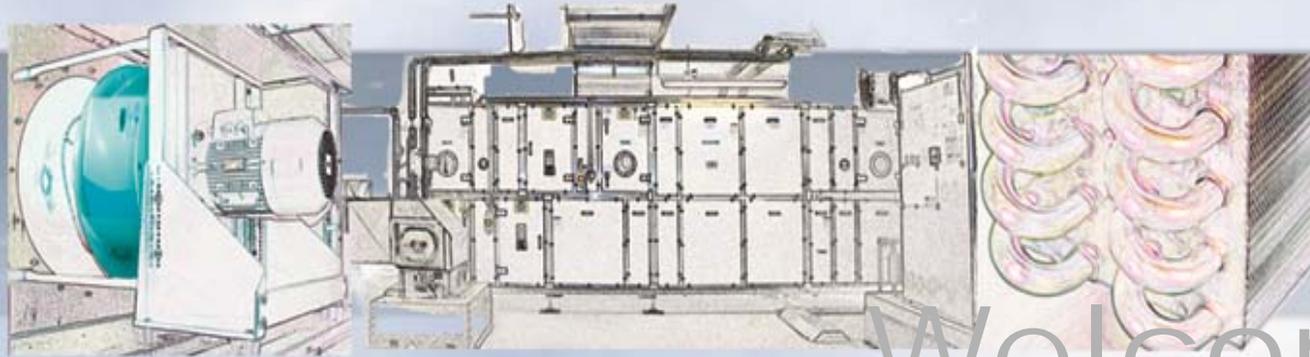


Willkommen



Bienvenue

Welcome

Das wirtschaftliche Optimum der Wärmerückgewinnung im Kontext zu den Anforderungen der Ökodesignverordnung EU 1253/2014

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup
c.kaup@umwelt-campus.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

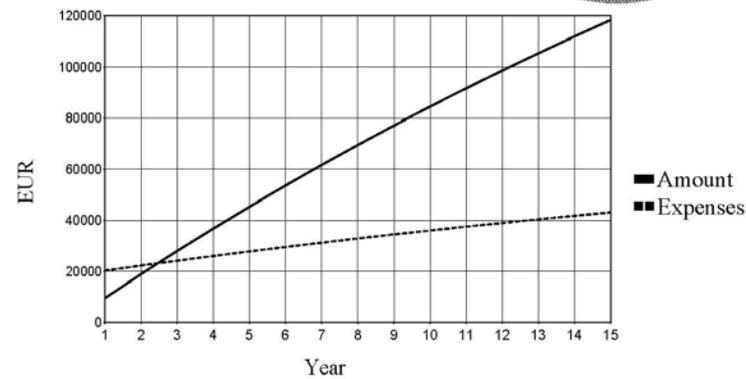
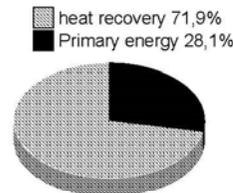


AL	Q WRG	Hours	Hours	Heating	Cooling	HRC +	HRC -	FC +	SW -	Water
°C	kW	Day	Night	total	total	kWh	kWh	kWh	kWh	m³
		h/°C	h/°C	kWh	kWh					
< -10,5	99,2	4		651		413				
-10,5	99,2	3		396		260				
-9,5	99,2	4		514		348				
-8,5	99,2	5		640		449				
-7,5	99,2	6		828		602				
-6,5	96,0	8		1.072		783				
-5,5	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									
	heim					2.224 h	386 h			

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 %



Simulation Wirtschaftlichkeit



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 €

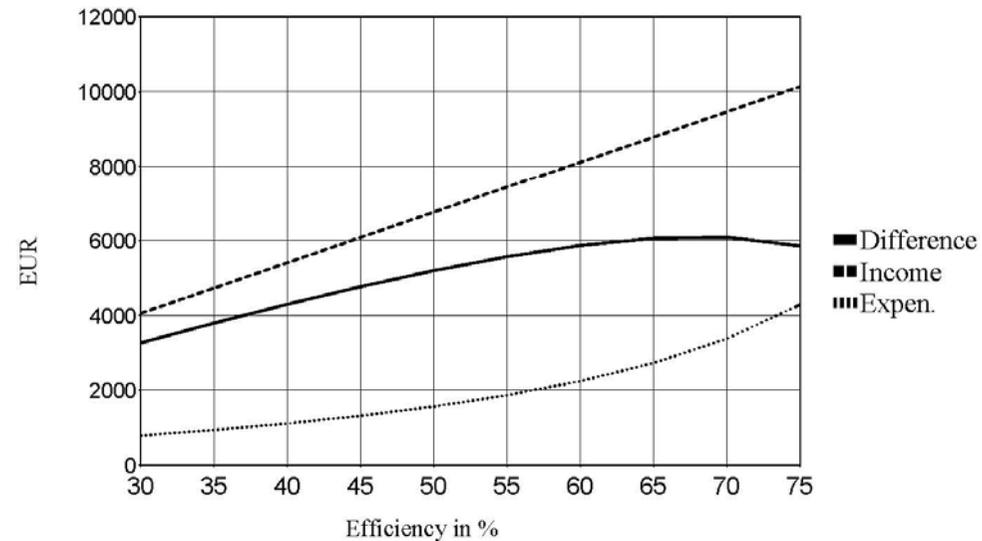
Costs of heat recovery calculated per year

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 CO₂ / HRS area const.)

Efficiency	Depth HRS	Saving kg CO ₂ /a	Expenditure kg CO ₂ /a	Difference kg CO ₂ /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/€

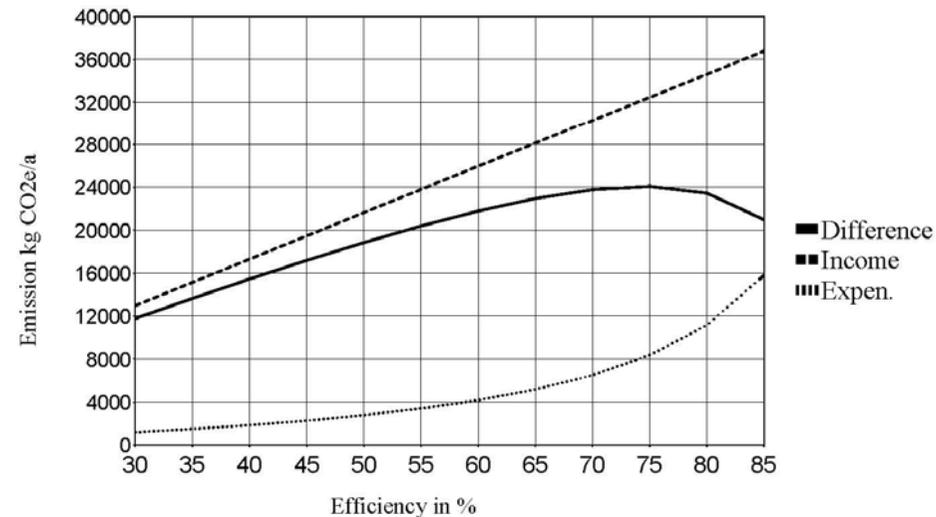
selection with a Velocity (supply - and exhaust air unit) 1,90 m/s - 73,0 %

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

optimized efficiency of HRC

75 % (71 - 78 %)

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



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 €

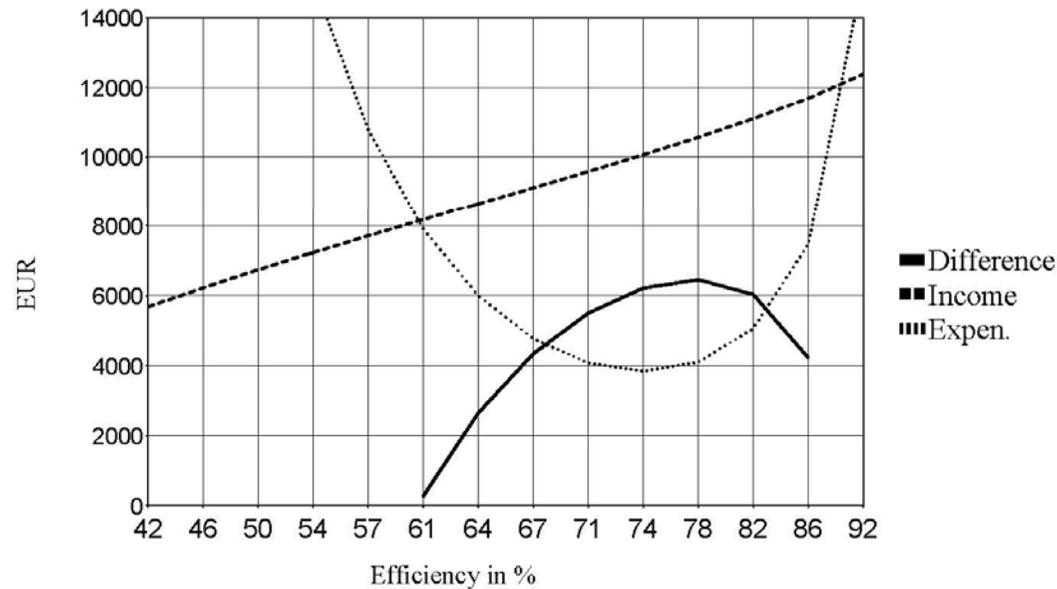
Area in % of the selcted Area. Costs of heat recovery calculated per year. Exponent for dP calc. 1,6

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)

