	25 %

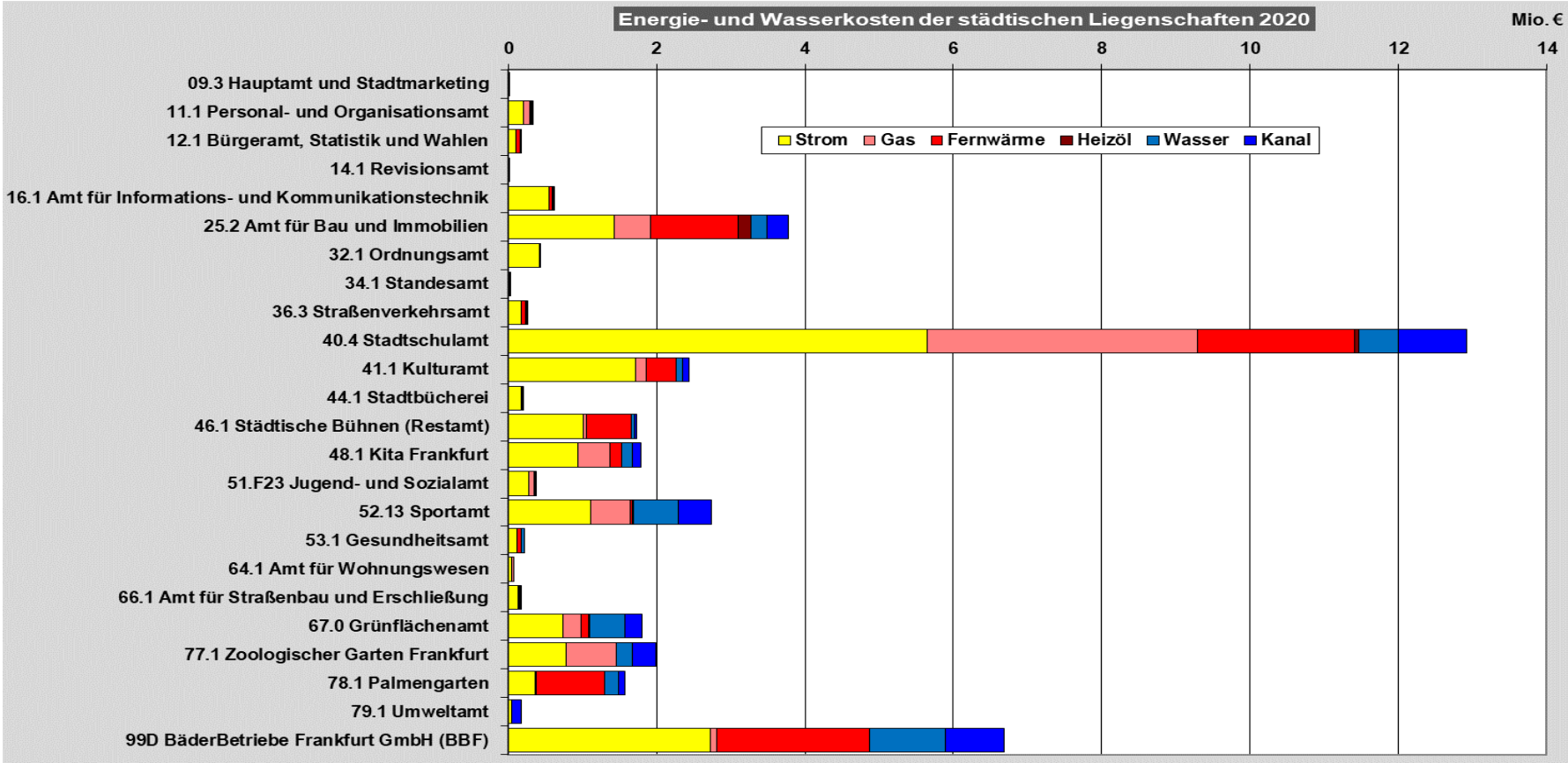


Kostenentwicklung absolut 1990-2020

Kosten (brutto)	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	2016	2017	2018	2019	2020		2020/1990	
Strom	5,1	5,2	4,8	4,4	4,5	4,6	4,6	4,9	3,6	3,5	3,1	3,1	2,2	3,0	3,7	3,2	3,6	4,4	4,5	4,8	4,7	5,1	5,5	5,5	4,8	4,8	4,9	5,4	5,4	5,6	5,7	Mio. €	11,9	%
Erdgas	2,6	3,2	3,2	3,1	2,7	2,6	2,6	2,6	3,3	2,9	3,3	4,4	4,7	4,3	5,2	5,6	6,7	7,4	7,0	7,2	5,4	5,2	5,0	5,5	4,7	2,9	4,5	2,7	4,1	3,4	3,6	Mio. €	41,4	%
Fernwärme	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	0,7	1,3	1,4	1,4	1,6	1,5	1,7	1,7	1,5	1,4	1,3	1,6	1,2	1,3	1,3	1,4	1,9	2,3	2,1	Mio. €	167,0	%
Heizöl	0,9	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Mio. €	-94,2	%
Heizenergie	4,3	5,2	4,9	4,7	4,3	4,0	3,9	3,8	4,6	4,3	4,9	6,0	5,7	6,0	6,8	7,2	8,5	9,1	8,9	9,2	7,1	6,7	6,5	7,2	6,1	4,4	5,9	4,2	6,1	5,8	5,8	Mio. €	34,7	%
Wasser	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,6	0,9	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	Mio. €	3,3	%
Kanal	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,8	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	0,9	Mio. €	168,0	%
Wasser + Kanal	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,4	1,3	1,1	1,1	0,8	1,0	1,7	1,1	1,3	1,3	1,3	1,0	0,8	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,2	1,0	1,3	1,5	Mio. €	68,9	%
Gesamt	10,2	11,3	10,6	10,1	9,8	9,6	9,6	9,9	9,6	9,0	9,1	10,1	8,6	10,1	12,2	11,5	13,4	14,9	14,7	15,1	12,6	12,7	12,7	13,4	11,6	10,0	11,7	10,8	12,5	12,6	12,9	Mio. €	26,3	%

