



Direktkühlung bei der Weinproduktion

Dierk Hagen Müller
Bernhard Platzer
Christian Maul
Lukas Scherner

Kuratorium für
Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft

ATW

KTBL

ATW - Ausschuss für Technik im Weinbau

Deutscher Weinbauverband, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft

Abschlussbericht über das
ATW-Vorhaben Nr. 118

Technologische Untersuchungen zur Direktkühlung bei der Weinproduktion

Bearbeiter: OLR Dierk Hagen Müller, SLFA Neustadt
Prof. Dr. Bernhard Platzer, FH Kaiserslautern
Christian Maul, FH Mannheim
Lukas Scherner, FH Kaiserslautern

KTBL-Titel: I/15
Förderjahre: 1999 bis 2000

Förderland: Baden-Württemberg

Durchführung: Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft,
Wein- und Gartenbau, Abt. Ökologie
Leiter: GD Dr. Hans-Peter Lorenz
Breitenweg 71, D-67435 Neustadt/W.
in Zusammenarbeit mit
Fachhochschule Kaiserslautern
Lehrstuhl für Verfahrenstechnik
Leiter: Prof. Dr. Bernhard Platzer
Morlauterer Straße 31
PF 3049, D-67618 Kaiserslautern

ATW-Vorstand

Vorsitzender: Peter Jost
Oberstraße, D-55422 Bacharach
Tel.: +49 (0) 6743/1216
Fax: +49 (0) 6743/1076
eMail: weingut_toni_jost_hahnenhof@debitel.net

2. Vorsitzender: Prof. Dr. Werner Rühling
Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Technik
Brentanostraße 9, D-65366 Geisenheim
Tel.: +49 (0) 6722/502-361
Fax: +49 (0) 6722/502-360
eMail: technik@fa-gm.de

Dr. Jürgen Dietrich
Staatsweingut Meersburg
D-88701 Meersburg
Tel.: +49 (0) 7532/356
Fax: +49 (0) 7532/358
eMail: JD@Staatsweingut-Meersburg.de

ATW-Beirat

Obmann: MinR Hermann Fischer
Minist. für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau
PF 3269, Bauhofstraße 4, D-55116 Mainz
Tel.: +49 (0) 6131/16-3516
Fax: +49 (0) 6131/16-3533
eMail: Hermann.Fischer@mwwlv.rpl.de

Geschäftsführer: Dr. Albrecht Achilles
KTBL, Bartningstraße 49
D-64289 Darmstadt
Tel.: +49 (0) 6151/7001-139
Fax: +49 (0) 6151/7001-204
eMail: a.achilles@ktbl.de

Titelbild: Tankanlage mit Kühlung (Foto – Verfasser)

© 2002 by Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49, D-64289 Darmstadt, Tel.: +49 (0) 6151/7001-0. Internet: www.ktbl.de

Redaktion: Dr. Albrecht Achilles, KTBL

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministers für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) sowie des Deutschen Weinbauverbandes (DWV).

Nachdruck, auszugsweise Wiedergabe, Vervielfältigung, Übernahme auf Datenträger und Übersetzung nur mit Genehmigung des ATW.

Printed in Germany.

1	Einleitung	5
2	Situationsanalyse	6
2.1	Material und Methoden	6
2.2	Auswertung	6
2.3	Allgemeine Fragen	7
2.3.1	Betriebsgröße	7
2.3.2	Verteilung der Betriebe mit und ohne Gärkühlung	8
2.3.3	Kosten für Strom, Wasser und Abwasser	8
2.3.4	Anteil aller Betriebe, die in Kältetechnik investieren werden	11
2.3.5	Art der geplanten Anlagen	12
2.3.6	Aufstellungsorte der Gärbehälter	13
2.4	Betriebe, die schon Gärkühlung einsetzen	14
2.4.1	Betriebsgröße	14
2.4.2	Anteil der eingesetzten Kühlsysteme	14
2.4.3	Eingesetzte Kühlsysteme, nach der Betriebsgröße aufgeschlüsselt	15
2.4.4	Weshalb lohnt sich Gärkühlung?	16
2.4.5	Zufriedenheit mit der bestehenden Gärkühlanlage	17
2.4.6	Aufschlüsselung der Betriebskosten in Bezug auf Investitionskosten.	18
2.4.7	Verteilung der Kälteanlagenleistung nach der Betriebsgröße	19
2.4.8	Verteilung der Kälteanlagenleistung nach der vergorenen Mostmenge	20
2.5	Betriebe, die noch keine Gärkühlung einsetzen	20
2.5.1	Anteil der Betriebe, die Anschaffungen geplant haben	21
2.5.2	Art der geplanten Anlage	22
2.5.3	Weshalb lohnt sich eine Gärkühlung?	22
2.5.4	Geplante Investitionen in Abhängigkeit von der Betriebsgröße	23
2.6	Schlussfolgerungen	23
3	Untersuchungen zur Ermittlung von Dimensionierungsgrundlagen für die Gärkühlung	25
3.1	Gärversuche zur Bestimmung der Temperaturprofile	25
3.1.1	Hintergrund	25
3.1.2	Aufgabenstellung und Ziele	26
3.1.3	Material und Methoden	26
3.1.3.1	Messtechnik	26
3.1.3.2	Online-Messdatenerfassungssystem	27
3.1.3.3	Einbau der Messtechnik in den Tank	28
3.1.4	Versuchsdurchführung	29
3.1.4.1	Versuch 1: Zeitliche und räumliche Verläufe der Temperatur bei Oberflächenkühlung	29
3.1.5	Analyse der Mostproben zur Bestimmung des Reaktionsumsatzes	34
3.2	Bestimmung der Wärmequellichte des eingesetzten Mostes	34
3.2.1	Hintergrund	35
3.2.2	Aufgabenstellung und Ziel	35
3.2.3	Versuchsdurchführung	35
3.2.4	Auswertung	35
3.2.4.1	Berechnungen der Alpha-Werte eines Weintanks	35
3.2.4.2	Alpha-Wert der Tankinnenseite	35
3.2.4.3	Alpha-Wert der Tankaußenseite	36
3.2.4.4	Betrachtung der Alpha-Werte der Tankinnen- bzw. Tankaußenseite	36
3.2.4.5	Tankwandmaterial	36
3.2.4.6	Berechnung der Wärmequellichte	37
3.3	Untersuchung unterschiedlicher Wärmetauscher	38
3.3.1	Aufgabenstellung und Ziel	38
3.3.2	Wärmetauscherelemente im Versuch	38
3.3.2.1	Platte 1: Hyfra	40
3.3.2.2	Platte 2: Gasser	40
3.3.2.3	Platte 3: Schadeck	40

3.3.2.4	Platte 4: Fa. OMEGA	41
3.3.2.5	Platte 5: Fa. Schärf	41
3.3.2.6	Platte 6: Fa. Buco	41
3.3.2.7	Platte 7: Fa. Becker (Rautenprofil)	42
3.3.2.8	Platte 8: Fa. Becker (Punkt)	42
3.3.2.9	Platte 9: Fa. Ziemann Secathen S.A.	42
3.3.2.10	Platte 10: SWEP-Wärmetauscher	43
3.3.2.11	WÜT 11: Doppelmantel-Wärmetauscher, Fa. Schärf	43
3.3.2.12	WÜT 12: Einsteck-Wärmetauscher („Banane“), Fa. Schärf	44
3.3.2.13	WÜT 13: Wellrohr-Wärmetauscher, Fa. Etscheid	44
3.3.2.14	WÜT 14: Kapillarrohrmatten, Fa. Clina	45
3.3.3	Messung der k-Werte	45
3.3.3.1	Material und Methoden	46
3.3.3.2	Auswertung	48
3.3.3.3	Ergebnisse	50
3.3.4.1	Diskussion und Schlussbetrachtung	53
3.3.5	Ermittlung des Druckverlustes	54
3.3.5.1	Material und Methoden	54
3.3.5.2	Ergebnisse	55
3.3.5.3	Diskussion der Ergebnisse	57
3.3.6	Fowling und Reinigungsverhalten der Platten	58
3.3.6.1	Was ist Fowling und was sind seine Einflussfaktoren?	58
3.3.6.2	Versuchsdurchführung	58
3.3.6.3	Auswertung	58
3.3.6.4	Diskussion der Ergebnisse	59
3.4	Rentabilität von Eisspeichern in der Gärkühlung	59
3.4.1	Funktionsprinzip	60
3.4.2	Rentabilitätsbetrachtung	61
4	Auslegung von Wärmeüberträgersystemen in der Gärkühlung	62
4.1	Welche Informationen werden für die Auslegung benötigt?	62
4.2	Zusätzliche Hinweise (Werkstoffwahl)	63
4.3	Auslegung	63
4.4	Beispiel einer Auslegung	65
5	Zusammenfassung der Ergebnisse	68
6	Ausblick	70
7	Anhang	71
7.1	Fehlerberechnung	71
7.2	Literaturverzeichnis	72
7.3	Bezugsquellen	72
7.4	Erhebungsbogen: Umfrage bei Winzerbetrieben zur aktiven Tankkühlung	76

1 Einleitung

Bei der modernen Weinerzeugung wird immer stärker Wert auf den Prozessschritt der Gärung gelegt. Dieser kann ebenso erheblich auf die Qualität des Weines Einfluss nehmen wie die eigentliche Traubenerzeugung oder auch die spätere Weiterverarbeitung und Lagerung.

Einer der problematischsten Aspekte ist die bei der Gärung entstehende Wärme, die durch die Stoffwechselaktivität der eingesetzten Hefen hervorgerufen wird. Dieser hat gerade in den letzten Jahrzehnten in der Kellerwirtschaft zunehmend an Bedeutung gewonnen. Eine maßgebliche Ursache ist in dem Trend zu immer größeren Gebindegrößen aufgrund der Wirtschaftlichkeit zu sehen. So sind heute in Genossenschaften und Kellereien Tankvolumina von über 100 000 l keine Seltenheit mehr.

Damit keine Temperaturerhöhung eintritt, muss die entstehende Wärme durch die Stoffwechselaktivität der Hefen aus dem System zu 100 % abgeführt werden. In vielen Fällen ist es bereits erforderlich, einen aktiven Kühlungsprozess einzusetzen, wenn der Most nicht durch eine zu hohe Vergärungstemperatur geschädigt werden soll.

