

# Luft-Erdwärmetauscher L-EWT

## Planungsleitfaden Teil 2



### Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

Version 0.91 September 2004

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

Der zweite Teil des Planungsleitfadens für Luft-Erdwärmetauscher (L-EWT) befasst sich vorwiegend mit der Auslegung von großen L-EWT für Nichtwohngebäude.

Der Planungsleitfaden besteht aus mehreren Modulen.

Das Anwendungsziel der einzelnen Module ist in der Datei LEWT\_PLF2\_EINLEITUNG\_09.pdf detailliert beschrieben. Insgesamt existieren folgende Module:

LEWT_PLF2_LIESMICH_09.pdf	<b>Übersicht</b>
LEWT_PLF2_EINLEITUNG_09.pdf	<b>Einleitung</b>
LEWT_PLF2_SIMULATION_09.pdf	<b>Numerisches Simulationsprogramm</b>
<b>LEWT_PLF2_BENCHMARK_091.pdf</b>	<b>Überschlägiges Abschätzverfahren</b>
LEWT_PLF2_KENNZAHLE_09.pdf	<b>Qualitätsbewertung</b>
LEWT_PLF2_DATENBLATT_09.pdf	<b>Standardisierte Datenblätter</b>
LEWT_PLF2_TECHNISCHEDETAILED_09.pdf	<b>Planungshinweise, Mathematik und Details</b>
LEWT_PLF2_PROJEKTE_09.pdf	<b>Projektberichte</b>
LEWT_PLF2_ANHANG_09.pdf	<b>Anhang, Tabellen, Einzeldetails</b>

Jedes Modul kann unter [www.ag-solar.de](http://www.ag-solar.de) als PDF-Version einzeln geladen werden.

Der erste Teil, der die Basisinformationen und Auslegungshinweise für einfache Kleinsysteme bei Wohngebäuden enthält, ist erhältlich über [www.ag-solar.de](http://www.ag-solar.de) und [www2.dlr.de/ET/sonnenofen/nesa](http://www2.dlr.de/ET/sonnenofen/nesa) sowie als Druckversion vom DLR, Köln.

Hauptautor dieses Moduls:

**Dipl.-Ing. Karsten Gabrysch**

Kontakt: [gabrysch@sij.fh-aachen.de](mailto:gabrysch@sij.fh-aachen.de)

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1 ZIELSETZUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2 DEFINITION BENCHMARK UND BENCHMARKZAHL.....</b>	<b>5</b>
<b>3 DAS BERECHNUNGSVERFAHREN .....</b>	<b>7</b>
Randbedingungen .....	7
<b>4 VORGEHENSWEISE BEIM BENCHMARKING .....</b>	<b>8</b>
Beschreibung der Exceltabellen zur Ermittlung der Benchmarkzahl KGB.....	10
<b>5 BEISPIEL EINES BENCHMARKABLAUFS .....</b>	<b>12</b>
<b>6 LITERATUR.....</b>	<b>21</b>
<b>7 ANHANG .....</b>	<b>22</b>
<b>Verwendete Formeln .....</b>	<b>22</b>
Wärmestrom aus der strömenden Luft.....	23
Wärmeübergang zwischen Luft und Rohrrinnenwand.....	23
Wärmeleitung zwischen Rohrrinnenwand und Erdreich.....	26
<b>Validierung des Rechenmodells .....</b>	<b>29</b>
<b>Zuordnung der Erdreichtemperaturen zu den entsprechenden Verlegetiefen.....</b>	<b>33</b>
<b>Zusammenfassende Ergebnisblätter zur Einrohranlage .....</b>	<b>37</b>
<b>Zusammenfassende Ergebnisblätter zur Registeranlage .....</b>	<b>49</b>

## 1 Zielsetzung

Das Ziel bei der Planung eines Luft- Erdwärmetauscher ist es, eine Anlage zu entwerfen, die ein Maximum an thermischer Energie zwischen der im Erdrohr strömenden Luft und dem umgebenden Erdreich auszutauschen vermag, und dies mit einem möglichst geringen Energie- und Kapitaleinsatz.

Dazu ist es erforderlich, die variablen Parameter *Verlegetiefe*, *Rohrdurchmesser* und *Länge und Anzahl der Rohre* unter Berücksichtigung der fest vorgegebenen Parameter *Volumenstrom* und *benötigte Luftaustrittstemperatur* sowie der ortsabhängigen Parameter, vorhandene Klimaregion und Art des Erdbodens zu optimieren.

Da das Zusammenspiel dieser Parameter von recht komplexer Art ist und zur genauen Auslegung einer Luft- Erdwärmetauscheranlage mittels einer dynamischen Simulation gelöst werden müsste, ist es hilfreich eine erste Abschätzung von Anlagenvarianten unter Verwendung eines einfacheren Hilfsmittels durchführen zu können. Ein Benchmarkverfahren zur ersten Abschätzung der Leistungsfähigkeit verschiedener Anlagenvarianten wird nachfolgend vorgestellt.

Dieses Benchmarkverfahren soll es einem Anlagenplaner ermöglichen, eine Entscheidung zu finden, ob ein Luft- Erdwärmetauscher unter den ortsgegebenen Umständen (z.B. Größe des vorhandenen Baugrundes) realisierbar ist, und welche Kombination der baulichen Parameter Verlegetiefe, Rohrdurchmesser und Anlagenlänge eine energetisch optimale Anlage ergibt.

## 2 Definition Benchmark und Benchmarkzahl

Die Benchmarkzahl dient zum Vergleich von Anlagen mit unterschiedlichen baulichen Parametern und damit zur Ermittlung der energetisch „besten“ Anlage, die sich unter den vorgegebenen Randbedingungen realisieren lässt.

Die vorgegebenen Randbedingungen setzen sich zusammen aus:

- Dem Volumenstrom zur Belüftung eines Gebäudes
- Der erforderlichen Zulufttemperatur (Luftaustrittstemperatur des Erdrohres) zur Klimatisierung des Gebäudes
- Dem zur Verfügung stehenden Platz für die Anlage, bzw. den möglichst klein zu haltenden Baukosten einer Anlage, die hauptsächlich von der Anlagenlänge, aber auch von der Verlegetiefe des Rohres und den verwendeten Rohrdurchmessern abhängen

Das Ziel des hier vorgestellten Benchmarkverfahrens ist es, die Anlage zu finden („beste“ Anlage), die bezogen auf die verwendete Erdrohrlänge, die „beste“ thermische Leistung liefert.

Die hier zu diesem Vergleich benutzte Kennzahl, folgend mit  $KGB^1$  bezeichnet, ist die auf die Erdrohrlänge  $L_{Rohr}$  bezogene Differenz zwischen thermischer Leistung  $Q_{therm}$  und Ventilatorantriebsleistung  $P_{vent}$ .

$$KGB = \frac{Q_{therm} - P_{vent}}{L_{Rohr}} \quad [W/m] \quad \text{Gleichung 1}$$

Das Verfahren zur Berechnung von  $Q_{therm}$  ist im Anhang dargestellt.

Die zur Berechnung der KGB-Zahl benutzte Erdrohrlänge  $L_{Rohr}$  ist bei einer Einrohranlage die einfache Erdrohrlänge und bei einer Registeranlage die Summe der Einzelrohrlängen.

Die zur Bildung der KGB-Zahl herangezogene erforderliche Ventilatorantriebsleistung  $P_{vent}$  ergibt sich aus dem Druckverlust der folgenden Komponenten:

- Dem im Rohr von Volumenstrom, Rohrlänge und Rohrrinnendurchmesser abhängenden Strömungswiderstand
- Den zusätzlichen Strömungswiderständen in den Filtern, Rohrbögen und T-Stücken, die hier pauschal mit 200 Pascal beaufschlagt werden.
- Dem Ventilatorwirkungsgrad, hier als 60% angenommen.

Anhand der Benchmarkzahl KGB lassen sich Anlagen mit verschiedenen baulichen Parametern vergleichen, wobei die KGB-Zahlen für Einzelrohr und Registeranlagen getrennt zu betrachten sind.

Ist die Benchmarkzahl KGB negativ oder gleich Null, so ist die gewonnene thermische Leistung kleiner als die Ventilatorantriebsleistung. Solche Anlagenvarianten sind grundsätzlich unwirtschaftlich. In den nachfolgend beschriebenen Rechenblättern und Auswertungen

<sup>1</sup> Karsten Gabrysch Benchmarkzahl

## Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

---

werden negative KGB-Werte mit dem Wert „-1“ ausgewiesen, da es nicht von Interesse ist, ob die KGB-Zahl große oder kleine Werte im Negativen hat, aber die Darstellung in den Tabellen und Diagrammen an Übersichtlichkeit gewinnt. Ergibt sich für eine Anlage eine positive KGB-Zahl, dann erwirtschaftet diese Anlage einen thermischen Gewinn<sup>2</sup>. Je größer der Wert der KGB-Zahl ist, umso besser ist diese Anlage.

Für das Benchmarking werden folgende Parameter jeweils für Einrohranlagen und Registeranlagen variiert:

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1. Drei Erdreichtemperaturen: | 10°C; 13°C; 16°C   |
| 2. Neun Anlagenlängen:        | 30; 60; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400m   |
| 3. Vier Volumenströme:        | 1000m <sup>3</sup> /h; 3000m <sup>3</sup> /h; 10000m <sup>3</sup> /h; 50000m <sup>3</sup> /h |
| 4. Vier Rohrdurchmesser:      | DN100, DN300, DN500, DN1000  |

Parameterkombinationen, die zu unsinnigen Ergebnissen führen würden, wie z.B. sehr große Ventilatorantriebsleistungen durch einen zu hohen Druckverlust im Rohr werden nicht weiter betrachtet. Als Grenzwert für noch thermodynamisch sinnvolle Anlagen ist eine maximale Strömungsgeschwindigkeit im Rohr von 9 m/s gewählt worden.

Beim Vergleich der Anlagen müssen folgende Parameter konstant gehalten werden:

1. Der Volumenstrom
2. Die Lufteintrittstemperatur
3. Die Anlagenart (Einzelrohr oder Register)
4. Die Bodenart

Als Ziel muss die gewünschte Luftaustrittstemperatur erreicht oder unterschritten werden (Betrachtung der Anlagen für den Kühlfall).

Mit der hier definierten Benchmarkzahl wird neben Aspekten der energetischen Effizienz durch den Bezug auf die Rohrlänge auch ein grobes relatives Maß für die Wirtschaftlichkeit festgelegt.

---

<sup>2</sup> Bei einer Betrachtung auf Basis des Primärenergieeinsatzes müsste die Ventilatorleistung sogar mit dem Faktor 3 in die Bewertung eingehen.

### 3 Das Berechnungsverfahren

Um ein Benchmarking von L- EWT- Anlagen durchzuführen wurde das nachfolgend beschriebene Berechnungsmodell entwickelt.

#### **Randbedingungen**

Um die thermischen Leistungen von L- EWT- Anlagen einfach und schnell abschätzen und bewerten zu können, wurde hier auf die Berechnung dynamischer Einflüsse wie Wärmekapazitäten des Rohrmaterials und des Erdbodens, die eine Trägheit des Systems bewirken, verzichtet und ein rein statisches Verfahren gewählt. Dadurch ergeben sich folgende Einschränkungen:

- kurzzeitige Änderungen des Volumenstromes können nicht berücksichtigt werden, z. B. Anfahrvorgänge der Anlage.
- Die ungestörte Erdreichtemperatur in zugehöriger Tiefe wird für den betrachteten Zeitraum als konstant angenommen. Somit muss zur Betrachtung der Langzeitwirkung eines Dauerbetriebes eine erhöhte (Sommerbetrieb) bzw. verringerte Erdreichtemperatur angesetzt werden. Diese Erhöhung bzw. Verringerung beträgt nach unserer Erfahrung ca. 2 K bei regelmäßiger Nutzung im deutschen Klima.

## 4 Vorgehensweise beim Benchmarking

Als Zielgrößen für eine Auslegung von Luft –Erdwärmetauscheranlagen werden hier der geforderte Volumenstrom und die zu erreichende Luftaustrittstemperatur des Luft- Erdwärmetauschers benutzt. Diese zu erreichenden Zielgrößen legen fest, ob eine Luft – Erdwärmetauscheranlage der gestellten Kühl- oder Luftvorwärmung genügt.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Rechenblättern wird exemplarisch nur der Kühlfall betrachtet. Für die Lufteintrittstemperatur ist eine den Jahreszeiten entsprechend extreme Temperatur zu wählen.

Der Volumenstrom wird durch die erforderliche Luftwechselrate für das zu belüftende Gebäude vorgegeben.

Die zu erreichende Luftaustrittstemperatur entspricht:

- im Kühlfall der Untertemperatur, die erforderlich ist, um das Aufheizen eines Raumes durch innere Wärmelasten und solare Einträge zu vermeiden<sup>3</sup>.
- im „Heizfall“ der Temperatur, die erforderlich ist, um ein Vereisen des Wärmetauschers einer dem Luft –Erdwärmetauscher nachfolgenden Lüftungsanlage zu vermeiden.

Nachdem der notwendige Volumenstrom und die notwendige Luftaustrittstemperatur festgelegt ist, sucht man in den entsprechenden Rechenblättern (passender Volumenstrom) aus dem Anhang die Anlagenvarianten heraus, die die Bedingung der benötigten Luftaustrittstemperatur erfüllen.

Auf den Rechenblättern werden drei Parameter variiert:

- der Rohrdurchmesser
- die Rohr(anlagen)länge
- die Bodentemperatur bzw. Verlegetiefe (siehe Anhang)

Somit ist es durchaus möglich mehrere Anlagen zu finden, die den Zielgrößen Volumenstrom und Luftaustrittstemperatur entsprechen.

Für das Benchmarking, das heißt zur Ermittlung der „besten“ Anlage betrachtet man nun die KGB-Zahlen dieser Anlagen.

Sowohl Einrohranlagen, als auch Register (hier mit 5 parallelen Rohren) sind exemplarisch dargestellt.

Die KGB-Zahlen dieser Anlagen vergleicht man nun miteinander und sucht die Anlage mit der höchsten KGB-Zahl heraus.

Falls mehrere Anlagen fast identische KGB-Zahlen besitzen, kann man diese Anlagen, die bautechnische Unterschiede (variierte Parameter) aufweisen, gezielt mittels dynamischer Simulationen weiter untersuchen.

Die in diesem Benchmark -Vergleich benutzten Rechenblätter lassen sich zur Betrachtung weiterer Parameterkombinationen mit dem beigefügten Rechenwerkzeug mittels MS-Excel

---

<sup>3</sup> Zur Vermeidung von Zugerscheinungen sollten bei direkter Zuluft 17°C nicht unterschritten werden. Dies kann durch entsprechende Mischung der Luft aus dem L- EWT mit direkter Aussenluft zu gewährleistet werden.



**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

---

für individuelle Parameterkombinationen editieren. So ist es möglich, andere Rohrlängen, Rohrmaterialien, Volumenströme und Register mit abweichender Rohranzahl zu untersuchen. Nach einer Änderung der Parameter der Rechenblätter werden die Ergebnisse direkt in die Zusammenfassenden Blätter übernommen, und stehen dort einem Vergleich der variierten Anlagen zur Verfügung.

## **Beschreibung der Exceltabellen zur Ermittlung der Benchmarkzahl KGB**

Die Berechnungen der Luftaustrittstemperatur und der KGB-Zahl erfolgen in der Excel - Arbeitsmappe *KGB-Benchmarkzahl.xls*.

Diese Arbeitsmappe enthält jeweils drei Rechenblätter für Einrohranlagen und Registeranlagen für die drei Erdreichtemperaturen (10°C; 13°C; 16°C), siehe Kapitel 2.

In jedem dieser Rechenblätter werden alle Kombinationen der Parameter: Rohrlänge (30m; 60m; 100m; 150m; 200m; 250m; 300m; 350m; 400m), Volumenstrom (1000m<sup>3</sup>/h; 3000m<sup>3</sup>/h; 10000m<sup>3</sup>/h; 50000m<sup>3</sup>/h) und Rohrdurchmesser DN100, DN300, DN500, DN1000 (entsprechend den Rohrrinnendurchmessern 0,1m; 0,3m; 0,476m; 1,0m) für Einrohr- Anlagen berechnet. In drei weiteren Rechenblättern werden mit den oben benannten Parametern Registeranlagen bestehend aus 5 Rohren berechnet.

- Rechenblatt\_Einrohr\_TB=10°C
- Rechenblatt\_Einrohr\_TB=13°C
- Rechenblatt\_Einrohr\_TB=16°C
- Rechenblatt\_Register\_TB=10°C
- Rechenblatt\_Register\_TB=13°C
- Rechenblatt\_Register\_TB=16°C

Die mit Hilfe der Rechenblätter ermittelten Werte werden zur besseren Übersicht auf die für eine Benchmarkbetrachtung entscheidenden Größen reduziert und in folgenden Tabellen zusammengefasst.

- Zusammenf\_Einzelrohr\_1000m<sup>3</sup>h
- Zusammenf\_Einzelrohr\_3000m<sup>3</sup>h
- Zusammenf\_Einzelrohr\_10000m<sup>3</sup>h
- Zusammenf\_Einzelrohr\_50000m<sup>3</sup>h
- Zusammenf\_Register\_1000m<sup>3</sup>h
- Zusammenf\_Register\_3000m<sup>3</sup>h
- Zusammenf\_Register\_10000m<sup>3</sup>h
- Zusammenf\_Register\_50000m<sup>3</sup>h

In diesen nach dem Volumenstrom sortierten Blättern sind die Werte nach folgenden Kriterien aufgelistet:

- Bodentemperatur
- Rohrlänge
- Rohrdurchmesser

In diesen Rechenblättern werden die folgenden Randwerte und stofflichen Parameter verwendet (siehe **Tabelle 1**):

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Tabelle 1:** In den Berechnungen verwendete Parameter

Spalte	Bemerkung	Wert	Einheit
Lrohr	Länge der einzelnen Rohre beim Register	variiert	m
Temp Boden	Bodentemperatur um das Erdrohr	variiert	°C
Temp Luft ein	Temperatur der angesaugten Luft (Kühlfall)	30	°C
cp Luft	Enthalpie der Luft bei 20°C	1007	J/kgK
Ro Luft	Dichte der Luft bei 20°C	1,188	kg/m <sup>3</sup>
Pi		3,142	
Lambda Luft	Wärmeleitfähigkeit der Luft bei 20°C	2,569E-02	W/mK
kine Visko Luft	kinematische Viskosität der Luft bei 20°C	1,535E-05	m <sup>2</sup> /s
Lambda Erde	Wärmeleitfähigkeit des Bodens (feuchter Lehm)	1,45	W/mK
Lambda Rohr	Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials (KG- Rohr)	0,17	W/mK
d Erde	Durchmesser des rohrumschliessenden beeinflussten Erdreiches	Dra+ 1,4	m
dRi	Rohrinnendurchmesser	variiert	m
dRa	Rohraussendurchmesser	abhängig	m
V gesamt	gesamter Volumenstrom der Anlage	variiert	m <sup>3</sup> /h
V Einzelrohr	Volumenstrom pro Rohr	abhängig	m <sup>3</sup> /h
Rohranzahl	Anzahl der Registerrohre	5	
Pr	Prandtzahl	0,715	
Ta	Temperatur der austretenden Luft	Zielwert	°C
Q	Thermische Leistung der Anlage	abhängig	W
delta p	Druckverlust Rohr plus Filter, Krümmer und T- Stücke	abhängig	Pascal
Pvent	erforderliche elektrische Ventilatorantriebsleistung	abhängig	W
Epsilon	Leistungszahl der Anlage		
Qtherm - Pvent	Thermische Leistung abzüglich der elektrischen Ventilatorantriebsleistung	abhängig	W
KGB	Karsten Gabrysch Benchmarkzahl	Zielwert	W/m

## 5 Beispiel eines Benchmarkablaufs

Das nachfolgende Beispiel erläutert das Verfahren für den Kühlfall mit einer Luft Eintritts-temperatur von 30 °C mit den für feuchten Lehm als Erdreich entsprechenden Wärmeleitfähigkeitskennwerten.

Ausgangsgrößen:

Benötigter Volumenstrom = 1000 m<sup>3</sup>/h  
Benötigte Luftaustrittstemperatur = 19 °C

Die möglichen Anlagenvariationen befinden sich somit auf den Blättern:

- Zusammenf\_Einzelrohr\_1000m<sup>3</sup>h
- Zusammenf\_Register\_1000m<sup>3</sup>h

In diesen beiden Blättern sucht man nun die Anlagen heraus, die eine Luftaustrittstemperatur von 19°C liefern, oder knapp darunter liegen (hier dunkelgrau hinterlegt). Die Anlagen, die in diesem Beispiel mit ihrer Luftaustrittstemperatur weit unter den geforderten 19°C liegen, wären überdimensioniert.

