

Projektarbeit

Dachkühlung

Dominik Neusch 737804

Thomas Czoske 733998

13.07.2012

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung und Aufgabenstellung	5
2 Grundlagen	7
2.1 Verdunstung:	7
2.2 Strahlung	9
2.3 Konvektion	10
3 Praxiserfahrungen	12
3.1 Herleitung	13
3.2 Schlussfolgerung	18
4 Verfahrensstrategien	19
4.1 Zielgruppe	19
4.2 Dachform	21
5 Komponenten	22
5.1 Bewässerungstechnik	22
5.1.1 Besprühung	23
5.1.2 Berieselung	23
5.1.3 Beregnung	24
5.2 Leitungsmaterial	24
5.2.1 Kupfer	25
5.2.2 Stahl verzinkt	25
5.2.3 Edelstahl	25
5.2.4 Kunststoff (PE schwarz)	25
5.3 Regenwasseranlage	27
5.3.1 Zisterne	28

5.3.2	Filtertechnik.....	30
5.3.3	Pumpen.....	31
5.3.4	Steuerung	31
5.4	Montage und Produktion	32
6	Auslegung	32
6.1	Dachsegmente	35
6.2	Zisterne	46
6.3	Filter	46
6.4	Pumpe.....	46
7	Wirtschaftlicher Nachweis	47
8	Fazit	49
	Literaturverzeichnis	52
	Anhang	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 h,x-Diagramm	8
Abbildung 2 Temperaturverlauf mit bzw. ohne Dachbewässerung.....	12
Abbildung 3 Mittlerer monatlicher Tagesgang der Solarstrahlung in Stuttgart.....	16
Abbildung 4 Unterschiedliche Dachformen.....	21
Abbildung 5 Schematische Darstellung der Besprühungskonstruktion.....	24
Abbildung 6 Wasserkreislauf einer Dachkühlungsanlage.....	27
Abbildung 7 Musterfabrikhalle	34
Abbildung 8 Steuerungsplan.....	35
Abbildung 9 Dach 1 Druckverlauf	38
Abbildung 10 Dach 1 Volumenstromverlauf.....	39
Abbildung 11 Dach 2 Druckverlauf	40
Abbildung 12 Düsen 2 Volumenstromverlauf.....	41
Abbildung 13 Dach 3 Kreisregner.....	42
Abbildung 14 Dach 4 4-Eckregner.....	44
Abbildung 15 Hauptversorgungsstrang.....	45
Abbildung 16: Pumpenkennlinien Matrix 10.....	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:Zusammenfassung der Herleitung	18
Tabelle 2 Abflussbeiwert nach Dachart	29
Tabelle 3 Filtervarianten	31
Tabelle 4 kinematische Viskosität in Abhängigkeit der Temperatur.....	37
Tabelle 5 Beregnerkenndaten	41
Tabelle 6 4-Eckberegner Kenndaten	43
Tabelle 7 Zusammenfassung der Dachsegmente	44

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Das Klima in Deutschland wird meteorologisch als „gemäßigt“ beschrieben. In der Praxis wird es aber im Winter sehr kalt und im Sommer sehr heiß, sodass es uns weniger als gemäßigt, sondern als Klima der Extreme erscheinen kann. Durch Klimaerwärmung sollen diese Extreme weiter zunehmen. Während unsere südeuropäischen Nachbarn Probleme haben, in den strenger werdenden Wintermonaten ihre Gebäude zu beheizen, verstehen wir in Deutschland mehr und mehr, warum in diesen Ländern mittags eine Siesta gehalten wird.

Temperaturen zwischen 20°C und 25°C werden von den meisten Menschen als angenehm empfunden. Bei Umgebungstemperaturen von 30°C und mehr nehmen die Behaglichkeit und das Leistungsvermögen jedoch rapide ab. Die empfundene Temperatur setzt sich aus der Temperatur der Umgebungsluft und der Temperatur der umgebenen Flächen zusammen. Diese Flächen strahlen Wärme ab, was vom Menschen wahrgenommen wird. Hauptquelle für unangenehme Wärmestrahlung ist im Sommer vor allem die Decke direkt unter dem Dach. Das Dach heizt sich durch die Sonnenstrahlung so auf, dass darauf mühelos Spiegeleier gebraten werden könnten. Diese Wärme wirkt sich selbstverständlich auch auf die darunterliegenden Räume aus und sorgt so für deren Aufheizung.

So herrschten im Jahrhundertssommer 2003 bei der Firma Ökoservice GmbH in den Büroräumen direkt unter dem Dach Temperaturen von 33°C bei einer Außentemperatur von 38°C. Durch den Umstand, dass eine vorhandene Regenwasserzisterne bisher nicht genutzt wurde, entstand die Idee, das Dach mit Regenwasser zu kühlen, um dadurch die Raumtemperatur herabzusenken.

Die Idee, die Verdunstungsenthalpie des Wassers zur Kühlung zu verwenden, ist vielleicht schon älter als die Schrift oder die Mathematik. Um die kühlende Wirkung des Wassers wussten die Menschen bereits sehr früh Bescheid. So wurde seit jeher mit feuchtem Leinen am Eingang des Hauses gekühlt oder Waren damit abgedeckt um sie auf dem Markt frisch zu halten.

Angesichts knapper werdender fossiler Brennstoffe und steigender Energiepreise sind in der heutigen Zeit immer ausgeklügeltere Verfahren zur Energieeinsparung und Energiegewinnung gefragt, weshalb diese Technologie der Kühlung ein großes Potential für eine zukünftige Nutzung besitzt.

Seit dem Jahre 2003 konnten von der Firma Ökoservice GmbH empirische Erfahrungen über die Wirksamkeit der Dachkühlung und einige Parameter gesammelt werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Wirksamkeit der Dachkühlung rechnerisch nachzuweisen und die Wirkungsweise zu analysieren. Dadurch sollen qualitative und quantitative Aussagen abgeleitet werden, welche als Grundlagen für die Integration einer Dachkühlung in die gebräuchliche Klimatechnik dienen sollte. Die praktische Umsetzung einer Dachkühlungsanlage soll erörtert werden, um mögliche Probleme bei der Installation und beim Betrieb zu erkennen. Dafür sollen Lösungen erarbeitet und die konstruktive Ausführung vorgestellt werden. Anhand dessen soll eine möglichst repräsentative Musteranlage geplant werden. Dadurch können Aussagen über die Energiebilanz getroffen und ein Wirtschaftlichkeitsvergleich zu konventionellen Klimaanlage, die nach dem Prinzip der Wärmepumpe arbeiten, geschlossen werden. Diese Arbeit hat den Anspruch, technischen Planern als Auslegungshilfe für eine Dachkühlungsanlage zu dienen. Darin geschaffene Auslegungsformeln und Excel-Programme sollen deswegen allgemeine Gültigkeit besitzen und Anpassungsspielraum für spezielle Fälle als auch für zukünftige Erkenntnisse aufweisen.

2 Grundlagen

Die Funktionsweise der Dachkühlung ist komplex und direkt von den stark schwankenden äußeren Bedingungen abhängig. Hauptsächlich bedingen die Faktoren Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und die Oberflächenbeschaffenheit die Wirksamkeit. Die Wirkmechanismen sind Verdunstung, Strahlung und Konvektion. Die ausführliche Beschreibung würde den Umfang dieser Arbeit sprengen und keine signifikanten Erkenntnisse liefern. Aus diesem Grund wird lediglich auf die nährungsweise Erklärung der Wirkmechanismen eingegangen.

2.1 Verdunstung:

Unter Verdunstung versteht man den Wechsel unterhalb der Verdampfungstemperatur (Siedepunkt) vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand. Bei der Verdunstung entzieht der verdunstende Stoff der Umgebung Energie. Bei reinem Wasser wird hierzu eine spezifische Energie von etwa 2500 kJ/kg benötigt, wobei dieser Wert auch leicht von der Temperatur abhängt.

Die Temperatur der Grenzschicht zwischen Wasser und Luft nähert sich dabei der Kühlgrenztemperatur an. „Die Kühlgrenztemperatur, gemessen als Feuchtkugeltemperatur, ist die tiefste Temperatur, welche sich durch Verdunstungskühlung erreichen lässt. Dabei steht die Wasserabgabe einer feuchten Oberfläche mit dem Wasseraufnahmevermögen der umgebenden Atmosphäre im Gleichgewicht und das umgebende Gas wird mit Dampf gesättigt. Aufgrund der Verdunstungskälte liegt die Kühlgrenztemperatur in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte unterhalb der Lufttemperatur. Die Temperaturabsenkung ist dabei umso größer, je trockener die umgebende Luft ist.“¹

Die rechnerische Behandlung dieser Zustandsänderung ist ohne besondere Rechenhilfsmittel mit großem Aufwand verbunden, weil viele Probleme nur iterativ zu lösen sind. Sehr vorteilhaft ist das h-x-Diagramm nach Mollier, in Abbildung 1 dargestellt, welches auf eine sehr übersichtliche Weise graphische Lösungen erlaubt.

Bei der Befeuchtung verläuft die Zustandsänderung der an der Grenzschicht befindlichen Luft entlang der Isenthalpen ($h=\text{konst.}$) bis zur Sättigungskurve ($p=1$).

¹ Grassmann et al.: Einführung in die thermische Verfahrenstechnik, 3. Auflage, Walter de Gruyter Berlin 1997

Beispiel:

Ein Luftstrom (Zustand 1) mit der Temperatur von 35°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50% ($\rho=0,5$) erreicht an einer feuchten Oberfläche die Wasserdampfsättigung (Zustand 2). Für die graphische Ermittlung wird der Schnittpunkt zwischen der 35°C Nebelisothe (t=konst.) und der Kurve mit konstanter relativer Feuchte von $\rho=0,5$ konstruiert (Zustand 1). Die Befeuchtung der Luft verläuft nun parallel zur Isenthalpen (h=konst.) bis zur Sättigungskurve mit $\rho=1$ (Zustand 2). Die hieraus folgende Temperatur ist die Kühlgrenztemperatur und kann nun an der Ordinate abgelesen werden und sie ist in diesem Beispiel 26°C.

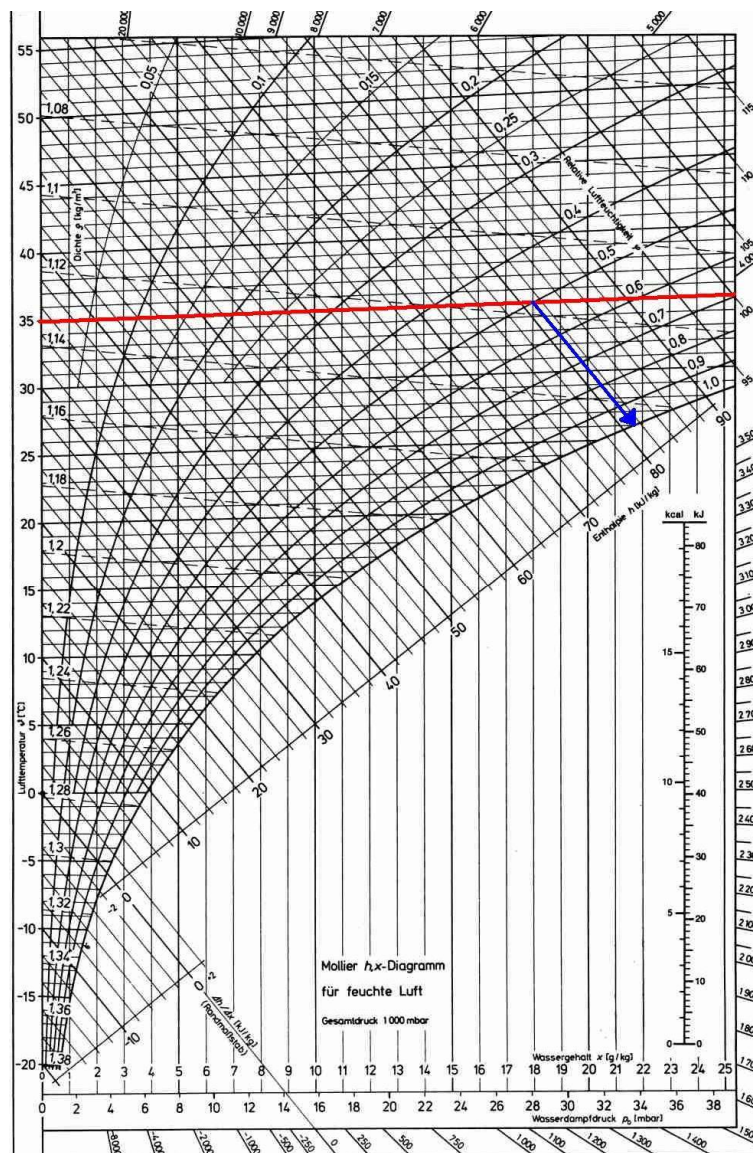


Abbildung 1: h,x -Diagramm²

² Rohrbach Vorlesungsskript Thermodynamik

2.2 Strahlung

Der Wärmestrom, der durch Strahlung von der Sonne auf die Erde gelangt, ist die Voraussetzung für das Leben auf der Erde und für die über die Umgebungslufttemperatur hinausreichende Erwärmung unserer Dächer verantwortlich. Das Grundgesetz der Wärmestrahlung ist das Gesetz von Stefan Boltzmann:

$$dQ = CT^4 \dot{A} = EdA \quad (1)$$

Danach ist der Wärmestrom \dot{Q} der vierten Potenz der absoluten Temperatur T und der Oberfläche A des Körpers proportional. Der Proportionalitätsfaktor C ist der Strahlungskoeffizient und E die Emission; welche einen Wärmestrom, bezogen auf die Oberfläche des strahlenden Körpers, darstellt. Der Strahlungskoeffizient hängt von der Art des Körpers ab. Den größten Strahlungskoeffizienten hat der schwarze Körper. Das Stefan Boltzmann-Gesetz gilt exakt für Schwarze Körper und für andere Körper nur näherungsweise.³

Der Strahlungskoeffizient für Schwarze Körper ist: $C_S = 5,67028 * \frac{10^{-8}W}{m^2K^4}$

„Das Emissionsverhältnis ε eines beliebigen Körpers ist das Verhältnis der Emission E dieses Körpers $E=CT^4$ zur Emission eines Schwarzen Körpers $E_S=C_S T^4$ mit derselben Temperatur. Das Absorptionsverhältnis α eines beliebigen Körpers ist das Verhältnis der absorbierten Strahlung zur auftretenden Strahlung. Da ein Schwarzer Körper die gesamte auftretende Strahlung absorbiert, ist das Absorptionsverhältnis eines beliebigen Körpers auch das Verhältnis der absorbierten Strahlung zu der Strahlung, die ein schwarzer Körper absorbieren würde.“⁵

Nach dem Kirchhoffschen Gesetz ist das Absorptionsverhältnis eines beliebigen Körpers gleich seinem Emissionsverhältnis:

$$\alpha = \varepsilon = \frac{E}{E_S} = \frac{C}{C_S} \quad (2)$$

Die auftretende Strahlung, die von einem beliebigen Körper nicht absorbiert wird, kann reflektiert oder durchgelassen werden. Das Durchlassverhältnis ist das

³ Gröber H., S Erk und U. Grigull: Grundgesetze der Wärmeübertragung. 3. Aufl. Springer, Berlin 1957

⁴ Kamke, D. und K. Krämer: Physikalische Grundlagen der Maßeinheiten. Teubner, Stuttgart 1977

⁵ Doering E et al., Grundlagen der Technischen Thermodynamik. 6. Aufl. Springer, Wiesbaden 2006

Verhältnis durchgelassener Strahlung zur auftretenden Strahlung. Für die Summe aus dem Absorptionsverhältnis gilt:

$$\alpha + \varepsilon + d = 1 \quad (3)$$

2.3 Konvektion⁶

Bei der Konvektion, auch Wärmeströmung genannt, wandert die Energie von einem Ort höherer Temperatur mit der erwärmten Materie zu einem Ort niedrigerer Temperatur. Der Energietransport ist im Gegensatz zur Wärmeleitung mit einem Materietransport verbunden. Es wird zwischen erzwungener und freier Konvektion unterschieden. Bei der erzwungenen Konvektion sind äußere Einflüsse, bei der freien Konvektion ist der Dichteunterschied aufgrund der Temperaturdifferenz für die Strömung verantwortlich.

Beim konvektiven Wärmeübergang zwischen einer Wand und einem Fluid bildet sich eine Grenzschicht aus ruhenden und laminar strömenden Fluidteilchen, an welcher der Wärmeaustausch durch Wärmeleitung stattfindet. Die übertragene Wärme ist zur Oberfläche und zur Differenz zwischen Oberflächentemperatur und Fluidtemperatur proportional. Der Proportionalitätsfaktor ist der Wärmeübergangskoeffizient h .

$$d\dot{Q} = h(t - \theta_0)dA \quad (4)$$

Die näherungsweise Berechnung des Wärmeübergangswiderstandes R ergibt sich nach DIN EN ISO 6946 wie folgt:

$$R = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (5)$$

$$h = h_c + h_r \quad (6)$$

Dabei ist: h_c der Wärmeübergangskoeffizient durch Konvektion und h_r der Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung.

$$h_r = \varepsilon * h_{r0} \quad (7)$$

$$h_{r0} = 4 * \sigma * T_m^3 \quad (8)$$

⁶ http://www.uni-due.de/ibpm/Aufgabensammlung/NeuNorm_A4.pdf

Dabei ist ε der Emissionsgrad der Oberfläche, h_{r0} der Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung eines schwarzen Körpers, σ die Stefan-Boltzmann-Konstante $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ und T_m die mittlere thermodynamische Temperatur der Oberfläche und ihrer Umgebung.

Bei Innenoberflächen ist

$$h_c = h_{ci} \tag{9}$$

Dabei ist für Wärmestrom aufwärts $h_{ci} = 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$, für Wärmestrom horizontal: $h_{ci} = 2,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ und für Wärmestrom abwärts: $h_{ci} = 0,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$.

Bei Außenoberflächen ist

$$h_c = h_{ce} \tag{10}$$

$$h_{ce} = 4 + 4 * v \tag{11}$$

Dabei ist v die Windgeschwindigkeit über der Oberfläche in $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$.

Die Wärme, die durch die Absorption der Sonneneinstrahlung an der Oberfläche entsteht, fließt zum Teil wieder nach außen ab. Wenn die Oberflächentemperatur höher ist als die Innenoberflächentemperatur, fließt die Wärme nach innen (negative Richtung des Wärmestroms). Letztere reduziert im Winter die Heizlast und erhöht im Sommer die Kühllast. Gleichzeitig führt die Absorption der Sonneneinstrahlung zur Erhöhung sowohl der äußeren Oberflächentemperatur als auch der inneren Oberflächentemperatur. Ist die Fassadentemperatur jedoch niedriger als die Innenoberflächentemperatur, so findet ein Wärmestrom nach außen statt (positive Richtung des Wärmestroms, meist im Winter).

Es wird angenommen, dass stationäre Bedingungen herrschen, was unter anderem heißt, dass Außenluft- und Innenlufttemperaturen konstant gehalten werden. Dies entspricht gleichzeitig den Bedingungen eines isothermen Innenraumes. Die Berechnung des Wärmestromes, der Innenwandtemperatur und der

Außenwandtemperatur erfolgt nach der Professur für Bauphysik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich wie folgt.⁷

Wärmestrom durch eine ebene Wand/Decke:

$$\dot{q}_i = \left(\theta_i - \theta_e - \frac{\alpha * I}{h_e} \right) * U \quad (12)$$

Oberflächentemperatur außen:

$$\theta_{Se} = \theta_e + \frac{U}{h_e} * \left[\theta_i - \theta_e + \alpha * I * \left(\frac{1}{U} - \frac{1}{h_e} \right) \right] \quad (13)$$

Oberflächentemperatur innen:

$$\theta_{Si} = \theta_i - \frac{U}{h_i} * \left[(\theta_i - \theta_e) - \frac{\alpha * I}{h_e} \right] \quad (14)$$

3 Praxiserfahrungen

Die Firma Ökoservice in Denkendorf betreibt seit 2003 eine Dachkühlungsanlage, um die unter dem Dach befindlichen Büroräume herunterzukühlen. Erfahrungsgemäß zeigte sich, dass eine Temperaturabsenkung um 3-4 Kelvin möglich ist, wie die folgende Abbildung 2 zeigt.