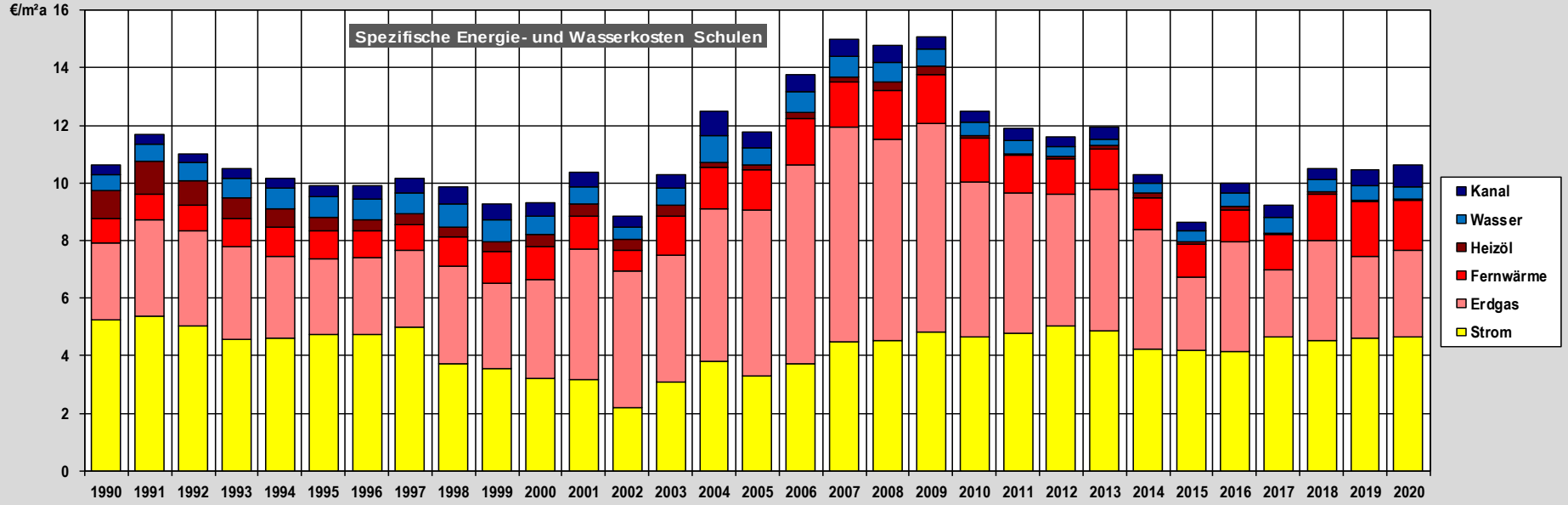


Kostenverteilung 2020



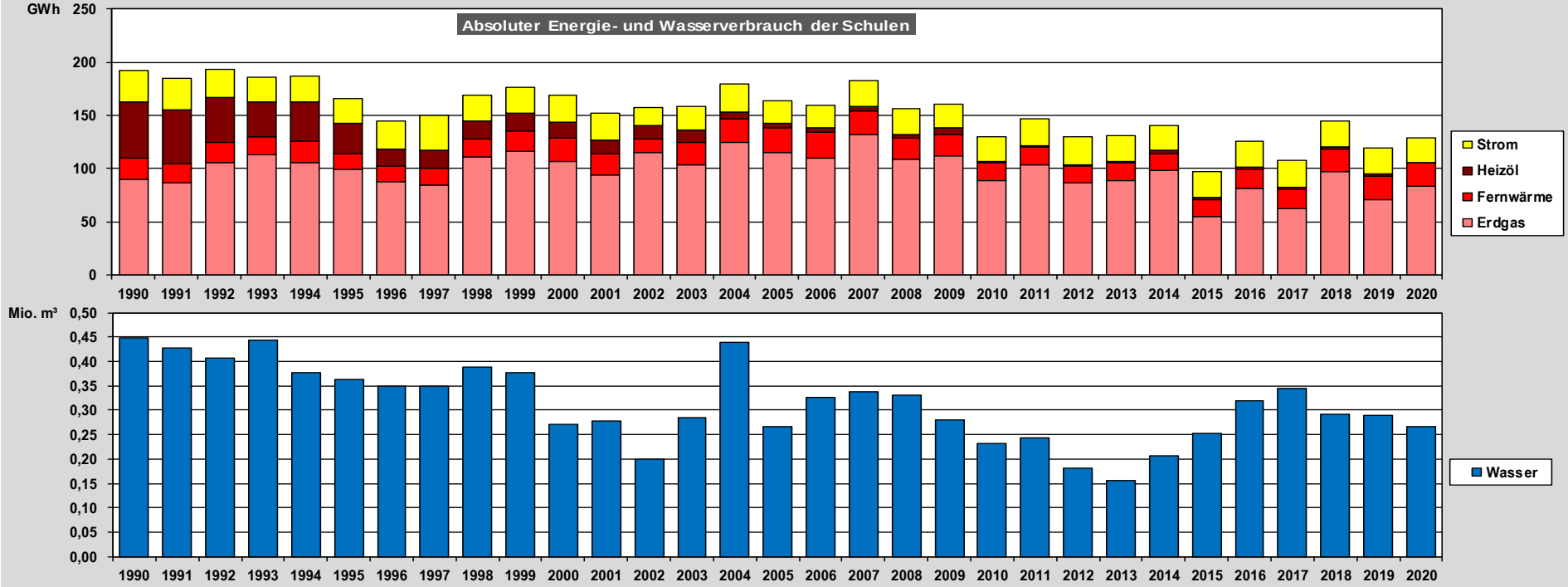
Kostenentwicklung spezifisch 1990-2020

Kosten (brutto)	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	2016	2017	2018	2019	2020		2020/1990	
Strom	**5,25**	**5,40**	**5,02**	**4,57**	**4,63**	**4,73**	**4,75**	**5,00**	**3,73**	**3,56**	**3,21**	**3,16**	**2,20**	**3,08**	**3,79**	**3,31**	**3,71**	**4,49**	**4,54**	**4,82**	**4,64**	**4,78**	**5,02**	**4,87**	**4,25**	**4,20**	**4,15**	**4,66**	**4,54**	**4,61**	**4,65**	€/m²a	**-11,5**	%
Erdgas	2,68	3,31	3,30	3,23	2,84	2,65	2,65	2,66	3,40	2,97	3,42	4,54	4,76	4,43	5,31	5,73	6,91	7,45	6,98	7,22	5,38	4,86	4,58	4,92	4,13	2,54	3,81	2,33	3,46	2,85	2,99	€/m²a	**11,9**	%
Fernwärme	0,83	0,91	0,89	0,96	0,99	0,94	0,93	0,90	1,00	1,09	1,14	1,15	0,71	1,32	1,42	1,40	1,62	1,56	1,70	1,73	1,53	1,32	1,22	1,38	1,09	1,13	1,11	1,21	1,60	1,88	1,74	€/m²a	**111,3**	%
Heizöl	0,99	1,15	0,87	0,71	0,64	0,50	0,41	0,37	0,33	0,32	0,45	0,42	0,36	0,39	0,20	0,20	0,22	0,20	0,27	0,27	0,08	0,05	0,10	0,13	0,19	0,11	0,12	0,06	0,08	0,07	0,04	€/m²a	**-95,4**	%
Heizenergie	**4,49**	**5,37**	**5,06**	**4,90**	**4,48**	**4,09**	**3,99**	**3,93**	**4,73**	**4,38**	**5,01**	**6,11**	**5,83**	**6,14**	**6,94**	**7,32**	**8,76**	**9,21**	**8,95**	**9,22**	**7,00**	**6,24**	**5,90**	**6,42**	**5,41**	**3,78**	**5,03**	**3,60**	**5,14**	**4,79**	**4,78**	€/m²a	**6,6**	%
Wasser	0,54	0,57	0,61	0,69	0,71	0,68	0,71	0,73	0,81	0,78	0,62	0,60	0,44	0,60	0,93	0,57	0,70	0,71	0,69	0,58	0,48	0,47	0,34	0,23	0,31	0,37	0,46	0,54	0,45	0,48	0,44	€/m²a	**-18,2**	%
Kanal	0,36	0,34	0,32	0,35	0,33	0,40	0,44	0,53	0,60	0,56	0,49	0,49	0,36	0,46	0,82	0,55	0,60	0,60	0,59	0,46	0,35	0,40	0,33	0,40	0,33	0,29	0,32	0,45	0,38	0,58	0,75	€/m²a	**112,1**	%
Wasser + Kanal	**0,89**	**0,91**	**0,94**	**1,05**	**1,04**	**1,08**	**1,16**	**1,26**	**1,40**	**1,34**	**1,11**	**1,09**	**0,80**	**1,07**	**1,75**	**1,12**	**1,30**	**1,31**	**1,28**	**1,04**	**0,83**	**0,88**	**0,67**	**0,64**	**0,64**	**0,66**	**0,78**	**0,99**	**0,83**	**1,06**	**1,19**	€/m²a	**33,7**	%
Gesamt	**10,63**	**11,67**	**11,02**	**10,51**	**10,15**	**9,91**	**9,89**	**10,18**	**9,86**	**9,29**	**9,33**	**10,36**	**8,83**	**10,28**	**12,48**	**11,75**	**13,77**	**15,00**	**14,76**	**15,09**	**12,47**	**11,89**	**11,59**	**11,94**	**10,30**	**8,63**	**9,97**	**9,24**	**10,50**	**10,47**	**10,63**	€/m²a	**0,0**	%