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Tabelle 2:** Zusammenfassende Tabelle (Zusammenf\_Einzelrohr\_1000m³h) für Einrohranlagen mit bei einem Volumenstrom von 1000m³/h und einer Bodentemperatur von 10°C mit den zu betrachtenden Anlagen (grün)

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	V	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	m³/h	°C	W	Pascal	W		W/m
								Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	1000	25,81	1392,17	2871,33	1329,32	1,05	2,10
10	30	30	0,315	0,300	1000	25,00	1661,80	217,54	100,71	16,50	52,04
10	30	30	0,500	0,476	1000	24,87	1705,63	201,95	93,49	18,24	53,74
10	30	30	1,030	1,000	1000	24,94	1680,50	200,06	92,62	18,14	52,93
10	60	30	0,110	0,104	1000	22,98	2333,09	5542,66	2566,05	0,91	-1,00
10	60	30	0,315	0,300	1000	21,60	2791,64	235,08	108,83	25,65	44,71
10	60	30	0,500	0,476	1000	21,32	2884,65	203,89	94,39	30,56	46,50
10	60	30	1,030	1,000	1000	21,38	2863,60	200,11	92,65	30,91	46,18
10	100	30	0,110	0,104	1000	20,50	3157,24	9104,44	4215,02	0,75	-1,00
10	100	30	0,315	0,300	1000	18,76	3733,83	258,47	119,66	31,20	36,14
10	100	30	0,500	0,476	1000	18,27	3898,42	206,48	95,59	40,78	38,03
10	100	30	1,030	1,000	1000	18,09	3957,33	200,19	92,68	42,70	38,65
10	150	30	0,110	0,104	1000	18,48	3827,29	13556,65	6276,23	0,61	-1,00
10	150	30	0,315	0,300	1000	16,72	4413,20	287,71	133,20	33,13	28,53
10	150	30	0,500	0,476	1000	16,08	4627,23	209,73	97,10	47,66	30,20
10	150	30	1,030	1,000	1000	15,53	4808,53	200,29	92,73	51,86	31,44
10	200	30	0,110	0,104	1000	17,12	4281,26	18008,87	8337,44	0,51	-1,00
10	200	30	0,315	0,300	1000	15,47	4827,28	316,94	146,73	32,90	23,40
10	200	30	0,500	0,476	1000	14,81	5048,20	212,97	98,60	51,20	24,75
10	200	30	1,030	1,000	1000	14,01	5313,45	200,38	92,77	57,28	26,10
10	250	30	0,110	0,104	1000	16,13	4609,29	22461,09	10398,65	0,44	-1,00
10	250	30	0,315	0,300	1000	14,63	5108,74	346,18	160,27	31,88	19,79
10	250	30	0,500	0,476	1000	14,00	5317,30	216,21	100,10	53,12	20,87
10	250	30	1,030	1,000	1000	13,08	5621,11	200,48	92,81	60,56	22,11
10	300	30	0,110	0,104	1000	15,38	4857,40	26913,31	12459,87	0,39	-1,00
10	300	30	0,315	0,300	1000	14,01	5313,98	375,41	173,80	30,57	17,13
10	300	30	0,500	0,476	1000	13,43	5505,21	219,45	101,60	54,19	18,01
10	300	30	1,030	1,000	1000	12,50	5816,60	200,57	92,86	62,64	19,08
10	350	30	0,110	0,104	1000	14,80	5051,64	31365,53	14521,08	0,35	-1,00
10	350	30	0,315	0,300	1000	13,54	5470,70	404,65	187,34	29,20	15,10
10	350	30	0,500	0,476	1000	13,01	5645,07	222,70	103,10	54,75	15,83
10	350	30	1,030	1,000	1000	12,10	5947,37	200,67	92,90	64,02	16,73
10	400	30	0,110	0,104	1000	14,33	5207,82	35817,75	16582,29	0,31	-1,00
10	400	30	0,315	0,300	1000	13,17	5594,40	433,88	200,87	27,85	13,48
10	400	30	0,500	0,476	1000	12,69	5753,85	225,94	104,60	55,01	14,12
10	400	30	1,030	1,000	1000	11,83	6039,72	200,76	92,95	64,98	14,87

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Tabelle 3:** Zusammenfassende Tabelle (Zusammenf\_Einzelrohr\_1000m³h) für Einrohranlagen mit bei einem Volumenstrom von 1000m³/h und einer Bodentemperatur von 13°C mit den zu betrachtenden Anlagen (grün)

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	V	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	m³/h	°C	W	Pascal	W		W/m
								Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	1000	26,44	1183,35	2871,33	1329,32	0,89	-1,00
13	30	30	0,315	0,300	1000	25,75	1412,53	217,54	100,71	14,03	43,73
13	30	30	0,500	0,476	1000	25,64	1449,79	201,95	93,49	15,51	45,21
13	30	30	1,030	1,000	1000	25,70	1428,43	200,06	92,62	15,42	44,53
13	60	30	0,110	0,104	1000	24,03	1983,13	5542,66	2566,05	0,77	-1,00
13	60	30	0,315	0,300	1000	22,86	2372,90	235,08	108,83	21,80	37,73
13	60	30	0,500	0,476	1000	22,62	2451,95	203,89	94,39	25,98	39,29
13	60	30	1,030	1,000	1000	22,68	2434,06	200,11	92,65	26,27	39,02
13	100	30	0,110	0,104	1000	21,92	2683,65	9104,44	4215,02	0,64	-1,00
13	100	30	0,315	0,300	1000	20,45	3173,76	258,47	119,66	26,52	30,54
13	100	30	0,500	0,476	1000	20,03	3313,65	206,48	95,59	34,66	32,18
13	100	30	1,030	1,000	1000	19,88	3363,73	200,19	92,68	36,29	32,71
13	150	30	0,110	0,104	1000	20,21	3253,20	13556,65	6276,23	0,52	-1,00
13	150	30	0,315	0,300	1000	18,71	3751,22	287,71	133,20	28,16	24,12
13	150	30	0,500	0,476	1000	18,16	3933,14	209,73	97,10	40,51	25,57
13	150	30	1,030	1,000	1000	17,70	4087,25	200,29	92,73	44,08	26,63
13	200	30	0,110	0,104	1000	19,05	3639,07	18008,87	8337,44	0,44	-1,00
13	200	30	0,315	0,300	1000	17,65	4103,19	316,94	146,73	27,96	19,78
13	200	30	0,500	0,476	1000	17,09	4290,97	212,97	98,60	43,52	20,96
13	200	30	1,030	1,000	1000	16,41	4516,43	200,38	92,77	48,68	22,12
13	250	30	0,110	0,104	1000	18,21	3917,90	22461,09	10398,65	0,38	-1,00
13	250	30	0,315	0,300	1000	16,93	4342,43	346,18	160,27	27,09	16,73
13	250	30	0,500	0,476	1000	16,40	4519,71	216,21	100,10	45,15	17,68
13	250	30	1,030	1,000	1000	15,62	4777,94	200,48	92,81	51,48	18,74
13	300	30	0,110	0,104	1000	17,58	4128,79	26913,31	12459,87	0,33	-1,00
13	300	30	0,315	0,300	1000	16,41	4516,88	375,41	173,80	25,99	14,48
13	300	30	0,500	0,476	1000	15,92	4679,43	219,45	101,60	46,06	15,26
13	300	30	1,030	1,000	1000	15,12	4944,11	200,57	92,86	53,24	16,17
13	350	30	0,110	0,104	1000	17,08	4293,89	31365,53	14521,08	0,30	-1,00
13	350	30	0,315	0,300	1000	16,01	4650,10	404,65	187,34	24,82	12,75
13	350	30	0,500	0,476	1000	15,56	4798,31	222,70	103,10	46,54	13,41
13	350	30	1,030	1,000	1000	14,79	5055,27	200,67	92,90	54,42	14,18
13	400	30	0,110	0,104	1000	16,68	4426,65	35817,75	16582,29	0,27	-1,00
13	400	30	0,315	0,300	1000	15,69	4755,24	433,88	200,87	23,67	11,39
13	400	30	0,500	0,476	1000	15,28	4890,77	225,94	104,60	46,76	11,97
13	400	30	1,030	1,000	1000	14,55	5133,76	200,76	92,95	55,23	12,60

## Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

**Tabelle 4:** Zusammenfassende Tabelle (Zusammenf\_Einzelrohr\_1000m³h) für Einrohranlagen mit bei einem Volumenstrom von 1000m³/h und einer Bodentemperatur von 16°C mit den zu betrachtenden Anlagen (grün)

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	V	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	m³/h	°C	W	Pascal	W		W/m
								Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	1000	27,07	974,52	2871,33	1329,32	0,73	-1,00
16	30	30	0,315	0,300	1000	26,50	1163,26	217,54	100,71	11,55	35,42
16	30	30	0,500	0,476	1000	26,41	1193,94	201,95	93,49	12,77	36,68
16	30	30	1,030	1,000	1000	26,46	1176,35	200,06	92,62	12,70	36,12
16	60	30	0,110	0,104	1000	25,09	1633,17	5542,66	2566,05	0,64	-1,00
16	60	30	0,315	0,300	1000	24,12	1954,15	235,08	108,83	17,96	30,76
16	60	30	0,500	0,476	1000	23,92	2019,25	203,89	94,39	21,39	32,08
16	60	30	1,030	1,000	1000	23,97	2004,52	200,11	92,65	21,64	31,86
16	100	30	0,110	0,104	1000	23,35	2210,06	9104,44	4215,02	0,52	-1,00
16	100	30	0,315	0,300	1000	22,13	2613,68	258,47	119,66	21,84	24,94
16	100	30	0,500	0,476	1000	21,79	2728,89	206,48	95,59	28,55	26,33
16	100	30	1,030	1,000	1000	21,66	2770,13	200,19	92,68	29,89	26,77
16	150	30	0,110	0,104	1000	21,94	2679,10	13556,65	6276,23	0,43	-1,00
16	150	30	0,315	0,300	1000	20,70	3089,24	287,71	133,20	23,19	19,71
16	150	30	0,500	0,476	1000	20,25	3239,06	209,73	97,10	33,36	20,95
16	150	30	1,030	1,000	1000	19,87	3365,97	200,29	92,73	36,30	21,82
16	200	30	0,110	0,104	1000	20,98	2996,88	18008,87	8337,44	0,36	-1,00
16	200	30	0,315	0,300	1000	19,83	3379,10	316,94	146,73	23,03	16,16
16	200	30	0,500	0,476	1000	19,37	3533,74	212,97	98,60	35,84	17,18
16	200	30	1,030	1,000	1000	18,81	3719,41	200,38	92,77	40,09	18,13
16	250	30	0,110	0,104	1000	20,29	3226,50	22461,09	10398,65	0,31	-1,00
16	250	30	0,315	0,300	1000	19,24	3576,12	346,18	160,27	22,31	13,66
16	250	30	0,500	0,476	1000	18,80	3722,11	216,21	100,10	37,18	14,49
16	250	30	1,030	1,000	1000	18,16	3934,78	200,48	92,81	42,39	15,37
16	300	30	0,110	0,104	1000	19,77	3400,18	26913,31	12459,87	0,27	-1,00
16	300	30	0,315	0,300	1000	18,81	3719,79	375,41	173,80	21,40	11,82
16	300	30	0,500	0,476	1000	18,40	3853,65	219,45	101,60	37,93	12,51
16	300	30	1,030	1,000	1000	17,75	4071,62	200,57	92,86	43,85	13,26
16	350	30	0,110	0,104	1000	19,36	3536,15	31365,53	14521,08	0,24	-1,00
16	350	30	0,315	0,300	1000	18,48	3829,49	404,65	187,34	20,44	10,41
16	350	30	0,500	0,476	1000	18,11	3951,55	222,70	103,10	38,33	11,00
16	350	30	1,030	1,000	1000	17,47	4163,16	200,67	92,90	44,81	11,63
16	400	30	0,110	0,104	1000	19,03	3645,47	35817,75	16582,29	0,22	-1,00
16	400	30	0,315	0,300	1000	18,22	3916,08	433,88	200,87	19,50	9,29
16	400	30	0,500	0,476	1000	17,88	4027,69	225,94	104,60	38,51	9,81
16	400	30	1,030	1,000	1000	17,28	4227,80	200,76	92,95	45,49	10,34

### Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

**Tabelle 5:** Zusammenfassende Tabelle (*Zusammenf\_Register\_1000m³h*) für Registeranlagen mit bei einem Volumenstrom von 1000m³/h und einer Bodentemperatur von 10°C mit den zu betrachtenden Anlagen (grün)

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	18,67	3766,65	359,78	166,57	22,61	24,00
10	30	30	0,315	0,300	18,42	3846,84	201,05	93,08	41,33	25,03
10	30	30	0,500	0,476	19,03	3646,54	200,12	92,65	39,36	23,69
10	30	30	1,030	1,000	20,54	3143,47	200,00	92,59	33,95	20,34
10	60	30	0,110	0,104	15,39	4854,61	519,57	240,54	20,18	15,38
10	60	30	0,315	0,300	14,47	5159,95	202,10	93,56	55,15	16,89
10	60	30	0,500	0,476	14,67	5095,03	200,23	92,70	54,96	16,67
10	60	30	1,030	1,000	15,90	4684,84	200,01	92,60	50,59	15,31
10	100	30	0,110	0,104	13,62	5443,40	732,61	339,17	16,05	10,21
10	100	30	0,315	0,300	12,68	5756,61	203,50	94,21	61,10	11,32
10	100	30	0,500	0,476	12,50	5814,98	200,39	92,77	62,68	11,44
10	100	30	1,030	1,000	12,94	5668,43	200,01	92,60	61,22	11,15
10	150	30	0,110	0,104	12,57	5792,88	998,91	462,46	12,53	7,11
10	150	30	0,315	0,300	11,83	6039,00	205,25	95,02	63,55	7,93
10	150	30	0,500	0,476	11,57	6123,69	200,58	92,86	65,94	8,04
10	150	30	1,030	1,000	11,47	6159,22	200,02	92,60	66,51	8,09
10	200	30	0,110	0,104	11,99	5984,99	1265,22	585,75	10,22	5,40
10	200	30	0,315	0,300	11,40	6181,24	206,99	95,83	64,50	6,09
10	200	30	0,500	0,476	11,17	6255,89	200,78	92,95	67,30	6,16
10	200	30	1,030	1,000	10,90	6347,11	200,02	92,60	68,54	6,25
10	250	30	0,110	0,104	11,62	6106,49	1531,52	709,04	8,61	4,32
10	250	30	0,315	0,300	11,13	6269,03	208,74	96,64	64,87	4,94
10	250	30	0,500	0,476	10,95	6331,72	200,97	93,04	68,05	4,99
10	250	30	1,030	1,000	10,65	6429,75	200,03	92,61	69,43	5,07
10	300	30	0,110	0,104	11,37	6190,27	1797,83	832,33	7,44	3,57
10	300	30	0,315	0,300	10,95	6328,90	210,49	97,45	64,95	4,15
10	300	30	0,500	0,476	10,79	6382,28	201,16	93,13	68,53	4,19
10	300	30	1,030	1,000	10,52	6473,10	200,03	92,61	69,90	4,25
10	350	30	0,110	0,104	11,19	6251,54	2064,13	955,62	6,54	3,03
10	350	30	0,315	0,300	10,82	6372,36	212,24	98,26	64,85	3,59
10	350	30	0,500	0,476	10,68	6418,72	201,36	93,22	68,85	3,61
10	350	30	1,030	1,000	10,44	6499,94	200,04	92,61	70,19	3,66
10	400	30	0,110	0,104	11,05	6298,29	2330,44	1078,91	5,84	2,61
10	400	30	0,315	0,300	10,72	6405,35	213,99	99,07	64,66	3,15
10	400	30	0,500	0,476	10,60	6446,31	201,55	93,31	69,08	3,18
10	400	30	1,030	1,000	10,38	6518,72	200,05	92,61	70,39	3,21



### Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

**Tabelle 6:** Zusammenfassende Tabelle (*Zusammenf\_Register\_1000m<sup>3</sup>h*) für Registeranlagen mit bei einem Volumenstrom von 1000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 13°C mit den zu betrachtenden Anlagen (grün)

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	20,37	3201,65	359,78	166,57	19,22	20,23
13	30	30	0,315	0,300	20,16	3269,81	201,05	93,08	35,13	21,18
13	30	30	0,500	0,476	20,67	3099,56	200,12	92,65	33,46	20,05
13	30	30	1,030	1,000	21,96	2671,95	200,00	92,59	28,86	17,20
13	60	30	0,110	0,104	17,58	4126,42	519,57	240,54	17,15	12,95
13	60	30	0,315	0,300	16,80	4385,96	202,10	93,56	46,88	14,31
13	60	30	0,500	0,476	16,97	4330,77	200,23	92,70	46,72	14,13
13	60	30	1,030	1,000	18,02	3982,11	200,01	92,60	43,01	12,97
13	100	30	0,110	0,104	16,08	4626,89	732,61	339,17	13,64	8,58
13	100	30	0,315	0,300	15,28	4893,12	203,50	94,21	51,94	9,60
13	100	30	0,500	0,476	15,13	4942,73	200,39	92,77	53,28	9,70
13	100	30	1,030	1,000	15,50	4818,17	200,01	92,60	52,03	9,45
13	150	30	0,110	0,104	15,18	4923,95	998,91	462,46	10,65	5,95
13	150	30	0,315	0,300	14,55	5133,15	205,25	95,02	54,02	6,72
13	150	30	0,500	0,476	14,34	5205,14	200,58	92,86	56,05	6,82
13	150	30	1,030	1,000	14,25	5235,34	200,02	92,60	56,54	6,86
13	200	30	0,110	0,104	14,69	5087,24	1265,22	585,75	8,69	4,50
13	200	30	0,315	0,300	14,19	5254,05	206,99	95,83	54,83	5,16
13	200	30	0,500	0,476	14,00	5317,50	200,78	92,95	57,21	5,22
13	200	30	1,030	1,000	13,77	5395,05	200,02	92,60	58,26	5,30
13	250	30	0,110	0,104	14,38	5190,52	1531,52	709,04	7,32	3,59
13	250	30	0,315	0,300	13,96	5328,68	208,74	96,64	55,14	4,19
13	250	30	0,500	0,476	13,80	5381,96	200,97	93,04	57,84	4,23
13	250	30	1,030	1,000	13,55	5465,29	200,03	92,61	59,02	4,30
13	300	30	0,110	0,104	14,17	5261,73	1797,83	832,33	6,32	2,95
13	300	30	0,315	0,300	13,81	5379,56	210,49	97,45	55,20	3,52
13	300	30	0,500	0,476	13,68	5424,93	201,16	93,13	58,25	3,55
13	300	30	1,030	1,000	13,44	5502,13	200,03	92,61	59,41	3,61
13	350	30	0,110	0,104	14,01	5313,81	2064,13	955,62	5,56	2,49
13	350	30	0,315	0,300	13,70	5416,50	212,24	98,26	55,12	3,04
13	350	30	0,500	0,476	13,58	5455,91	201,36	93,22	58,53	3,06
13	350	30	1,030	1,000	13,37	5524,95	200,04	92,61	59,66	3,10
13	400	30	0,110	0,104	13,89	5353,54	2330,44	1078,91	4,96	2,14
13	400	30	0,315	0,300	13,62	5444,55	213,99	99,07	54,96	2,67
13	400	30	0,500	0,476	13,51	5479,36	201,55	93,31	58,72	2,69
13	400	30	1,030	1,000	13,33	5540,92	200,05	92,61	59,83	2,72

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Tabelle 7:** Zusammenfassende Tabelle (*Zusammenf\_Register\_1000m³h*) für Registeranlagen mit bei einem Volumenstrom von 1000m³/h und einer Bodentemperatur von 16°C mit den zu betrachtenden Anlagen (grün)

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	22,07	2636,66	359,78	166,57	15,83	16,47
16	30	30	0,315	0,300	21,90	2692,79	201,05	93,08	28,93	17,33
16	30	30	0,500	0,476	22,32	2552,58	200,12	92,65	27,55	16,40
16	30	30	1,030	1,000	23,38	2200,43	200,00	92,59	23,76	14,05
16	60	30	0,110	0,104	19,77	3398,23	519,57	240,54	14,13	10,53
16	60	30	0,315	0,300	19,13	3611,97	202,10	93,56	38,60	11,73
16	60	30	0,500	0,476	19,27	3566,52	200,23	92,70	38,47	11,58
16	60	30	1,030	1,000	20,13	3279,39	200,01	92,60	35,42	10,62
16	100	30	0,110	0,104	18,53	3810,38	732,61	339,17	11,23	6,94
16	100	30	0,315	0,300	17,87	4029,63	203,50	94,21	42,77	7,87
16	100	30	0,500	0,476	17,75	4070,48	200,39	92,77	43,88	7,96
16	100	30	1,030	1,000	18,06	3967,90	200,01	92,60	42,85	7,75
16	150	30	0,110	0,104	17,80	4055,02	998,91	462,46	8,77	4,79
16	150	30	0,315	0,300	17,28	4227,30	205,25	95,02	44,49	5,51
16	150	30	0,500	0,476	17,10	4286,58	200,58	92,86	46,16	5,59
16	150	30	1,030	1,000	17,03	4311,46	200,02	92,60	46,56	5,63
16	200	30	0,110	0,104	17,39	4189,49	1265,22	585,75	7,15	3,60
16	200	30	0,315	0,300	16,98	4326,87	206,99	95,83	45,15	4,23
16	200	30	0,500	0,476	16,82	4379,12	200,78	92,95	47,11	4,29
16	200	30	1,030	1,000	16,63	4442,98	200,02	92,60	47,98	4,35
16	250	30	0,110	0,104	17,14	4274,54	1531,52	709,04	6,03	2,85
16	250	30	0,315	0,300	16,79	4388,32	208,74	96,64	45,41	3,43
16	250	30	0,500	0,476	16,66	4432,20	200,97	93,04	47,64	3,47
16	250	30	1,030	1,000	16,46	4500,83	200,03	92,61	48,60	3,53
16	300	30	0,110	0,104	16,96	4333,19	1797,83	832,33	5,21	2,33
16	300	30	0,315	0,300	16,67	4430,23	210,49	97,45	45,46	2,89
16	300	30	0,500	0,476	16,56	4467,59	201,16	93,13	47,97	2,92
16	300	30	1,030	1,000	16,36	4531,17	200,03	92,61	48,93	2,96
16	350	30	0,110	0,104	16,83	4376,08	2064,13	955,62	4,58	1,95
16	350	30	0,315	0,300	16,58	4460,65	212,24	98,26	45,40	2,49
16	350	30	0,500	0,476	16,48	4493,11	201,36	93,22	48,20	2,51
16	350	30	1,030	1,000	16,31	4549,96	200,04	92,61	49,13	2,55
16	400	30	0,110	0,104	16,73	4408,80	2330,44	1078,91	4,09	1,66
16	400	30	0,315	0,300	16,51	4483,74	213,99	99,07	45,26	2,19
16	400	30	0,500	0,476	16,42	4512,41	201,55	93,31	48,36	2,21
16	400	30	1,030	1,000	16,27	4563,11	200,05	92,61	49,27	2,24

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

Alle grün markierten Anlagen sind hier noch mal zusammengestellt:

**Tabelle 8:** Ausgewählte Einzelrohranlagen mit hinreichenden Luftaustrittstemperaturen

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	V	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	m³/h	°C	W	Pascal	W		W/m
								Rohr+200Pa			
10	100	30	0,315	0,300	1000	18,76	3733,83	258,47	119,66	31,20	36,14
10	100	30	0,500	0,476	1000	18,27	3898,42	206,48	95,59	40,78	38,03
10	100	30	1,030	1,000	1000	18,09	3957,33	200,19	92,68	42,70	38,65
13	150	30	0,315	0,300	1000	18,71	3751,22	287,71	133,20	28,16	24,12
13	150	30	0,500	0,476	1000	18,16	3933,14	209,73	97,10	40,51	25,57
16	200	30	1,030	1,000	1000	18,81	3719,41	200,38	92,77	40,09	18,13
16	250	30	0,500	0,476	1000	18,80	3722,11	216,21	100,10	37,18	14,49
16	250	30	1,030	1,000	1000	18,16	3934,78	200,48	92,81	42,39	15,37
16	300	30	0,315	0,300	1000	18,81	3719,79	375,41	173,80	21,40	11,82
16	300	30	0,500	0,476	1000	18,40	3853,65	219,45	101,60	37,93	12,51
16	350	30	0,315	0,300	1000	18,48	3829,49	404,65	187,34	20,44	10,41
16	350	30	0,500	0,476	1000	18,11	3951,55	222,70	103,10	38,33	11,00
16	400	30	0,315	0,300	1000	18,22	3916,08	433,88	200,87	19,50	9,29

**Tabelle 9:** Ausgewählte 5er Registeranlagen mit hinreichenden Luftaustrittstemperaturen

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	18,67	3766,65	359,78	166,57	22,61	24,00
10	30	30	0,315	0,300	18,42	3846,84	201,05	93,08	41,33	25,03
10	30	30	0,500	0,476	19,03	3646,54	200,12	92,65	39,36	23,69
16	100	30	0,110	0,104	18,53	3810,38	732,61	339,17	11,23	6,94

Nun vergleicht man die KGB-Zahlen der ausgewählten Anlagen getrennt nach Einrohranlage oder Registeranlage.