Aufgrund des in den letzten Jahren auch bei kleineren Erzeugerbetrieben einher gehenden Trends zu immer hochwertigeren Qualitäten, ist auch hier das Interesse an der Kaltvergärung stark gewachsen. Da diese Technik mittlerweile immer häufiger von der Weinerzeugerseite nachgefragt wird, wurde eine Marktübersicht über die bereits eingesetzten Systeme, den kommenden Investitionsbedarf sowie die sich noch in Planung befindenden Anlagen erforderlich. Ferner hat sich das Angebot an Kälteplatten seit dem letzten ATW-Forschungsvorhaben über „Aktive Kühlung bei der Gärung von Most und Wein“ aus dem Jahre 1996, bei dem auch Kälteplatten untersucht wurden, stark erweitert. Die sich zur Zeit auf dem Markt befindenden Kühlsysteme wurden daher einer eingehenden Prüfung unterzogen und neu bewertet.

Des Weiteren stand immer noch die Frage offen, wie sich die Temperaturverhältnisse während eines Gärverlaufes verändern. Deshalb mussten auch auf diesem Gebiet entsprechende Untersuchungen vorgenommen werden.

Für ein optimales Ergebnis, das sowohl wirtschaftlich als auch qualitativ vertretbar ist, ist die richtige Auslegung der eingesetzten Plattensysteme für die spätere Funktion entscheidend. Aufgrund der Tatsache, dass viele Hersteller zum Teil keine oder nur unzureichende Angaben über deren Auswahl für bestimmte Tankgrößen machen, war es auch Ziel, mit den hier gewonnenen Ergebnissen eine Auslegungs- und Entscheidungshilfe für den praktischen Einsatz zu erstellen.

2 Situationsanalyse

2.1 Material und Methoden

Um einen Überblick über den derzeitigen und zukünftigen Einsatz sowie Ausbaustand der Gärkühlung in Winzerbetrieben und Genossenschaften zu erhalten, wurde in einem ersten Schritt eine bundesweite Fragenbogenaktion durchgeführt. Zahlenmäßig am stärksten vertreten waren Betriebe aus den Weinanbaugebieten von Rheinland Pfalz und dem angrenzenden Baden-Württemberg.

Primärziel dieser Umfragen war es, einen Überblick über die Verbreitung von Gärkühlanlagen in Abhängigkeit von verschiedenen Randbedingungen wie Betriebsgröße, Menge des ausgebauten Weines und Tankbestand zu gewinnen.

Sekundär wurde auch den Energie-, Wasser- und Abwasserkosten nachgegangen.

Der zu diesem Zweck erstellte Fragebogen mit seinen 25 aufgeführten Fragen ist in Anhang B beigelegt. Es wurden ca. 1 000 Exemplare verschickt, wobei ein Rücklauf von 183 Exemplaren (entspricht ca. 18 %) stattfand. Der im Verhältnis zu anderen Umfragen relativ hohe Rücklauf (üblich sind bei diesem Panel 10 %) der versandten Fragebogen ist ein Hinweis auf die bei vielen Erzeugerbetrieben akute Relevanz dieses Themenkomplexes.

2.2 Auswertung¹

Zur besseren Übersicht wurde die Auswertung in drei Abschnitten vorgenommen:

Im ersten Abschnitt werden allgemeine Randbedingungen dargestellt, bezogen auf alle Betriebsgruppen, die bei der Umfrage teilgenommen haben. Hier sind Angaben über die Größe aller teilnehmenden Betriebe sowie die Kosten für Energie, Wasser und Abwasser aufgeführt. Darüber hinaus wird erkennbar, welche Betriebsgruppen bereits Kältetechnik einsetzen.

Der zweite Abschnitt bezieht sich auf diejenigen Erzeuger, die bereits die Gärkühlung einsetzen. Analysiert werden die vorhandene Gärkühltechnik sowie getätigte oder beabsichtigte Investitionen. Ebenso werden praktische Erfahrungen sowie die Zufriedenheit mit den eingesetzten Systeme erörtert.

Im dritten Abschnitt sind die Erzeugerbetriebe zusammengefasst, die noch keine Gärkühlung einsetzen. Diese Gruppe ist zur besseren Interpretation unterteilt in diejenigen, die sich bereits mit der Planung von Gärkühlungssystemen beschäftigen sowie in die Betriebe, die zur Zeit noch kein Interesse an dieser Thematik besitzen.

¹ Alle Angaben stammen aus den Jahren 2000 und 2001, sodass Preise und Kosten in DM erfasst worden sind. Sie sind ggf. mit 1,9558 DM/€ umzurechnen.

2.3 Allgemeine Fragen

2.3.1 Betriebsgröße

Alle an der Umfrage beteiligten Betriebe sind nach ihrer Betriebsgröße aufgeschlüsselt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass auch Genossenschaften und Erzeugergemeinschaften teilgenommen haben, die zwar selbst keine Rebflächen besitzen (Gruppe: keine Angaben) aber aufgrund ihrer sehr großen Tankvolumina einen großen Anteil an den eingesetzten Systemen haben.

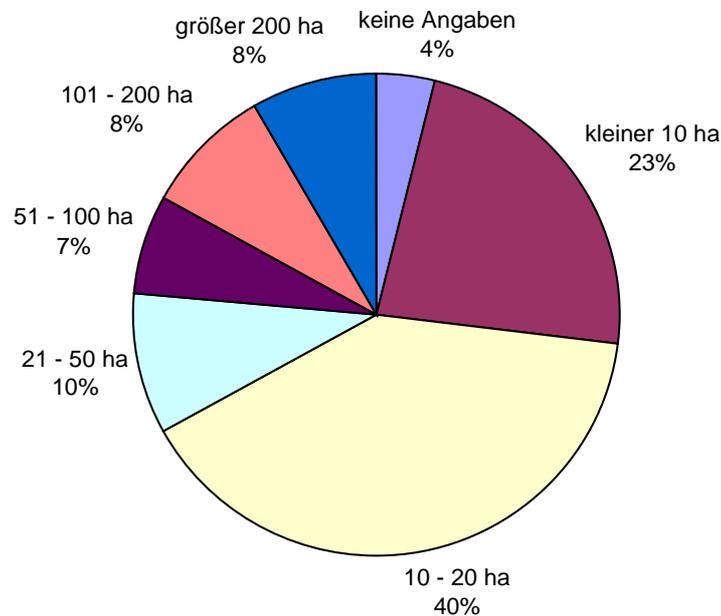


Abb. 1: Aufteilung der Umfrage-Betriebe nach Größe

Die Mehrheit (ca. 2/3) der an der Umfrage beteiligten Betriebe stammt aus dem mittleren Segment. Dies weist auf traditionelle Familienbetriebe hin. Das übrige Drittel liegt bei über 50 ha Betriebsfläche. Bei der Gruppe ohne Angaben (4 % des Gesamtanteiles der Befragten) handelt es sich um Genossenschaften, die selbst keine Rebfläche besitzen. Besonders auffällig war die Gruppe zwischen 10 und 20 ha Rebflächenbesitz (40 % der Betriebe). Da in diesen Bereich meist die an hoher Qualität interessierten Selbstvermarkter fallen, war hier der Rücklauf der Fragebögen besonders groß. Betriebe unter 10 ha zählen in den befragten Weinbauregionen tendenziell zu dem Bereich des Nebenerwerbes. Diese gehören in der Regel zu den klassischen Genossenschaftsmitgliedern, die selbst nur einen geringen Anteil der Trauben weiterverarbeiten.

Die restlichen Anteile halten sich in etwa die Waage. Dabei liegen 10 % der Betriebe zwischen 21 und 50 ha Rebfläche, was auf größere Selbstvermarkter schließen lässt.

2.3.2 Verteilung der Betriebe mit und ohne Gärkühlung

Die einzelnen Betriebsgrößenklassen wurden auf jeweils 100 % skaliert und der prozentuale Anteil der Betriebe mit oder ohne vorhandene Gärkühlung aufgetragen.

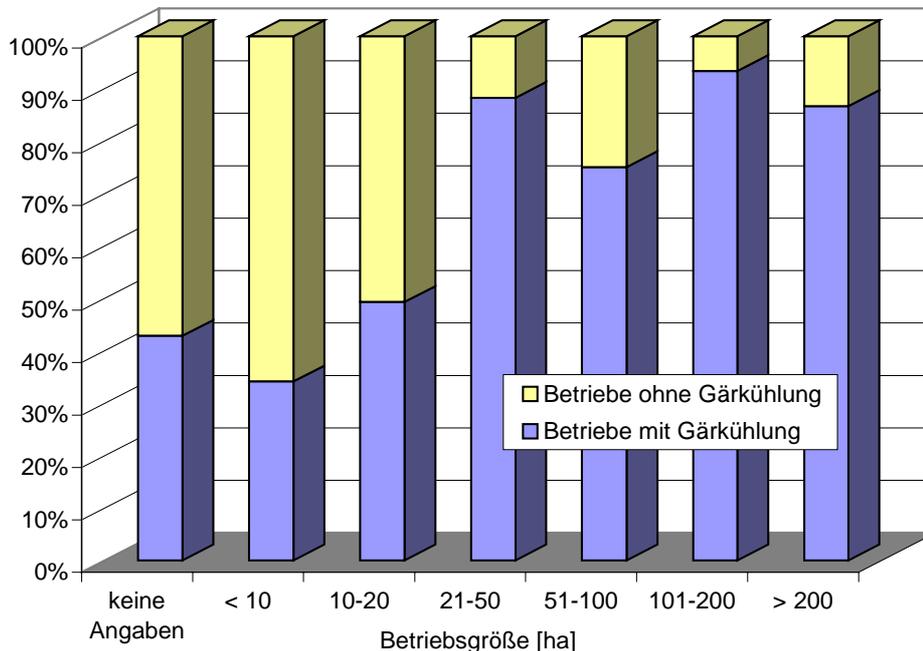


Abb. 2: Anteil der Betriebe, die zusätzlich zur vorhandenen Kältetechnik weiter investieren werden

Deutlich wird, dass der Anteil der Betriebe, die schon Gärkühlung einsetzen, mit der Betriebsgröße steigt. Dieser Trend ist ein Hinweis, dass der Anteil der großen Tanks mit der Betriebsgröße aus wirtschaftlichen Gründen zunimmt. Gerade größere Gebinde verlangen bei der Gärführung in der Konsequenz fast schon zwangsläufig eine aktive Gärkühlung. In diese Technologie zu investieren ist für Großbetriebe darüber hinaus häufig wirtschaftlicher als für einen mittleren Weinbaubetrieb.