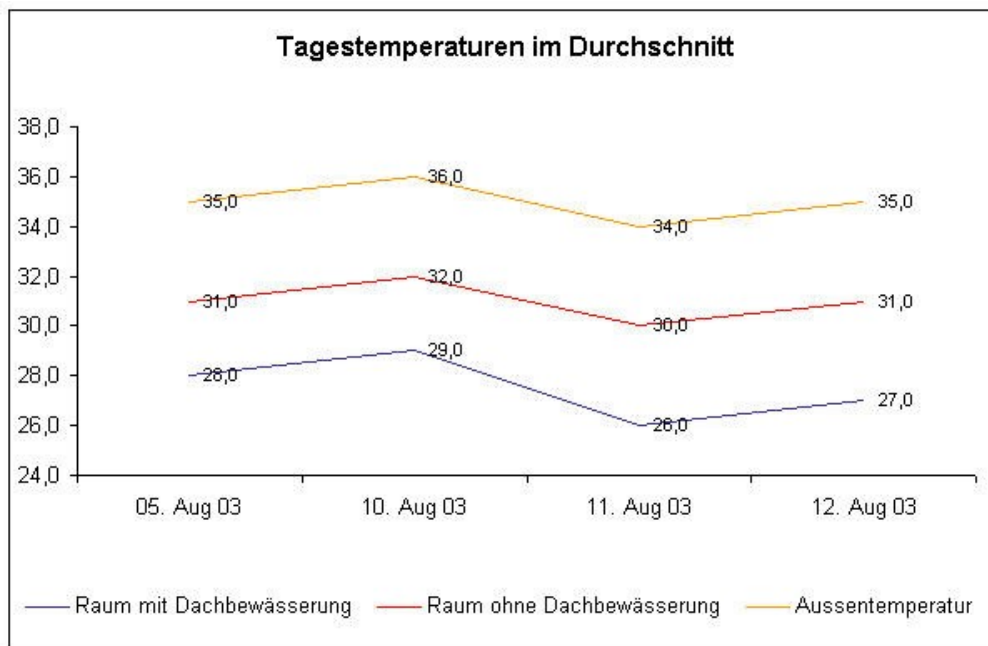


Abbildung 2: Temperaturverlauf mit bzw. ohne Dachbewässerung⁸

⁷⁷ http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/Filep/Waerme/Waerme_Bauwerk/StationaerDurchgang.html

Ein weiterer wichtiger Parameter, der ermittelt wurde, ist die Verdunstungsmenge von einem Liter pro Quadratmeter und Tag, die sich bei zwölfstündigem Betrieb einstellt. Dies entspricht, bei einer Verdunstungsenthalpie von 2285 kJ pro kg Wasser, einer Kühlleistung von 0,7 kWh/(m²*d), die auf das Dach und seine Umgebung wirkt.

3.1 Herleitung

Es soll nun überprüft werden, ob die gesammelten Erfahrungswerte mit den hier geschaffenen rechnerischen Grundlagen bestätigt werden können. Dadurch könnten ohne aufwändige Messungen für beliebige Gebäude Wärmeströme und somit das Potential und das Leistungsvermögen einer Dachkühlung errechnet werden.

Wärmestrom:

Bei einer Umgebungstemperatur⁹ von etwa $\theta_e = 30^\circ\text{C}$ und leichtem Wind, ca. $v_{Wind} = 3\text{m/s}$ wurde an einem sonnigen Julitag (12. Juli 2011) um 12 Uhr mittags auf dem unbewässerten Dach aus Dachpappe $\alpha = 0.93$ eine Oberflächentemperatur von $\theta_{Si} = 71^\circ\text{C}$ gemessen. Das Dach ist nach Süden gerichtet und besitzt eine Neigung von etwa 15° , wodurch bei klarem Himmel eine Strahlungsintensität von etwa $800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ angenommen werden kann.¹⁰ Die Temperatur wurde mit einem Infrarotthermometer gemessen. Die Qualität der Dachdämmung wird als mittelmäßig eingeschätzt und somit der Wärmeübergangskoeffizient auf $U=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ festgelegt. In den Innenräumen darunter herrschte derweil eine Deckentemperatur von $\theta_i = 28^\circ\text{C}$.

$$h = \alpha * 4 * \sigma * \left(\frac{\theta_{Se} + \theta_e}{2}\right)^3 + 4 + 4 * v_{Wind} \quad (15)$$

$$h = 0,93 * 4 * 5,67 * 10^{-8} * \left(\frac{30+71}{2}\right)^3 + 4 + 4 * 3 \quad (16)$$

$$h = 16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (17)$$

Da es sich bei den Formeln um eine empirische Näherungslösung handelt, können passende Einheiten eingesetzt werden. Es ergibt sich zur Bestimmung der Oberflächentemperatur eine iterative Problemstellung, da hier ebenfalls die

⁸ <http://www.oekoservice.com/dachkuehlung/dachkuehlung1.png>

⁹ <http://www.wetterkontor.de/de/wetter/rueckblick.asp>

¹⁰ http://www.tagessgang-globalstrahlung.solar-wetter.com/html/solar-wetter_com_globalstrahlu8.html

Oberflächentemperatur gefordert ist. Bei einer genaueren Betrachtung der einzelnen Einflüsse auf das Endergebnis ist festzustellen, dass lediglich die Windgeschwindigkeit einen Einfluss besitzt. Dem Strahlungsanteil des Wärmeübergangskoeffizienten, wo sich das iterative Problem ergibt, ist hier nur ein Einfluss auf die zweite Nachkommastelle zuzuschreiben. Da der Strahlungsanteil nur bei viel höheren Temperaturen an Bedeutung gewinnt, kann durch Schätzung (es wird der Messwert $\theta_e = 71^\circ\text{C}$ eingetragen) bereits ausreichende Genauigkeit erzielt werden. Bei Abweichung der Schätzung vom Ergebnis könnte ferner durch Angleichen des Schätzwertes eine Approximation erreicht werden.

$$\theta_{se} = \theta_e + \frac{U}{h} * [\theta_i - \theta_e + \alpha * I * (\frac{1}{U} - \frac{1}{h})] \quad (18)$$

$$\theta_{se} = 30^\circ\text{C} + \frac{0,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}}{16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} * [28^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} + 0,93 * 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * (\frac{1}{0,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} - \frac{1}{16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}})] \quad (19)$$

$$\theta_{se} = 75,5^\circ\text{C} \quad (20)$$

Bei den angenommenen Parametern würde sich rechnerisch eine Dachtemperatur von $75,5^\circ\text{C}$ ergeben. Das Ergebnis hängt stark von den geschätzten Parametern für Strahlungsintensität und Windgeschwindigkeit ab. So würde der Messwert hier mit einer geringfügigen Veränderung der Strahlungsintensität auf $750 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ statt $800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ oder mit einer Windgeschwindigkeit von $v_{wind} = 3,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ statt $v_{wind} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, ziemlich exakt bestätigt werden. Sofern exakte Werte über die Verteilung der Strahlungsintensitäten und der Windgeschwindigkeiten vorliegen, kann die tägliche Kühllast bestimmt werden. Diese Werte sind beim Deutschen Wetterdienst gegen Zahlung erhältlich.

Für den hier beschriebenen stationären Fall auf dem Dach der Firma Ökoservice ohne Dachkühlung stellt sich bei einer relevanten Dachfläche von $A=350\text{ m}^2$, worunter sich die Büroräume befinden, folgender Wärmestrom ein. Es werden die gemessenen Werte eingesetzt.

$$\dot{q}_{\text{unbewässert}} = A * (\theta_e - \theta_i) * U$$

$$\dot{q}_{\text{unbewässert}} = 350\text{m}^2 * (71,5^\circ - 28^\circ) * 0,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$\dot{q}_{\text{unbewässert}} = 4,6\text{kW}$$

Ein anderer Teil des Daches wurde währenddessen bewässert. Auf der bewässerten Fläche wurde mit dem Infrarotthermometer eine Temperatur von 30°C gemessen, die Deckentemperatur darunter betrug 26°C . Somit stellte sich indes bei der bewässerten Fläche folgender Wärmestrom ein.

$$\dot{q}_{\text{bewässert}} = A * (\theta_e - \theta_i) * U$$

$$\dot{q}_{\text{bewässert}} = 350\text{m}^2 * (30^\circ - 28^\circ) * 0,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$\dot{q}_{\text{bewässert}} = 0,2\text{kW}$$

Durch die Dachkühlung wird somit der Wärmestrom in diesem betrachteten Moment um $\Delta\dot{q} = 4,4\text{kW}$ reduziert. Da dieser Wärmestrom nicht durch eine möglicherweise installierte Klimaanlage ausgeglichen werden muss, entspricht dies der reduzierten Kühllast.

Wärmemenge:

In der Zeit zwischen 9:00 Uhr morgens und 15:00 Uhr mittags ist im Juli die Strahlungsintensität am höchsten und bei klarem Himmel größer als 800 W/m^2 (Abbildung 3).

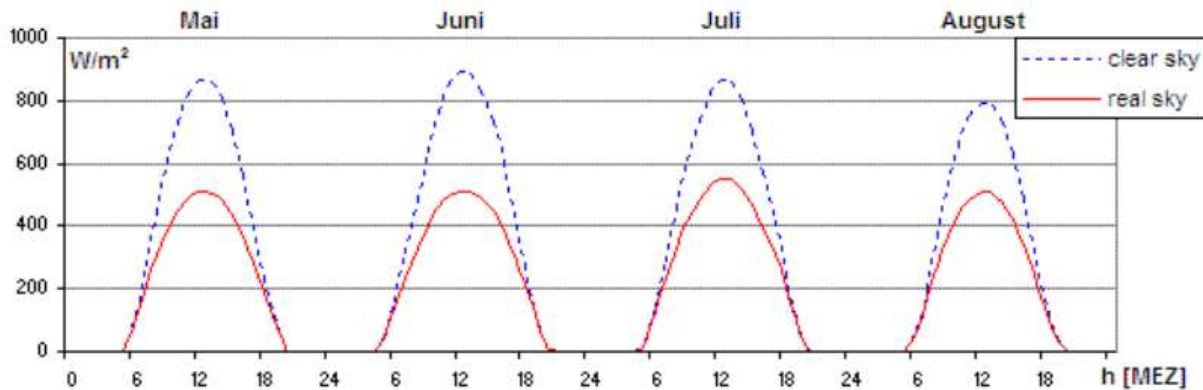


Abbildung 3:: Mittlerer monatlicher Tagesgang der Solarstrahlung in Stuttgart¹¹

Während der Zeit von 9:00 bis 16:00 Uhr kann somit von ähnlichen Verhältnissen wie im oben berechneten stationären Fall ausgegangen werden. Die Integration des reduzierten Wärmestroms über die Zeit ergibt demnach die Wärmemenge, die allein während diesem Zeitraum von 7 Stunden nicht über das Dach in das Gebäude fließt.

$$Q_{Dach} = 7h * 4,4kW = 30,8kWh$$

Da zwischen 9:00 und 16:00 Uhr die Strahlungsintensität sogar höher als 800 W/m^2 ist und selbst zwischen 7:00 und 18:00 Uhr mehr als 400 W/m^2 beträgt, ist die reduzierte Wärmemenge Q_{Dach} definitiv deutlich größer als errechnet und liegt bei konservativer Schätzung etwa $Q_{Da} \approx 50kWh$. Dies ist die Gebäudekühlung, welche durch die Dachkühlung bewirkt wurde.

Verdunstungswärme:

Über den gesamten Tag (11 Stunden Betriebszeit) erhält man über die Verdunstungsmenge und die Fläche die Wärmemenge, die dem Dach und seiner Umgebung entzogen wurden. Während des Betriebs hat sich das Regenwasservolumen um etwa 390 Liter (entspricht $1,14 \text{ l/m}^2$) reduziert. Die Bewässerung erfolgte mit einem Viereckregner relativ ineffizient, da das Wasser in einem weiten Bogen auf

¹¹ http://www.tagesgang-globalstrahlung.solar-wetter.com/html/solar-wetter_com_globalstrahlu8.html

der Dachfläche verteilt wurde. Der Erfahrungswert von $1l/m^2$ (Verdunstungswärme $0,7 \frac{kWh}{m^2}$) wird als genauer erachtet, da dieser durch eine effiziente Berieselungstechnik ermittelt wurde. Die Wärmemenge bzw. die Kälte durch Verdunstung, die bei einer effizienten Bewässerung (in Bezug auf die Dachfläche), dem Dach und seiner Umgebung entzogen würde, kann folgendermaßen berechnet werden.

$$Q_{\text{Verdunstung}} = 0,7 \frac{kWh}{m^2} * 350m^2 = 245,0 kWh$$

Zisterne als Wärmetauscher:

Hierbei fungierte das Dachkühlungssystem aber auch als Wärmetauscher. An dem Versuchstag wurde die mit $3,2 m^3$ gefüllte Regenwasserzisterne von $28,1 ^\circ C$ auf $29,4 ^\circ C$ erhitzt. Wasser hat eine Wärmekapazität von etwa $c_{p,Wasser} = 4,18 \frac{kJ}{kg * K}$. Um die $3,2m^3$ ($3200kg$) Regenwasser, wie hier um $1,3 K$, zu erhitzen, wurden etwa $4,8 kWh$ benötigt.

3.2 Schlussfolgerung

Die Erfahrungswerte können mithilfe rechnerischer Methoden ausreichend nachvollzogen werden. Aufgrund von relativ wenigen Messwerten und lediglich hinreichenden Statistiken kann keine exakte Bestimmung erfolgen. Durch logische und eher zurückhaltende Annahmen kann das Potential und die Wirksamkeit der Dachkühlungsanlage aber voll bestätigt werden. Durch die Analyse und Herleitung der Messergebnisse wird ein gutes Verständnis über die Wirkungsweise vermittelt. Die wichtigsten Ergebnisse aus der Herleitung sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Herleitung

Bezeichnung	Bezogen auf Pilotanlage	allgemein
Wärmestrom unbewässert	4,6 kW	13,1 W/m ²
Wärmestrom bewässert	0,2 kW	0,5 W/m ²
reduzierte Kühllast	4,4 kW	12,6 W/m ²
Gebäudekühlung durch Dachkühlung	50 kWh/d	143 Wh/(m ² d)
Kälte durch Verdunstung	245,0 kWh/d	0,7 kWh/(m ² +d)
Wärmetauschereffekt	4,8 kWh	13,3 W/(m ² d)

Von besonderem Interesse ist die Gebäudekühlung durch die Dachkühlung. Sie ergibt sich aus der Herleitung über den Wärmestrom des Daches und setzt sich aus Wärmetauschereffekt (ca. 5%) und Verdunstungseffekt (ca. 95%) zusammen. Der Wärmetauschereffekt ist in Wahrheit leicht größer, da auch ein Wärmestrom von der Regenwasserzisterne an das umgebende Erdreich anzunehmen ist. Dieser kann aber selbst bei einem hohen Wärmeübergangswert aufgrund der geringen Temperaturdifferenz und geringen Fläche, vernachlässigt werden.

Der gesamte Kühleffekt, der durch Verdunstung hervorgerufen wird, beträgt das Fünffache des hergeleiteten Kühleffektes auf das Gebäude. Der restliche Verdunstungseffekt wirkt auf die Umgebungsluft, welche sich direkt über dem Gebäude und somit in direkter Umgebung befindet. Es ist zu erwarten, dass dieser Anteil sich auf die Außenwände und auch auf die Luft, welche durch den Gebäude-Luftaustausch in das Gebäude dringt, sich positiv kühlend auswirkt.

4 Verfahrensstrategien

4.1 Zielgruppe

Eine Dachkühlung kann lediglich Räumlichkeiten unterhalb des Daches kühlen. Dabei ist sie in der Lage, das Gebäude von Temperaturspitzen, gerade in den Sommermonaten, zu entlasten. Zu einer eigentlichen Kühlung und Regulierung auf eine niedrige Raumtemperatur, wie es eine Klimaanlage vermag, ist sie allerdings nicht in der Lage.

Bei einem gut gedämmten Dach sind die wirtschaftlichen Möglichkeiten einer Dachkühlung begrenzt. Bei einer guten Isolierung liegt nur eine geringe Kühllast über das Dach vor, welche von der Dachkühlung weiter reduziert werden kann.

Die Höhe des Gebäudes ist für die Wirtschaftlichkeit einer Dachkühlungsanlage ebenfalls bedeutend, da diese in der Regel überwunden werden muss wozu zusätzliche Energie aufgewendet werden muss. Desweiteren ist natürlich die Verfügbarkeit von Wasser bzw. die Speichermöglichkeit ein wichtiger Faktor Faktor.

Mögliche Zielgruppen wären:

Privathaushalte:

Neue Ein- und Mehrfamilienhäuser besitzen meist eine sehr gute Dachdämmung. Bei sehr hohen Dachtemperaturen können sich die Räume darunter dennoch stark aufheizen. Da die Gebäudehöhen von Privathäusern in der Regel niedrig sind und oftmals sogar Regenwassernutzung vorhanden ist, können Dachkühlungsanlagen leicht realisiert werden. In den meisten Fällen aber werden die Räumlichkeiten unter dem Dach nicht als Wohnraum genutzt, weshalb Privathaushalte lediglich als Randzielgruppe bezeichnet werden.

Industrie:

Industriehallen sind meistens aus Kostengründen relativ schlecht isoliert. In die Hallen müssen oft schwere Maschinen transportiert werden, bzw. es finden hohe Warentransfers statt, weshalb sie meist nur einstöckig ausgeführt sind. Da in solchen Hallen auch ein hoher Luftaustausch vorliegt, sind Klimaanlagen nicht optimal

einsatzfähig, wodurch eine Dachkühlungsanlage die wirtschaftlichste Lösung sein kann, um Personal und Material vor zu hohen Temperaturen zu schützen. Für Industriegebäude, z.B. Lagerhallen, wo eine maximale Raumtemperatur aufgrund der Verderblichkeit von Waren nicht überschritten werden darf, ist eine Dachkühlungsanlage in Verbindung mit einer Klimaanlage meist durchaus wirtschaftlicher als eine Kühlung ausschließlich über die Klimaanlage.

Öffentliche Gebäude:

Von der öffentlichen Hand werden aufgrund der Vielfalt sicherlich einige Gebäude verwaltet, für die sich eine Dachkühlungsanlage effizient beschreiben lässt. Da dort aber komplizierte Ausschreibungsverfahren angewandt werden müssen und eher weniger auf innovative Technik als auf altbewährte Technik gesetzt wird, können öffentliche Gebäude kaum oder nur in Verbindung mit einem Ingenieurbüro, welches den Auftrag für die Gesamtplanung hält, als Zielgruppe genannt werden.

Abschließend können folgende Zielgruppen nach Priorität genannt werden:

- Fertigungshallen
- Lagerhallen
- Bürogebäude mit niedriger Gebäudehöhe und Büroräumen unter dem Dach
- Ingenieurbüros für Gebäude- und Klimatechnik
- Privathaushalte

4.2 Dachform

Für die Auslegung einer Dachkühlungsanlage bzw. für die richtige Bewässerungstechnik der Dachfläche spielt die Dachform des Gebäudes eine entscheidende Rolle. Dachformen gibt es in unterschiedlichsten Variationen sowie Dachaufbauten und sonstige Elemente, welche sich auf dem Dach befinden können. In Abbildung 4 sind verschiedene Dachformen abgebildet. Anhand der zuvor genannten Zielgruppen grenzen sich die Möglichkeiten der Dachformen ein und beschränken sich im Wesentlichen auf Flachdach, Satteldach, und Pultdach.