Als „beste“ Anlage der Einrohranlagen schneidet die dritte Anlage ab. Sie hat die höchste KGB-Zahl. Das heißt, dass sie nach der Definition der KGB-Zahl über höchsten thermischem Energiegewinn pro Meter Rohrlänge verfügt. Die erste und die zweite Anlage haben ebenfalls hohe KGB-Zahlen, aber unterscheiden sich in den Rohrdurchmessern. Zusätzlich zu der Bewertung nach der KGB-Zahl sollte man die Durchmesser der Rohre und die Verlegetiefen der Anlage im Auge behalten, die höhere Kosten verursachen würden.

Betrachtet man nun die Registeranlagen, so liefern die ersten drei Anlagen mit nahezu gleichen KGB-Zahlen die besten Ergebnisse.

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

---

Ob man sich jetzt für die Einrohranlage entscheidet, oder die Registeranlage hängt von den baulichen Möglichkeiten ab, die vorhanden sind. Für die „beste“ Einrohranlage sind 100m DN1000 Rohr erforderlich. Für die Registeranlage sind insgesamt 150m DN 300 Rohr erforderlich, zuzüglich T- Stücke und Rohrbögen. Die „beste“ Einrohranlage und die Registeranlage müssen beide in der selben Tiefe verlegt werden. Dafür ist die Aushubfläche des Registers größer als bei der Einrohranlage. Eine endgültige Entscheidung ob Register- oder Einrohranlage liegt bei dem Planer und sollte auf jeden Fall auf einer dynamischen Simulation der hier mit einem statischen Verfahren selektierten Anlagen basieren.

Falls nach der Durchführung eines Benchmarkvergleiches keine Anlage die Bedingung der geforderten Luftaustrittstemperatur erfüllt, oder sich die erforderlichen Parameter einer Anlage nicht mit den vorhandenen räumlichen Umständen in Einklang bringen lassen, sollte man die Möglichkeit der unterstützenden Funktion als Luftvorwärmung für eine Heizungsanlage oder Luftvorkühlung vor einem nachgeschalteten Klimagerät nicht außer Acht lassen. Denn auch in unterstützender Funktion kann ein Luft- Erdwärmetauscher noch die Heizkosten, oder die elektrischen Betriebskosten zur Luftkühlung reduzieren. Ein Nachheizregister oder eine nachgeschaltete Klimaanlage kann dementsprechend kleiner ausfallen, und somit kann auch die Umwelt durch eine Einsparung von Primärenergieträgern entlastet werden.

## **6 Literatur**

- [Gab00] Gabrysch K., Benchmarkverfahren für Luft- Erdwärmetauscher, Diplomarbeit, Jülich, Solar –Institut Jülich Fachhochschule Aachen, 2000
- [Jäger 81] Jäger, F. et. al., Überprüfung eines Erdwärmespeichers, Forschungsbericht T81200, Bonn, BmFT, 1981
- [Grigull 90] Grigull, Ulrich; Sandner, Heinrich, Wärme- und Stoffübertragung, 2.Auflage, Berlin, Springer Verlag 1990
- [Reck97] Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, München, Oldenbourg Verlag, 1997

## 7 Anhang

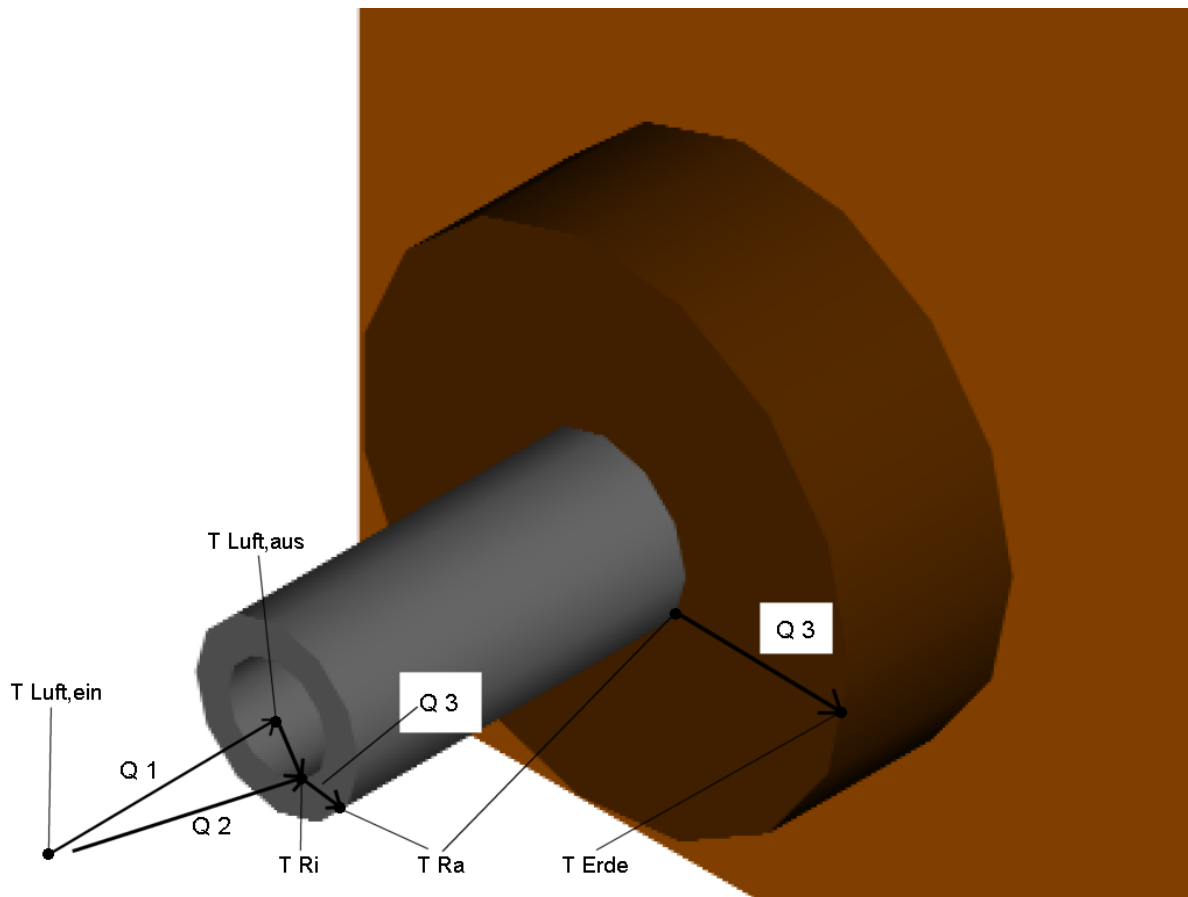
### Verwendete Formeln

Das Rechenmodell operiert in zwei Schritten.

1. Es wird der benötigte Wärmestrom berechnet, der die einströmende Luft von einer gegebenen Lufteintrittstemperatur auf eine benötigte Luftaustrittstemperatur kühlt, bzw. erwärmt.
2. Mit dem berechneten Wärmestrom wird für gewählte Rohrdurchmesser unter Vorgabe einer Erdtemperatur die benötigte Rohrlänge für die angestrebte Luftaustrittstemperatur berechnet. Hierbei wird der Wärmeübergang zwischen strömender Luft und Rohrrinnenwand und die Wärmeleitung zwischen Rohrrinnenwand und ungestörtem Erdreich berücksichtigt.

Die folgend beschriebenen Formeln gelten für den Kühlfall. Für den Heizfall ist analog zu verfahren. (siehe **Abbildung 1**)

**Abbildung 1:** Bilanz der Wärmeströme nach Gleichung 2, Gleichung 5 und Gleichung 11.



**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**Wärmestrom aus der strömenden Luft

Der im Kühlfall abzuführende Wärmestrom aus der strömenden Luft wird mittels der Formel:

$$\dot{Q}_1 = c_{pLuft} \cdot \rho_{Luft} \cdot \dot{V}_{Luft} \cdot (T_{Luft, ein} - T_{Luft, aus}) \quad [W] \quad \text{Gleichung 2}$$

mit:

$\dot{V}_{Luft}$	Volumenstrom Luft	[m/s]
$\rho_{Luft}$	Dichte Luft	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c_{pLuft}$	spezifische Wärmekapazität Luft	[kJ/(kgK)]
$T_{Luft, aus}$	Temperatur Luftaustritt	[°C]
$T_{Luft, ein}$	Temperatur Luft Eintritt	[°C]

aus dem Volumenstrom, der Dichte, der Wärmekapazität und der Temperaturdifferenz der strömenden Luft berechnet.

Wärmeübergang zwischen Luft und Rohrwand

Der Wärmeübergang von bewegter Luft mit der mittleren Temperatur  $T_{Luft}$  an die Rohrwand mit der Temperatur  $T_{Ri}$  ist für konstante Temperaturen definiert durch:

$$\dot{Q}_2 = \alpha_{Luft} \cdot d_{Ri} \cdot \pi \cdot l \cdot (T_{Luft} - T_{Ri}) \quad [W] \quad \text{Gleichung 3}$$

mit:

$\alpha_{Luft}$	Wärmeübergangskoeffizient der Luft	[W/(m <sup>2</sup> K)]
$d_{Ri}$	Rohrinnendurchmesser	[m]
$T_{Ri}$	Temperatur der Rohrwand	[°C]
$T_{Luft}$	Temperatur der Luft	[°C]
$l$	Rohrlänge	[m]

Ist die Temperatur der strömenden Luft entlang der Strecke  $l$  nicht konstant, wie dies im L-EWT mit der Eintrittstemperatur  $T_{Luft, ein}$  und der Austrittstemperatur  $T_{Luft, aus}$  der Fall ist, muss anstelle der Temperaturdifferenz  $T_{Luft} - T_{Ri}$  mit der logarithmischen Temperaturdifferenz  $\Delta T_{LN}$ <sup>4</sup> gerechnet werden. Zur Verwendung dieser Formel wird vereinfacht vorausgesetzt, dass die Temperatur der Rohrwand  $T_{Ri}$  konstant ist.

$$\Delta T_{LN} = \frac{(T_{Ri} - T_{Luft, aus}) - (T_{Ri} - T_{Luft, ein})}{\ln\left(\frac{T_{Ri} - T_{Luft, aus}}{T_{Ri} - T_{Luft, ein}}\right)} \quad [K] \quad \text{Gleichung 4}$$

mit:

$\Delta T_{LN}$	logarithmische Temperaturdifferenz	[K]
-----------------	------------------------------------	-----

damit wird aus Gleichung 3:

<sup>4</sup> Dies ist die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Rohrwand und Luft, die sich bei einem exponentiellen Temperaturverlauf der strömenden Luft einstellt.

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

$$\dot{Q}_2 = \alpha_{Luft} \cdot d_{Ri} \cdot \pi \cdot l \cdot \Delta T_{LN} \quad [W] \quad \text{Gleichung 5}$$

Die entscheidende Größe für den Wärmeübergang ist der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_{Luft}$  der von vielen Faktoren abhängt. Diese sind die Rohrgeometrien wie Durchmesser und Länge, die Strömungsgeschwindigkeit, die Art der Strömung (turbulent oder laminar), die Eigenschaften des Strömungsmediums (kinematische Viskosität  $\nu_{Luft}$ ), der Wärmeleitfähigkeit und der Temperaturleitfähigkeit.

Die Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten ist bisher nur für einfache Fälle rechnerisch lösbar (vgl. [Cer96]). Mit Hilfe experimenteller Ermittlung und der von Nusselt begründeten Ähnlichkeitstheorie des Wärmeübergangs kann dieser für viele Fälle bestimmt werden.

Gelingt es, die dimensionslose Form des Wärmeübergangskoeffizienten Nu zu ermitteln, so kann hieraus der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_{Luft}$  berechnet werden:

$$Nu = \frac{\alpha_{Luft} \cdot d_{Ri}}{\lambda_{Luft}} \quad \text{Gleichung 6}$$

Bei erzwungener Konvektion ist die Nusselt-Zahl eine Funktion der ebenfalls dimensionslosen Reynolds- und Prandtl-Zahl.

$$Nu = \frac{(\xi/8) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot \sqrt{\xi/8} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{d_{Ri}}{l} \right)^{2/3} \right] \quad \text{Gleichung 7}$$

Nach Gnielinski [Gniel95]  
mit:

$$\xi = (1,8 \cdot \log_{10} Re - 1,5)^{-2} \quad \text{Gleichung 8}$$

im Bereich von:

$$10^4 \leq Re \leq 10^6 \quad 0,6 \leq Pr \leq 1000 \quad \frac{d_{Ri}}{l} \leq 1$$

Allgemein gilt:

$$Re = \frac{w \cdot d_{Ri}}{\nu_{Luft}} \quad \text{Gleichung 9}$$

$$Pr = \frac{\nu_{Luft}}{\alpha_{Luft}} \quad \text{Gleichung 10}$$

darin sind:

Nu	Nusselt-Zahl	
$\lambda_{Luft}$	Wärmeleitfähigkeit des strömenden Mediums	[W/(mK)]
Re	Reynoldszahl	
Pr	Prandtlzahl	
w	Strömungsgeschwindigkeit	[m/s]



**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

---

$\nu$	kinematische Viskosität	$[\text{m}^2/\text{s}]$
$\alpha$	Temperaturleitfähigkeit	$[\text{m}^2/\text{s}]$
$\xi$	Widerstandsbeiwert	

Zur rechnerischen Bestimmung des Wärmestromes zwischen strömender Luft und ungestörtem Erdreich mit den Formeln Gleichung 3 und Gleichung 4 ist eine konstante Temperatur der Rohrwand  $T_{\text{Ri}}$  erforderlich. Im vorliegenden Fall ändert sich die Temperatur  $T_{\text{Ri}}$  aber entlang des Rohres. Erst die Temperatur des ungestörten Erdreiches ist konstant. Somit muss die Wärmeleitung zwischen Rohrwand und ungestörtem Erdreich mit in die Berechnung einbezogen werden.

## Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

### Wärmeleitung zwischen Rohrrinnenwand und Erdreich

Verwendung findet die Formel für die Wärmeleitung durch einen mehrschichtigen Hohlzylinder, wobei die einzelnen Schichten aus der Wanddicke des Rohres ( $d_{Ra} - d_{Ri}$ ) und der Wanddicke des umliegenden Erdreichs („rohres“ ( $d_{R,Erde} - d_{Ra}$ )) bestehen. (siehe **Abbildung 1**)

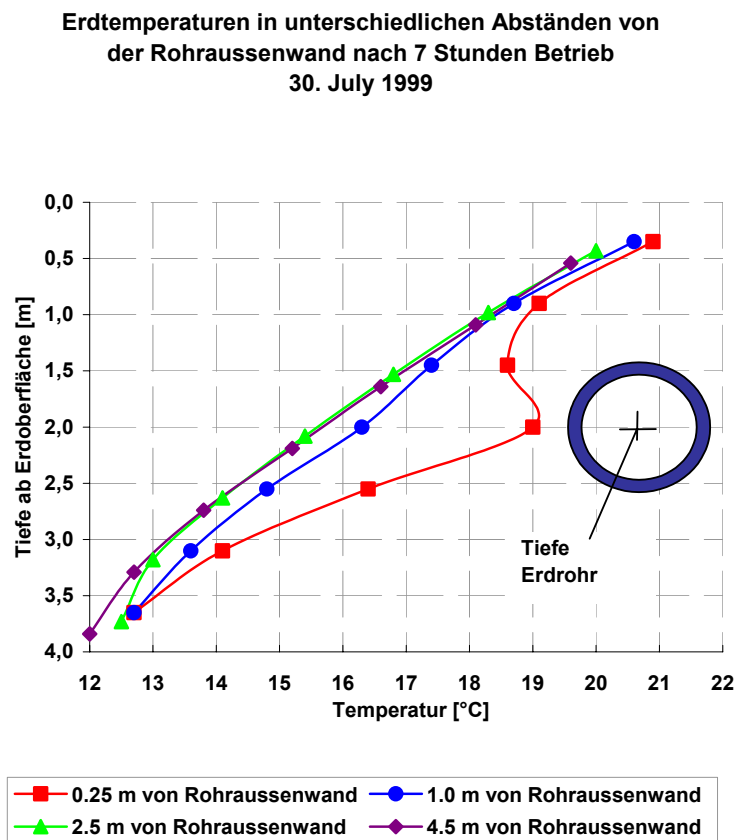
$$\dot{Q}_3 = \frac{1}{0,5 \cdot \left[ \frac{1}{\lambda_{Rohr}} \cdot \ln\left(\frac{d_{Ra}}{d_{Ri}}\right) + \frac{1}{\lambda_{Erde}} \cdot \ln\left(\frac{d_{R,Erde}}{d_{Ra}}\right) \right]} \cdot \pi \cdot l \cdot (T_{ri} - T_{Erde}) \quad \text{Gleichung 11}$$

mit:

$d_{Ra}$	Durchmesser Rohr, aussen	[m]
$d_{R, Erde}$	Durchmesser Erdrohr	[m]
$T_{Erde}$	Temperatur ungestörtes Erdreich	[°C]

Da der Abstand des als ungestört zu betrachtenden Erdreiches von Parametern, wie z.B. der Feuchte, der Art des Erdreiches, der Dichte und der Kornstruktur abhängt, wurde aufgrund folgender Auswertung der Messwerte des L- EWT des Auditoriums des Solar Campus Jülich, siehe **Abbildung 2**, ein Abstand von 1,3 m gewählt.

**Abbildung 2:** Einfluss des Erdrohres auf die Bodentemperaturen in verschiedenen Abständen nach sieben Stunden Betriebszeit mit einem Volumenstrom von 12.000m<sup>3</sup>/h.



In dem in **Abbildung 2** dargestellten Kühlfall wurden die Erdreichtemperaturen nach 7 h Betriebszeit in unterschiedlicher Entfernung zum Erdrohr verglichen. Der Einfluss des Erdreiches, in Abhängigkeit von der Entfernung zum Rohr, ist deutlich zu erkennen. Bereits 1,0

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

m vom Rohr entfernt wird das Erdreich nur noch minimal gestört. In 2,5 m Entfernung hat das Erdrohr keinen direkten Einfluss mehr auf das Erdreich.

Da die Rohrdurchmesser von L- EWT- Anlagen bisher nur im Ausnahmefall über einem Meter liegen, sind die verwendeten 1,3 m Abstand für alle kleineren Rohrdurchmesser  $d_{Rohr} \leq 1 \text{ m}$  als hinreichend zu betrachten.

Der Wärmestrom für Gleichung 2, Gleichung 5 und Gleichung 11 ist identisch:

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \dot{Q}_3 \quad [\text{W}] \quad \text{Gleichung 12}$$

$\dot{Q}_1$  wird in die nach der Rohrintemperatur umgestellten Formeln: Gleichung 5 und Gleichung 11 eingesetzt.

Aus Gleichung 5 folgt mit eingesetztem  $\dot{Q}_1$  für  $\dot{Q}_2$ :

$$T_{Ri} = \frac{T_{Luft, aus} - T_{Luft, ein} \cdot e^{\left( \frac{\pi \cdot l \cdot \alpha_{Luft} \cdot d_{Ri}}{c p_{Luft} \cdot \rho_{Luft} \cdot \dot{V}_{Luft}} \right)}}{1 - e^{\left( \frac{\pi \cdot l \cdot \alpha_{Luft} \cdot d_{Ri}}{c p_{Luft} \cdot \rho_{Luft} \cdot \dot{V}_{Luft}} \right)}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \text{Gleichung 13}$$

Der Ausdruck  $e^{\left( \frac{\pi \cdot l \cdot \alpha_{Luft} \cdot d_{Ri}}{c p_{Luft} \cdot \rho_{Luft} \cdot \dot{V}_{Luft}} \right)}$  wird nachfolgend zur besseren Übersichtlichkeit als  $e^{(\dots)}$  vereinfacht weitergeführt.

aus Gleichung 11 folgt mit eingesetztem  $\dot{Q}_1$  für  $\dot{Q}_3$ :

$$T_{Ri} = \frac{0,5 \cdot \left[ \frac{1}{\lambda_{Rohr}} \cdot \ln \left( \frac{d_{Ra}}{d_{Ri}} \right) + \frac{1}{\lambda_{Erde}} \cdot \ln \left( \frac{d_{R, Erde}}{d_{Ra}} \right) \right] \cdot c p_{Luft} \cdot \rho_{Luft} \cdot \dot{V}_{Luft} \cdot (T_{Luft, ein} - T_{Luft, aus})}{\pi \cdot l} + T_{Erde} \quad \text{Gleichung 14}$$

Der Ausdruck  $0,5 \cdot \left[ \frac{1}{\lambda_{Rohr}} \cdot \ln \left( \frac{d_{Ra}}{d_{Ri}} \right) + \frac{1}{\lambda_{Erde}} \cdot \ln \left( \frac{d_{R, Erde}}{d_{Ra}} \right) \right]$  wird nachfolgend zur besseren Übersichtlichkeit als  $0,5 \cdot [\dots]$  vereinfacht weitergeführt.

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

durch Gleichsetzen von Gleichung 12 und Gleichung 13 und somit Elimination von  $T_{Ri}$  ergibt sich mit:

$$\frac{T_{Luft, aus} - T_{Luft, ein} \cdot e^{(\dots)}}{1 - e^{(\dots)}} = \frac{0,5 \cdot [\dots] \cdot cp_{Luft} \cdot \rho_{Luft} \cdot \dot{V}_{Luft} \cdot (T_{Luft, ein} - T_{Luft, aus})}{\pi \cdot l} + T_{Erde} \quad \text{Gleichung 15}$$

Nach Auflösen nach  $T_{Luft, aus}$  erhält man die Möglichkeit, für einen gewählten Rohrdurchmesser die Luftaustrittstemperatur für jede beliebige Länge (innerhalb der für die Nusseltzahl gegebenen Gültigkeitsbereiche) einer L- EWT- Anlage auszurechnen.