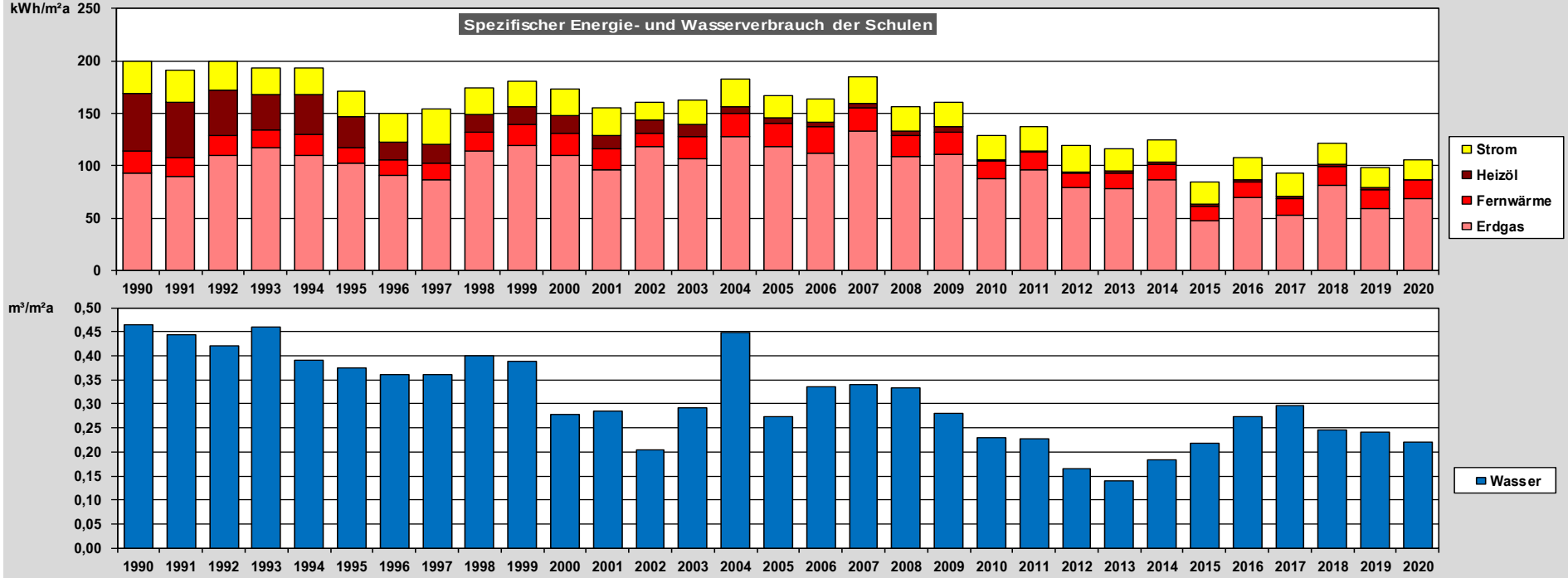
Verbrauchsentwicklung absolut 1990-2020

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	2016	2017	2018	2019	2020		2020/1990	
Strom	**29**	**30**	**26**	**24**	**24**	**24**	**26**	**33**	**24**	**24**	**25**	**25**	**17**	**23**	**26**	**22**	**22**	**25**	**24**	**23**	**23**	**25**	**27**	**25**	**24**	**24**	**24**	**26**	**25**	**24**	**23**	GWh	**-21**	%
Erdgas	90	87	106	113	106	99	88	85	111	116	107	95	116	104	125	116	110	132	108	112	89	103	87	89	98	55	81	62	97	71	84	GWh	**-7**	%
Fernwärme	20	18	19	17	20	15	14	15	17	20	21	20	13	21	22	23	25	23	20	20	17	18	15	17	17	16	18	18	21	22	21	GWh	**6**	%
Heizöl	53	51	42	33	37	29	17	17	17	17	16	12	12	11	6	4	4	4	4	6	1	1	1	2	3	2	3	2	2	2	1	GWh	**-98**	%
Heizenergie	**163**	**155**	**167**	**163**	**163**	**143**	**119**	**117**	**145**	**153**	**144**	**126**	**140**	**136**	**154**	**143**	**138**	**158**	**132**	**138**	**107**	**122**	**103**	**107**	**118**	**73**	**102**	**82**	**120**	**95**	**106**	GWh	**-35**	%
Wasser	**0,45**	**0,43**	**0,41**	**0,44**	**0,38**	**0,36**	**0,35**	**0,35**	**0,39**	**0,38**	**0,27**	**0,28**	**0,20**	**0,28**	**0,44**	**0,27**	**0,33**	**0,34**	**0,33**	**0,28**	**0,23**	**0,24**	**0,18**	**0,16**	**0,21**	**0,25**	**0,32**	**0,35**	**0,29**	**0,29**	**0,27**	Mio. m³	**-40**	%



Verbrauchsentwicklung spezifisch 1990-2020

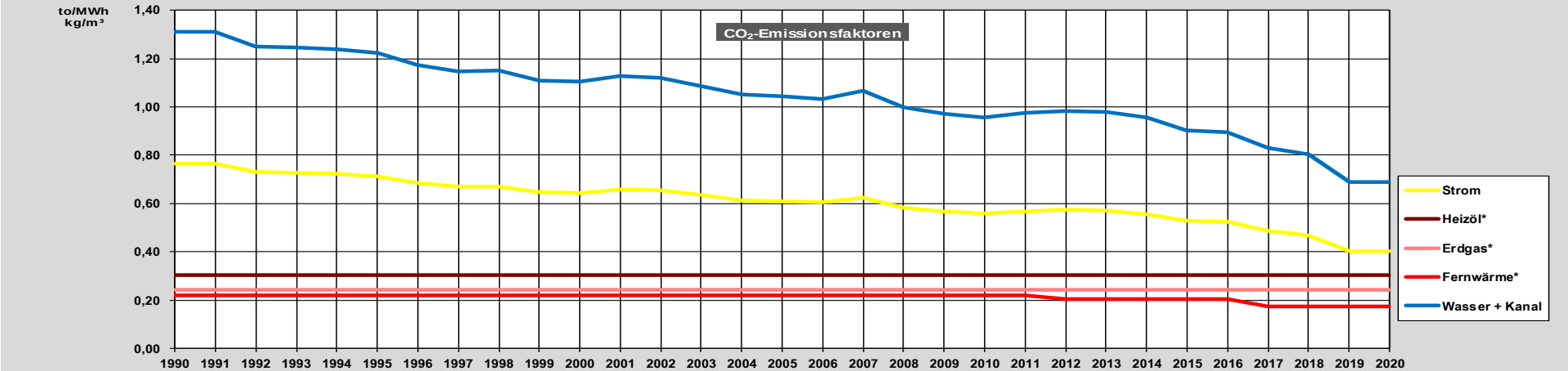
Verbrauch	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		2020/1990	
Strom	30	31	27	25	25	24	27	34	25	24	26	26	18	23	27	22	22	25	24	23	23	23	25	22	21	21	21	22	21	20	19	kWh/m²a	-37	%
Erdgas	93	90	110	117	110	102	91	87	114	119	110	97	118	106	128	118	113	133	109	111	88	96	79	79	87	48	70	53	82	59	69	kWh/m²a	-26	%
Fernwärme	21	19	19	17	21	16	14	16	18	20	22	20	13	21	23	23	25	23	20	20	17	17	14	15	15	14	15	16	18	19	18	kWh/m²a	-16	%
Heizöl	55	53	44	34	38	30	17	17	17	17	16	13	12	11	6	4	4	4	4	6	1	1	1	1	3	2	2	1	2	1	1	kWh/m²a	-99	%
Heizenergie	169	161	173	169	169	147	123	120	149	157	148	129	143	139	157	145	142	160	133	138	106	114	94	95	104	63	87	71	101	79	87	kWh/m²a	-48	%
Wasser	0,47	0,44	0,42	0,46	0,39	0,38	0,36	0,36	0,40	0,39	0,28	0,29	0,20	0,29	0,45	0,27	0,34	0,34	0,33	0,28	0,23	0,23	0,16	0,14	0,18	0,22	0,27	0,30	0,25	0,24	0,22	m³/m²a	-53	%



Emissionsfaktoren 1990-2020

Emissionsfaktoren		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	2016	2017	2018	2019	2020		2020/1990	
Strom	SO_2	0,43	0,43	0,41	0,41	0,41	0,40	0,39	0,38	0,38	0,37	0,36	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,35	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,30	0,30	0,27	0,26	0,23	0,23	kg/MWh	-47,5	%
	NO_X	0,93	0,93	0,89	0,89	0,88	0,87	0,84	0,82	0,82	0,79	0,79	0,81	0,80	0,78	0,75	0,75	0,74	0,76	0,71	0,69	0,68	0,70	0,70	0,70	0,68	0,64	0,64	0,59	0,57	0,49	0,49	kg/MWh	-47,5	%
	Staub	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	kg/MWh	-47,5	%
	CO_2	**0,76**	**0,76**	**0,73**	**0,73**	**0,72**	**0,71**	**0,69**	**0,67**	**0,67**	**0,65**	**0,64**	**0,66**	**0,65**	**0,63**	**0,61**	**0,61**	**0,60**	**0,62**	**0,58**	**0,57**	**0,56**	**0,57**	**0,57**	**0,57**	**0,56**	**0,53**	**0,52**	**0,49**	**0,47**	**0,40**	**0,40**	**to/MWh**	**-47,5**	%
Erdgas*	SO_2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	kg/MWh	**0,0**	%
	NO_X	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	kg/MWh	**0,0**	%
	Staub	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	kg/MWh	**0,0**	%
	CO_2	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**0,24**	**to/MWh**	**0,0**	%
Fernwärme*	SO_2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	kg/MWh	**0,0**	%
	NO_X	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	kg/MWh	**0,0**	%
	Staub	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	kg/MWh	**0,0**	%
	CO_2	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,22**	**0,20**	**0,20**	**0,20**	**0,20**	**0,20**	**0,18**	**0,18**	**0,18**	**0,18**	**to/MWh**	**-20,1**	%
Heizöl*	SO_2	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	kg/MWh	**0,0**	%
	NO_X	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	kg/MWh	**0,0**	%
	Staub	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	kg/MWh	**0,0**	%
	CO_2	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**to/MWh**	**0,0**	%
Wasser + Kanal	CO_2	**1,31**	**1,31**	**1,25**	**1,24**	**1,24**	**1,22**	**1,17**	**1,15**	**1,15**	**1,11**	**1,10**	**1,13**	**1,12**	**1,09**	**1,05**	**1,05**	**1,03**	**1,07**	**1,00**	**0,97**	**0,96**	**0,97**	**0,98**	**0,98**	**0,95**	**0,90**	**0,90**	**0,83**	**0,80**	**0,69**	**0,69**	**kg/m³**	**-47,5**	%