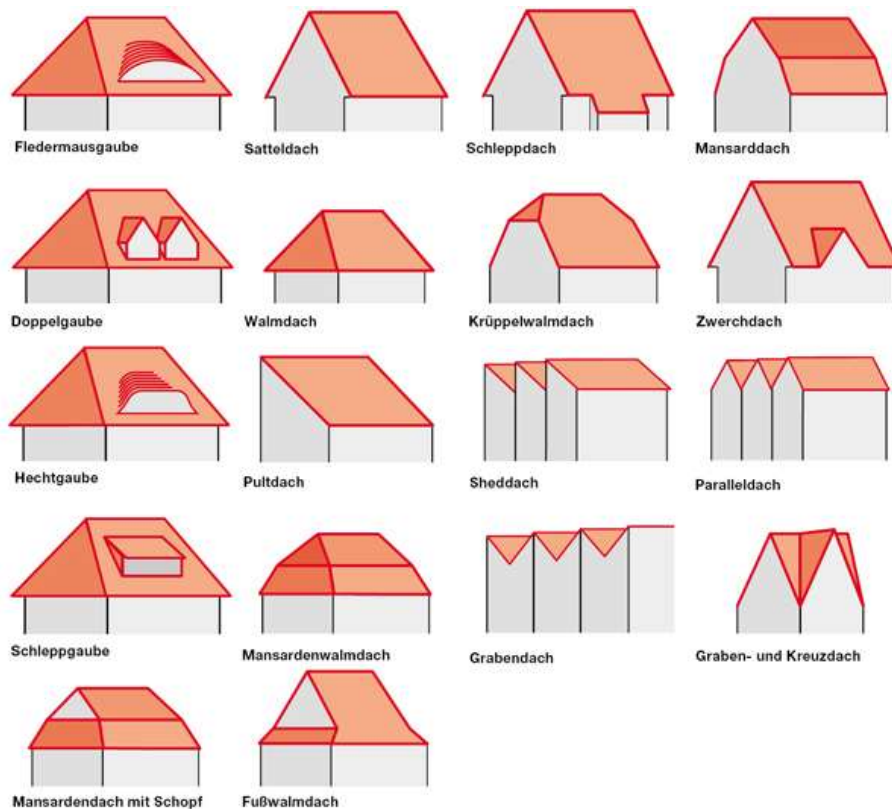


Abbildung 4 Unterschiedliche Dachformen¹²

¹² http://www.lintz-holzbau.de/tipps_dachformen.php

5 Komponenten

Um Flächen zu bewässern, gibt es einen starken Markt mit großer Komponentenvielfalt aus der Agrartechnik oder auch der Gartentechnik. Da diese Komponenten meist ausschließlich für den Einsatz im Sommer konzipiert sind, jedoch eine Dachkühlungsanlage auch den Winter ohne Beschädigung überstehen muss, ist besonders auf die Witterungsbeständigkeit zu achten. Neben der Frostsicherheit ist selbstverständlich UV-Beständigkeit Voraussetzung für den Einsatz. Außerdem sind viele Bewässerungsartikel für den Massenkonsum gebaut und nur auf eine kurze Lebensdauer ausgelegt. Deshalb sind qualitativ hochwertige Lösungen zu bevorzugen, wodurch auch anwendungsfremde Komponenten aus der Industrietechnik geeignet sein können.

5.1 Bewässerungstechnik

Bei den Bewässerungskomponenten sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, dass sie einen für die Dachkühlungsanlage möglichst guten Wirkungsgrad besitzen. Das bedeutet bei einer großen Bewässerungsfläche:

- kleiner Arbeitsdruck
- wenig Wasserverbrauch
- kurzer Weg von Bewässerungskomponente zur bewässerten Fläche

Geringe Arbeitsdrücke bei geringem Wasserverbrauch sorgen für eine kostengünstige Anlagenperipherie durch kleine Leitungsdurchmesser und Pumpensysteme. Außerdem wird Energie eingespart, da weniger Druck aufgebaut und weniger Wasser gefördert werden muss. Die Menge an gefördertem Wasser muss mindestens zu einer Benetzung der Dachfläche führen. Bei großen Wurfweiten von der Bewässerungskomponente zur Bewässerungsfläche besteht die erhöhte Gefahr einer Verschleppung durch Wind. Außerdem geht Wasser durch die Befeuchtung der Umgebungsluft ineffektiv verloren. So ist es weiter vorteilhaft, wenn das Wasser direkt auf die zu befeuchtende Fläche aufgebracht wird und das Wasser infolge der Dachneigung über die Dachfläche, herunterfließt. Unebenheiten und ungleichmäßige Neigung des Daches können bei zu geringem Abfluss zur Bildung von Pfützen und Rinnsalen führen, wodurch schon kleine Erhebungen von einer Befeuchtung ausbleiben. In der Praxis muss eine Dachfläche begangen werden, um

eine Entscheidung über die am besten geeignete Bewässerungstechnik zu wählen. Eine optimale, meist linienhafte Bewässerung unter Ausnutzung der Dachneigung zur flächenhaften Befeuchtung ist aus Gründen der Wirtschaftlichkeit immer zu bevorzugen, da weniger Wasser, weniger Druckenergie und auch weniger Bewässerungsleitungen benötigt werden.

5.1.1 Besprühung

Besprühung ist die wirtschaftlichste Variante und somit immer vorzuziehen, sofern die Dachfläche eben ist und ein gleichmäßiges Abfließen des Wassers gewährleistet ist. Hierzu werden Zungendüsen nach Anhang A¹³ ausgewählt.

5.1.2 Berieselung

Die Berieselung ist nicht so optimal wie die Besprühung. Zur Konstruktion eines Berieselungsstranges werden aber keine Düsen benötigt, was die Installationskosten senkt. Dieses System ist prinzipiell zur linienhaften Befeuchtung, wie bei der Besprühung geeignet. Dabei werden aber weit höhere Volumenströme benötigt als bei der Besprühung. Die andere Variante, wofür ein solches System verwendet werden kann, sind Ziegeldächer, da gezielt die Ziegelsenken bewässert werden können.

Zur Konstruktion wird ein Rohr, wie in

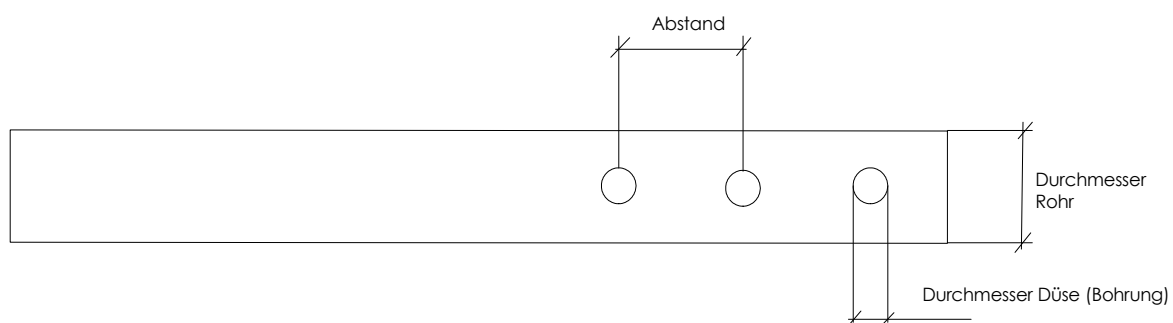


Abbildung 5 dargestellt, das in Abständen mit Bohrungen versehen ist, oben auf dem Dach angebracht.

¹³ <http://www.mc-gmbh.eu/upload/3502905-zungen-duesen.pdf>

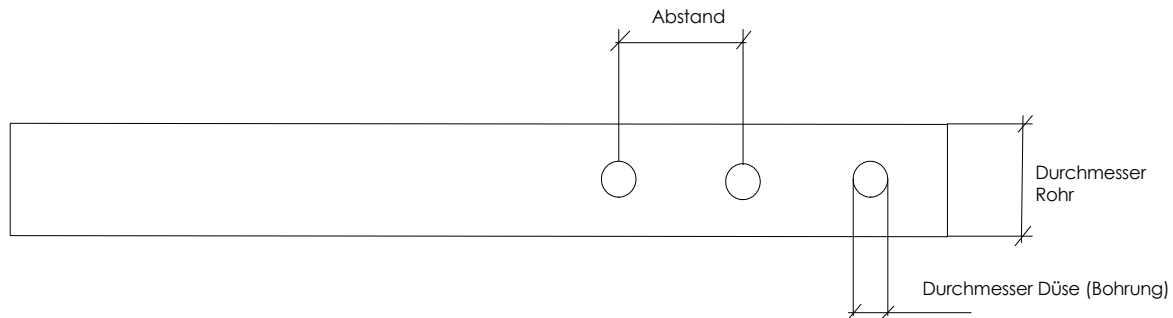


Abbildung 5 Schematische Darstellung der Besprühkonstruktion

5.1.3 Beregnung

Die Beregnung einer Dachfläche wird vor allem bei Unebenheiten auf dem Dach und bei vorhandenem von Hindernissen, die ein freies Abfließen verhindern, verwendet.

Zur Beregnung einer Fläche gibt es Kreisregner, Teilkreisregner, Viereckregner, und Düsen, wie z.B. Bügeldüsen. Diese Beregnungselemente eignen sich insbesondere dann, wenn die Dachbeschaffenheit keine gleichmäßige Benetzung der Dachfläche zulässt. In vielen Fällen ist eine Kombination vorteilhaft.

5.2 Leitungsmaterial

An das Leitungsmaterial werden durch die Außenaufstellung besondere Anforderungen gestellt:

- Korrosionsbeständigkeit
- UV-Beständigkeit
- Druckbeständigkeit
- Festigkeit
- Temperaturbeständigkeit
- Leichte Bearbeitung
- Preis/Leistung

Aufgrund der hier genannten Anforderungen wurden Kupfer, verzinkter Stahl, Edelstahl und PE-Kunststoff zur näheren Betrachtung ausgewählt.

5.2.1 Kupfer

Kupfer erfüllt alle Anforderungen an die Beständigkeit und Festigkeit. Es ist auch leicht zu bearbeiten und kann durch Hartlöten leicht verbunden werden. Großes Manko ist allerdings der hohe Materialpreis. Des Weiteren kann es bei Kupferleitungen zu Kupferkorrosion kommen. Unter Kupferkorrosion wird das Herauslösen (durch Säure) von Kupferacetat (Grünspan) verstanden. Durch Kupferkorrosion ist zwar keine nennenswerte Beeinflussung der Festigkeit zu erwarten, da es nur an der Oberfläche auftritt und diese vor weiterer Korrosion schützt. Jedoch ist Kupferacetat ein mäßiges Gift. Somit ist Kupfer als Rohrmaterial nicht anwendbar, da es die Regenwasserzisterne, welche auch zur Brauchwasserzwecken genutzt werden kann, kontaminiert. Des Weiteren ist Grünspan ein starkes grünes Farbmittel und würde das Dach mit der Zeit grün färben.

5.2.2 Stahl verzinkt

Auch verzinkter Stahl erfüllt alle Anforderungen an die Festigkeit. Leichte Beschädigungen an der äußeren Zinkschicht zerstören jedoch die Korrosionsschicht. Regenwasser ist durch die niedrige Wasserhärte stark korrosiv und da es im Kreislauf gepumpt wird, auch sauerstoffreich, was die Korrosivität des Wassers weiter erhöht. Rost könnte sich somit im Rohr lösen und die Beregnungselemente verstopfen. Aus diesem Grund sollte verzinkter Stahl nicht für eine Dachkühlung angewendet werden.

5.2.3 Edelstahl

Edelstahl erfüllt alle Anforderungen an die Festigkeit und Beständigkeit. Jedoch ist Edelstahl sehr teuer und schwer zu bearbeiten. Dadurch würden sich hohe Kosten für die Dachkühlungsanlage ergeben.

5.2.4 Kunststoff (PE schwarz)

Kunststoffe sind im Allgemeinen nicht UV-beständig. Lediglich schwarzes Polyethylen (PE) ist durch die eingearbeiteten Rußpartikel UV-beständig. PE ist auch witterungsbeständig und besitzt im Gegensatz zu anderen Kunststoffen bei niedrigen Temperaturen eine sehr gute Zähigkeit und Bruchdehnung, wodurch die Anforderungen an die Außenaufstellung erfüllt werden. PE ist korrosionsbeständig

und erfüllt in der Brauchwassernutzng die Anforderungen an die Hygiene. Durch den niedrigen Materialpreis und die sehr leichte Zerspan- und Schweissbarkeit ist PE unumstrittener Preis/Leistungssieger. Einziger Nachteil ist die schlechte Beständigkeit gegenüber hohen Temperaturen. So bezieht sich die vom Hersteller angegebene Druckbeständigkeit auf die Temperatur von ca. 70°C.¹⁴ Bei höheren Temperaturen wird PE weich und fängt an zu kriechen. Während die Dachkühlungsanlage in Betrieb ist, wird die Leitung durch das Wasser gekühlt, wodurch es in diesem Fall unproblematisch ist. Falls aber die Anlage in der Mittagssonne und somit bei hohen Leitungstemperaturen, die sich durch den hohen Absorptionsgrad ergeben, in Betrieb genommen wird, kann es zu Problemen mit der Festigkeit führen. Eine intelligente Steuerung könnte durch einen an der Leitung angebrachten Temperatursensor den Start der Anlage verhindern, was nicht praktikabel ist. Sinnvoller ist eine langsame Druckerhöhung im Leitungsnetz, wodurch sich die Leitung zuerst abkühlt, bevor sie voll belastet wird. Da bei der Dachkühlung hohe Volumenströme fließen, kann es zu starken Druckschlägen kommen, was einen langsamen Anlagenanlauf grundsätzlich sinnvoll macht.

¹⁴ KSk Kunststofftechnik

5.3 Regenwasseranlage

Die Regenwasseranlage erfüllt in einer Dachkühlungsanlage mehrere Zwecke. Zum einen dient sie als Zwischenspeicher des Wassers, , zum anderen dient sie dem Auffangen von Regenwasser, das an den regenarmen Sommertagen zur Kühlung Verwendung findet. In Abbildung 6 ist der Wasserkreislauf einer Dachkühlungsanlage dargestellt. Eine weitere Nutzung der Regenwasseranlage, die aber nicht weiter ausgeführt wird, kann in der Brauchwassernutzung (z.B. für Toilettenspülung, für Waschzwecke oder die Gartenbewässerung) liegen.



Abbildung 6 Wasserkreislauf einer Dachkühlungsanlage

Für die Regenwasseranlage werden die an der Dachfläche angeschlossenen Regenwasserfallrohre an eine Zisterne geführt und angeschlossen. Das Wasser wird über einen Filter und einen beruhigten Einlauf in die Zisterne geführt. Durch den Filter wird ein übermäßiges Verschlammen der Zisterne vermieden. Da Pollen und andere kleine Schmutzpartikel die meisten Filter passieren können, ist eine gewisse Schlammansammlung am Behälterboden nicht zu vermeiden. Durch den beruhigten Einlauf wird das Wasser über ein Rohr an den Grund der Zisterne geführt, wo es

nach oben abgelenkt und durch eine Querschnittsverbreiterung, strömungsberuhigt wird. Dadurch wird ein Aufwirbeln des Schlammes, der sich am Zisternenboden bilden kann, vermieden. Pumpe und Bewässerungskomponenten könnten beschädigt werden bzw. verstopfen. Die Zisterne ist mit einem Überlauf versehen, wo das Wasser bei Überschuss und Starkregenereignissen in die Kanalisation oder eine nachgeschalteten Versickerung zugeführt wird. Der Überlauf ist zum Schutz vor Gerüchen aus der Kanalisation mit einem Siphon ausgeführt. Zur Entfernung von Schwimmstoffen ist ein Skimmer vorzusehen. Durch den Skimmereffekt werden Wasser und aufgeschwommene Stoffe von der Oberfläche abgesaugt. Desweiteren ist eine mit dem Regenwassersystem nicht direkt verbundene Trinkwassernachspeisung vorzusehen, die in regenarmen Zeiten die Funktion der Dachkühlung weiterhin gewährleistet. Die Trinkwassernachspeisung wird durch einen Schwimmerschalter in der Zisterne gesteuert. Unterschreitet der Wasserstand das minimal zulässige Niveau, wird ein am Trinkwassernetz angebrachtes Magnetventil ausgelöst. Von dort fließt das Wasser in einen Trichter, wo es in freiem Gefälle in die Zisterne geführt wird. Die Ausführung einer Regenwasseranlage erfolgt nach DIN 1989.

5.3.1 Zisterne

Die Zisternenauslegung erfolgt nach dem Bedarf der Dachkühlungsanlage, wobei dieser den Regenwasseranfall nicht übersteigen darf. Der Regenwasserspeicher sollte auf 6 Wochen regenfreie Zeit ausgelegt werden.

Regenwasserbedarf:

Empirisch wurde an der Pilotanlage bei der Firma Ökoservice bei Beregnung als auch bei Berieselung, ein mittlerer Evaporationsverlust V_{Evap} von einem Liter pro Quadratmeter Dachfläche (Grundfläche) und Tag ermittelt.

$$V_{Evap} = 1 \frac{l}{m^2 \cdot d} * 42d * A_{Grund} \quad (15)$$

Es wird davon ausgegangen, dass der Wasserstrom \dot{V}_{Bem} , welcher zur Bewässerung auf das Dach gepumpt wird, ca. 30 Minuten benötigt, bis es wieder zum Behälter fließt. Diese Wassermenge V_{Zirk} kann somit während der Startphase nicht genutzt werden und muss gepuffert werden. Diese Menge wird deshalb der Bemessung zugeschlagen.

$$V_{Zirk} = \dot{V}_{Bem} * 0,5h \quad (16)$$

Während der Bewässerungsphase ist das Dach von einer Wasserschicht benetzt. Diese Menge an Wasser, welche sich fortwährend im Rohrleitungsnetz und auf dem Dach befindet, wird ebenfalls der Behälterauslegung zugeschlagen. Durch Unebenheiten kann die Dicke der Benetzungsschicht stark schwanken. Es wird vereinfachend von 2 mm Dicke ausgegangen. Bei großen Dachflächen kann diese Menge ein bedeutendes Volumen annehmen.

$$V_{bentzt} = A_{Grund} * 0,002m \quad (17)$$

Somit ergibt sich ein Regenwasserbedarf:

$$V_{Bedarf} = V_{Evap} + V_{Zirk} + V_{bentzt} \quad (18)$$

Der Regenwasserertrag errechnet sich nach DIN 1989:

$$\text{Regenwasserertrag} = \text{projizierte Auffangfläche} \times \text{Niederschlagsmenge (mm/1000)} \times \text{Abflussbeiwert} \times \text{Filterwirkungsgrad} \quad (19)$$

Dabei ist für die als *projizierte Auffangfläche* der angeschlossene Grundriss des Gebäudes oder anderer Flächen anzugeben. Die *Niederschlagsmenge* ist die mittlere jährliche Niederschlagsmenge (Fünfjahresmittel) am Standort. In Stuttgart sind dies ca. 800 mm/m². Der *Abflussbeiwert* ist die zu erwartende Abflussmenge in Abhängigkeit der Dachart, welche in Tabelle 2 aufgelistet sind.

Tabelle 2 Abflussbeiwert nach Dachart¹⁵

Satteldach	Flachdach
0,8 Bitumen, Metall, Kunststoff	0,7 Bitumen Metall, Kunststoff
0,75 Ziegel, Beton	0,75 Ziegel, Beton
0,25 bepflanztes Dach	0,2 bepflanztes Dach

¹⁵ DIN 1989

Filterwirkungsgrad ist bei selbstreinigenden 0,8 nach DIN 1989, oder nach Herstellerangaben, nur bei Filtern ohne Überlauf, wie z.B. Filterkörbe, 1.

Für eine reine Dachkühlungsanlage ist der Regenertrag nicht von Bedeutung, da weit weniger Wasser zur Dachkühlung benötigt wird, als Regenwasser anfällt. Bei Brauchwassernutzung gilt nach DIN 1989:

$$\text{Ertrag oder Bedarf} \times \text{Ladebeiwert (0,06)} = \text{Nutzvolumen in m}^3 \quad (20)$$

Der Regenwasserbedarf, mit dem Ladebeiwert multipliziert, ist im Fall der gleichzeitigen Brauchwassernutzung als Maximalwert für die Tankauslegung anzusehen. Eine Überdimensionierung des Regenwassertanks kann zu Geruchsbildung und hygienischen Problemen führen, wenn ein ungenügender Wasseraustausch vorherrscht.