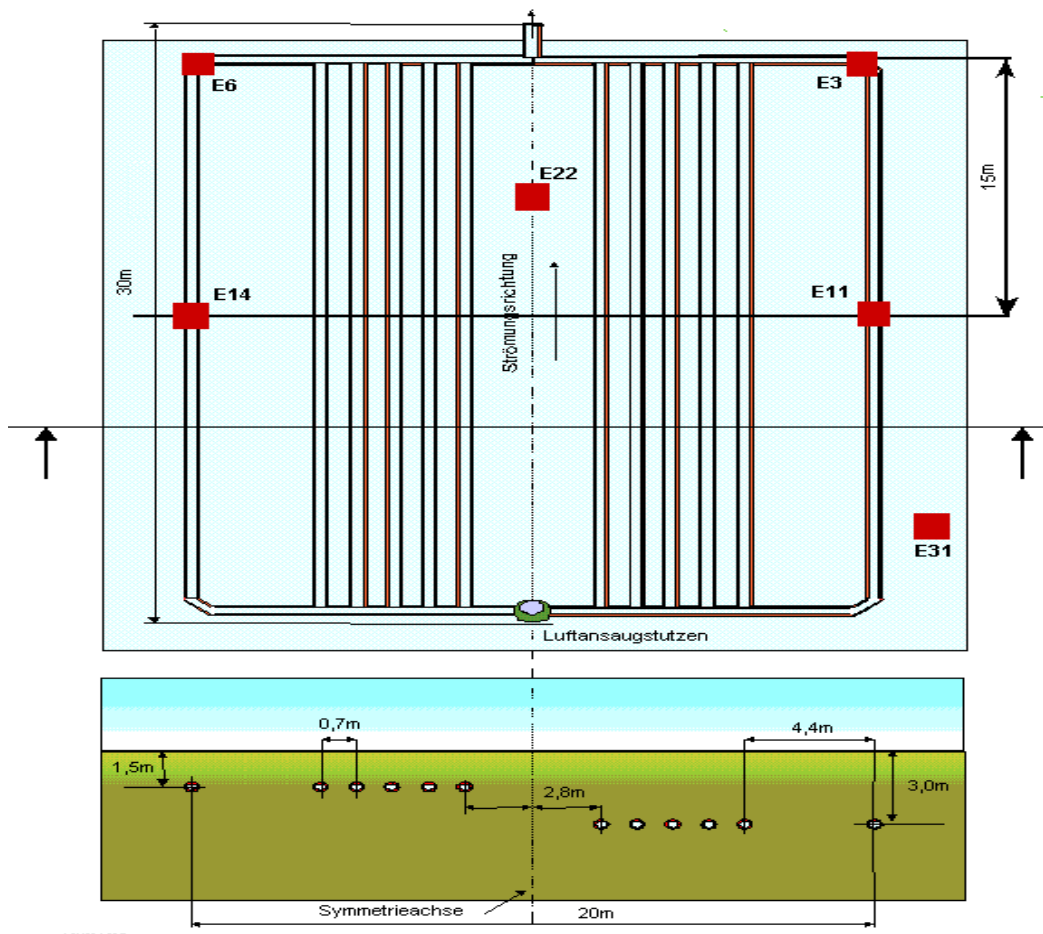
$$T_{Luft, aus} = \frac{T_{Luft, ein} \cdot \left( \pi \cdot l + 0,5 \cdot [\dots] \cdot cp_{Luft} \cdot \rho_{Luft} \cdot \dot{V}_{Luft} \cdot \left( e^{(\dots)} - 1 \right) \right) - T_{Erde} \cdot \left( 1 - e^{(\dots)} \right) \cdot \pi \cdot l}{\pi \cdot l \cdot e^{(\dots)} + 0,5 \cdot [\dots] \cdot cp_{Luft} \cdot \rho_{Luft} \cdot \dot{V}_{Luft} \cdot \left( e^{(\dots)} - 1 \right)} \quad \text{.....Gleichung 16}$$

Mit .....Gleichung 16 werden für jeden Anlagen- Parameter mittels eines Tabellenkalkulationsprogrammes Kurvenscharen als Diagramm erzeugt. Der laufende Parameter dieser Diagramme (x- Achse) ist immer die Rohrlänge. Die Einzelkurven jeder Schar unterscheiden sich in dem variierten Parameter. Der Zielwert (y- Achse) ist die Luftaustrittstemperatur.

## Validierung des Rechenmodells

Als Basis für die Überprüfung des im vorherigen Kapitel vorgestellten Rechenmodells dienen die Messwerte der L- EWT- Anlage des DLR- Köln, (siehe **Abbildung 3**). Diese Anlage bietet sich an, da sie in ihrer Ausführung, d. h. im Rohrdurchmesser, im Rohrmaterial, in der Länge und im Volumenstrom pro Einzelrohr für kleinere bis mittlere Gebäudegrößen interessant ist und detaillierte Messdaten zur Verfügung stehen. Für die Validierung werden die Messdaten der beiden Einzelrohre in 3m Tiefe und 1,5 m Tiefe verwendet.

**Abbildung 3:** Lageplan der L- EWT- Anlage des DLR in Köln



Die für die Validierung betrachtete Rohrlänge des L- EWT beträgt nur 15 m, da aufgrund der Anordnung der Temperatursensoren das L-EWT- Rohr nur von Mitte Rohr bis Anfang Sammelrohr vermessen wird.

An folgenden Messpunkten wurden die Temperaturen aufgenommen

**Tabelle 10:** Zuordnung der Messgrößen zu den Sensoren der DLR- Anlage.

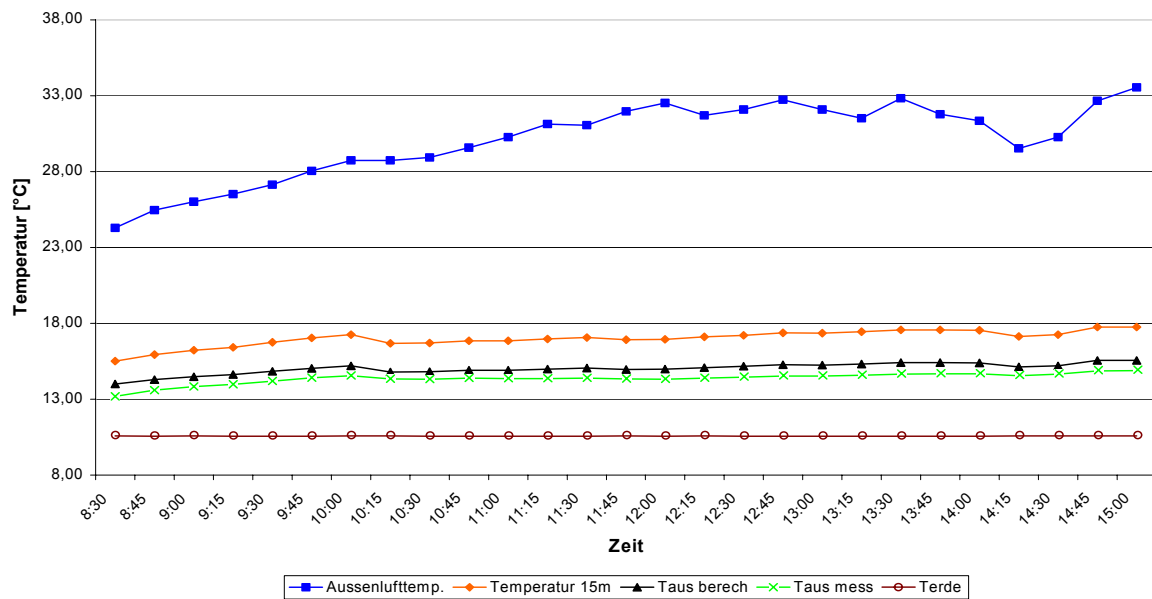
Meßgröße	3m Tiefe	1,5m Tiefe
Aussenlufttemperatur	N4	N4
Temperatur ungestörtes Erdreich; T <sub>Erde</sub>	E11	E34
Temperatur 15m	E11	E14
Temperatur 30m; Taus, mess	E3	E6

## Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

Für die Validierung werden viertelstündliche Messwerte eines Tages für eine Kühlperiode und eine Heizperiode des Jahres 1996 verwendet. Um die Wirksamkeit des L-EWT beurteilen zu können wurden Tage mit einer der Jahreszeit entsprechenden Extremtemperatur verwendet. Die betrachteten Zeiträume entsprechen den in Kapitel 0 angegebenen Randbedingungen.

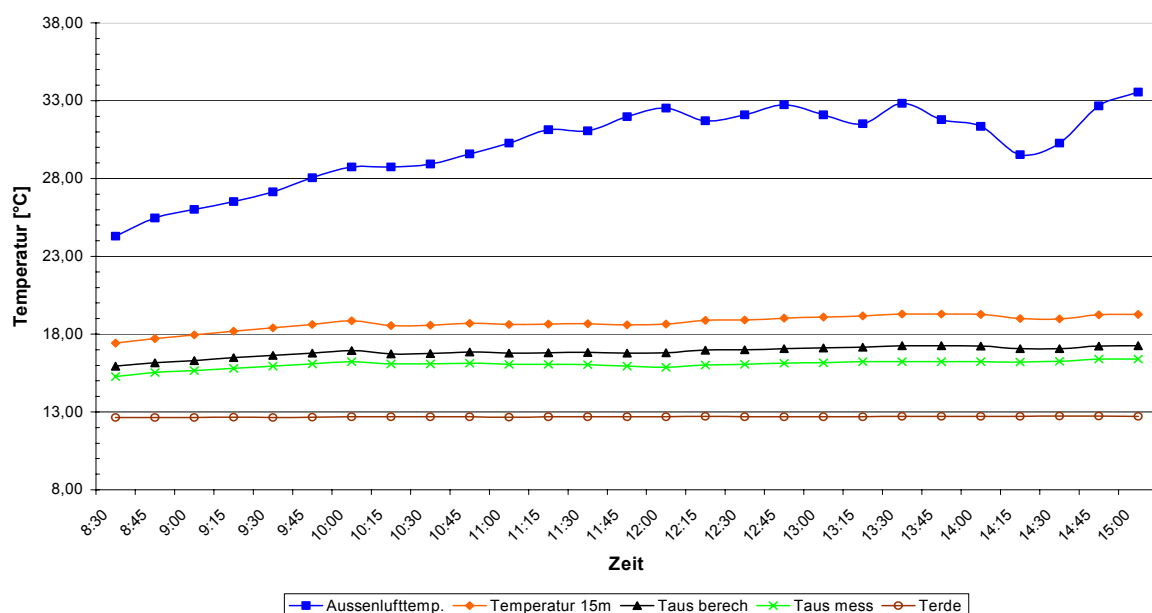
**Diagramm 1:** Vergleich der berechneten und der gemessenen Austrittstemperatur an einem heißen Sommertag mit der Spitzentemperatur von 31,1°C bei einer Rohrverlegetiefe von 3m, einem Rohrdurchmesser von 0,3 m und einem Volumenstrom von 300m<sup>3</sup>/h.

Gemessene und berechnete Austrittstemperatur 07.06.1996 3m Tiefe



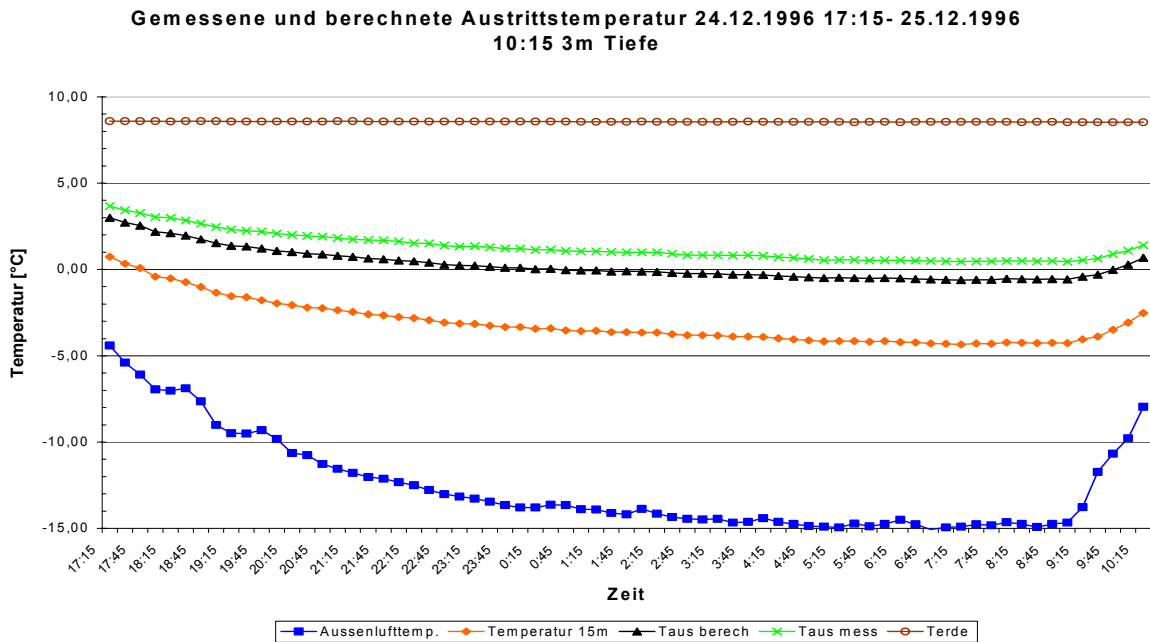
**Diagramm 2:** Vergleich der berechneten und der gemessenen Austrittstemperatur an einem heißen Sommertag mit der Spitzentemperatur von 31,1°C bei einer Rohrverlegetiefe von 1,5m, einem Rohrdurchmesser von 0,3 m und einem Volumenstrom von 300m<sup>3</sup>/h.

Gemessene und berechnete Austrittstemperatur 07.06.1996 1,5m Tiefe

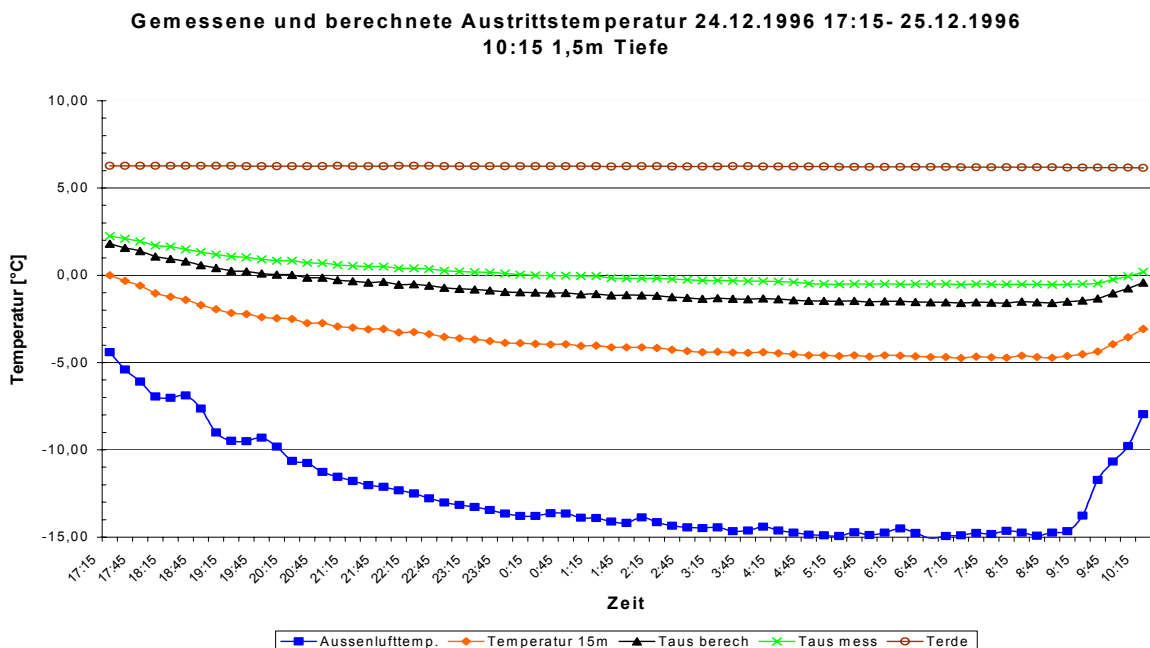


## Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

**Diagramm 3:** Vergleich der berechneten und der gemessenen Austrittstemperatur an einem kalten Wintertag mit der Minimaltemperatur von  $-15^{\circ}\text{C}$  bei einer Rohrverlegetiefe von 1,5m, einem Rohrdurchmesser von 0,3m und einem Volumenstrom von  $300\text{m}^3/\text{h}$ .



**Diagramm 4 :** Vergleich der berechneten und der gemessenen Austrittstemperatur an einem kalten Wintertag mit der Minimaltemperatur von  $-15^{\circ}\text{C}$  bei einer Rohrverlegetiefe von 1,5m, einem Rohrdurchmesser von 0,3m und einem Volumenstrom von  $300\text{m}^3/\text{h}$ .



Die berechneten Austrittstemperaturen in Diagramm 1 bis Diagramm 4 haben eine maximale Abweichung zu den gemessenen Austrittstemperaturen von 1,2 Kelvin. Die berechnete Austrittstemperatur ist im Kühlfall (siehe Diagramm 1 und Diagramm 2) größer als die gemessene Temperatur und im Heizfall (siehe Diagramm 3 und Diagramm 4) kleiner. Dies bedeutet, dass man im Fall einer Abschätzung einer L- EWT- Anlage mit dem benutzten Rechenmodell ein schlechteres Ergebnis bekommt, als tatsächlich vorhanden ist. In den

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

---

Bereichen einer sich stark ändernden Außenlufttemperatur weisen die berechneten Werte der Austrittstemperatur eine weniger starke Dämpfung auf, als die gemessenen. Dies liegt daran, dass das Rechenmodell keine Wärmekapazitäten, d.h. keine Trägheiten berücksichtigt.

Verwendet man das Rechenmodell für die Abschätzung der maximalen Leistung eines L-EWT, liegt man aufgrund der konservativen berechneten Werte auf der sicheren Seite.



## Zuordnung der Erdreichtemperaturen zu den entsprechenden Verlegetiefen

Die den Erdreichtemperaturen entsprechenden Verlegetiefen  $z$  der Luft- Erdwärmetauscheranlage ergeben sich aus der vor Ort vorhandenen Art des Erdbodens, der Klimaregion und dem betrachteten Zeitraum des Jahres.

**Tabelle 11:** Bodenklassen und deren Kennwerte nach [Jäger81]

Bodenart	Bodentyp	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ ( W/(m <sup>2</sup> K) )	Dichte $\rho$ ( kg/m <sup>3</sup> )	Wärmekapazität $c_p$ ( J/(kg K) )	Temperaturleitfähigkeit $a$ ( m <sup>2</sup> /s )
Sand trocken	1	0,70	1500	922	$5,06 \cdot 10^{-7}$
Sand feucht	2	1,88	1500	1199	$10,45 \cdot 10^{-7}$
Lehm feucht	3	1,45	1800	1339	$6,02 \cdot 10^{-7}$
Lehm gesättigt	4	2,90	1800	1591	$10,13 \cdot 10^{-7}$

Zur Ermittlung der Erdtemperaturen werden zunächst die Monatsmittelwerte der Umgebungstemperatur mittels der Kosinusfunktion:

$$T_a = T_{a, \text{mittel}} + (T_{a, \text{max}} - T_{a, \text{mittel}}) \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{t}{t_0} - \varphi_0\right) \quad \text{Gleichung 17}$$

berechnet.