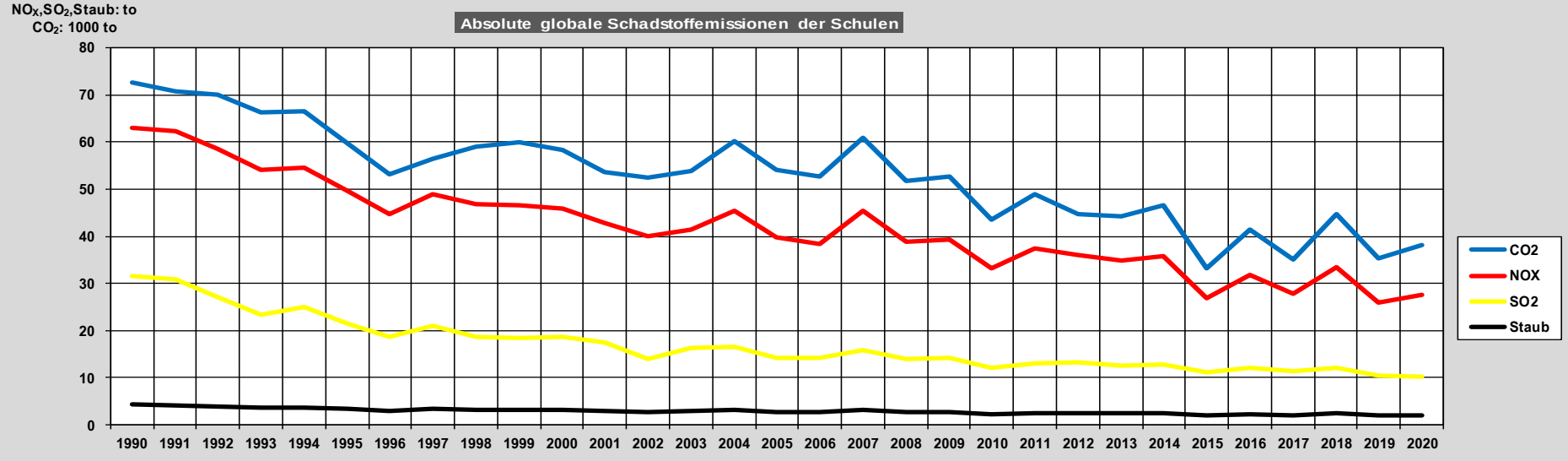
*Faktoren beziehen sich auf Nutzwärme, beim Bezug auf Endenergie sind die Werte um ca. 15 % zu erhöhen.



Quelle: Globales-Emissions-Modell-Integrierter-Systeme (GEMIS) Version 4.81, UBA: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommixes, Agora-Energiewende: Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2019

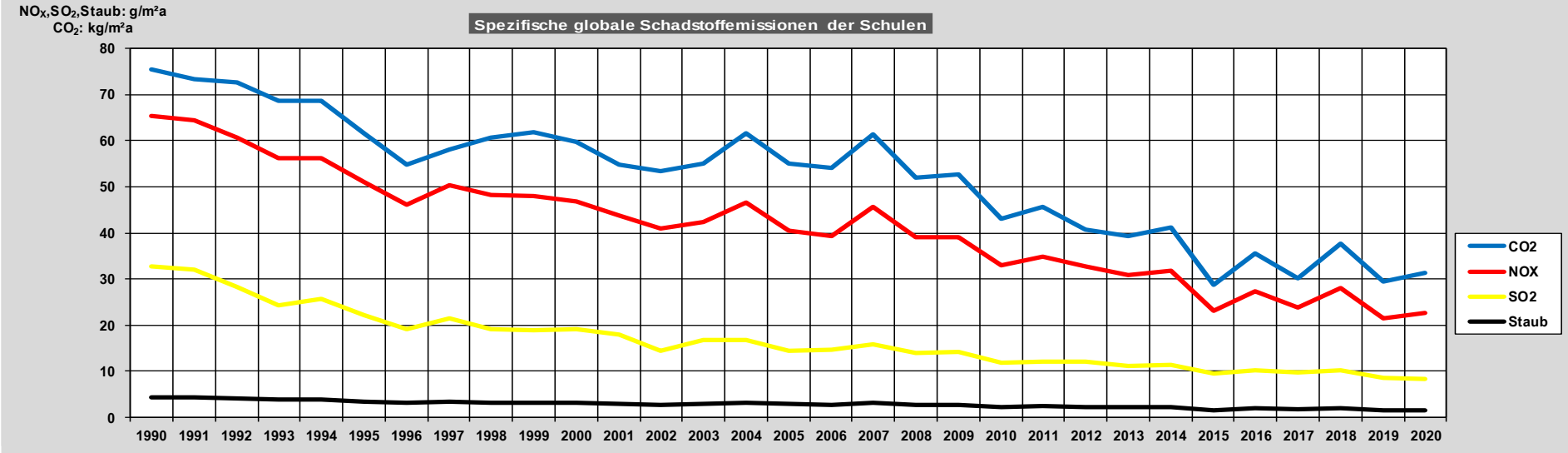
Emissionsentwicklung absolut 1990-2020

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	2016	2017	2018	2019	2020		2020/1990	
SO_2-Heiz	19	18	16	14	15	12	8	9	9	10	10	8	8	8	7	7	7	7	6	7	5	5	4	5	5	4	5	4	6	5	5	to	-74	%
SO_2-Strom	13	13	11	10	10	10	10	12	9	9	9	9	6	8	9	7	7	9	8	7	7	8	9	8	7	7	7	7	7	5	5	to	-58	%
SO_2	32	31	27	23	25	22	19	21	19	18	19	18	14	16	17	14	14	16	14	14	12	13	13	13	13	11	12	11	12	10	10	to	-68	%
NO_X-Heiz.	36	34	35	33	33	29	23	22	27	28	26	22	26	24	26	24	22	27	22	23	17	20	17	17	20	11	16	12	19	14	16	to	-54	%
NO_X-Strom	27	28	24	21	21	21	22	27	20	19	20	20	14	18	20	16	16	19	17	16	16	17	19	17	16	16	15	15	14	12	11	to	-58	%
NO_X	63	62	59	54	54	50	45	49	47	47	46	43	40	41	46	40	38	45	39	39	33	37	36	35	36	27	32	28	33	26	28	to	-56	%
Staub-Heiz.	2,5	2,4	2,5	2,3	2,4	2,0	1,6	1,6	1,9	2,0	1,9	1,6	1,8	1,7	1,9	1,7	1,7	1,9	1,6	1,7	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	0,9	1,2	1,0	1,4	1,1	1,3	to	-50	%
Staub-Strom	1,8	1,8	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,7	1,3	1,2	1,3	1,3	0,9	1,1	1,3	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	to	-58	%
Staub	4,3	4,2	4,0	3,7	3,7	3,3	3,0	3,3	3,2	3,2	3,2	3,0	2,7	2,9	3,1	2,8	2,7	3,1	2,7	2,7	2,3	2,6	2,5	2,4	2,5	1,9	2,2	2,0	2,4	1,9	2,0	to	-54	%
CO_2-Heiz.	50	48	50	48	49	42	35	34	42	44	42	37	41	39	44	41	39	45	38	39	30	35	29	30	33	20	29	22	33	26	29	1.000 to	-42	%
CO_2-Strom	22	23	19	17	17	17	18	22	16	15	16	17	11	14	16	13	13	15	14	13	13	14	15	14	13	13	13	13	12	10	9	1.000 to	-58	%
CO_2-Wasser	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	1.000 to	-69	%
CO_2	73	71	70	66	67	60	53	57	59	60	58	54	52	54	60	54	53	61	52	53	44	49	45	44	46	33	41	35	45	35	38	1.000 to	-47	%



Emissionsentwicklung spezifisch 1990-2020

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	2016	2017	2018	2019	2020		2020/1990	
SO_2-Heiz	20	19	17	14	16	12	9	9	10	10	10	8	8	8	8	7	7	7	6	7	5	5	4	4	5	3	4	4	5	4	4	g/m²a	**-79**	%
SO_2-Strom	13	13	11	10	10	10	10	13	9	9	9	10	7	8	9	8	8	9	8	7	7	7	8	7	7	6	6	6	6	5	4	g/m²a	**-67**	%
SO_2	33	32	28	24	26	22	19	22	19	19	19	18	14	17	17	15	15	16	14	14	12	12	12	11	11	10	10	10	10	9	8	g/m²a	**-74**	%
NO_X-Heiz.	37	36	36	34	34	30	23	23	28	29	27	23	27	24	27	24	23	27	22	23	17	19	15	16	17	10	14	11	16	12	13	g/m²a	**-64**	%
NO_X-Strom	28	29	24	22	22	21	23	28	20	19	20	21	14	18	20	16	16	19	17	16	16	16	17	15	14	13	13	13	12	10	9	g/m²a	**-67**	%
NO_X	65	64	61	56	56	51	46	50	48	48	47	44	41	42	46	40	39	46	39	39	33	35	33	31	32	23	27	24	28	22	23	g/m²a	**-65**	%
Staub-Heiz.	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,1	1,6	1,6	2,0	2,0	1,9	1,7	1,8	1,8	1,9	1,8	1,7	1,9	1,6	1,7	1,3	1,4	1,1	1,1	1,3	0,8	1,1	0,8	1,2	0,9	1,0	g/m²a	**-61**	%
Staub-Strom	1,8	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,5	1,8	1,3	1,2	1,3	1,3	0,9	1,2	1,3	1,1	1,1	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	g/m²a	**-67**	%
Staub	4,5	4,4	4,1	3,8	3,8	3,5	3,1	3,4	3,3	3,3	3,2	3,0	2,7	2,9	3,2	2,8	2,8	3,2	2,7	2,7	2,3	2,4	2,2	2,1	2,2	1,6	1,9	1,7	2,0	1,6	1,6	g/m²a	**-63**	%
CO_2-Heiz.	52	49	52	50	50	44	36	35	44	46	43	37	42	40	45	41	40	45	38	39	30	32	26	27	29	18	24	19	28	21	24	kg/m²a	**-54**	%
CO_2-Strom	23	24	20	18	18	17	18	23	17	16	17	17	12	15	16	13	13	15	14	13	13	13	14	13	12	11	11	11	10	8	8	kg/m²a	**-67**	%
CO_2-Wasser	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	kg/m²a	**-75**	%
CO_2	**75**	**73**	**73**	**69**	**69**	**62**	**55**	**58**	**61**	**62**	**60**	**55**	**53**	**55**	**62**	**55**	**54**	**61**	**52**	**53**	**43**	**46**	**41**	**39**	**41**	**29**	**35**	**30**	**38**	**29**	**31**	kg/m²a	**-58**	%