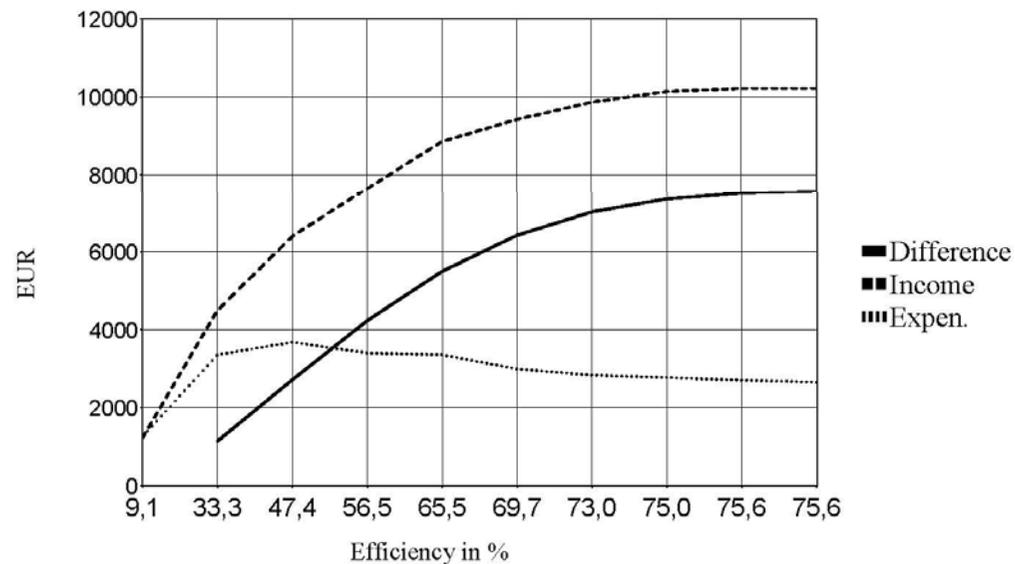
Efficiency	square area (base 2 m/s)	w in m/s	Depth HRS	Benefit €/a	Expenditure €/a	Difference costs €/a
9,1 %	51,7 %	3,87 m/s	7,5 %	1229,3 €	1264,5 €	-35,2 €
33,3 %	59,7 %	3,35 m/s	32,6 %	4507,5 €	3361,2 €	1146,3 €
47,4 %	69,1 %	2,89 m/s	50,7 %	6405,4 €	3684,0 €	2721,5 €
56,5 %	80,5 %	2,48 m/s	62,9 %	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 / multidimensional)

Efficiency	square area (base 2 m/s)	w in m/s	Depth HRS	Saving kg CO2/a	Expenditure kg CO2/a	Difference kg CO2/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

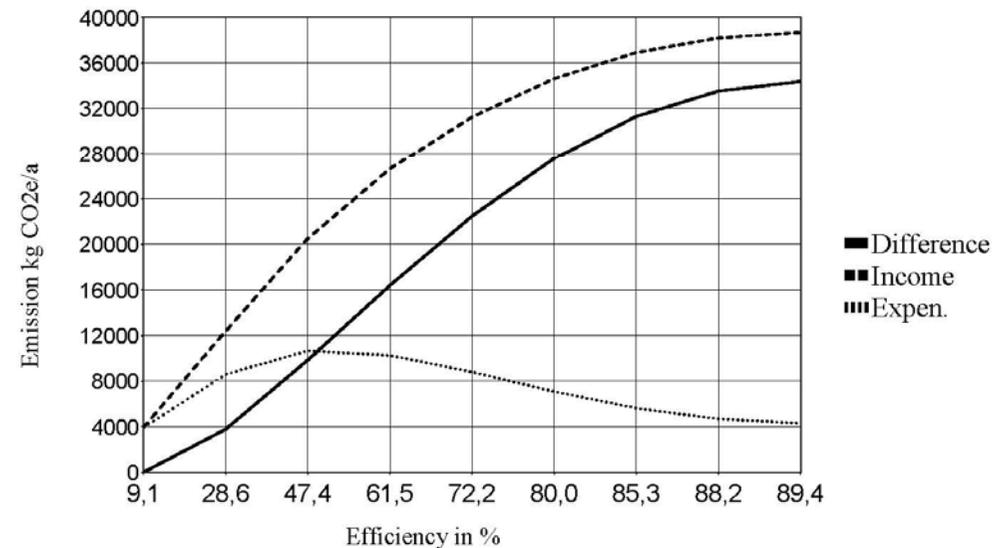
Area in % of the selected Area. Costs of heat recovery calculated per year. Exponent for dP calc. 1,6

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 € / m³	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

seperator: :

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

- 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
- CO₂ Emission 340 g/kWh (Öl) / 630 g/kWh (Elektro mix)
- Graue CO₂ Emission 600 g/kWh (Invest und Betrieb)
- 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

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

Rahmenbedingungen

Erste Betrachtung

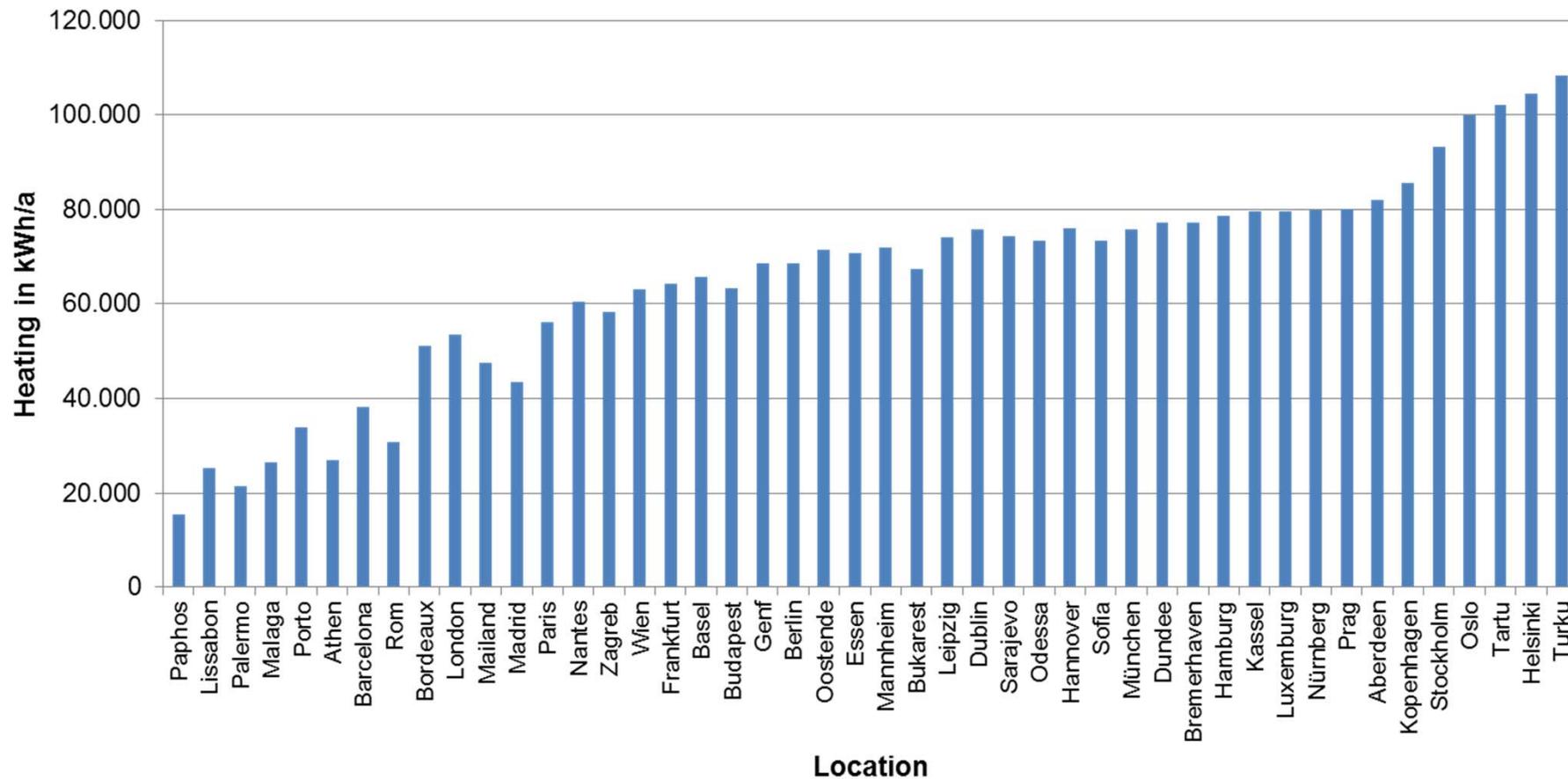
Betrieb **2.350 h/a**

mit:

5 d/w

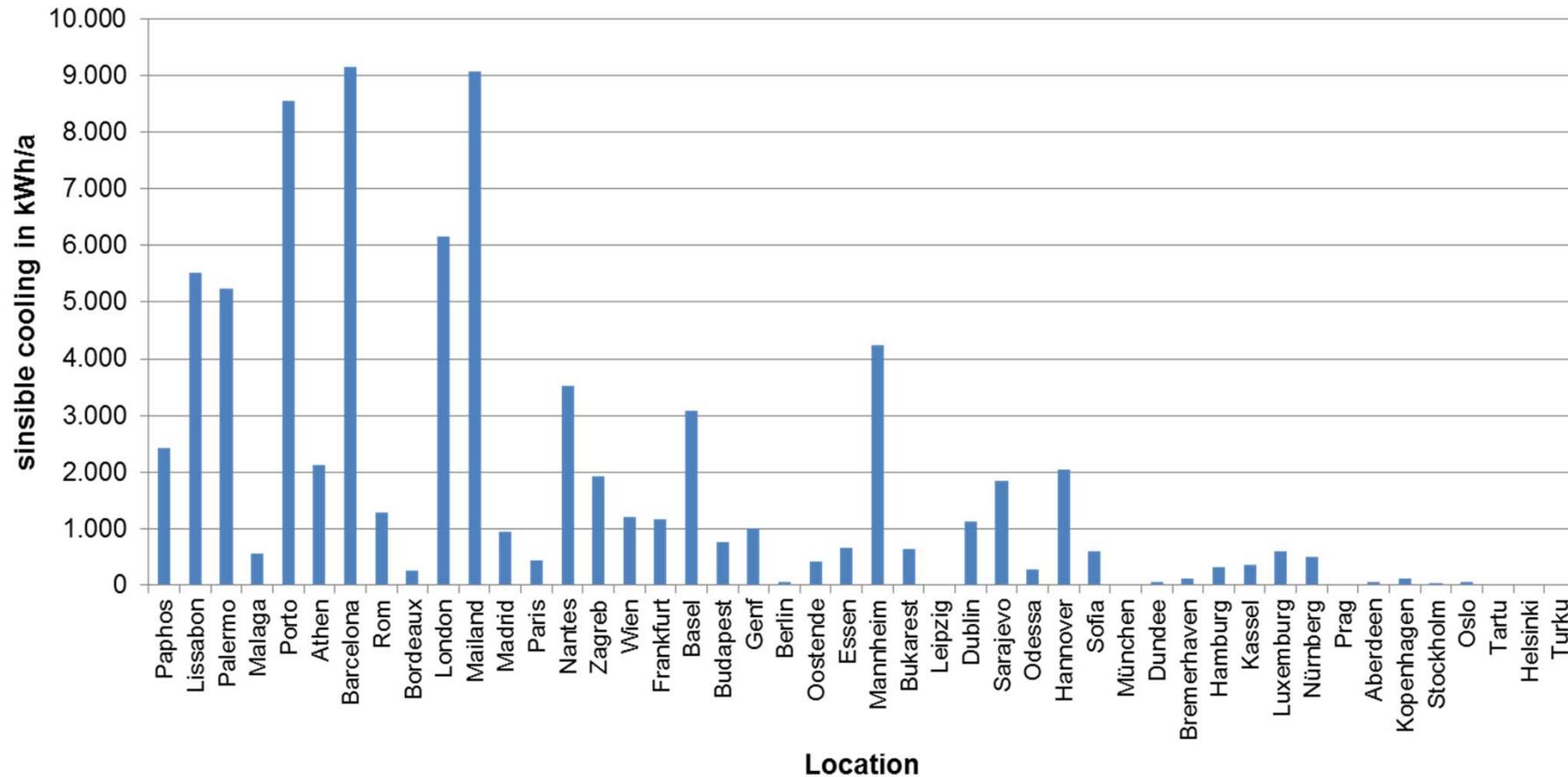
9 h/Tag (100 %) und 1 h/Nacht (50 %)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