5.3.1.1 Puffer

Der Schwimmer für die Trinkwassernachspeisung wird so angebracht, dass das übrige Zisternenvolumen für ein Anfahren der Dachkühlungsanlage genügt. Dieses Volumen wird mit einem Sicherheitsfaktor multipliziert. Da diesbezüglich noch keine Erfahrungswerte vorliegen, wird ein Sicherheitsfaktor $S_{\text{Puffer}} = 1,2$ angesetzt.

$$V_{\text{Puffer}} = (V_{\text{Zirk}} + V_{\text{benutzt}}) * S_{\text{Puffer}} \quad (21)$$

5.3.2 Filtertechnik

Es sollten Filter Verwendung finden, die bei dem bemessenen Volumenstrom keinen Verlust aufweisen. Hierfür sind Dead-End-Filter, wie z.B. Filterkörbe geeignet. Diese müssen aber regelmäßig gereinigt werden. Selbstreinigende Filter wie Patronen- und Wirbelfilter weisen stetig einen gewissen Verlust auf. Der Wechselsprungfilter der Firma Intewa ist für die Dachkühlung ideal geeignet, da er sich bei niedrigen Abflüssen wie ein Filterkorb verhält. Bei Starkregenereignissen reinigt er sich selbst. Bei einem bestimmten Abfluss bildet sich in dem Filter ein Strömungswirbel aus, der zum Reinigungseffekt und zu einem Wasserverlust führt. Der Filter ist so zu bemessen, dass er 100% Wirkungsgrad beim Bemessungsvolumenstrom der angeschlossenen Dachfläche besitzt und für diese auch als Filter genügt (i.d.R. Fallrohrgröße, Filter kann größer, nicht kleiner sein). Verschiedene Filtervariationen

sind in Abhängigkeit des Bemessungsvolumenstroms in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3 Filtervarianten¹⁶

Beschreibung	Anschlussgröße	Anschluss bis Q_{Bem}
PURAIN PR-100	DN100	k.A
PURAIN PR-150	DN150	2,7 l/s
PURAIN PR-200	DN200	5,5l/s
PURAIN PR-300	DN300	7,4l/s
PURAIN PR-400	DN400	k.A

5.3.3 Pumpen

Relativ energieeffiziente und leistungsstarke Pumpen für eine Dachkühlungsanlage sind mehrstufige Kreiselpumpen. Tauchpumpen und extern aufgestellte Pumpen können Anwendung finden. Es ist darauf zu achten, dass viele gängige Pumpen ausschließlich Kaltwasserpumpen und nur bis 35°C einsatzfähig sind. In der Pilotanlage wurden im Behälter Wassertemperaturen bis zu 32°C Rücklauf-temperatur gemessen. Bei langanhaltendem Betrieb könnte die maximale Betriebstemperatur überschritten werden. Weitere Maßnahmen zum Trockenlaufschutz, Motorschutz, Frostschutz etc. sind zu treffen.

5.3.4 Steuerung

Die Steuerung sollte primär Aufgaben zum Schutz der Anlage, des Leitungsnetzes, der Pumpen und der Beregnungselemente dienen. Bei großen Dachflächen können Pumpen mit beachtlicher Leistung zum Einsatz kommen. Beispielsweise sind die Düsen so angeordnet, dass nach dem Abschalten der Anlage das Beregnungsrohr durch die Düsen leer läuft. Mit dieser konstruktiven Maßnahme ist der Bewässerungsstrang im Winter vor Frostschäden geschützt. Das Anlaufen der Pumpe könnte ohne Druckwiderstand zu Schäden führen, da mit dem Wiederfüllen eine plötzliche Druckerhöhung erfolgt, welche einen Druckschlag im Leitungsnetz verursacht. Weiter könnte eine Steuerung für einen intermittierenden Betrieb sorgen, womit möglicherweise wirtschaftliche Vorteile gegenüber einer kontinuierlichen

¹⁶ Intewa Purain Filter

http://www.intewa.de/wasser/regenwasserfilter-zisterne/downloads/?jumpurl=uploads%2Fmedia%2FGutachten_PR150_400_kurz_01.PDF&juSecure=1&mimeType=application%2Fpdf&locationData=146%3Att_content%3A600&juHash=13b4c8e312f8eb41b7568c81b723fb69c0e8b622

Betriebsweise erreicht werden könnten. Desweiteren können die Beregnungsstränge auch wechselnd betrieben werden, wodurch kleinere Pumpen genügen würden. Selbstverständlich ist auch eine vollautomatisierte Steuerung der Anlage möglich. Vorgefertigte Programmprotokolle können mit Hilfe von Temperatur-, Wind- und Solarstrahlungssensoren den Betrieb steuern indem der Durchfluss oder der Druck geregelt wird.

5.4 Montage und Produktion

Für die Umsetzung einer Dachkühlungsanlage müssen verschiedene Komponenten ausgewählt und auf ihre Einsatzeignung geprüft werden. In manchen Fällen, wie beispielsweise Beregnungskomponenten, ist es schwierig, geeignete Produkte zu finden, da sie ursprünglich für andere Zwecke konzipiert wurden. Hier gilt es den Aufwand und Nutzen abzuwägen, um eventuell Kompromisslösungen ein gehen zu können. So kann die Planung einer günstigen, aber nicht UV-beständigen Beregnungskomponente, unter Berücksichtigung einer einfachen Austauschbarkeit Sinn ergeben.

Für die Wirkung einer Dachkühlung wird eine flächenhafte Benetzung gefordert. Im Idealfall ist diese so dünn und gleichmäßig wie möglich, da dann am wenigsten Wasser umgepumpt werden muss. Auch hier gilt es, Nutzen gegen Aufwand abzuwägen, da sich bei einer konsequenten Umsetzung dieses Grundgedankens hohe Fertigungskosten und vor allem eine komplizierte und somit risikobehaftete Montage ergeben. Hier muss von Fall zu Fall ebenfalls abgewogen werden, um gegebenenfalls geringe Einbußen an Wirkungsgrad in Kauf zu nehmen.

Bei der Montage von der Dachkühlungsanlage ist zu beachten, dass die Dachfläche nicht beschädigt wird. Entsprechende Befestigungsmöglichkeiten sind entsprechend auszuwählen. Bei Arbeiten auf dem Dach sind weiterhin besondere Sicherheitsvorschriften zu beachten, wie z.B. der Einsatz entsprechender Sicherungssysteme zur Vermeidung eines Absturzes.

6 Auslegung

Zur Anlagenauslegung wurde eine Musterfabrikhalle in Stuttgart mit vier verschiedenen Dächern unterschiedlicher Beschaffenheit modelliert und in Abbildung 7 dargestellt. Die Dachfläche 1 wird durch Berieslung bewässert, da das Dach aus 10

cm breiten Ziegeln besteht. Auf die Dachfläche 2 ist Teerpappe (Bitumen) glatt und eben aufgeschweißt, wofür sich eine Besprühung vom Dachfirst aus ideal eignet. Die Dachfläche 3 ist ein Flachdach aus Beton, welches mit Teil- und Vollkreisregnern bewässert wird. Die Dachfläche 4 ist ein stark unebenes Kunststoffdach, wodurch sich ebenfalls nur eine flächenhafte Bewässerung eignet. Hier kommen Viereckregner zum Einsatz. Alle Dachflächen sind durch Regenwasserleitungen an einer in der Erde eingebauten Zisterne angeschlossen. Der Zulauf, in die Zisterne befindet sich einen Meter unterhalb der Erdoberfläche. Ihr Standort ist an der rechten hinteren Seite der Musterfabrikhalle.

In der Zisterne werden die in Abbildung 8 dargestellten Komponenten integriert. Zum einen wird ein selbstreinigender Wechselsprungfilter eingesetzt, welcher die Verschmutzung der Zisterne gering hält und zum anderen wird zur Vermeidung der Verstopfung der Düsen eine schwimmende Entnahme installiert. Desweiteren ist ein Schwimmerschalter SS eingebaut, welcher bei zu geringer Füllstandshöhe ausgelöst wird und über die Steuerung das Ventil V-5 zur Nachspeisung mit Trinkwasser öffnet. Das Trinkwasser gelangt über einen freien Einlauf, um eine Rückverkeimung der Leitung zu verhindern, in die Zisterne.

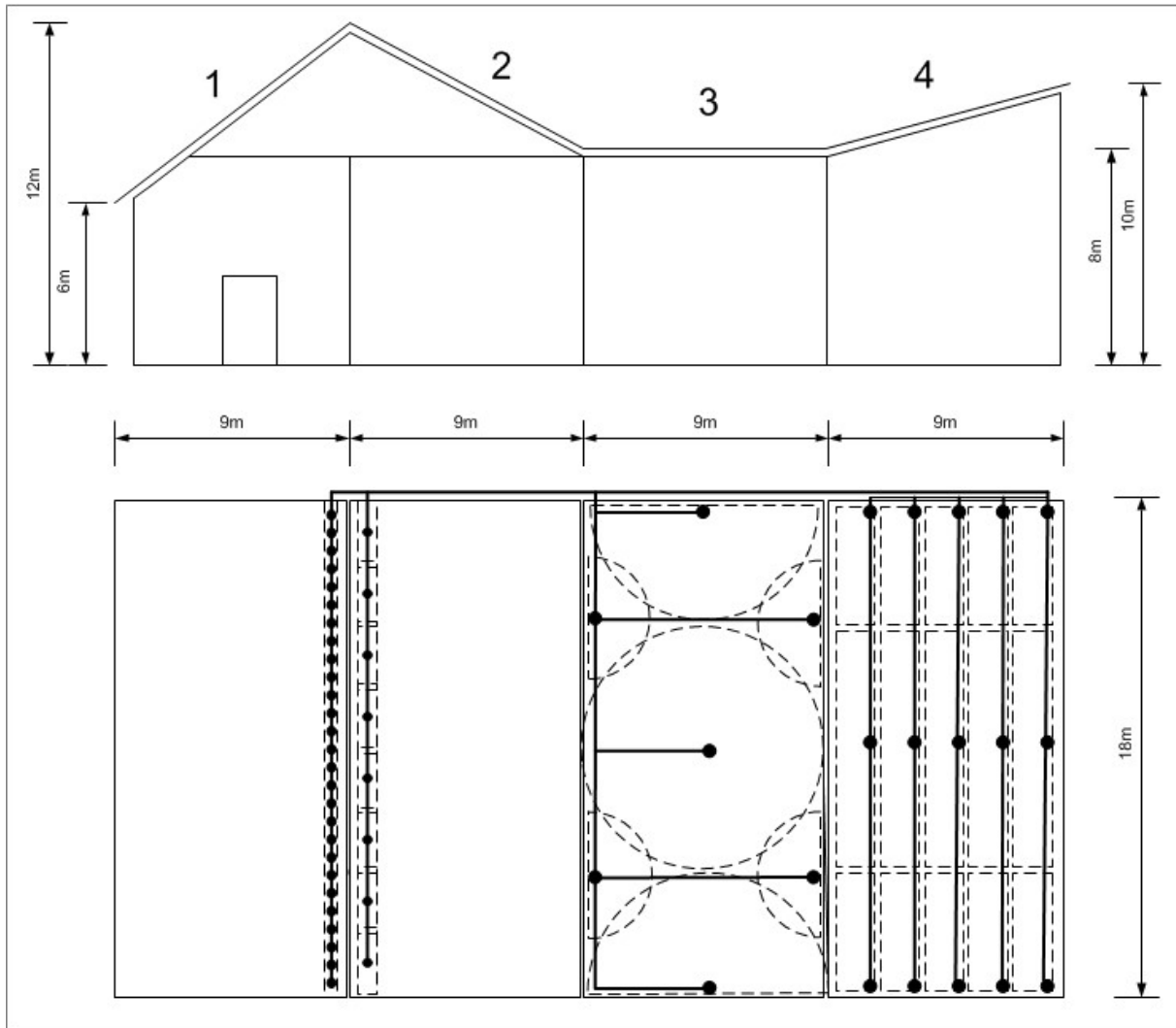


Abbildung 7 Musterfabrikhalle

In der Abbildung 8 ist der Steuerungsplan abgebildet. Dabei wird die Pumpe ein- bzw. ausgeschaltet, in Abhängigkeit der 3 Sensoren (Temperatursensor, Windsensor und Solarsensor). Der zuvor beschriebene Schutz vor Schäden beim Anfahren der Pumpe (falls keine drehzahlregelbare Pumpe ausgewählt wird), kann mit dem Ventil V-1 realisiert werden, welches beim Anfahren langsam öffnet bzw. sich nach Abschalten der Pumpe sich wieder schließt. Der momentane Volumenstrom lässt sich am Durchflussmesser DM ablesen. Desweiteren benötigt jeder Strang ein Membranventil (V-Dach1; V-Dach2; V-Dach3 und V-Dach4), um vor Ort den hydraulischen Abgleich durchzuführen.

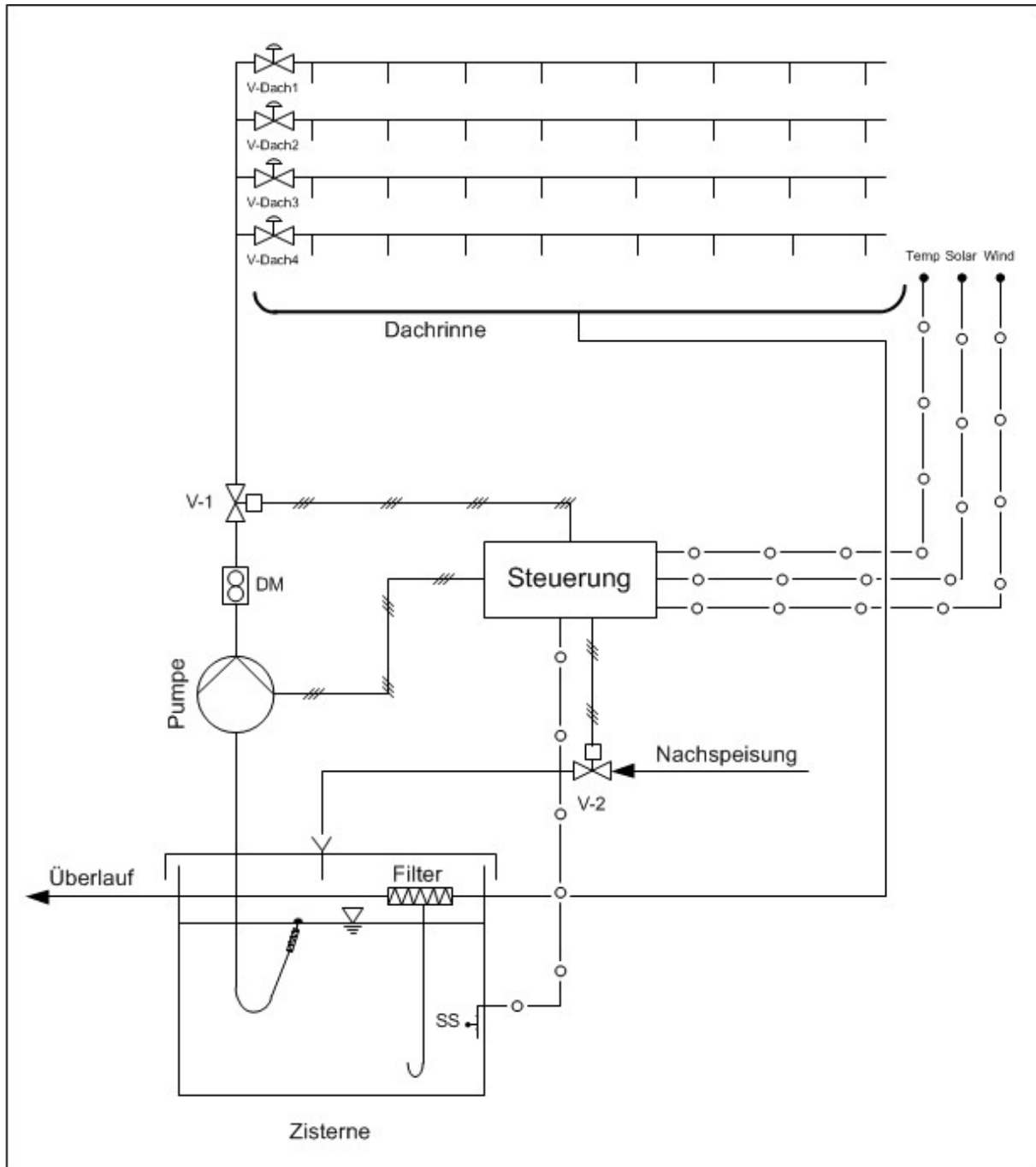


Abbildung 8 Steuerungsplan

6.1 Dachsegmente

Die Auslegung der einzelnen Dachflächen erfolgt in einem selbstgeschriebenen Excel-Programm. Mit diesem Programm können nun schnell und einfach typische Dachformen ausgelegt werden. Folgende allgemeine Formeln wurden hierbei verwendet:

Der Arbeitsdruck, welchen die Pumpe aufzubringen hat, errechnet sich aus der Summe des dynamischen Drucks, Gleichung (22), und des statischen Drucks

Gleichung (23). Dabei ist ρ die Dichte des Wassers mit $1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, c die Geschwindigkeit, g die Erdbeschleunigung mit $9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ und h die Höhe des statischen Druckes. Die Geschwindigkeit errechnet sich aus dem Volumenstrom V und der Rohrleitungsquerschnittfläche A nach Gleichung (24).

$$p_d = \frac{1}{2} * \rho * c^2 \quad (22)$$

$$p_s = \rho * g * h \quad (23)$$

$$c = \frac{V}{A} \quad (24)$$

In jeder Rohrleitung entstehen aufgrund von Reibungen nach Gleichung (25) Druckverluste, welche von der Länge l in $[m]$, dem Durchmesser D in $[m]$ des Rohres und der Rohrreibungszahl λ abhängig ist. Die Rohrreibungszahl kann nach Gleichung (26) und (27) ermittelt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass laminare Strömung bei einer Reynoldszahl kleiner 2300 und turbulente Strömung im Bereich zwischen 2300 und 10^5 vorliegt. Die Reynoldszahl errechnet sich über die Geschwindigkeit über den Durchmesser und die kinematische Viskosität ν nach Gleichung (28). Die kinematische Viskosität ist temperatur- und druckabhängig und lässt sich nach Tabelle 3 bei einem Druck von 1013 hPa ermitteln. Für die nachfolgenden Auslegungen wird ein Sicherheitswert von $1,01 [10^{-6}m^2/s]$ bei $20^\circ C$ gewählt. Da mit steigender Temperatur die Viskosität abnimmt und somit der Druckverlust geringer wird, wird ein Sicherheitswert gewählt, wodurch sich in der Realität bei Vorlauftemperaturen von ca. $32^\circ C$ Leistungsreserven ergeben.

$$\Delta p = \lambda * \frac{l}{D} * \frac{1}{2} * \rho * c^2 \quad (25)$$

$$\lambda_{laminar} = \frac{64}{Re_d} \quad (26)$$

$$\lambda_{turbulent} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re_d}} \quad (27)$$

$$Re_d = \frac{c * D}{\nu} \quad (28)$$

Tabelle 4 kinematische Viskosität in Abhängigkeit der Temperatur¹⁷

Temperatur [°C]	10	20	30	40	50	60	70	80
Kinematische Viskosität [10 ⁻⁶ m ² /s]	1,31	1,01	0,81	0,66	0,56	0,48	0,42	0,37

Weitere Druckverluste im Rohrleitungsnetz werden durch zusätzliche Widerstände (z.B. T-Stücke, Bögen, Ventile etc.) verursacht und können nach Gleichung (26) berechnet werden. Dabei ist ζ der Widerstandsbeiwert der jeweiligen Komponente und wird für die Auslegung aus Anhang F¹⁸ entnommen.

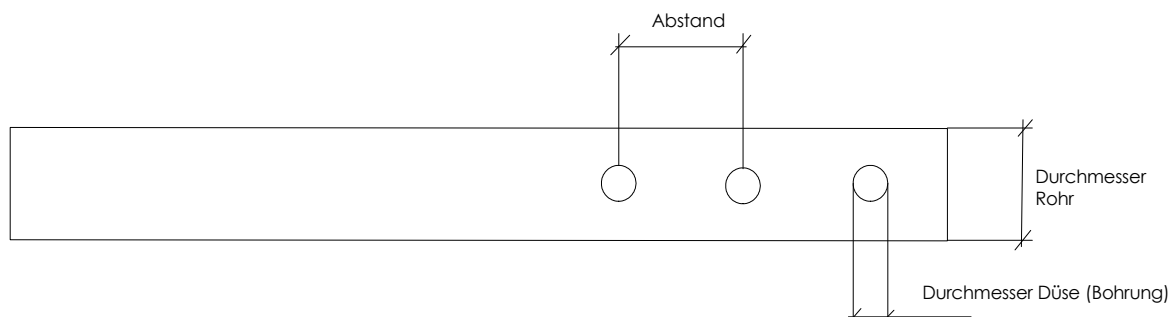
$$\Delta p = \zeta * \frac{1}{2} * \rho * c^2 \quad (29)$$

Der Gesamtdruckverlust ergibt sich aus der Summe der Einzeldruckverluste.

Zur Auslegung der optimalen Pumpe wird neben der Förderhöhe, welche sich aus dem Arbeitsdruck der Düsen und dem Gesamtdruckverlust ergibt, die Fördermenge benötigt. Diese ergibt sich aus der benötigten Wassermenge zur Benetzung der gesamten Dachfläche bzw. aus der Summe der einzelnen Austrittsvolumenströme der Düsen und Beregner.

Dach 1:

Die Dachfläche 1 wird durch Berieslung bewässert. Hierfür wird ein 18 Meter langes PE-Rohr mit einem Innendurchmesser von 20 mm mit Bohrungen versehen (vgl.