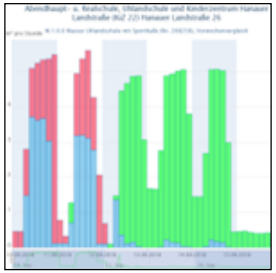


Wege zum erfolgreichen Energiemanagement

- Energiecontrolling

  CO_2-Einsparpotential > 5 %

  Kosten : Nutzen = 1:5 – 1:10



- Betriebsoptimierung

  CO_2-Einsparpotential > 15 %

  Kosten : Nutzen = 1:3 – 1:5

- Investive Maßnahmen

  CO_2-Einsparpotential > 80 %

  Kosten : Nutzen = 5:1 – 1:2

Fotos: Amt für Bau und Immobilien

Auswertung der EVU-Rechnungen - 1

Verbrauchswerte und Kosten aus EVU-Rechnungen

Gebäude	Gymnasium Riedberg		Bauherrenamt	40.4	Dez 11
Straße, Nr.	Friedrich-Dessauer-Straße	2	Stadtbezirk	651	OBZ 12
Nutzung	Gymnasien		Bauwerkzuordnung		4140

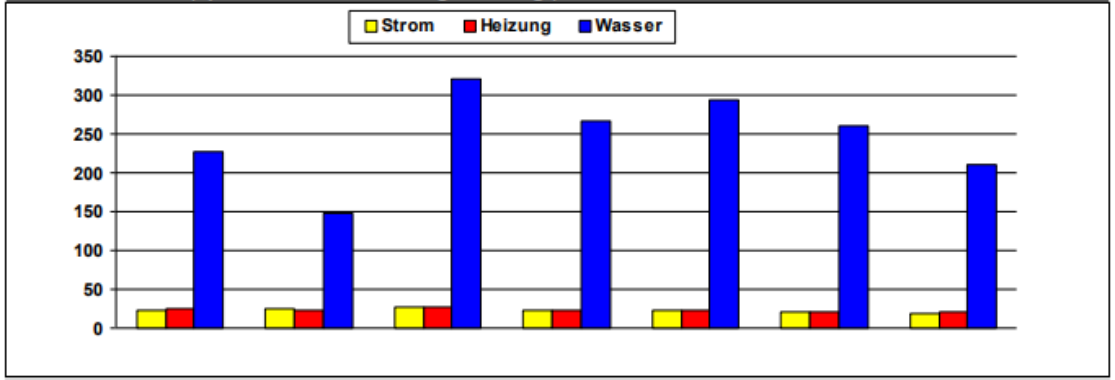
Nettoraumfläche (beheizt)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
NRF (beh.)	18.825	18.825	18.825	18.825	18.825	18.825	18.825	m²

Witterungskorrekturfaktoren*: (> 1: warmes Jahr, < 1: kaltes Jahr)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Heizung	1,21	1,06	1,02	1,03	1,15	1,08	1,15

Verbrauchswerte (spezifisch und witterungsbereinigt)



	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Strom	24	26	27	24	23	21	19	kWh/m²a
Heizung	24	24	26	23	23	21	20	kWh/m²a
Wasser	228	147	320	267	294	261	210	l/m²a

Auswertung der EVU-Rechnungen - 2

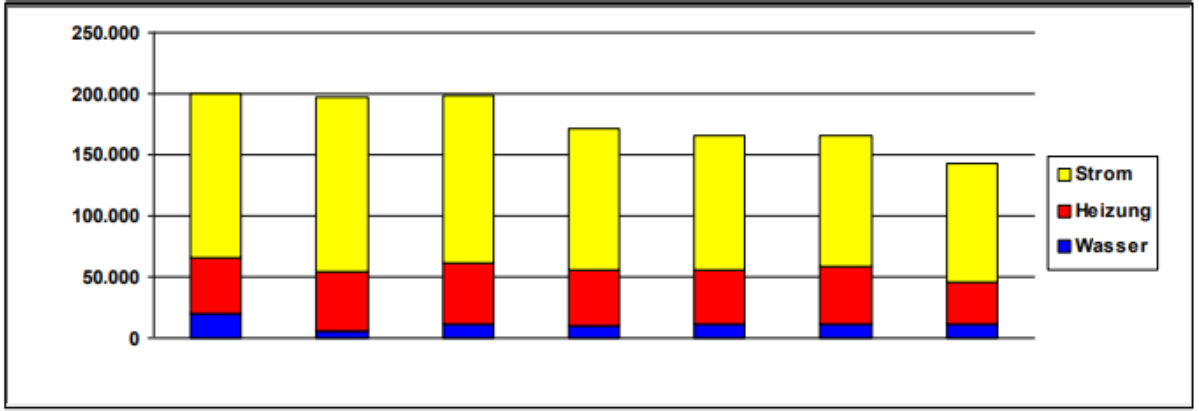
Verbrauchswerte und Kosten aus EVU-Rechnungen

Gebäude	Gymnasium Riedberg		Bauherrenamt	40.4	Dez 11
Straße, Nr.	Friedrich-Dessauer-Straße	2	Stadtbezirk	651	OBZ 12
Nutzung	Gymnasien		Bauwerkzuordnung		4140

Nettoraumfläche (beheizt)

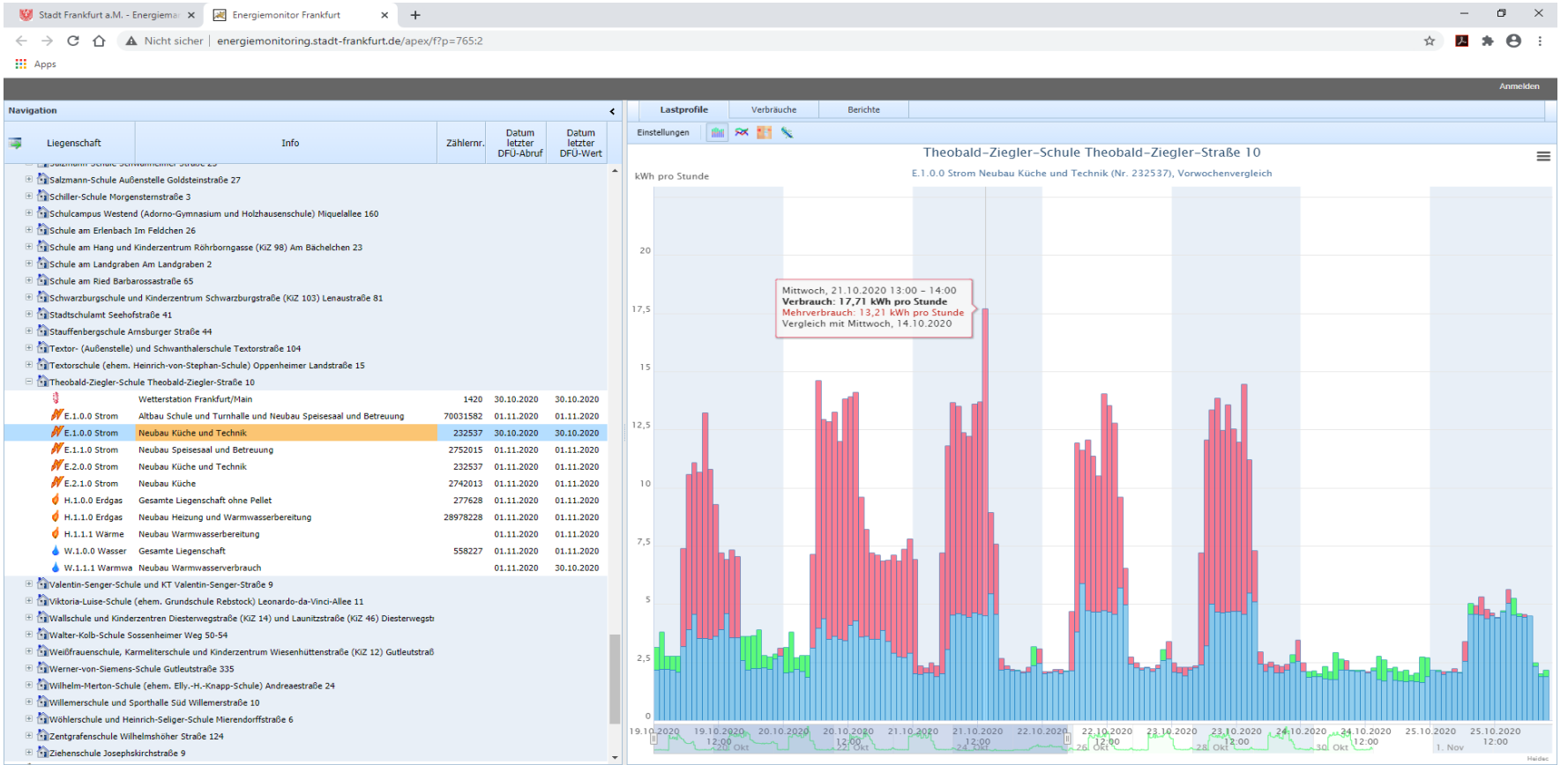
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
NRF (beh.)	18.825	18.825	18.825	18.825	18.825	18.825	18.825	m²