$T_a$	Umgebungstemperatur	[°C]
$T_{a, \text{mittel}}$	Jahresmittelwert der Umgebungstemperatur	[°C]
$T_{a, \text{max}}$	maximaler Monatsmittelwert der Umgebungstemperatur	[°C]
$t$	Zeit ab Jahresanfang	[Monate]
$t_0$	Periodendauer ein Jahr	[Monate]
$\varphi_0$	Phasenverschiebung des maximalen Monatsmittelwertes gegenüber dem Jahresanfang	[Monate]

Die Lufttemperatur und die solare Einstrahlung regt das Erdreich mit der Frequenz 1/1 Jahr periodisch an. Die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen an der Erdoberfläche pflanzen sich nur stark gedämpft fort und klingen mit zunehmender Tiefe ab. Mittels der nachfolgend dargestellten Gleichung stellen Grigull und Sandner in [Grigull90] ein Modell zur Berechnung der ungestörten Erdreichtemperatur in Abhängigkeit der Tiefe  $z$  vor.

$$T_{\text{Erde}}(\xi, t) = T_{a, \text{mittel}} + \frac{(T_{a, \text{max}} - T_{a, \text{mittel}}) \cdot \exp(-\xi)}{\sqrt{1 + 2\beta + 2\beta^2}} \cos\left(\frac{2\pi \cdot t}{t_0} - \varphi_0 - \varepsilon - \xi\right) \quad \text{Gleichung 18}$$

mit:

$$\xi = z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{\alpha_{\text{Erde}} \cdot t_0}} \quad \beta = \frac{\lambda_{\text{Erde}}}{\alpha_{\text{obj}}} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{\alpha_{\text{Erde}} \cdot t_0}} \quad \varepsilon = \arctan\left(\frac{\beta}{1 + \beta}\right)$$

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

mit:

$T_{\text{Erde}}(\xi, t)$	Erdtemperatur in der Tiefe $z$ zum Zeitpunkt $t$	[°C]
$a_{\text{Erde}}$	Temperaturleitfähigkeit	[m <sup>2</sup> /s]
$\lambda_{\text{Erde}}$	Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens	[W/(mK)]
$\alpha_{\text{obf}}$	Wärmeübergangskoeffizient zwischen Erde und Luft	[W/(m <sup>2</sup> K)]

Der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_{\text{obf}}$  wird nach [Feist93] in Abhängigkeit der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit  $v_{\text{Wind}}$  für erzwungene Konvektion folgendermaßen angegeben:

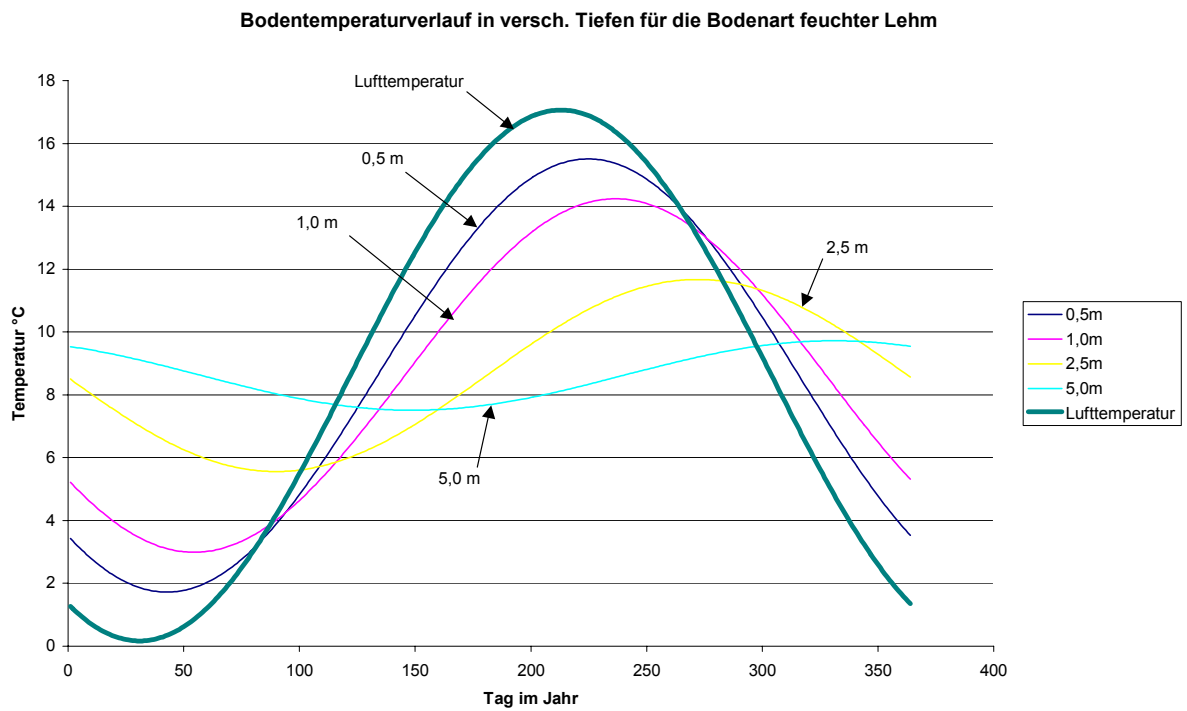
$$\alpha_{\text{obf}} = \begin{cases} 1,8 + 4,1 \cdot v_{\text{Wind}} / (\text{m/s}), & \text{für } v_{\text{Wind}} \leq 5 \text{ m/s} \\ 7,3 \cdot v_{\text{Wind}}^{0,73} / (\text{m/s}), & \text{für } v_{\text{Wind}} > 5 \text{ m/s} \end{cases} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

Mittels dieser Gleichungen lassen sich die ungestörten Erdreichtemperaturen in verschiedenen Erdreichtiefen ermitteln. In Abbildung 1 sind die nach obigen Gleichungen berechneten Außenlufttemperaturen und die Bodentemperaturen verschiedener Tiefe für die Bodenklasse feuchter Lehm und die Klimaregion Norddeutsche Tiefebene dargestellt.

**Tabelle 12:** Verwendete Klimaparameter zur Bestimmung der Temperaturverläufe des ungestörten Erdreiches in verschiedenen Tiefen

Jahresmittelwert der Umgebungstemperatur	$T_{a, \text{mittel}}$	8,6	°C
Maximale Monatsmittelwert der Umgebungstemperatur	$T_{a, \text{max}}$	17,1	°C
Phasenverschiebung des maximalen Monatsmittelwertes der Umgebungstemperatur gegenüber dem Jahresanfang	$\varphi_0$	6	Monate
mittlere jährliche Windgeschwindigkeit	$v_{\text{Wind}}$	4,1	m/s
Wärmeübergangskoeffizient an der Oberfläche	$\alpha_{\text{obf}}$	18,7	W/(m <sup>2</sup> K)

Je tiefer man im Erdreich die Temperatur betrachtet, umso flacher ist die Amplitude der Schwingung, und um so größer ist die Phasenverschiebung zur Außenlufttemperatur.

**Abbildung 4:** Bodentemperaturverlauf in versch. Tiefen für die Bodenart feuchter Lehm

Die

in

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)**

---

Abbildung 4 dargestellten Temperaturverläufe sind je nach betrachteter Klimaregion unterschiedlich. Die vor Ort herrschende Klimaregion und entsprechende Jahres- und Monatsmittelwerte der Außentemperatur können beim deutschen Wetterdienst erfragt, bzw. angefordert werden. Auch [Reck97] gibt durchschnittliche Temperaturen für verschiedene Klimaregionen an.

## Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

### Zusammenfassende Ergebnisblätter zur Einrohranlage

**Abbildung 5:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 1000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	25,81	1392,17	2871,33	1329,32	1,05	2,10
10	30	30	0,315	0,300	25,00	1661,80	217,54	100,71	16,50	52,04
10	30	30	0,500	0,476	24,87	1705,63	201,95	93,49	18,24	53,74
10	30	30	1,030	1,000	24,94	1680,50	200,06	92,62	18,14	52,93
10	60	30	0,110	0,104	22,98	2333,09	5542,66	2566,05	0,91	-1,00
10	60	30	0,315	0,300	21,60	2791,64	235,08	108,83	25,65	44,71
10	60	30	0,500	0,476	21,32	2884,65	203,89	94,39	30,56	46,50
10	60	30	1,030	1,000	21,38	2863,60	200,11	92,65	30,91	46,18
10	100	30	0,110	0,104	20,50	3157,24	9104,44	4215,02	0,75	-1,00
10	100	30	0,315	0,300	18,76	3733,83	258,47	119,66	31,20	36,14
10	100	30	0,500	0,476	18,27	3898,42	206,48	95,59	40,78	38,03
10	100	30	1,030	1,000	18,09	3957,33	200,19	92,68	42,70	38,65
10	150	30	0,110	0,104	18,48	3827,29	13556,65	6276,23	0,61	-1,00
10	150	30	0,315	0,300	16,72	4413,20	287,71	133,20	33,13	28,53
10	150	30	0,500	0,476	16,08	4627,23	209,73	97,10	47,66	30,20
10	150	30	1,030	1,000	15,53	4808,53	200,29	92,73	51,86	31,44
10	200	30	0,110	0,104	17,12	4281,26	18008,87	8337,44	0,51	-1,00
10	200	30	0,315	0,300	15,47	4827,28	316,94	146,73	32,90	23,40
10	200	30	0,500	0,476	14,81	5048,20	212,97	98,60	51,20	24,75
10	200	30	1,030	1,000	14,01	5313,45	200,38	92,77	57,28	26,10
10	250	30	0,110	0,104	16,13	4609,29	22461,09	10398,65	0,44	-1,00
10	250	30	0,315	0,300	14,63	5108,74	346,18	160,27	31,88	19,79
10	250	30	0,500	0,476	14,00	5317,30	216,21	100,10	53,12	20,87
10	250	30	1,030	1,000	13,08	5621,11	200,48	92,81	60,56	22,11
10	300	30	0,110	0,104	15,38	4857,40	26913,31	12459,87	0,39	-1,00
10	300	30	0,315	0,300	14,01	5313,98	375,41	173,80	30,57	17,13
10	300	30	0,500	0,476	13,43	5505,21	219,45	101,60	54,19	18,01
10	300	30	1,030	1,000	12,50	5816,60	200,57	92,86	62,64	19,08
10	350	30	0,110	0,104	14,80	5051,64	31365,53	14521,08	0,35	-1,00
10	350	30	0,315	0,300	13,54	5470,70	404,65	187,34	29,20	15,10
10	350	30	0,500	0,476	13,01	5645,07	222,70	103,10	54,75	15,83
10	350	30	1,030	1,000	12,10	5947,37	200,67	92,90	64,02	16,73
10	400	30	0,110	0,104	14,33	5207,82	35817,75	16582,29	0,31	-1,00
10	400	30	0,315	0,300	13,17	5594,40	433,88	200,87	27,85	13,48
10	400	30	0,500	0,476	12,69	5753,85	225,94	104,60	55,01	14,12
10	400	30	1,030	1,000	11,83	6039,72	200,76	92,95	64,98	14,87

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 6:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 1000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 13°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	26,44	1183,35	2871,33	1329,32	0,89	-1,00
13	30	30	0,315	0,300	25,75	1412,53	217,54	100,71	14,03	43,73
13	30	30	0,500	0,476	25,64	1449,79	201,95	93,49	15,51	45,21
13	30	30	1,030	1,000	25,70	1428,43	200,06	92,62	15,42	44,53
13	60	30	0,110	0,104	24,03	1983,13	5542,66	2566,05	0,77	-1,00
13	60	30	0,315	0,300	22,86	2372,90	235,08	108,83	21,80	37,73
13	60	30	0,500	0,476	22,62	2451,95	203,89	94,39	25,98	39,29
13	60	30	1,030	1,000	22,68	2434,06	200,11	92,65	26,27	39,02
13	100	30	0,110	0,104	21,92	2683,65	9104,44	4215,02	0,64	-1,00
13	100	30	0,315	0,300	20,45	3173,76	258,47	119,66	26,52	30,54
13	100	30	0,500	0,476	20,03	3313,65	206,48	95,59	34,66	32,18
13	100	30	1,030	1,000	19,88	3363,73	200,19	92,68	36,29	32,71
13	150	30	0,110	0,104	20,21	3253,20	13556,65	6276,23	0,52	-1,00
13	150	30	0,315	0,300	18,71	3751,22	287,71	133,20	28,16	24,12
13	150	30	0,500	0,476	18,16	3933,14	209,73	97,10	40,51	25,57
13	150	30	1,030	1,000	17,70	4087,25	200,29	92,73	44,08	26,63
13	200	30	0,110	0,104	19,05	3639,07	18008,87	8337,44	0,44	-1,00
13	200	30	0,315	0,300	17,65	4103,19	316,94	146,73	27,96	19,78
13	200	30	0,500	0,476	17,09	4290,97	212,97	98,60	43,52	20,96
13	200	30	1,030	1,000	16,41	4516,43	200,38	92,77	48,68	22,12
13	250	30	0,110	0,104	18,21	3917,90	22461,09	10398,65	0,38	-1,00
13	250	30	0,315	0,300	16,93	4342,43	346,18	160,27	27,09	16,73
13	250	30	0,500	0,476	16,40	4519,71	216,21	100,10	45,15	17,68
13	250	30	1,030	1,000	15,62	4777,94	200,48	92,81	51,48	18,74
13	300	30	0,110	0,104	17,58	4128,79	26913,31	12459,87	0,33	-1,00
13	300	30	0,315	0,300	16,41	4516,88	375,41	173,80	25,99	14,48
13	300	30	0,500	0,476	15,92	4679,43	219,45	101,60	46,06	15,26
13	300	30	1,030	1,000	15,12	4944,11	200,57	92,86	53,24	16,17
13	350	30	0,110	0,104	17,08	4293,89	31365,53	14521,08	0,30	-1,00
13	350	30	0,315	0,300	16,01	4650,10	404,65	187,34	24,82	12,75
13	350	30	0,500	0,476	15,56	4798,31	222,70	103,10	46,54	13,41
13	350	30	1,030	1,000	14,79	5055,27	200,67	92,90	54,42	14,18
13	400	30	0,110	0,104	16,68	4426,65	35817,75	16582,29	0,27	-1,00
13	400	30	0,315	0,300	15,69	4755,24	433,88	200,87	23,67	11,39
13	400	30	0,500	0,476	15,28	4890,77	225,94	104,60	46,76	11,97
13	400	30	1,030	1,000	14,55	5133,76	200,76	92,95	55,23	12,60

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 7:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 1000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 16°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	27,07	974,52	2871,33	1329,32	0,73	-1,00
16	30	30	0,315	0,300	26,50	1163,26	217,54	100,71	11,55	35,42
16	30	30	0,500	0,476	26,41	1193,94	201,95	93,49	12,77	36,68
16	30	30	1,030	1,000	26,46	1176,35	200,06	92,62	12,70	36,12
16	60	30	0,110	0,104	25,09	1633,17	5542,66	2566,05	0,64	-1,00
16	60	30	0,315	0,300	24,12	1954,15	235,08	108,83	17,96	30,76
16	60	30	0,500	0,476	23,92	2019,25	203,89	94,39	21,39	32,08
16	60	30	1,030	1,000	23,97	2004,52	200,11	92,65	21,64	31,86
16	100	30	0,110	0,104	23,35	2210,06	9104,44	4215,02	0,52	-1,00
16	100	30	0,315	0,300	22,13	2613,68	258,47	119,66	21,84	24,94
16	100	30	0,500	0,476	21,79	2728,89	206,48	95,59	28,55	26,33
16	100	30	1,030	1,000	21,66	2770,13	200,19	92,68	29,89	26,77
16	150	30	0,110	0,104	21,94	2679,10	13556,65	6276,23	0,43	-1,00
16	150	30	0,315	0,300	20,70	3089,24	287,71	133,20	23,19	19,71
16	150	30	0,500	0,476	20,25	3239,06	209,73	97,10	33,36	20,95
16	150	30	1,030	1,000	19,87	3365,97	200,29	92,73	36,30	21,82
16	200	30	0,110	0,104	20,98	2996,88	18008,87	8337,44	0,36	-1,00
16	200	30	0,315	0,300	19,83	3379,10	316,94	146,73	23,03	16,16
16	200	30	0,500	0,476	19,37	3533,74	212,97	98,60	35,84	17,18
16	200	30	1,030	1,000	18,81	3719,41	200,38	92,77	40,09	18,13
16	250	30	0,110	0,104	20,29	3226,50	22461,09	10398,65	0,31	-1,00
16	250	30	0,315	0,300	19,24	3576,12	346,18	160,27	22,31	13,66
16	250	30	0,500	0,476	18,80	3722,11	216,21	100,10	37,18	14,49
16	250	30	1,030	1,000	18,16	3934,78	200,48	92,81	42,39	15,37
16	300	30	0,110	0,104	19,77	3400,18	26913,31	12459,87	0,27	-1,00
16	300	30	0,315	0,300	18,81	3719,79	375,41	173,80	21,40	11,82
16	300	30	0,500	0,476	18,40	3853,65	219,45	101,60	37,93	12,51
16	300	30	1,030	1,000	17,75	4071,62	200,57	92,86	43,85	13,26
16	350	30	0,110	0,104	19,36	3536,15	31365,53	14521,08	0,24	-1,00
16	350	30	0,315	0,300	18,48	3829,49	404,65	187,34	20,44	10,41
16	350	30	0,500	0,476	18,11	3951,55	222,70	103,10	38,33	11,00
16	350	30	1,030	1,000	17,47	4163,16	200,67	92,90	44,81	11,63
16	400	30	0,110	0,104	19,03	3645,47	35817,75	16582,29	0,22	-1,00
16	400	30	0,315	0,300	18,22	3916,08	433,88	200,87	19,50	9,29
16	400	30	0,500	0,476	17,88	4027,69	225,94	104,60	38,51	9,81
16	400	30	1,030	1,000	17,28	4227,80	200,76	92,95	45,49	10,34

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 8:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 3000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	28,36	1633,81	18467,95	25649,94	0,06	-1,00
10	30	30	0,315	0,300	27,83	2158,56	319,96	444,38	4,86	57,14
10	30	30	0,500	0,476	27,61	2380,05	213,30	296,25	8,03	69,46
10	30	30	1,030	1,000	27,23	2764,88	200,39	278,32	9,93	82,89
10	60	30	0,110	0,104	26,94	3047,27	36735,91	51022,09	0,06	-1,00
10	60	30	0,315	0,300	25,98	4004,75	439,91	610,99	6,55	56,56
10	60	30	0,500	0,476	25,58	4401,96	226,61	314,73	13,99	68,12
10	60	30	1,030	1,000	24,93	5050,00	200,78	278,86	18,11	79,52
10	100	30	0,110	0,104	25,37	4619,99	61093,18	84851,64	0,05	-1,00
10	100	30	0,315	0,300	23,97	6008,99	599,86	833,13	7,21	51,76
10	100	30	0,500	0,476	23,38	6602,38	244,34	339,37	19,45	62,63
10	100	30	1,030	1,000	22,43	7544,60	201,30	279,59	26,98	72,65
10	150	30	0,110	0,104	23,77	6212,13	91539,77	127138,57	0,05	-1,00
10	150	30	0,315	0,300	22,06	7916,26	799,78	1110,81	7,13	45,37
10	150	30	0,500	0,476	21,29	8687,19	266,52	370,16	23,47	55,45
10	150	30	1,030	1,000	20,04	9933,69	201,96	280,50	35,41	64,35
10	200	30	0,110	0,104	22,47	7503,67	121986,36	169425,49	0,04	-1,00
10	200	30	0,315	0,300	20,62	9353,71	999,71	1388,49	6,74	39,83
10	200	30	0,500	0,476	19,75	10223,14	288,69	400,96	25,50	49,11
10	200	30	1,030	1,000	18,27	11696,54	202,61	281,40	41,57	57,08
10	250	30	0,110	0,104	21,40	8573,00	152432,95	211712,42	0,04	-1,00
10	250	30	0,315	0,300	19,49	10475,67	1199,64	1666,17	6,29	35,24
10	250	30	0,500	0,476	18,58	11382,25	310,86	431,75	26,36	43,80
10	250	30	1,030	1,000	16,96	12999,71	203,26	282,31	46,05	50,87
10	300	30	0,110	0,104	20,50	9472,99	182879,53	253999,35	0,04	-1,00
10	300	30	0,315	0,300	18,59	11378,83	1399,57	1943,84	5,85	31,45
10	300	30	0,500	0,476	17,68	12284,92	333,03	462,55	26,56	39,41
10	300	30	1,030	1,000	15,98	13972,99	203,91	283,21	49,34	45,63
10	350	30	0,110	0,104	19,73	10240,89	213326,12	296286,28	0,03	-1,00
10	350	30	0,315	0,300	17,84	12123,27	1599,50	2221,52	5,46	28,29
10	350	30	0,500	0,476	16,95	13009,19	355,21	493,34	26,37	35,76
10	350	30	1,030	1,000	15,24	14712,07	204,57	284,12	51,78	41,22
10	400	30	0,110	0,104	19,06	10903,82	243772,71	338573,21	0,03	-1,00
10	400	30	0,315	0,300	17,21	12748,14	1799,42	2499,20	5,10	25,62
10	400	30	0,500	0,476	16,35	13604,95	377,38	524,14	25,96	32,70
10	400	30	1,030	1,000	14,67	15285,01	205,22	285,03	53,63	37,50



**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 9:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 3000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 13°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	28,61	1388,74	18467,95	25649,94	0,05	-1,00
13	30	30	0,315	0,300	28,16	1834,77	319,96	444,38	4,13	46,35
13	30	30	0,500	0,476	27,97	2023,04	213,30	296,25	6,83	57,56
13	30	30	1,030	1,000	27,64	2350,14	200,39	278,32	8,44	69,06
13	60	30	0,110	0,104	27,40	2590,18	36735,91	51022,09	0,05	-1,00
13	60	30	0,315	0,300	26,59	3404,04	439,91	610,99	5,57	46,55
13	60	30	0,500	0,476	26,25	3741,67	226,61	314,73	11,89	57,12
13	60	30	1,030	1,000	25,69	4292,50	200,78	278,86	15,39	66,89
13	100	30	0,110	0,104	26,06	3926,99	61093,18	84851,64	0,05	-1,00
13	100	30	0,315	0,300	24,88	5107,64	599,86	833,13	6,13	42,75
13	100	30	0,500	0,476	24,37	5612,03	244,34	339,37	16,54	52,73
13	100	30	1,030	1,000	23,57	6412,91	201,30	279,59	22,94	61,33
13	150	30	0,110	0,104	24,70	5280,31	91539,77	127138,57	0,04	-1,00
13	150	30	0,315	0,300	23,25	6728,82	799,78	1110,81	6,06	37,45
13	150	30	0,500	0,476	22,59	7384,11	266,52	370,16	19,95	46,76
13	150	30	1,030	1,000	21,53	8443,64	201,96	280,50	30,10	54,42
13	200	30	0,110	0,104	23,60	6378,12	121986,36	169425,49	0,04	-1,00
13	200	30	0,315	0,300	22,02	7950,65	999,71	1388,49	5,73	32,81
13	200	30	0,500	0,476	21,28	8689,67	288,69	400,96	21,67	41,44
13	200	30	1,030	1,000	20,03	9942,06	202,61	281,40	35,33	48,30
13	250	30	0,110	0,104	22,69	7287,05	152432,95	211712,42	0,03	-1,00
13	250	30	0,315	0,300	21,07	8904,32	1199,64	1666,17	5,34	28,95
13	250	30	0,500	0,476	20,30	9674,91	310,86	431,75	22,41	36,97
13	250	30	1,030	1,000	18,92	11049,75	203,26	282,31	39,14	43,07
13	300	30	0,110	0,104	21,92	8052,04	182879,53	253999,35	0,03	-1,00
13	300	30	0,315	0,300	20,30	9672,01	1399,57	1943,84	4,98	25,76
13	300	30	0,500	0,476	19,53	10442,19	333,03	462,55	22,58	33,27
13	300	30	1,030	1,000	18,09	11877,04	203,91	283,21	41,94	38,65
13	350	30	0,110	0,104	21,27	8704,76	213326,12	296286,28	0,03	-1,00
13	350	30	0,315	0,300	19,66	10304,78	1599,50	2221,52	4,64	23,10
13	350	30	0,500	0,476	18,91	11057,81	355,21	493,34	22,41	30,18
13	350	30	1,030	1,000	17,46	12505,26	204,57	284,12	44,01	34,92
13	400	30	0,110	0,104	20,70	9268,24	243772,71	338573,21	0,03	-1,00
13	400	30	0,315	0,300	19,13	10835,92	1799,42	2499,20	4,34	20,84
13	400	30	0,500	0,476	18,40	11564,21	377,38	524,14	22,06	27,60
13	400	30	1,030	1,000	16,97	12992,26	205,22	285,03	45,58	31,77