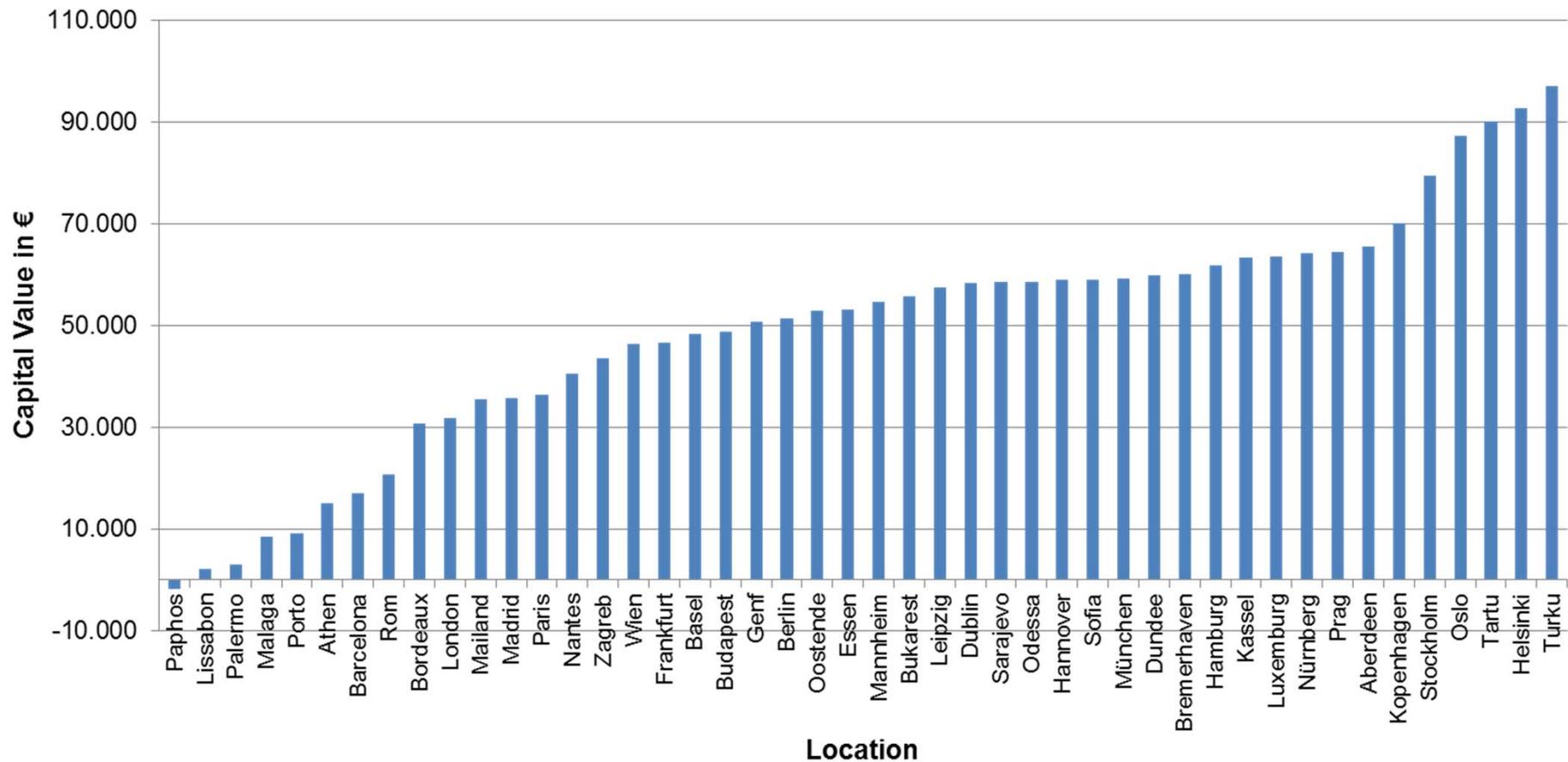
Wärmerückgewinnung Ø 65.558 kWh/a (F = 7,0)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



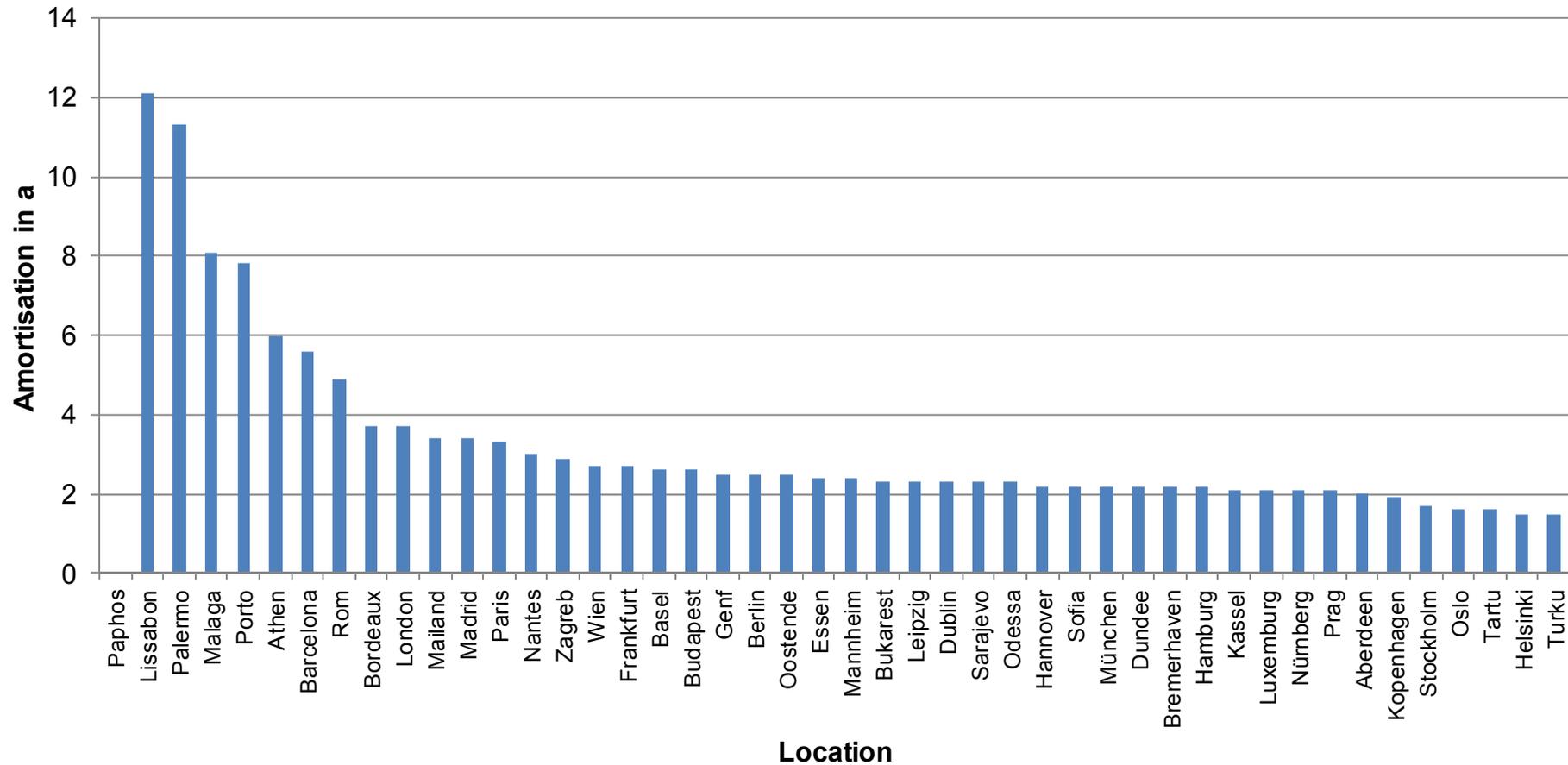
Rückgewinnung sensibler Kälte Ø 2.032 kWh/a

