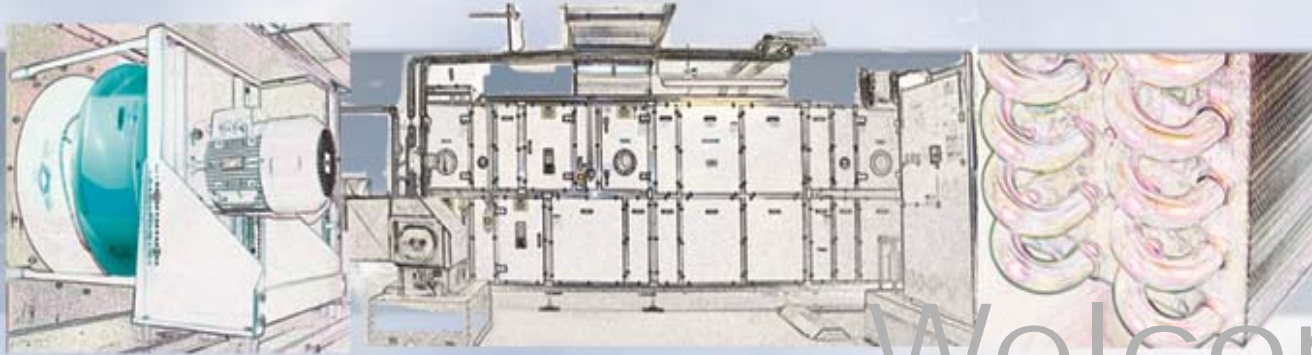


Willkommen



Bienvenue

Welcome

Die mehrdimensionale und relationale Optimum der Wärmerückgewinnung

Wie kann die WRG wirklich optimal genutzt werden?

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup
kaup@howatherm.de.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld
Umwelt macht Karriere.

Simulation Wirtschaftlichkeit



Economic calculation and life cycle costs

Simulation

Leading Temperatur Heating Period	20.5	Exhaust Temperatur Heating Period	20
Leading Temperatur Cooling Period	20	Exhaust Temperatur Cooling Period	26

Integrated Energy

<input type="checkbox"/> Integrated Heating	<input type="checkbox"/> Integrated Cooling		
<input type="checkbox"/> Integrated water heating	<input type="checkbox"/> Integrated free cooling		
Temp. in water heating in °C	15	Temp. in integrated free cooling in °C	7
Max. Capacity water heating in KW		Max. Capacity free cooling in KW	

Invest Reduction heating by HRC Invest Reduction cooling by HRC

Invest Reduction heating in €/kW		Invest Reduction cooling in €/kW	
----------------------------------	--	----------------------------------	--

Economy calculation

Energy Expenses Heating in € / kWh	0.10	Price increasing Rate in % / a	2
Energy Expenses Cooling in € / kWh	0.15	Lifetime of the Unit in a	15
Energy Expenses Electro in € / kWh	0.15	Running Days per Week in d/w	6
Water Expenses (incl. Wastwater) in € /	6	Running Hours per day in h/d	12
Extra Expenses per Year in €		Running Hours per Night in h/d	4
Extra Expenses for heat recovery in €		Air Volume in % from max. Day	100
Calculation Interests in %	5	Air Volume in % from max. Night	50

Remark for extra expenses for heat

Meteonorm 7 Climatezone/ City
 VDI 4710 Frankfurt
 DIN 4710

Reset Cancel OK

Simulation Wirtschaftlichkeit



FA °C	RA °C	ETA %	HRC °C	SA °C	dT °C	Q WRG kW	Q int. kW	Q ext. kW	Status
-11,5	20,0	63,5	8,5	20,0	20,0	99,2	57,1	0,0	I
-10,5	20,0	65,6	9,5	20,0	20,0	99,2	52,1	0,0	I
-9,5	20,0	67,8	10,5	20,0	20,0	99,2	47,1	0,0	I
-8,5	20,0	70,2	11,5	20,0	20,0	99,2	42,2	0,0	I
-7,5	20,0	72,7	12,5	20,0	20,0	99,2	37,2	0,0	I
-6,5	20,0	73,0	12,8	20,0	19,3	96,0	35,5	0,0	
-5,5	20,0	73,0	13,1	20,0	18,6	92,4	34,2	0,0	
-4,5	20,0	73,0	13,4	20,0	17,9	88,7	32,8	0,0	
-3,5	20,0	73,0	13,7	20,0	17,2	85,1	31,5	0,0	
-2,5	20,0	73,0	13,9	20,0	16,4	81,5	30,1	0,0	
-1,5	20,0	73,0	14,2	20,0	15,7	77,9	28,8	0,0	
-0,5	20,0	73,0	14,5	20,0	15,0	74,2	27,5	0,0	
0,5	20,0	73,0	14,7	20,0	14,2	70,6	26,1	0,0	
1,5	20,0	73,0	15,0	20,0	13,5	67,0	24,8	0,0	
2,5	20,0	73,0	15,3	20,0	12,8	63,4	23,4	0,0	
3,5	20,0	73,0	15,5	20,0	12,0	59,8	22,1	0,0	
4,5	20,0	73,0	15,8	20,0	11,3	56,1	20,8	0,0	
5,5	20,0	73,0	16,1	20,0	10,6	52,5	19,4	0,0	
6,5	20,0	73,0	16,4	20,0	9,9	48,9	18,1	0,0	
7,5	20,0	73,0	16,6	20,0	9,1	45,3	16,7	0,0	
8,5	20,0	73,0	16,9	20,0	8,4	41,6	15,4	0,0	
9,5	20,0	73,0	17,2	20,0	7,7	38,0	14,1	0,0	
10,5	20,0	73,0	17,4	20,0	6,9	34,4	12,7	0,0	
11,5	20,0	73,0	17,7	20,0	6,2	30,8	11,4	0,0	
12,5	20,0	73,0	18,0	20,0	5,5	27,2	10,0	0,0	
13,5	20,0	73,0	18,2	20,0	4,7	23,5	8,7	0,0	
14,5	20,0	73,0	18,5	20,0	4,0	19,9	7,4	0,0	
15,5	20,0	73,0	18,8	20,0	3,3	16,3	6,0	0,0	
16,5	20,0	73,0	19,1	20,0	2,6	12,7	4,7	0,0	
17,5	20,0	73,0	19,3	20,0	1,8	9,1	3,3	0,0	
18,5	20,0	73,0	19,6	20,0	1,1	5,4	2,0	0,0	
19,5	20,0	73,0	19,9	20,0	0,4	1,8	0,7	0,0	
20,5	20,5	0,0	20,5	20,5	0,0	0,0	-7,4	0,0	OUT
21,5	19,8	73,0	20,3	19,0	-1,2	-6,2	-6,2	0,0	S 2
22,5	19,8	73,0	20,5	19,0	-2,0	-9,8	-7,6	0,0	S 2
23,5	19,8	73,0	20,8	19,0	-2,7	-13,4	-8,9	0,0	S 2
24,5	19,8	73,0	21,1	19,0	-3,4	-17,0	-10,3	0,0	S 2
25,5	19,8	73,0	21,3	19,0	-4,2	-20,6	-11,6	0,0	S 2
26,5	19,8	73,0	21,6	19,0	-4,9	-24,3	-12,9	0,0	S 2
27,5	19,8	73,0	21,9	19,0	-5,6	-27,9	-14,3	0,0	S 2
28,5	19,8	73,0	22,1	19,0	-6,4	-31,5	-15,6	0,0	S 2
29,5	19,8	73,0	22,4	19,0	-7,1	-35,1	-17,0	0,0	S 2
30,5	19,8	73,0	22,7	19,0	-7,8	-38,8	-18,3	0,0	S 2
31,5	19,8	73,0	23,0	19,0	-8,5	-42,4	-19,6	0,0	S 2
32,5	19,8	73,0	23,2	19,0	-9,3	-46,0	-21,0	0,0	S 2

I = Iceprotect / H = Heating / C = Cooling / S = Hum. stage(s) / F = free cooling / W = service water
 P = Powercontrol / FA = Fresh air temp. / RA = Room air temp. (after hum.) / SA = Supply air temp.
 Simulation only dry under const. Conditions !

Simulation Wirtschaftlichkeit



HOCHSCHULE TRIER

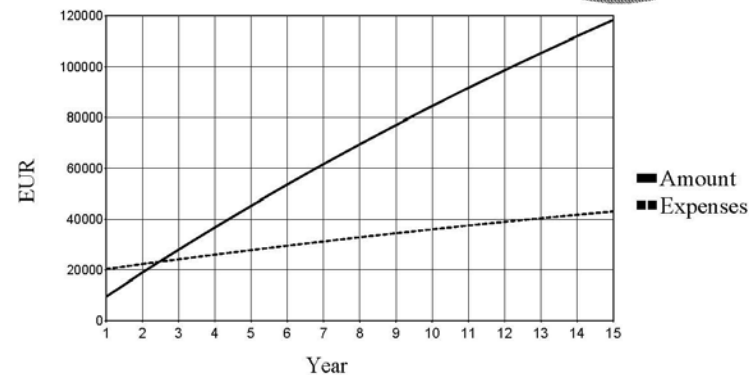
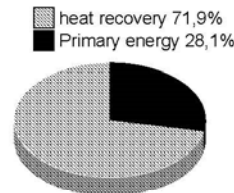
Umwelt-Campus Birkenfeld

AL	Q WRG	Hours	Hours	Heating	Cooling	HRC +	HRC -	FC +	SW -	Water
°C	kW	Day	Night	total	total	kWh	kWh	kWh	kWh	m³
		h/°C	h/°C	kWh	kWh					
< -10,5	99,2	4		651		413				
-10,5	99,2	3		396		260				
-9,5	99,2	4		514		348				
-8,5	99,2	5		640		449				
-7,5	99,2	6		828		602				
-6,5	96,0	8		1.072		783				
-5,5	92,4	12		1.506		1.100				
-4,5	88,7	17		2.018		1.473				
-3,5	85,1	25		2.950		2.153				
-2,5	81,5	35		3.939		2.877				
-1,5	77,9	47		5.017		3.663				
-0,5	74,2	53		5.376		3.922				
0,5	70,6	75		7.206		5.261				
1,5	67,0	81		7.470		5.452				
2,5	63,4	86		7.497		5.476				
3,5	59,8	93		7.644		5.581				
4,5	56,1	96		7.374		5.380				
5,5	52,5	106		7.601		5.550				
6,5	48,9	109		7.310		5.335				
7,5	45,3	115		7.115		5.199				
8,5	41,6	113		6.431		4.685				
9,5	38,0	114		5.939		4.332				
10,5	34,4	111		5.209		3.804				
11,5	30,8	113		4.763		3.476				
12,5	27,2	112		4.170		3.049				
13,5	23,5	110		3.527		2.574				
14,5	19,9	107		2.920		2.129				
15,5	16,3	106		2.367		1.730				
16,5	12,7	101		1.756		1.281				
17,5	9,1	94		1.165		855				
18,5	5,4	87		645		471				
19,5	1,8	78		195		140				
20,5	0,0	68			500					
21,5	-6,2	59			728		364			6
22,5	-9,8	48			843		475			5
23,5	-13,4	42			936		562			5
24,5	-17,0	36			995		619			4
25,5	-20,6	30			960		614			3
26,5	-24,3	24			897		586			3
27,5	-27,9	21			907		600			2
28,5	-31,5	18			827		553			2
29,5	-35,1	13			685		462			1
30,5	-38,8	11			602		409			1
31,5	-42,4	6			388		265			1
> 31,5	-46,0	10			654		449			1
Total	VDI 4710	2.610		123.195	9.914	89.787	5.952			34
Year	12-Mann					2.224 h	386 h			
	heim									

Simulation Wirtschaftlichkeit



Energy Cost Heating	0,100 € / kWh
Energy Cost Colling	0,150 € / kWh
Energy Cost Electro	0,150 € / kWh
Water Costs (incl. Waste Water)	6,00 € / m ³
Calculation Interests	5,00 %
Price increasing Rate	2,00 %
Climate Zone/ City	12-Mannheim
Life Time	15 a
Running Days per Week	5 d / w
Running Hours at Day	10 h / d
Running Hours per Night	0 h / d
Load in % at Day (V max)	100 % / V max
Load in % at Night (V max)	50 % / V max
Invest for the Heat Recovery	18.324 €
Extra Invest HRC	0 €
Reduction Heating	0 € / (0 € / kW)
Reduction Cooling	0 € / (0 € / kW)
Extra Expenses	0 €
Heat Recovery	8.979 € / a
Cooling Recovery	893 € / a
Electro Consumption for Heat Recovery	1.545 € / a
Watercosts (adiabatic cooling)	206 € / a
Capital Costs for the Heat Recovery	1.765 € / a
Service- and Maintenance Costs	366 € / a
Diff. Costs per Year	5.989 € / a
Capital Value of Saving	74.640 €
Calculation Interests	45,0 %
Amorisation	2,5 a
Eff. of use per Year (based on energy)	71,9 %
COP acc. EN 13053 based on energies	9,3
COP acc. EN 13053 based on capacities	17,8
Effective yearly efficiency acc. EN 13053	68,9 %



HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on money / HRS aerea const.)

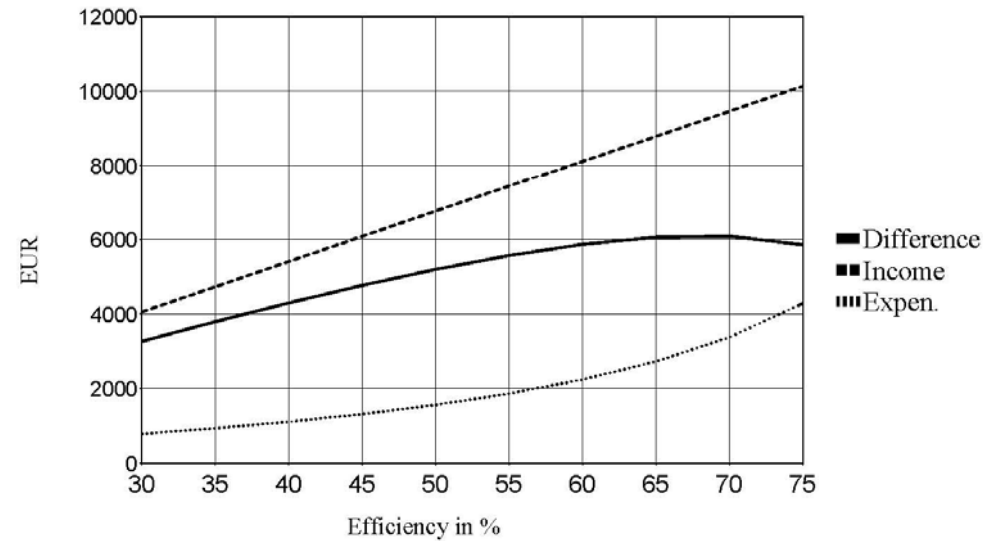
Efficiency	Depth HRS	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
30,0 %	15,9 %	4056,8 €	788,7 €	3268,0 €
35,0 %	19,9 %	4732,9 €	938,2 €	3794,7 €
40,0 %	24,7 %	5409,0 €	1112,5 €	4296,5 €
45,0 %	30,3 %	6085,2 €	1318,6 €	4766,6 €
50,0 %	37,0 %	6761,3 €	1565,8 €	5195,5 €
55,0 %	45,2 %	7437,4 €	1868,0 €	5569,4 €
60,0 %	55,5 %	8113,6 €	2245,8 €	5867,8 €
65,0 %	68,7 %	8789,7 €	2731,4 €	6058,3 €
68,0 %	78,6 %	9195,4 €	3095,7 €	6099,7 €
70,0 %	86,3 %	9465,8 €	3379,0 €	6086,8 €
75,0 %	111,0 %	10142,0 €	4285,6 €	5856,4 €

Costs of heat recovery calculated per year

selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m /s - 73,0 %

optimized efficiency of HRC 68 % (65 - 71 %)

Calculation based on economic calculation (toleranc ± 1% costs)



Simulation Wirtschaftlichkeit



HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on money / HRS depth const.)

Efficiency	square area (base 2 m/s)	w in m/s	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
60,5 %	59,7 %	3,35 m/s	8185,0 €	7918,9 €	266,1 €
64,0 %	69,1 %	2,89 m/s	8649,6 €	6002,7 €	2646,9 €
67,4 %	80,5 %	2,48 m/s	9114,3 €	4773,5 €	4340,7 €
70,9 %	94,7 %	2,11 m/s	9584,3 €	4076,8 €	5507,5 €
74,4 %	113,4 %	1,76 m/s	10066,1 €	3845,0 €	6221,1 €
78,1 %	139,2 %	1,44 m/s	10567,8 €	4106,4 €	6461,5 €
82,1 %	178,6 %	1,12 m/s	11102,1 €	5065,0 €	6037,1 €
86,5 %	248,5 %	0,80 m/s	11691,0 €	7468,0 €	4223,0 €

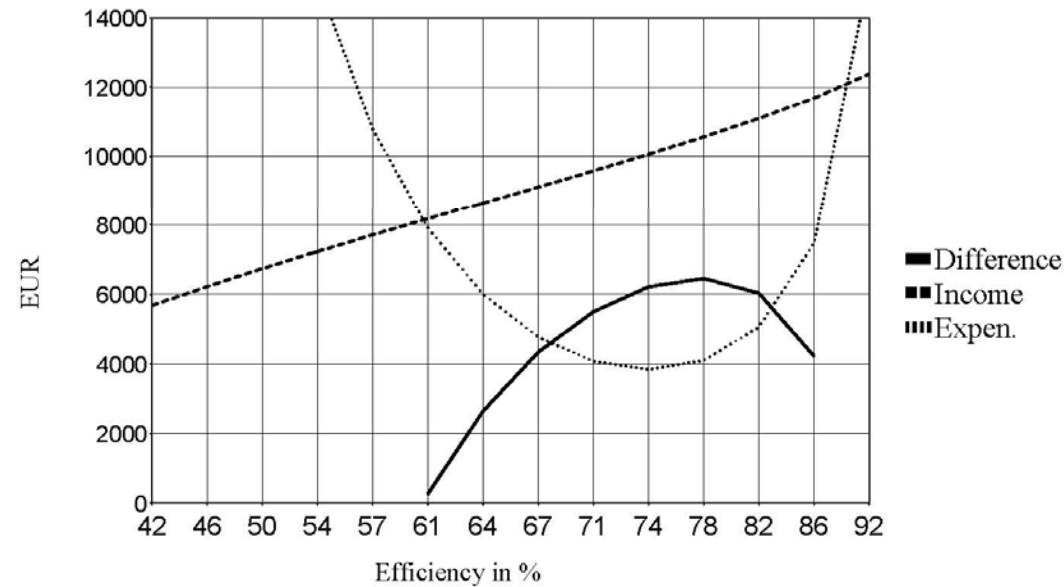
Area in % of the selected Area. Costs of heat recovery calculated per year. Exponent for dP calc. 1,6

selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m/s - 73,0 %

optimized efficiency of HRC

78,1 % (76,6 - 78,9 %)

Calculation based on economic calculation (toleranc ± 1% costs)



Simulation Wirtschaftlichkeit



HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on money / multidimensional)

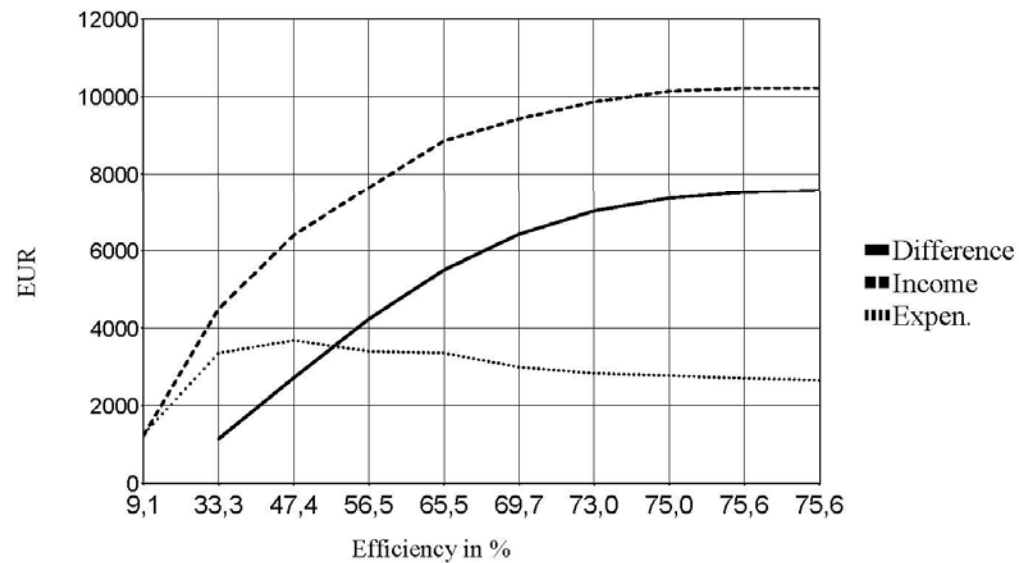
Efficiency	square area (base 2 m/s)	w in m/s	Depth HRS	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
9,1 %	51,7 %	3,87 m/s	7,5 %	1229,3 €	1264,5 €	-35,2 €
33,3 %	59,7 %	3,35 m/s	32,6 %	4507,5 €	3361,2 €	1146,3 €
47,4 %	69,1 %	2,89 m/s	50,7 %	6405,4 €	3684,0 €	2721,5 €
56,5 %	80,5 %	2,48 m/s	62,9 %	7643,2 €	3403,3 €	4239,9 €
65,5 %	94,7 %	2,11 m/s	78,1 %	8859,6 €	3357,9 €	5501,7 €
69,7 %	113,4 %	1,76 m/s	79,0 %	9424,8 €	2995,9 €	6429,0 €
73,0 %	139,2 %	1,44 m/s	75,5 %	9867,8 €	2838,7 €	7029,1 €
75,0 %	178,6 %	1,12 m/s	65,4 %	10142,0 €	2778,4 €	7363,6 €
75,6 %	248,5 %	0,80 m/s	48,6 %	10224,4 €	2707,3 €	7517,1 €
75,6 %	423,8 %	0,47 m/s	28,5 %	10224,4 €	2657,0 €	7567,4 €

Area in % of the selected Area. Costs of heat recovery calculated per year. Exponent for dP calc. 1,6

selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m/s - 73,0 %

max usefull efficiency of HRC **75,0 %**

Calculation based on economic calculation (toleranc aprox. 2% of max. benefit)



Simulation Wirtschaftlichkeit



HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on CO2 / HRS area const.)

Efficiency	Depth HRS	Saving kg CO2/a	Expenditure kg CO2/a	Difference kg CO2/a
30,0 %	15,9 %	12986	1196	11789
35,0 %	19,9 %	15150	1503	13647
40,0 %	24,7 %	17314	1861	15453
45,0 %	30,3 %	19479	2284	17195
50,0 %	37,0 %	21643	2792	18851
55,0 %	45,2 %	23807	3412	20395
60,0 %	55,5 %	25972	4187	21784
65,0 %	68,7 %	28136	5184	22952
70,0 %	86,3 %	30300	6514	23787
75,0 %	111,0 %	32465	8375	24090
80,0 %	147,9 %	34629	11166	23463
85,0 %	209,6 %	36793	15819	20974

CO2 Emissions of heat recovery calculated

CO2-Emissionen calc. per year with 340 g/kWh heat, 630 g/kWh electricity and 600 g/€ HRS Invest und additional running costs 600 g/€

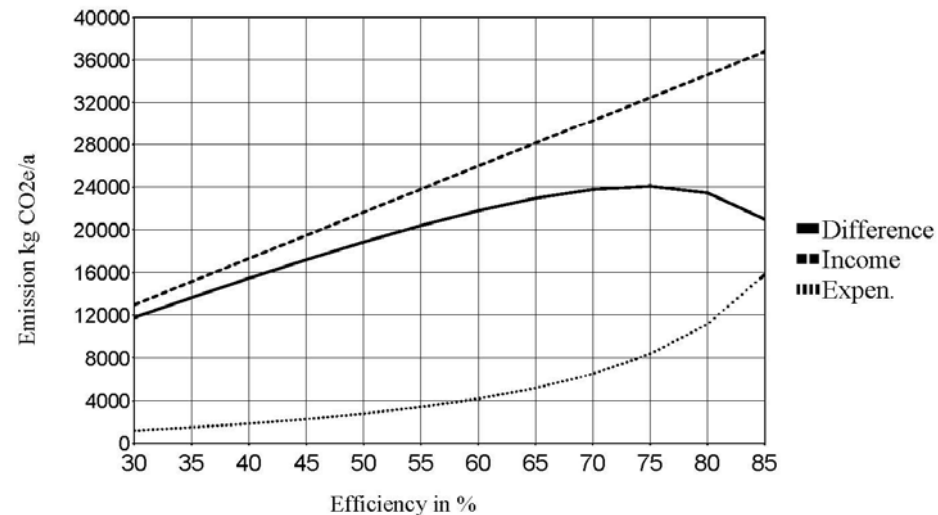
selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m/s - 73,0 %

selection with a CO2 reduction of 24,1 t/a

optimized efficiency of HRC

75 % (71 - 78 %)

Calculation based on economic calculation (tolerance \pm 1% CO2 Emission)



HRC SYSTEMS / OPTIMIZING (based on CO₂ / multidimensional)

Efficiency	square area (base 2 m/s)	w in m/s	Depth HRS	Saving kg CO ₂ /a	Expenditure kg CO ₂ /a	Difference kg CO ₂ /a
9,1 %	59,7 %	3,35 m/s	6,5 %	3935	3934	1
28,6 %	69,1 %	2,89 m/s	22,5 %	12367	8597	3770
47,4 %	80,5 %	2,48 m/s	43,5 %	20504	10657	9847
61,5 %	94,8 %	2,11 m/s	65,7 %	26638	10248	16390
72,2 %	113,4 %	1,76 m/s	89,3 %	31262	8795	22467
80,0 %	139,2 %	1,44 m/s	111,8 %	34629	7076	27553
85,3 %	178,6 %	1,12 m/s	126,4 %	36921	5618	31302
88,2 %	248,5 %	0,80 m/s	117,5 %	38194	4675	33519
88,6 %	270,0 %	0,74 m/s	112,4 %	38367	4583	33785
89,4 %	423,7 %	0,47 m/s	77,2 %	38681	4302	34379

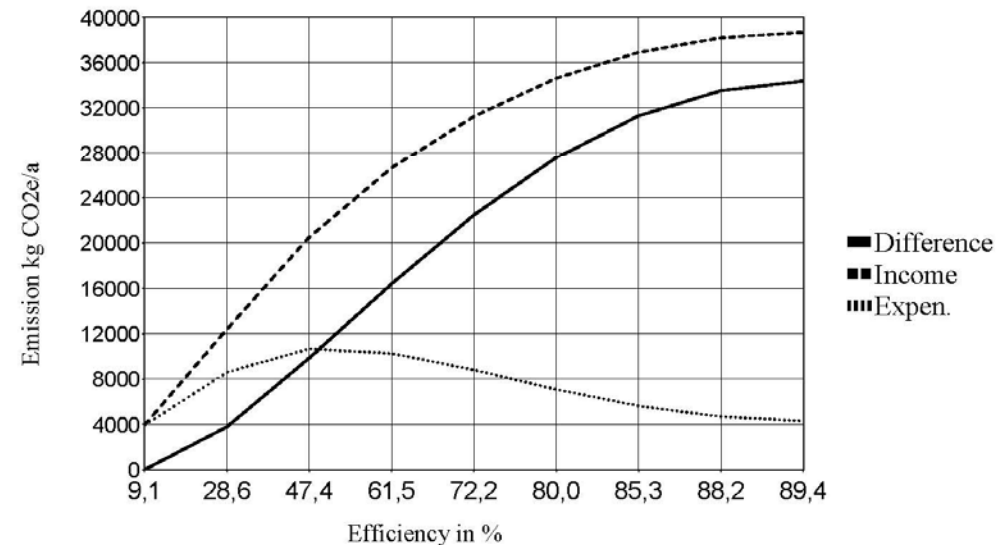
Area in % of the selected Area. Costs of heat recovery calculated per year. Exponent for dP calc. 1,6

selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m/s - 73,0 %

selection with a CO₂ reduction of 24,1 t/a

max usefull efficiency of HRC **88,6 %**

Calculation based on economic calculation (toleranc approx. 2% of CO₂ saving)



Batch Simulation (Meta Tool)



Simulation Meta Batchgenerator

	start value	end value	step range
Leading Temperatur Heating Period	20,5		
Leading Temperatur Cooling Period	20		
Exhaust Temperatur Heating Period	20		
Exhaust Temperatur Cooling Period	26		
Integrated Heating (1/0)	0		
Integrated water heating (1/0)	0		
Energy Expenses Heating in € / kWh	0,10		
Energy Expenses Cooling in € / kWh	0,15		
Energy Expenses Electro in € / kWh	0,15		
Water Expenses (incl. Wastwater) in € / m ³	6		
Extra Expenses per Year in €			
Diff. Costs per Year in €			
Calculation Interests	5		
Price increasing Rate in % / a	2		
Life Time in a	15		
Running Days per Week in d/w	5		
Running Hours at Day in h/d	9		
Running Hours per Night in h/d	1		
Load in % at Day (V max)	100		
Load in % at Night (V max)	50		
pressure losses HRC (supply and exhaust)	240		
CO2 heating	0,34		
CO2 electricity	0,63		
CO2 Invest	0,6		
CO2 operating expenses	0,6		
PEF Heat	1,1		
PEF Electricity	1,8		
COP Cooling	3,5		
calculation base (Meteonorm = 0, VDI = 1)	0		

selected location: Frankfurt calc. all locations

file save as: C:\Howaexport\EU_Study 2017_001.log
Delete Log file

separator: :

benchmark: iteration
from: 20,5 from:
until:

Start Beenden

Rahmenbedingungen

- Luftmenge **14.400 m³/h** (Zu- und Abluft)
- Plattenwärmeübertrager (Twinplate) mit **73,1 % Übertragungsgrad**
- Druckabfall **232 Pa (Zuluft)** and **240 Pa (Abluft)**
- Freilaufende Räder mit **60 % Systemwirkungsgrad** (Motor IE3)
- Effizienzklasse P1 (EN 13053)
- **SFP_{int.} 1.019 W s/m³** (ErP 2016 ready)
- **dP_{int.} 609 Pa**
- WRG Effizienz nach EN 13053 69,8 %
- Wärmebereitstellungsgrad 77,8 %
- **Luftgeschwindigkeit 1,9 m/s** (V3 nach EN 13053)
- SFP 1.128 W s/m³

Rahmenbedingungen

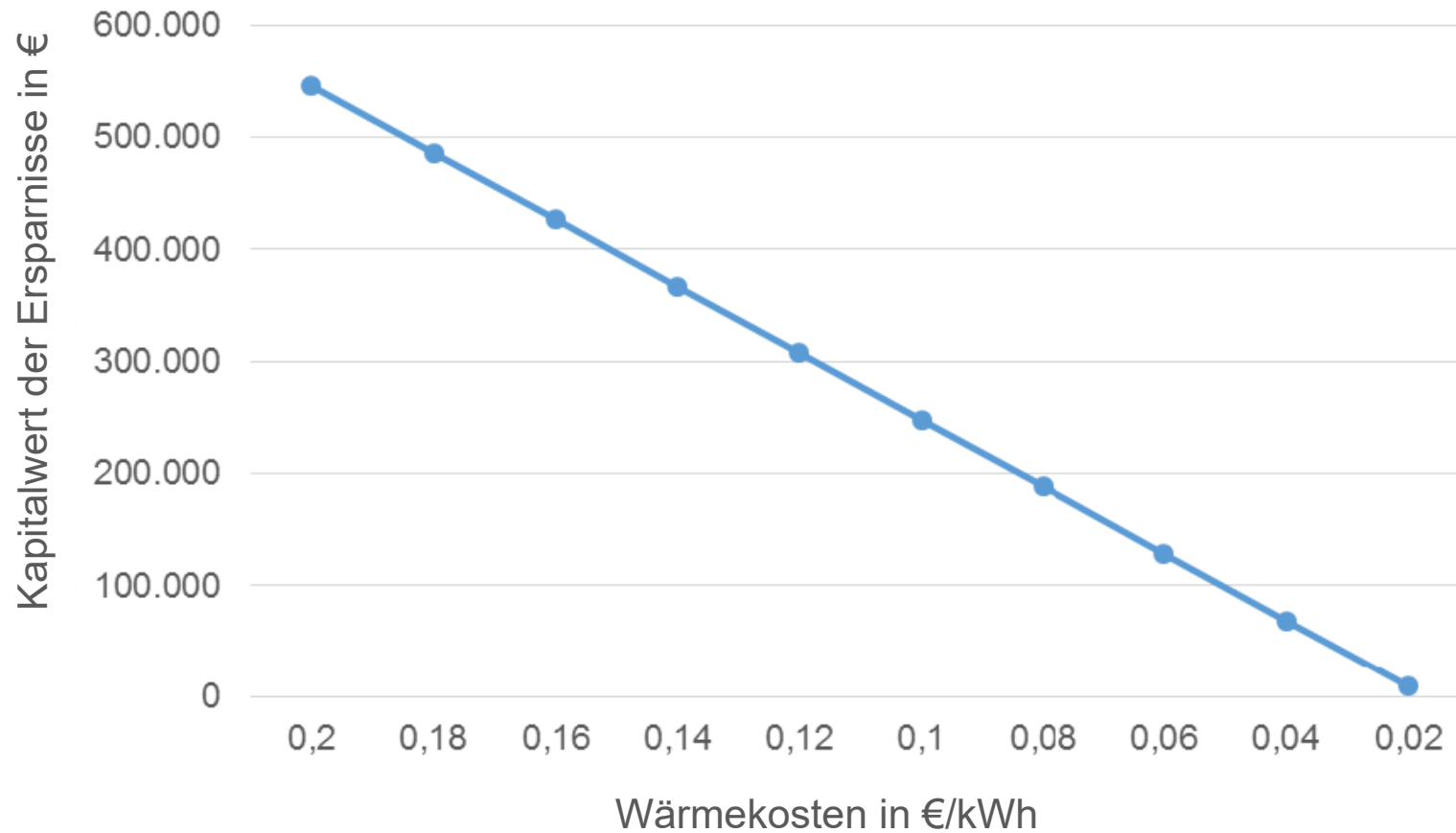
Nicht berücksichtigt

- Reduktion der Investitionskosten für Wärme- und Kälteerzeugung
- Zusätzliche Funktionen
 - Indirekte Verdunstungskühlung
 - Integrierte Nacherwärmung
 - Integrierte Nachkühlung
 - Integrierte Freie Kälteerzeugung
 - Integrierte Brauchwasservorerwärmung
- Keine extra Ausgaben pro Jahr
- Keine extra Investitionen für die WRG

Änderung der Rahmenbedingungen (8 bis 24 h/d)

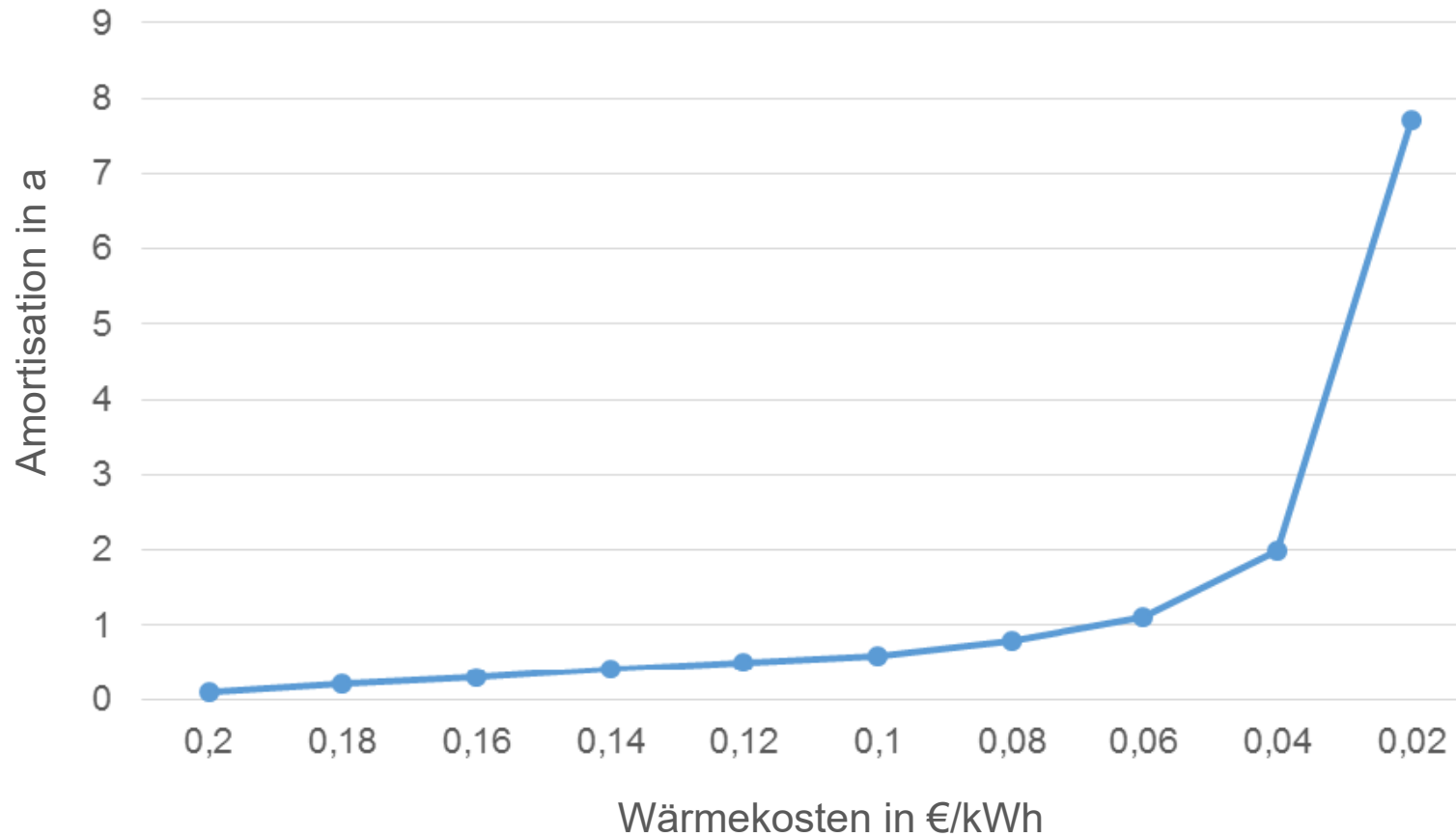
- Mittlerer Standort in Europa (Mannheim)
- Änderung des Wärmepreises (0,02 bis 0,2 €/KWh)
- Änderung der Preises für Elektroenergie (0,04 bis 0,4 €/KWh)
- Änderung der Laufzeit (1 bis 7 d/w)
- Änderung der Lebensdauer (2 bis 30 Jahre)
- Änderung der Druckverluste (60 bis 340 Pa pro Luftseite)
- Änderung der Sollwerte (Heizen und Kühlen) (16 bis 24 °C)
- Änderung der Ablufttemperatur (Winter) (17 bis 24 °C)
- Änderung der Ablufttemperatur (Sommer) (16 bis 26 °C)

Änderung der Wärmekosten



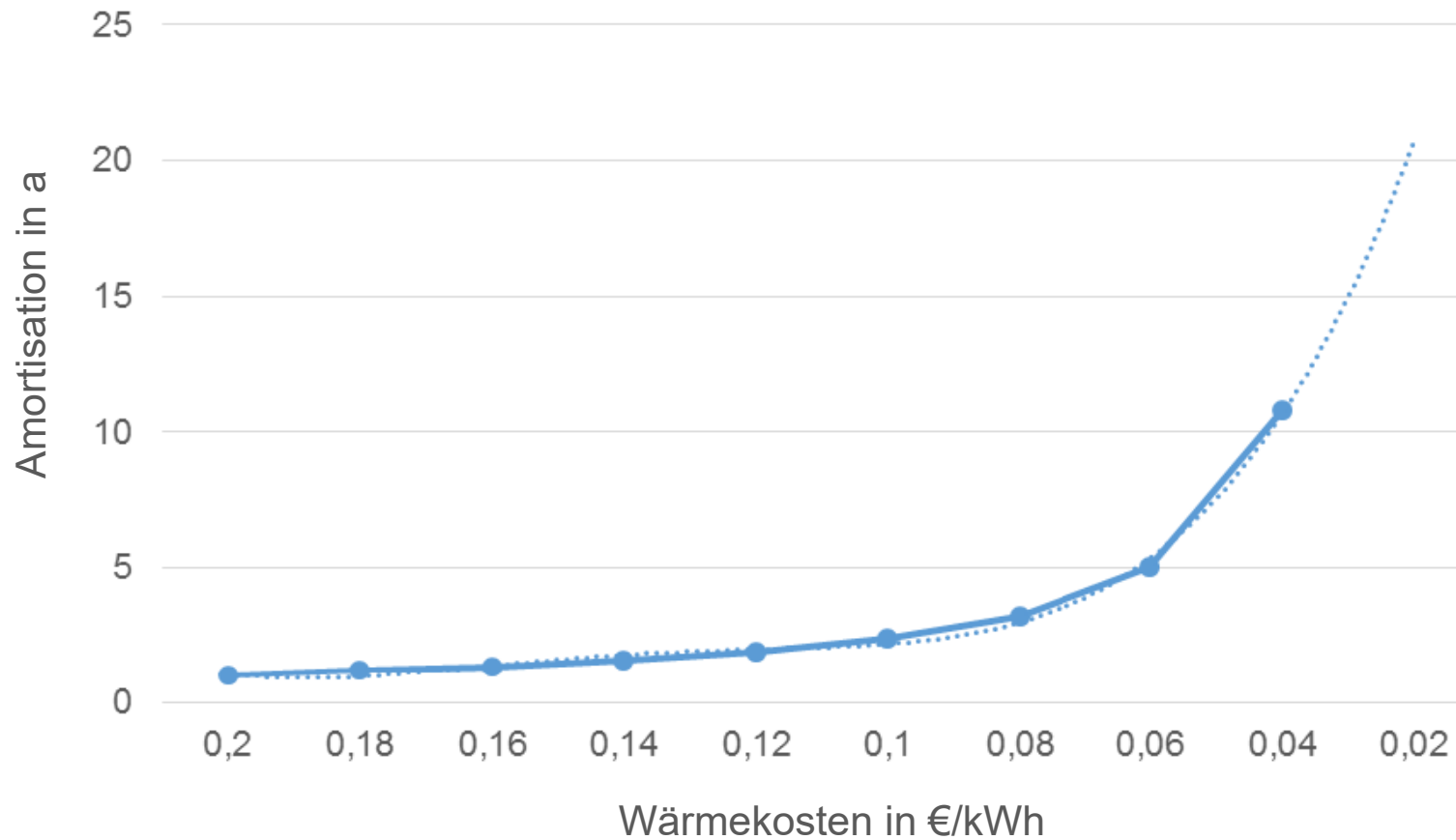
Kapitalwert der Ersparnisse (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Wärmekosten



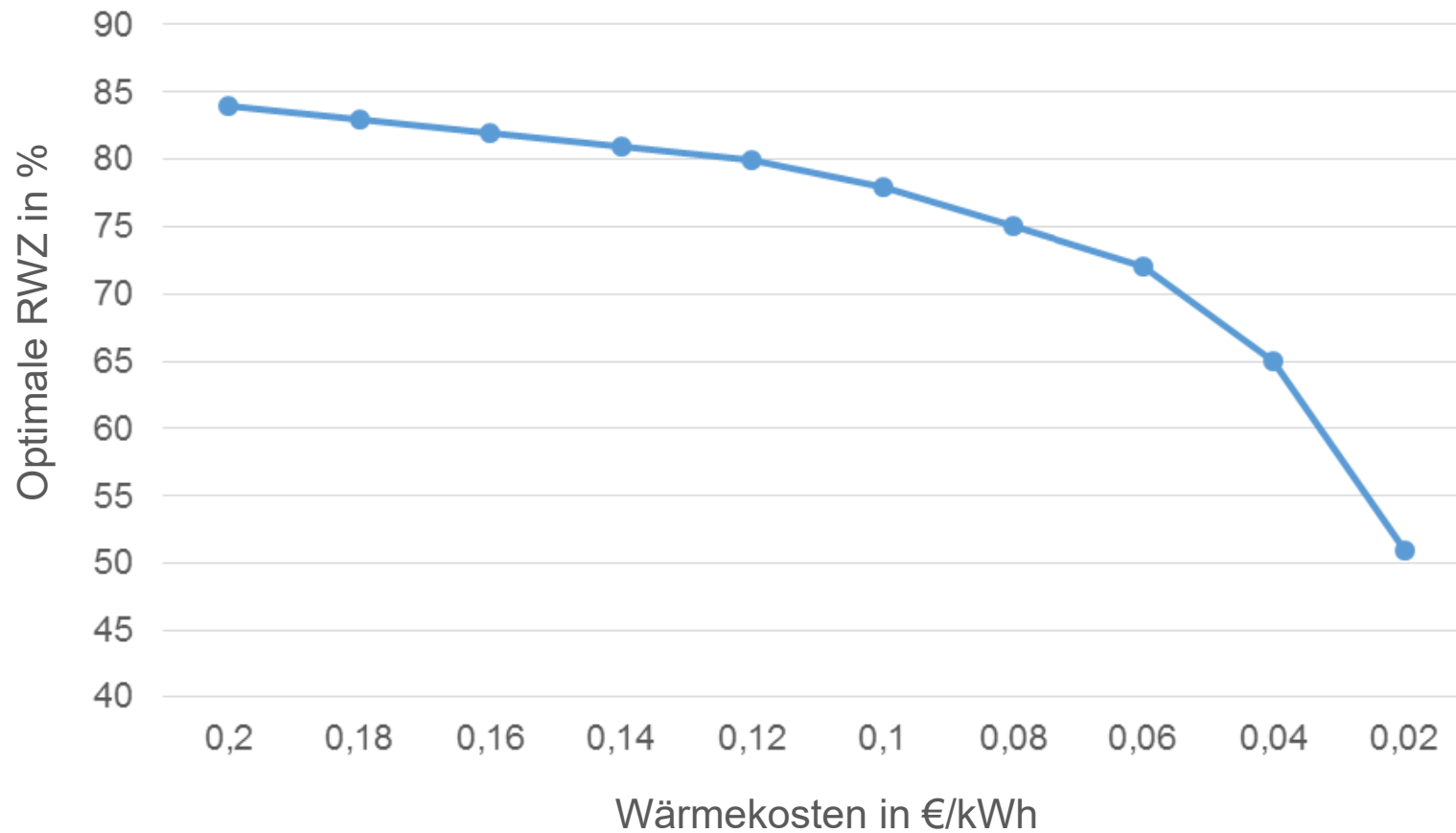
Amortisation (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Wärmekosten



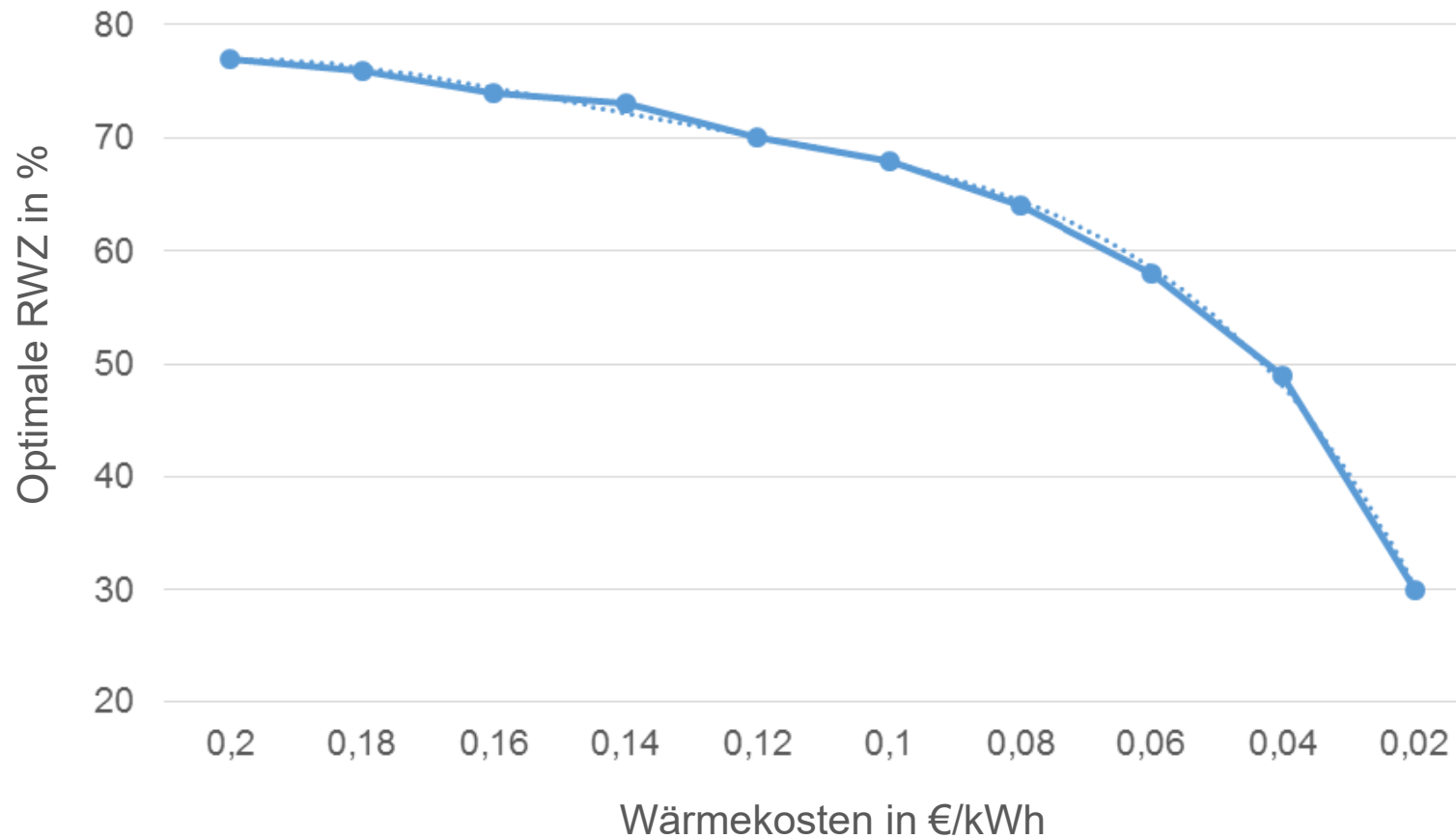
Amortisation (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Wärmekosten



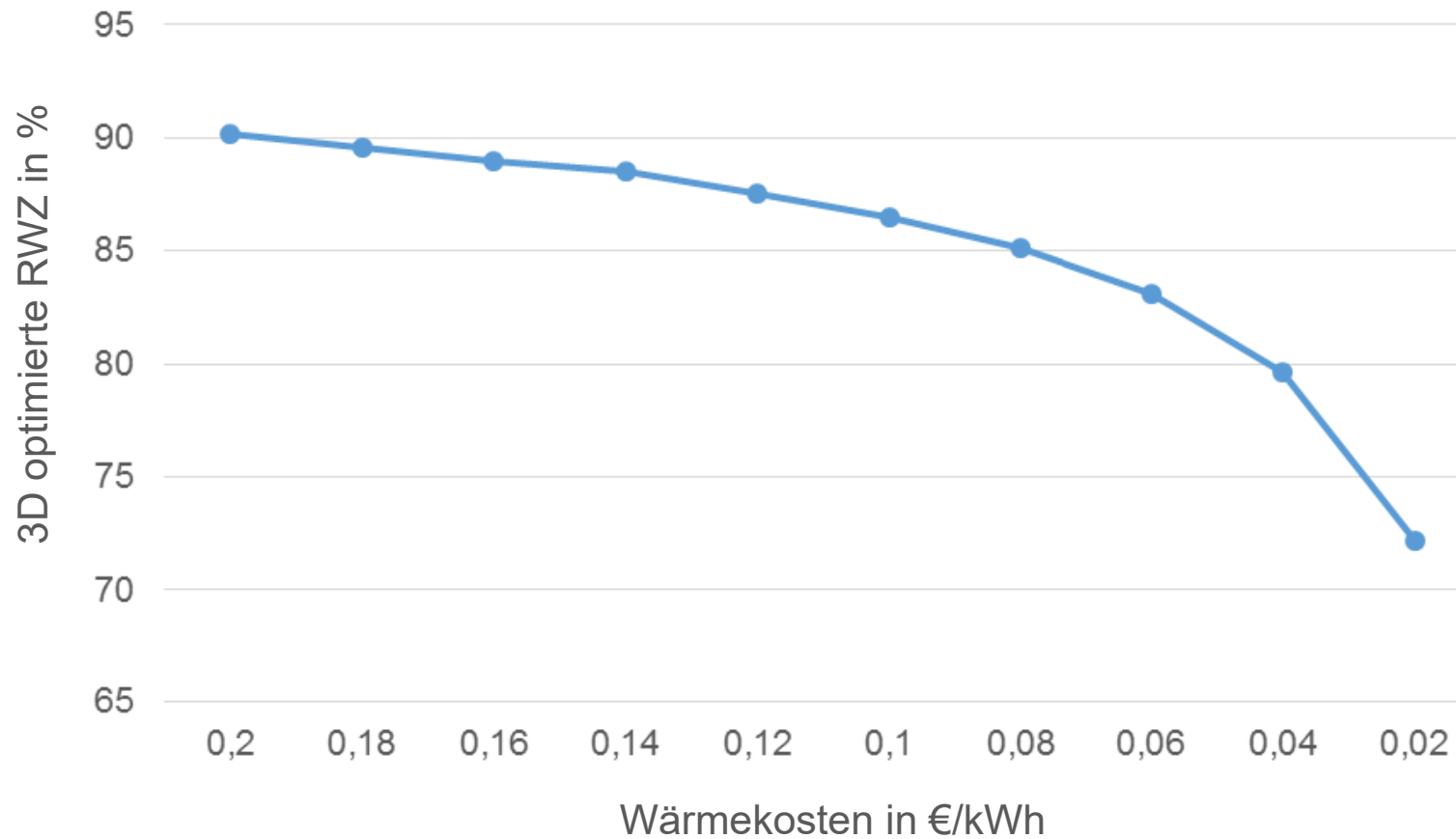
1D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Wärmekosten



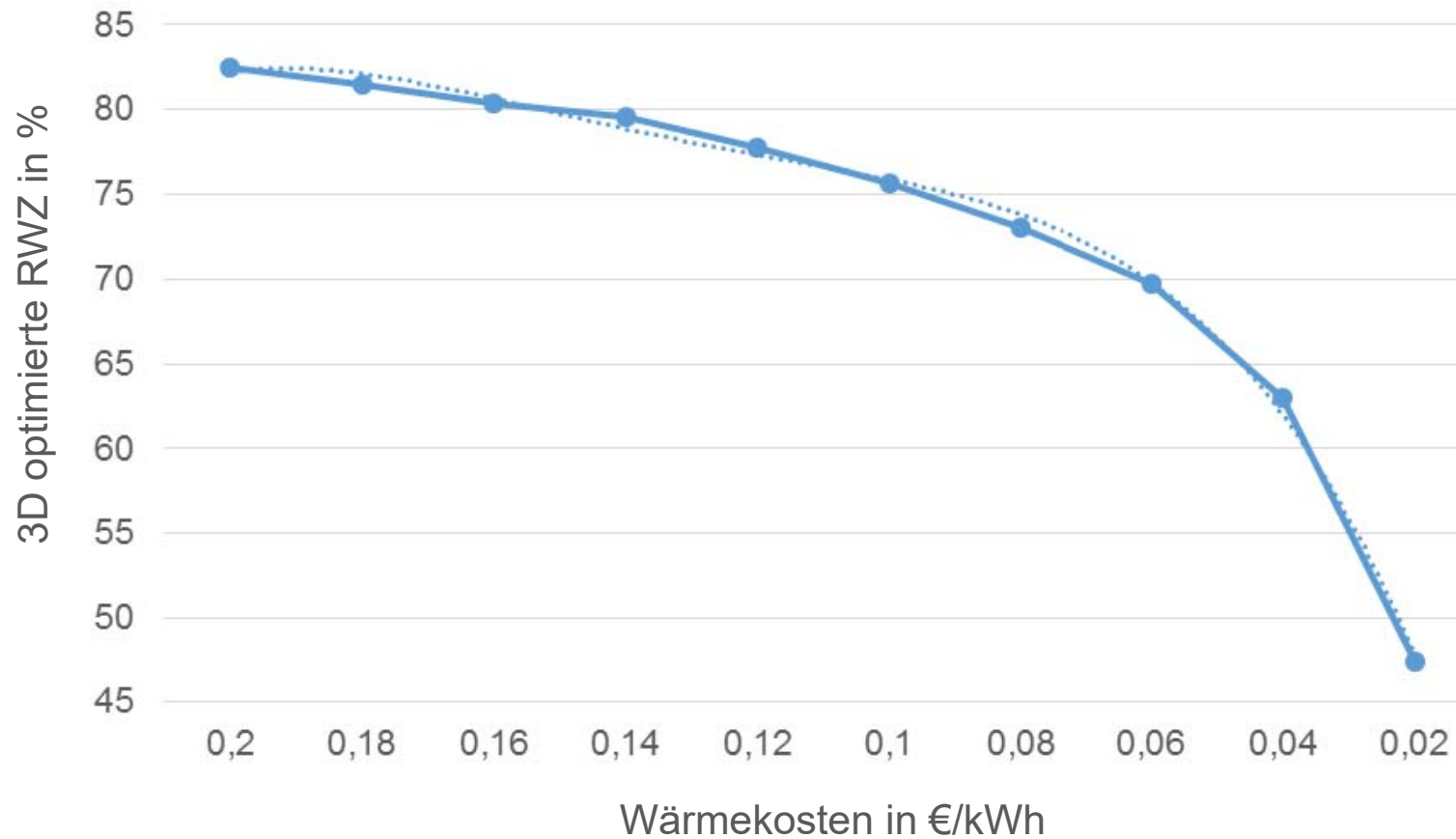
1D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Wärmekosten