Eine stärkere Diskrepanz ist im Vergleich zwischen den Betriebsgrößenklassen 10 bis 20 ha sowie über 20 ha zu verzeichnen. Dabei ist bei den kleineren Betriebsgrößen der Anteil derjenigen, die Gärkühlung einsetzen, unter 50 %. Es handelt sich hierbei meist um Betriebe, welche die kalte Vergärung vordergründig aus Gründen der Qualitätssteigerung betreiben, da sich hier die Gebindegrößen im Verhältnis noch im Rahmen halten. Bei Erzeugerbetrieben, die eine größere Rebfläche als 20 ha bewirtschaften, ist die Qualitätssteigerung nicht nur ein wichtiges Argument für den Einsatz einer solchen Technik, vielmehr ist sie hier, ähnlich wie bei den Großbetrieben, meist sogar erforderlich, wenn der Most bei den größeren Tankvolumina durch die enorme freiwerdende Wärme nicht nachhaltig geschädigt werden soll.

2.3.3 Kosten für Strom, Wasser und Abwasser

In den folgenden drei Diagrammen sind die einzelnen Kostenklassen prozentual aufgeschlüsselt. Die Beträge der einzelnen Betriebe für elektrische Energie, Frisch- und Abwasser ergeben einen ersten Hinweis auf die potentiellen wirtschaftlichen Effekte die mit Kühlprozessen bei der Weinbereitung erzielbar sind und erleichtern die Entscheidung bei der Wahl spezieller Kälteanlagen.

Anzumerken ist, dass in diesem Zusammenhang ca. 30 % der Betriebe keine Angaben machten. Alle Angaben sind jeweils auf die verbliebenen 70 % der Befragten bezogen.

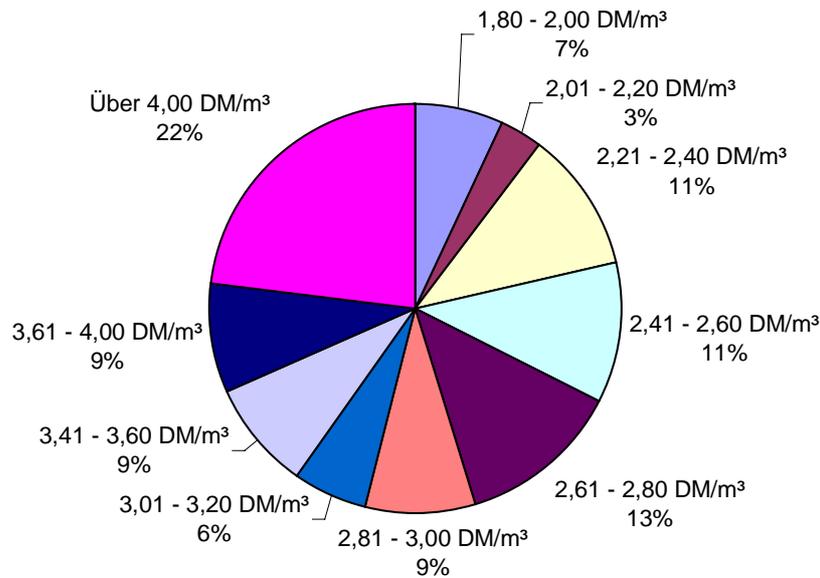


Abb. 3: Trinkwasserpreise (70 % der Befragten machten entsprechende Angaben)

Es wird deutlich, dass für eine große Gruppe der befragten Weinerzeuger bereits ein Trinkwasserpreis von über 4 DM pro m³ in Rechnung gestellt wird. Dies erscheint zwar gemessen am Durchschnitt relativ hoch, vor dem Hintergrund bundesweit steigender Trinkwasserpreise bis in Höhe von 8 oder 12 DM/m³ ist für die Weinerzeuger die momentane Situation noch eher als günstig einzustufen.

Daraus lässt sich zukünftig auf einen lohnenden Einsatz von Kompressions- bzw. Adsorptionskälteanlagen im Vergleich zur herkömmlichen Oberflächenverrieselung schließen, wodurch der Wasserverbrauch und demzufolge auch die Kosten stark gesenkt werden können.

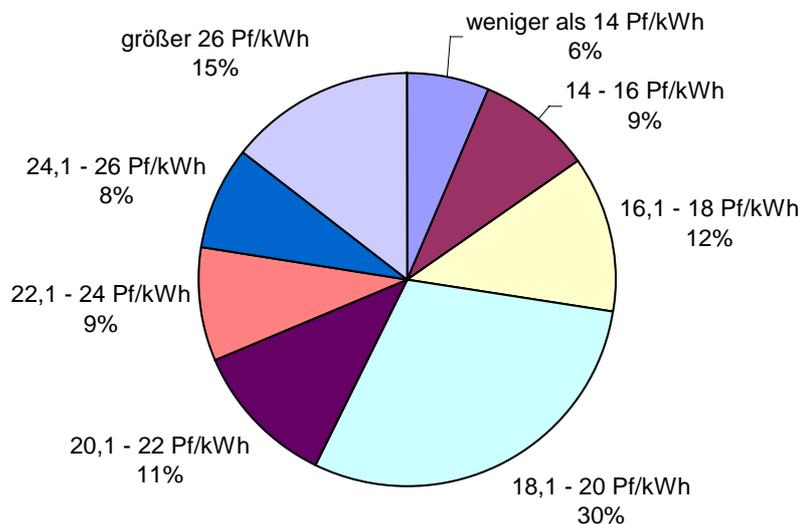


Abb. 4: Strompreise (70 % der Befragten machten entsprechende Angaben)

Der überwiegende Anteil der Betriebe entrichtet zur Zeit einen durchschnittlichen Strompreis. 30 % der Befragten zahlen den in der Landwirtschaft üblichen Betrag von 18 – 20 Pf/kWh. Als angemessen kann dabei auch noch ein Preis bis zu 22 Pf/kWh angesehen werden. Ab diesem Niveau, das immerhin 32 % also fast 1/3 der Befragten betrifft, bestehen noch Einsparpotenziale. Eine fast ebenso große Gruppe von 27 % bezahlt mit einem Betrag unter 18 Pf/kWh einen relativ

günstigen Tarif. Der Grund hierfür dürfte, abgesehen von günstigen Stromanbietern, in der großen Abnahmemenge an elektrischer Energie zu sehen sein. Dies trifft tendenziell auch auf die 6 % der Betriebe zu, die weniger als 14 Pf/kWh zahlen.

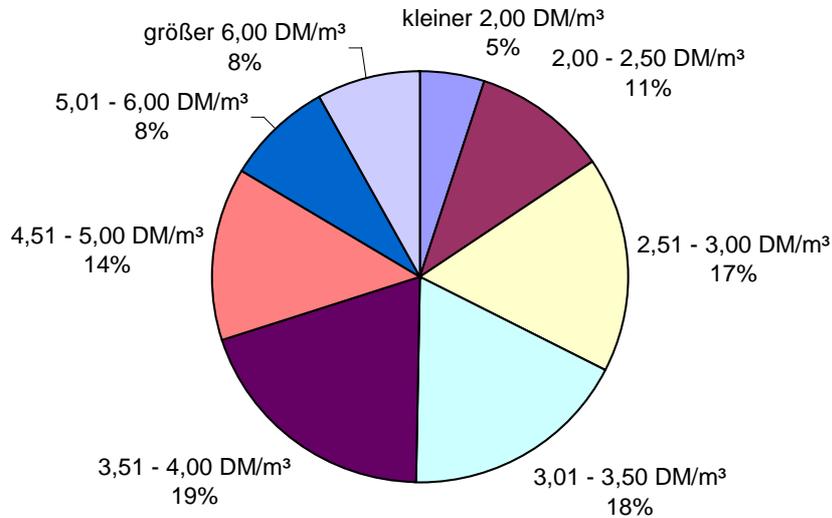


Abb. 5: Abwasserpreise (70 % der Befragten haben Angaben gemacht)

Die Verteilung der Abwasserpreise zeigt ein recht ausgewogenes Bild. Nur wenige der befragten Erzeugerbetriebe werden mit extrem hohen Abwasserpreisen von über 6 DM/m³ oder besonders geringen unter 2 DM/m³ veranlagt. Insgesamt 37 % der Betriebe zahlen zwischen 3 und 4 DM/m³, was in etwa dem Bundesdurchschnitt entspricht.

Erkennbar werden aber auch hier die sich zukünftig nach oben entwickelnden Entsorgungskosten. So müssen heute schon 22 % der Befragten Abwassergebühren in Höhe von 4 bis 6 DM/m³ entrichten. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Umlegung der Verursacherkosten in Form von Starkverschmutzer-Zuschlägen, muss in Zukunft mit einer Verschärfung der Situation gerechnet werden.

2.3.4 Anteil aller Betriebe, die in Kältetechnik investieren werden

Das folgende Diagramm veranschaulicht, wie viel Prozent der Betriebe, aufgeschlüsselt nach der Betriebsgröße, in naher Zukunft beabsichtigen, in die Kältetechnik zu investieren.

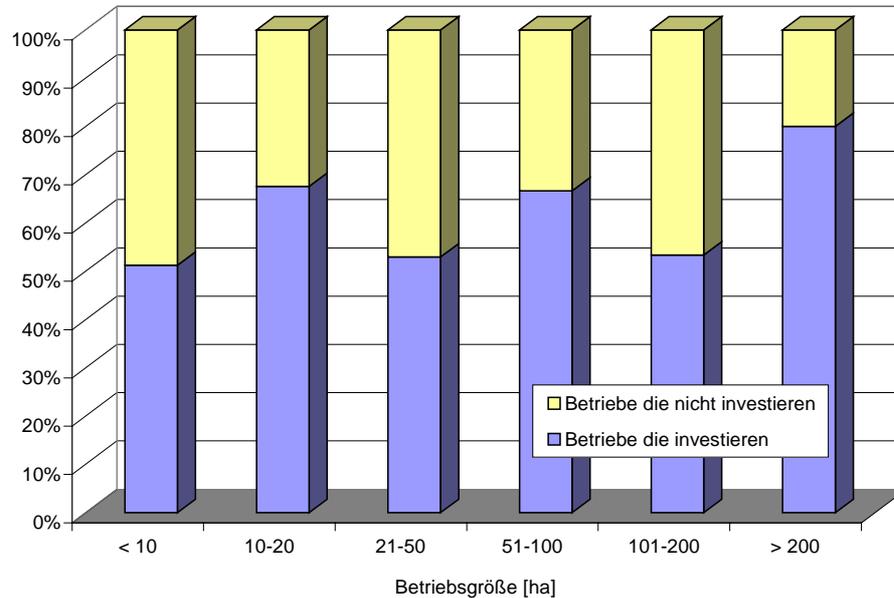


Abb. 6: Aufteilung der Betriebe nach Investitionsabsicht

Auffällig ist, dass – unabhängig von der Betriebsgröße – in naher Zukunft mehr als 50 % der befragten Betriebe beabsichtigen, in die Kältetechnik zu investieren. Dies lässt auf eine hohe Akzeptanz durch den Berufsstand schließen. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass noch keine Sättigung auf dem Markt eingetreten und die Thematik immer noch aktuell ist.