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



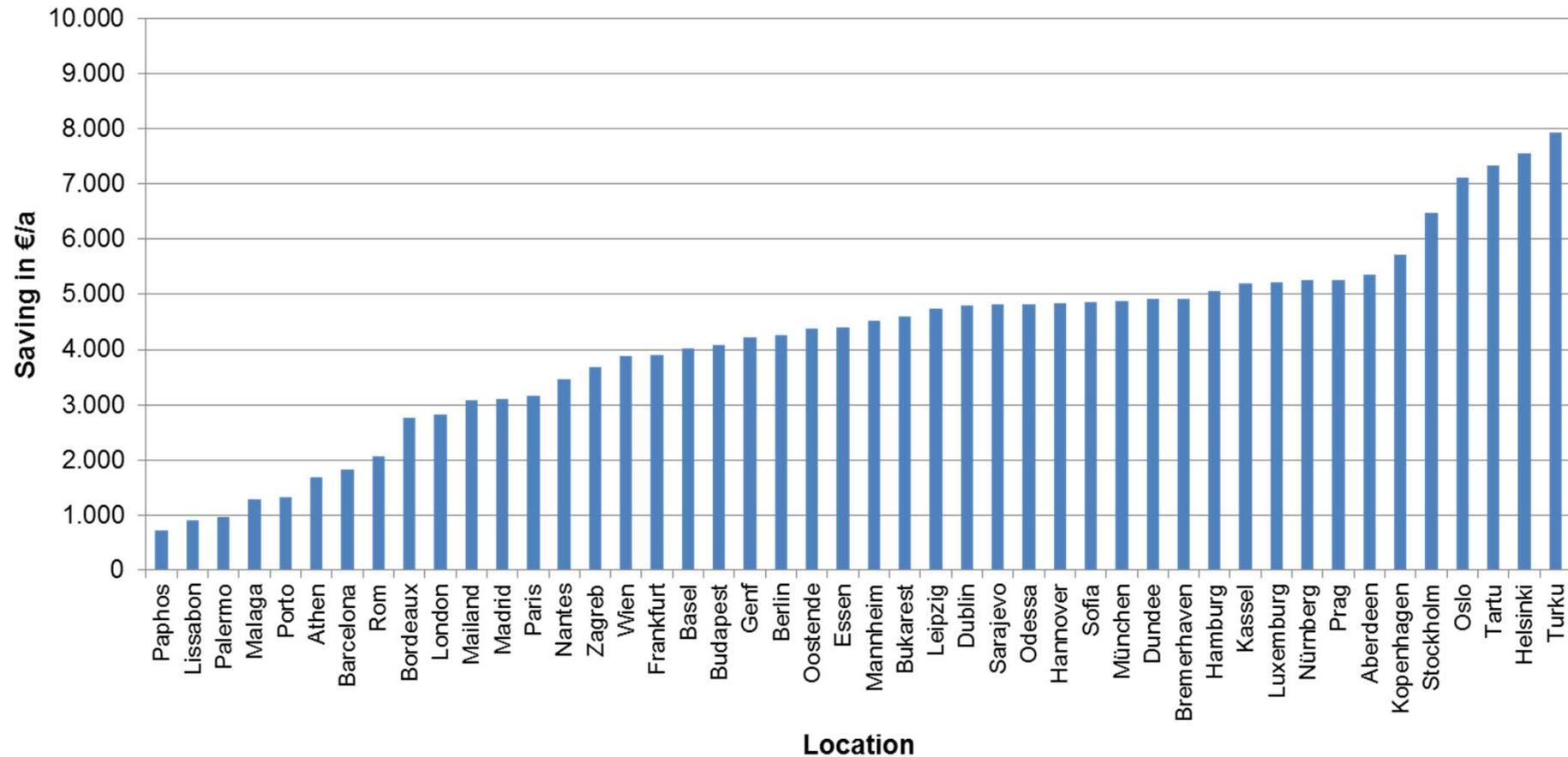
Kapitalwert der Ersparnisse Ø 49.282 € (F = 47,5)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



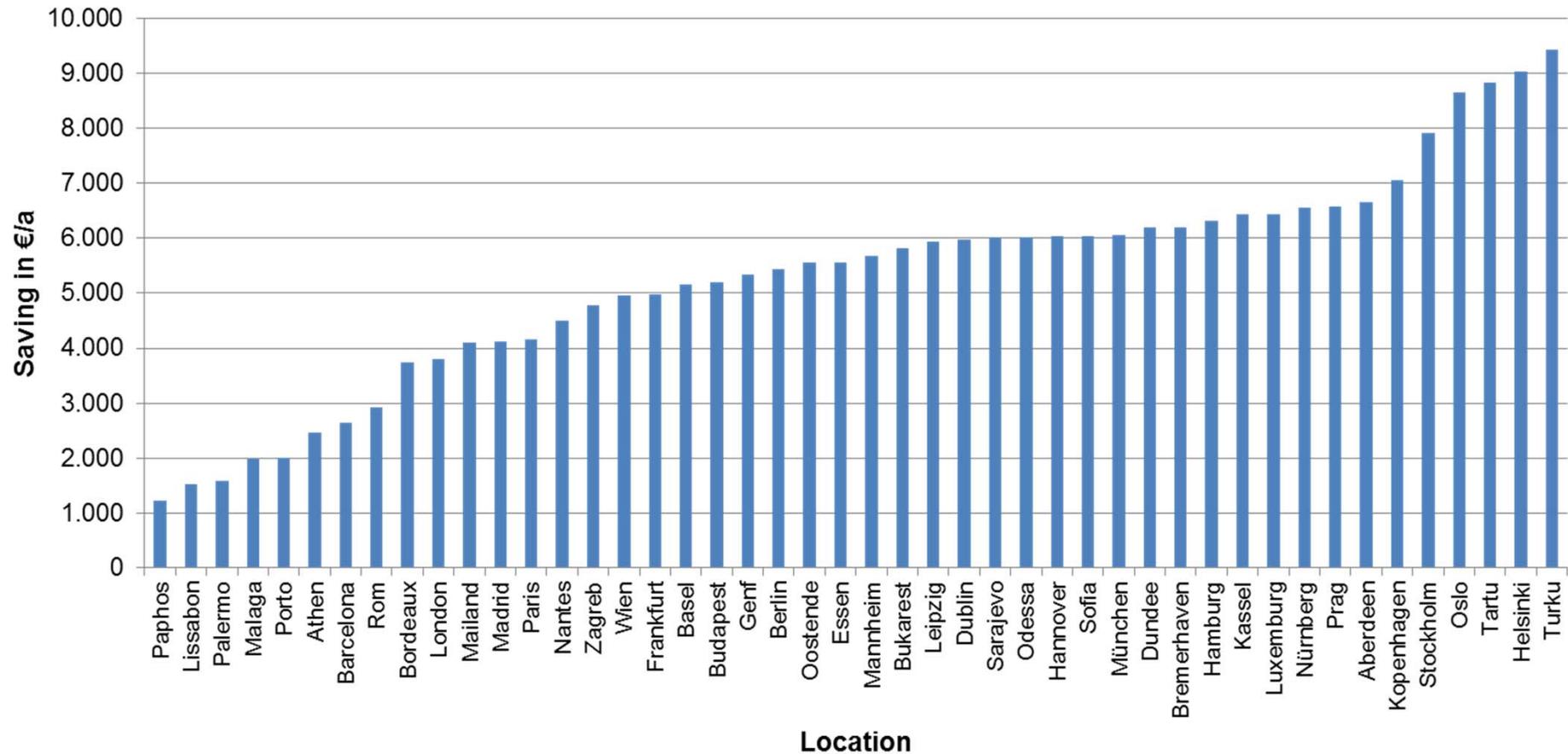
Amortisation Ø 3.27a

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



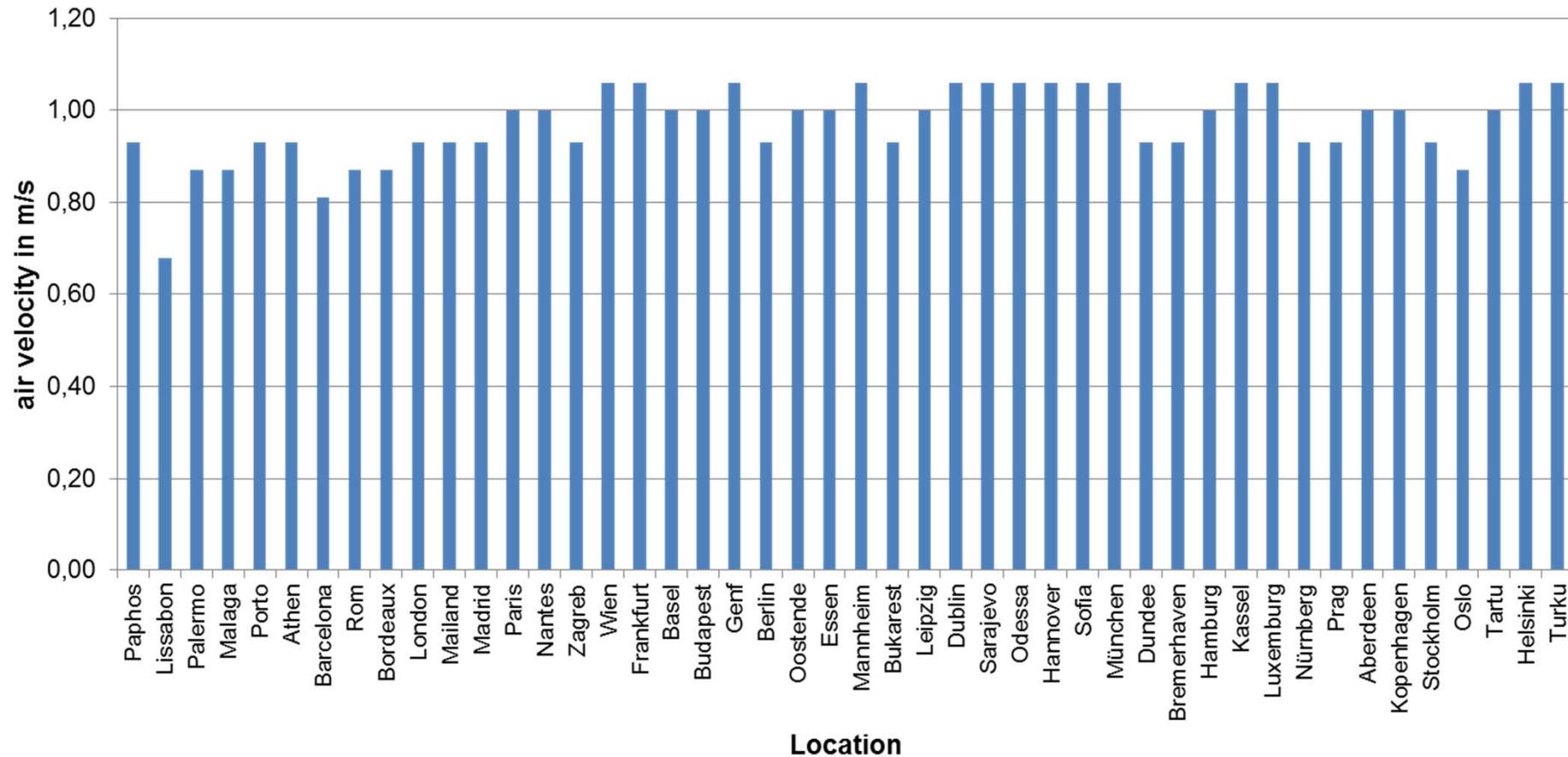
Monetäre Einsparung bei Auslegung (1,9 m/s) Ø 4.180 € (F = 11,17)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