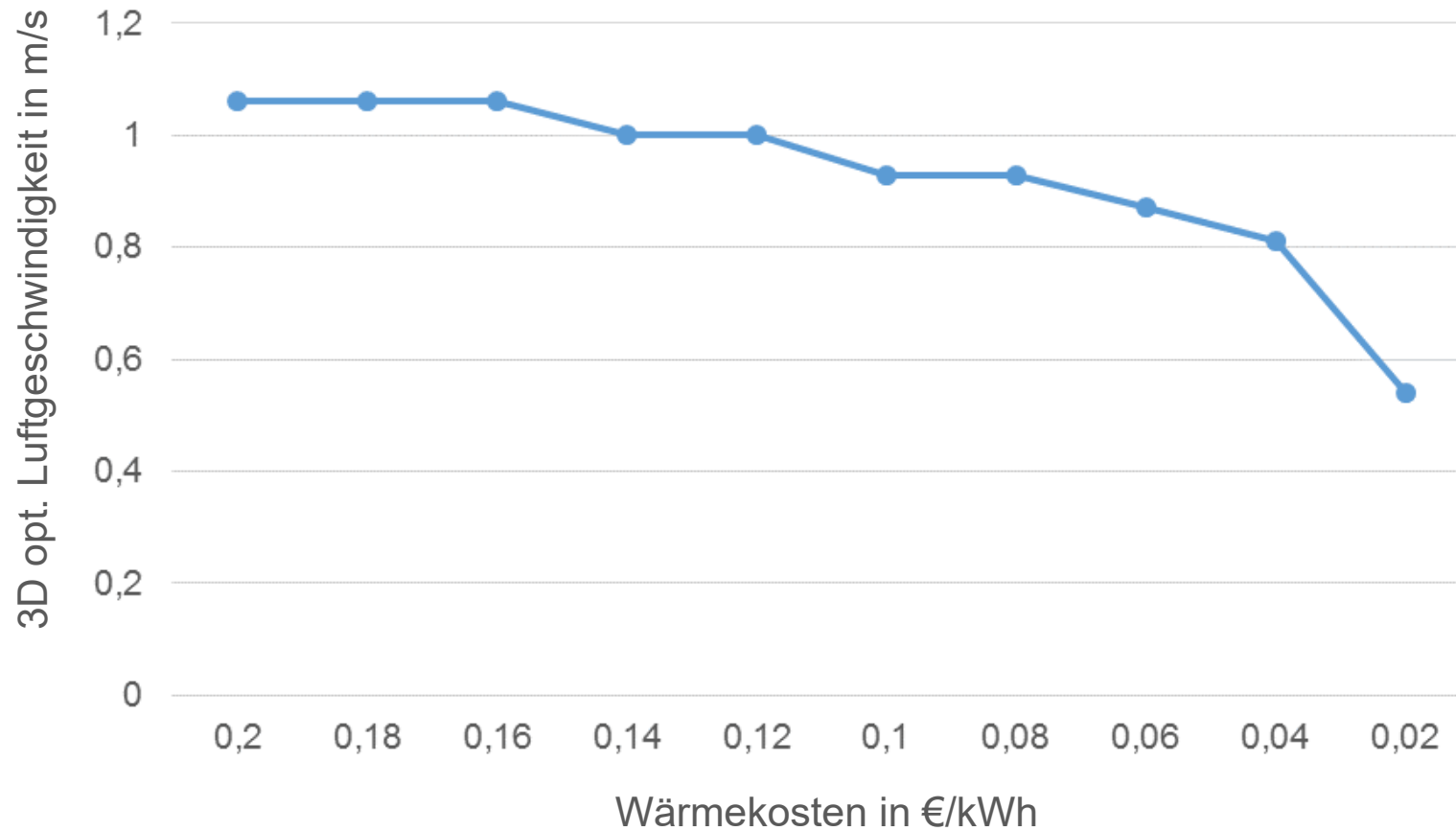
3D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Wärmekosten



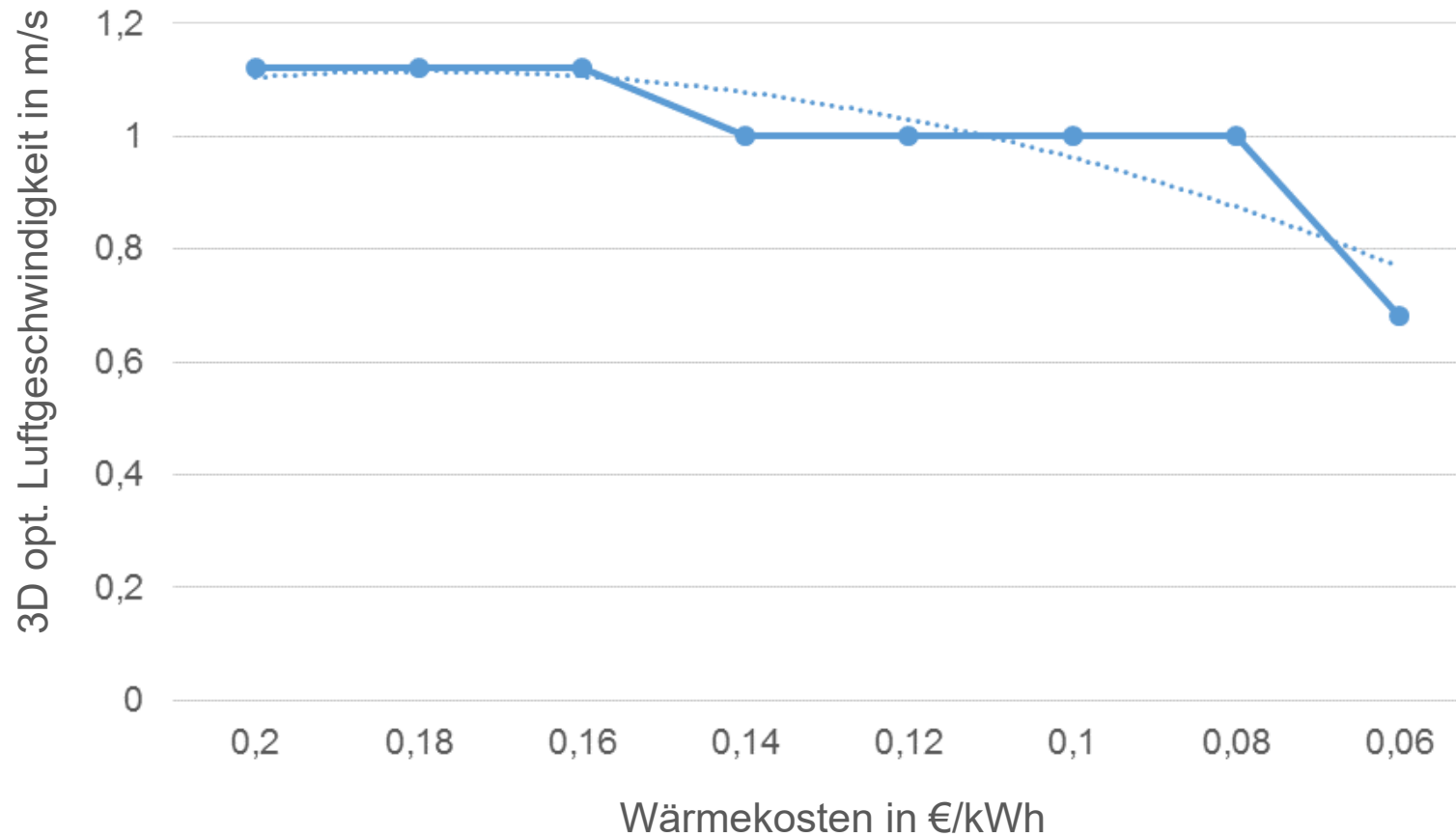
3D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Wärmekosten



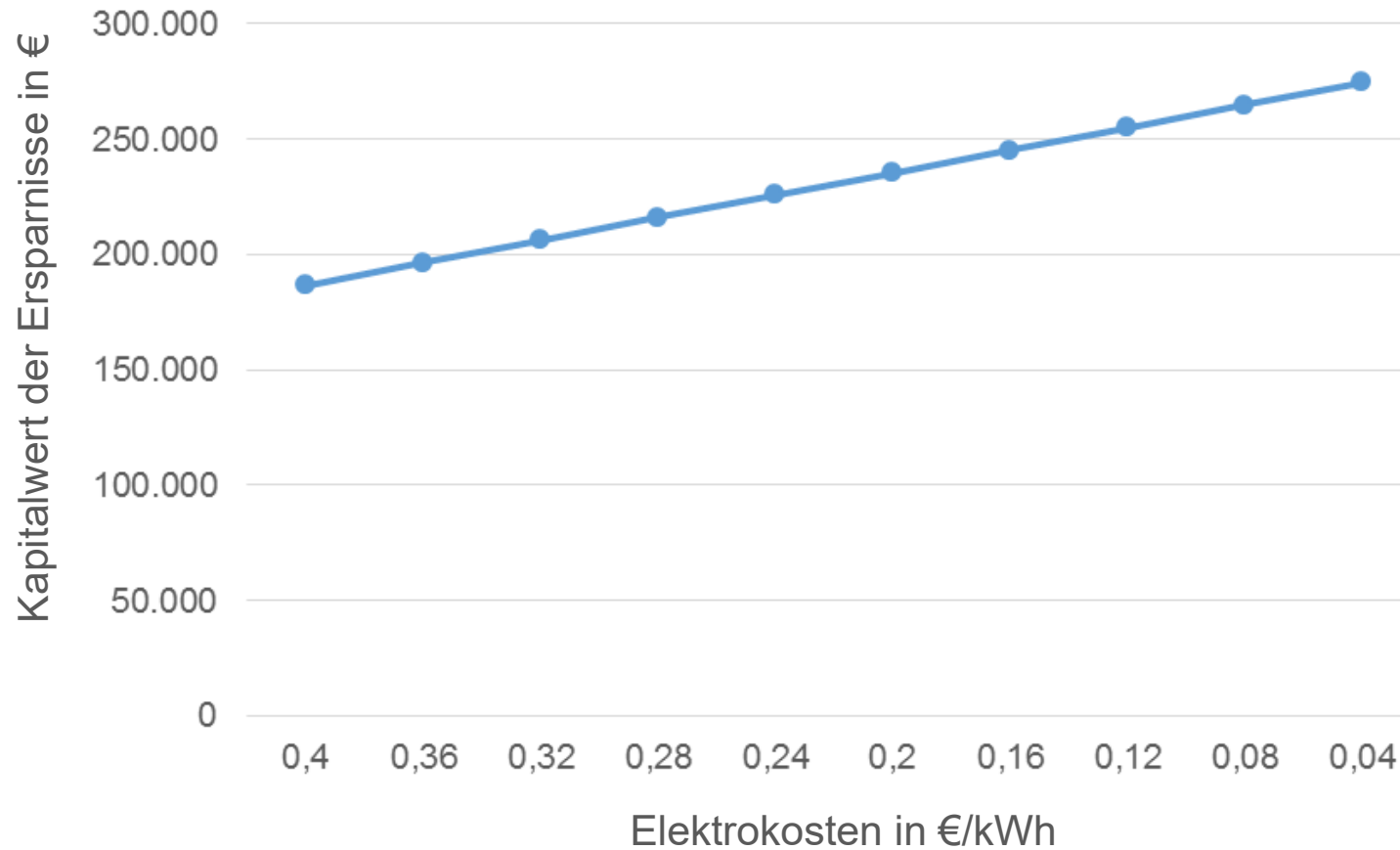
opt. Luftgeschwindigkeit (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Wärmekosten



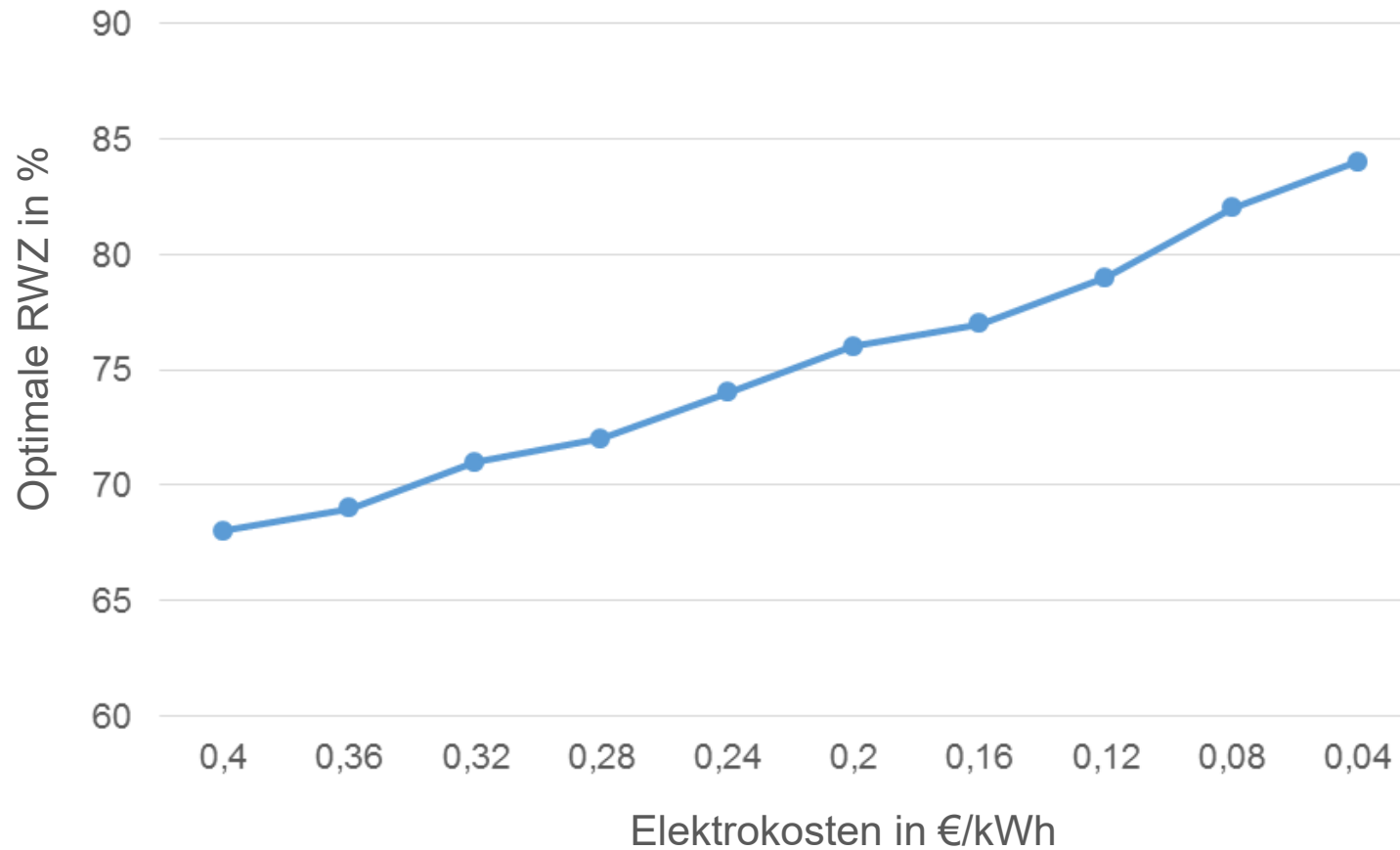
opt. Luftgeschwindigkeit (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Elektrokosten



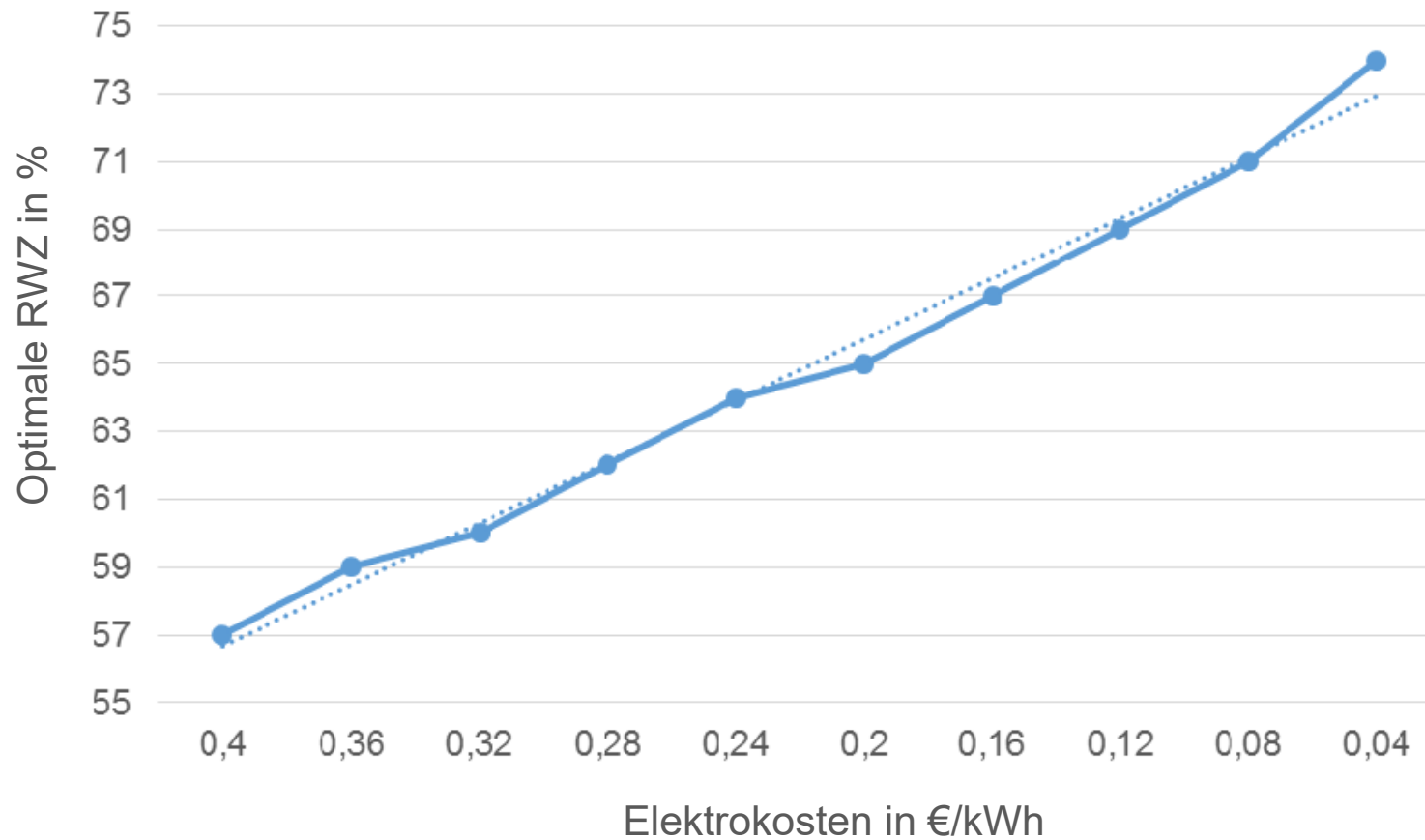
Kapitalwert der Ersparnisse (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Elektrokosten



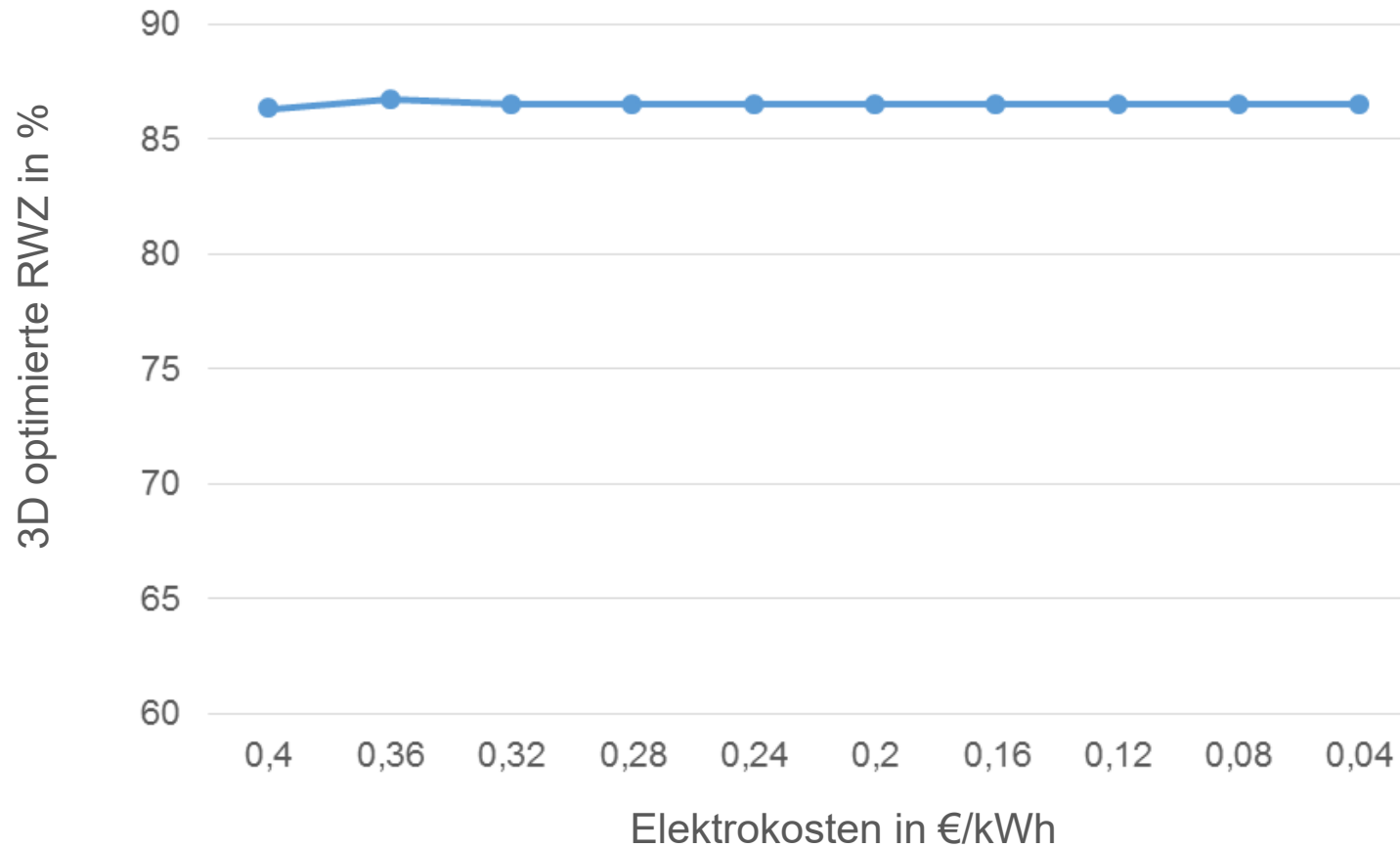
1D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Elektrokosten



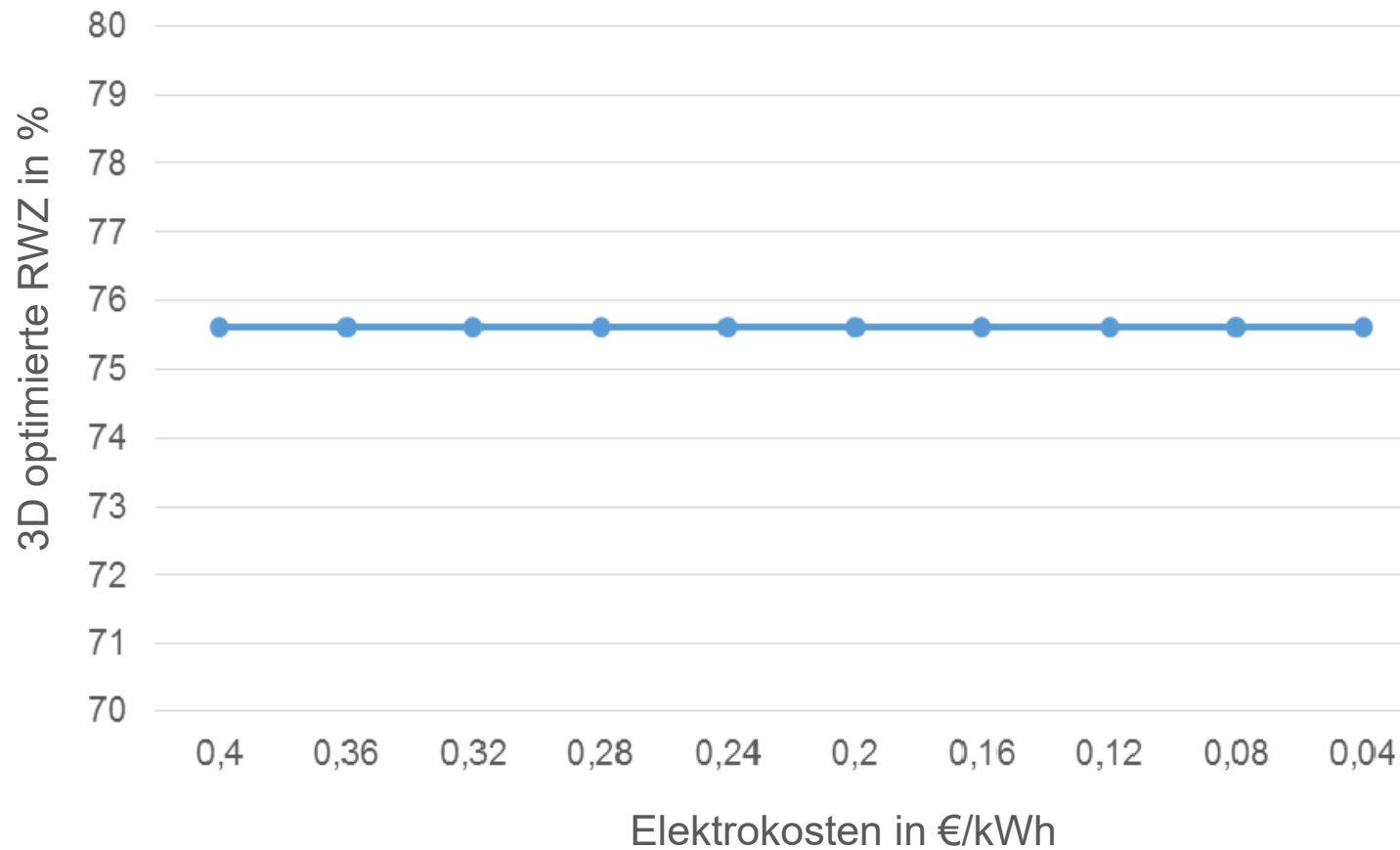
1D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Elektrokosten



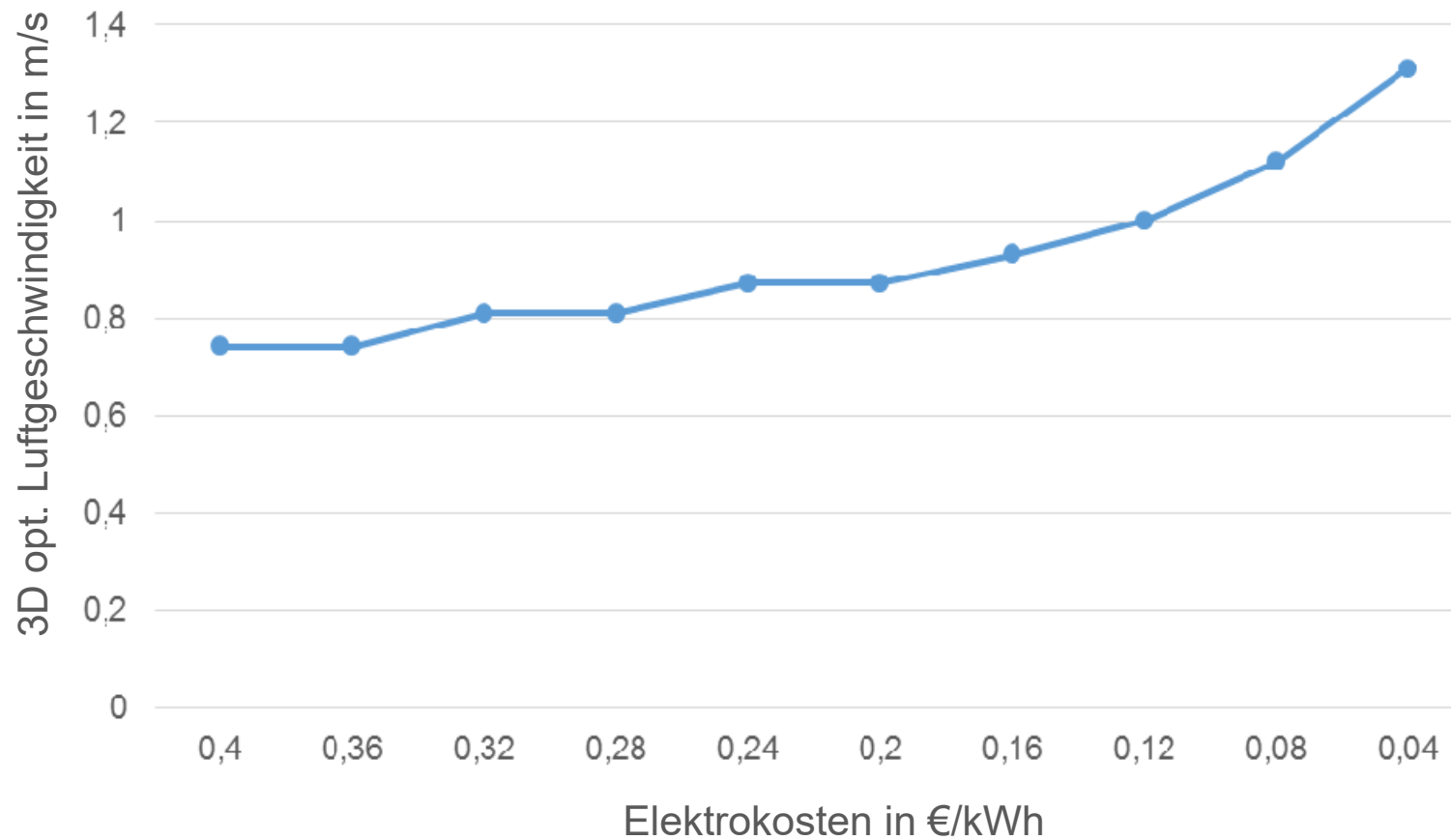
3D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Elektrokosten