¹⁷ Professor Rohrbach Vorlesungsskript Heizungstechnik

¹⁸ Professor Rohrbach Vorlesungsskript Heizungstechnik

Abbildung 5). Der Abstand zwischen den Bohrungen beträgt 100 mm. Für eine Benetzung der Dachfläche werden demnach 180 Bohrungen benötigt. Der Druckverlauf über die Rohrleitungslänge ist in Abbildung 9 dargestellt. Bei dieser Auslegungsvariante werden ein Arbeitsdruck von 15 mbar und ein Sollaustrittsvolumenstrom von 0,372 l/min je Bohrung angesetzt. In Abbildung 10 ist der Druckverlauf über dem Berieselungsstrang dargestellt.

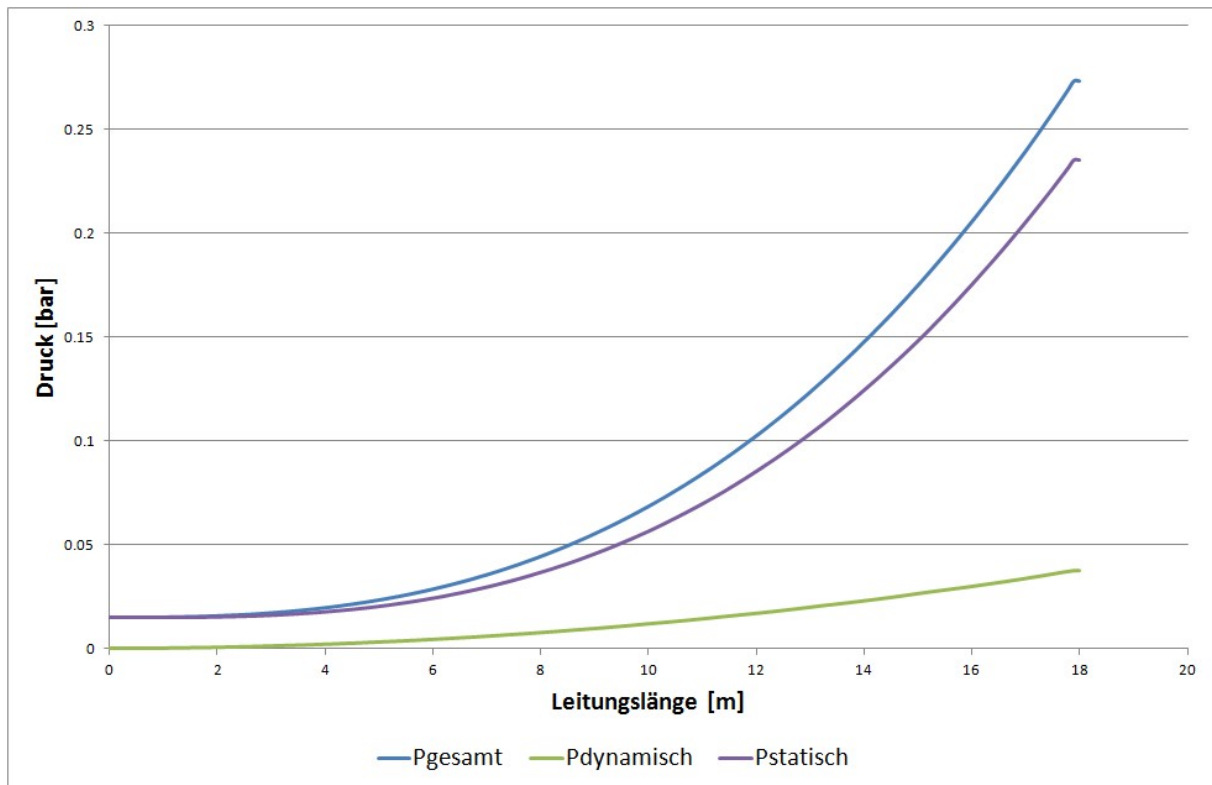


Abbildung 9 Dach 1 Druckverlauf

Würde der Durchmesser dieser 180 Bohrungen konstant sein, so würde der Austrittsvolumenstrom, aufgrund des zunehmenden statischen Druckes ebenso zunehmen, weshalb die Lochdurchmesser variiert werden. Abbildung 10 zeigt die Verringerung des Lochdurchmessers von 1,9 mm auf 0,9 mm am Rohranfang in 0.1mm Abstufungen. Durch die Aufsummierung der Einzelaustrittsvolumenströme ergibt sich ein Gesamtvolumenstrom von 3,1 m³/h.

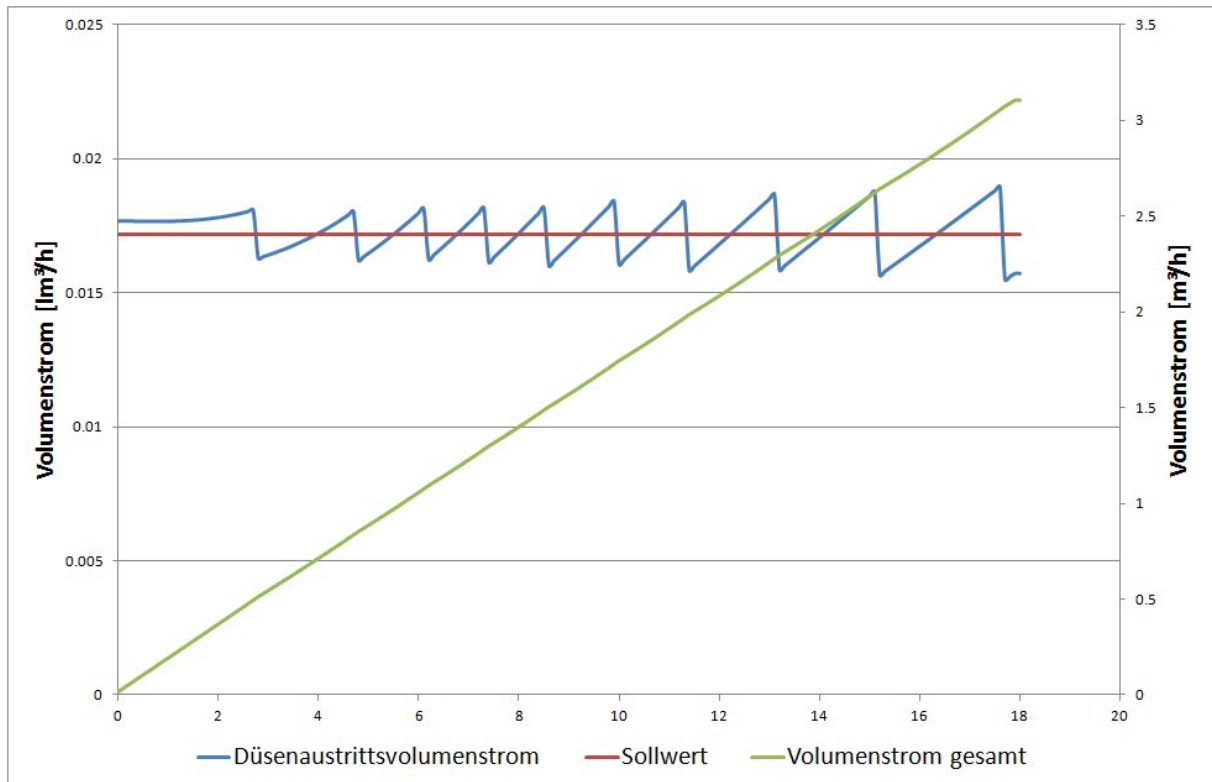


Abbildung 10 Dach 1 Volumenstromverlauf

Dach 2:

Die Besprühung auf der zweiten Dachfläche erfolgt mit Zungendüsen der Firma MC-GmbH. Für die gleichmäßige Benetzung der Dachfläche muss bei diesen Düsen nicht nur der Lochdurchmesser, sondern auch der Düsenabstand variiert werden. Dies ist notwendig, da sich der Austrittsvolumenstrom sowie der Sprühwinkel bei einer Montagehöhe von 0,5 m mit dem jeweils anliegenden Druck ändert (vgl. Anhang A). Die Druckzunahme über die 18 m Rohrleitungslänge ist in Abbildung 11 dargestellt. Dabei ist der Arbeitsdruck der Düse 700 mbar und der Gesamtdruck 1,3 bar. Die Druckverlustberechnung sowie Austrittsvolumenstromberechnung erfolgten anhand von Ausgleichsgleichungen, welche auf Basis der Daten in Anhang A erstellt werden und die ein Bestimmtheitsmaß von mindestens 0,98 aufweisen.

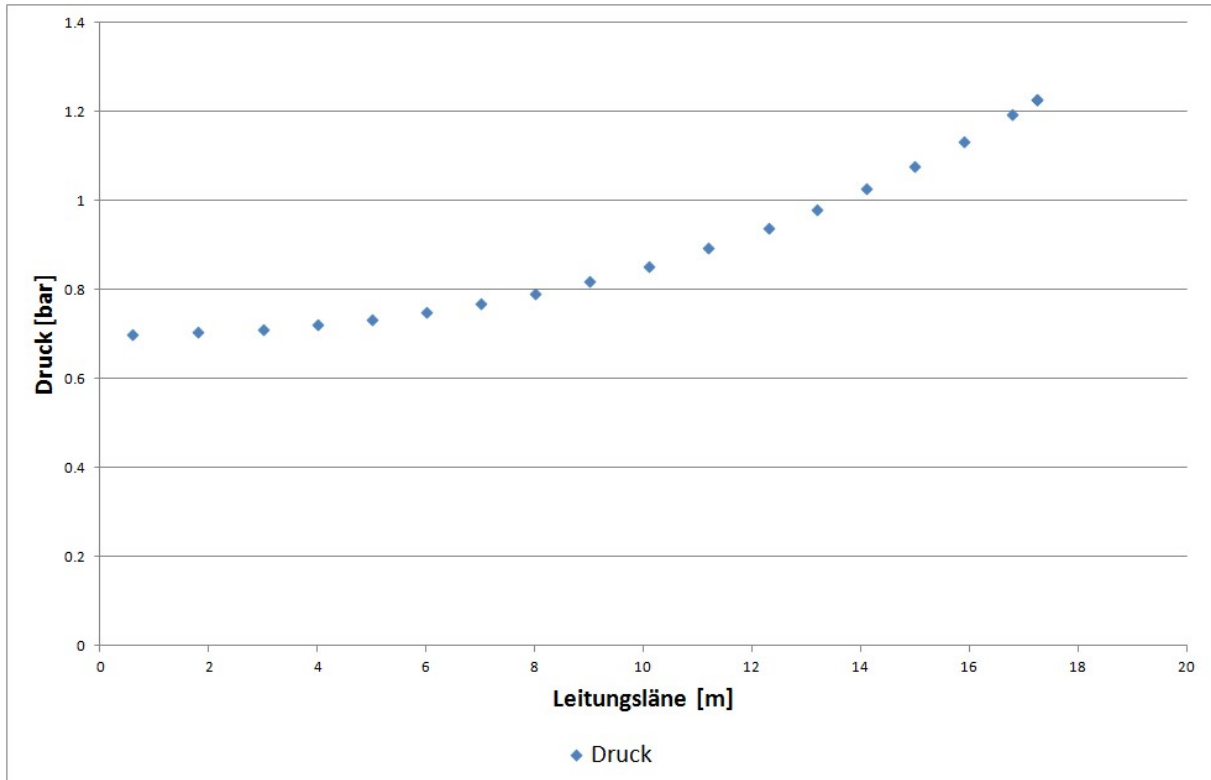


Abbildung 11 Dach 2 Druckverlauf

In Abbildung 12 ist die Variation von 4 unterschiedlichen Düsengrößen zu sehen. Die ersten drei Düsen am Leitungsende sind dabei vom Typ Z 7,5, die darauffolgenden vom Typ Z5, Z4 und Z3. Die Auswahl dieser Düsen erfolgte über den angestrebten Sollbenetzungsparameter von 0,16 m³/h pro m. Dadurch wird über die gesamte Dachlänge ein gleichmäßiger Wasserfluss mit konstanter Schwemmkraft erzeugt. Durch diese Anpassungen können den örtlichen Gegebenheiten Rechnung getragen werden. Der Gesamtvolumenstrom für diese Dachfläche beträgt 2,44 m³/h.

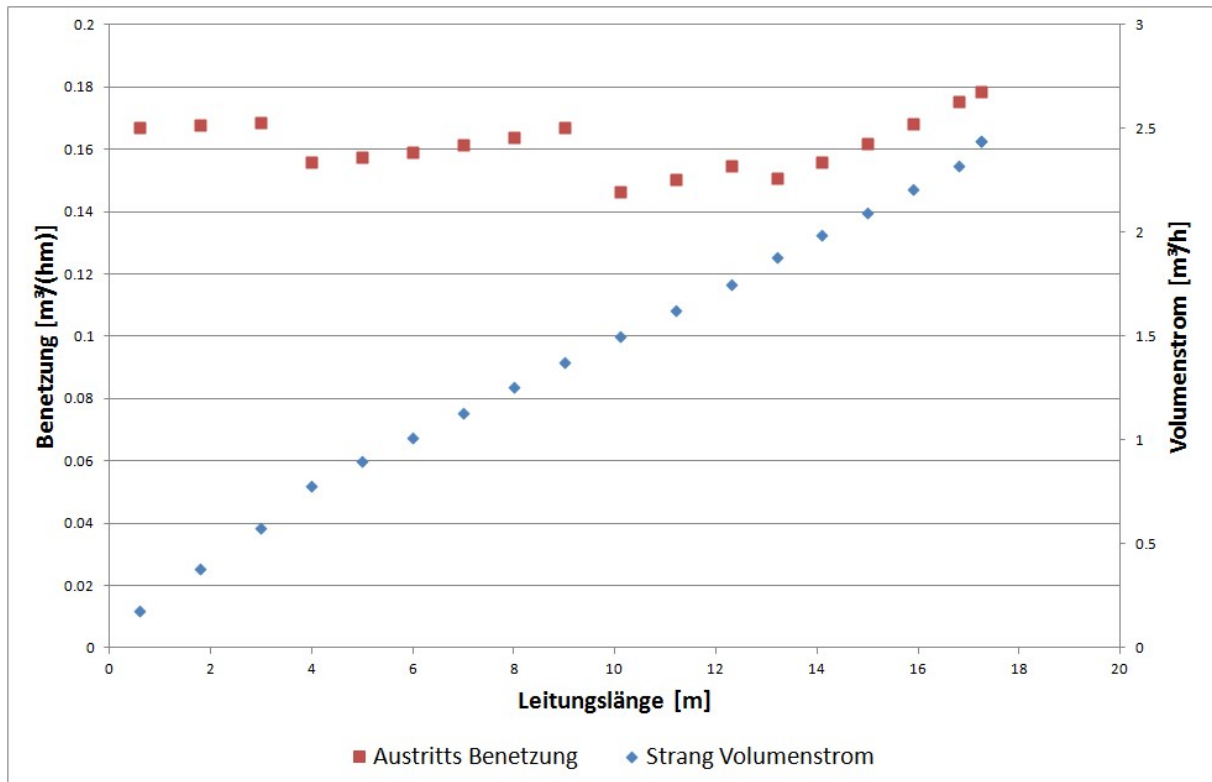


Abbildung 12 Düsen 2 Volumenstromverlauf

Dach 3:

Die Dachfläche 3 wird mit Teil- und Vollkreisregnern bewässert. Die Auslegung hierfür ist in Abbildung 13 dargestellt. Dabei sind 5 Teilstränge verbaut (vgl. Abbildung 7), welche zueinander einen Abstand von 4,5m aufweisen. Die einzelnen Beregnertypen und ihre Kenndaten sind in der Tabelle 5 aufgelistet sowie dem Anhang B¹⁹ zu entnehmen.

Tabelle 5 Beregnerkenndaten

Strang	Beregnertyp	Anzahl	Beregnungsdurchmesser [m]	Austrittsvolumenstrom [m³/h]	Arbeitsdruck [bar]
1	MPR Düse -15; Halbkreis	1	9	0,42	2,1
2	MPR Düse -8; Halbkreis	2	4,5	0,22	2
3	MPR Düse -15; Vollkreis	1	9	0,84	2,1
4	MPR Düse -8; Halbkreis	2	4,5	0,22	2
5	MPR Düse -15 Halbkreis	1	9	0,42	2,1

¹⁹ Aquatechnik Fachkatalog 2011/2012

Im nachfolgenden Diagramm Abbildung 13 ist der Abzweig von Teilstrang 1 am Leitungsende bei Hauptstranglänge 0 m sowie die weiteren Abzweige von Strang 2 bei 4,5 m, Strang 3 bei 9m, Strang 4 bei 13,5 m sowie Strang 5 bei 18 m.

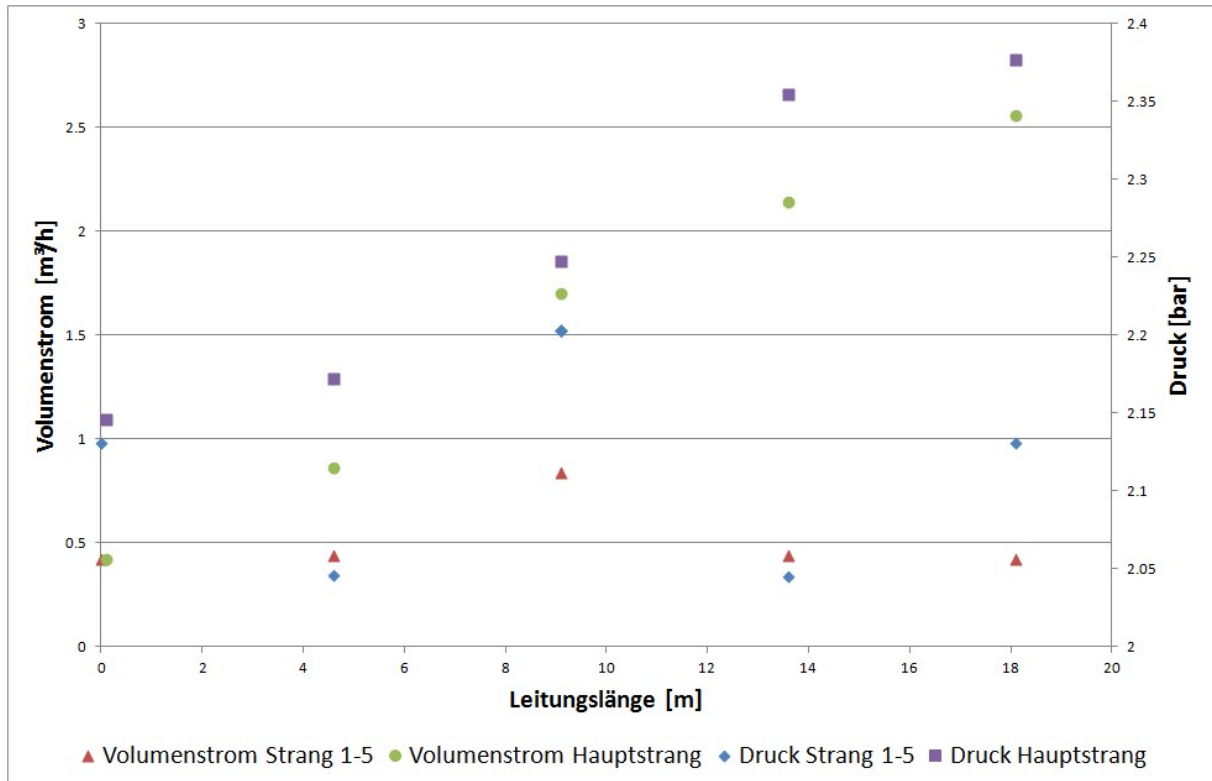


Abbildung 13 Dach 3 Kreisregner

Die Aufsummierung der Volumenströme und einzelnen Teilstränge ergibt einen Gesamtvolumenstrom von 2,56m³/h. Desweiteren ergibt sich für diese Dachfläche bei dieser Berechnungsart einen Gesamtdruck von 2,4 bar. Für den hydraulischen Abgleich müssen nach dem Abzweig in den Strängen 2, 4 und 5 Ventile eingebaut werden, an welchen sich der benötigte Strangdruck einstellen lässt. Die Druckdifferenz an Strang 1, bei der Hauptleitungslänge von 0 m, ist der Druckverlust des Abzweiges. Die Differenz in Strang 3 wird vernachlässigt, da diese nur 64mbar beträgt und die Kosten des Ventils nicht rechtfertigen würde.