Besonders bei den Betrieben mit über 200 ha Rebfläche ist ein hohes Investitionsvolumen, das auf ca. 75 % der Befragten zutrifft, geplant. Bei den übrigen Größenklassen ist kein direkter Trend zu erkennen, so dass vermutet werden kann, dass die Betriebsgröße keinen direkten Einfluss auf das zukünftige Investitionsvorhaben hat.

2.3.5 Art der geplanten Anlagen

Die einzelnen Investitionsvorhaben wurden nach dem Typ der geplanten Anlage aufgeschlüsselt. Hieraus kann abgeleitet werden, welche Technik zur Zeit besonders stark nachgefragt wird.

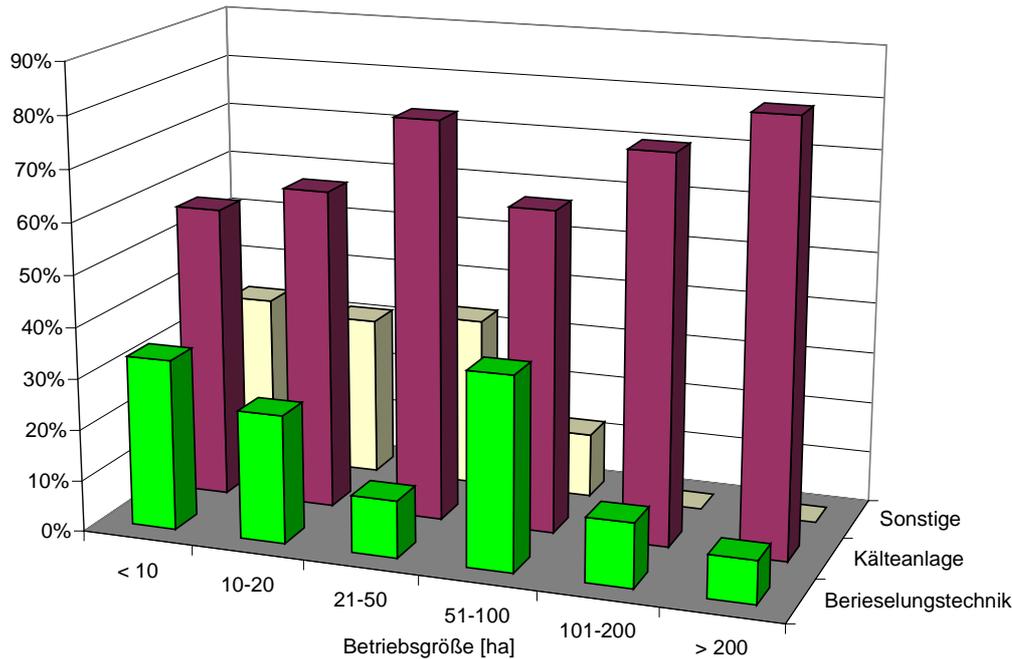


Abb. 7: Art der geplanten Anlagen (Betriebe mit vorhandenen Kühlsystemen)

Deutlich wird, dass Kälteanlagen bei zukünftigen Investitionen gegenüber Berieselungstechniken mit Leitungswasser oder sonstigen Lösungen bevorzugt werden.

Eine nicht unwesentliche Einflussgröße ist in den erhöhten Betriebskosten der herkömmlichen Berieselungstechnik zu sehen und erklärt gleichzeitig die Einsatzbereitschaft mit zunehmender Betriebsgröße. Eine Rolle spielen dabei in erster Linie die von den jeweiligen Betrieben zu entrichtenden Kosten für Wasser und Abwasser. Erfahrungsgemäß rechnen sich Kälteanlagen, je nach der Kostensituation, schon nach wenigen Jahren. Da ferner solch eine Anlage eine Investition für einen längeren Zeitraum darstellt, ist der Trend zu Kälteanlagen in Form von Kaltwassersätzen bzw. kompletten Kältekreisläufen zu interpretieren. Bei größeren Kälteanlagenprojekten amortisieren sich die höheren Investitionskosten in kürzeren Zeiträumen durch die Einsparungen an Wasser und Abwasser als bei kleineren. Dies erklärt die erhöhte Bereitschaft zur Investition in solche Systeme gerade bei Winzergenossenschaften und Kellereien.

Als „Sonstige“ zählen Sonderanfertigungen sowie Eigenkonstruktionen und Eigenbauten. Diese stellen insbesondere bei kleineren Betrieben einen höheren Anteil dar. Solche Eigenbauten sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten. Zwar zeichnen sie sich oft durch ihre Einfachheit und damit auch günstige Investitionskosten aus, jedoch kann nicht ohne weiteres für optimale Eigenschaften wie Lebensmittelechtheit und Korrosionsbeständigkeit garantiert werden.

2.3.6 Aufstellungsorte der Gärbehälter

Der Aufstellungsort kann einen maßgebenden Einfluss auf die Entscheidung haben, ob Kühlmaßnahmen eingesetzt werden sollen oder müssen. In der folgenden Grafik ist der Ort, an dem sich die Gärtanks befinden, nach Betrieben mit und ohne Kühlvorrichtungen aufgeschlüsselt.

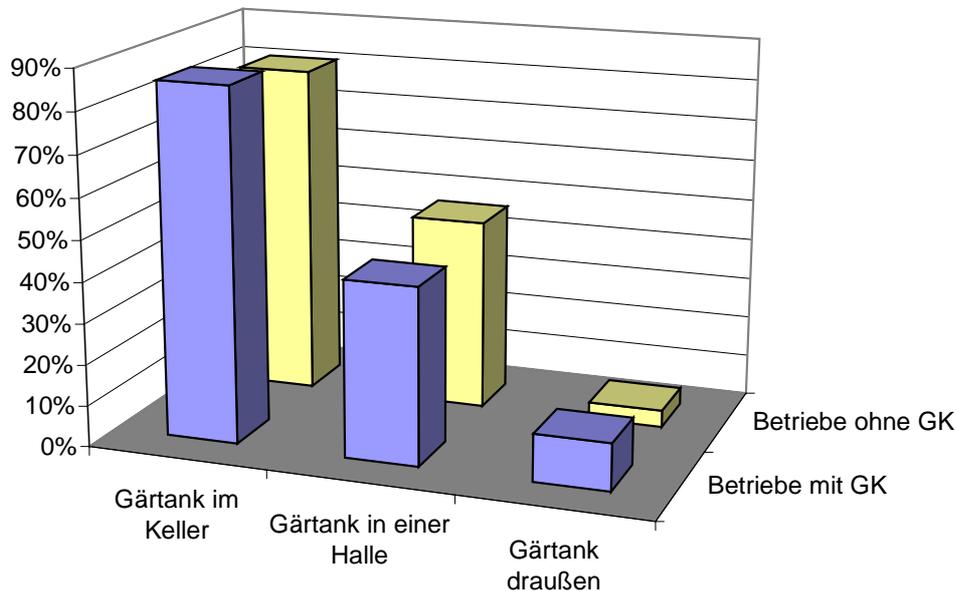


Abb. 8: Aufstellungsorte der Gärbehälter

Bei der Analyse der Werte ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Betrieben mit oder ohne Gärkühlung. In den meisten Betrieben (über 80 %) befinden sich die Gebinde teilweise oder auch ganz in den Kellerräumen. Zunehmend werden allerdings auch Tanks in Hallen aufgestellt. Dies gaben ca. 45 % der Betriebe an, ein Trend, der insbesondere bei Betriebs-Neubauten beobachtet werden kann. Erdaushubarbeiten stellen bei dieser Konstellation einen erheblichen Kostenfaktor dar, der durch ein oberirdisches Fasslager deutlich gesenkt werden kann. Aufgrund der Tatsache, dass die Vergärung von Most meist von September bis November stattfindet, ist dieser Sachverhalt im deutschen Weinbau nicht so ausschlaggebend, da die Außentemperaturen in dieser Jahreszeit bereits absinken.

Der Fasslagerraum im Freien ist bei den Erzeugerbetrieben ohne Bedeutung (unter 10%).

2.4 Betriebe, die schon Gärkühlung einsetzen

2.4.1 Betriebsgröße

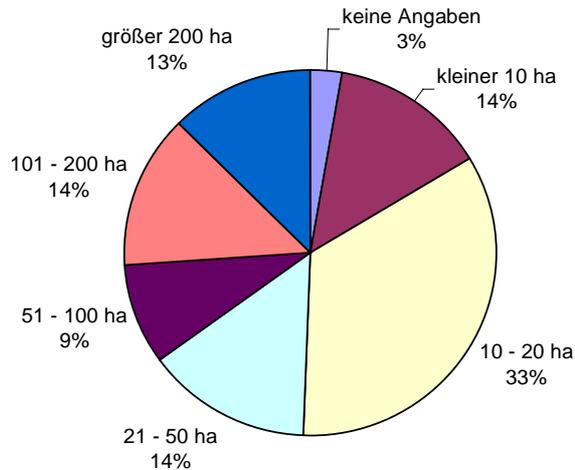


Abb. 9: Verteilung der Betriebsgröße (Betriebe mit Gärkühlung)

Im Vergleich zur Summe aller Betriebe haben sich die Verhältnisse etwas verschoben. Daraus lässt sich ableiten, dass die Betriebsgröße ein wichtiger Faktor bei der Entscheidung für oder wider eine Anlage zur Kaltvergärung darstellt. Jedoch ist festzustellen, dass es die Rahmenbedingungen sind, die einen solchen Einsatz begründen und nicht die Größe der Rebfläche allein. Wie bereits dargestellt, erfordern bestimmte Tankgrößen einen Einsatz fast zwangsläufig. Dies erklärt auch den relativ hohen Anteil an großen Erzeugerbetrieben, der höher ist als die Summe aller Betriebe. Im Gegensatz dazu hat sich die Gruppe von 10 bis 20 ha bzw. unter 10 ha Rebfläche verringert, was auf den Anteil der Nicht-Direktvermarkter zurückzuführen ist.