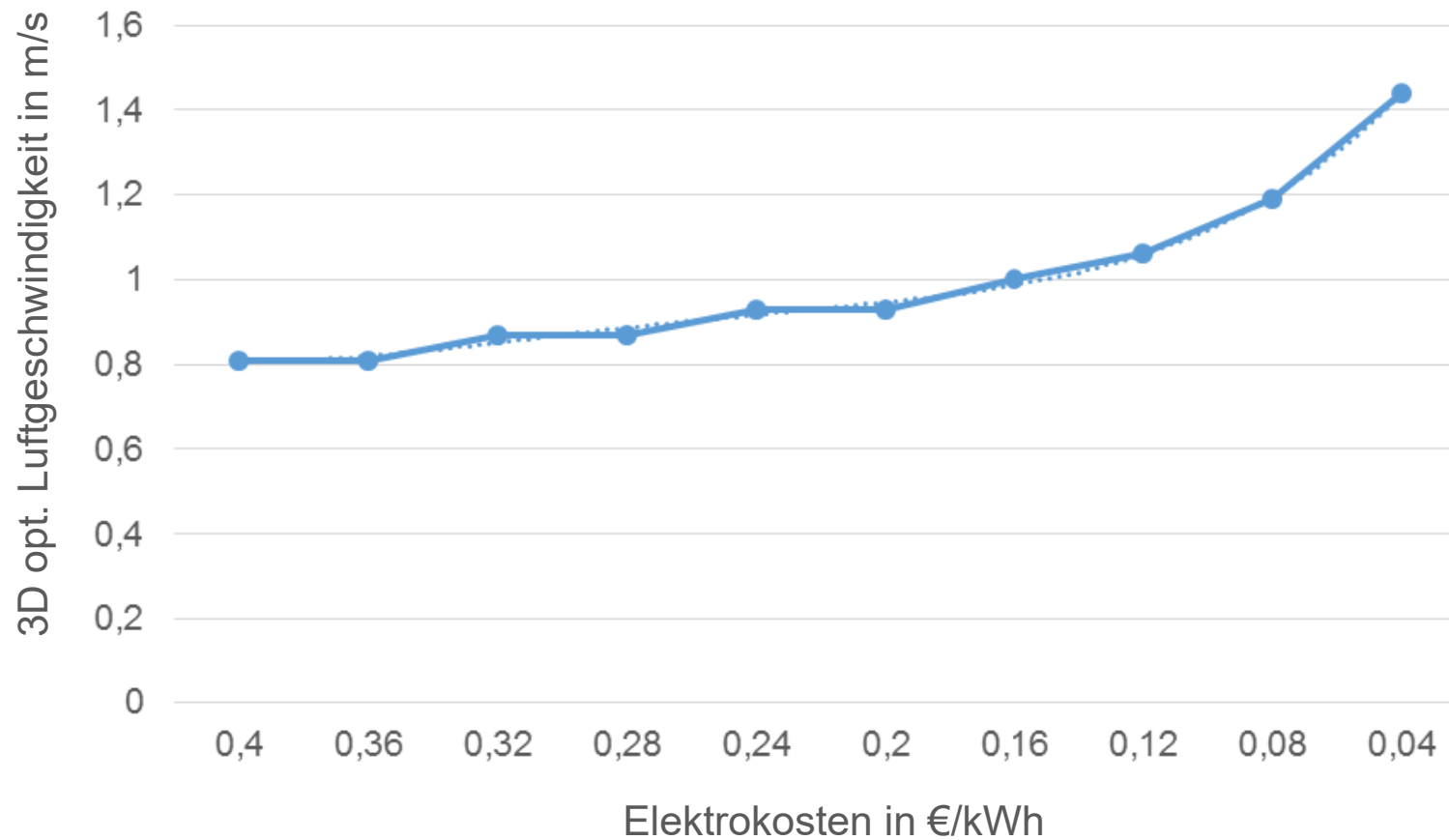
3D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Elektrokosten



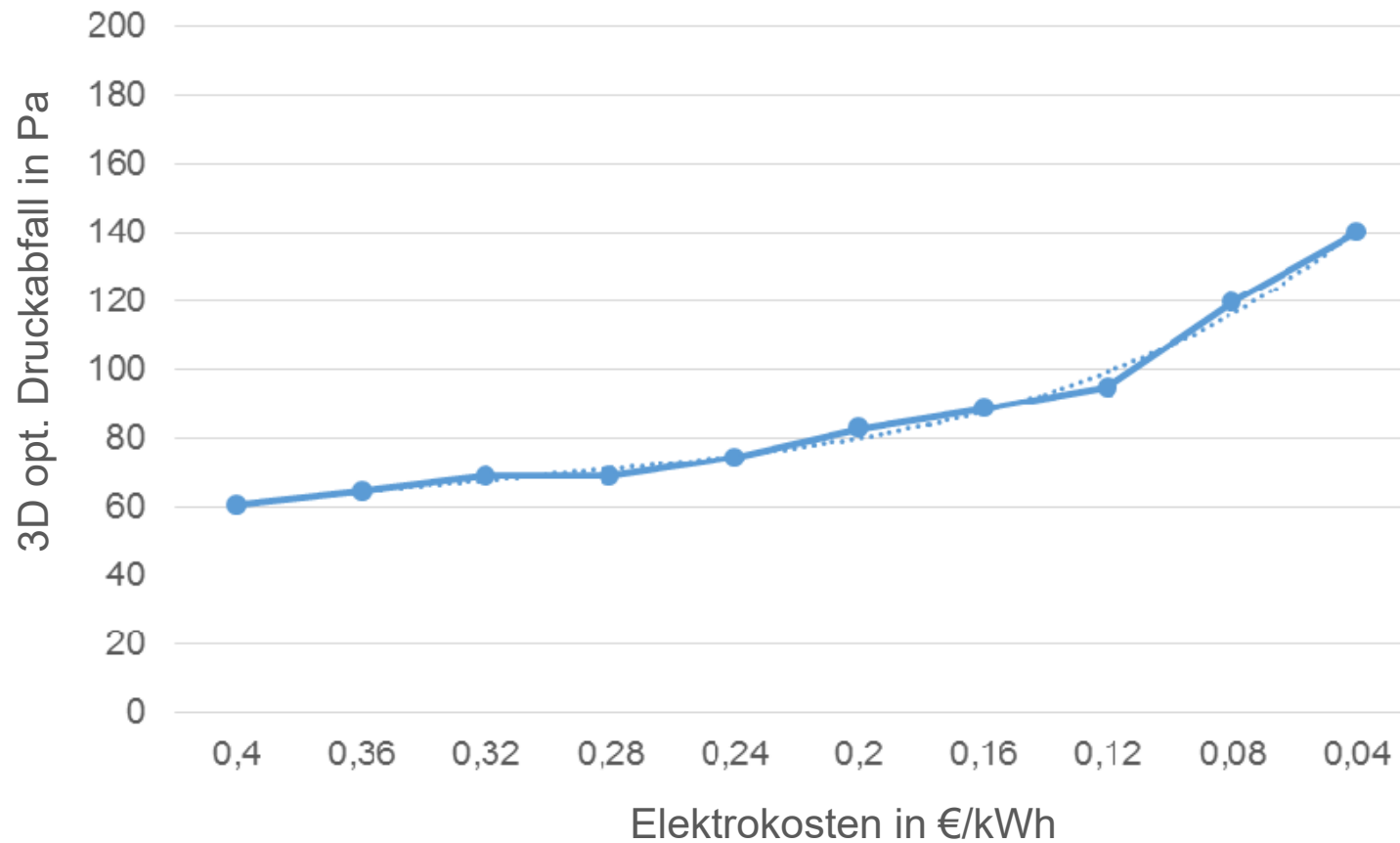
3D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Elektrokosten



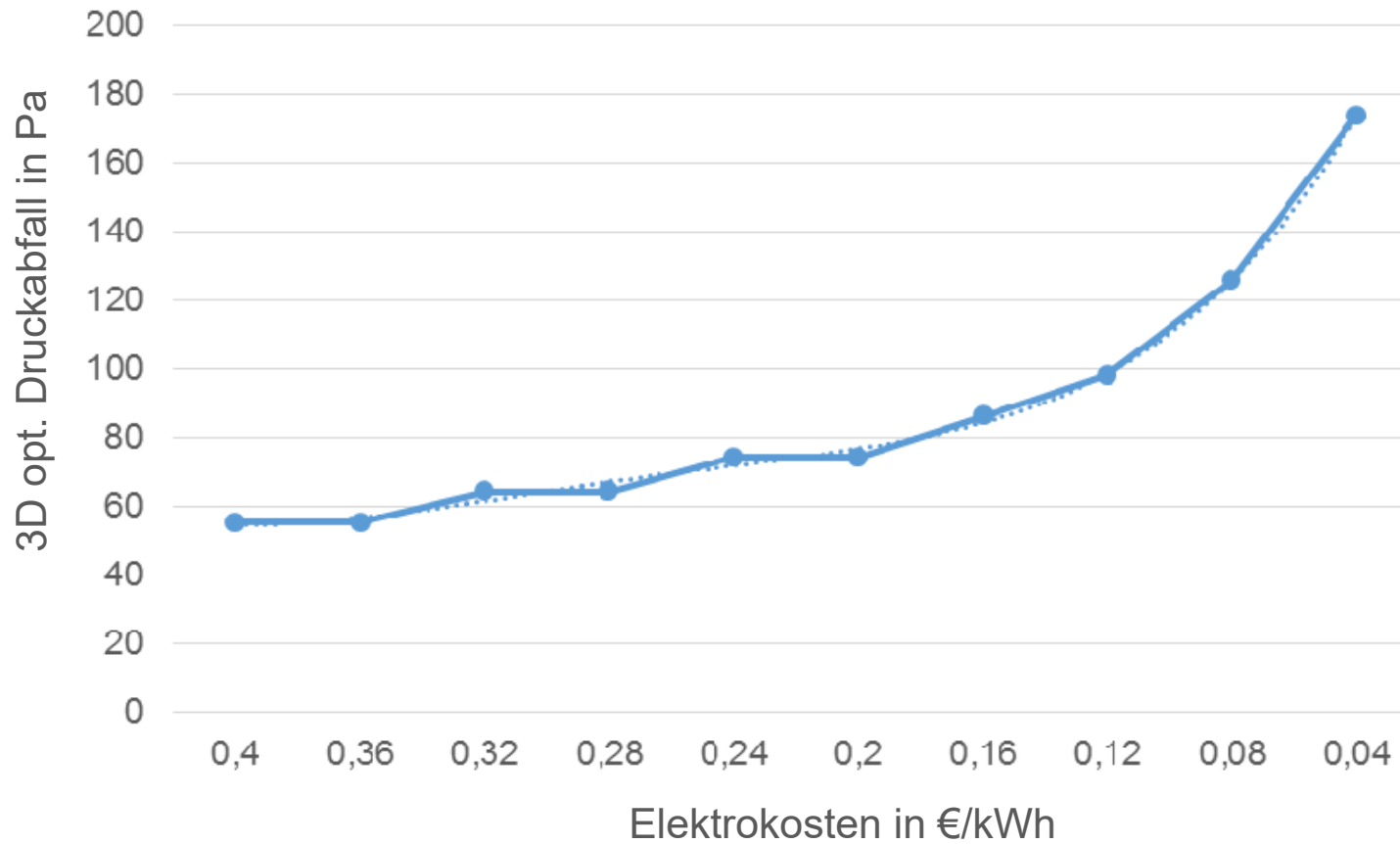
3D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Elektrokosten



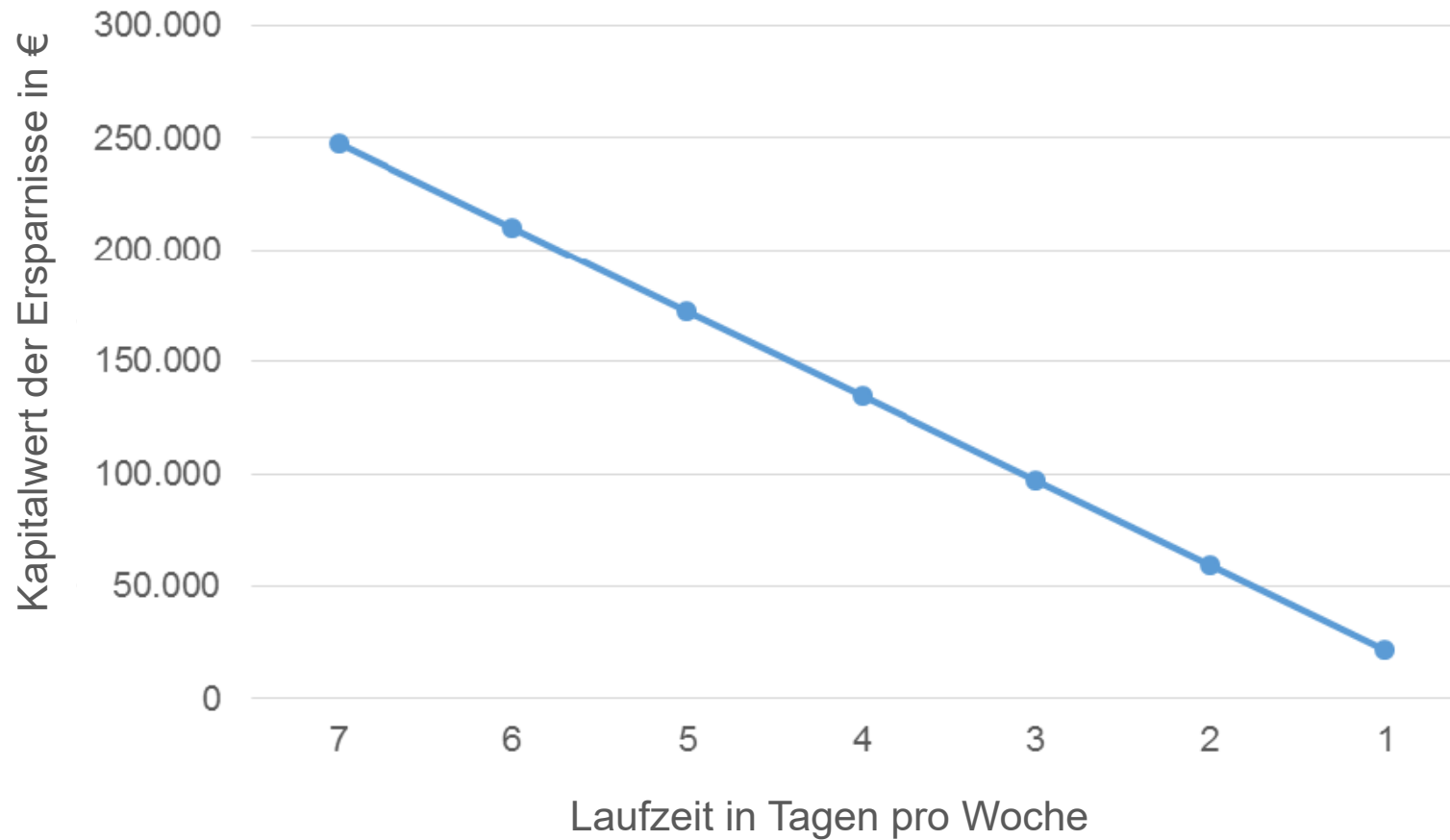
3D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Elektrokosten



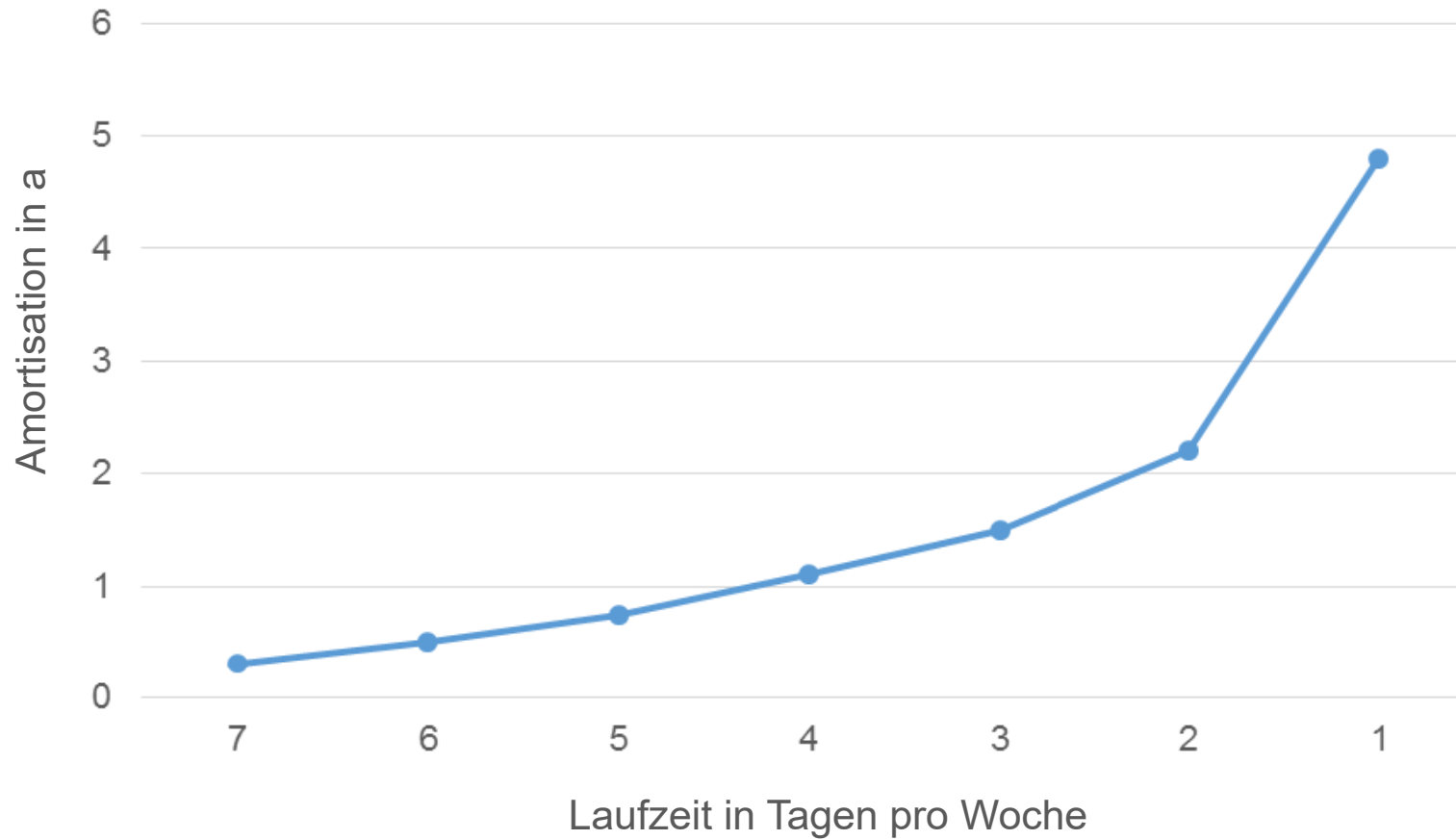
3D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Laufzeit



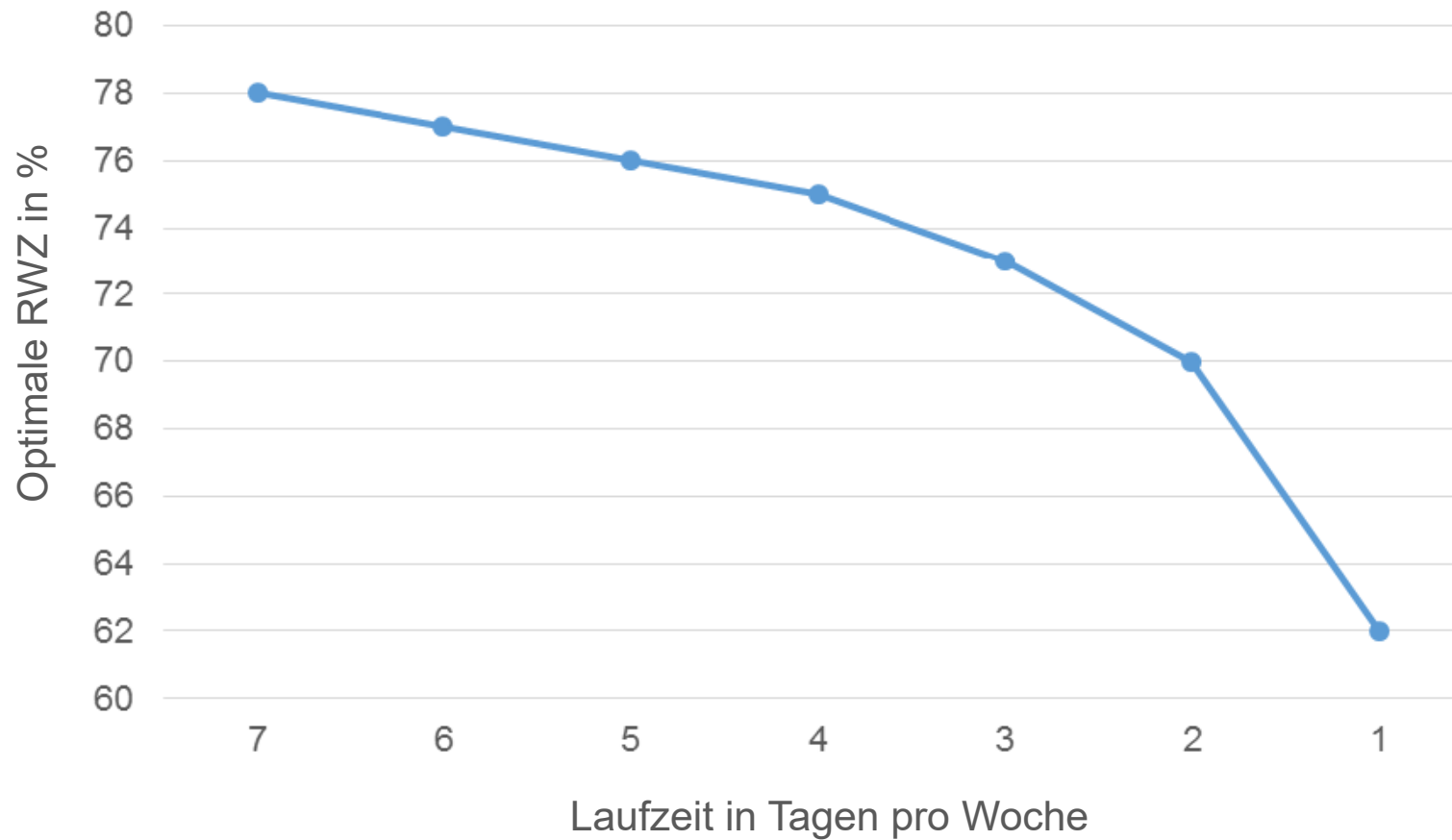
Kapitalwert der Ersparnisse (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Laufzeit



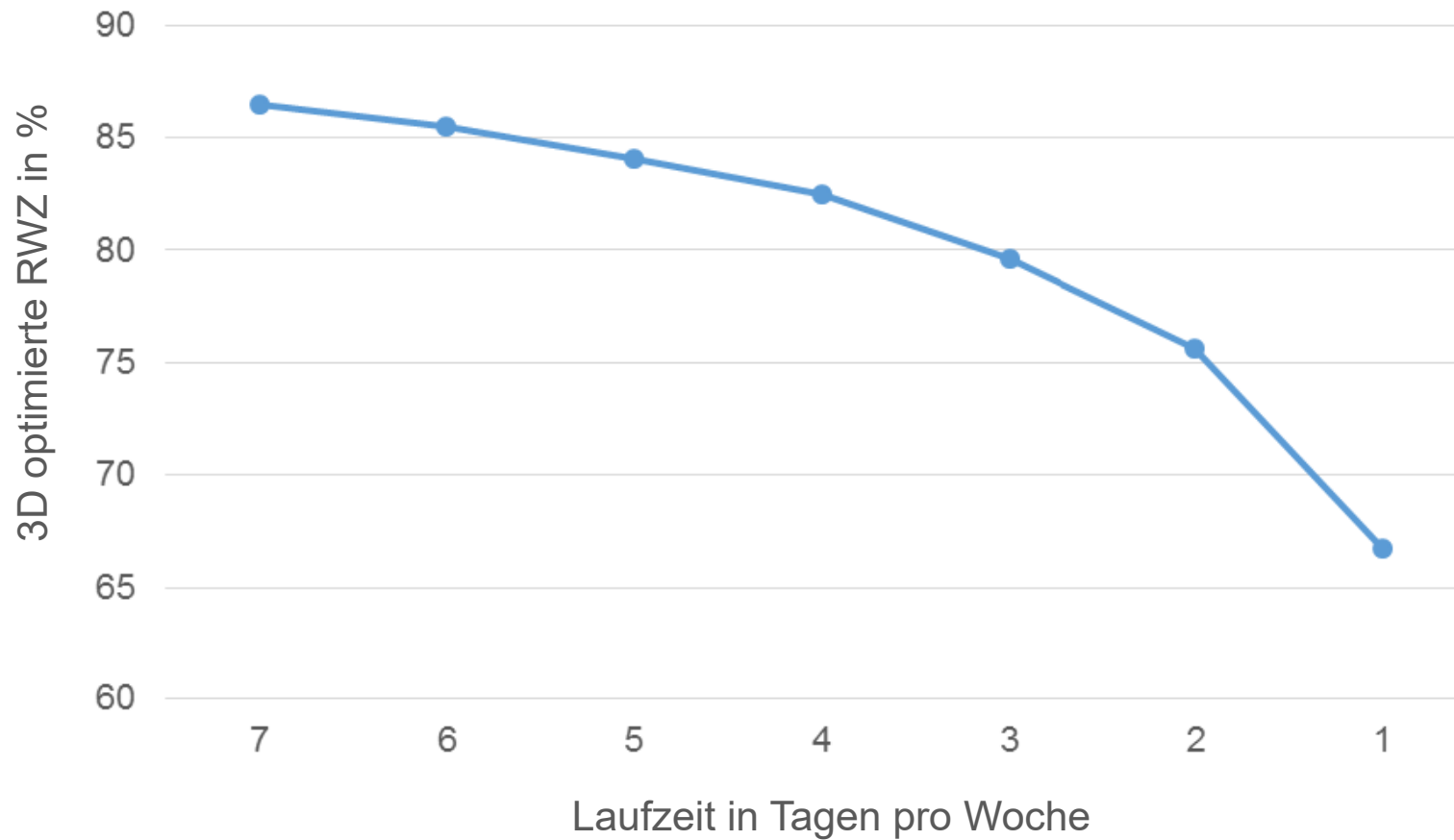
Amortisation (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Laufzeit



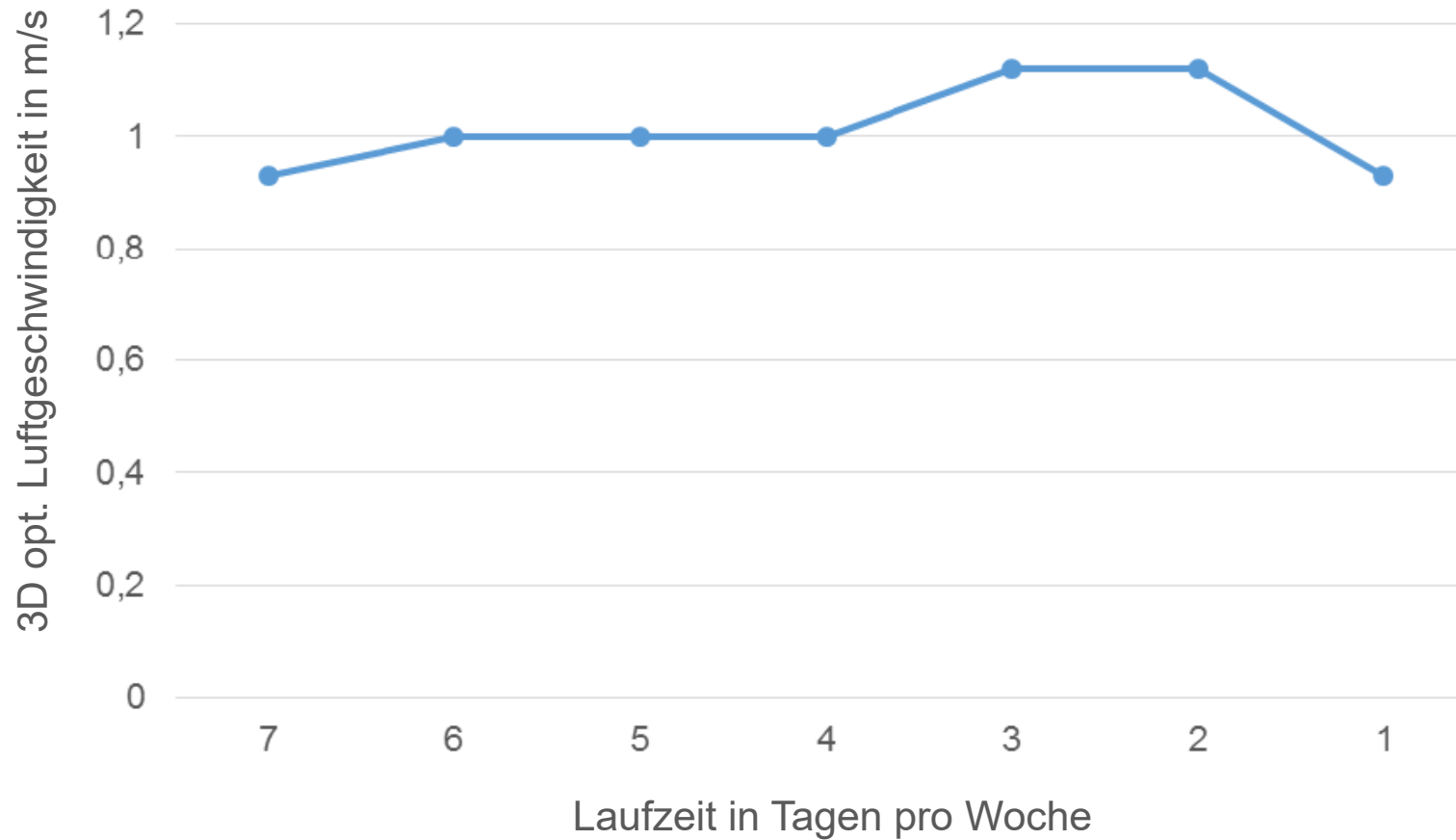
1D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Laufzeit