Dach 4:

Auf der 4. Dachfläche kommen Viereckregner zum Einsatz. Dabei werden je Teilstrang jeweils eine Sprühdüse des Typs LCS-515, SS-530 und RCS-515 nach Anhang C²⁰ verwendet. Die Kenndaten der Sprühdüsen sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6 4-Eckberegner Kenndaten

Beregnertyp	Beregnungs- Länge [m]	Beregnungs- Breite [m]	Austritts- Volumenstrom [m³/h]	Arbeits- Druck [bar]
LCS-515	4,6	1,5	0,14	1,7
SS-530	9,2	1,5	0,27	1,7
RCS-515	4,6	1,5	0,14	1,7

In Abbildung 14 ist der Volumenstromverlauf als auch der Druckverlauf für das 4. Dachsegment dargestellt. Dabei sind die 5 Teilstränge, welche denselben Druck- und Volumenstromverlauf aufweisen, von Leitungslänge 0-18m abgebildet. Die Teilstränge weisen untereinander einen Abstand von 1,5 m auf und sind über den Hauptstrang miteinander verbunden. Die Volumenstromzunahme im Hauptstrang erfolgt dabei stufenartig zu einem Gesamtvolumenstrom von 3,3 m³/h. Der hierfür benötigte Gesamtdruck beträgt 1.9 bar.

²⁰ Aquatechnik Fachkatalog 2011/2012

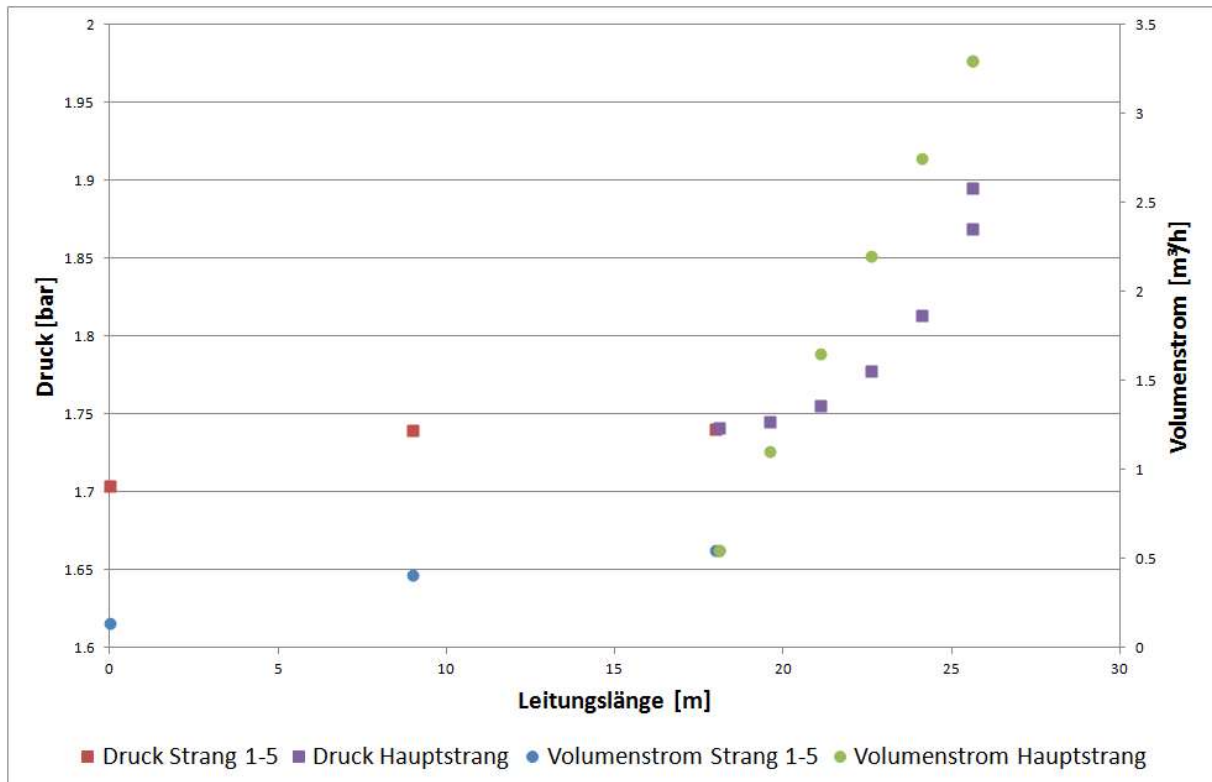


Abbildung 14 Dach 4-Eckregner

Zusammenfassung

Die Volumenströme und die benötigten Drücke für die jeweiligen Dachsegmente sind in der nachfolgenden Tabelle 7 aufgelistet.

Tabelle 7 Zusammenfassung der Dachsegmente

Dachsegment	Volumenstrom [m³/h]	Druck [bar]
1 (Berieselung)	3,12	1,67
2 (Besprühung)	2,44	1,23
3 (Kreisberegnung)	2,56	2,4
4Viereckberegnung)	3,3	1,9

Die Stränge der Dachsegmente werden über einen Hauptversorgungsstrang, wie in der Abbildung 7 und Abbildung 8 ersichtlich, angeschlossen. In Abbildung 15 ist der Druck- und Volumenstromverlauf dieser Leitung dargestellt. Dabei erfolgt die Auslegung nach dem hydraulisch ungünstigsten Strang 3 mit 2,4 bar. Der

Hauptversorgungsstrang hat bis zur Steigleitung im Diagramm bis zur Leitungslänge 20m einen Innendurchmesser von 33mm und danach von 40mm. Die Druckerhöhung in der Steigleitung setzt sich zum einen aus dem Rohrleitungswiderstand und zum anderen aus der hydrostatischen Höhe von 13m zusammen. Dadurch ergibt sich für die Pumpenauslegung ein Arbeitsdruck von 4,2 bar und eine Fördermenge von 11,42 m³/h, welche sich aus der Summe der einzelnen Dachsegmentvolumenströme ergibt.

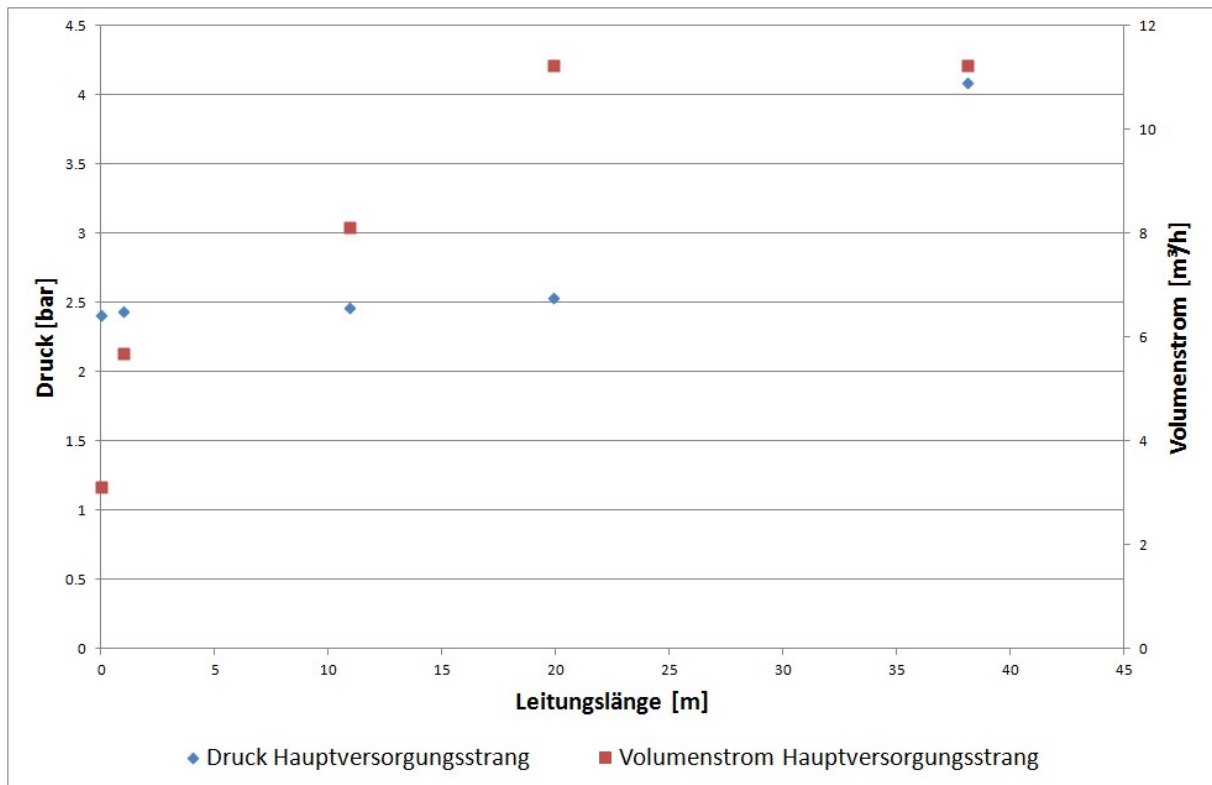


Abbildung 15 Hauptversorgungsstrang

6.2 Zisterne

Die Behälterauslegung erfolgt nach Gleichung (15) - (19).

$$\begin{aligned} \text{Regenwasserertrag} &= 4 * (9 + 18)m + (0,75 + 0,75 + 0,75 + 0,8) * 0,8 * 0,8m^3 \\ &= 1264,9m^3 \end{aligned}$$

$$V_{Evap} = 1 \frac{l}{m^2 * d} * 42d * 4 * (9 + 18)m = 27,2m^3$$

$$V_{Zirk} = (3,12 + 2,44 + 2,56 + 3,30) \frac{m^3}{h} * 0,5h = 5,7m^3$$

$$V_{bentzt} = 4 * (9 + 18)m * 0,002m = 1,3m^3$$

$$V_{Bedarf} = 27,299m^3 + 5,0m^3 + 1,3m^3 = 39,2m^3$$

$$\rightarrow V_{Behälter} = 39,2m^3$$

6.3 Filter

Der Filter ist, wie in Kapitel 5.3.2 Filtertechnik beschrieben, anhand des Gesamtvolumenstroms zu bemessen.

$$\dot{V}_{Bem} = (3,12 + 2,44 + 2,56 + 3,30) \frac{m^3}{h} = 11,42 \frac{m^3}{h} = 3,17 l/s$$

Für diese Musterfabrikhalle wird somit nach Tabelle 3 der PURAIN PR-200 Filter ausgewählt.

6.4 Pumpe

Die Pumpenauslegung erfolgt nach dem gesamten Bemessungsvolumenstrom $\dot{V}_{Bem} = 11,42 \frac{m^3}{h}$ und dem Gesamtdruck von $P_{gesamt} = 4,2 \text{ bar}$. Als Pumpe wird die Matrix 10-6/2,2 Blockkreispumpe Abbildung 16 von EBARA ausgewählt. Weitere Daten zur Pumpe sind in Anhang D²¹ aufgeführt. Diese erfüllt alle konstruktiven Anforderungen, hat einen sehr guten Wirkungsgrad und bietet dabei noch Reserven.

²¹ EBARA Produktkatalog 2011/2011

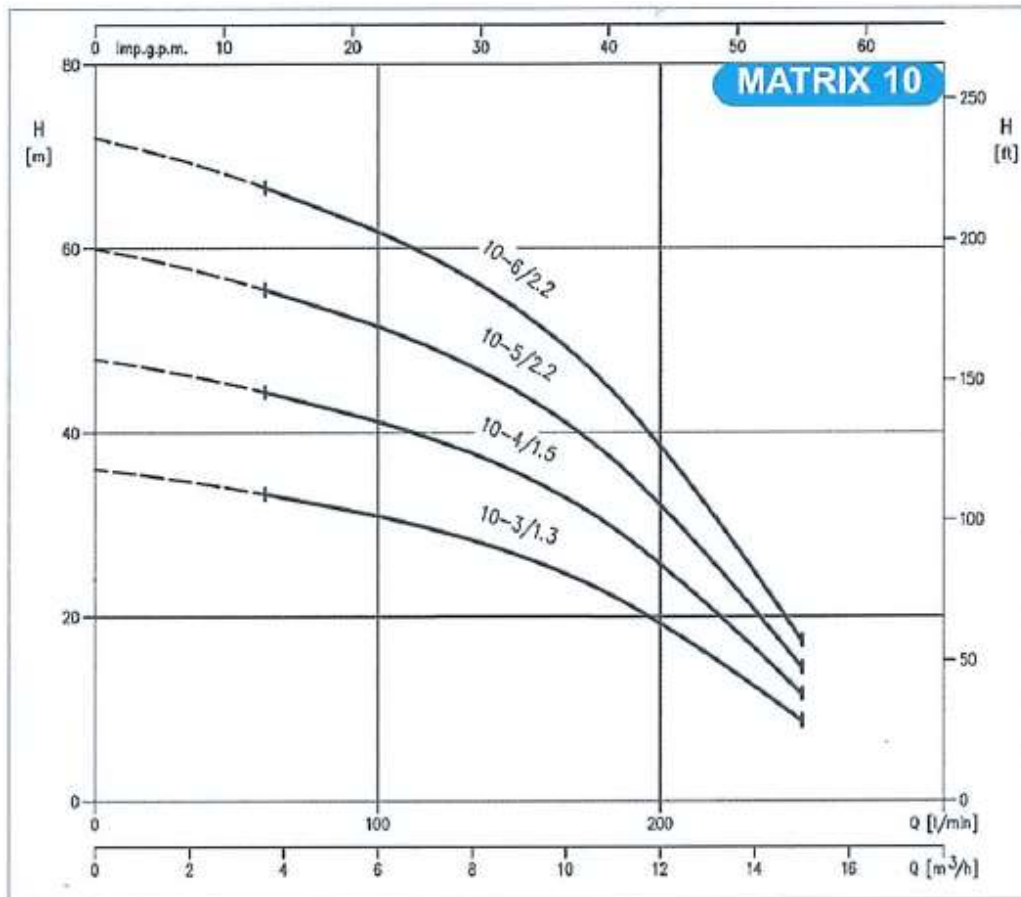


Abbildung 16: Pumpenkennlinien Matrix 10

Zusätzlich kann die Pumpe über einen elektronischen Drehzahlregler geregelt werden. Dieser ist in Anhang E²² aufgeführt.

7 Wirtschaftlicher Nachweis

Um beispielhaft die Wirtschaftlichkeit einer Dachkühlung nachzuweisen, werden die Parameter aus der Pilotanlage der Firma Ökoservice in Kapitel 3 vereinfacht auf die hier ausgelegte Musterfabrikhalle übertragen. Dort konnte die Kühllast um 12,6 Watt pro Quadratmeter Dachfläche reduziert werden. Für die Musterfabrikhalle mit 648m² Dachfläche wird analog zur Pilotanlage von 11 Stunden Betriebszeit ausgegangen. Es kann die durch die Dachkühlung erbrachte Kühlleistung berechnet werden.

$$\phi_{Dachkühlung} = 11h * 648m^2 * 12,6 \frac{W}{m^2K} = 89,8kWh$$

²² EBARA Produktkatalog 2011/2011

Moderne Klimaanlage der Energieeffizienzklasse A besitzen eine Leistungszahl (EER Vergleichszahlen) von 3,2²³. Das heißt, dass sie mit der elektrischen Aufnahmeleistung, die 3,2-fache Kälteleistung abgeben. Bei gleichem Strompreis ergeben sich bei einem solchen Gerät laufende Stromkosten von:

$$\frac{89,8kWh}{3,2} * 0,20 \frac{Euro}{kWh} = 5,61 Euro/d$$

Für Musterfabrikhalle wurden die verschiedenen Bewässerungsarten eingesetzt, welche unterschiedlich effizient arbeiten. Bei einem Strompreis von 0,20 Euro/kWh ergeben sich Betriebskosten für Strom von:

$$2,2kW * \frac{11h}{d} * 0,20 \frac{Euro}{kWh} = 4,84 Euro/d$$

Würde die Bewässerung rein durch die effizienteste Methode, der Besprühung mit Düsen erfolgen, würde der Arbeitsdruck statt 2,4 bar lediglich 1,23 bar betragen. Das Fördervolumen würde sich von 11,6 m³/h auf 9,8 m²/h reduzieren. Dementsprechend könnte die kleinere Pumpe Matrix 10/4 mit 1,5 kW statt der Matrix 10/6 mit 2,2 kW eingesetzt werden.

$$1,5 kW * \frac{11h}{d} * 0,20 \frac{Euro}{kWh} = 3,30 Euro/d$$

Für die beschriebene Dachkühlungsanlage muss weniger Energie aufgebracht werden als für eine Klimaanlage, welche die gleiche Kühlleistung bringt. Bei einer optimalen Auslegung beträgt der Energiebedarf sogar nur 59 % einer Klimaanlage.

²³ <http://www.reftec.ch/downloads/Leistungszahlen.pdf>

8 Fazit

In dieser Arbeit wurden die Wirkungsmechanismen einer Dachkühlungsanlage untersucht und analysiert. Es konnten bei den vorliegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten mit Hilfe von rechnerischen Methoden die empirischen Parameter bestätigt werden. Weiter wurde eine Dachkühlungsanlage für eine Musterfabrikhalle ausgelegt, die alle möglichen Bewässerungsmethoden beinhaltet. Da verschiedene Bewässerungsmethoden verschieden effizient arbeiten, ergibt sich bei den gleichen Dachflächenanteilen für die unterschiedlichen Bewässerungsarten eine repräsentative Auslegung. Anzumerken ist, dass sich die schlechteste Bewässerungsmethode mit dem höchsten Druckbedarf dominant (durch Vorgabe des Bemessungsdrucks) auswirkt. Mit dieser Auslegung konnte so, unter Einbeziehung der thermodynamischen Wirkung, ein seriöser wirtschaftlicher Nachweis in Bezug auf den Stromverbrauch geschaffen werden. Es hat sich dabei herausgestellt, dass ein modernes Klimagerät (Klasse A) mehr Strom verbraucht wie die repräsentative Dachkühlungsanlage. Je nach Art der Bewässerung, können bis zu 41% des Stromverbrauchs eingespart werden. Bei einer intermittierenden Betriebsweise, wenn also nicht durchgehend bewässert wird können sich noch weitere erhebliche Einsparpotentiale ergeben.

Dabei können je nach örtlichen Gegebenheiten auch deutlich effizientere Ergebnisse erzielt werden. Es mussten bei der Musterauslegung allein 1,3 bar zur Überwindung des hydrostatischen Druckes aufgebracht werden. In Einzelfällen könnte ein Vorlagebehälter direkt unter dem Dach installiert werden, wodurch das zirkulierende Wasser nicht durch den Hauptstrang, mit 0,4 bar Druckverlust und gegen eine 13 Meter hohe Wassersäule gedrückt werden müsste. Dadurch können 1,7 bar des Pumpenarbeitsdrucks eingespart werden!

Neben dem deutlich besseren Energieverbrauch gegenüber der konventionellen Wärmepumpentechnik gibt es noch weitere sehr relevante Argumente für eine Dachkühlungsanlage, die leicht übersehen werden können. Wird eine Kühlung aufgrund eines angenehmeren Klimas benötigt, ist eigentlich die „empfundene Raumtemperatur“ statt der Lufttemperatur zu berücksichtigen. Da sich die empfundene Raumtemperatur mitunter aus der Temperatur, der strahlenden Flächen zusammensetzt, ergibt sich bei einer herkömmlichen Klimaanlage, welche die Lufttemperatur zu senken vermag, eine höhere empfundene Temperatur. Somit

muss bei Klimaanlage die Raumtemperatur niedriger als bei einer Dachkühlung sein, um die gleiche Temperatur zu empfinden. Außerdem verursachen Klimaanlage eine Reduktion der Luftfeuchte, was die Behaglichkeit verschlechtert und bei vielen Menschen zu Problemen mit den Schleimhäuten führt.

Wenn die Aufgabe einer Kühlung der Schutz von verderblichen Waren ist, ist die Klimatisierung der Raumluft ohne Berücksichtigung der wärmestrahlenden Decke nicht ausreichend. Die Deckenoberfläche und die Warenverpackung sind technische Oberflächen, die in der Regel sowohl einen Adsorptions- als auch Emissionsgrad für Strahlung von 0,93 besitzen.²⁴ Dies bedeutet, dass die gegenüberliegenden Flächen dementsprechend miteinander Wärme austauschen. Somit kann beispielsweise die Oberflächentemperatur eines mit verderblichen Waren gefüllten Kartons höher sein, als die der umgebenden Luft, wobei sich in dem Karton die Temperatur der inneren Oberflächen einstellt.