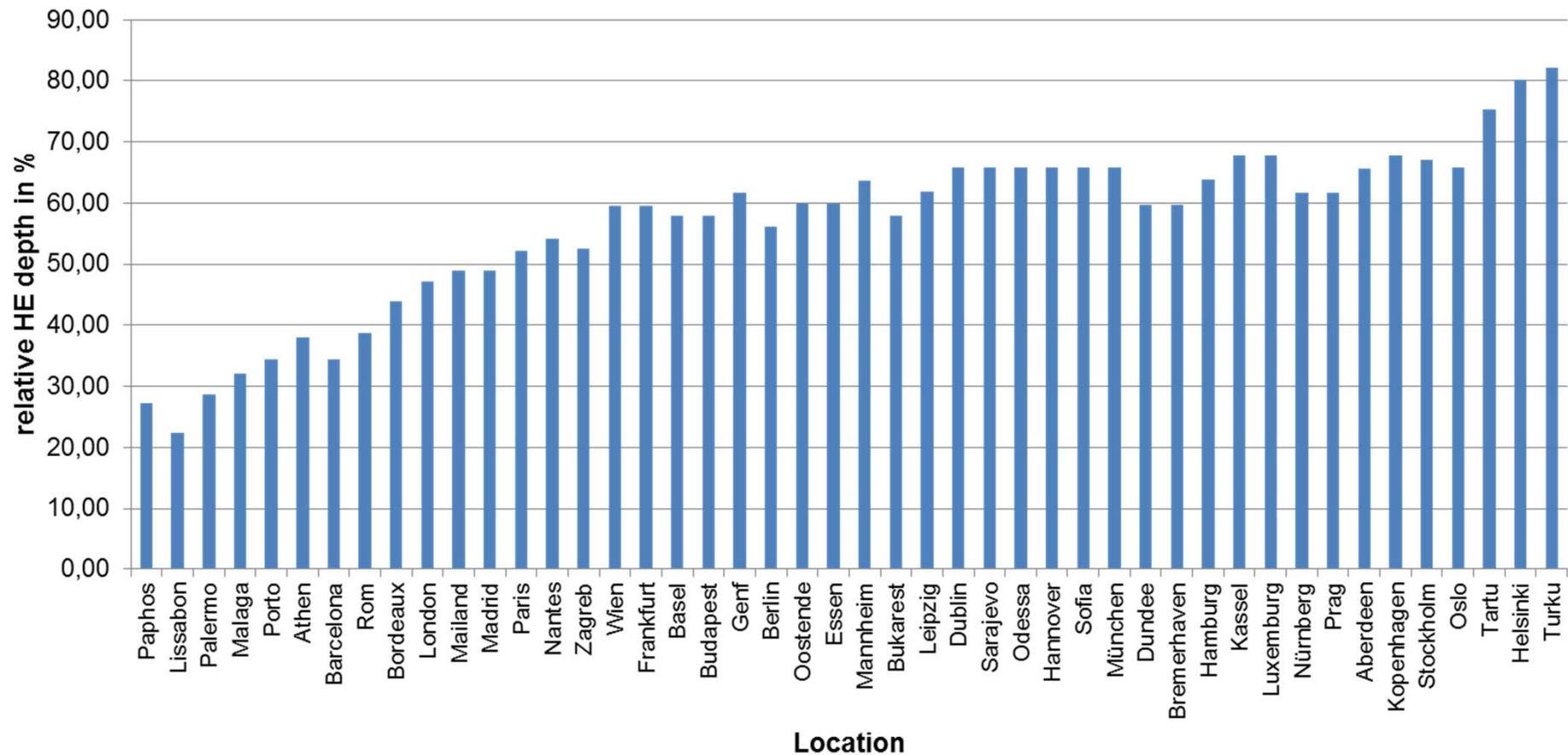
Monetäre Einsparung (3D Optimierung) Ø 5.297 €/a (+26,7 %)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



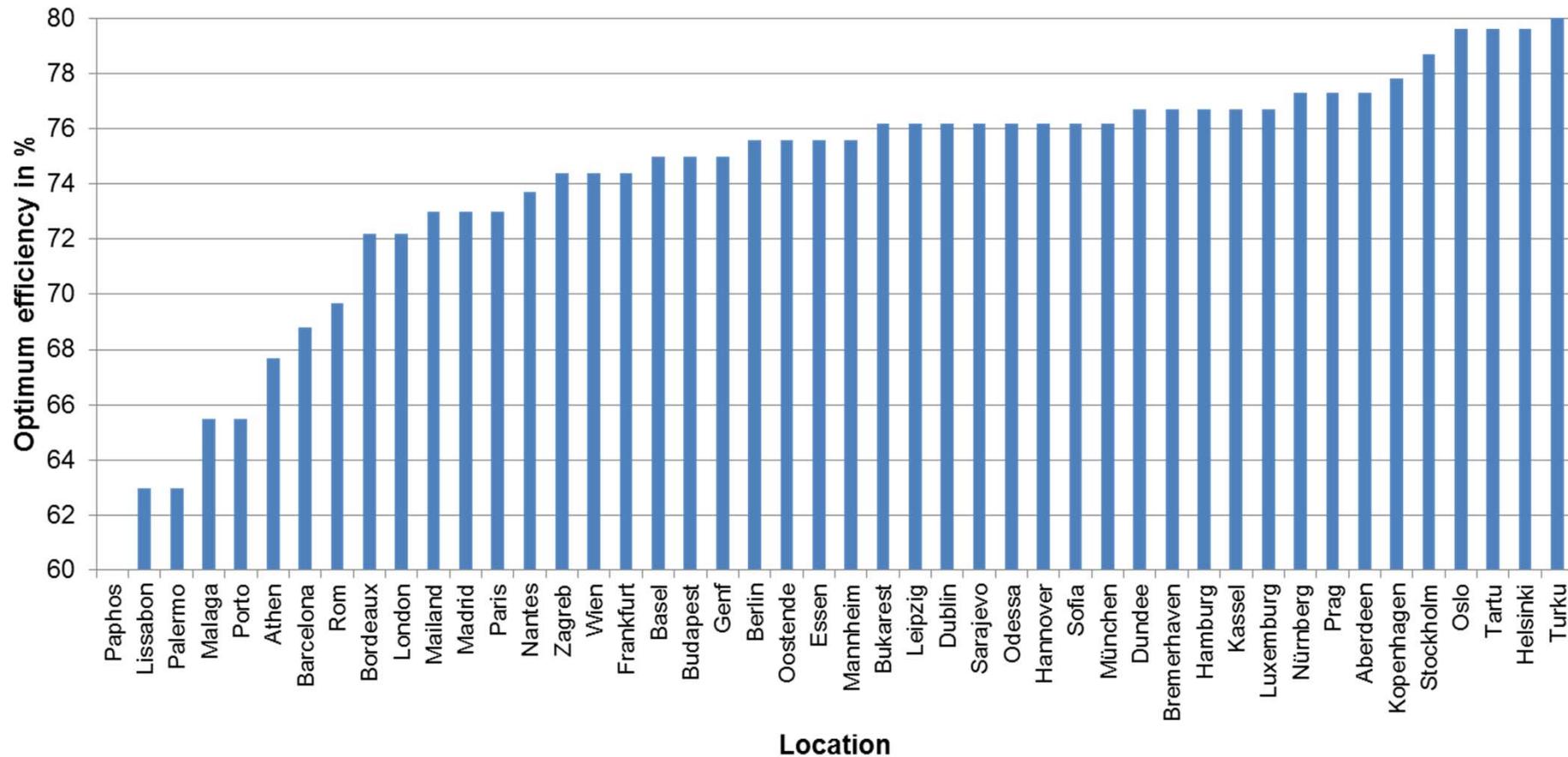
Luftgeschwindigkeit (3D Optimierung bezogen auf €) Ø 0,97 m/s

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



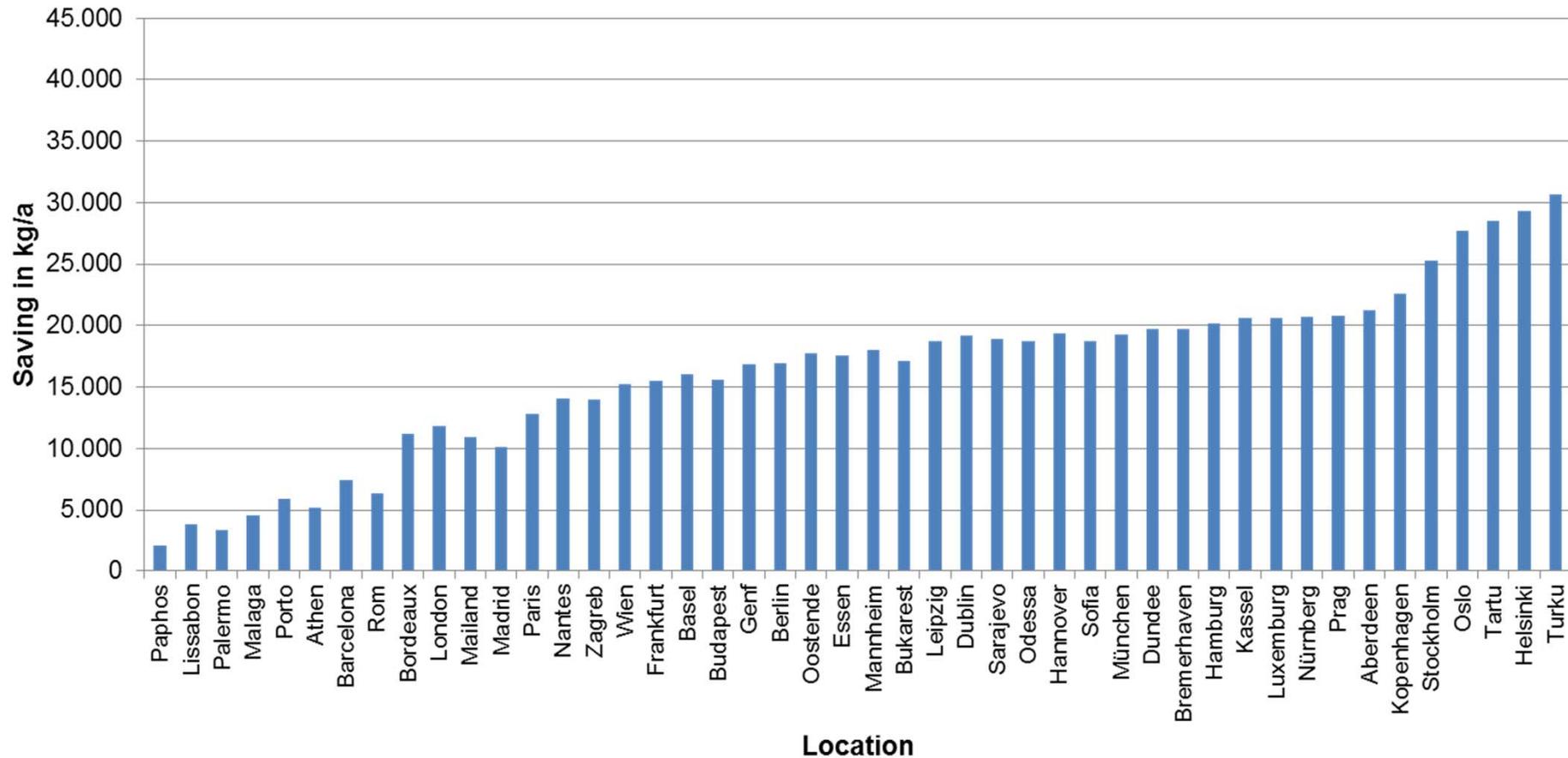
relative WRG Bautiefe (3D Optimierung basierend auf €)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