2.4.2 Anteil der eingesetzten Kühlsysteme

Es wurden die Anteile an der Gesamtzahl der einzelnen Gärkühlsysteme aufgeschlüsselt, mit denen in den jeweiligen Betrieben gearbeitet wurde. Auffällig dabei war, dass in einzelnen Fällen eine Kombination von bis zu 3 Systemen eingesetzt wird.

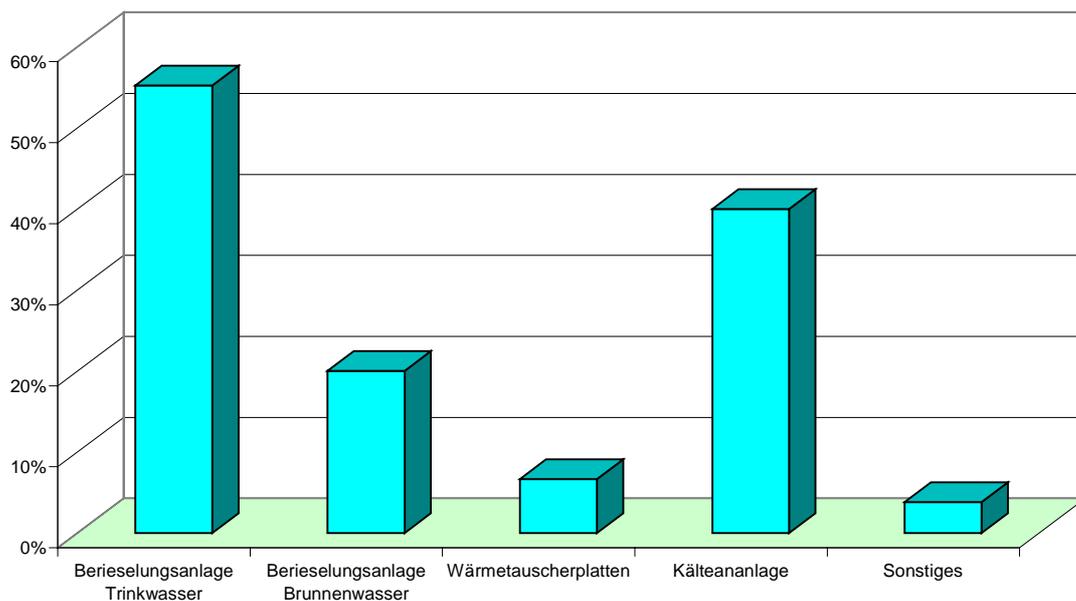


Abb. 10: Anteil der eingesetzten Gärkühlsysteme

Die traditionelle Berieselungskühlung (sowohl mit Trinkwasser aus der Hauswasserleitung als auch mit Brunnenwasser) dominiert nach wie vor in der Weinwirtschaft. Wärmetauscherplatten sind dagegen noch nicht sehr stark vertreten. Ein Grund dafür kann in dem hohen Investitionskostenbedarf gesehen werden. Es müssen nicht nur die Platten selbst angeschafft werden, auch der Einbau in die Tanks kommt als weiterer Kostenfaktor hinzu. Da es sich meist um Individuallösungen handelt, sind solche Systeme mit längeren Einbauzeiten verbunden.

Wärmetauscherplatten werden in der Regel in Kombination mit einer Kälteanlage betrieben, um deren positiven Effekt zur Einsparung von Trinkwasser zu nutzen. Kälteanlagen werden aber auch in Form eines Kaltwasserersatzes bei der Berieselungskühlung eingesetzt. Hierdurch lässt sich die Effektivität der Oberflächenverrieselung steigern, ohne die zusätzlich erforderlichen Investitionen der Kälteplatten. Unter dem Punkt „Sonstiges“ sind die entsprechenden Eigenbaulösungen in einer Gruppe zusammengefasst.

2.4.3 Eingesetzte Kühlsysteme, nach der Betriebsgröße aufgeschlüsselt

Um einen noch besseren Einblick in die Verteilung der Systeme innerhalb der einzelnen Betriebsgrößen zu erhalten, wurden diese nochmals einzeln aufgeführt. Die prozentualen Werte beziehen sich jeweils auf die Gesamtanzahl der einzelnen Betriebsgrößenklassen.

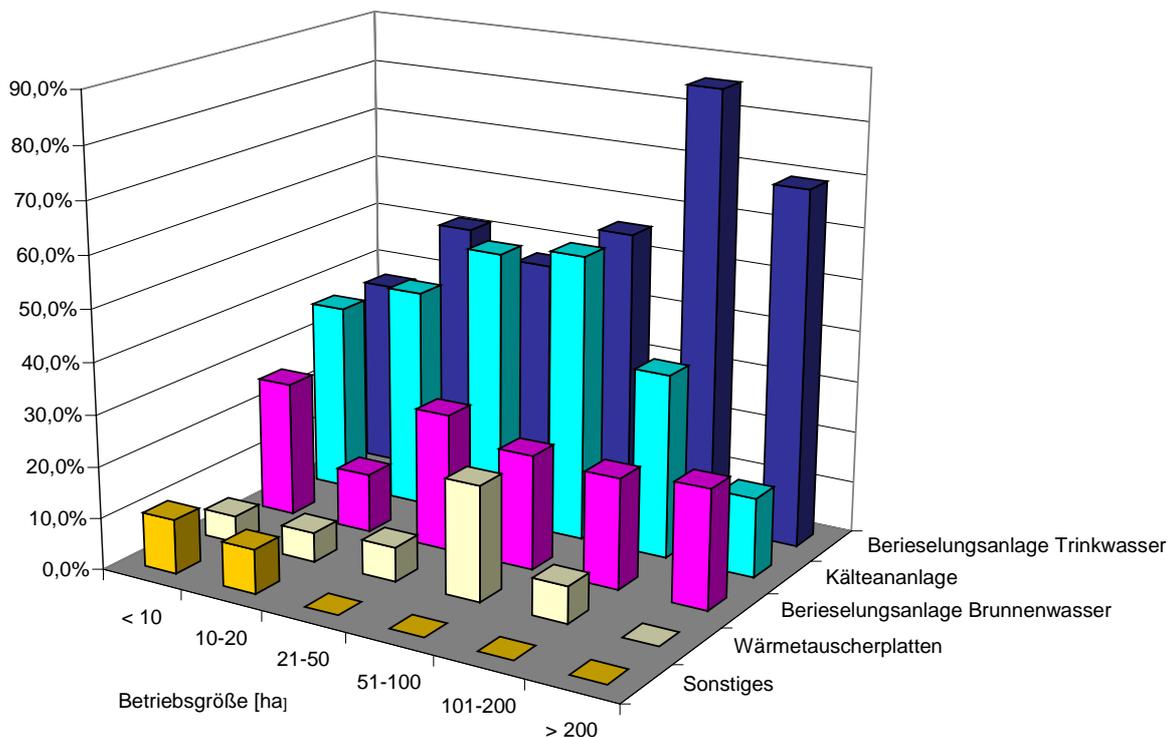


Abb.11: Eingesetzte Kühlsysteme nach Betriebsgröße aufgeschlüsselt

Es wird deutlich, dass Eigenbauten, die unter der Gruppe „Sonstiges“ zusammengefasst sind, nur bei kleinen Betrieben eine Rolle spielen. Ab einer Betriebsgröße über 20 ha finden solche Anlagen keinen Einsatz mehr.

Wärmetauscherplatten sind insbesondere in den Betrieben von 50 bis 100 ha stark vertreten. Dies kann im Zusammenhang mit der wachsenden Tankgröße stehen. Auffällig ist der geringe Anteil solcher Systeme bei Betriebsgrößen über 100 ha. Dies kann auf die Verwendung noch vorhandener funktionsfähiger Berieselungsanlagen, die gerade in den Betriebsgrößen von 100 bis 200 so-

wie über 200 ha stark vertreten sind, zurückgeführt werden. Darüber hinaus müssen die relativ hohen Investitionskosten dieser Technik gesehen werden.

Mit Brunnenwasser gespeiste Berieselungsanlagen sind bei jeder Gruppe in etwa gleicher Höhe von ca. 25 % vorhanden. Eine solche Option steht aber nur einem geringen Teil der Erzeugerbetriebe offen. Voraussetzung für einen wirtschaftlich sinnvollen Betrieb sind entsprechend kalte Brunnenwasserquellen.

Mit Kälteanlagen wird gerade in den mittleren Betriebsgruppengrößen sehr häufig gearbeitet. Deshalb zeichnet sich hier auch mittelfristig ein recht großer Bedarf an solchen Anlagen ab.

Die Berieselung mit Trinkwasser ist hauptsächlich in Betrieben mit einer Größenordnung von 100 bis 200 ha der Stand der Technik. Mit einem Anteil von fast 90 % dominiert diese Gruppe bei der Kältetechnologie. Auch aus Abbildung 10 ist ersichtlich, dass dieses System immer noch die häufigste Art der Gärkühlung darstellt.

2.4.4 Weshalb lohnt sich Gärkühlung?

Die Gründe, die für einen Einsatz der Gärkühlung sprechen, sind nach Betriebsgröße differenziert. Die prozentualen Werte beziehen sich jeweils auf die Gesamtanzahl der einzelnen Betriebsgrößenklassen.