Kosten (absolut)

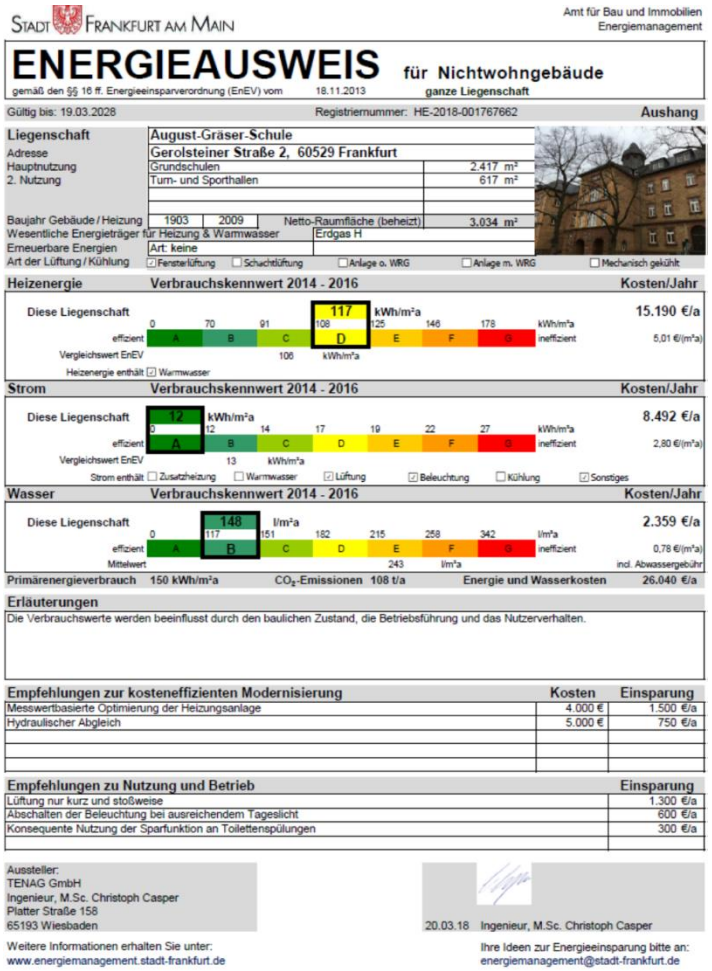


	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Strom	134.144	143.334	137.164	114.885	110.307	107.846	97.149	€/a
Heizung	46.646	48.214	50.024	46.224	43.828	46.477	34.396	€/a
Wasser	19.767	5.477	11.411	9.904	11.880	11.525	11.853	€/a
Summe	200.557	197.024	198.599	171.013	166.015	165.848	143.399	€/a

Automatische Verbrauchserfassung



Energieausweis



STADT FRANKFURT AM MAIN
Amt für Bau und Immobilien
Energiemanagement

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

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

Gültig bis: 19.03.2028 — Registriernummer: HE-2018-001767662 — Aushang

Liegenschaft	August-Gräser-Schule			
Adresse	Gerolsteiner Straße 2, 60529 Frankfurt			
Hauptnutzung	Grundschulen			2.417 m²
2. Nutzung	Turn- und Sporthallen			617 m²
Baujahr Gebäude / Heizung	1903	2009	Netto-Raumfläche (beheizt)	3.034 m²
Wesentliche Energieträger für Heizung & Warmwasser	Erdgas H			
Erneuerbare Energien	Art: keine			
Art der Lüftung / Kühlung	☑ Fensterlüftung ☐ Schachtlüftung ☐ Anlage o. WRG ☐ Anlage m. WRG ☐ Mechanisch gekühlt			

Heizenergie — Verbrauchskennwert 2014 - 2016 — Kosten/Jahr

Diese Liegenschaft: 117 kWh/m²a (D) — 15.190 €/a
effizient A | B | C | D | E | F | G ineffizient (0 | 70 | 91 | 108 | 125 | 146 | 178 kWh/m²a)
Vergleichswert EnEV: 106 kWh/m²a — 5,01 €/(m²a)
Heizenergie enthält ☑ Warmwasser

Strom — Verbrauchskennwert 2014 - 2016 — Kosten/Jahr

Diese Liegenschaft: 12 kWh/m²a (A) — 8.492 €/a
effizient A | B | C | D | E | F | G ineffizient (0 | 12 | 14 | 17 | 19 | 22 | 27 kWh/m²a)
Vergleichswert EnEV: 13 kWh/m²a — 2,80 €/(m²a)
Strom enthält ☐ Zusatzheizung ☐ Warmwasser ☑ Lüftung ☑ Beleuchtung ☐ Kühlung ☑ Sonstiges

Wasser — Verbrauchskennwert 2014 - 2016 — Kosten/Jahr

Diese Liegenschaft: 148 l/m²a (B) — 2.359 €/a
effizient A | B | C | D | E | F | G ineffizient (0 | 117 | 151 | 182 | 215 | 258 | 342 l/m²a)
Mittelwert: 243 l/m²a — 0,78 €/(m²a) incl. Abwassergebühr

Primärenergieverbrauch 150 kWh/m²a — CO_2-Emissionen 108 t/a — Energie und Wasserkosten 26.040 €/a

Erläuterungen

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

Empfehlungen zur kosteneffizienten Modernisierung	Kosten	Einsparung
Messwertbasierte Optimierung der Heizungsanlage	4.000 €	1.500 €/a
Hydraulischer Abgleich	5.000 €	750 €/a

Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	Einsparung
Lüftung nur kurz und stoßweise	1.300 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht	600 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen	300 €/a

Aussteller:
TENAG GmbH
Ingenieur, M.Sc. Christoph Casper
Platter Straße 158
65193 Wiesbaden

20.03.18 Ingenieur, M.Sc. Christoph Casper

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

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

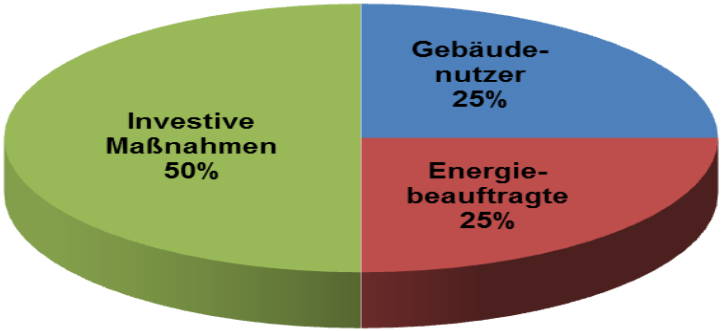
Einsparpotential durch Nutzer(innen)aktionen