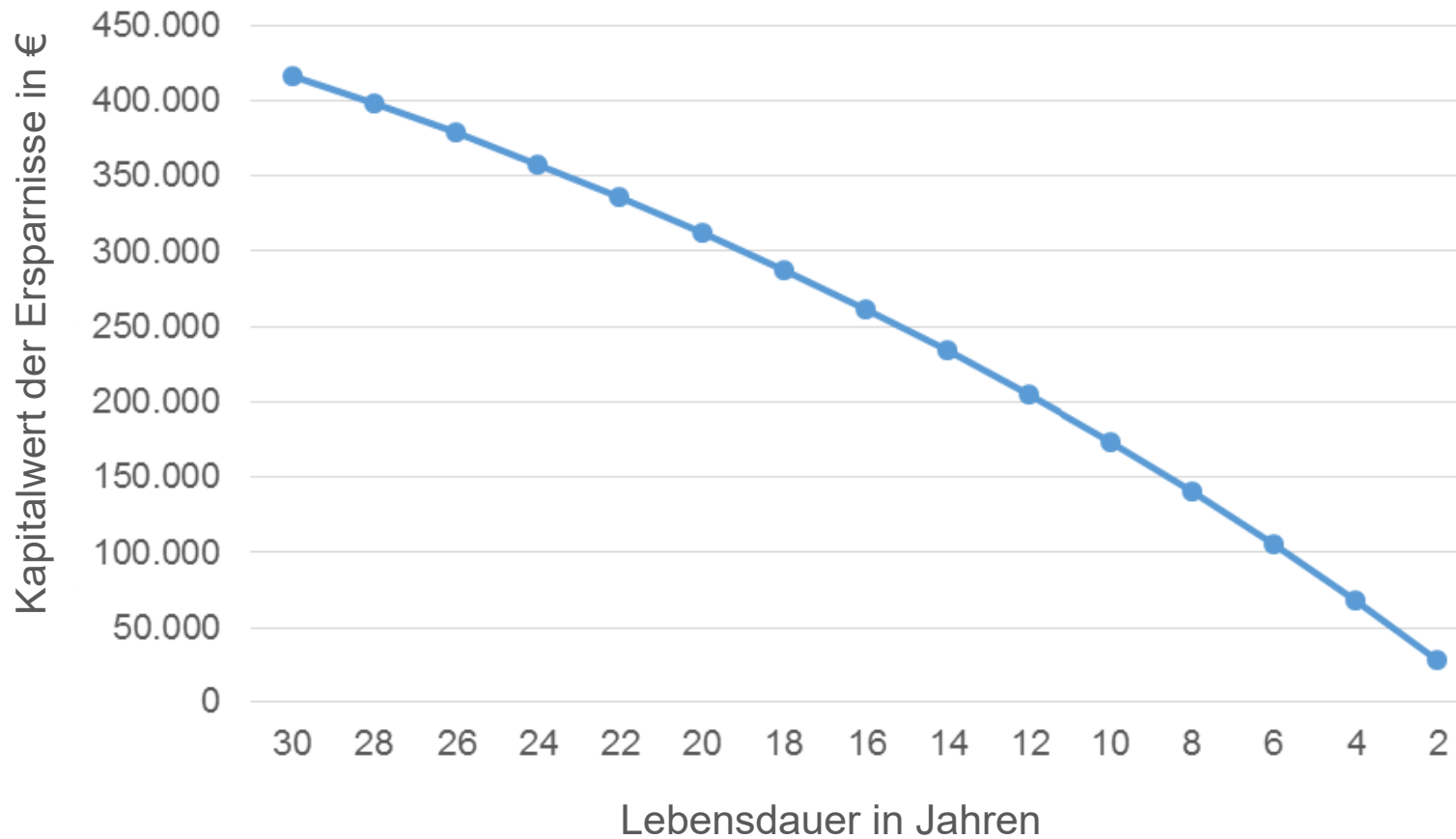
3D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Laufzeit



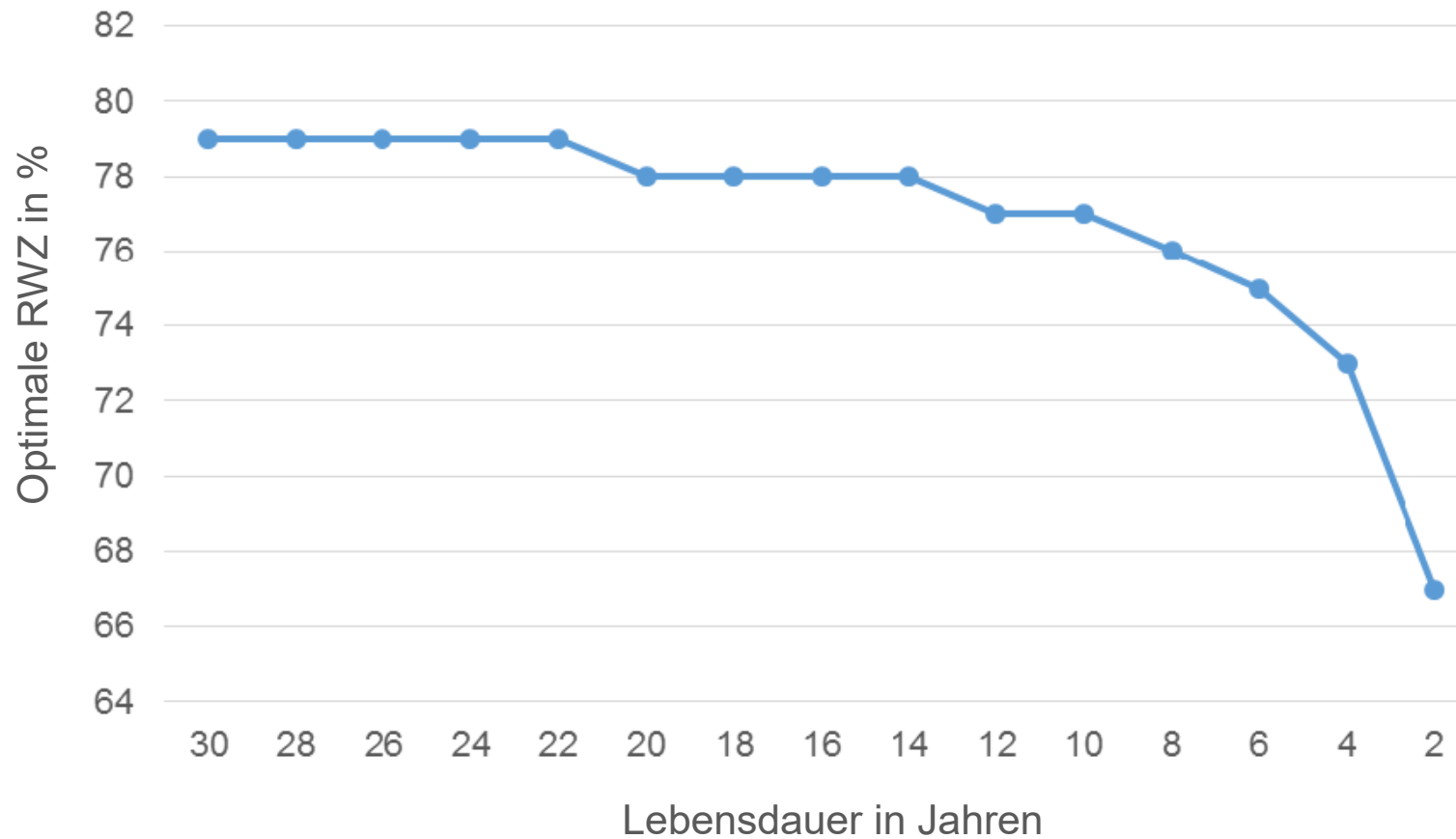
3D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Lebensdauer



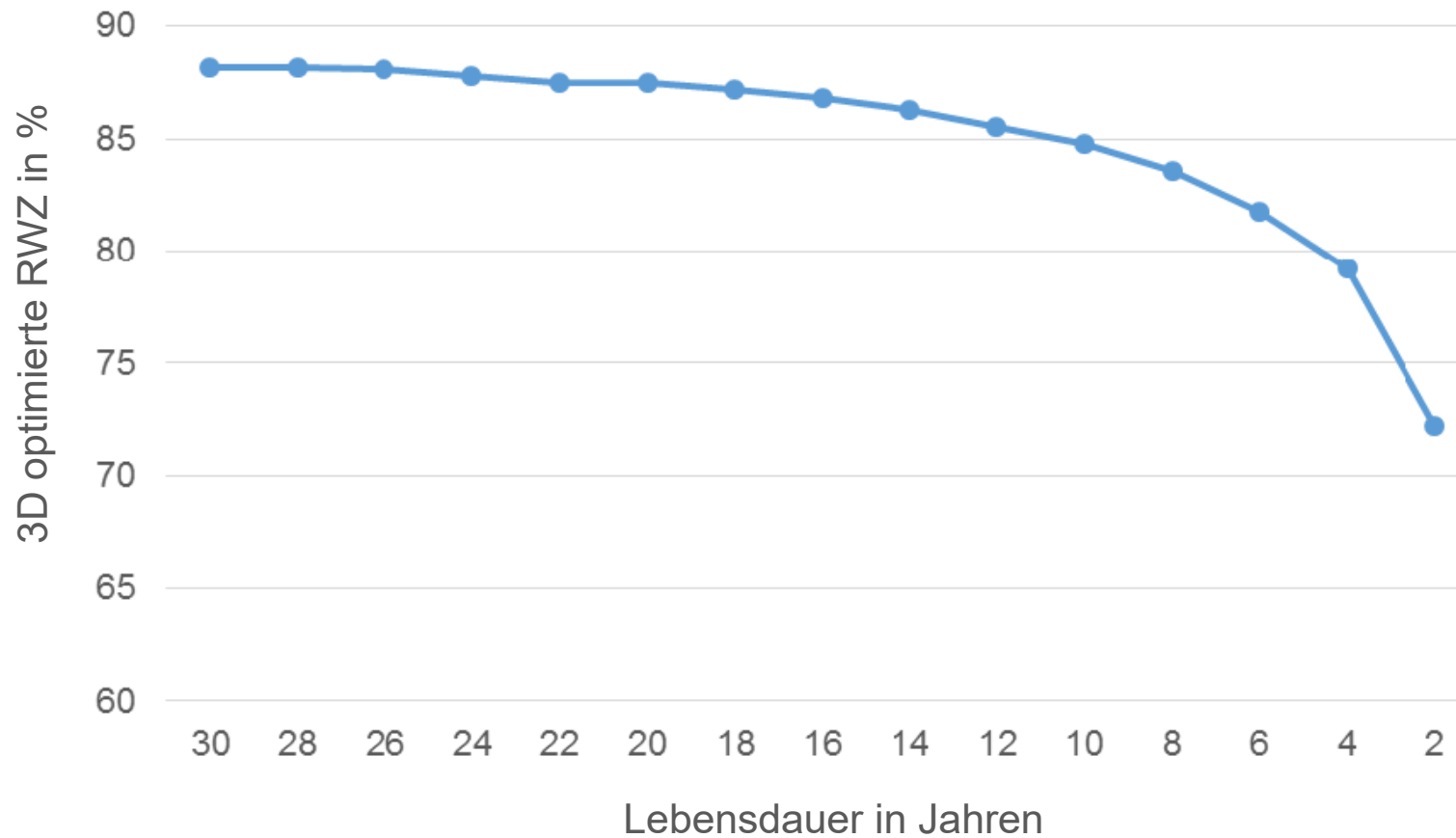
Kapitalwert der Ersparnisse (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Lebensdauer



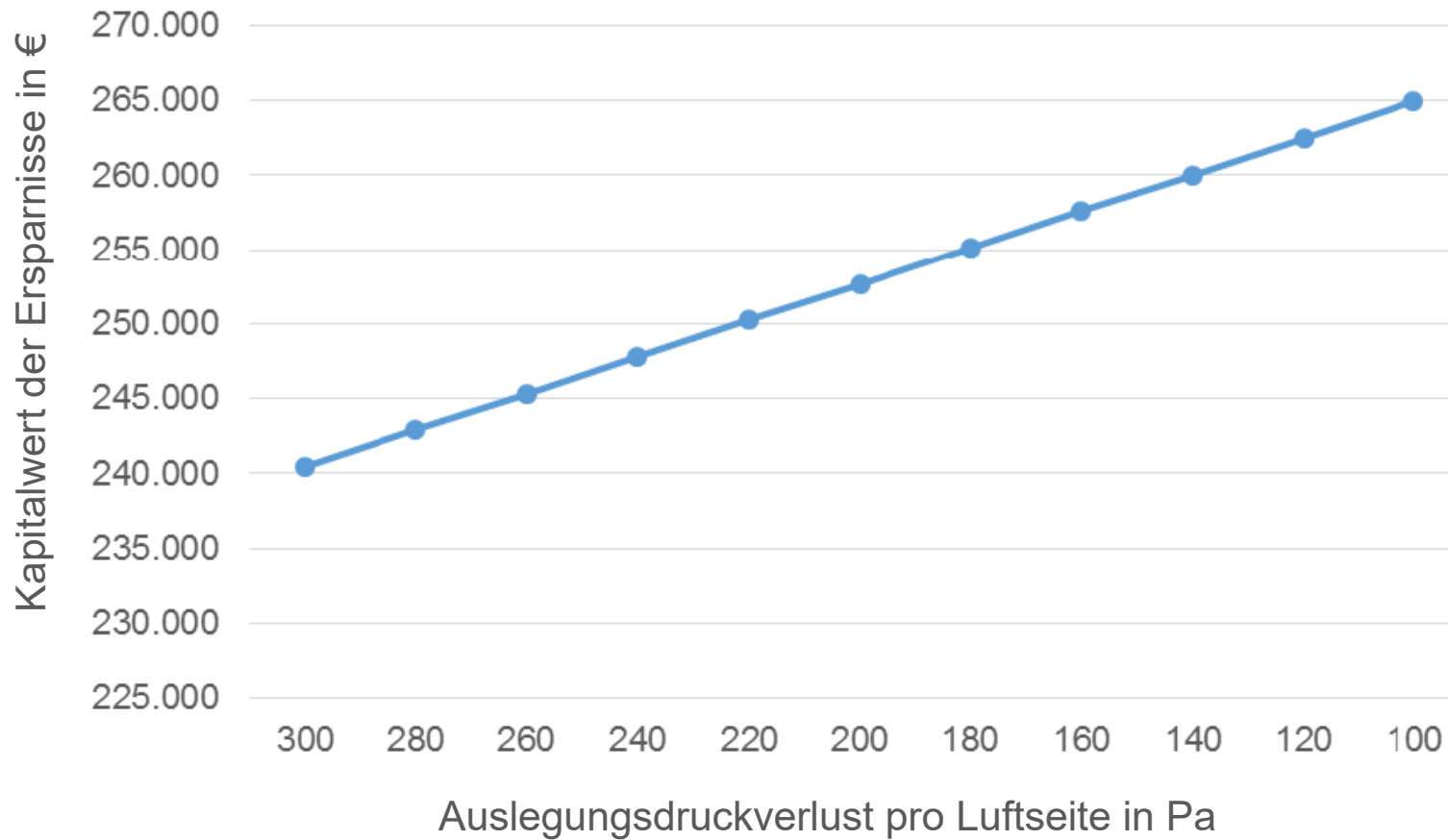
1D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Lebensdauer



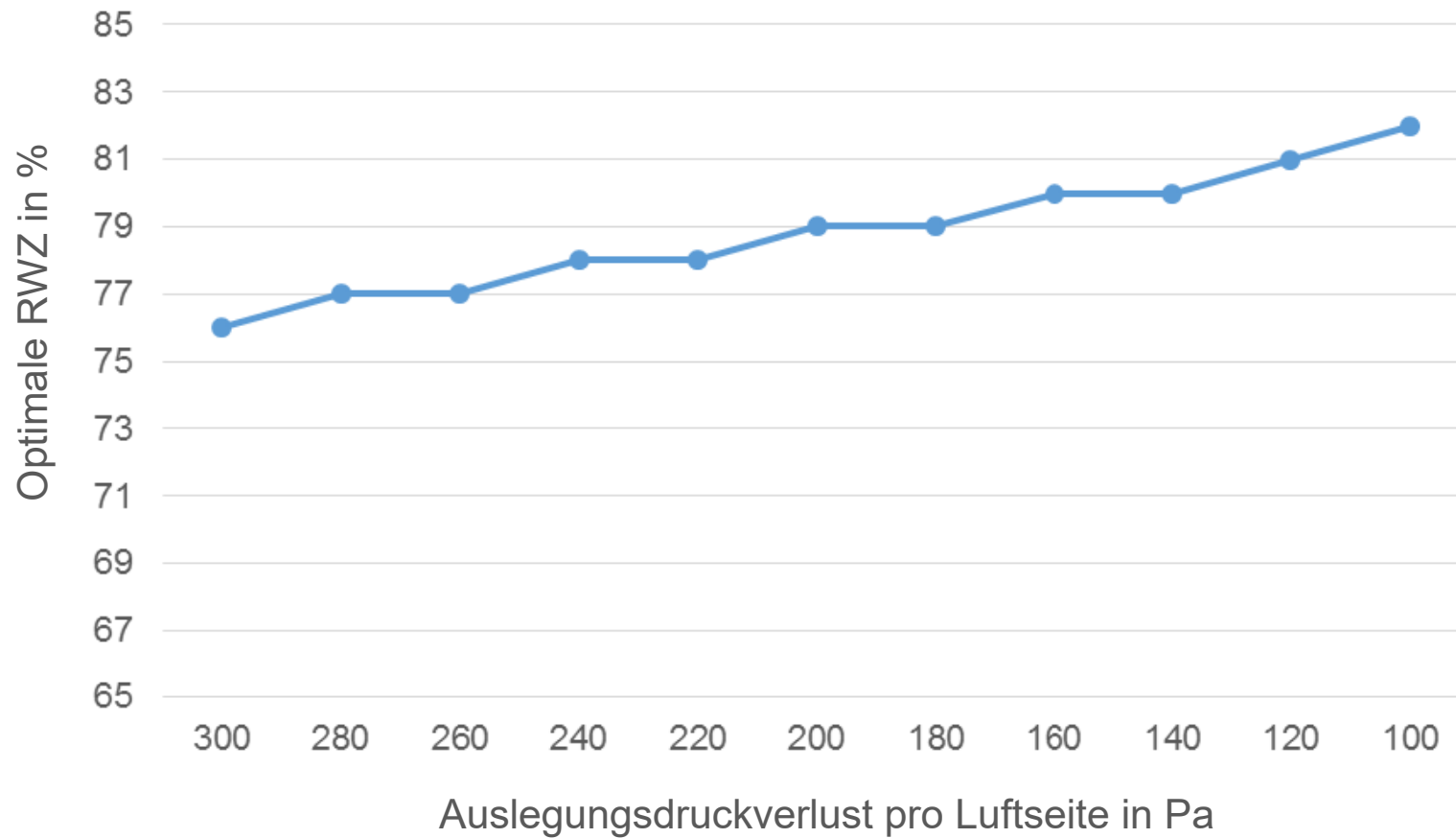
3D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Druckverluste



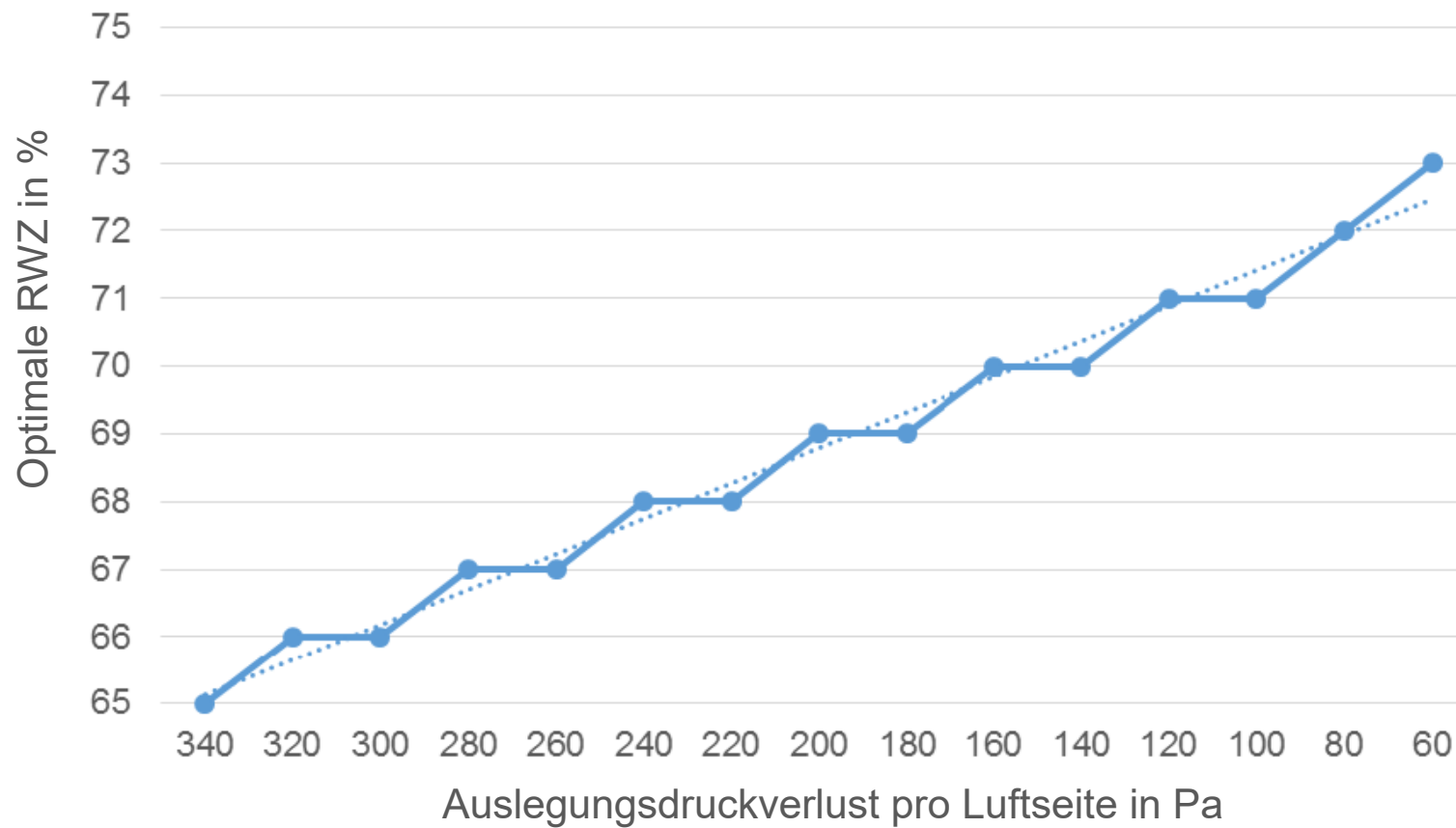
Kapitalwert der Ersparnisse (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Druckverluste



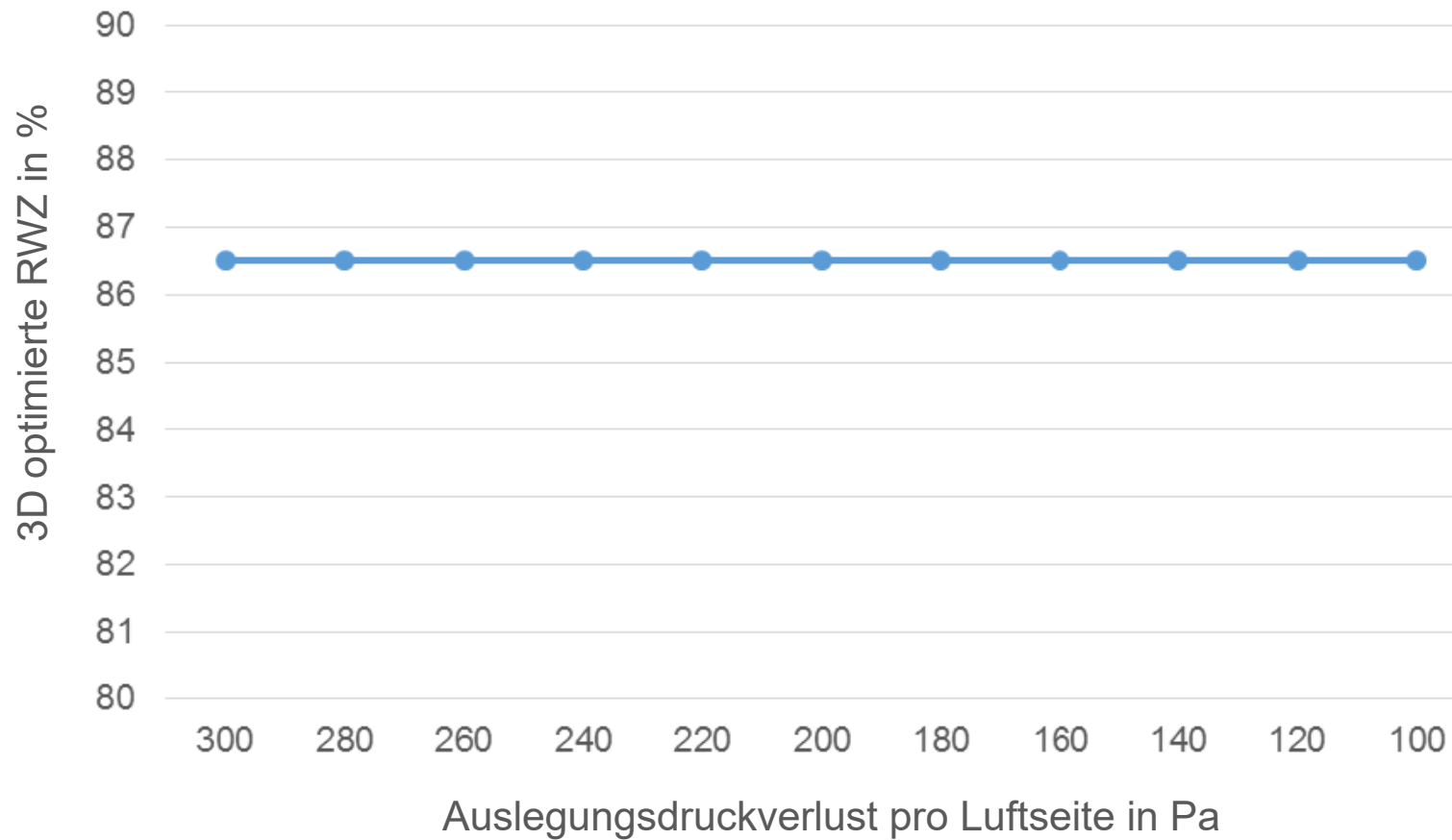
1D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Druckverluste



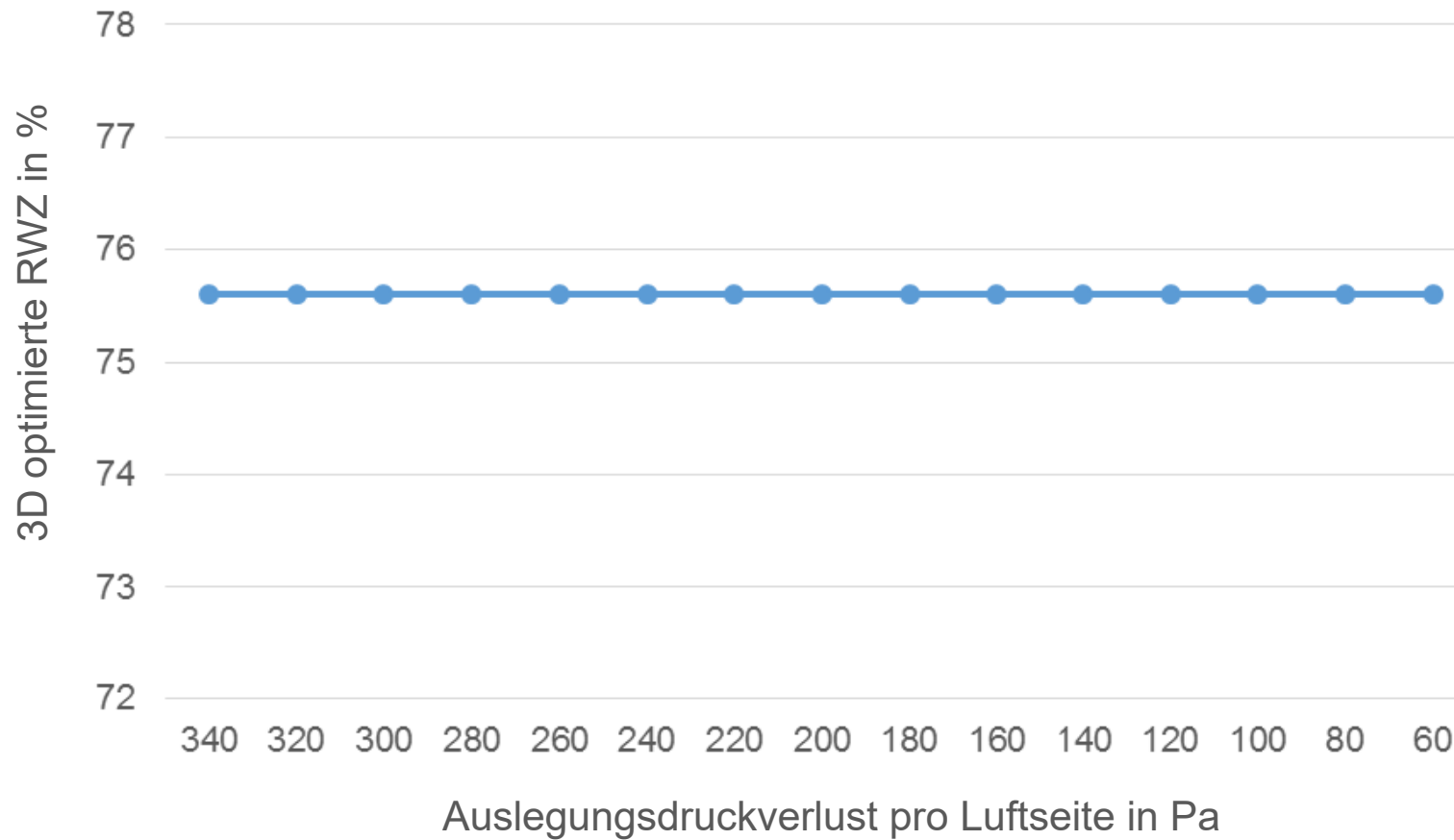
1D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Druckverluste