Wird eine richtige Raumklimatisierung auf konstante Raumtemperaturen angestrebt, ist die Kombination von Dachkühlung und Klimaanlage eine optimale Lösung. Die Dachkühlung alleine kann nicht für eine Regulierung, sondern nur für eine Reduktion der Raumtemperatur sorgen. Dabei nimmt sie die enormen Spitzenlasten, die über die Sonneneinstrahlung auf die Dachfläche einwirken, auf. Eine Klimaanlage alleine müsste auf die gesamte Spitzenlast ausgelegt werden, wodurch sehr große Aggregate (Wärmepumpen, Ventilatoren) und ein leistungsstarkes Verteilernetz benötigt werden. Bei einem geringeren Temperaturunterschieden kann das bedeuten, dass die Klimaanlage mit einem vom Wirkungsgrad her ungünstigen Teillastfall betrieben wird, da die groß Dimensionierten Aggregate und Leitungen nur im Spitzenlast benötigt wird. Werden die Spitzenlasten reduziert, kann eine Klimaanlage deutlich kleiner dimensioniert werden. Dadurch werden auch die Investitionskosten für die Klimaanlage infolge der kleineren Aggregate und geringeren Leitungsquerschnitte zur Verteilung der Luft, gesenkt.

Das Verfahren zur Dachkühlung hat sich als energieeffiziente Lösung für den Abgleich von extremen Spitzentemperaturen durch die Sonneneinwirkung auf das Gebäude erwiesen. Es konnten in dieser Arbeit Konzepte zum Bau und der Planung einer solchen Anlage entwickelt werden, wodurch eine Reduktion des

²⁴ Prof.Dr.-Ing.Ulrich Eser, Skript Klimatechnik 1 WS 2010/11

Planungsaufwandes entsteht. Durch die Verringerung des zukünftigen Zeitaufwandes zur Planung von konkreten Projekten wird eine kostengünstige Realisierung in naher Zukunft erhofft.

Durch die Installation weiterer Referenzprojekte könnten weitere Erfahrungen gesammelt werden, wodurch sich noch genauere Methoden zur Berechnung der Kühlwirkung aufstellen lassen würden. Dies könnte zu einer breiteren Resonanz auf dem Markt führen, was zu Kostenvorteilen durch höhere Stückzahlfertigung führen kann.

Literaturverzeichnis

Aquatechnik Fachkatalog 2011/2012

DIN 1989

Doering E et al., Grundlagen der Technischen Thermodynamik. 6. Aufl. Springer, Wiesbaden 2006

EBARA Produktkatalog 2011/2011

Grassmann et al.: Einführung in die thermische Verfahrenstechnik, 3. Auflage, Walter de Gruyter Berlin 1997

Gröber H., S Erk und U. Grigull: Grundgesetze der Wärmeübertragung. 3. Aufl. Springer, Berlin 1957

Kamke, D. und K. Krämer: Physikalische Grundlagen der Maßeinheiten. Teubner, Stuttgart 1977

http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/Filep/Waerme/Waerme_Bauwerk/StationaerDurchgang.html

<http://www.intewa.de/1/products/purain/downloads/>

http://www.intewa.de/wasser/regenwasserfilter-zisterne/downloads/?jumpurl=uploads%2Fmedia%2FGutachten_PR150_400_kurz_01.PDF&juSecure=1&mimeType=application%2Fpdf&locationData=146%3Att_content%3A600&juHash=13b4c8e312f8eb41b7568c81b723fb69c0e8b622

http://www.lintz-holzbau.de/tipps_dachformen.php

<http://www.mc-gmbh.eu/upload/3502905-zungen-duesen.pdf>

<http://www.oekoservice.com/dachkuehlung/dachkuehlung1.png>

http://www.tagesgang-globalstrahlung.solar-wetter.com/html/solar-wetter_com_globalstrahu8.html

http://www.uni-due.de/ibpm/Aufgabensammlung/NeuNorm_A4.pdf

<http://www.wetterkontor.de/de/wetter/rueckblick.asp>

KHK-Kunststoff-Handel, Hassel & Seiter GmbH

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Eser, Vorlesungsskript Klimatechnik 1

Professor Rohrbach, Vorlesungsskript Heizungstechnik

Professor Rohrbach, Vorlesungsskript Thermodynamik

Anhang A

MC	Zungen-Düsen Z																																									
Düse mit abgelenktem, weichem und weitwinkligem Flachstrahl																																										
Charakteristik Flachstrahl-Spritzbild mit geringer Aufprallkraft, verstopfungsunempfindlich, aus einem Stück.	Anwendung Spülen Kühlen Brandschutz	Werkstoffe Messing Edelstahl 1.4305, 1.4404 Kunststoff - PVC, POM andere Werkstoffe auf Anfrage																																								
Abb. 1 		Abb. 2 		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Abmessungen in mm</th> </tr> <tr> <th>Gewinde R</th> <th>L</th> <th>L1</th> <th>SW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/8"</td> <td>28</td> <td>7</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>1/4"</td> <td>32</td> <td>10</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>38</td> <td>10</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>44</td> <td>13</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>50</td> <td>15</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>65</td> <td>17</td> <td>32</td> </tr> </tbody> </table>							Abmessungen in mm				Gewinde R	L	L1	SW	1/8"	28	7	11	1/4"	32	10	14	3/8"	38	10	17	1/2"	44	13	21	3/4"	50	15	27	1"	65	17	32
Abmessungen in mm																																										
Gewinde R	L	L1	SW																																							
1/8"	28	7	11																																							
1/4"	32	10	14																																							
3/8"	38	10	17																																							
1/2"	44	13	21																																							
3/4"	50	15	27																																							
1"	65	17	32																																							
Spritzweite Standard nach Tabelle		Zungen-Düse mit zylindrischem Gewinde, auf Nachfrage		R = DIN 2999 Kunststoff-Düsen können andere SW aufweisen																																						
Bestellbeispiel: (Gewinde - Type - Material) R 1/8" - Z 4 - VA																																										
Außengewinde R	Type	Bohrung (mm)	Volumenstrom V (l/min.) bei Druck p (bar)										Winkel bei p																													
			bar 0,2	bar 0,3	bar 0,5	bar 0,7	bar 1	bar 1,5	bar 2	bar 3	bar 4	bar 0,5	bar 1,5	bar 4																												
1/8"	•	Z 0,5	0,6					0,20	0,25	0,30	0,40	0,50		90°	120°																											
•	•	Z 0,7	0,7				0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,75		105°	125°																											
•	•	Z 1	0,8				0,40	0,45	0,50	0,60	0,75	1,00		110°	130°																											
•	•	Z 1,5	1,0			0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,20	1,50		75°	110°	130°																										
•	•	Z 2	1,2			0,60	0,70	0,90	1,00	1,30	1,50	2,00		85°	115°	130°																										
•	•	Z 2,5	1,3		0,70	0,80	0,90	1,20	1,30	1,60	2,00	2,50		85°	120°	135°																										
•	•	Z 3	1,4		0,80	0,90	1,20	1,40	1,60	2,00	2,30	3,00		85°	110°	125°																										
•	•	Z 4	1,6		1,00	1,20	1,50	1,90	2,20	2,60	3,00	4,00		95°	125°	130°																										
•	•	Z 5	1,8	1,00	1,30	1,60	1,90	2,30	2,70	3,30	3,80	4,50		115°	130°	140°																										
•	•	Z 7,5	2,3	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	5,00	5,50	7,00		100°	120°	135°																										
•	•	Z 10	2,6	2,00	2,50	3,00	4,00	4,50	5,00	6,50	7,50	9,50		115°	135°	145°																										
•	•	Z 12	2,9	2,50	3,00	4,00	4,50	5,50	6,50	8,00	9,00	11,0		130°	140°	155°																										
•	•	Z 15	3,3	3,00	4,00	5,00	5,50	7,00	8,00	10,0	11,0	14,0		100°	115°	125°																										
•	•	Z 18	3,6	3,50	4,50	5,50	7,00	8,00	9,50	11,0	14,0	16,0		105°	120°	130°																										
•	•	Z 20	3,8	4,00	5,00	6,50	7,50	9,00	10,5	13,0	15,0	18,0		110°	120°	135°																										
•	•	Z 22	3,9	4,50	6,00	7,00	8,00	10,0	12,0	14,0	17,0	20,0		110°	125°	135°																										
•	•	Z 24	4,0	5,00	6,50	7,50	9,00	11,0	13,0	16,0	18,0	22,0		115°	130°	145°																										
•	•	Z 27	4,4	5,50	7,00	8,50	10,0	12,0	14,0	17,0	21,0	25,0		120°	135°	150°																										
•	•	Z 30	4,5	6,00	8,00	9,50	11,0	14,0	16,0	19,0	23,0	27,0		100°	110°	120°																										
•	•	Z 35	5,0	7,00	9,50	11,0	13,0	16,0	19,0	23,0	27,0	32,0		105°	120°	130°																										
•	•	Z 40	5,3	8,00	10,0	12,0	15,0	18,0	21,0	26,0	30,0	37,0		110°	125°	135°																										
•	•	Z 45	5,6	9,50	12,0	14,0	17,0	20,0	24,0	29,0	34,0	38,0		115°	130°	140°																										
•	•	Z 50	6,0	10,0	13,0	16,0	19,0	23,0	26,0	33,0	38,0	46,0		115°	130°	140°																										
•	•	Z 60	6,5	12,0	16,0	19,0	23,0	27,0	32,0	39,0	45,0	55,0		120°	135°	140°																										
•	•	Z 70	7,0	14,0	19,0	22,0	26,0	32,0	37,0	45,0	53,0	65,0		125°	135°	145°																										
•	•	Z 80	7,5	16,0	21,0	25,0	30,0	37,0	42,0	52,0	60,0	74,0		125°	140°	150°																										
•	•	Z 90	8,0	18,0	24,0	28,0	34,0	41,0	48,0	60,0	68,0	75,0		120°	130°	140°																										
•	•	Z 100	8,4	21,0	27,0	32,0	38,0	46,0	53,0	65,0	76,0	90,0		120°	130°	140°																										
•	•	Z 110	8,8	23,0	29,0	35,0	42,0	51,0	59,0	72,0	83,0	102		125°	140°	150°																										
•	•	Z 120	9,3	25,0	32,0	38,0	45,0	56,0	64,0	79,0	91,0	109		130°	140°	150°																										
•	•	Z 180	11,5	38,0	48,0	57,0	68,0	83,0	94,0	117	136	166		125°	135°	140°																										
•	•	Z 210	12,3	43,0	56,0	66,0	79,0	98,0	113	136	159	192		130°	140°	145°																										
•	•	Z 300	14,7	62,0	79,0	94	113	140	162	196	227	279		110°	130°	135°																										
•	•	Z 400	17,8	94,0	121	143	170	208	242	294	340	420		120°	130°	140°																										

Anhang B



MPR-Sprühdüsen inkl. Düsenfilter, (VE 25)
Düsen mit festem Sektor

Wurfweite: min. 0,6 m/max. 1,5 m, Strahlanstieg 5°, rot				C
5Q	Wurfbild 90°	2,30 €	5F	Wurfbild 360° 2,30 €
5H	Wurfbild 180°	2,30 €		



Wurfweite: min. 1,5 m/max. 2,7 m, Strahlanstieg 10°, grün				C
8Q	Wurfbild 90°	2,30 €	8H	Wurfbild 180° 2,30 €
8T	Wurfbild 120°	2,30 €	8F	Wurfbild 360° 2,30 €

Wurfweite: min. 2,1 m/max. 3,1 m, Strahlanstieg 15°, blau				C
10Q	Wurfbild 90°	2,30 €	10H	Wurfbild 180° 2,30 €
10T	Wurfbild 120°	2,30 €	10F	Wurfbild 360° 2,30 €

Wurfweite: min. 2,7 m/max. 3,7 m, Strahlanstieg 30°, braun				C
12Q	Wurfbild 90°	2,30 €	12TQ	Wurfbild 270° 2,30 €
12T	Wurfbild 90°	2,30 €	12F	Wurfbild 360° 2,30 €
12H	Wurfbild 180°	2,30 €		

Wurfweite: min. 3,4 m/max. 4,6 m, Strahlanstieg 30°, schwarz				C
15Q	Wurfbild 90°	2,30 €	15TQ	Wurfbild 270° 2,30 €
15T	Wurfbild 120°	2,30 €	15F	Wurfbild 360° 2,30 €
15H	Wurfbild 180°	2,30 €		

MPR DÜSEN				
Winkel	Druck bar	5-MPR Strahlanstieg 5°		
		Rad. m	Leistung m³/h	
SF	1,0	0,6	0,02	
	1,5	1,0	0,05	
	2,0	1,4	0,08	
	2,1	1,5	0,09	
SH	1,0	0,6	0,01	
	1,5	1,0	0,02	
	2,0	1,4	0,04	
	2,1	1,5	0,05	
ST	1,0	0,6	0,01	
	1,5	1,0	0,02	
	2,0	1,4	0,03	
	2,1	1,5	0,03	
SQ	1,0	0,6	0,01	
	1,5	1,0	0,01	
	2,0	1,4	0,02	
	2,1	1,5	0,02	

MPR DÜSEN				
Winkel	Druck bar	5-MPR Strahlanstieg 10°		
		Rad. m	Leistung m³/h	
8F	1,0	1,5	0,12	
	1,5	1,9	0,16	
	2,0	2,3	0,22	
	2,1	2,4	0,23	
8H	1,0	1,5	0,06	
	1,5	1,9	0,09	
	2,0	2,3	0,11	
	2,1	2,4	0,12	
8T	1,0	1,5	0,04	
	1,5	1,9	0,06	
	2,0	2,3	0,07	
	2,1	2,4	0,08	
8Q	1,0	1,5	0,03	
	1,5	1,9	0,04	
	2,0	2,3	0,05	
	2,1	2,4	0,06	

MPR DÜSEN				
Winkel	Druck bar	10-MPR Strahlanstieg 15°		
		Rad. m	Leistung m³/h	
10F	1,0	2,1	0,26	
	1,5	2,4	0,29	
	2,0	3,0	0,35	
	2,1	3,1	0,36	
10H	1,0	2,1	0,13	
	1,5	2,4	0,14	
	2,0	3,0	0,18	
	2,1	3,1	0,18	
10T	1,0	2,1	0,09	
	1,5	2,4	0,10	
	2,0	3,0	0,12	
	2,1	3,1	0,12	
10Q	1,0	2,1	0,06	
	1,5	2,4	0,07	
	2,0	3,0	0,09	
	2,1	3,1	0,09	

MPR DÜSEN				
Winkel	Druck bar	12-MPR Strahlanstieg 30°		
		Rad. m	Leistung m³/h	
12F	1,0	2,7	0,46	
	1,5	3,2	0,48	
	2,0	3,6	0,59	
	2,1	3,7	0,60	
12TQ	1,0	2,7	0,20	
	1,5	3,2	0,26	
	2,0	3,6	0,45	
	2,1	3,7	0,45	
12TT	1,0	2,7	0,28	
	1,5	3,2	0,32	
	2,0	3,6	0,40	
	2,1	3,7	0,40	
12H	1,0	2,7	0,20	
	1,5	3,2	0,24	
	2,0	3,6	0,30	
	2,1	3,7	0,30	
12T	1,0	2,7	0,13	
	1,5	3,2	0,16	
	2,0	3,6	0,20	
	2,1	3,7	0,20	
12Q	1,0	2,7	0,10	
	1,5	3,2	0,12	
	2,0	3,6	0,15	
	2,1	3,7	0,15	

MPR DÜSEN				
Winkel	Druck bar	15-MPR Strahlanstieg 30°		
		Rad. m	Leistung m³/h	
15F	1,0	3,4	0,60	
	1,5	3,9	0,72	
	2,0	4,5	0,84	
	2,1	4,6	0,84	
15TQ	1,0	3,4	0,40	
	1,5	3,9	0,54	
	2,0	4,5	0,63	
	2,1	4,6	0,63	
15TT	1,0	3,4	0,40	
	1,5	3,9	0,48	
	2,0	4,5	0,55	
	2,1	4,6	0,56	
15H	1,0	3,4	0,20	
	1,5	3,9	0,24	
	2,0	4,5	0,30	
	2,1	4,6	0,30	
15T	1,0	3,4	0,20	
	1,5	3,9	0,24	
	2,0	4,5	0,28	
	2,1	4,6	0,28	
15Q	1,0	3,4	0,15	
	1,5	3,9	0,16	
	2,0	4,5	0,21	
	2,1	4,6	0,21	



Rechtecksprühdüsen inkl. Düsenfilter, (VE 25)
Strahlanstieg 30°
Betriebsdruck: 1,0 - 2,1 bar

Anhang C

Hunter®



Rechtecksprühdüsen inkl. Düsenfilter, (VE 25)

Strahlanstieg:	30°		
Betriebsdruck:	1,4 - 2,8 bar		
SS-530	1,50 x 9,00 m	2,18 €	
CS-530	1,50 x 9,00 m	2,18 €	
SS-918	2,70 x 5,50 m	2,18 €	
LCS-515	1,50 x 4,60 m	2,18 €	
RCS-515	1,50 x 4,60 m	2,18 €	
ES-515	1,50 x 4,60 m	2,18 €	



A

HUNTER RECHTECKDÜSEN					
Düse	Druck bar	Länge x Breite m	Fluß m³/h l/min		
	1,4	1,2 x 4,3	0,12	2,1	
	1,7	1,5 x 4,6	0,14	2,3	
	2,1	1,5 x 4,6	0,15	2,5	
	2,4	1,5 x 4,6	0,16	2,6	
	2,8	1,5 x 4,6	0,17	2,8	
		1,4	1,2 x 4,3	0,12	2,1
		1,7	1,5 x 4,6	0,14	2,3
		2,1	1,5 x 4,6	0,15	2,5
2,4		1,5 x 4,6	0,16	2,6	
	2,8	1,5 x 4,6	0,17	2,8	
		1,4	1,2 x 8,5	0,25	4,2
		1,7	1,5 x 9,1	0,27	4,5
		2,1	1,5 x 9,1	0,30	4,9
2,4		1,5 x 9,1	0,32	5,3	
	2,8	1,5 x 9,1	0,34	5,7	
		1,4	1,2 x 4,3	0,12	2,1
		1,7	1,5 x 4,6	0,15	2,3
		2,1	1,5 x 4,6	0,15	2,5
2,4		1,5 x 4,6	0,16	2,6	
	2,8	1,5 x 4,6	0,17	2,8	
		1,4	1,2 x 8,5	0,25	4,2
		1,7	1,5 x 9,1	0,27	4,5
		2,1	1,5 x 9,1	0,30	4,9
2,4		1,5 x 9,1	0,32	5,3	
	2,8	1,5 x 9,1	0,34	5,7	
		1,4	2,4 x 5,2	0,33	5,5
		1,7	2,7 x 5,5	0,36	6,0
		2,1	2,7 x 5,5	0,39	6,5
2,4		2,7 x 5,5	0,43	7,1	
	2,8	2,7 x 5,5	0,47	7,9	

Anhang D



MATRIX

BLOCK-KREISELPUMPEN, NORMALSAUGEND

- Fördermenge bis 27,0 m³/h
- Förderhöhe bis 104 m
- EDELSTAHL
- mehrstufig / horizontal

Hauptmerkmale

- alle medienberührenden Teile aus Edelstahl
- Schleifringe aus Edelstahl 1.4301/PTFE
- verschleißfeste Gleitlager aus Wolframkarbid
- wartungs- und leckfreie Gleitringdichtung
- hohe Wirkungsgrade
- äußerst robuste, kompakte Bauweise
- für Dauerbetrieb geeignet
- sehr geräuscharmer Betrieb
- lieferbar in diversen Sonderausführungen (siehe Seite 152)

Einsatzgebiete

- Wasserversorgung, Druckerhöhung, Wasseraufbereitung
- Waschanlagen, Kühlanlagen, Filteranlagen
- Neutralisationsanlagen, Luftwäscher, Apparatebau
- industrielle Anwendungen

Technische Merkmale

Förderdaten

Fördermedium:	klare, auch moderat aggressive Flüssigkeiten, welche die Pumpenwerkstoffe chemisch und mechanisch nicht angreifen
Temperatur:	max. 110°C min. -15°C
Betriebsdruck:	max. 10 bar

Konstruktion

Laufrad:	geschlossen
Wellendichtung:	Gleitringdichtung
Hydraulik:	mehrstufig mit axialem Saugstutzen
Lagerung:	abgedichtete Kugellager