M	Nutzer(innen)aktion	mittlere Einsparung[5] (%)	Kosten-Einsparung (€/m²a)	Kosten-Einsparung (€/P,a)	CO_2-Einsparung (kg/m²a)	CO_2-Einsparung (kg/P,a)	Wer?
E	Licht aus bei Tageslicht	5%	0,23	2,57	0,57	6,39	Gebäudenutzer(innen)
E	Licht aus in ungenutzten Räumen	5%	0,23	2,57	0,57	6,39	Gebäudenutzer(innen)
E	Beleuchtung nach Bedarf schalten	3%	0,14	1,54	0,34	3,84	Gebäudenutzer(innen)
E	Flurbeleuchtung ausschalten	2%	0,09	1,03	0,23	2,56	Gebäudenutzer(innen)
E	Auf Standby-Modus verzichten	4%	0,18	2,06	0,46	5,12	Gebäudenutzer(innen)
E	Treppe statt Aufzug	1%	0,05	0,51	0,11	1,28	Gebäudenutzer(innen)
H	Stoßlüften statt Dauerkipp	8%	0,67	7,47	2,69	30,17	Gebäudenutzer(innen)
H	Abends Fenster schließen (im Heizbetrieb! im Sommer Nachtauskühlung!)	3%	0,25	2,80	1,01	11,31	Gebäudenutzer(innen)
H	Heizung aus beim Lüften	2%	0,17	1,87	0,67	7,54	Gebäudenutzer(innen)
H	Raumtemperatur senken	6%	0,50	5,60	2,02	22,63	Gebäudenutzer(innen)+Hausv.
H	Heizkörper freihalten	2%	0,17	1,87	0,67	7,54	Gebäudenutzer(innen)
H	Tür zu, wenn Heizung an	1%	0,08	0,93	0,34	3,77	Gebäudenutzer(innen)
H	Hände kalt waschen	1%	0,08	0,93	0,34	3,77	Gebäudenutzer(innen)
W	Spartaste beim Spülen	10%	0,08	0,94	0,02	0,25	Gebäudenutzer(innen)
A	Monatliche Energieteam-Rundgänge	3%	0,41	4,63	1,36	15,23	Hausverwaltung
A	Jährlicher Energietag	2%	0,28	3,08	0,91	10,15	Hausverwaltung
A	Abendveranstaltungen bündeln	1%	0,14	1,54	0,45	5,08	Hausverwaltung
E	Untertischspeicher runterdrehen	1%	0,05	0,51	0,11	1,28	Hausverwaltung
E	Gefrierfächer abtauen	1%	0,05	0,51	0,11	1,28	Hausverwaltung
E	Großverbraucher nachts nutzen	1%	0,05	0,51	0,11	1,28	Hausverwaltung
H	Thermostate begrenzen	5%	0,42	4,67	1,68	18,86	Hausverwaltung
H	Nachts Heizung runterdrehen	5%	0,42	4,67	1,68	18,86	Hausverwaltung
W	Leckagen unverzüglich reparieren	10%	0,08	0,94	0,02	0,25	Hausverwaltung
	Summe	**36%**	**4,94**	**55,32**	**16,84**	**188,66**	

Erfolgsbeteiligung für Nutzung und Betrieb

Nutzungs- und betriebsbedingte Einsparungen werden wie folgt aufgeteilt:

- 25 % erhalten die Nutzenden der Liegenschaft
- 25 % erhalten der/die Energiebeauftragte(n) als persönliche Prämie
- 50 % stehen für investive Maßnahmen zur Verfügung