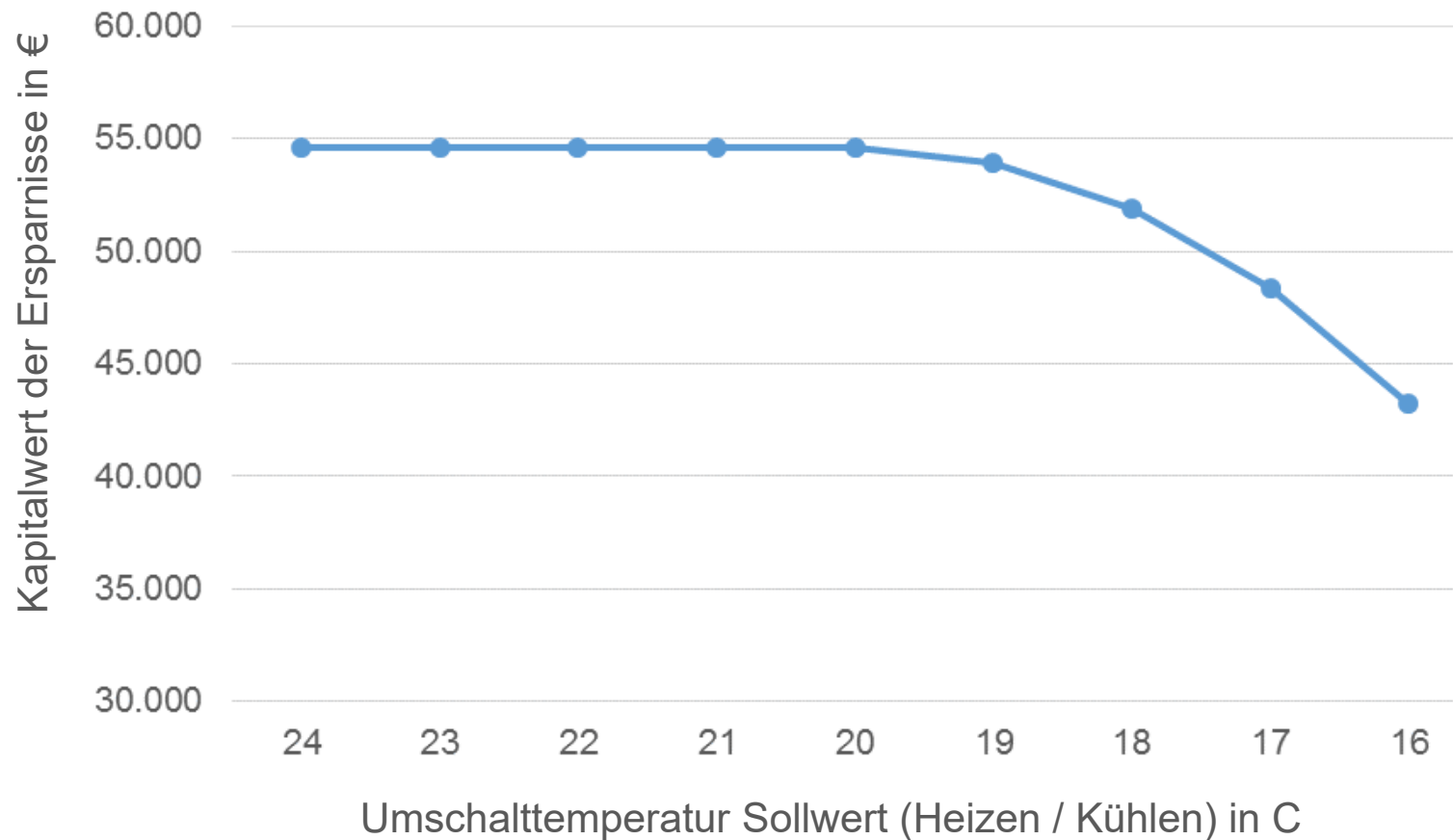
3D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Druckverluste



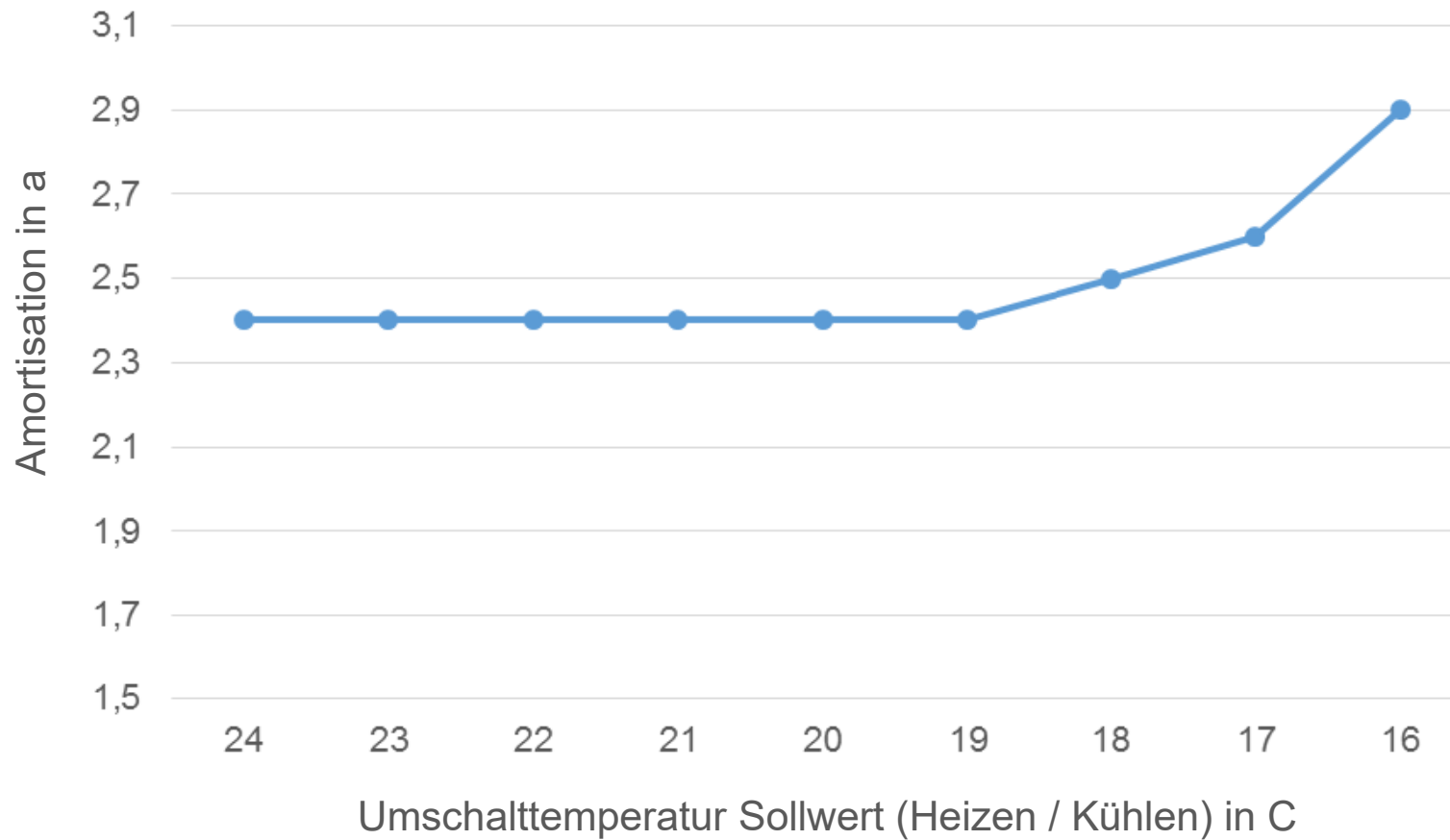
3D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Sollwerte



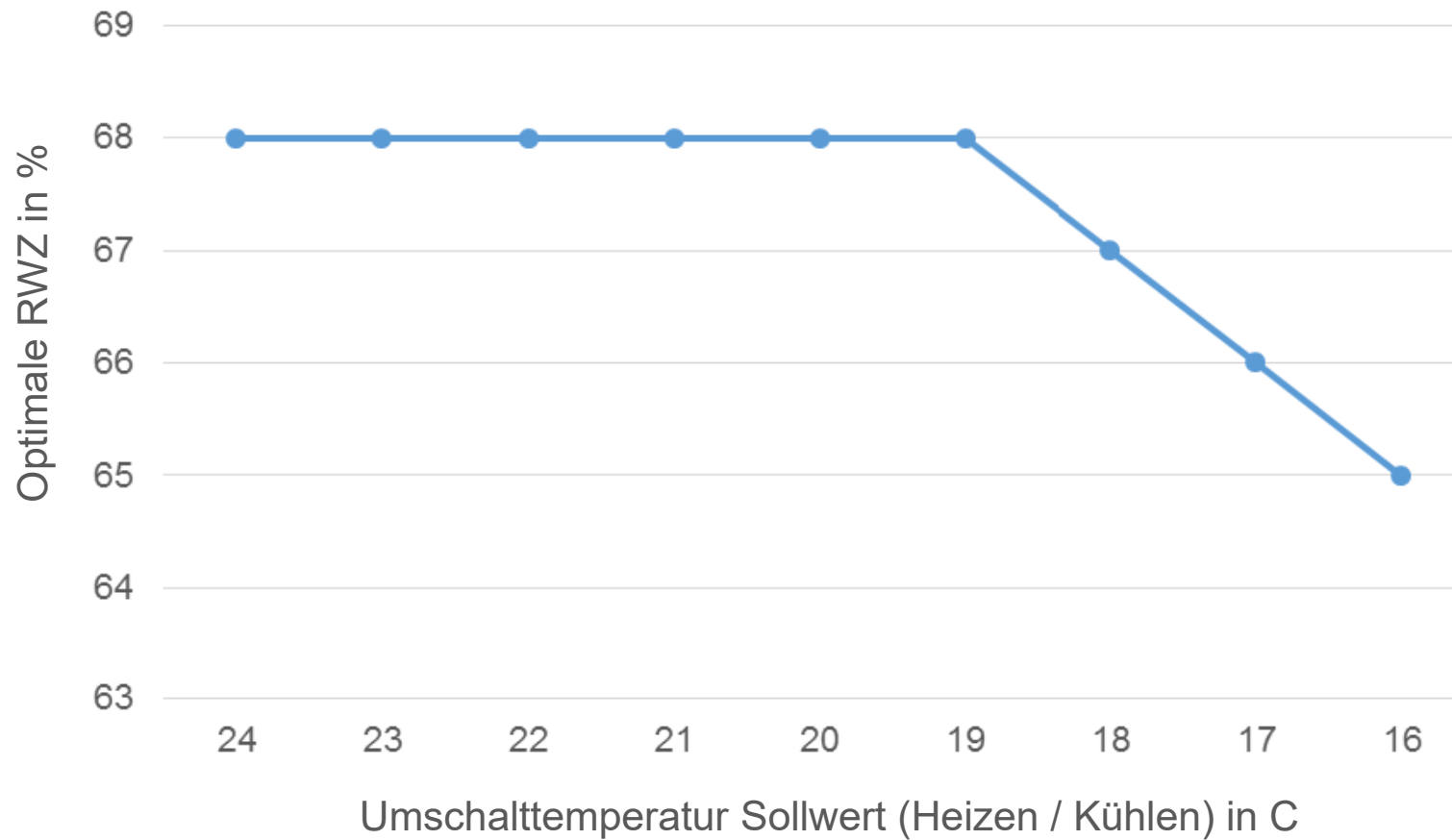
Kapitalwert der Ersparnisse (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Sollwerte



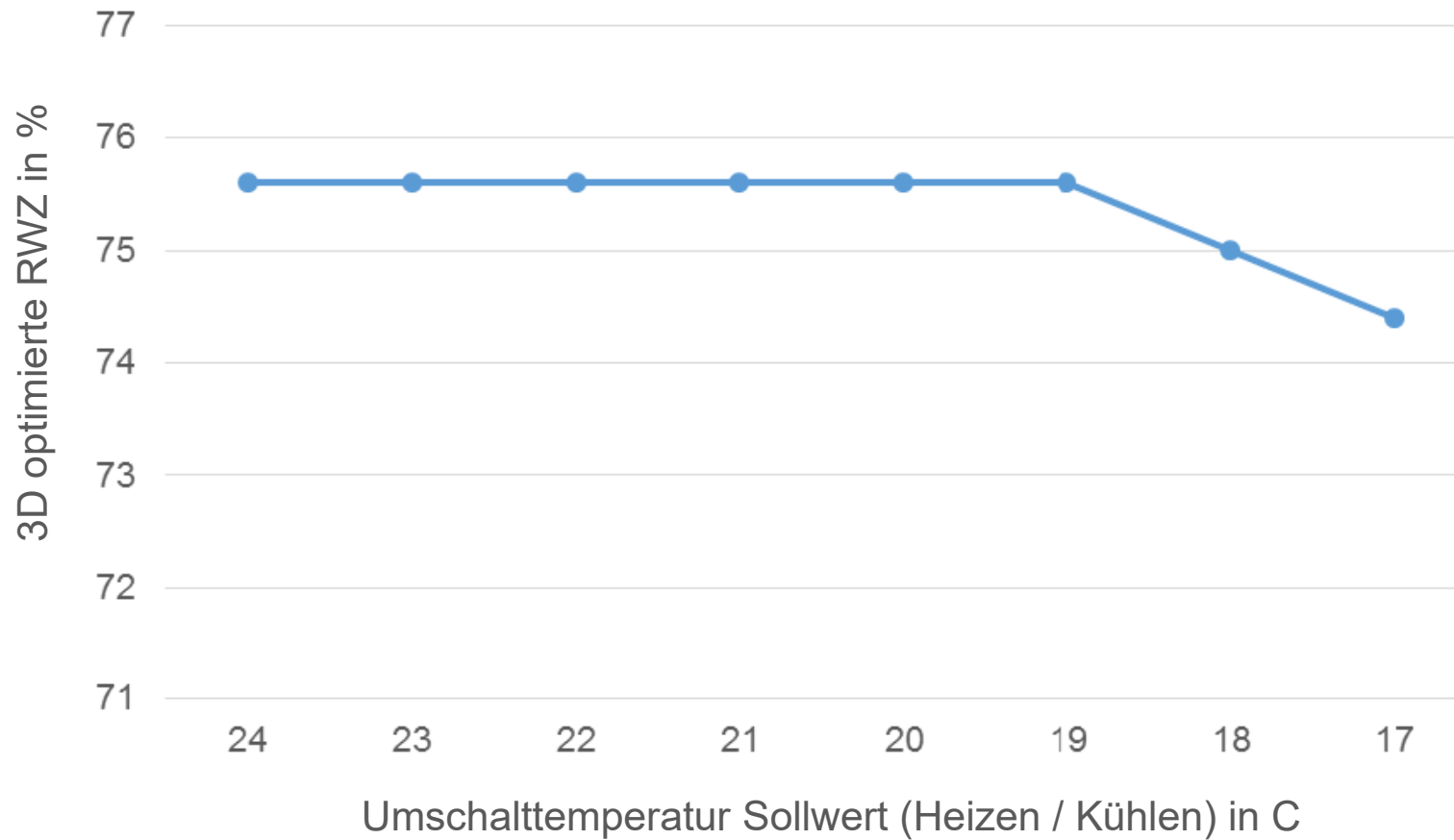
Amortisation (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Sollwerte



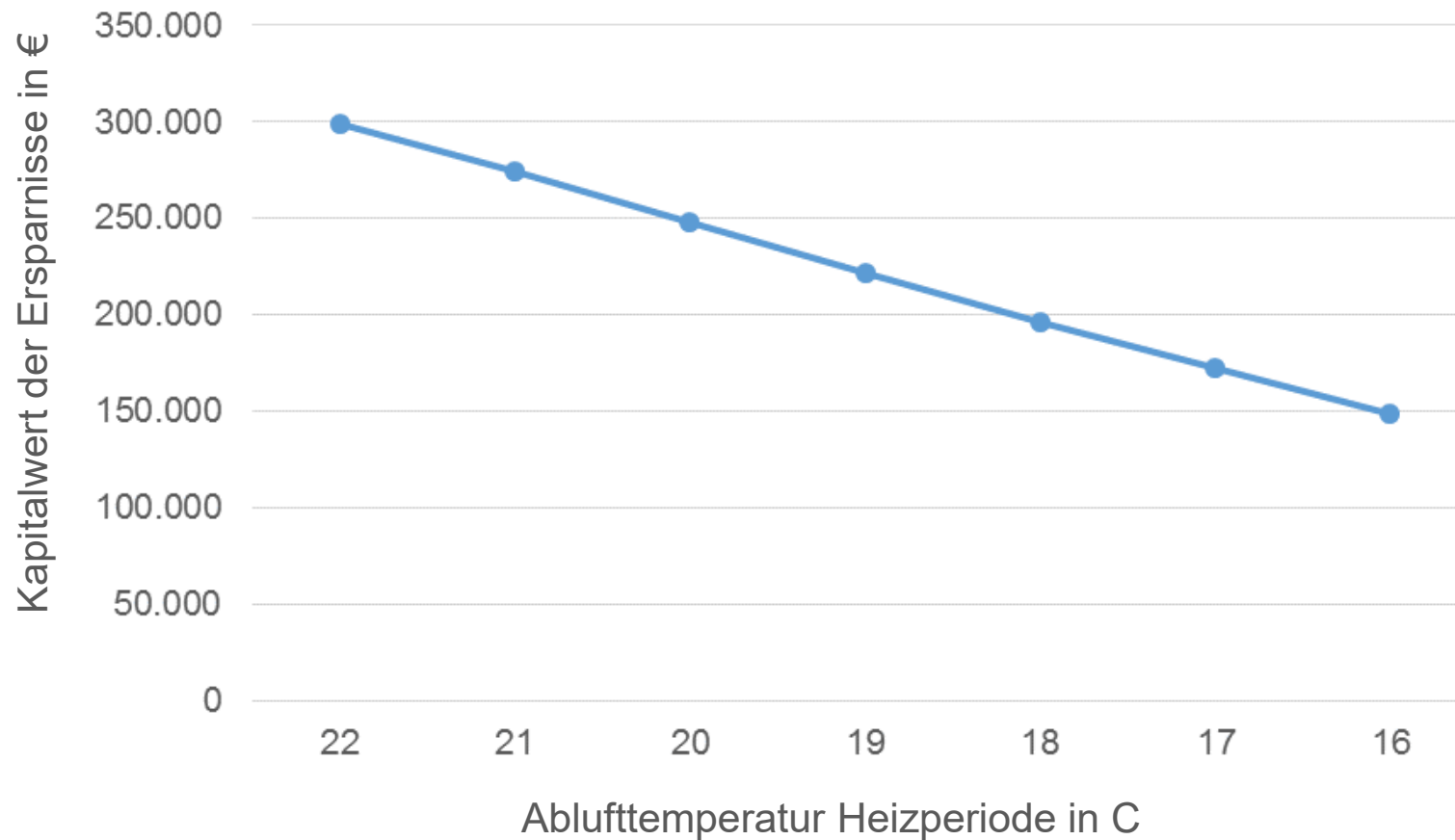
1D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Sollwerte



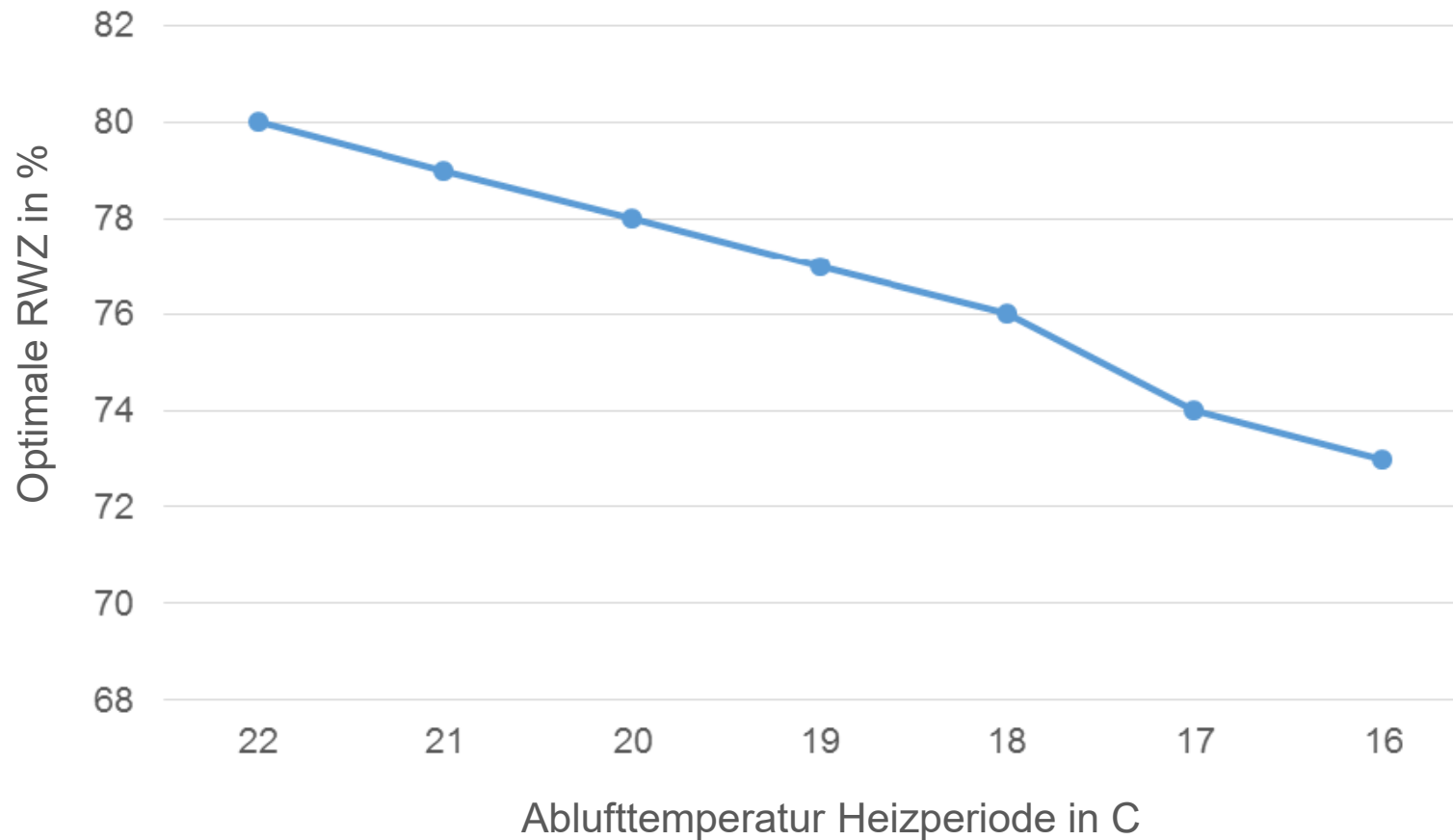
3D Optimierung (Standort Mannheim 8 h/d)

Änderung der Ablufttemperatur



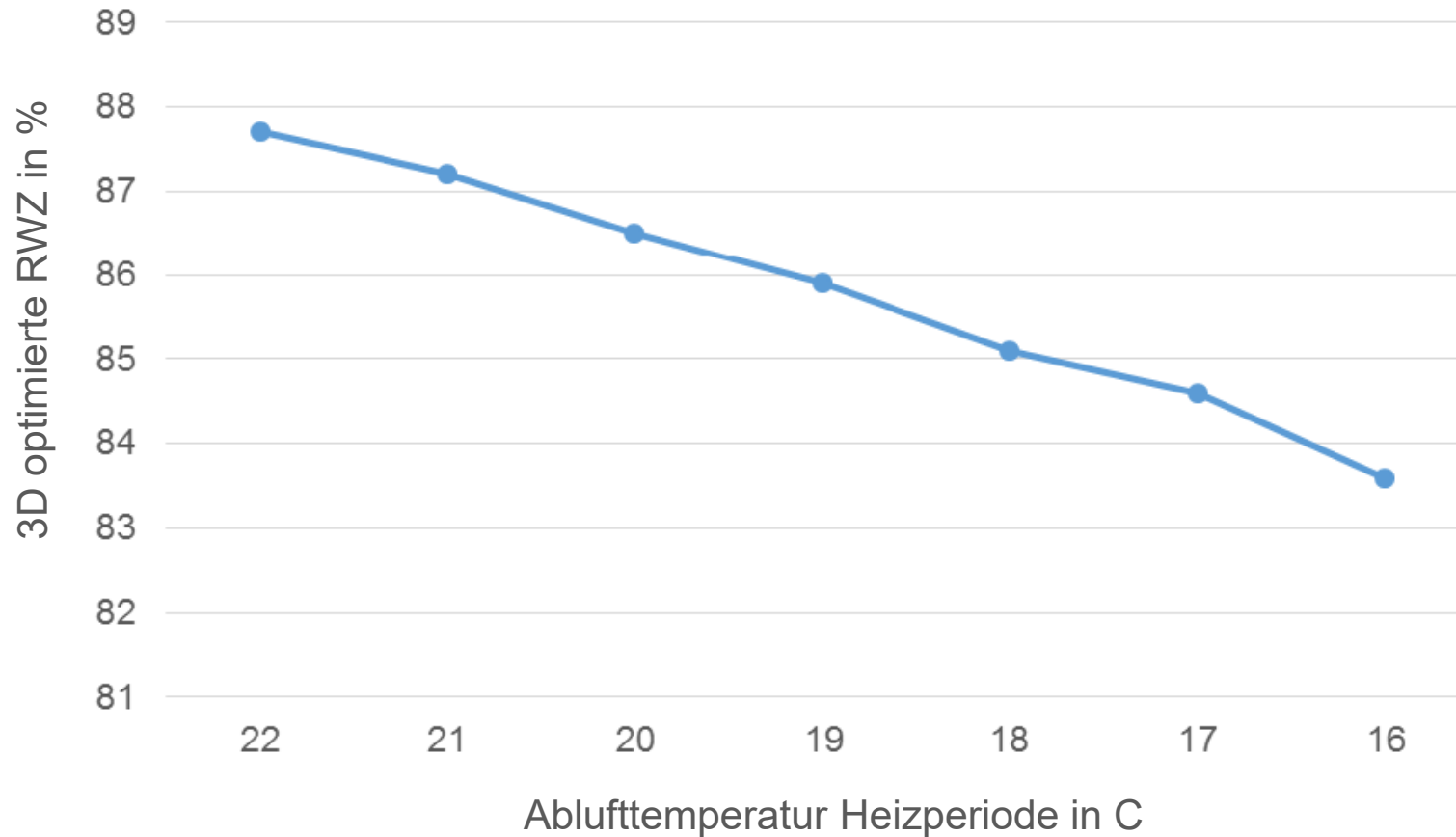
Kapitalwert der Ersparnisse (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Ablufttemperatur



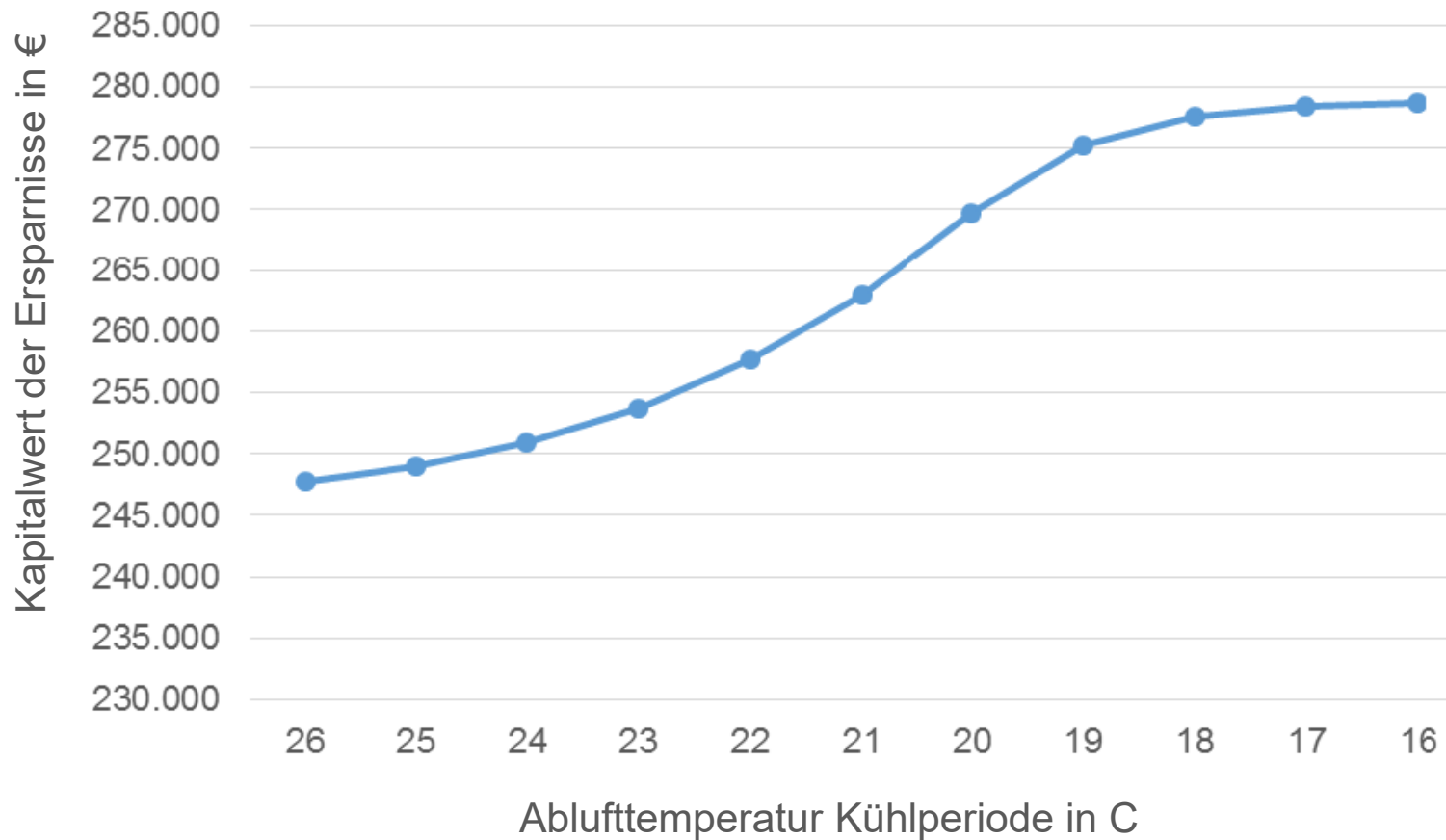
1D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Ablufttemperatur