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 10:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 3000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 16°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	28,85	1143,66	18467,95	25649,94	0,04	-1,00
16	30	30	0,315	0,300	28,48	1510,99	319,96	444,38	3,40	35,55
16	30	30	0,500	0,476	28,33	1666,04	213,30	296,25	5,62	45,66
16	30	30	1,030	1,000	28,06	1935,41	200,39	278,32	6,95	55,24
16	60	30	0,110	0,104	27,86	2133,09	36735,91	51022,09	0,04	-1,00
16	60	30	0,315	0,300	27,19	2803,33	439,91	610,99	4,59	36,54
16	60	30	0,500	0,476	26,91	3081,37	226,61	314,73	9,79	46,11
16	60	30	1,030	1,000	26,45	3535,00	200,78	278,86	12,68	54,27
16	100	30	0,110	0,104	26,76	3233,99	61093,18	84851,64	0,04	-1,00
16	100	30	0,315	0,300	25,78	4206,29	599,86	833,13	5,05	33,73
16	100	30	0,500	0,476	25,36	4621,67	244,34	339,37	13,62	42,82
16	100	30	1,030	1,000	24,70	5281,22	201,30	279,59	18,89	50,02
16	150	30	0,110	0,104	25,64	4348,49	91539,77	127138,57	0,03	-1,00
16	150	30	0,315	0,300	24,44	5541,38	799,78	1110,81	4,99	29,54
16	150	30	0,500	0,476	23,90	6081,03	266,52	370,16	16,43	38,07
16	150	30	1,030	1,000	23,03	6953,58	201,96	280,50	24,79	44,49
16	200	30	0,110	0,104	24,73	5252,57	121986,36	169425,49	0,03	-1,00
16	200	30	0,315	0,300	23,43	6547,59	999,71	1388,49	4,72	25,80
16	200	30	0,500	0,476	22,82	7156,20	288,69	400,96	17,85	33,78
16	200	30	1,030	1,000	21,79	8187,58	202,61	281,40	29,10	39,53
16	250	30	0,110	0,104	23,98	6001,10	152432,95	211712,42	0,03	-1,00
16	250	30	0,315	0,300	22,64	7332,97	1199,64	1666,17	4,40	22,67
16	250	30	0,500	0,476	22,01	7967,58	310,86	431,75	18,45	30,14
16	250	30	1,030	1,000	20,87	9099,80	203,26	282,31	32,23	35,27
16	300	30	0,110	0,104	23,35	6631,09	182879,53	253999,35	0,03	-1,00
16	300	30	0,315	0,300	22,01	7965,18	1399,57	1943,84	4,10	20,07
16	300	30	0,500	0,476	21,37	8599,45	333,03	462,55	18,59	27,12
16	300	30	1,030	1,000	20,19	9781,09	203,91	283,21	34,54	31,66
16	350	30	0,110	0,104	22,81	7168,63	213326,12	296286,28	0,02	-1,00
16	350	30	0,315	0,300	21,49	8486,29	1599,50	2221,52	3,82	17,90
16	350	30	0,500	0,476	20,87	9106,44	355,21	493,34	18,46	24,61
16	350	30	1,030	1,000	19,67	10298,45	204,57	284,12	36,25	28,61
16	400	30	0,110	0,104	22,34	7632,67	243772,71	338573,21	0,02	-1,00
16	400	30	0,315	0,300	21,05	8923,70	1799,42	2499,20	3,57	16,06
16	400	30	0,500	0,476	20,45	9523,47	377,38	524,14	18,17	22,50
16	400	30	1,030	1,000	19,27	10699,51	205,22	285,03	37,54	26,04

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 11:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 10000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	29,47	1745,69	150419,98	696388,80	0,00	-1,00
10	30	30	0,315	0,300	29,26	2455,30	1186,42	5492,69	0,45	-1,00
10	30	30	0,500	0,476	29,14	2854,41	309,40	1432,39	1,99	47,40
10	30	30	1,030	1,000	28,83	3879,12	203,22	940,83	4,12	97,94
10	60	30	0,110	0,104	28,97	3416,24	300639,96	1391851,67	0,00	-1,00
10	60	30	0,315	0,300	28,56	4789,01	2172,84	10059,46	0,48	-1,00
10	60	30	0,500	0,476	28,33	5551,07	418,79	1938,86	2,86	60,20
10	60	30	1,030	1,000	27,76	7455,42	206,44	955,73	7,80	108,33
10	100	30	0,110	0,104	28,34	5514,30	500933,27	2319135,50	0,00	-1,00
10	100	30	0,315	0,300	27,68	7694,25	3488,07	16148,48	0,48	-1,00
10	100	30	0,500	0,476	27,32	8898,35	564,65	2614,14	3,40	62,84
10	100	30	1,030	1,000	26,44	11837,91	210,73	975,59	12,13	108,62
10	150	30	0,110	0,104	27,61	7944,70	751299,90	3478240,28	0,00	-1,00
10	150	30	0,315	0,300	26,69	10986,40	5132,11	23759,75	0,46	-1,00
10	150	30	0,500	0,476	26,19	12674,94	746,98	3458,25	3,67	61,44
10	150	30	1,030	1,000	24,97	16720,67	216,09	1000,43	16,71	104,80
10	200	30	0,110	0,104	26,93	10187,39	1001666,53	4637345,06	0,00	-1,00
10	200	30	0,315	0,300	25,81	13928,22	6776,14	31371,03	0,44	-1,00
10	200	30	0,500	0,476	25,18	16018,78	929,31	4302,36	3,72	58,58
10	200	30	1,030	1,000	23,69	20983,63	221,46	1025,26	20,47	99,79
10	250	30	0,110	0,104	26,31	12264,30	1252033,17	5796449,85	0,00	-1,00
10	250	30	0,315	0,300	25,01	16566,07	8420,18	38982,31	0,42	-1,00
10	250	30	0,500	0,476	24,29	18974,89	1111,64	5146,47	3,69	55,31
10	250	30	1,030	1,000	22,57	24685,15	226,82	1050,09	23,51	94,54
10	300	30	0,110	0,104	25,73	14193,34	1502399,80	6955554,63	0,00	-1,00
10	300	30	0,315	0,300	24,30	18945,65	10064,21	46593,58	0,41	-1,00
10	300	30	0,500	0,476	23,50	21596,90	1293,96	5990,57	3,61	52,02
10	300	30	1,030	1,000	21,61	27891,58	232,18	1074,92	25,95	89,39
10	350	30	0,110	0,104	25,19	15989,78	1752766,43	8114659,42	0,00	-1,00
10	350	30	0,315	0,300	23,65	21105,17	11708,25	54204,86	0,39	-1,00
10	350	30	0,500	0,476	22,80	23936,08	1476,29	6834,68	3,50	48,86
10	350	30	1,030	1,000	20,77	30670,49	237,55	1099,76	27,89	84,49
10	400	30	0,110	0,104	24,68	17666,84	2003133,07	9273764,20	0,00	-1,00
10	400	30	0,315	0,300	23,06	23075,28	13352,28	61816,13	0,37	-1,00
10	400	30	0,500	0,476	22,16	26036,57	1658,62	7678,79	3,39	45,89
10	400	30	1,030	1,000	20,04	33085,75	242,91	1124,59	29,42	79,90

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 12:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 10000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 13°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	29,55	1483,84	150419,98	696388,80	0,00	-1,00
13	30	30	0,315	0,300	29,37	2087,00	1186,42	5492,69	0,38	-1,00
13	30	30	0,500	0,476	29,27	2426,25	309,40	1432,39	1,69	33,13
13	30	30	1,030	1,000	29,01	3297,25	203,22	940,83	3,50	78,55
13	60	30	0,110	0,104	29,13	2903,80	300639,96	1391851,67	0,00	-1,00
13	60	30	0,315	0,300	28,78	4070,66	2172,84	10059,46	0,40	-1,00
13	60	30	0,500	0,476	28,58	4718,41	418,79	1938,86	2,43	46,33
13	60	30	1,030	1,000	28,09	6337,11	206,44	955,73	6,63	89,69
13	100	30	0,110	0,104	28,59	4687,16	500933,27	2319135,50	0,00	-1,00
13	100	30	0,315	0,300	28,03	6540,12	3488,07	16148,48	0,40	-1,00
13	100	30	0,500	0,476	27,72	7563,60	564,65	2614,14	2,89	49,49
13	100	30	1,030	1,000	26,97	10062,23	210,73	975,59	10,31	90,87
13	150	30	0,110	0,104	27,97	6753,00	751299,90	3478240,28	0,00	-1,00
13	150	30	0,315	0,300	27,19	9338,44	5132,11	23759,75	0,39	-1,00
13	150	30	0,500	0,476	26,76	10773,70	746,98	3458,25	3,12	48,77
13	150	30	1,030	1,000	25,72	14212,57	216,09	1000,43	14,21	88,08
13	200	30	0,110	0,104	27,39	8659,28	1001666,53	4637345,06	0,00	-1,00
13	200	30	0,315	0,300	26,44	11838,99	6776,14	31371,03	0,38	-1,00
13	200	30	0,500	0,476	25,90	13615,96	929,31	4302,36	3,16	46,57
13	200	30	1,030	1,000	24,63	17836,09	221,46	1025,26	17,40	84,05
13	250	30	0,110	0,104	26,86	10424,66	1252033,17	5796449,85	0,00	-1,00
13	250	30	0,315	0,300	25,76	14081,16	8420,18	38982,31	0,36	-1,00
13	250	30	0,500	0,476	25,15	16128,66	1111,64	5146,47	3,13	43,93
13	250	30	1,030	1,000	23,69	20982,38	226,82	1050,09	19,98	79,73
13	300	30	0,110	0,104	26,37	12064,34	1502399,80	6955554,63	0,00	-1,00
13	300	30	0,315	0,300	25,15	16103,80	10064,21	46593,58	0,35	-1,00
13	300	30	0,500	0,476	24,48	18357,37	1293,96	5990,57	3,06	41,22
13	300	30	1,030	1,000	22,87	23707,84	232,18	1074,92	22,06	75,44
13	350	30	0,110	0,104	25,91	13591,31	1752766,43	8114659,42	0,00	-1,00
13	350	30	0,315	0,300	24,60	17939,40	11708,25	54204,86	0,33	-1,00
13	350	30	0,500	0,476	23,88	20345,67	1476,29	6834,68	2,98	38,60
13	350	30	1,030	1,000	22,15	26069,92	237,55	1099,76	23,71	71,34
13	400	30	0,110	0,104	25,48	15016,81	2003133,07	9273764,20	0,00	-1,00
13	400	30	0,315	0,300	24,10	19613,99	13352,28	61816,13	0,32	-1,00
13	400	30	0,500	0,476	23,34	22131,09	1658,62	7678,79	2,88	36,13
13	400	30	1,030	1,000	21,54	28122,89	242,91	1124,59	25,01	67,50

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 13:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 10000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 16°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	29,63	1221,99	150419,98	696388,80	0,00	-1,00
16	30	30	0,315	0,300	29,48	1718,71	1186,42	5492,69	0,31	-1,00
16	30	30	0,500	0,476	29,40	1998,08	309,40	1432,39	1,39	18,86
16	30	30	1,030	1,000	29,18	2715,38	203,22	940,83	2,89	59,15
16	60	30	0,110	0,104	29,28	2391,37	300639,96	1391851,67	0,00	-1,00
16	60	30	0,315	0,300	28,99	3352,31	2172,84	10059,46	0,33	-1,00
16	60	30	0,500	0,476	28,83	3885,75	418,79	1938,86	2,00	32,45
16	60	30	1,030	1,000	28,43	5218,79	206,44	955,73	5,46	71,05
16	100	30	0,110	0,104	28,84	3860,01	500933,27	2319135,50	0,00	-1,00
16	100	30	0,315	0,300	28,38	5385,98	3488,07	16148,48	0,33	-1,00
16	100	30	0,500	0,476	28,13	6228,85	564,65	2614,14	2,38	36,15
16	100	30	1,030	1,000	27,51	8286,54	210,73	975,59	8,49	73,11
16	150	30	0,110	0,104	28,33	5561,29	751299,90	3478240,28	0,00	-1,00
16	150	30	0,315	0,300	27,69	7690,48	5132,11	23759,75	0,32	-1,00
16	150	30	0,500	0,476	27,33	8872,46	746,98	3458,25	2,57	36,09
16	150	30	1,030	1,000	26,48	11704,47	216,09	1000,43	11,70	71,36
16	200	30	0,110	0,104	27,85	7131,17	1001666,53	4637345,06	0,00	-1,00
16	200	30	0,315	0,300	27,07	9749,75	6776,14	31371,03	0,31	-1,00
16	200	30	0,500	0,476	26,63	11213,15	929,31	4302,36	2,61	34,55
16	200	30	1,030	1,000	25,58	14688,54	221,46	1025,26	14,33	68,32
16	250	30	0,110	0,104	27,42	8585,01	1252033,17	5796449,85	0,00	-1,00
16	250	30	0,315	0,300	26,51	11596,25	8420,18	38982,31	0,30	-1,00
16	250	30	0,500	0,476	26,00	13282,42	1111,64	5146,47	2,58	32,54
16	250	30	1,030	1,000	24,80	17279,60	226,82	1050,09	16,46	64,92
16	300	30	0,110	0,104	27,01	9935,34	1502399,80	6955554,63	0,00	-1,00
16	300	30	0,315	0,300	26,01	13261,95	10064,21	46593,58	0,28	-1,00
16	300	30	0,500	0,476	25,45	15117,83	1293,96	5990,57	2,52	30,42
16	300	30	1,030	1,000	24,12	19524,11	232,18	1074,92	18,16	61,50
16	350	30	0,110	0,104	26,63	11192,85	1752766,43	8114659,42	0,00	-1,00
16	350	30	0,315	0,300	25,55	14773,62	11708,25	54204,86	0,27	-1,00
16	350	30	0,500	0,476	24,96	16755,26	1476,29	6834,68	2,45	28,34
16	350	30	1,030	1,000	23,54	21469,34	237,55	1099,76	19,52	58,20
16	400	30	0,110	0,104	26,28	12366,79	2003133,07	9273764,20	0,00	-1,00
16	400	30	0,315	0,300	25,14	16152,70	13352,28	61816,13	0,26	-1,00
16	400	30	0,500	0,476	24,52	18225,60	1658,62	7678,79	2,37	26,37
16	400	30	1,030	1,000	23,03	23160,03	242,91	1124,59	20,59	55,09

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 14:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 50000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	29,89	1791,19	2511653,88	58140136,17	0,00	-1,00
10	30	30	0,315	0,300	29,84	2600,64	16691,49	386377,15	0,01	-1,00
10	30	30	0,500	0,476	29,81	3116,02	2028,94	46966,31	0,07	-1,00
10	30	30	1,030	1,000	29,72	4722,26	253,81	5875,15	0,80	-1,00
10	60	30	0,110	0,104	29,79	3567,31	5023107,76	116275642,70	0,00	-1,00
10	60	30	0,315	0,300	29,69	5174,64	33182,99	768124,68	0,01	-1,00
10	60	30	0,500	0,476	29,63	6194,32	3857,89	89302,99	0,07	-1,00
10	60	30	1,030	1,000	29,44	9348,18	307,61	7120,66	1,31	37,13
10	100	30	0,110	0,104	29,64	5907,19	8371712,94	193789651,41	0,00	-1,00
10	100	30	0,315	0,300	29,48	8559,94	55171,64	1277121,38	0,01	-1,00
10	100	30	0,500	0,476	29,38	10238,10	6296,48	145751,90	0,07	-1,00
10	100	30	1,030	1,000	29,07	15391,82	379,35	8781,35	1,75	66,10
10	150	30	0,110	0,104	29,47	8784,72	12557469,41	290682162,31	0,00	-1,00
10	150	30	0,315	0,300	29,24	12706,97	82657,47	1913367,25	0,01	-1,00
10	150	30	0,500	0,476	29,09	15184,99	9344,72	216313,03	0,07	-1,00
10	150	30	1,030	1,000	28,63	22739,22	469,03	10857,22	2,09	79,21
10	200	30	0,110	0,104	29,30	11611,16	16743225,88	387574673,20	0,00	-1,00
10	200	30	0,315	0,300	28,99	16753,42	110143,29	2549613,13	0,01	-1,00
10	200	30	0,500	0,476	28,80	20002,28	12392,96	286874,16	0,07	-1,00
10	200	30	1,030	1,000	28,20	29845,97	558,71	12933,08	2,31	84,56
10	250	30	0,110	0,104	29,13	14388,37	20928982,35	484467184,09	0,00	-1,00
10	250	30	0,315	0,300	28,75	20697,89	137629,11	3185859,00	0,01	-1,00
10	250	30	0,500	0,476	28,51	24684,44	15441,20	357435,30	0,07	-1,00
10	250	30	1,030	1,000	27,79	36703,84	648,39	15008,94	2,45	86,78
10	300	30	0,110	0,104	28,97	17117,83	25114738,82	581359694,99	0,00	-1,00
10	300	30	0,315	0,300	28,52	24542,59	165114,93	3822104,88	0,01	-1,00
10	300	30	0,500	0,476	28,24	29230,45	18489,45	427996,43	0,07	-1,00
10	300	30	1,030	1,000	27,39	43308,54	738,06	17084,80	2,53	87,41
10	350	30	0,110	0,104	28,81	19800,81	29300495,29	678252205,88	0,00	-1,00
10	350	30	0,315	0,300	28,30	28291,26	192600,75	4458350,75	0,01	-1,00
10	350	30	0,500	0,476	27,98	33642,54	21537,69	498557,56	0,07	-1,00
10	350	30	1,030	1,000	27,01	49659,59	827,74	19160,67	2,59	87,14
10	400	30	0,110	0,104	28,65	22438,50	33486251,76	775144716,77	0,00	-1,00
10	400	30	0,315	0,300	28,08	31948,00	220086,57	5094596,62	0,01	-1,00
10	400	30	0,500	0,476	27,72	37925,00	24585,93	569118,69	0,07	-1,00
10	400	30	1,030	1,000	26,64	55759,96	917,42	21236,53	2,63	86,31

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 15:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 50000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 13°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	29,91	1522,51	2511653,88	58140136,17	0,00	-1,00
13	30	30	0,315	0,300	29,87	2210,54	16691,49	386377,15	0,01	-1,00
13	30	30	0,500	0,476	29,84	2648,61	2028,94	46966,31	0,06	-1,00
13	30	30	1,030	1,000	29,76	4013,92	253,81	5875,15	0,68	-1,00
13	60	30	0,110	0,104	29,82	3032,21	5023107,76	116275642,70	0,00	-1,00
13	60	30	0,315	0,300	29,74	4398,44	33182,99	768124,68	0,01	-1,00
13	60	30	0,500	0,476	29,68	5265,17	3857,89	89302,99	0,06	-1,00
13	60	30	1,030	1,000	29,52	7945,95	307,61	7120,66	1,12	13,75
13	100	30	0,110	0,104	29,70	5021,11	8371712,94	193789651,41	0,00	-1,00
13	100	30	0,315	0,300	29,56	7275,95	55171,64	1277121,38	0,01	-1,00
13	100	30	0,500	0,476	29,48	8702,39	6296,48	145751,90	0,06	-1,00
13	100	30	1,030	1,000	29,21	13083,04	379,35	8781,35	1,49	43,02
13	150	30	0,110	0,104	29,55	7467,02	12557469,41	290682162,31	0,00	-1,00
13	150	30	0,315	0,300	29,35	10800,93	82657,47	1913367,25	0,01	-1,00
13	150	30	0,500	0,476	29,22	12907,24	9344,72	216313,03	0,06	-1,00
13	150	30	1,030	1,000	28,84	19328,34	469,03	10857,22	1,78	56,47
13	200	30	0,110	0,104	29,41	9869,48	16743225,88	387574673,20	0,00	-1,00
13	200	30	0,315	0,300	29,14	14240,41	110143,29	2549613,13	0,01	-1,00
13	200	30	0,500	0,476	28,98	17001,94	12392,96	286874,16	0,06	-1,00
13	200	30	1,030	1,000	28,47	25369,07	558,71	12933,08	1,96	62,18
13	250	30	0,110	0,104	29,26	12230,11	20928982,35	484467184,09	0,00	-1,00
13	250	30	0,315	0,300	28,94	17593,21	137629,11	3185859,00	0,01	-1,00
13	250	30	0,500	0,476	28,74	20981,78	15441,20	357435,30	0,06	-1,00
13	250	30	1,030	1,000	28,12	31198,26	648,39	15008,94	2,08	64,76
13	300	30	0,110	0,104	29,12	14550,15	25114738,82	581359694,99	0,00	-1,00
13	300	30	0,315	0,300	28,74	20861,20	165114,93	3822104,88	0,01	-1,00
13	300	30	0,500	0,476	28,50	24845,88	18489,45	427996,43	0,06	-1,00
13	300	30	1,030	1,000	27,78	36812,26	738,06	17084,80	2,15	65,76
13	350	30	0,110	0,104	28,99	16830,69	29300495,29	678252205,88	0,00	-1,00
13	350	30	0,315	0,300	28,55	24047,57	192600,75	4458350,75	0,01	-1,00
13	350	30	0,500	0,476	28,28	28596,16	21537,69	498557,56	0,06	-1,00
13	350	30	1,030	1,000	27,46	42210,65	827,74	19160,67	2,20	65,86
13	400	30	0,110	0,104	28,85	19072,72	33486251,76	775144716,77	0,00	-1,00
13	400	30	0,315	0,300	28,37	27155,80	220086,57	5094596,62	0,01	-1,00
13	400	30	0,500	0,476	28,06	32236,25	24585,93	569118,69	0,06	-1,00
13	400	30	1,030	1,000	27,15	47395,96	917,42	21236,53	2,23	65,40