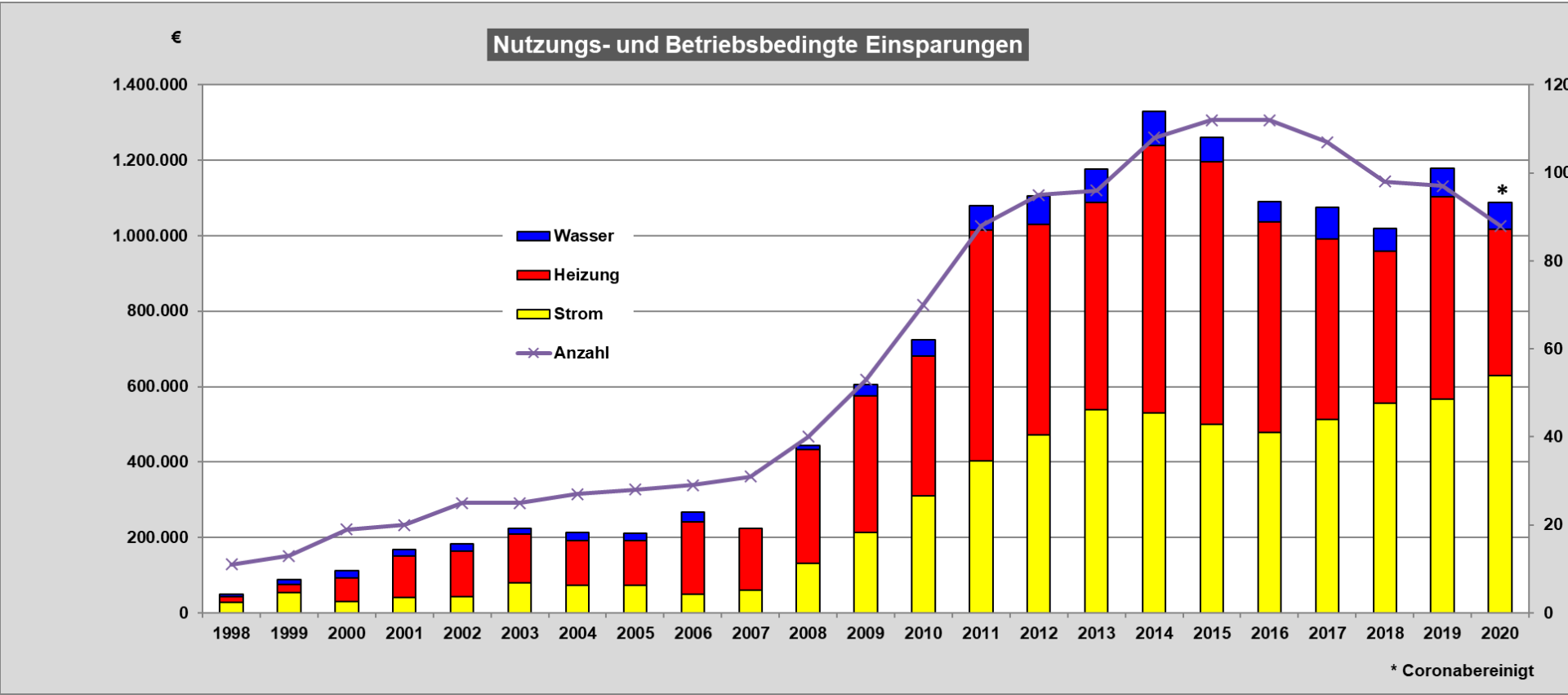


Erfolgsbeteiligung für Nutzung und Betrieb

Erfolgsbeteiligung für Nutzungs- und Betriebsbedingte Einsparungen 1998-2020

Jahr	Anzahl Objekte	Fläche NGF (m²)	bereinigter Referenzverbrauch Strom (kWh)	Heizung (kWh)	Wasser (m³)	bereinigter Referenzverbrauch Strom (kWh/m²a)	Heizung (kWh/m²a)	Wasser (l/m²a)	Verbrauchseinsparung Strom (kWh)	(%)	Heizung (kWh)	(%)	Wasser (m³)	(%)	Referenz-Kosten (€)	Kosteneinsparung Strom (€)	Heizung (€)	Wasser (€)	Einsparung brutto (€)	(%)	Objekt-Prämie (€)	pers. Prämie (€)	Einsparung netto (€)
1998	11	63.368	1.527.047	9.798.896	8.552	24	155	135	245.734	16%	876.002	9%	1.255	15%	421.658	27.083	16.603	5.027	48.713	12%	12.852	11.504	24.357
1999	13	122.279	4.362.837	15.655.999	85.758	36	128	701	597.479	14%	1.102.729	7%	3.023	4%	931.705	54.380	21.276	11.444	87.103	9%	23.177	20.375	43.551
2000	19	132.804	4.043.410	21.131.891	86.979	30	159	655	430.329	11%	2.036.552	10%	5.098	6%	1.116.314	29.126	63.669	19.422	112.217	10%	28.054	28.054	56.109
2001	20	133.522	4.442.743	27.353.762	87.181	33	205	653	417.292	9%	3.275.723	12%	8.497	10%	1.488.905	39.848	110.693	17.888	168.429	11%	42.107	42.107	84.215
2002	25	166.659	4.824.080	35.398.448	93.057	29	212	558	495.201	10%	4.065.500	11%	5.874	6%	2.611.653	42.311	120.467	20.908	183.684	7%	45.924	45.924	91.836
2003	25	169.790	4.983.046	30.098.416	90.488	29	177	533	746.763	15%	3.627.120	12%	4.456	5%	1.589.391	79.170	129.468	15.905	224.548	14%	56.134	56.134	112.280
2004	27	192.235	4.827.287	36.041.092	96.855	25	187	504	689.890	14%	3.788.246	11%	6.097	6%	1.797.383	72.349	118.961	21.767	213.079	12%	56.141	50.694	106.243
2005	28	176.704	4.705.112	29.952.630	94.975	27	170	537	651.969	14%	2.987.739	10%	5.927	6%	1.634.909	73.883	116.849	21.163	211.893	13%	56.184	49.758	105.951
2006	29	183.184	4.682.505	35.126.021	97.396	26	192	532	421.134	9%	3.618.949	10%	7.246	7%	1.824.914	48.672	191.977	25.865	266.514	15%	66.627	66.627	133.261
2007	31	169.704	2.625.241	25.567.360	28.650	15	151	169	299.701	11%	3.534.205	14%	-162	-1%	1.469.623	59.790	164.392	-726	217.761	13%	58.333	58.333	101.096
2008	40	243.669	6.084.192	36.188.511	70.427	25	149	289	682.727	11%	4.000.450	11%	850	1%	3.207.427	131.631	301.647	10.193	443.471	12%	42.494	110.448	290.529
2009	53	365.701	8.928.652	82.284.960	101.717	24	225	278	1.007.064	11%	5.484.547	7%	7.648	8%	4.692.302	212.887	362.815	29.362	605.263	11%	72.855	146.380	386.029
2010	70	456.247	11.688.350	66.178.310	124.363	26	145	273	1.644.242	14%	6.333.067	10%	10.088	8%	5.996.905	309.098	371.299	44.201	724.598	11%	131.812	180.415	412.372
2011	88	510.153	12.425.337	67.307.781	108.524	24	132	213	1.912.573	15%	10.095.387	15%	15.856	15%	5.670.617	403.235	611.749	64.927	1.079.912	16%	165.699	263.722	650.491
2012	95	585.486	13.554.245	77.693.796	115.954	23	133	198	2.286.488	17%	8.885.886	11%	18.634	16%	7.345.031	471.857	558.919	73.735	1.106.932	13%	169.008	274.337	663.586
2013	96	572.864	13.314.020	71.809.816	120.898	23	125	211	2.144.277	16%	8.661.498	12%	22.623	19%	8.135.910	538.595	550.576	87.377	1.176.548	14%	218.980	294.139	663.429
2014	108	651.322	15.727.072	79.139.246	139.027	24	122	213	2.716.152	17%	12.263.442	15%	25.752	19%	7.812.763	530.925	707.061	92.492	1.331.507	14%	211.605	332.881	787.021
2015	112	651.715	15.857.632	78.616.430	144.553	24	121	222	2.517.484	16%	11.663.634	15%	18.616	13%	8.223.441	499.757	696.183	64.653	1.260.593	14%	219.507	314.289	726.797
2016	112	644.983	17.093.552	79.374.669	150.325	27	123	233	2.346.012	14%	9.484.692	12%	15.357	10%	8.574.470	477.413	560.103	52.580	1.090.095	14%	132.353	271.354	686.388
2017	107	631.477	15.226.439	77.194.048	142.973	24	122	226	2.236.788	15%	9.794.143	13%	23.666	17%	7.729.271	512.665	478.987	84.490	1.076.142	15%	150.321	269.058	656.763
2018	98	574.031	13.733.185	71.704.027	128.989	24	125	225	2.561.401	19%	7.136.169	10%	16.889	13%	7.502.395	556.634	402.672	60.271	1.019.577	14%	165.895	254.790	598.892
2019	97	593.468	14.211.909	72.464.373	131.061	24	122	221	2.439.794	17%	8.190.069	11%	20.733	16%	8.157.930	567.318	535.186	75.337	1.180.517	15%	163.009	294.876	722.632
2020	88	566.622	13.362.350	64.986.007	120.119	24	115	212	3.475.086	26%	8.967.595	14%	27.789	23%	7.619.735	628.521	388.270	72.027	1.092.071	20%	158.272	273.023	660.776
Summe / Mittelwert in %						26	152	347	29.490.494	15%	130.905.749	12%	244.023	11%		5.738.627	7.191.551	898.282	13.829.094	14%	2.289.071	3.436.199	8.103.824

Erfolgsbeteiligung für Nutzung und Betrieb



Sanierungsfahrplan zur Klimaneutralität 2050

1. Energiecontrolling und Betriebsoptimierung flächendeckend einführen
2. Beschleunigte Sanierung des Gebäudebestandes, da sonst die Klimaziele nicht eingehalten werden können
3. Einsatz von Passivhaus-Komponenten bei der Sanierung
4. Flächendeckener Einsatz von Photovoltaikanlagen auf Dächern, sofern unverschattet und gestalterisch vertretbar
5. Deckung des Restwärmebedarfes regenerativ oder mit Kraft-Wärme-Kopplung (Auslegung auf 5.000 h/a)

Ergebnis des Sanierungsfahrplans

1. Energiecontrolling und Betriebsoptimierung hat das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis und ist daher flächendeckend einzuführen.
2. Der wesentliche Kostenfaktor ist die früher oder später ohnehin erforderliche Sanierung.
3. Die Sanierungsrate muss auf 3 % erhöht werden, um die Klimaziele bis 2050 zu erreichen.
4. Die Mehrkosten für einen optimierten Sanierungsstandard incl. PV und KWK werden über die Einsparungen erwirtschaftet.
5. **Voraussetzung für die Erreichung der Klimaziele im kommunalen Gebäudebestand sind jährlich ca. 50 €/m²a für die energetische Sanierung und die zugehörige Personalausstattung im Energie- und Projektmanagement (1 P / 15.000 m²).**

https://energiemanagement.stadt-frankfurt.de

Stadt Frankfurt am Main
Amt für Bau und Immobilien
Abteilung Energiemanagement

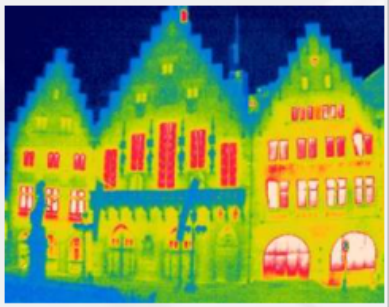
Energiecontrolling
- EVU-Rechnungen
- Manuelle Zählerablesungen
- Automatische Verbrauchserfassung
- Energieausweise

Betriebsoptimierung
- Hinweise zur Gebäudenutzung
- Anweisungen für Hausverwaltungen
- Erfolgsbeteiligung Nutzung und Betrieb
- Seminarprogramm
- Gebäudeautomation

Investive Maßnahmen
- Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen
- Gesamtkostenberechnung
- Bauprojekte
- Energiekonzepte
- Thermografieuntersuchungen
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Regenerative Energiequellen

Service
- Aktuelles
- Berichte / Dokumente
- Rechenprogramme
- Verweise auf externe Seiten

Energiemanagement



Bereits im Jahr 1990 hat sich die Stadt Frankfurt a.M. mit dem Beitritt zum Klimabündnis der europäischen Städte festgelegt, den Energieverbrauch und damit die Kohlendioxid-Emissionen deutlich zu reduzieren. Um dieses Ziel im Bereich der eigenen Liegenschaften zu erreichen, wurde 1991 die Abteilung Energiemanagement eingerichtet, die heute Teil des Amtes für Bau und Immobilien ist. Diese Abteilung hat die Aufgabe, die Strom-, Heizenergie- und Wasserkosten für die ca. 1.000 städtisch genutzten Liegenschaften mit ca. 2,1 Mio. m² Nettoraumfläche zu minimieren. Dazu gehören so unterschiedliche Gebäudearten wie Schulen, Kindertagesstätten, Bäder, Sportanlagen, Verwaltungsgebäude, Museen, Feuerwachen, Städtische Bühnen, Zoo und Palmengarten.

Seit dem Jahr 2007 werden alle Neubauten und Sanierungen städtischer Gebäude mit Passivhaus-Komponenten durchgeführt und alle Dächer für Photovoltaikanlagen ausgelegt. Seit dem Jahr 2018 wird bei allen Neubauten und Dachsanierungen von städtischen Gebäuden die durch Photovoltaik größtmöglich erreichbare Stromerzeugungsleistung installiert und in Betrieb genommen. Seit dem Jahr 2021 wird die Photovoltaik grundsätzlich mit Dachbegrünung kombiniert.

Im Jahr 2020 wurden für diese Liegenschaften Energie- und Wasserkosten in Höhe von ca. 40,5 Mio. € aufgewendet. Davon entfielen ca. 18,8 Mio. € auf Strom, ca. 14,6 Mio. € auf Heizenergie und ca. 7,1 Mio. € auf Wasser und Kanaleinleitung. Seit dem Jahr 1990 konnte der spezifische Stromverbrauch trotz der vor allem im Bereich der IT rasant zunehmenden technischen Ausstattung im Schnitt um 15 % gesenkt werden. Der spezifische Heizenergieverbrauch sank in dieser Zeit um 42 %, der spezifische Wasserverbrauch sogar um 55 % und die spezifischen Kohlendioxid-Emissionen um 53 %. Um die Ziele des Energie- und Klimaschutzkonzeptes der Stadt und des Bundes zu erreichen (Verringerung alle 5 Jahre um 10 %, Klimaneutralität bis 2050) sind zukünftig deutlich verstärkte Anstrengungen nötig.

Außerdem konnte seit dem Jahr 1990 ein finanzieller Gewinn von 245 Mio. € erwirtschaftet werden. Eine Zusammenstellung der Zahlen finden Sie hier:

- Entwicklung der Kosten, Verbrauchswerte und Emissionen seit 1990

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

Instrumente	CO_2-Einsparpotential	Kosten : Nutzen
Energiecontrolling	> 5 %	1:5 – 1:10
Betriebsoptimierung	> 15 %	1:3 – 1:5
Investive Maßnahmen	> 80 %	5:1 – 1:2