3D Optimierung (Standort Mannheim 24 h/d)

Änderung der Ablufttemperatur



Kapitalwert der Ersparnisse (Standort Mannheim 24 h/d)

Rahmenbedingungen

- Kosten für Wärme 0,10 €/kWh
- Kosten für Kälte 0,15 €/kWh
- Elektroenergiekosten 0,15 €/kWh
- Zinssatz 5 %
- Preissteigerungsrate 2 %
- Lebensdauer 15 a
- Ablufttemperatur 20 °C (Winter) und 26 °C (Sommer)
- Zulufttemperatur 20 °C
- Auslastung am Tag 100 % und 50 % in der Nacht
- Betriebsstunden zwischen 2.350 h/a und 8.760 h/a
- 46 Orte in Europe nach Meteonorm 7.1



Rahmenbedingungen

Erste Betrachtung

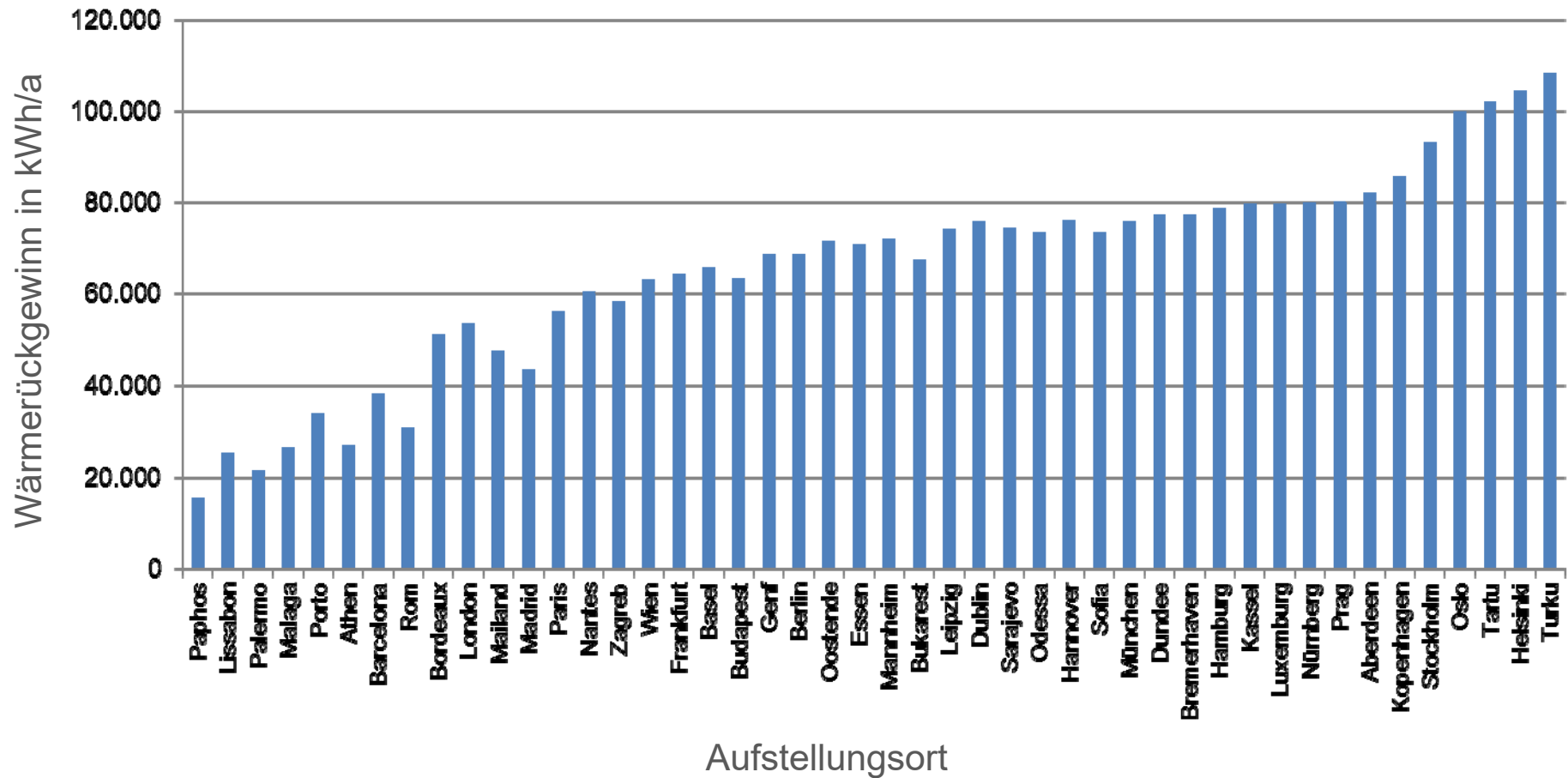
Betrieb **2.350 h/a**

mit:

5 d/w

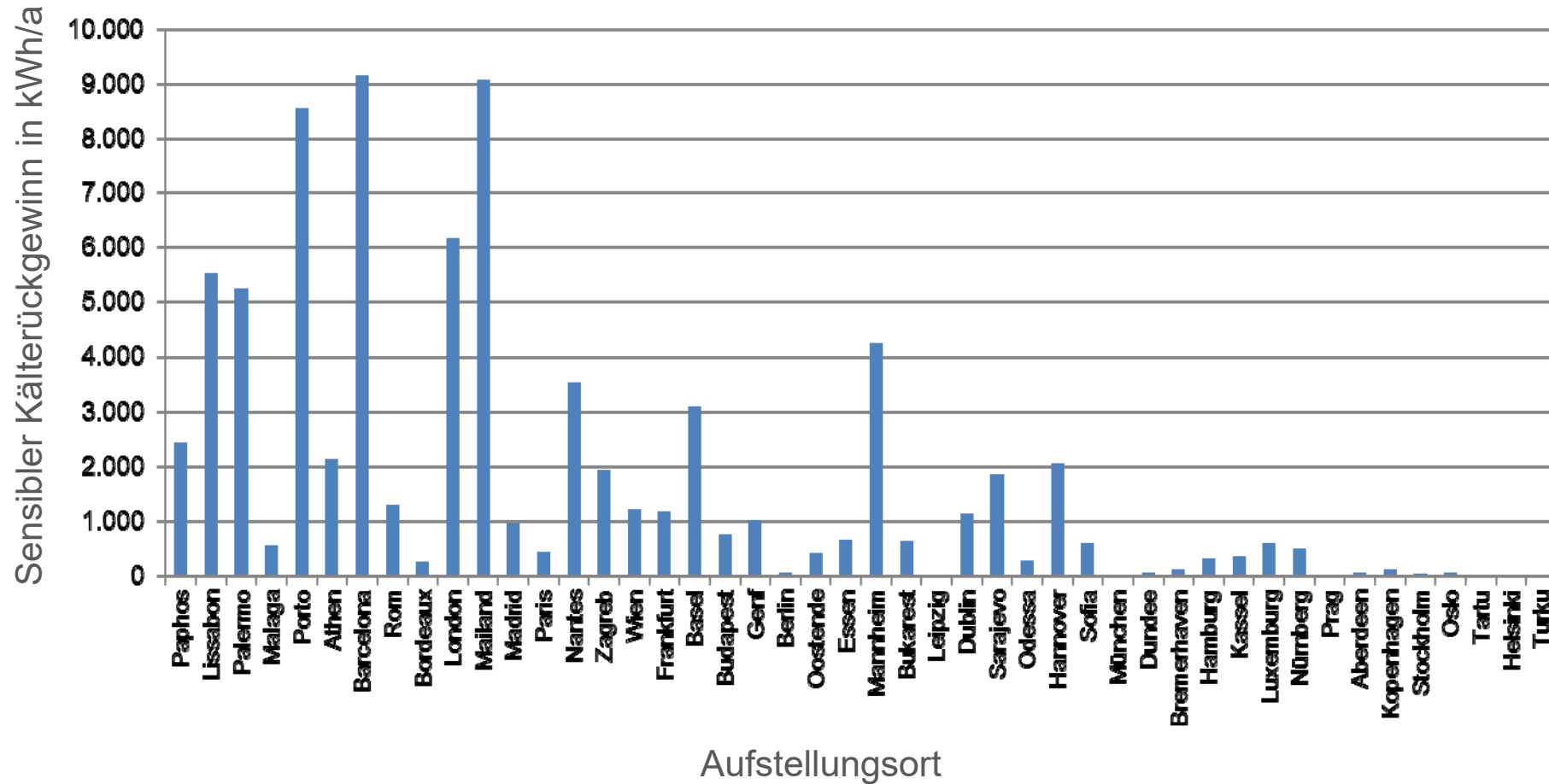
9 h/Tag (100 %) und 1 h/Nacht (50 %)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



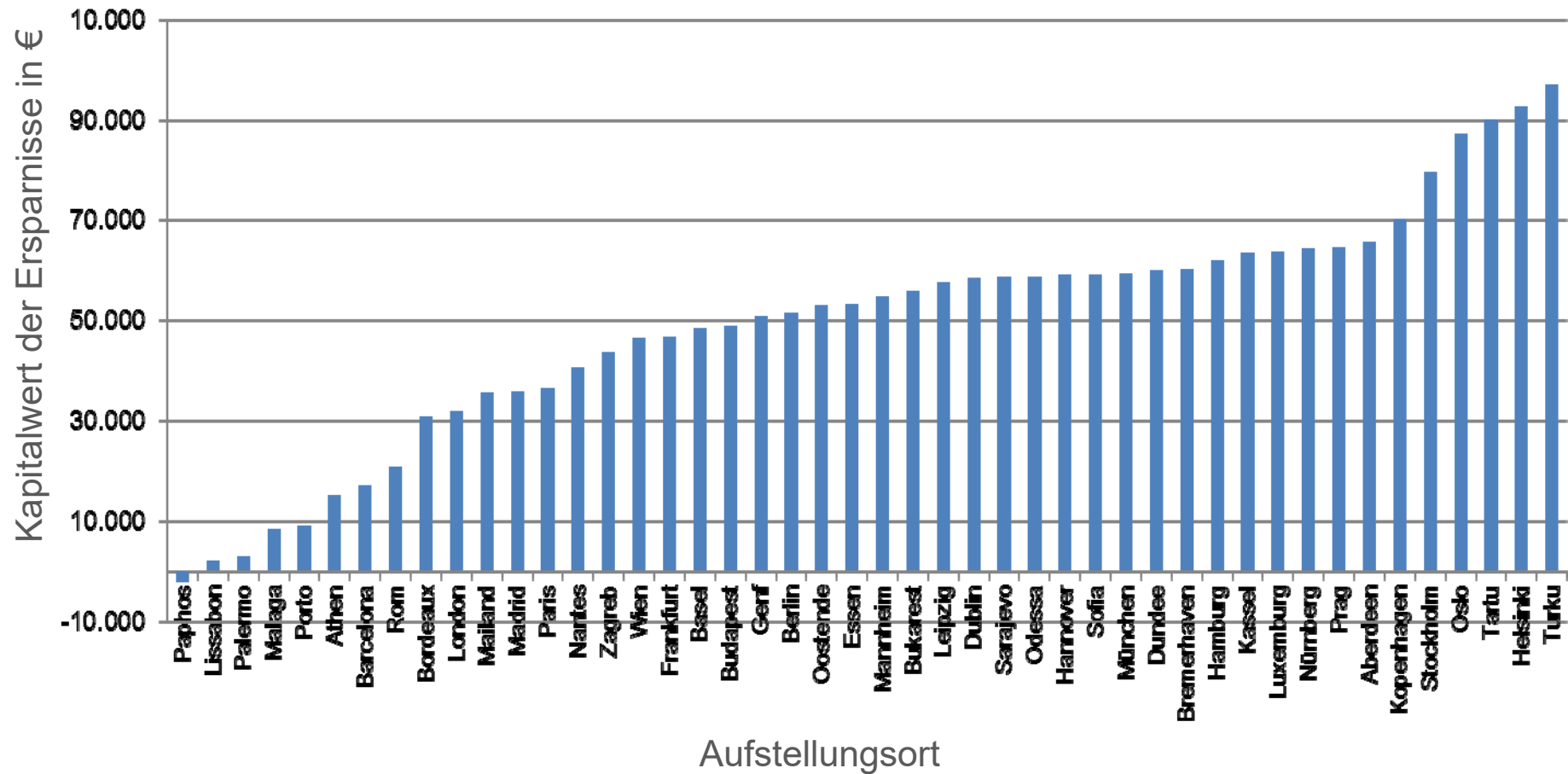
Wärmerückgewinnung Ø 65.558 kWh/a (F = 7,0)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



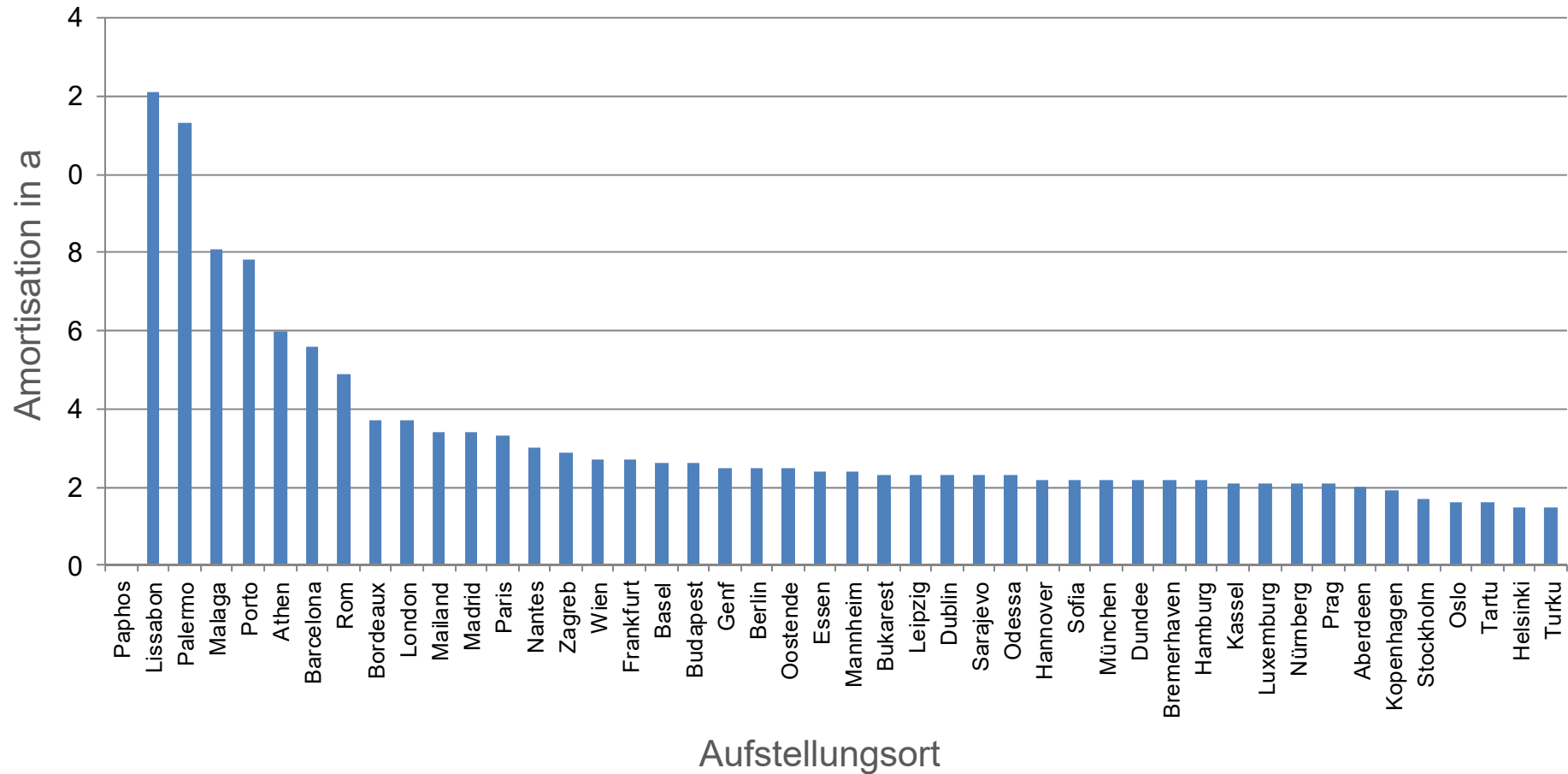
Rückgewinnung sensibler Kälte Ø 2.032 kWh/a

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



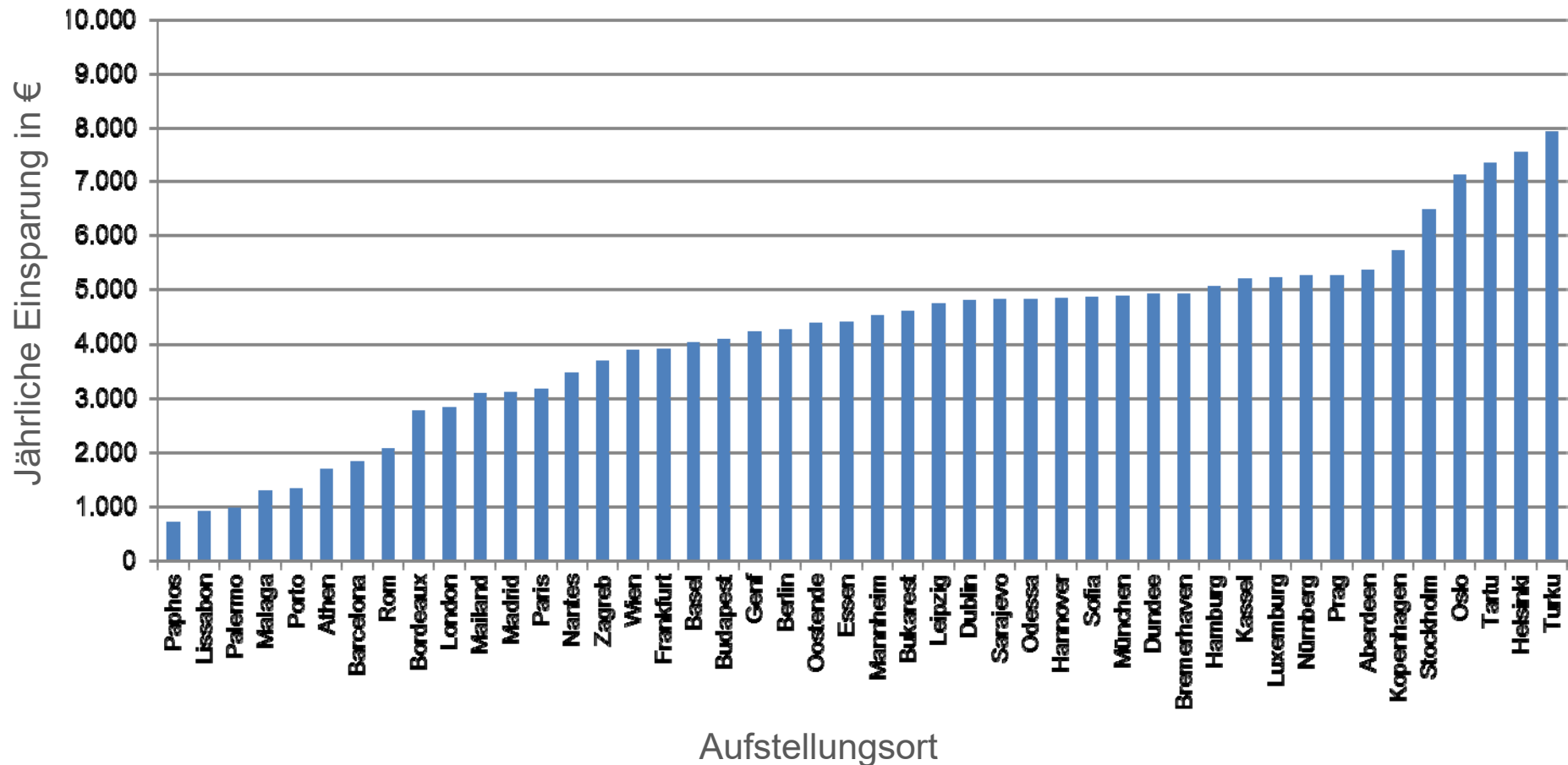
Kapitalwert der Ersparnisse Ø 49.282 € (F = 47,5)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



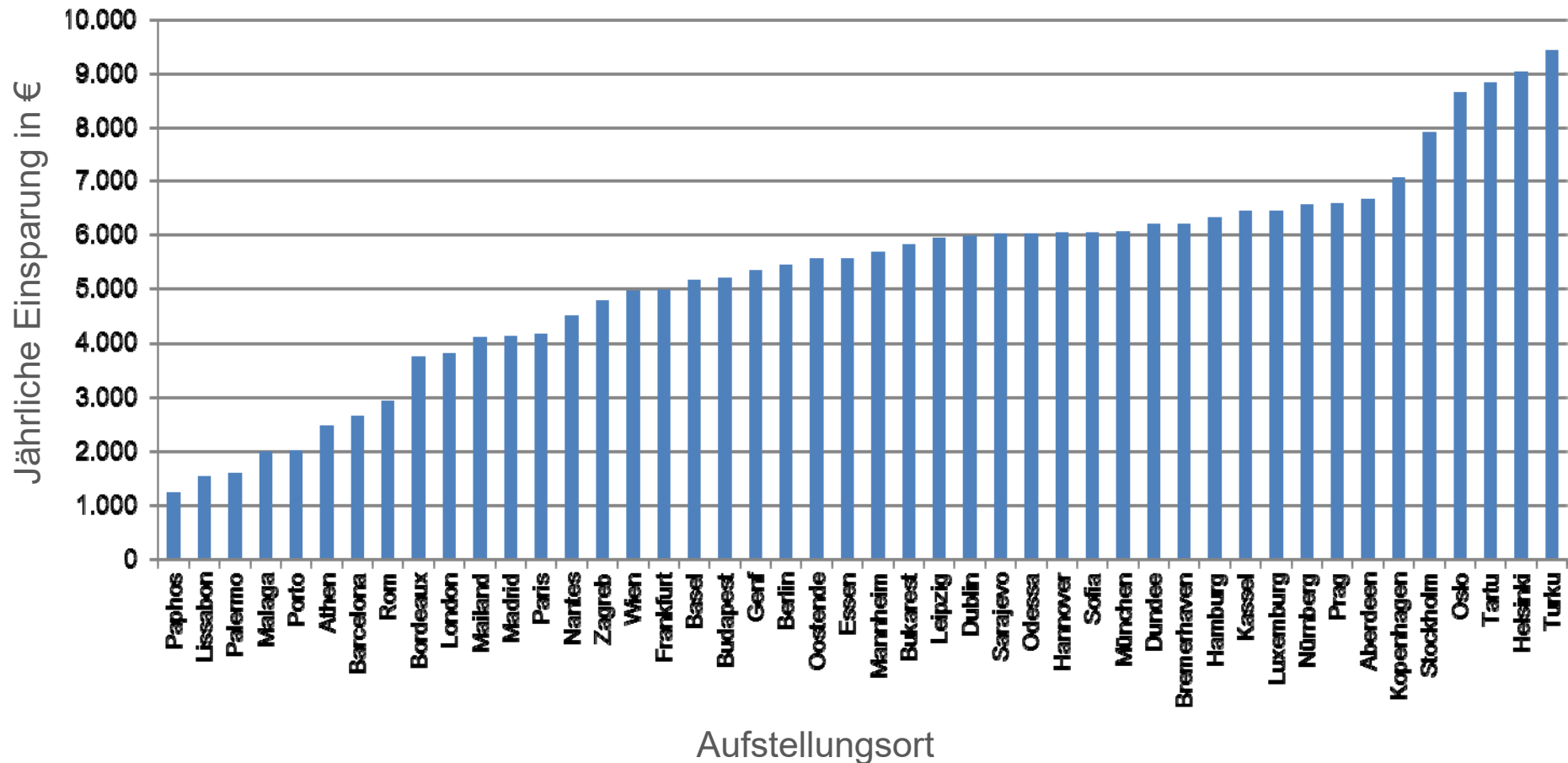
Amortisation Ø 3.27a

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



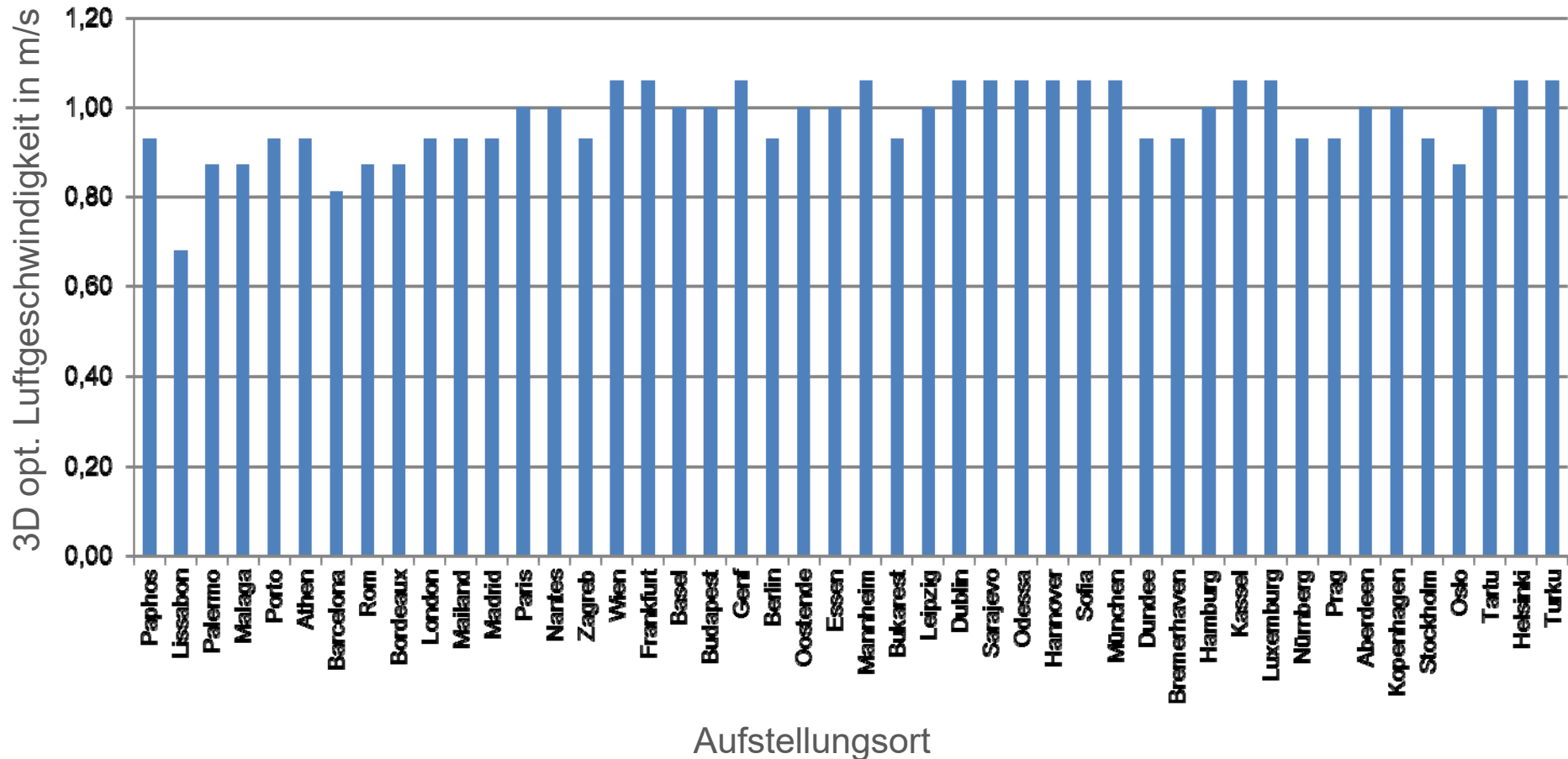
Monetäre Einsparung bei Auslegung (1,9 m/s) Ø 4.180 € (F = 11,17)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