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 16:** Einrohranlagen mit einem Volumenstrom von 50000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 16°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qthem	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	29,92	1253,83	2511653,88	58140136,17	0,00	-1,00
16	30	30	0,315	0,300	29,89	1820,45	16691,49	386377,15	0,00	-1,00
16	30	30	0,500	0,476	29,87	2181,21	2028,94	46966,31	0,05	-1,00
16	30	30	1,030	1,000	29,80	3305,58	253,81	5875,15	0,56	-1,00
16	60	30	0,110	0,104	29,85	2497,11	5023107,76	116275642,70	0,00	-1,00
16	60	30	0,315	0,300	29,78	3622,25	33182,99	768124,68	0,00	-1,00
16	60	30	0,500	0,476	29,74	4336,03	3857,89	89302,99	0,05	-1,00
16	60	30	1,030	1,000	29,61	6543,72	307,61	7120,66	0,92	-1,00
16	100	30	0,110	0,104	29,75	4135,04	8371712,94	193789651,41	0,00	-1,00
16	100	30	0,315	0,300	29,64	5991,96	55171,64	1277121,38	0,00	-1,00
16	100	30	0,500	0,476	29,57	7166,67	6296,48	145751,90	0,05	-1,00
16	100	30	1,030	1,000	29,35	10774,27	379,35	8781,35	1,23	19,93
16	150	30	0,110	0,104	29,63	6149,31	12557469,41	290682162,31	0,00	-1,00
16	150	30	0,315	0,300	29,46	8894,88	82657,47	1913367,25	0,00	-1,00
16	150	30	0,500	0,476	29,36	10629,49	9344,72	216313,03	0,05	-1,00
16	150	30	1,030	1,000	29,04	15917,46	469,03	10857,22	1,47	33,73
16	200	30	0,110	0,104	29,51	8127,81	16743225,88	387574673,20	0,00	-1,00
16	200	30	0,315	0,300	29,29	11727,40	110143,29	2549613,13	0,00	-1,00
16	200	30	0,500	0,476	29,16	14001,60	12392,96	286874,16	0,05	-1,00
16	200	30	1,030	1,000	28,74	20892,18	558,71	12933,08	1,62	39,80
16	250	30	0,110	0,104	29,39	10071,86	20928982,35	484467184,09	0,00	-1,00
16	250	30	0,315	0,300	29,13	14488,52	137629,11	3185859,00	0,00	-1,00
16	250	30	0,500	0,476	28,96	17279,11	15441,20	357435,30	0,05	-1,00
16	250	30	1,030	1,000	28,45	25692,69	648,39	15008,94	1,71	42,73
16	300	30	0,110	0,104	29,28	11982,48	25114738,82	581359694,99	0,00	-1,00
16	300	30	0,315	0,300	28,97	17179,81	165114,93	3822104,88	0,00	-1,00
16	300	30	0,500	0,476	28,77	20461,31	18489,45	427996,43	0,05	-1,00
16	300	30	1,030	1,000	28,18	30315,97	738,06	17084,80	1,77	44,10
16	350	30	0,110	0,104	29,17	13860,57	29300495,29	678252205,88	0,00	-1,00
16	350	30	0,315	0,300	28,81	19803,88	192600,75	4458350,75	0,00	-1,00
16	350	30	0,500	0,476	28,58	23549,78	21537,69	498557,56	0,05	-1,00
16	350	30	1,030	1,000	27,91	34761,72	827,74	19160,67	1,81	44,57
16	400	30	0,110	0,104	29,05	15706,95	33486251,76	775144716,77	0,00	-1,00
16	400	30	0,315	0,300	28,65	22363,60	220086,57	5094596,62	0,00	-1,00
16	400	30	0,500	0,476	28,40	26547,50	24585,93	569118,69	0,05	-1,00
16	400	30	1,030	1,000	27,65	39031,97	917,42	21236,53	1,84	44,49



## Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)

## Zusammenfassende Ergebnisblätter zur Registeranlage

Abbildung 17: 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 1000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	18,67	3766,65	359,78	166,57	22,61	24,00
10	30	30	0,315	0,300	18,42	3846,84	201,05	93,08	41,33	25,03
10	30	30	0,500	0,476	19,03	3646,54	200,12	92,65	39,36	23,69
10	30	30	1,030	1,000	20,54	3143,47	200,00	92,59	33,95	20,34
10	60	30	0,110	0,104	15,39	4854,61	519,57	240,54	20,18	15,38
10	60	30	0,315	0,300	14,47	5159,95	202,10	93,56	55,15	16,89
10	60	30	0,500	0,476	14,67	5095,03	200,23	92,70	54,96	16,67
10	60	30	1,030	1,000	15,90	4684,84	200,01	92,60	50,59	15,31
10	100	30	0,110	0,104	13,62	5443,40	732,61	339,17	16,05	10,21
10	100	30	0,315	0,300	12,68	5756,61	203,50	94,21	61,10	11,32
10	100	30	0,500	0,476	12,50	5814,98	200,39	92,77	62,68	11,44
10	100	30	1,030	1,000	12,94	5668,43	200,01	92,60	61,22	11,15
10	150	30	0,110	0,104	12,57	5792,88	998,91	462,46	12,53	7,11
10	150	30	0,315	0,300	11,83	6039,00	205,25	95,02	63,55	7,93
10	150	30	0,500	0,476	11,57	6123,69	200,58	92,86	65,94	8,04
10	150	30	1,030	1,000	11,47	6159,22	200,02	92,60	66,51	8,09
10	200	30	0,110	0,104	11,99	5984,99	1265,22	585,75	10,22	5,40
10	200	30	0,315	0,300	11,40	6181,24	206,99	95,83	64,50	6,09
10	200	30	0,500	0,476	11,17	6255,89	200,78	92,95	67,30	6,16
10	200	30	1,030	1,000	10,90	6347,11	200,02	92,60	68,54	6,25
10	250	30	0,110	0,104	11,62	6106,49	1531,52	709,04	8,61	4,32
10	250	30	0,315	0,300	11,13	6269,03	208,74	96,64	64,87	4,94
10	250	30	0,500	0,476	10,95	6331,72	200,97	93,04	68,05	4,99
10	250	30	1,030	1,000	10,65	6429,75	200,03	92,61	69,43	5,07
10	300	30	0,110	0,104	11,37	6190,27	1797,83	832,33	7,44	3,57
10	300	30	0,315	0,300	10,95	6328,90	210,49	97,45	64,95	4,15
10	300	30	0,500	0,476	10,79	6382,28	201,16	93,13	68,53	4,19
10	300	30	1,030	1,000	10,52	6473,10	200,03	92,61	69,90	4,25
10	350	30	0,110	0,104	11,19	6251,54	2064,13	955,62	6,54	3,03
10	350	30	0,315	0,300	10,82	6372,36	212,24	98,26	64,85	3,59
10	350	30	0,500	0,476	10,68	6418,72	201,36	93,22	68,85	3,61
10	350	30	1,030	1,000	10,44	6499,94	200,04	92,61	70,19	3,66
10	400	30	0,110	0,104	11,05	6298,29	2330,44	1078,91	5,84	2,61
10	400	30	0,315	0,300	10,72	6405,35	213,99	99,07	64,66	3,15
10	400	30	0,500	0,476	10,60	6446,31	201,55	93,31	69,08	3,18
10	400	30	1,030	1,000	10,38	6518,72	200,05	92,61	70,39	3,21

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 18:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 1000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	20,37	3201,65	359,78	166,57	19,22	20,23
13	30	30	0,315	0,300	20,16	3269,81	201,05	93,08	35,13	21,18
13	30	30	0,500	0,476	20,67	3099,56	200,12	92,65	33,46	20,05
13	30	30	1,030	1,000	21,96	2671,95	200,00	92,59	28,86	17,20
13	60	30	0,110	0,104	17,58	4126,42	519,57	240,54	17,15	12,95
13	60	30	0,315	0,300	16,80	4385,96	202,10	93,56	46,88	14,31
13	60	30	0,500	0,476	16,97	4330,77	200,23	92,70	46,72	14,13
13	60	30	1,030	1,000	18,02	3982,11	200,01	92,60	43,01	12,97
13	100	30	0,110	0,104	16,08	4626,89	732,61	339,17	13,64	8,58
13	100	30	0,315	0,300	15,28	4893,12	203,50	94,21	51,94	9,60
13	100	30	0,500	0,476	15,13	4942,73	200,39	92,77	53,28	9,70
13	100	30	1,030	1,000	15,50	4818,17	200,01	92,60	52,03	9,45
13	150	30	0,110	0,104	15,18	4923,95	998,91	462,46	10,65	5,95
13	150	30	0,315	0,300	14,55	5133,15	205,25	95,02	54,02	6,72
13	150	30	0,500	0,476	14,34	5205,14	200,58	92,86	56,05	6,82
13	150	30	1,030	1,000	14,25	5235,34	200,02	92,60	56,54	6,86
13	200	30	0,110	0,104	14,69	5087,24	1265,22	585,75	8,69	4,50
13	200	30	0,315	0,300	14,19	5254,05	206,99	95,83	54,83	5,16
13	200	30	0,500	0,476	14,00	5317,50	200,78	92,95	57,21	5,22
13	200	30	1,030	1,000	13,77	5395,05	200,02	92,60	58,26	5,30
13	250	30	0,110	0,104	14,38	5190,52	1531,52	709,04	7,32	3,59
13	250	30	0,315	0,300	13,96	5328,68	208,74	96,64	55,14	4,19
13	250	30	0,500	0,476	13,80	5381,96	200,97	93,04	57,84	4,23
13	250	30	1,030	1,000	13,55	5465,29	200,03	92,61	59,02	4,30
13	300	30	0,110	0,104	14,17	5261,73	1797,83	832,33	6,32	2,95
13	300	30	0,315	0,300	13,81	5379,56	210,49	97,45	55,20	3,52
13	300	30	0,500	0,476	13,68	5424,93	201,16	93,13	58,25	3,55
13	300	30	1,030	1,000	13,44	5502,13	200,03	92,61	59,41	3,61
13	350	30	0,110	0,104	14,01	5313,81	2064,13	955,62	5,56	2,49
13	350	30	0,315	0,300	13,70	5416,50	212,24	98,26	55,12	3,04
13	350	30	0,500	0,476	13,58	5455,91	201,36	93,22	58,53	3,06
13	350	30	1,030	1,000	13,37	5524,95	200,04	92,61	59,66	3,10
13	400	30	0,110	0,104	13,89	5353,54	2330,44	1078,91	4,96	2,14
13	400	30	0,315	0,300	13,62	5444,55	213,99	99,07	54,96	2,67
13	400	30	0,500	0,476	13,51	5479,36	201,55	93,31	58,72	2,69
13	400	30	1,030	1,000	13,33	5540,92	200,05	92,61	59,83	2,72

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 19:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 1000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	22,07	2636,66	359,78	166,57	15,83	16,47
16	30	30	0,315	0,300	21,90	2692,79	201,05	93,08	28,93	17,33
16	30	30	0,500	0,476	22,32	2552,58	200,12	92,65	27,55	16,40
16	30	30	1,030	1,000	23,38	2200,43	200,00	92,59	23,76	14,05
16	60	30	0,110	0,104	19,77	3398,23	519,57	240,54	14,13	10,53
16	60	30	0,315	0,300	19,13	3611,97	202,10	93,56	38,60	11,73
16	60	30	0,500	0,476	19,27	3566,52	200,23	92,70	38,47	11,58
16	60	30	1,030	1,000	20,13	3279,39	200,01	92,60	35,42	10,62
16	100	30	0,110	0,104	18,53	3810,38	732,61	339,17	11,23	6,94
16	100	30	0,315	0,300	17,87	4029,63	203,50	94,21	42,77	7,87
16	100	30	0,500	0,476	17,75	4070,48	200,39	92,77	43,88	7,96
16	100	30	1,030	1,000	18,06	3967,90	200,01	92,60	42,85	7,75
16	150	30	0,110	0,104	17,80	4055,02	998,91	462,46	8,77	4,79
16	150	30	0,315	0,300	17,28	4227,30	205,25	95,02	44,49	5,51
16	150	30	0,500	0,476	17,10	4286,58	200,58	92,86	46,16	5,59
16	150	30	1,030	1,000	17,03	4311,46	200,02	92,60	46,56	5,63
16	200	30	0,110	0,104	17,39	4189,49	1265,22	585,75	7,15	3,60
16	200	30	0,315	0,300	16,98	4326,87	206,99	95,83	45,15	4,23
16	200	30	0,500	0,476	16,82	4379,12	200,78	92,95	47,11	4,29
16	200	30	1,030	1,000	16,63	4442,98	200,02	92,60	47,98	4,35
16	250	30	0,110	0,104	17,14	4274,54	1531,52	709,04	6,03	2,85
16	250	30	0,315	0,300	16,79	4388,32	208,74	96,64	45,41	3,43
16	250	30	0,500	0,476	16,66	4432,20	200,97	93,04	47,64	3,47
16	250	30	1,030	1,000	16,46	4500,83	200,03	92,61	48,60	3,53
16	300	30	0,110	0,104	16,96	4333,19	1797,83	832,33	5,21	2,33
16	300	30	0,315	0,300	16,67	4430,23	210,49	97,45	45,46	2,89
16	300	30	0,500	0,476	16,56	4467,59	201,16	93,13	47,97	2,92
16	300	30	1,030	1,000	16,36	4531,17	200,03	92,61	48,93	2,96
16	350	30	0,110	0,104	16,83	4376,08	2064,13	955,62	4,58	1,95
16	350	30	0,315	0,300	16,58	4460,65	212,24	98,26	45,40	2,49
16	350	30	0,500	0,476	16,48	4493,11	201,36	93,22	48,20	2,51
16	350	30	1,030	1,000	16,31	4549,96	200,04	92,61	49,13	2,55
16	400	30	0,110	0,104	16,73	4408,80	2330,44	1078,91	4,09	1,66
16	400	30	0,315	0,300	16,51	4483,74	213,99	99,07	45,26	2,19
16	400	30	0,500	0,476	16,42	4512,41	201,55	93,31	48,36	2,21
16	400	30	1,030	1,000	16,27	4563,11	200,05	92,61	49,27	2,24

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 20:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 3000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	23,89	6089,44	1292,68	1795,39	3,39	28,63
10	30	30	0,315	0,300	23,09	6884,89	207,18	287,74	23,93	43,98
10	30	30	0,500	0,476	23,14	6843,15	200,80	278,88	24,54	43,76
10	30	30	1,030	1,000	23,63	6346,04	200,02	277,81	22,84	40,45
10	60	30	0,110	0,104	20,52	9455,53	2385,36	3313,00	2,85	20,48
10	60	30	0,315	0,300	19,14	10823,63	214,35	297,71	36,36	35,09
10	60	30	0,500	0,476	19,03	10938,03	201,59	279,99	39,07	35,53
10	60	30	1,030	1,000	19,57	10396,72	200,05	277,84	37,42	33,73
10	100	30	0,110	0,104	17,97	11989,75	3842,26	5336,47	2,25	13,31
10	100	30	0,315	0,300	16,37	13584,77	223,92	311,00	43,68	26,55
10	100	30	0,500	0,476	16,00	13960,40	202,65	281,46	49,60	27,36
10	100	30	1,030	1,000	16,18	13780,89	200,08	277,89	49,59	27,01
10	150	30	0,110	0,104	16,13	13827,86	5663,39	7865,82	1,76	7,95
10	150	30	0,315	0,300	14,65	15302,68	235,88	327,60	46,71	19,97
10	150	30	0,500	0,476	14,14	15813,77	203,98	283,30	55,82	20,71
10	150	30	1,030	1,000	13,84	16109,37	200,12	277,94	57,96	21,11
10	200	30	0,110	0,104	14,98	14975,26	7484,52	10395,17	1,44	4,58
10	200	30	0,315	0,300	13,69	16264,58	247,83	344,21	47,25	15,92
10	200	30	0,500	0,476	13,18	16768,37	205,30	285,15	58,81	16,48
10	200	30	1,030	1,000	12,62	17327,98	200,16	277,99	62,33	17,05
10	250	30	0,110	0,104	14,19	15759,89	9305,65	12924,52	1,22	2,27
10	250	30	0,315	0,300	13,06	16889,60	259,79	360,82	46,81	13,22
10	250	30	0,500	0,476	12,60	17344,60	206,63	286,99	60,44	13,65
10	250	30	1,030	1,000	11,95	17997,73	200,20	278,05	64,73	14,18
10	300	30	0,110	0,104	13,62	16330,30	11126,78	15453,87	1,06	0,58
10	300	30	0,315	0,300	12,61	17331,70	271,75	377,43	45,92	11,30
10	300	30	0,500	0,476	12,21	17735,72	207,96	288,83	61,41	11,63
10	300	30	1,030	1,000	11,55	18392,20	200,23	278,10	66,13	12,08
10	350	30	0,110	0,104	13,18	16763,69	12947,92	17983,22	0,93	-1,00
10	350	30	0,315	0,300	12,28	17661,64	283,71	394,04	44,82	9,87
10	350	30	0,500	0,476	11,92	18021,86	209,28	290,67	62,00	10,13
10	350	30	1,030	1,000	11,30	18643,76	200,27	278,16	67,03	10,49
10	400	30	0,110	0,104	12,84	17104,14	14769,05	20512,56	0,83	-1,00
10	400	30	0,315	0,300	12,03	17917,42	295,67	410,65	43,63	8,75
10	400	30	0,500	0,476	11,70	18241,48	210,61	292,51	62,36	8,97
10	400	30	1,030	1,000	11,12	18817,16	200,31	278,21	67,64	9,27

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 21:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 3000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 13°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	24,81	5176,02	1292,68	1795,39	2,88	22,54
13	30	30	0,315	0,300	24,13	5852,16	207,18	287,74	20,34	37,10
13	30	30	0,500	0,476	24,17	5816,68	200,80	278,88	20,86	36,92
13	30	30	1,030	1,000	24,59	5394,13	200,02	277,81	19,42	34,11
13	60	30	0,110	0,104	21,94	8037,20	2385,36	3313,00	2,43	15,75
13	60	30	0,315	0,300	20,77	9200,08	214,35	297,71	30,90	29,67
13	60	30	0,500	0,476	20,67	9297,33	201,59	279,99	33,21	30,06
13	60	30	1,030	1,000	21,14	8837,21	200,05	277,84	31,81	28,53
13	100	30	0,110	0,104	19,78	10191,29	3842,26	5336,47	1,91	9,71
13	100	30	0,315	0,300	18,42	11547,06	223,92	311,00	37,13	22,47
13	100	30	0,500	0,476	18,10	11866,34	202,65	281,46	42,16	23,17
13	100	30	1,030	1,000	18,25	11713,76	200,08	277,89	42,15	22,87
13	150	30	0,110	0,104	18,21	11753,68	5663,39	7865,82	1,49	5,18
13	150	30	0,315	0,300	16,95	13007,27	235,88	327,60	39,70	16,91
13	150	30	0,500	0,476	16,52	13441,70	203,98	283,30	47,45	17,54
13	150	30	1,030	1,000	16,26	13692,97	200,12	277,94	49,27	17,89
13	200	30	0,110	0,104	17,23	12728,97	7484,52	10395,17	1,22	2,33
13	200	30	0,315	0,300	16,13	13824,89	247,83	344,21	40,16	13,48
13	200	30	0,500	0,476	15,70	14253,12	205,30	285,15	49,99	13,97
13	200	30	1,030	1,000	15,23	14728,78	200,16	277,99	52,98	14,45
13	250	30	0,110	0,104	16,56	13395,91	9305,65	12924,52	1,04	0,38
13	250	30	0,315	0,300	15,60	14356,16	259,79	360,82	39,79	11,20
13	250	30	0,500	0,476	15,21	14742,91	206,63	286,99	51,37	11,56
13	250	30	1,030	1,000	14,65	15298,07	200,20	278,05	55,02	12,02
13	300	30	0,110	0,104	16,08	13880,76	11126,78	15453,87	0,90	-1,00
13	300	30	0,315	0,300	15,22	14731,95	271,75	377,43	39,03	9,57
13	300	30	0,500	0,476	14,88	15075,37	207,96	288,83	52,19	9,86
13	300	30	1,030	1,000	14,32	15633,37	200,23	278,10	56,21	10,24
13	350	30	0,110	0,104	15,71	14249,14	12947,92	17983,22	0,79	-1,00
13	350	30	0,315	0,300	14,94	15012,40	283,71	394,04	38,10	8,35
13	350	30	0,500	0,476	14,63	15318,58	209,28	290,67	52,70	8,59
13	350	30	1,030	1,000	14,10	15847,20	200,27	278,16	56,97	8,90
13	400	30	0,110	0,104	15,42	14538,52	14769,05	20512,56	0,71	-1,00
13	400	30	0,315	0,300	14,72	15229,81	295,67	410,65	37,09	7,41
13	400	30	0,500	0,476	14,45	15505,26	210,61	292,51	53,01	7,61
13	400	30	1,030	1,000	13,96	15994,59	200,31	278,21	57,49	7,86

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 22:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 3000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 16°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	25,72	4262,61	1292,68	1795,39	2,37	16,45
16	30	30	0,315	0,300	25,17	4819,42	207,18	287,74	16,75	30,21
16	30	30	0,500	0,476	25,20	4790,21	200,80	278,88	17,18	30,08
16	30	30	1,030	1,000	25,54	4442,23	200,02	277,81	15,99	27,76
16	60	30	0,110	0,104	23,36	6618,87	2385,36	3313,00	2,00	11,02
16	60	30	0,315	0,300	22,40	7576,54	214,35	297,71	25,45	24,26
16	60	30	0,500	0,476	22,32	7656,62	201,59	279,99	27,35	24,59
16	60	30	1,030	1,000	22,70	7277,70	200,05	277,84	26,19	23,33
16	100	30	0,110	0,104	21,58	8392,83	3842,26	5336,47	1,57	6,11
16	100	30	0,315	0,300	20,46	9509,34	223,92	311,00	30,58	18,40
16	100	30	0,500	0,476	20,20	9772,28	202,65	281,46	34,72	18,98
16	100	30	1,030	1,000	20,32	9646,62	200,08	277,89	34,71	18,74
16	150	30	0,110	0,104	20,29	9679,50	5663,39	7865,82	1,23	2,42
16	150	30	0,315	0,300	19,26	10711,87	235,88	327,60	32,70	13,85
16	150	30	0,500	0,476	18,90	11069,64	203,98	283,30	39,07	14,38
16	150	30	1,030	1,000	18,69	11276,56	200,12	277,94	40,57	14,66
16	200	30	0,110	0,104	19,49	10482,68	7484,52	10395,17	1,01	0,09
16	200	30	0,315	0,300	18,58	11385,21	247,83	344,21	33,08	11,04
16	200	30	0,500	0,476	18,23	11737,86	205,30	285,15	41,16	11,45
16	200	30	1,030	1,000	17,83	12129,58	200,16	277,99	43,63	11,85
16	250	30	0,110	0,104	18,93	11031,92	9305,65	12924,52	0,85	-1,00
16	250	30	0,315	0,300	18,14	11822,72	259,79	360,82	32,77	9,17
16	250	30	0,500	0,476	17,82	12141,22	206,63	286,99	42,31	9,48
16	250	30	1,030	1,000	17,36	12598,41	200,20	278,05	45,31	9,86
16	300	30	0,110	0,104	18,53	11431,21	11126,78	15453,87	0,74	-1,00
16	300	30	0,315	0,300	17,83	12132,19	271,75	377,43	32,14	7,84
16	300	30	0,500	0,476	17,55	12415,01	207,96	288,83	42,98	8,08
16	300	30	1,030	1,000	17,09	12874,54	200,23	278,10	46,29	8,40
16	350	30	0,110	0,104	18,23	11734,59	12947,92	17983,22	0,65	-1,00
16	350	30	0,315	0,300	17,60	12363,15	283,71	394,04	31,38	6,84
16	350	30	0,500	0,476	17,35	12615,30	209,28	290,67	43,40	7,04
16	350	30	1,030	1,000	16,91	13050,63	200,27	278,16	46,92	7,30
16	400	30	0,110	0,104	17,99	11972,90	14769,05	20512,56	0,58	-1,00
16	400	30	0,315	0,300	17,42	12542,19	295,67	410,65	30,54	6,07
16	400	30	0,500	0,476	17,19	12769,04	210,61	292,51	43,65	6,24
16	400	30	1,030	1,000	16,79	13172,01	200,31	278,21	47,35	6,45