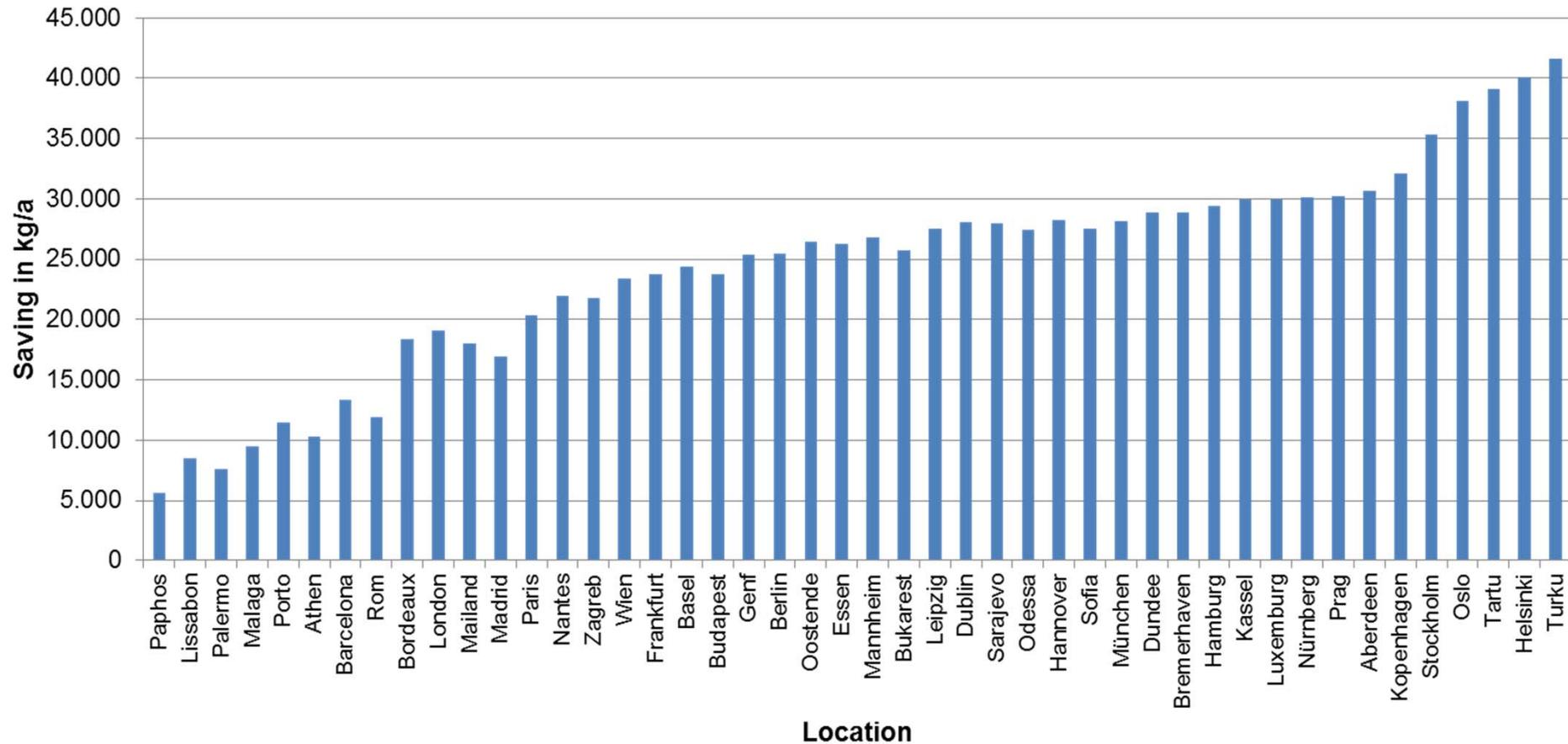
WRG Übertragungsgrade (3D Optimierung) Ø 74,2 % (F = 1,33)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



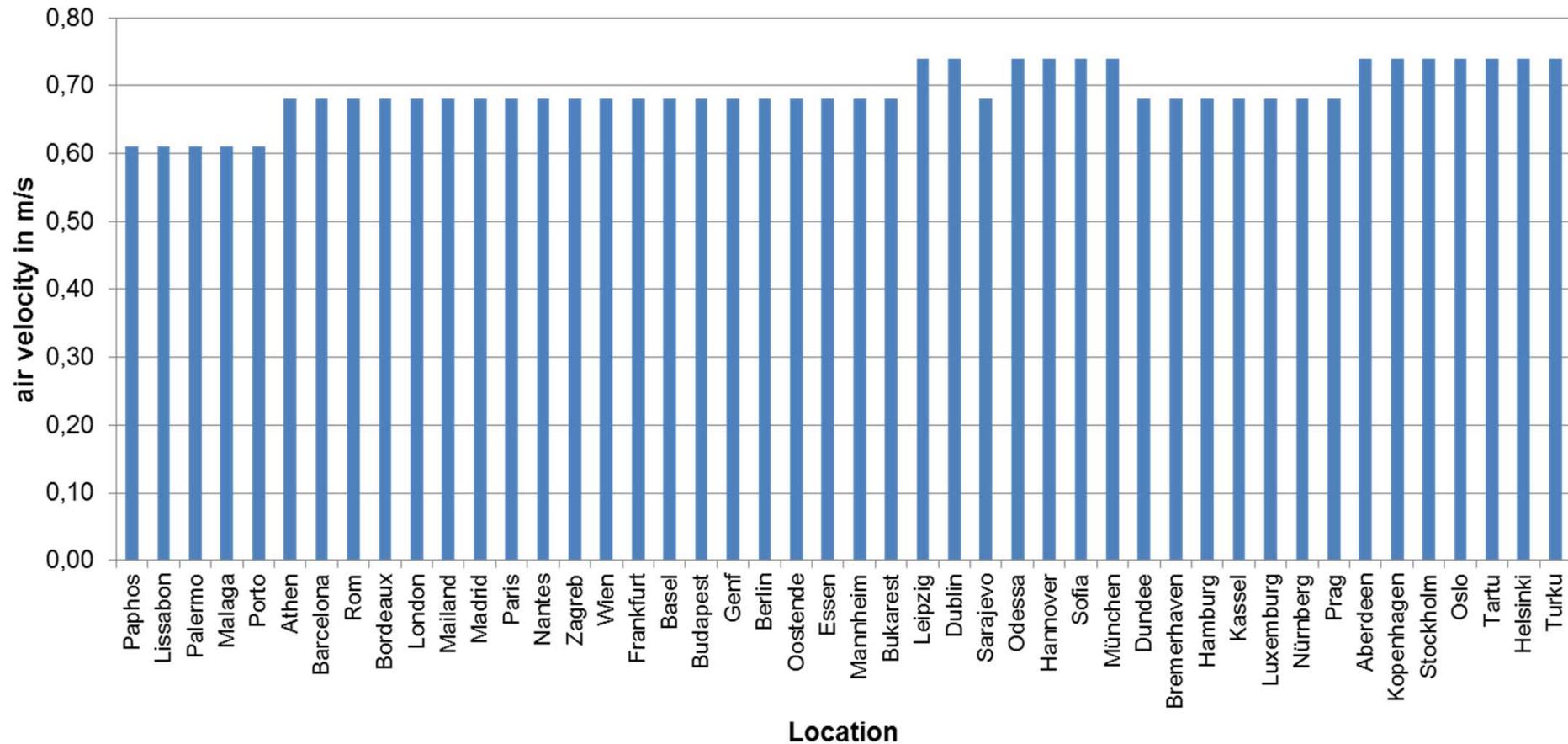
CO₂ Reduktion bei Auslegung (1,9 m/s) Ø 16.317 kg/a (F = 15,18)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