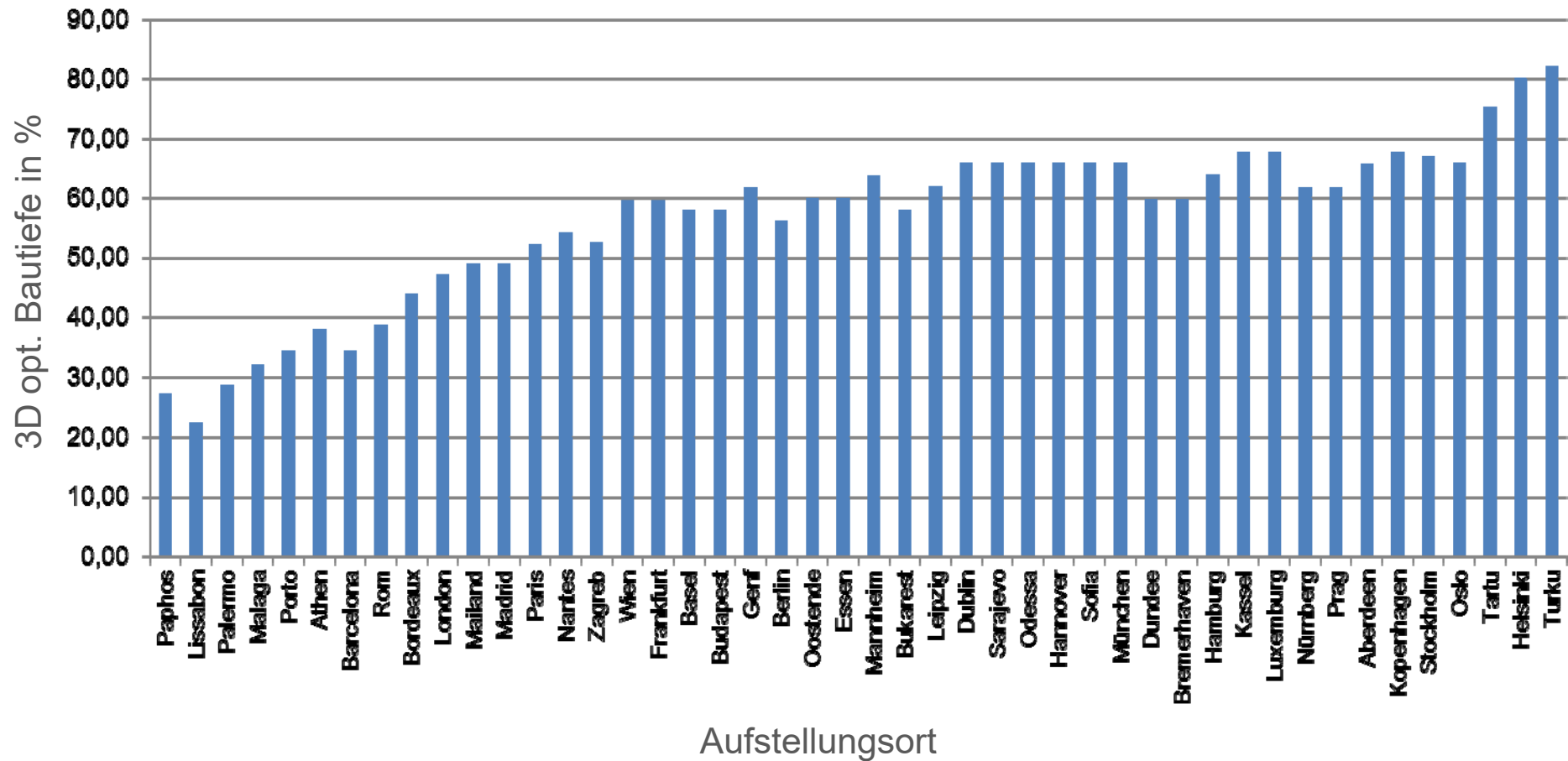
Monetäre Einsparung (3D Optimierung) Ø 5.297 €/a (+26,7 %)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



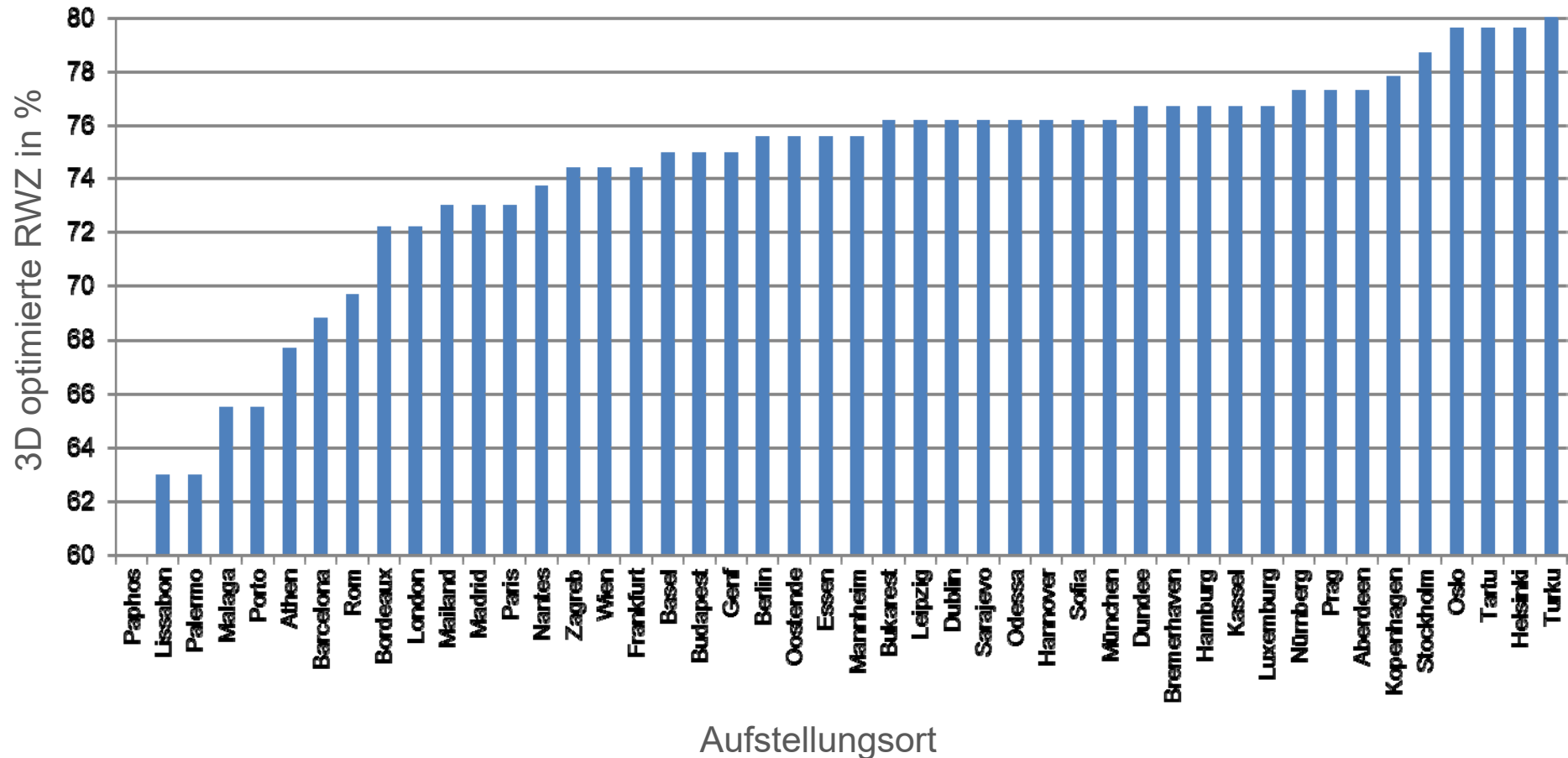
Luftgeschwindigkeit (3D Optimierung bezogen auf €) Ø 0,97 m/s

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



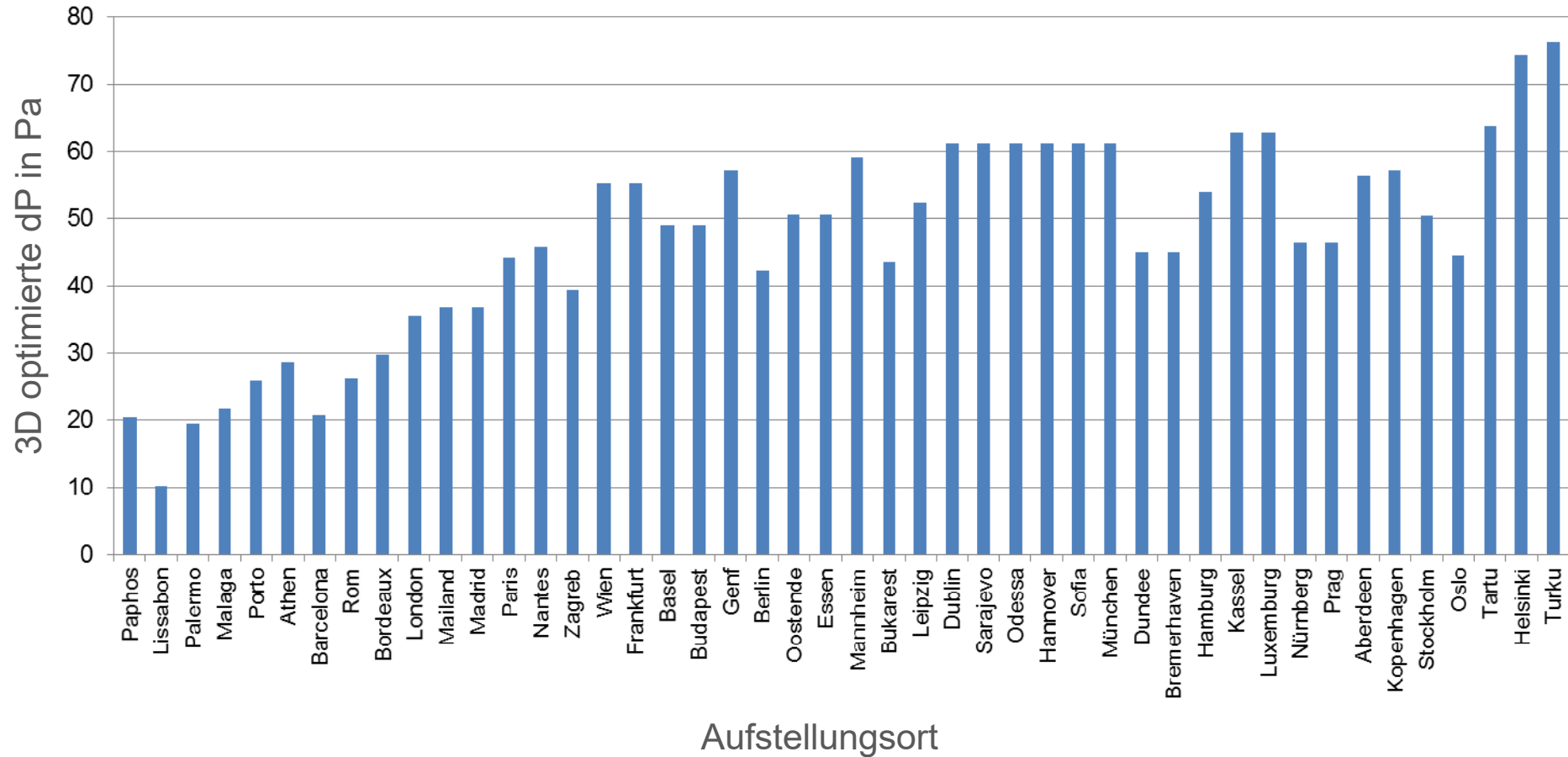
relative WRG Bautiefe (3D Optimierung basierend auf €)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



WRG Übertragungsgrade (3D Optimierung) Ø 74,2 % (F = 1,33)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



optimierte WRG Druckverluste (3D Optimierung)

Rahmenbedingungen

Erste Betrachtung

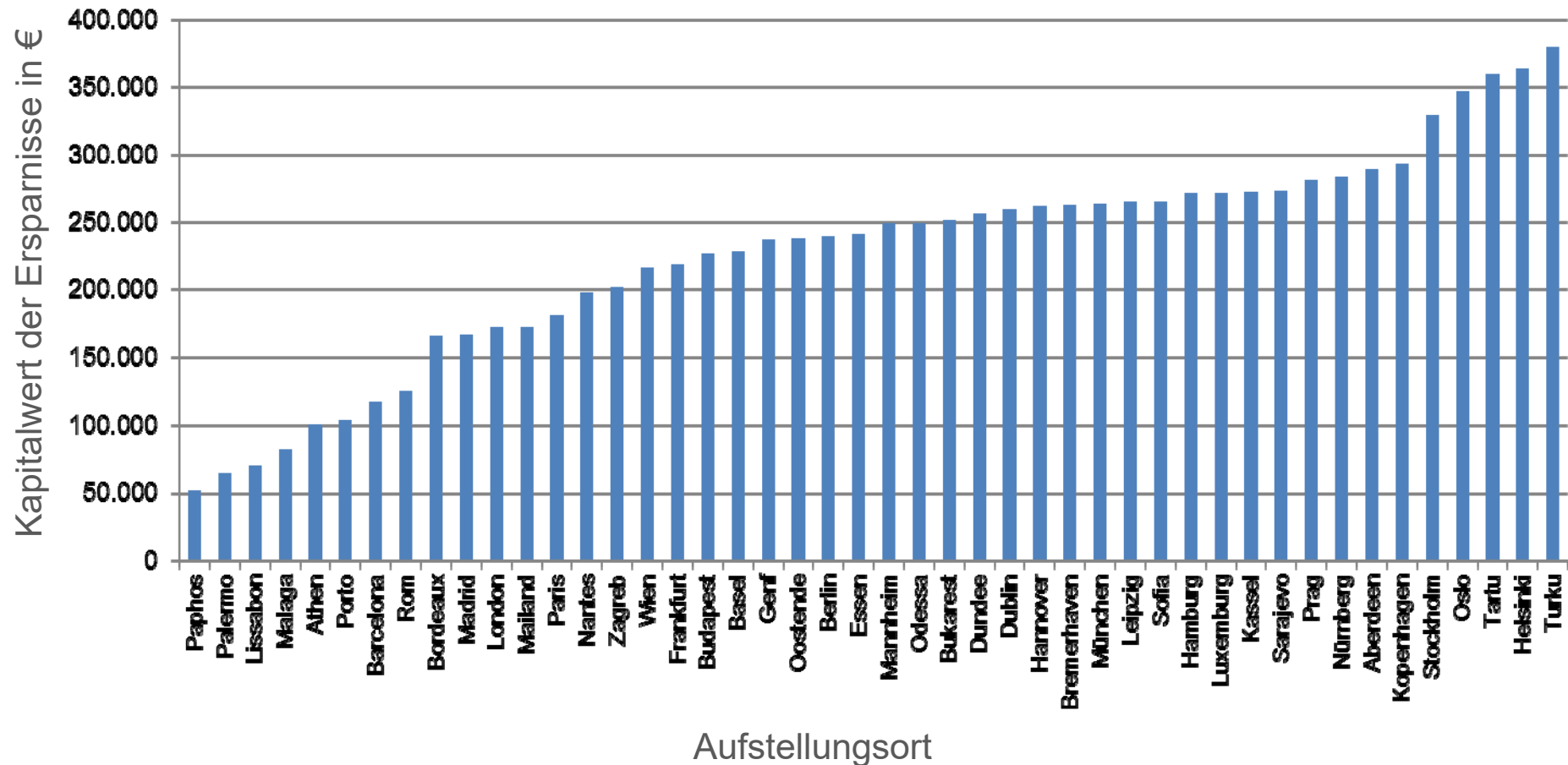
Betrieb **8.760 h/a**

mit:

7 d/w

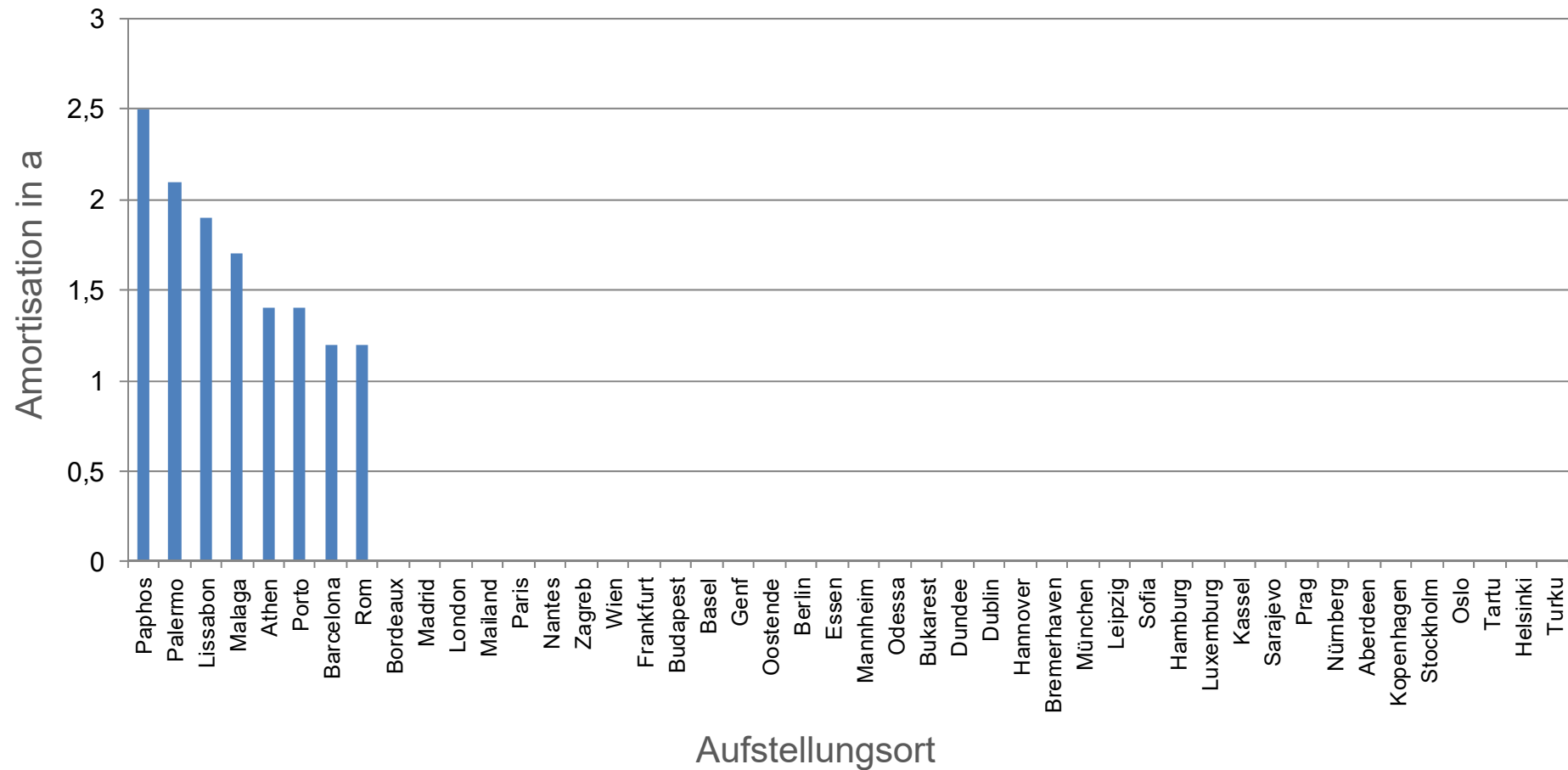
12 h/Tag (100 %) und 12 h/Nacht (50 %)

Ergebnisse 8.760 h/a Betrieb



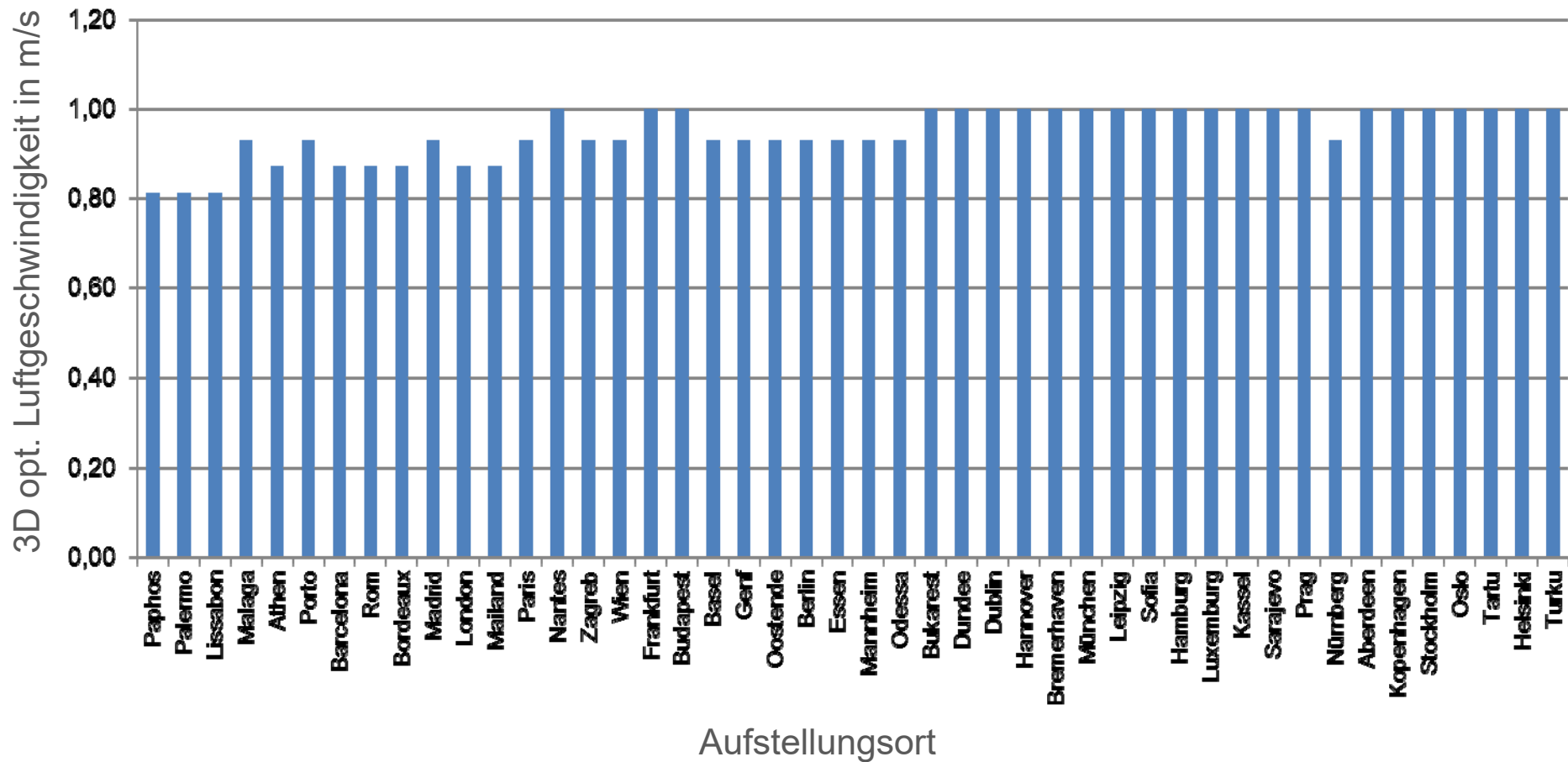
Kapitalwert der Ersparnisse Ø 226.090 € (F = 7,33)

Ergebnisse 8.760 h/a Betrieb



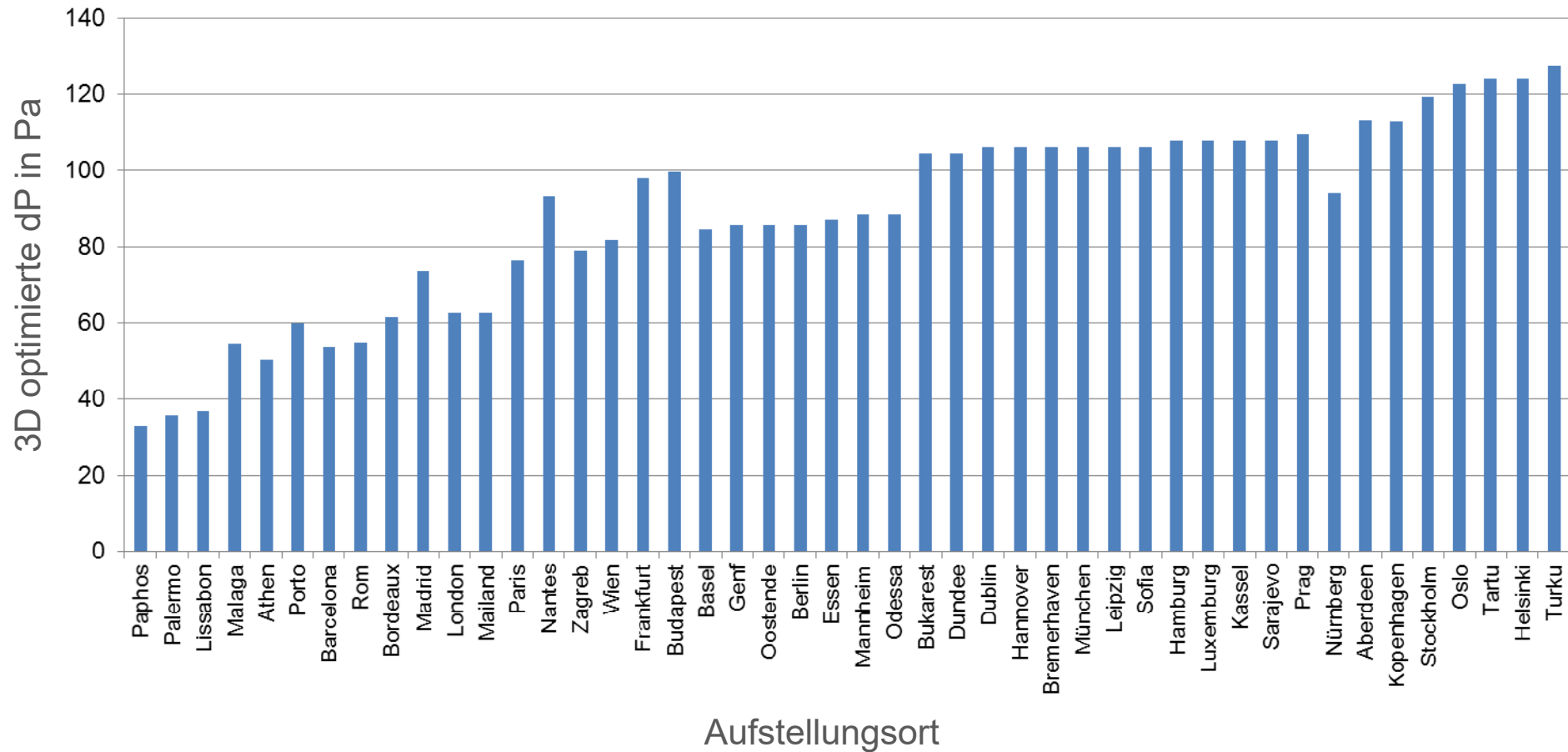
Amortisation Ø 1,68 a

Ergebnisse 8.760 h/a Betrieb



Luftgeschwindigkeiten (3D Optimierung bezogen auf €) Ø 0.95 m/s

Ergebnisse 8.760 h/a Betrieb



optimierte WRG Druckverluste (3D Optimierung)

- Rückgewinn an sensibler Kühlung (~3 %) vernachlässigbar
- **monetärer Benefit** variiert um den Faktor **7 bis 15**
- Optimale Luftgeschwindigkeit etwa **1 m/s** (monetäre Aspekte)
- **Probleme im Teillastbereich können entstehen!**
- Monetärer Ertrag kann optimiert um ~25 % gesteigert werden
- Optimale Übertragungsgrade (monetär betrachtet)
 - 62,5 bis 80,0 % bei 2.350 h/a
 - 78,0 bis 88,5 % bei 8.760 h/a

Benchmarks ab **2020**:

WRG Temperaturübertragungsgrade:

80 % bei KV-Systemen

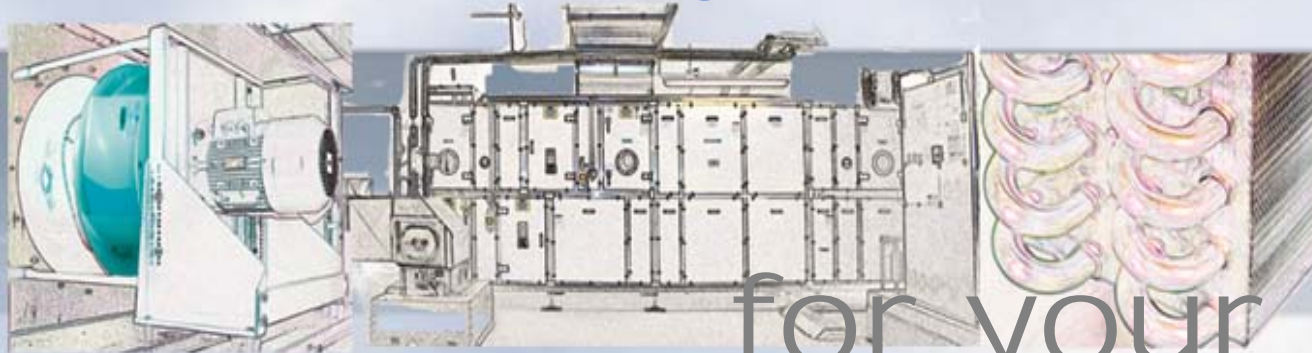
85 % bei anderen Systemen

Reduktion der SFP_{int} Werte um:

-150 W/m³/s für Geräte ≥ 2 m³/s

-250 W/m³/s für Geräte < 2 m³/s

Thank you



for your
Attention

Die mehrdimensionale und relationale Optimum der Wärmerückgewinnung

Wie kann die WRG wirklich optimal genutzt werden?

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup
kaup@howatherm.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld
Umwelt macht Karriere.