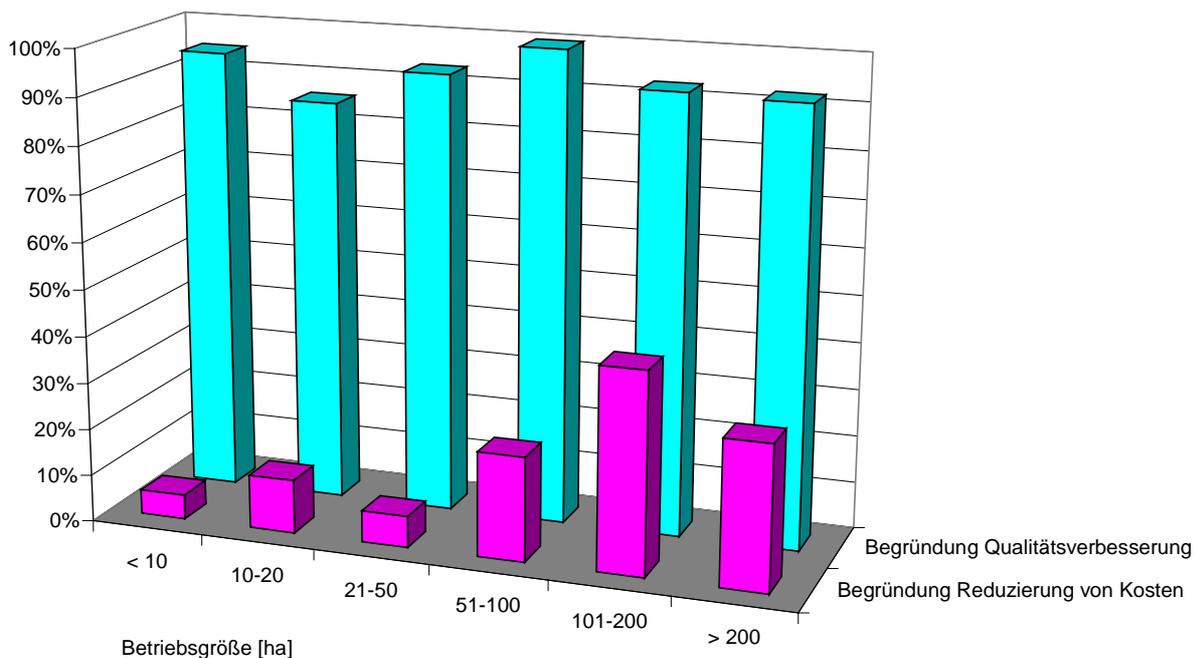


Abb. 12: Gründe für die Gärkühlung (Meinung der Betriebe, die schon Gärkühlung einsetzen)

Mit Abstand an erster Stelle rangiert die Verbesserung der Qualität in allen Betriebsgrößenklassen. Dabei gewinnt der Aspekt Kostenreduktion mit ansteigender Betriebsgröße an Bedeutung.

2.4.5 Zufriedenheit mit der bestehenden Gärkühlanlage

Ob Gärkühlsysteme in ihrer Gesamtheit schon genügend ausgereift sind oder ob ein entsprechendes Verbesserungspotenzial bestehen könnte, sollte die Befragung über die Zufriedenheit der Benutzer mit schon vorhandenen Anlagen klären.

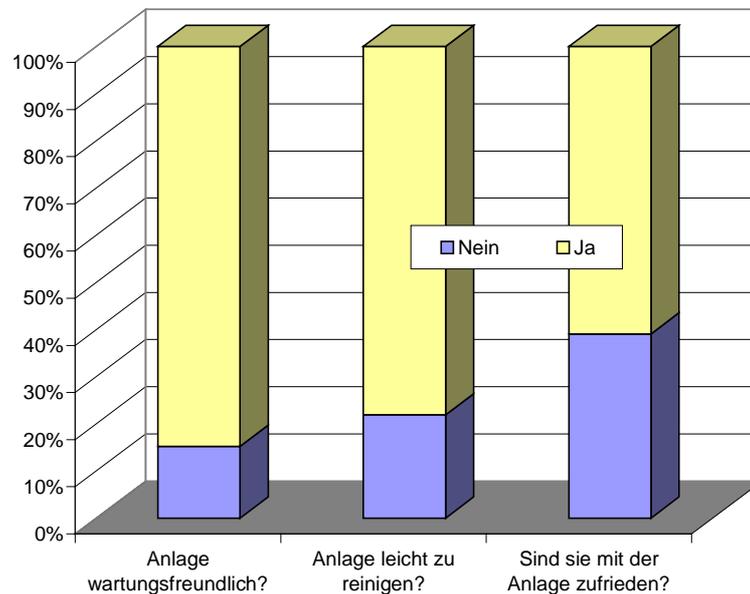


Abb. 13: Zufriedenheit mit vorhandenen Gärkühlanlagen

Insgesamt betrachtet waren nur ca. 2/3 der Weinerzeuger „rundum“ mit ihrer Anlage zufrieden. Somit zeichnet sich ein nicht unerhebliches Verbesserungspotenzial dieser Systeme ab.

Hauptkritikpunkte waren in der Wartungsfreundlichkeit und im Reinigungsverhalten der Anlage zu sehen, woraus auch eine deutliche Unzufriedenheit resultierte. Die Wartungsfreundlichkeit schneidet im Verhältnis recht positiv ab. Nur 15 % äußern sich in diesem Punkt negativ.

Insgesamt kann unter der Voraussetzung der richtigen Oberflächenart der eingesetzten Gärkühlanlagen aber auch hier auf ein gutes Reinigungsverhalten geschlossen werden. Einschränkungen gibt es bei unzugänglich eingebauten Wärmetauschern. Relativ viele Herstellerfirmen bieten bereits kostengünstige Platten mit einer Oberflächenvergütung an, die sich meist ohne größeren mechanischen Aufwand von Schmutz und Anlagerungen befreien lassen.

2.4.6 Aufschlüsselung der Betriebskosten in Bezug auf Investitionskosten

Im Allgemeinen erhöhen sich die Betriebskosten mit der Größe der Anlage und somit auch mit den Investitionskosten.

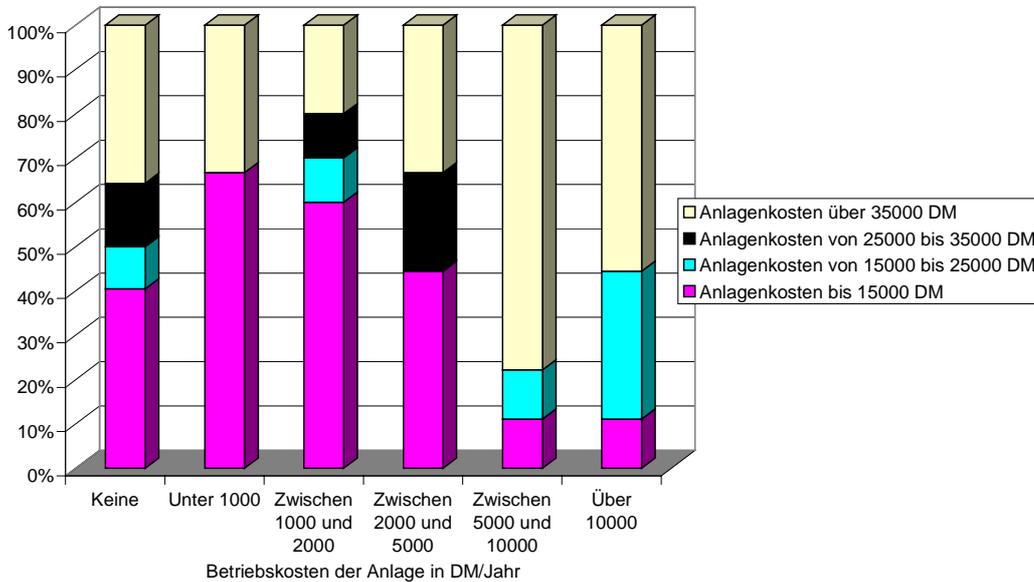


Abb. 14: Betriebskosten der Kühlsysteme aufgeschlüsselt nach Investitionskosten der Anlage

Wie sich aus der Auswertung der Umfrage ergab, besteht ein Zusammenhang zwischen Investitions- sowie Betriebskosten.

Einige der befragten Betriebe gaben zwar an, keine Betriebskosten zu haben, was jedoch im Prinzip kaum möglich sein kann. Die anfallenden Kosten erscheinen häufig als sehr gering. So fallen bei der Berieselung der Tanks mit Brunnenwasser nur die Stromkosten der Pumpe an, diese Kosten sind aber meist versteckt und werden erst durch gezielte Ermittlungen sichtbar, teilweise besteht auch hier noch eine relative hohe Einsparmöglichkeit.

2.4.7 Verteilung der Kälteanlagenleistung nach der Betriebsgröße

Die prozentualen Werte beziehen sich jeweils auf die Gesamtanzahl der einzelnen Betriebsgrößenklassen.

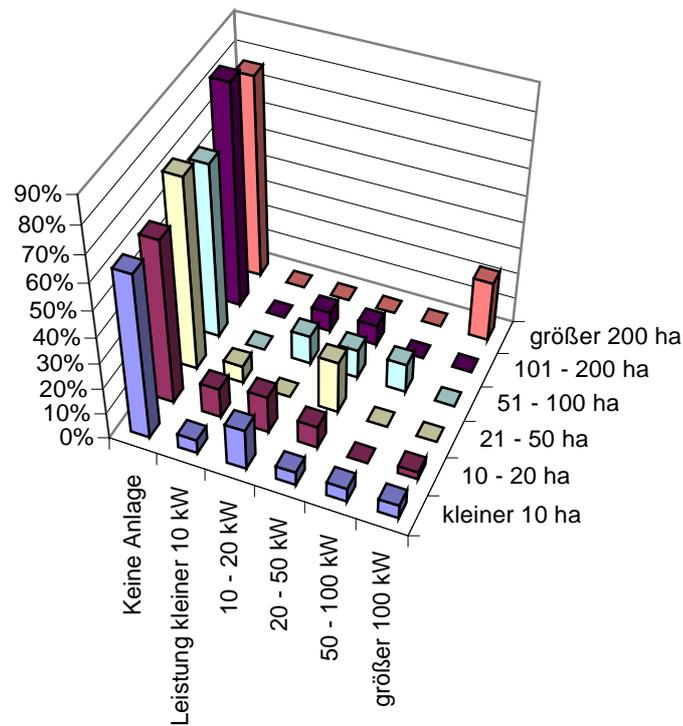


Abb. 15: Verteilung der Kälteanlagenleistung über die Betriebsgröße

Auffällig ist, dass die Mehrzahl der Betriebe nicht im Besitz einer Kälteanlage ist.

Darüber hinaus ist zu erkennen, dass die Anlagenleistung im Schnitt mit der Betriebsgröße zunimmt, wobei dieser Zusammenhang auch zu erwarten war. Ferner konnte festgestellt werden, dass Betriebe von einer Größenordnung über 200 ha auch sehr große Anlagenleistungen besitzen, in diesem Falle über 100 kW.

Betriebe zwischen 21 und 50 ha bevorzugen meist Anlagenleistungen zwischen 20 und 50 kW.