Anschlussmaße

Druckstutzen:	1"IG (MATRIX 3)
	1"IG (MATRIX 5)
	1 1/4"IG (MATRIX 10)
Saugstutzen:	1 1/2"IG (MATRIX 18)
	1"IG (MATRIX 3)
	1 1/4"IG (MATRIX 5)
	1 1/2"IG (MATRIX 10)
	2"IG (MATRIX 18)

Werkstoffe

Außengehäuse:	Edelstahl 1.4301
Laufrad:	Edelstahl 1.4301
Dichtungsträger:	Edelstahl 1.4301
Pumpenwelle:	Edelstahl 1.4301
Gleitringdichtung:	Kohle/Keramik
O-Ringe:	EPDM
Motorgehäuse:	Aluminium
Motorträger:	Aluminium

Motor

Wechselstromversion:	1~230V ± 10 %, 50 Hz, ISO F, 2-polig
Drehstromversion:	3~230/400V ± 10 %, 50 Hz, ISO F, 2-polig
Schutzart:	IP 55

Motorschutz

Wechselstromversion:	integrierter Thermoschutzschalter
Drehstromversion:	bauseits

Lieferumfang

MATRIX: horizontale, mehrstufige Pumpe mit Aluminium-Druckgussmotor und verlängerter Motorwelle



MATRIX



Lauf-/Leitrad MATRIX

Typenschlüssel



MATRIX

BLOCK-KREISELPUMPEN, NORMALSAUGEND

- Fördermenge bis 27,0 m³/h
- Förderhöhe bis 104 m
- EDELSTAHL
- mehrstufig / horizontal

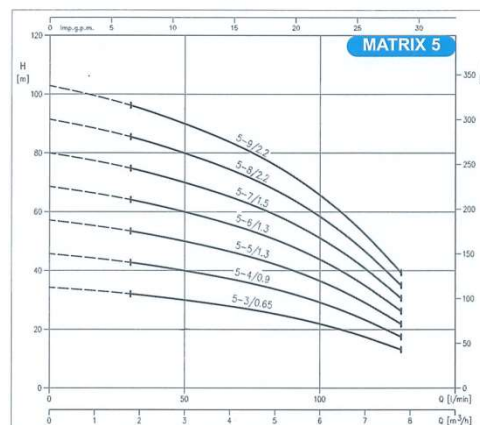
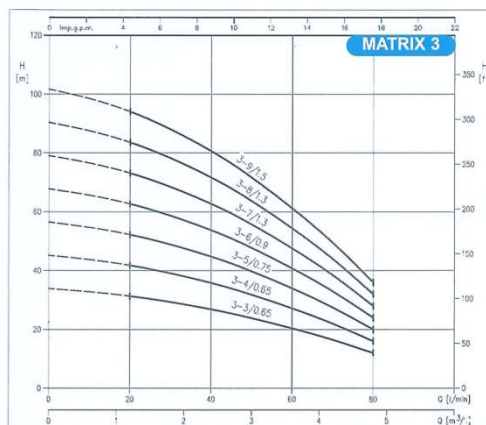


MATRIX

Technische Daten

Type		Leistung kW	Leistungsaufnahme kW		Kondensator µF	Stromaufnahme A		
Wechselstrom 1-230V	Drehstrom 3-230/400V		1-230V	3-230/400V		1-230V	3-230V	3-400V
MATRIX 3-3T/0,65 M	MATRIX 3-3T/0,65	0,65	0,97	0,85	16,0	4,5	2,8	1,6
MATRIX 3-4T/0,65 M	MATRIX 3-4T/0,65	0,65	0,97	0,85	16,0	4,5	2,8	1,6
MATRIX 3-5T/0,75 M	MATRIX 3-5T/0,75	0,75	1,14	1,12	25,0	5,4	4,4	2,5
MATRIX 3-6T/0,90 M	MATRIX 3-6T/0,90	0,90	1,28	1,24	31,5	5,7	4,5	2,6
MATRIX 3-7T/1,30 M	MATRIX 3-7T/1,30	1,30	1,75	1,70	31,5	7,8	6,1	3,5
MATRIX 3-8T/1,30 M	MATRIX 3-8T/1,30	1,30	1,75	1,70	31,5	7,8	6,1	3,5
MATRIX 3-9T/1,50 M	MATRIX 3-9T/1,50	1,50	1,95	1,85	35,0	8,7	5,9	3,4
MATRIX 5-3T/0,65 M	MATRIX 5-3T/0,65	0,65	0,97	0,85	16,0	4,5	2,8	1,6
MATRIX 5-4T/0,90 M	MATRIX 5-4T/0,90	0,90	1,28	1,24	31,5	5,7	4,5	2,6
MATRIX 5-5T/1,30 M	MATRIX 5-5T/1,30	1,30	1,75	1,70	31,5	7,8	6,1	3,5
MATRIX 5-6T/1,30 M	MATRIX 5-6T/1,30	1,30	1,75	1,70	31,5	7,8	6,1	3,5
MATRIX 5-7T/1,50 M	MATRIX 5-7T/1,50	1,50	1,95	1,85	35,0	8,7	5,9	3,4
MATRIX 5-8T/2,20 M	MATRIX 5-8T/2,20	2,20	2,92	2,65	50,0	13,0	8,0	4,6
MATRIX 5-9T/2,20 M	MATRIX 5-9T/2,20	2,20	2,92	2,65	50,0	13,0	8,0	4,6
MATRIX 10-3T/1,30 M	MATRIX 10-3T/1,30	1,30	1,75	1,70	31,5	7,8	6,1	3,5
MATRIX 10-4T/1,50 M	MATRIX 10-4T/1,50	1,50	1,95	1,85	35,0	8,7	5,9	3,4
MATRIX 10-5T/2,20 M	MATRIX 10-5T/2,20	2,20	2,92	2,65	50,0	13,0	8,0	4,6
MATRIX 10-6T/2,20 M	MATRIX 10-6T/2,20	2,20	2,92	2,65	50,0	13,0	8,0	4,6
MATRIX 18-2T/1,50 M	MATRIX 18-2T/1,50	1,50	1,95	1,85	31,5	8,7	5,9	3,4
MATRIX 18-3T/2,20 M	MATRIX 18-3T/2,20	2,20	2,92	2,65	50,0	13,0	8,0	4,6
---	MATRIX 18-4T/3,00	3,00	---	3,70	---	---	10,9	6,3
---	MATRIX 18-5T/4,00	4,00	---	4,70	---	---	14,0	8,1
---	MATRIX 18-6T/4,00	4,00	---	4,70	---	---	14,0	8,1

Kennlinien



Weitere Kennlinien finden Sie auf der folgenden Seite!

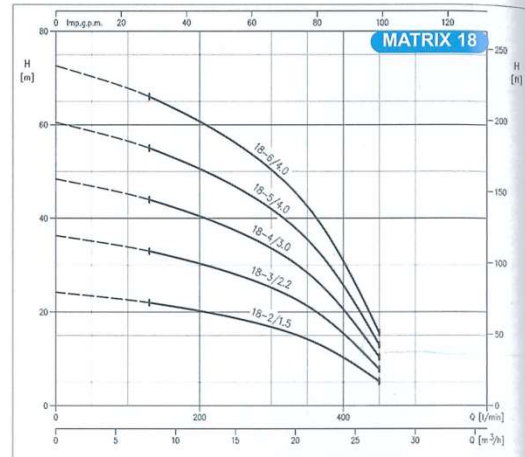
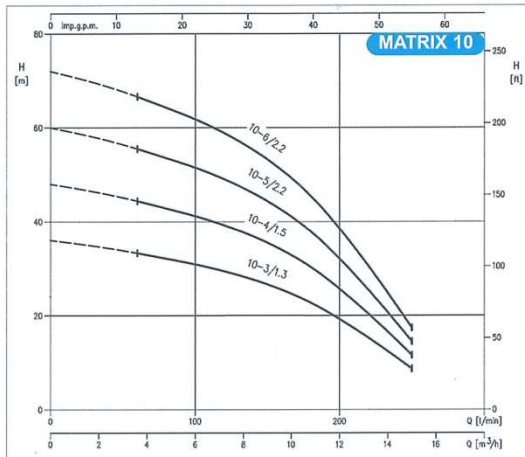


MATRIX

BLOCK-KREISELPUMPEN, NORMALSAUGEND

- Fördermenge bis 27,0 m³/h
- Förderhöhe bis 104 m
- EDELSTAHL
- mehrstufig / horizontal

Kennlinien



Preise

Wechselstrom (1~230V)			Drehstrom (3~230/400V)				
Type	Artikel-Nr.	Preis EUR	Leistung kW	Gewicht kg	Type	Artikel-Nr.	Preis EUR
MATRIX 3-3T/0,65 M	2470330000	300,00	0,65	9,9	MATRIX 3-3T/0,65	2470330004	285,00
MATRIX 3-4T/0,65 M	2470340000	338,00	0,65	10,6	MATRIX 3-4T/0,65	2470340004	323,00
MATRIX 3-5T/0,75 M	2470350000	360,00	0,75	12,5	MATRIX 3-5T/0,75	2470350004	345,00
MATRIX 3-6T/0,90 M	2470360000	409,00	0,90	13,7	MATRIX 3-6T/0,90	2470360004	394,00
MATRIX 3-7T/1,30 M	2470370000	508,00	1,30	16,3	MATRIX 3-7T/1,30	2470370004	493,00
MATRIX 3-8T/1,30 M	2470380000	535,00	1,30	16,8	MATRIX 3-8T/1,30	2470380004	520,00
MATRIX 3-9T/1,50 M	2470390000	568,00	1,50	18,3	MATRIX 3-9T/1,50	2470390004	553,00
MATRIX 5-3T/0,65 M	2470530000	338,00	0,65	9,9	MATRIX 5-3T/0,65	2470530004	323,00
MATRIX 5-4T/0,90 M	2470540000	393,00	0,90	12,2	MATRIX 5-4T/0,90	2470540004	378,00
MATRIX 5-5T/1,30 M	2470550000	448,00	1,30	15,0	MATRIX 5-5T/1,30	2470550004	433,00
MATRIX 5-6T/1,30 M	2470560000	475,00	1,30	15,6	MATRIX 5-6T/1,30	2470560004	460,00
MATRIX 5-7T/1,50 M	2470570000	519,00	1,50	17,2	MATRIX 5-7T/1,50	2470570004	504,00
MATRIX 5-8T/2,20 M	2470580000	606,00	2,20	22,3	MATRIX 5-8T/2,20	2470580004	591,00
MATRIX 5-9T/2,20 M	2470590000	633,00	2,20	22,8	MATRIX 5-9T/2,20	2470590004	618,00
MATRIX 10-3T/1,30 M	2471030000	535,00	1,30	14,7	MATRIX 10-3T/1,30	2471030004	520,00
MATRIX 10-4T/1,50 M	2471040000	590,00	1,50	15,6	MATRIX 10-4T/1,50	2471040004	575,00
MATRIX 10-5T/2,20 M	2471050000	611,00	2,20	21,3	MATRIX 10-5T/2,20	2471050004	596,00
MATRIX 10-6T/2,20 M	2471060000	650,00	2,20	22,4	MATRIX 10-6T/2,20	2471060004	635,00
MATRIX 18-2T/1,50 M	2471820000	622,00	1,50	14,5	MATRIX 18-2T/1,50	2471820004	607,00
MATRIX 18-3T/2,20 M	2471830000	666,00	2,20	20,6	MATRIX 18-3T/2,20	2471830004	651,00
			3,00	21,7	MATRIX 18-4T/3,00	2471840004	755,00
			4,00	26,9	MATRIX 18-5T/4,00	2471850004	790,00
			4,00	28,1	MATRIX 18-6T/4,00	2471860004	835,00

Anhang E



ZUBEHÖR

ELEKTRONISCHER KOMPAKT-DREHZAHLEGLER

PRESS-O-MATIC

- für alle Baureihen mit 3~230V bis 1,5kW wie z. B. WINNER, MATRIX, IDROGO, AGA

Funktion

Abhängig vom Wasserbedarf schaltet der PRESS-O-MATIC die Pumpe nicht nur selbständig ein und aus, sondern passt darüber hinaus die Motordrehzahl dem Wasserbedarf an.

Hauptmerkmale

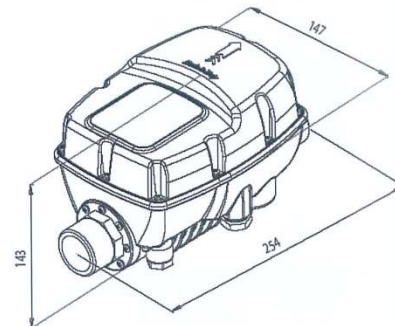
- Konstanter, gleichbleibender Druck durch Drehzahlregelung
- Energieeinsparung durch geringere Leistungsaufnahme der Pumpe
- Stufenweises Ein-/Ausschalten der Pumpe reduziert Druckschläge
- Trockenlaufschutz bei Wassermangel
- Automatischer Wiederanlauf nach Trockenlauf
- Leckageüberwachung zur Vermeidung von häufigen Neustarts der Pumpe
- Digitale Druckanzeige im Display
- Motorschutz
- Anzeigen der verschiedenen Betriebsmodi/Fehler durch LED's und Meldungen im Display
- Verbindungsmöglichkeiten von Reglern für Doppelpumpenanlagen (master-/slave-Betrieb, Abb. unten rechts)
- Kontakte für Fernbedienung
- Drehrichtungskorrektur über Bedienfeld
- Abziehbare Klemmen für problemlose Montage



PRESS-O-MATIC

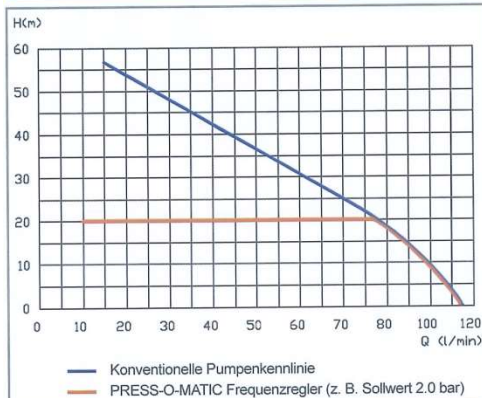
Technische Daten

Netzstromversorgung:	1~230V ± 10 %, 50Hz/60Hz
Max. Netzstrom:	16,0 A / 1~230V
Motorstromversorgung:	3~230V
Max. Ausgangsstrom-Regler:	9,7 A / 3~230V
Max. Motoraufnahmeleistung:	P1 / 2,2kW
Max. Motornennleistung:	P2 / 1,5kW
Max. Systemdruck:	8 bar
Max. Medientemperatur:	50°C
Max. Fördervolumen:	150 l/min
Druckregelbereich:	1,5 - 7,0 bar
Startdruckregelbereich:	1,0 - 6,7 bar
Anschluss:	1 1/4" AG
Frequenzbereich:	25 - 50Hz
Schutzart:	IP 65
Gewicht:	1,6 kg
Maße:	254x147x143 mm



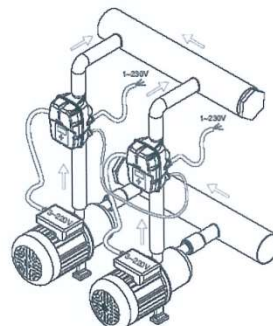
Ausführung nach EN60730-1

Druck-Volumenstrom-Kennfeld



Sonderausführung/Zubehör

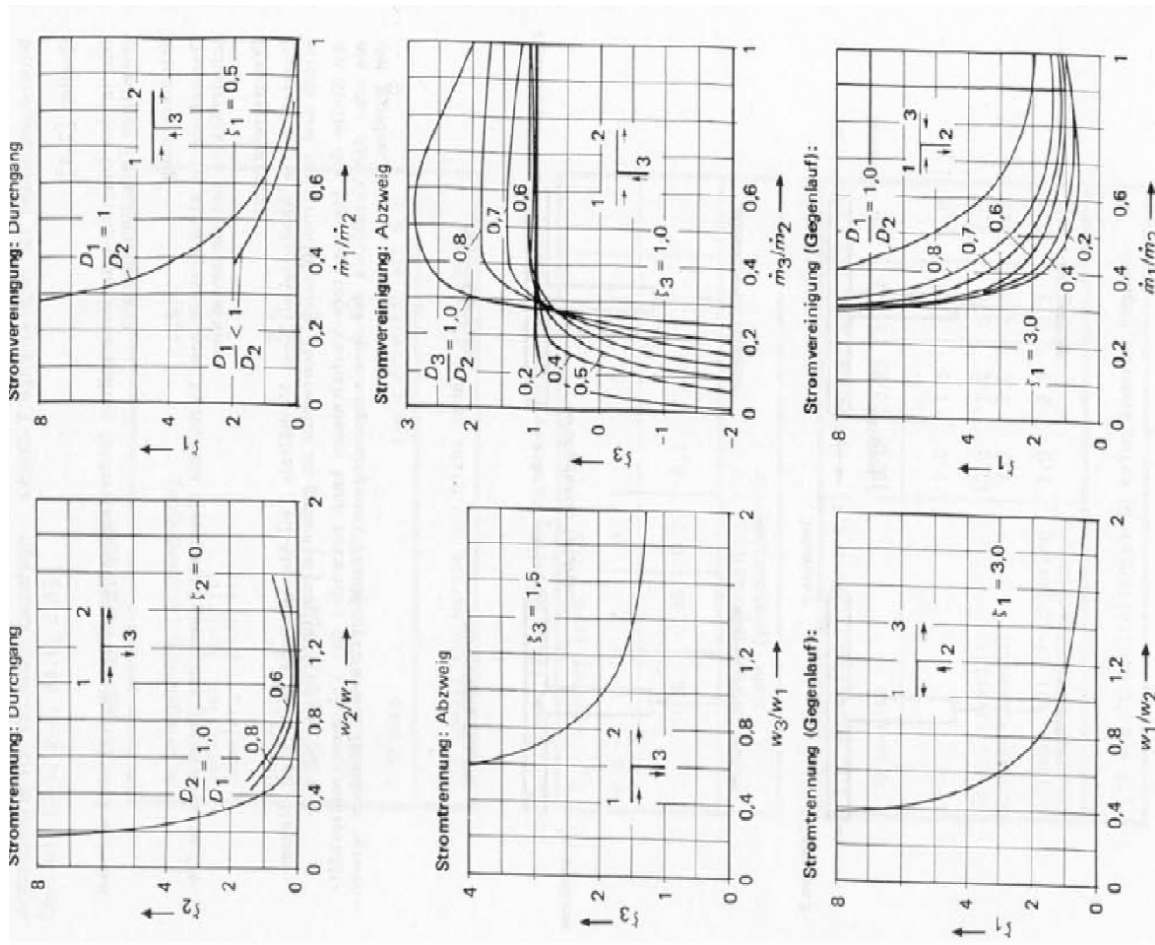
- Frequenzregelbereich 30 - 60Hz
- Verbindungskabel für Doppelpumpenanlagen 4 x 0,5 mm², 100 cm



Preis

Type	Artikel-Nr.	Preis EUR
PRESS-O-MATIC M 2,2 T	362400015	559,00
Verbindungskabel für Doppelpumpenanlagen im Master/Slave-Betrieb, 4 x 0,5 mm ² , 100 cm	362400014	11,00

Anhang F



Ausbiegestück (Etagenbögen)	0,5
Verteiler, Austritt	0,5
Sammler, Eintritt	1,0
Heizkessel (*)	2,5
Gliederheizkörper	2,5
Plattenheizkörper (*)	3,0
Hahn, ohne Einschnürung	0,15
T-Stücke	

siehe Arbeitsblatt G 2

(*) soweit vom Hersteller nicht anders angegeben

2. Krümmer (Rohrbögen), Kniestücke, Absperrarmaturen:

2.1 Krümmer ($r/d > 0,5$) (*)					
$r/d =$	1	2	3	4	6
	0,5	0,35	0,3	0,3	0,4

(*) r = Krümmungsradius
 d = Rohr-Innendurchmesser

2.2. Kniestücke ($r/d < 0,5$) und Absperrarmaturen (*)				
Nennweite =	10/15	20/25	32/40	≥ 50
Knie	2,0	1,5	1,0	1,0
Geradsitzventil	10,0	7,0	5,0	4,0
Schrägsitzventil	3,5	3,0	2,5	2,0
Schieber mit Einschnürung	1,0	0,5	0,3	0,3
Schieber ohne Einschnürung			0,2	0,2

(*) soweit herstellenseitig keine anderen Angaben