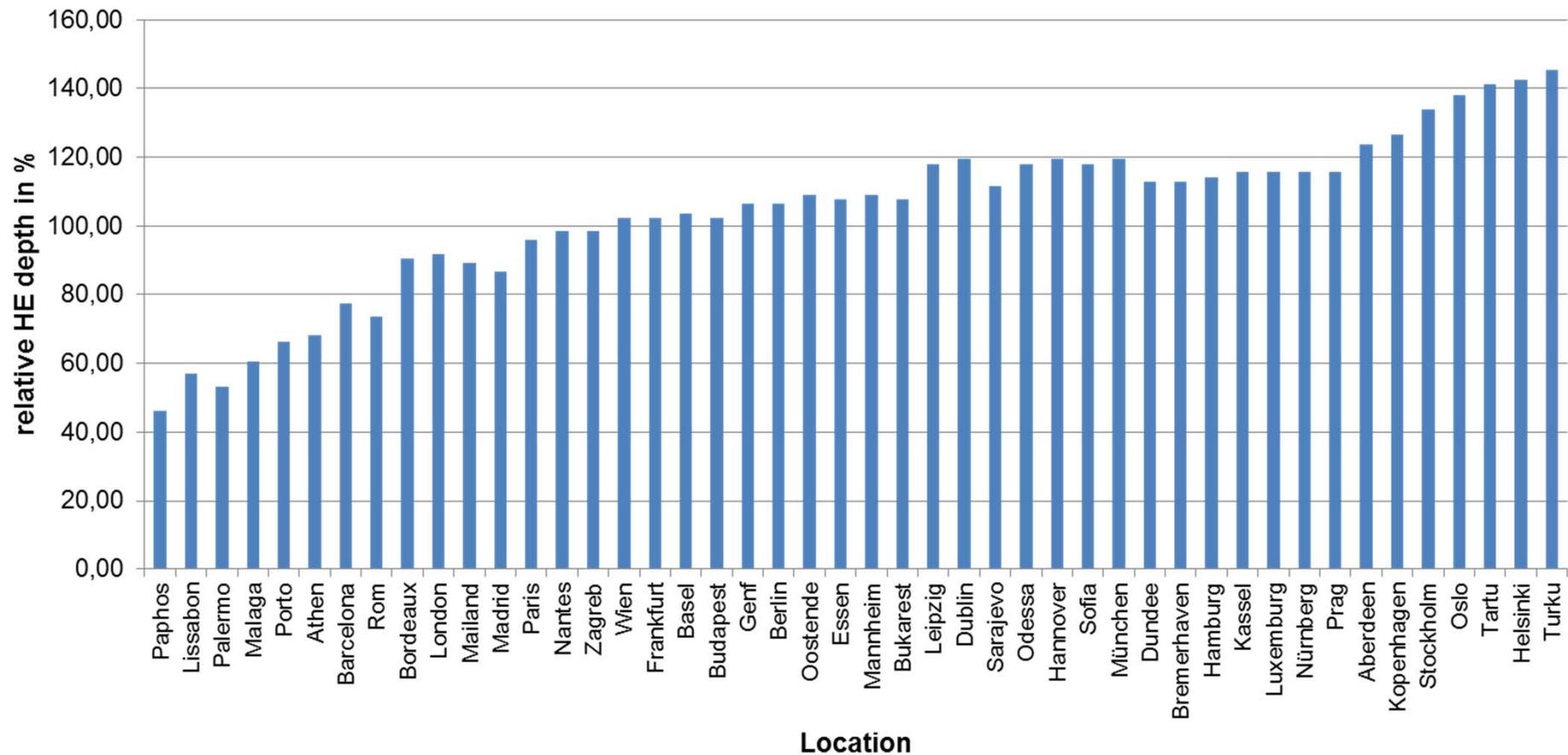
CO₂ Reduktion (3D Optimierung) Ø 24.469 kg/a (+50,0 %)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



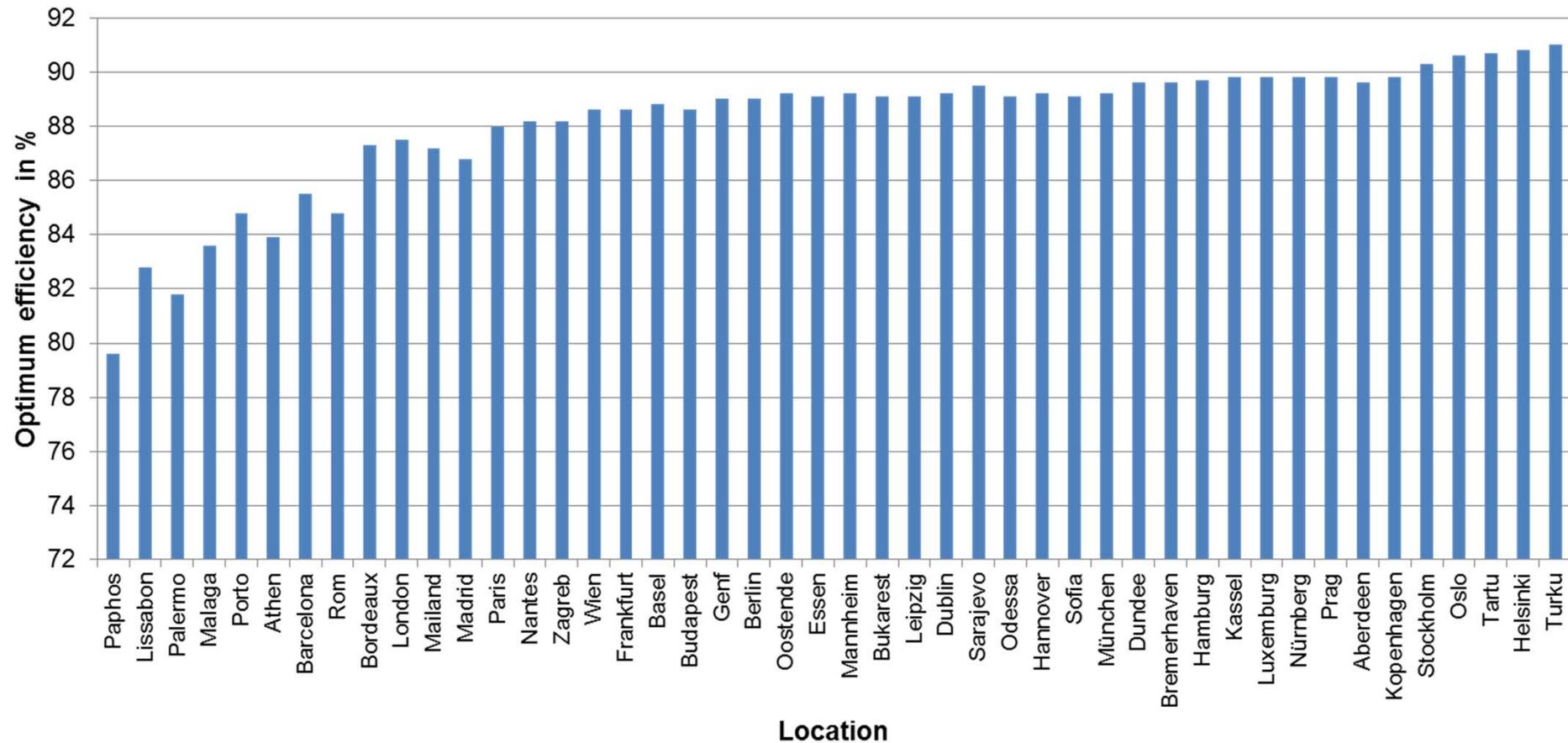
Luftgeschwindigkeiten (3D Optimierung CO₂) Ø 0,69 m/s

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



Relative WRG Bautiefe (3D Optimierung basierend auf CO₂)

Ergebnisse 2.350 h/a Betrieb



WRG Übertragungsgrade (3D Optimierung) Ø 88,1 % (F = 1,14)

Rahmenbedingungen

Erste Betrachtung

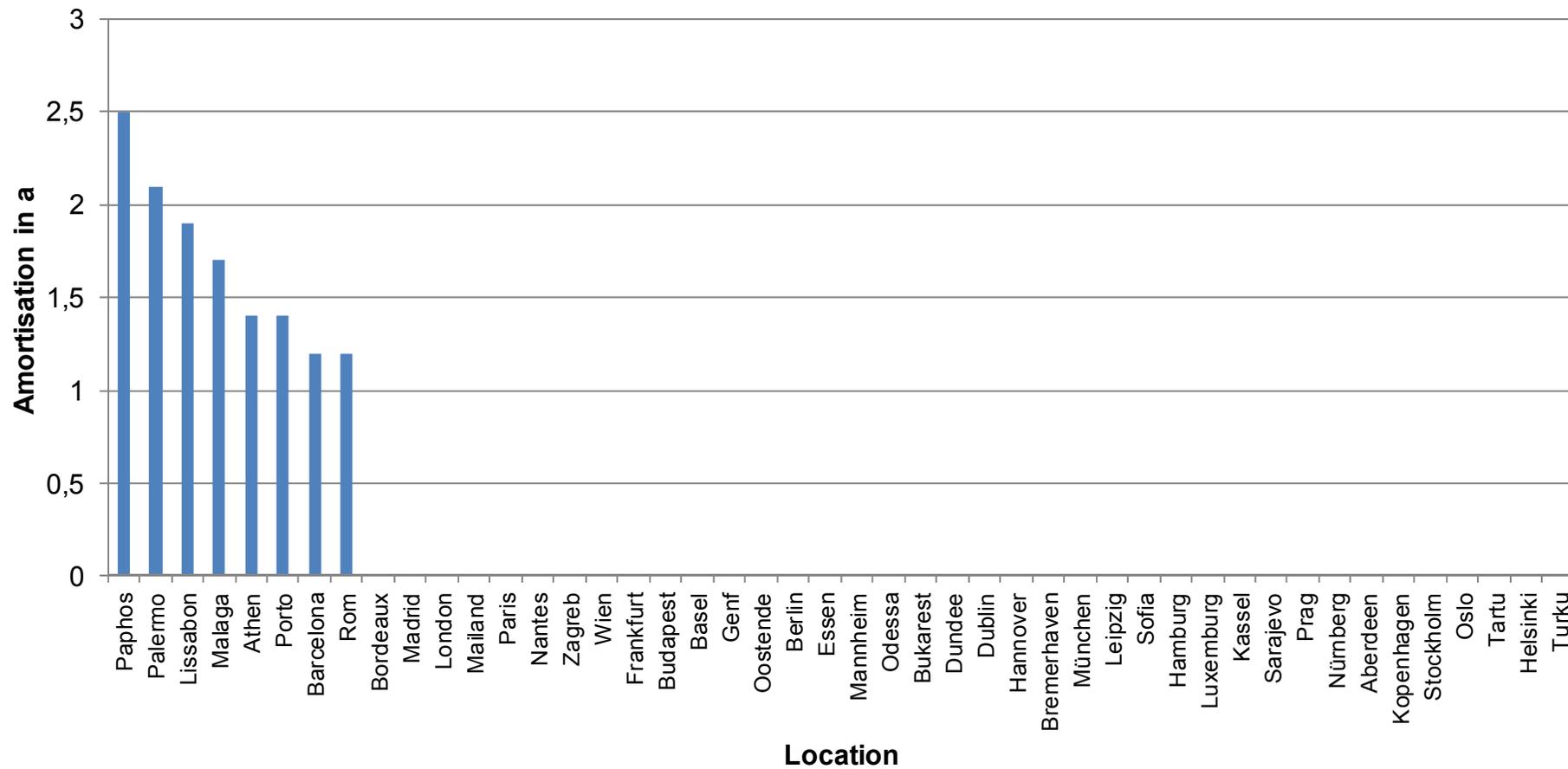
Betrieb **8.760 h/a**

mit:

7 d/w

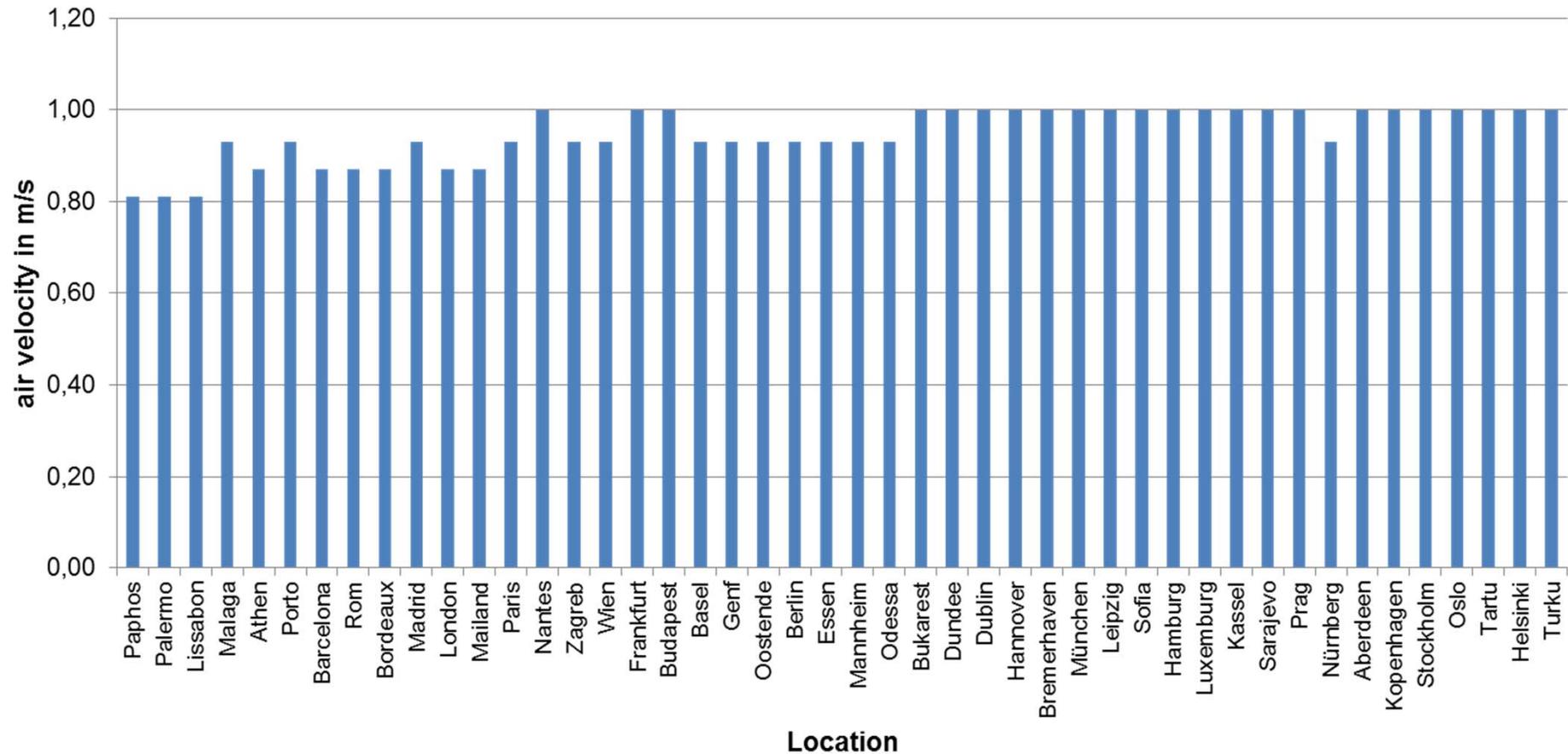
12 h/Tag (100 %) und 12 h/Nacht (50 %)

Ergebnisse 8.760 h/a Betrieb



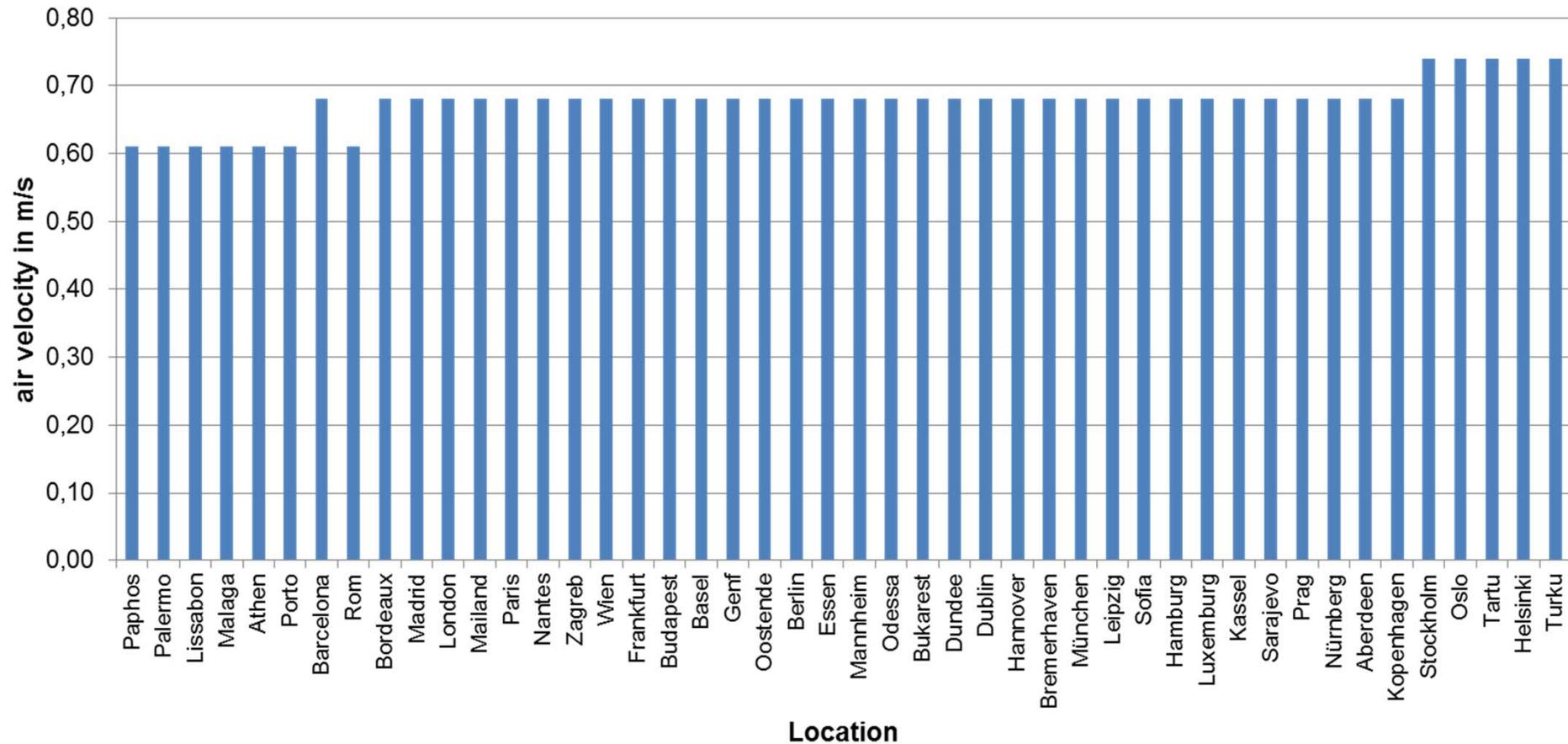
Amortisation Ø 1,68 a

Ergebnisse 8.760 h/a Betrieb



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

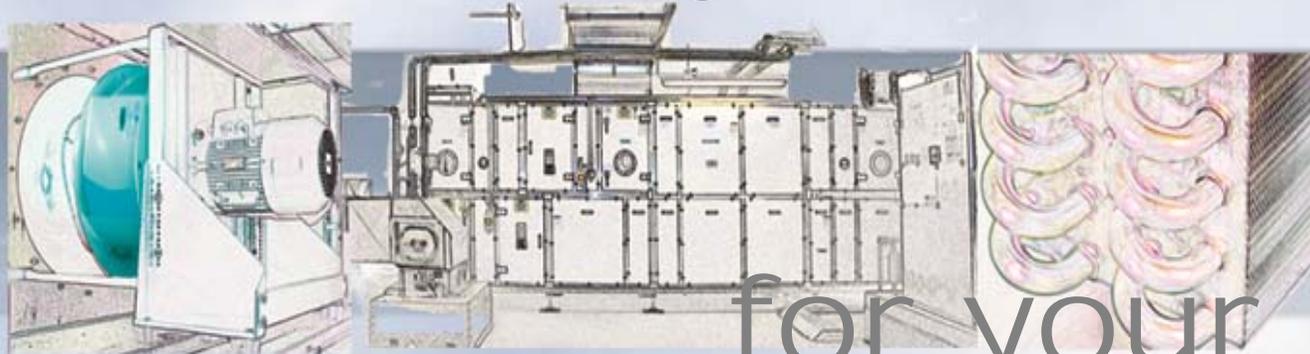
Ergebnisse 8.760 h/a Betrieb



Luftgeschwindigkeiten (3D Optimierung CO₂) Ø 0,68 m/s

- Rückgewinn an sensibler Kühlung (~3 %) vernachlässigbar
- **monetärer Benefit** variiert um den Faktor **7 bis 47**
- **CO₂ Reduktion** variiert um den Faktor **8,8 bis 15,2**
- Optimale Luftgeschwindigkeit etwa **1 m/s** (monetäre Aspekte)
- Optimale Luftgeschwindigkeit etwa **0,7 m/s** (CO₂ Aspekte)
- **Probleme im Teillastbereich können entstehen!**
- Monetärer Ertrag kann optimiert um ~25 % gesteigert werden
- Emissionen können optimiert um ~45 % reduziert 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
- Optimale Übertragungsgrade (CO₂ basiert)
 - 79,5 bis 91,0 % bei 2.350 h/a
 - 89,0 bis 94,5 % bei 8.760 h/a

Thank you



for your
Attention

Das wirtschaftliche Optimum der Wärmerückgewinnung im Kontext zu den Anforderungen der Ökodesignverordnung EU 1253/2014

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup
c.kaup@umwelt-campus.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld
Umwelt macht Karriere.