2.4.8 Verteilung der Kälteanlagenleistung nach der vergorenen Mostmenge

Dabei beziehen sich die prozentualen Werte jeweils auf die Gesamtanzahl der einzelnen Betriebsgrößenklassen.

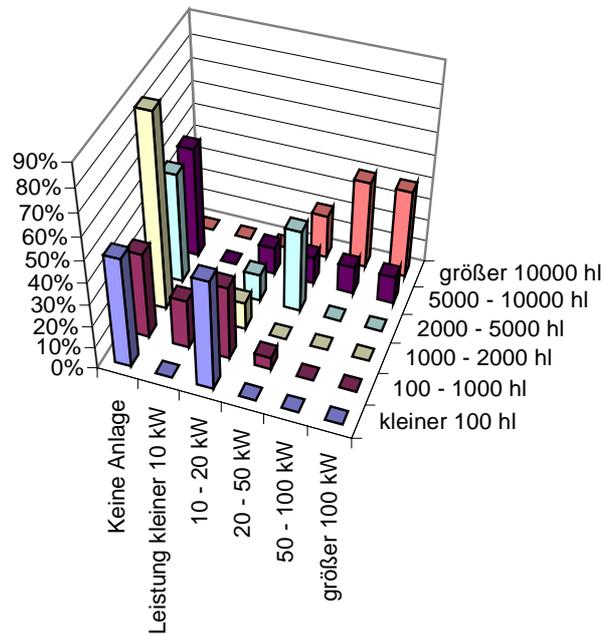


Abb. 16: Verteilung der Kälteanlagenleistung über die vergorene Mostmenge

Hier ist die steigende Größe der Anlagenleistung mit der Zunahme an vergorener Mostmenge deutlich zu erkennen. Dieser Sachverhalt ist logisch zu erklären, da beide Parameter direkt voneinander abhängen. Dabei wird jedoch nicht der komplette Most gekühlt oder es ist der Anteil des gekühlten Mostes nicht bekannt, so dass der hier grafisch dargestellte Zusammenhang nur als Trendaussage zu verstehen ist.

2.5 Betriebe, die noch keine Gärkühlung einsetzen

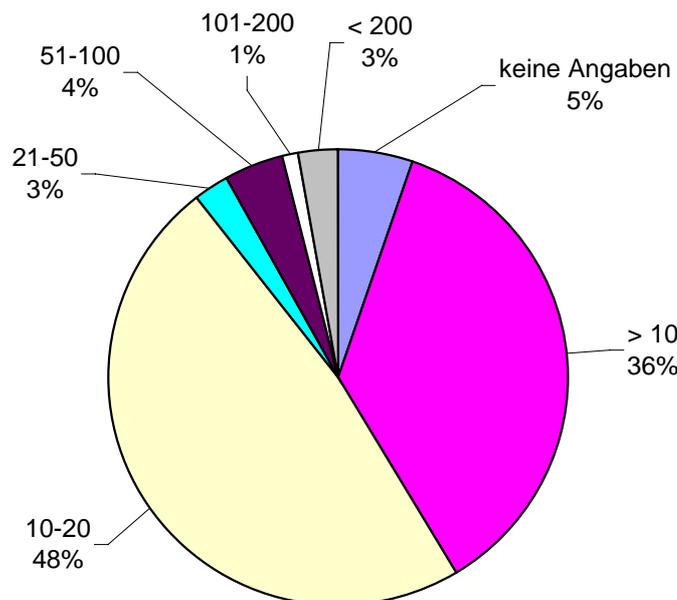


Abb. 17: Verteilung der Betriebsgröße (ha) der befragten Betriebe ohne Gärkühlung

Nahezu 85 % aller befragten Betriebe, die noch keine Gärkühlung einsetzen, sind kleiner als 20 ha. Dies lässt den Rückschluss zu, dass gerade für diese Gruppe ein Einsatz dieser Technik bisher noch nicht interessant erschien. Die Ursache kann an den Investitionskosten einer solchen Anlage liegen. Ferner scheint bei dieser Betriebsgrößenklasse auch der Anteil an Genossenschaftswinzern relativ hoch zu sein. Da hier nur ein geringer Anteil des Lesegutes selbst verarbeitet wird, erübrigt sich eine Investition.

2.5.1 Anteil der Betriebe, die Anschaffungen geplant haben

Ob die Schlussaussage des vorangegangenen Punktes zutreffend ist, kann an Hand der folgenden Darstellung, ob überhaupt ein Interesse an der Technik der aktiven Gärkühlung besteht, geklärt werden.

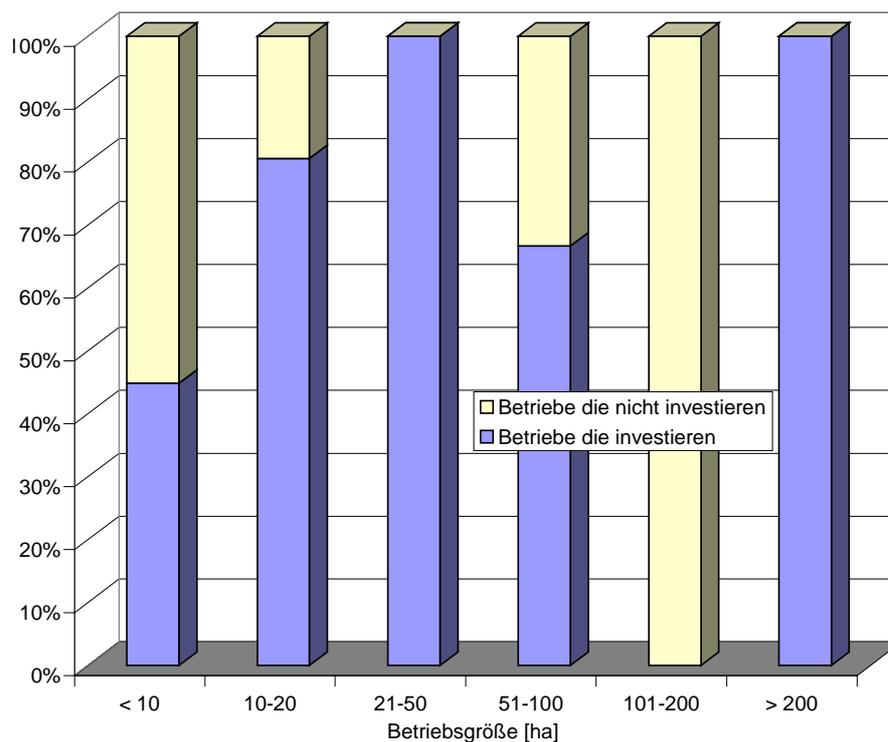


Abb. 18: Investitionsinteresse der Betriebe

Die Vermutung, dass sich für einen recht großen Teil der kleineren Betriebe ein Gärkühlsystem nicht als interessant erweist, hat sich bestätigt. Speziell von den Betrieben, die kleiner als 10 ha sind, fassen gerade einmal 45 % eine Investition in diese Technik ins Auge. Im Gegensatz dazu liegt der Anteil bei denjenigen Erzeugerbetrieben, die eine Fläche von 10 bis 20 ha bewirtschaften, schon bei annähernd 80 %. In Betrieben mit einer Größe zwischen 20 und 50 ha wird sogar noch intensiver darüber nachgedacht, sich ein solches System zuzulegen.

Bei Betriebsgrößen über 50 ha können keine deutlichen Aussagen getroffen werden, da die Anzahl der befragten Betriebe ohne vorhandene Gärkühlung zu gering war.

Daraus lässt sich im allgemeinen schließen, dass insbesondere die größeren Betriebe bereit sind, in diese Technik zu investieren. Diese erhoffen sich dadurch sowohl eine qualitative Verbesserung des Weines als auch eine Einsparung der Betriebskosten.

2.5.2 Art der geplanten Anlage

Für diejenigen Erzeugerbetriebe, die eine Anschaffung planen, stellt sich die Frage, in welche Technik investiert werden soll.

In der folgenden Grafik sind die einzelnen Betriebsgrößenklassen jeweils dem geplanten Anlagentyp zugeordnet.

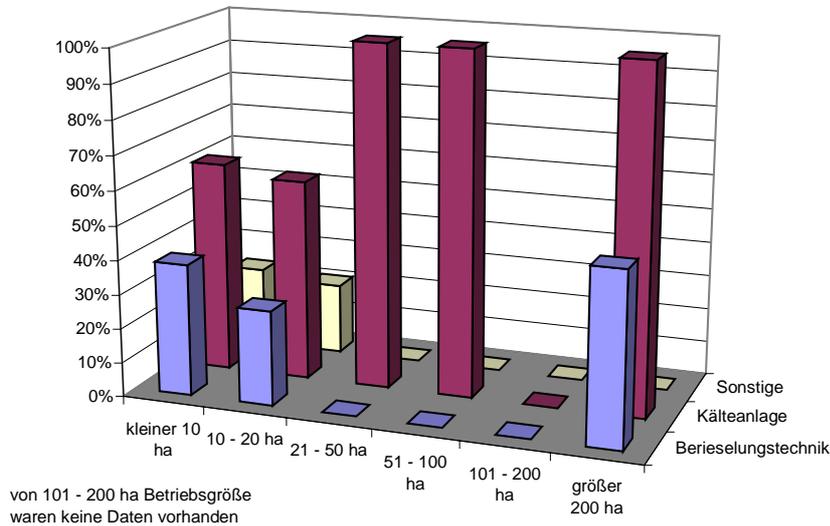


Abb. 19: Art der geplanten Anlage in Betrieben ohne vorhandene Kühlsysteme

Erkennbar ist, dass der Trend eindeutig zu aktiven Kälteanlagen geht. Gerade in großen Betrieben, in denen die Einsparung von Betriebskosten von erheblicher Bedeutung ist, werden fast nur noch solche Anlagen in Erwägung gezogen. Für der Betriebsgrößen zwischen von 101 und 200 ha lagen keine Daten vor.

2.5.3 Weshalb lohnt sich eine Gärkühlung?

Auch bei den Erzeugerbetrieben, die keine Gärkühlung einsetzen, stellt sich die Frage, weshalb sich diese überhaupt lohnen könnte. Dabei konnten sich die Befragten für die Qualitätsverbesserung oder auch für eine Kostenreduktion als Kaufgrund entscheiden.