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 23:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 10000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	27,64	7827,57	9185,25	42524,31	0,18	-1,00
10	30	30	0,315	0,300	26,98	10024,17	259,00	1199,08	8,36	58,83
10	30	30	0,500	0,476	26,75	10793,57	206,54	956,22	11,29	65,58
10	30	30	1,030	1,000	26,45	11810,99	200,19	926,82	12,74	72,56
10	60	30	0,110	0,104	25,74	14153,85	18170,50	84122,69	0,17	-1,00
10	60	30	0,315	0,300	24,57	18043,26	318,00	1472,24	12,26	55,24
10	60	30	0,500	0,476	24,16	19404,57	213,09	986,51	19,67	61,39
10	60	30	1,030	1,000	23,66	21060,96	200,39	927,71	22,70	67,11
10	100	30	0,110	0,104	23,77	20702,72	30150,84	139587,20	0,15	-1,00
10	100	30	0,315	0,300	22,16	26067,70	396,67	1836,45	14,19	48,46
10	100	30	0,500	0,476	21,54	28099,59	221,81	1026,90	27,36	54,15
10	100	30	1,030	1,000	20,79	30600,69	200,64	928,90	32,94	59,34
10	150	30	0,110	0,104	21,91	26874,32	45126,25	208917,84	0,13	-1,00
10	150	30	0,315	0,300	20,06	33031,25	495,01	2291,71	14,41	40,99
10	150	30	0,500	0,476	19,28	35613,92	232,72	1077,39	33,06	46,05
10	150	30	1,030	1,000	18,23	39100,44	200,96	930,38	42,03	50,89
10	200	30	0,110	0,104	20,50	31576,61	60101,67	278248,47	0,11	-1,00
10	200	30	0,315	0,300	18,60	37891,10	593,35	2746,97	13,79	35,14
10	200	30	0,500	0,476	17,75	40693,48	243,62	1127,88	36,08	39,57
10	200	30	1,030	1,000	16,49	44906,72	201,28	931,87	48,19	43,97
10	250	30	0,110	0,104	19,38	35280,29	75077,09	347579,11	0,10	-1,00
10	250	30	0,315	0,300	17,52	41485,49	691,68	3202,23	12,96	30,63
10	250	30	0,500	0,476	16,67	44291,42	254,53	1178,37	37,59	34,49
10	250	30	1,030	1,000	15,28	48910,48	201,60	933,35	52,40	38,38
10	300	30	0,110	0,104	18,48	38273,02	90052,51	416909,75	0,09	-1,00
10	300	30	0,315	0,300	16,68	44265,27	790,02	3657,49	12,10	27,07
10	300	30	0,500	0,476	15,87	46971,04	265,43	1228,86	38,22	30,49
10	300	30	1,030	1,000	14,43	51727,65	201,93	934,84	55,33	33,86
10	350	30	0,110	0,104	17,74	40741,59	105027,92	486240,39	0,08	-1,00
10	350	30	0,315	0,300	16,01	46484,92	888,35	4112,75	11,30	24,21
10	350	30	0,500	0,476	15,24	49053,03	276,34	1279,35	38,34	27,30
10	350	30	1,030	1,000	13,82	53765,67	202,25	936,32	57,42	30,19
10	400	30	0,110	0,104	17,12	42812,62	120003,34	555571,02	0,08	-1,00
10	400	30	0,315	0,300	15,47	48300,10	986,69	4568,01	10,57	21,87
10	400	30	0,500	0,476	14,74	50724,13	287,25	1329,84	38,14	24,70
10	400	30	1,030	1,000	13,36	55287,44	202,57	937,81	58,95	27,17

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 24:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 10000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 13°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	28,00	6653,44	9185,25	42524,31	0,16	-1,00
13	30	30	0,315	0,300	27,44	8520,55	259,00	1199,08	7,11	48,81
13	30	30	0,500	0,476	27,24	9174,53	206,54	956,22	9,59	54,79
13	30	30	1,030	1,000	26,98	10039,34	200,19	926,82	10,83	60,75
13	60	30	0,110	0,104	26,38	12030,77	18170,50	84122,69	0,14	-1,00
13	60	30	0,315	0,300	25,38	15336,77	318,00	1472,24	10,42	46,22
13	60	30	0,500	0,476	25,04	16493,88	213,09	986,51	16,72	51,69
13	60	30	1,030	1,000	24,61	17901,82	200,39	927,71	19,30	56,58
13	100	30	0,110	0,104	24,70	17597,32	30150,84	139587,20	0,13	-1,00
13	100	30	0,315	0,300	23,33	22157,55	396,67	1836,45	12,07	40,64
13	100	30	0,500	0,476	22,81	23884,65	221,81	1026,90	23,26	45,72
13	100	30	1,030	1,000	22,17	26010,59	200,64	928,90	28,00	50,16
13	150	30	0,110	0,104	23,13	22843,17	45126,25	208917,84	0,11	-1,00
13	150	30	0,315	0,300	21,55	28076,56	495,01	2291,71	12,25	34,38
13	150	30	0,500	0,476	20,89	30271,83	232,72	1077,39	28,10	38,93
13	150	30	1,030	1,000	20,00	33235,38	200,96	930,38	35,72	43,07
13	200	30	0,110	0,104	21,92	26840,12	60101,67	278248,47	0,10	-1,00
13	200	30	0,315	0,300	20,31	32207,43	593,35	2746,97	11,72	29,46
13	200	30	0,500	0,476	19,59	34589,46	243,62	1127,88	30,67	33,46
13	200	30	1,030	1,000	18,51	38170,71	201,28	931,87	40,96	37,24
13	250	30	0,110	0,104	20,98	29988,24	75077,09	347579,11	0,09	-1,00
13	250	30	0,315	0,300	19,39	35262,67	691,68	3202,23	11,01	25,65
13	250	30	0,500	0,476	18,67	37647,70	254,53	1178,37	31,95	29,18
13	250	30	1,030	1,000	17,49	41573,91	201,60	933,35	44,54	32,51
13	300	30	0,110	0,104	20,21	32532,07	90052,51	416909,75	0,08	-1,00
13	300	30	0,315	0,300	18,68	37625,48	790,02	3657,49	10,29	22,65
13	300	30	0,500	0,476	17,99	39925,38	265,43	1228,86	32,49	25,80
13	300	30	1,030	1,000	16,77	43968,50	201,93	934,84	47,03	28,69
13	350	30	0,110	0,104	19,58	34630,35	105027,92	486240,39	0,07	-1,00
13	350	30	0,315	0,300	18,11	39512,18	888,35	4112,75	9,61	20,23
13	350	30	0,500	0,476	17,45	41695,08	276,34	1279,35	32,59	23,09
13	350	30	1,030	1,000	16,25	45700,82	202,25	936,32	48,81	25,58
13	400	30	0,110	0,104	19,05	36390,73	120003,34	555571,02	0,07	-1,00
13	400	30	0,315	0,300	17,65	41055,09	986,69	4568,01	8,99	18,24
13	400	30	0,500	0,476	17,03	43115,51	287,25	1329,84	32,42	20,89
13	400	30	1,030	1,000	15,86	46994,32	202,57	937,81	50,11	23,03



**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 25:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 10000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 16°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	28,35	5479,30	9185,25	42524,31	0,13	-1,00
16	30	30	0,315	0,300	27,89	7016,92	259,00	1199,08	5,85	38,79
16	30	30	0,500	0,476	27,73	7555,50	206,54	956,22	7,90	44,00
16	30	30	1,030	1,000	27,51	8267,69	200,19	926,82	8,92	48,94
16	60	30	0,110	0,104	27,02	9907,69	18170,50	84122,69	0,12	-1,00
16	60	30	0,315	0,300	26,20	12630,28	318,00	1472,24	8,58	37,19
16	60	30	0,500	0,476	25,91	13583,20	213,09	986,51	13,77	41,99
16	60	30	1,030	1,000	25,56	14742,67	200,39	927,71	15,89	46,05
16	100	30	0,110	0,104	25,64	14491,91	30150,84	139587,20	0,10	-1,00
16	100	30	0,315	0,300	24,51	18247,39	396,67	1836,45	9,94	32,82
16	100	30	0,500	0,476	24,08	19669,71	221,81	1026,90	19,15	37,29
16	100	30	1,030	1,000	23,55	21420,48	200,64	928,90	23,06	40,98
16	150	30	0,110	0,104	24,34	18812,02	45126,25	208917,84	0,09	-1,00
16	150	30	0,315	0,300	23,04	23121,87	495,01	2291,71	10,09	27,77
16	150	30	0,500	0,476	22,50	24929,74	232,72	1077,39	23,14	31,80
16	150	30	1,030	1,000	21,76	27370,31	200,96	930,38	29,42	35,25
16	200	30	0,110	0,104	23,35	22103,63	60101,67	278248,47	0,08	-1,00
16	200	30	0,315	0,300	22,02	26523,77	593,35	2746,97	9,66	23,78
16	200	30	0,500	0,476	21,43	28485,43	243,62	1127,88	25,26	27,36
16	200	30	1,030	1,000	20,54	31434,70	201,28	931,87	33,73	30,50
16	250	30	0,110	0,104	22,57	24696,20	75077,09	347579,11	0,07	-1,00
16	250	30	0,315	0,300	21,26	29039,84	691,68	3202,23	9,07	20,67
16	250	30	0,500	0,476	20,67	31003,99	254,53	1178,37	26,31	23,86
16	250	30	1,030	1,000	19,70	34237,33	201,60	933,35	36,68	26,64
16	300	30	0,110	0,104	21,94	26791,11	90052,51	416909,75	0,06	-1,00
16	300	30	0,315	0,300	20,68	30985,69	790,02	3657,49	8,47	18,22
16	300	30	0,500	0,476	20,11	32879,73	265,43	1228,86	26,76	21,10
16	300	30	1,030	1,000	19,10	36209,35	201,93	934,84	38,73	23,52
16	350	30	0,110	0,104	21,42	28519,11	105027,92	486240,39	0,06	-1,00
16	350	30	0,315	0,300	20,21	32539,44	888,35	4112,75	7,91	16,24
16	350	30	0,500	0,476	19,67	34337,12	276,34	1279,35	26,84	18,89
16	350	30	1,030	1,000	18,67	37635,97	202,25	936,32	40,20	20,97
16	400	30	0,110	0,104	20,98	29968,84	120003,34	555571,02	0,05	-1,00
16	400	30	0,315	0,300	19,83	33810,07	986,69	4568,01	7,40	14,62
16	400	30	0,500	0,476	19,32	35506,89	287,25	1329,84	26,70	17,09
16	400	30	1,030	1,000	18,35	38701,21	202,57	937,81	41,27	18,88

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 26:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 50000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 10°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
10	30	30	0,110	0,104	29,47	8730,21	150419,98	3481943,98	0,00	-1,00
10	30	30	0,315	0,300	29,26	12285,75	1186,42	27463,46	0,45	-1,00
10	30	30	0,500	0,476	29,14	14290,05	309,40	7161,95	2,00	47,52
10	30	30	1,030	1,000	28,83	19452,60	203,22	4704,13	4,14	98,32
10	60	30	0,110	0,104	28,97	17083,04	300639,96	6959258,34	0,00	-1,00
10	60	30	0,315	0,300	28,56	23961,04	2172,84	50297,29	0,48	-1,00
10	60	30	0,500	0,476	28,33	27788,32	418,79	9694,28	2,87	60,31
10	60	30	1,030	1,000	27,75	37384,26	206,44	4778,63	7,82	108,69
10	100	30	0,110	0,104	28,34	27572,39	500933,27	11595677,48	0,00	-1,00
10	100	30	0,315	0,300	27,68	38490,57	3488,07	80742,39	0,48	-1,00
10	100	30	0,500	0,476	27,32	44537,06	564,65	13070,71	3,41	62,93
10	100	30	1,030	1,000	26,43	59348,08	210,73	4877,96	12,17	108,94
10	150	30	0,110	0,104	27,61	39723,71	751299,90	17391201,40	0,00	-1,00
10	150	30	0,315	0,300	26,69	54948,54	5132,11	118798,77	0,46	-1,00
10	150	30	0,500	0,476	26,18	63423,46	746,98	17291,25	3,67	61,51
10	150	30	1,030	1,000	24,96	83800,82	216,09	5002,13	16,75	105,06
10	200	30	0,110	0,104	26,93	50936,96	1001666,53	23186725,32	0,00	-1,00
10	200	30	0,315	0,300	25,81	69652,14	6776,14	156855,15	0,44	-1,00
10	200	30	0,500	0,476	25,18	80136,85	929,31	21511,79	3,73	58,63
10	200	30	1,030	1,000	23,67	105129,68	221,46	5126,29	20,51	100,00
10	250	30	0,110	0,104	26,31	61321,51	1252033,17	28982249,24	0,00	-1,00
10	250	30	0,315	0,300	25,01	82836,63	8420,18	194911,53	0,42	-1,00
10	250	30	0,500	0,476	24,29	94907,67	1111,64	25732,33	3,69	55,34
10	250	30	1,030	1,000	22,56	123632,33	226,82	5250,46	23,55	94,71
10	300	30	0,110	0,104	25,73	70966,71	1502399,80	34777773,17	0,00	-1,00
10	300	30	0,315	0,300	24,30	94731,45	10064,21	232967,91	0,41	-1,00
10	300	30	0,500	0,476	23,50	108007,95	1293,96	29952,87	3,61	52,04
10	300	30	1,030	1,000	21,60	139646,98	232,18	5374,62	25,98	89,51
10	350	30	0,110	0,104	25,19	79948,91	1752766,43	40573297,09	0,00	-1,00
10	350	30	0,315	0,300	23,65	105527,39	11708,25	271024,29	0,39	-1,00
10	350	30	0,500	0,476	22,80	119695,83	1476,29	34173,41	3,50	48,87
10	350	30	1,030	1,000	20,76	153517,30	237,55	5498,79	27,92	84,58
10	400	30	0,110	0,104	24,68	88334,19	2003133,07	46368821,01	0,00	-1,00
10	400	30	0,315	0,300	23,06	115377,09	13352,28	309080,67	0,37	-1,00
10	400	30	0,500	0,476	22,16	130192,51	1658,62	38393,95	3,39	45,90
10	400	30	1,030	1,000	20,04	165567,12	242,91	5622,95	29,44	79,97

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 27:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 50000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 13°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
13	30	30	0,110	0,104	29,55	7420,68	150419,98	3481943,98	0,00	-1,00
13	30	30	0,315	0,300	29,37	10442,89	1186,42	27463,46	0,38	-1,00
13	30	30	0,500	0,476	29,27	12146,54	309,40	7161,95	1,70	33,23
13	30	30	1,030	1,000	29,00	16534,71	203,22	4704,13	3,51	78,87
13	60	30	0,110	0,104	29,13	14520,58	300639,96	6959258,34	0,00	-1,00
13	60	30	0,315	0,300	28,77	20366,88	2172,84	50297,29	0,40	-1,00
13	60	30	0,500	0,476	28,58	23620,08	418,79	9694,28	2,44	46,42
13	60	30	1,030	1,000	28,09	31776,62	206,44	4778,63	6,65	89,99
13	100	30	0,110	0,104	28,59	23436,53	500933,27	11595677,48	0,00	-1,00
13	100	30	0,315	0,300	28,03	32716,99	3488,07	80742,39	0,41	-1,00
13	100	30	0,500	0,476	27,72	37856,50	564,65	13070,71	2,90	49,57
13	100	30	1,030	1,000	26,96	50445,87	210,73	4877,96	10,34	91,14
13	150	30	0,110	0,104	27,97	33765,15	751299,90	17391201,40	0,00	-1,00
13	150	30	0,315	0,300	27,19	46706,26	5132,11	118798,77	0,39	-1,00
13	150	30	0,500	0,476	26,76	53909,94	746,98	17291,25	3,12	48,82
13	150	30	1,030	1,000	25,71	71230,70	216,09	5002,13	14,24	88,30
13	200	30	0,110	0,104	27,39	43296,41	1001666,53	23186725,32	0,00	-1,00
13	200	30	0,315	0,300	26,44	59204,32	6776,14	156855,15	0,38	-1,00
13	200	30	0,500	0,476	25,90	68116,32	929,31	21511,79	3,17	46,60
13	200	30	1,030	1,000	24,62	89360,23	221,46	5126,29	17,43	84,23
13	250	30	0,110	0,104	26,86	52123,28	1252033,17	28982249,24	0,00	-1,00
13	250	30	0,315	0,300	25,76	70411,14	8420,18	194911,53	0,36	-1,00
13	250	30	0,500	0,476	25,14	80671,52	1111,64	25732,33	3,14	43,95
13	250	30	1,030	1,000	23,68	105087,48	226,82	5250,46	20,01	79,87
13	300	30	0,110	0,104	26,37	60321,71	1502399,80	34777773,17	0,00	-1,00
13	300	30	0,315	0,300	25,15	80521,73	10064,21	232967,91	0,35	-1,00
13	300	30	0,500	0,476	24,47	91806,75	1293,96	29952,87	3,07	41,24
13	300	30	1,030	1,000	22,86	118699,93	232,18	5374,62	22,09	75,55
13	350	30	0,110	0,104	25,91	67956,57	1752766,43	40573297,09	0,00	-1,00
13	350	30	0,315	0,300	24,60	89698,28	11708,25	271024,29	0,33	-1,00
13	350	30	0,500	0,476	23,88	101741,45	1476,29	34173,41	2,98	38,61
13	350	30	1,030	1,000	22,15	130489,71	237,55	5498,79	23,73	71,42
13	400	30	0,110	0,104	25,48	75084,07	2003133,07	46368821,01	0,00	-1,00
13	400	30	0,315	0,300	24,10	98070,52	13352,28	309080,67	0,32	-1,00
13	400	30	0,500	0,476	23,34	110663,63	1658,62	38393,95	2,88	36,13
13	400	30	1,030	1,000	21,53	140732,05	242,91	5622,95	25,03	67,55

**Benchmarking (Überschlägiges Abschätzverfahren)****Abbildung 28:** 5er Registeranlagen mit einem Gesamtvolumenstrom von 50000m<sup>3</sup>/h und einer Bodentemperatur von 16°C

Temp Boden	Länge	Temp Luft ein	dRa	dRi	Ta	Qtherm	delta p	Pvent	Leistungszahl	KGB -Zahl
°C	m	°C	m	m	°C	W	Pascal	W		W/m
							Rohr+200Pa			
16	30	30	0,110	0,104	29,63	6111,15	150419,98	3481943,98	0,00	-1,00
16	30	30	0,315	0,300	29,48	8600,03	1186,42	27463,46	0,31	-1,00
16	30	30	0,500	0,476	29,40	10003,04	309,40	7161,95	1,40	18,94
16	30	30	1,030	1,000	29,18	13616,82	203,22	4704,13	2,89	59,42
16	60	30	0,110	0,104	29,28	11958,13	300639,96	6959258,34	0,00	-1,00
16	60	30	0,315	0,300	28,99	16772,73	2172,84	50297,29	0,33	-1,00
16	60	30	0,500	0,476	28,83	19451,83	418,79	9694,28	2,01	32,53
16	60	30	1,030	1,000	28,43	26168,98	206,44	4778,63	5,48	71,30
16	100	30	0,110	0,104	28,84	19300,68	500933,27	11595677,48	0,00	-1,00
16	100	30	0,315	0,300	28,38	26943,40	3488,07	80742,39	0,33	-1,00
16	100	30	0,500	0,476	28,12	31175,94	564,65	13070,71	2,39	36,21
16	100	30	1,030	1,000	27,50	41543,66	210,73	4877,96	8,52	73,33
16	150	30	0,110	0,104	28,33	27806,60	751299,90	17391201,40	0,00	-1,00
16	150	30	0,315	0,300	27,69	38463,98	5132,11	118798,77	0,32	-1,00
16	150	30	0,500	0,476	27,33	44396,42	746,98	17291,25	2,57	36,14
16	150	30	1,030	1,000	26,47	58660,57	216,09	5002,13	11,73	71,54
16	200	30	0,110	0,104	27,85	35655,87	1001666,53	23186725,32	0,00	-1,00
16	200	30	0,315	0,300	27,07	48756,50	6776,14	156855,15	0,31	-1,00
16	200	30	0,500	0,476	26,62	56095,79	929,31	21511,79	2,61	34,58
16	200	30	1,030	1,000	25,57	73590,78	221,46	5126,29	14,36	68,46
16	250	30	0,110	0,104	27,42	42925,06	1252033,17	28982249,24	0,00	-1,00
16	250	30	0,315	0,300	26,51	57985,64	8420,18	194911,53	0,30	-1,00
16	250	30	0,500	0,476	26,00	66435,37	1111,64	25732,33	2,58	32,56
16	250	30	1,030	1,000	24,79	86542,63	226,82	5250,46	16,48	65,03
16	300	30	0,110	0,104	27,01	49676,70	1502399,80	34777773,17	0,00	-1,00
16	300	30	0,315	0,300	26,01	66312,02	10064,21	232967,91	0,28	-1,00
16	300	30	0,500	0,476	25,45	75605,56	1293,96	29952,87	2,52	30,44
16	300	30	1,030	1,000	24,12	97752,89	232,18	5374,62	18,19	61,59
16	350	30	0,110	0,104	26,63	55964,24	1752766,43	40573297,09	0,00	-1,00
16	350	30	0,315	0,300	25,55	73869,17	11708,25	271024,29	0,27	-1,00
16	350	30	0,500	0,476	24,96	83787,08	1476,29	34173,41	2,45	28,35
16	350	30	1,030	1,000	23,53	107462,11	237,55	5498,79	19,54	58,26
16	400	30	0,110	0,104	26,28	61833,94	2003133,07	46368821,01	0,00	-1,00
16	400	30	0,315	0,300	25,14	80763,96	13352,28	309080,67	0,26	-1,00
16	400	30	0,500	0,476	24,52	91134,76	1658,62	38393,95	2,37	26,37
16	400	30	1,030	1,000	23,02	115896,98	242,91	5622,95	20,61	55,14