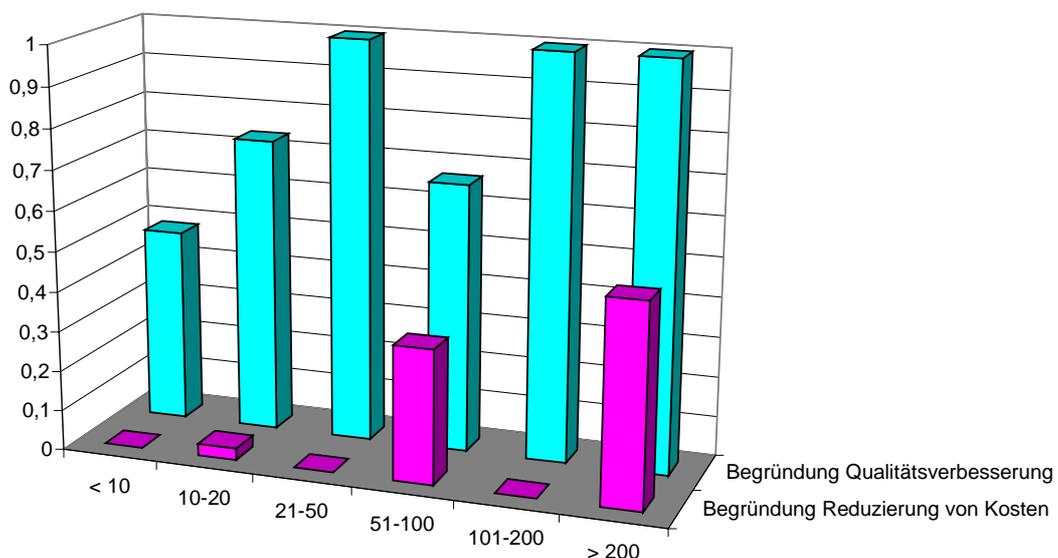


Abb. 20: Anschaffungsgrund für eine Gärkühlung bei Betrieben, die noch keine Gärkühlung einsetzen

Das hier aufgezeigte Ergebnis ist dabei nicht so einheitlich ausgefallen wie bei denjenigen Betrieben, die bereits Gärkühlung einsetzen. Auch hatten einige der Befragten keinerlei Angaben gemacht, vermutlich die Gruppe, die auch auf absehbare Zeit kein Interesse an solchen Systemen zeigt. Die Beteiligung ist zwar auch hier ab einer Größe von über 50 ha nicht mehr repräsentativ, allerdings ist dabei auch zu erkennen, dass der Hauptgrund wohl in einer Qualitätsverbesserung zu liegen scheint.

2.5.4 Geplante Investitionen in Abhängigkeit von der Betriebsgröße

Die Frage, wie viele der jeweiligen Betriebe bereit sind zu investieren, zählte zu den wichtigen Punkten, gibt sie doch indirekt den Stellenwert wieder, der dieser Technologie zugemessen wird.

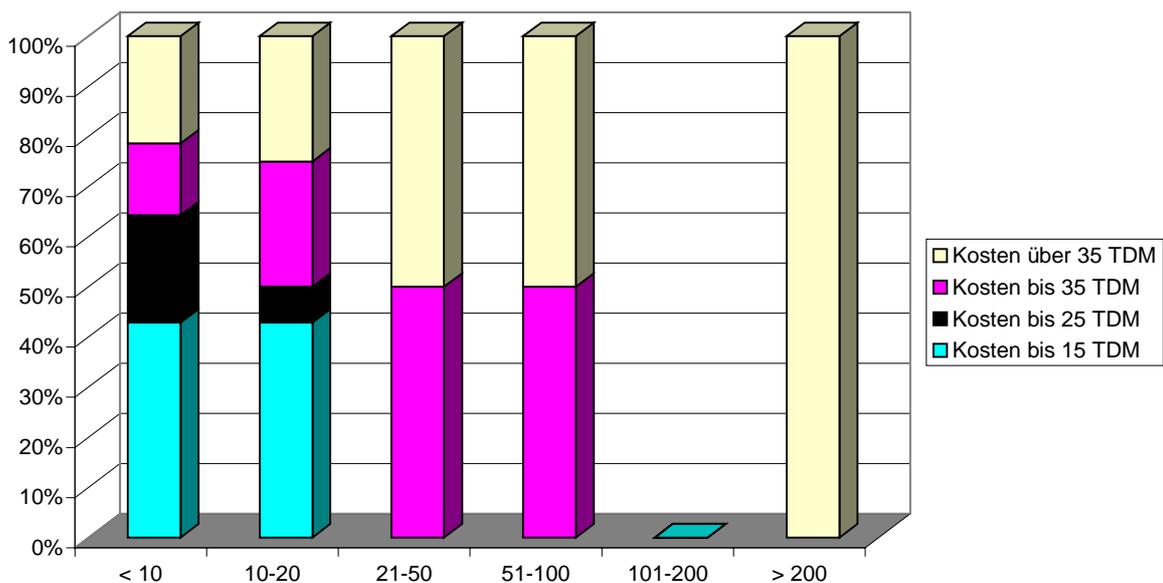


Abb. 21: Geplante Investitionskosten in Abhängigkeit von der Betriebsgröße bei Betrieben ohne Gärkühlung

Es bestätigte sich der allgemeine Trend auch bei der Auswertung dieses Umfragepunktes. Das Volumen der Investitionen stieg mit der Betriebsgröße aufgrund des höheren Bedarfs an Material, Technik und Arbeit.

Jedoch sind auch relativ kleine Betriebe bereit, in teure Technologien zu investieren, was sich bei den Betrieben mit Flächengrößen unter 20 ha erkennen lässt. Der Anteil derjenigen, die mehr als 35 000 DM investieren wollen, liegt immerhin noch bei über 20 % .

2.6 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lassen sich aus der Umfrage folgende Punkte klar erkennen:

Die Akzeptanz der Kältetechnik kann in der Weinwirtschaft zur Zeit als gut bezeichnet werden. Dies lässt sich auch an der recht hohen Anzahl bereits im praktischen Einsatz befindlicher Systeme erkennen.

Motivation für zukünftige Investitionen ist primär die Verbesserung der Qualität der so erzeugten Weine. Sekundär wird die Einsparung von Wasser- und Abwasserkosten gesehen.

Klar zu erkennen war, dass die Investitionsbereitschaft in die heutzutage bewährte Technik der aktiven Gärkühlung sehr hoch ist. Nicht nur Neuinvestitionen stehen in naher Zukunft an, sondern auch die Umrüstung von Berieselungskühlanlagen auf Systeme mit Kälteaggregaten.

Jedoch sind auch Schwächen und Kritikpunkte dieser Technologie erkennbar geworden. Dies zeigte sich besonders im Bereich der Wartung und in den Reinigungsmöglichkeiten solcher Anlagen. Deshalb besteht noch ein Verbesserungsbedarf und -potential sowohl bei den einzelnen Komponenten als auch dem kompletten Anlagenkonzept.

Auf die Frage, welche Anlage für welchen Betriebstyp geeignet ist, bestätigt die Umfrage die These: Insbesondere selbstvermarktende Betriebe sowie Genossenschaften und Kellereien können aus dieser Technik einen so großen Nutzen ziehen, dass sich kostenintensive Kühlprozesse lohnen. Im Gegensatz dazu profitieren sehr kleine Betriebe sowie viele Fassweinvermarkter aufgrund des Kostendrucks von diesen Systemen nur in Einzelfällen. Hier lohnt sich aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine derart hohe Investition nur in wenigen Fällen.

3 Untersuchungen zur Ermittlung von Dimensionierungsgrundlagen für die Gärkühlung

Die richtige Dimensionierung von Gärkühlungsanlagen ist entscheidend für den späteren Erfolg. Eine falsch ausgelegte Anlage kann erfahrungsgemäß zu unnötigen Kosten führen. Neben einem zu hohen Strom- und Wasserverbrauch führt dies im ungünstigsten Falle sogar zu einem Nichterreichen des beabsichtigten Kühleffektes.

Von Seiten der Herstellerfirmen werden meist nur in Auslegungsfragen Angaben zur Tankgröße (Empfehlung einer bestimmten Platte zu einer bestimmten Tankgröße) gemacht. Ansonsten finden sich meist keine weiteren Parameter, die in die Bestimmung der Plattengröße einfließen. Jedoch stellen für einen wirtschaftlichen Betrieb weitere Randbedingungen wie insbesondere die gewünschte Vergärungstemperatur, die Zulauftemperatur des Kältemediums und deren Strömungsgeschwindigkeit entscheidende Dimensionierungsparameter dar. Ein weiterer bedeutender Aspekt, der nur bedingt zur Zeit Berücksichtigung findet, ist das Fowling der Platten, das zu einem schlechteren Wärmeübergang an der Oberfläche führen kann. Es handelt sich hierbei um Ablagerungen aus dem Most selbst, die sich zeitabhängig Abhängigkeit der Zeit an den Plattenoberflächen ansetzen.

Diese Situation war der Anlass entsprechende Untersuchungen bezogen auf die Auslegung von Kühlplatten durchzuführen. Zielsetzung war es hierbei, Grundlagen zu erarbeiten, die eine Dimensionsermittlung für den Weinbaubetrieb selbst ermöglicht.

3.1 Gärversuche zur Bestimmung der Temperaturprofile

3.1.1 Hintergrund

Zur Beurteilung der Effektivität aktiver Kühlsysteme sowie zur Ermittlung einer Dimensionierungsgrundlage war es erforderlich, entsprechende Untersuchungen vorzunehmen.

Konkret wurde der Fragestellung nachgegangen, welche Systeme besonders vorteilhaft für das jeweils angestrebte Gärziel sind. Mit einbezogen werden musste nicht nur die energietechnische Seite sondern auch die lokale Temperierung und daraus resultierend die Homogenität des im Tank herrschenden Temperaturprofils. In einem ersten Schritt war zu klären, ob und inwieweit der Einsatz unterschiedlicher Methoden der Gärkühlung einen Einfluss auf die Temperaturverteilung hat. Des weiteren war von Interesse, ob das gewählte System einen Einfluss auf die Effektivität hat. Untersuchungsgegenstand waren die zur Zeit weitverbreiteten und konkurrierenden Systeme der Oberflächenkühlung durch Berieselung und der Kühlung durch Wärmetauscherplatten im Tank.

Dieser Untersuchungsgegenstand kann gerade deshalb für viele Weinerzeuger entscheidend sein, weil es z.B. möglich ist, dass sich bei der Oberflächenkühlung das Tankinnere, aufgrund ungünstiger Einflussfaktoren im Bereich der Wärmeabführung, extrem aufheizt und trotz aktiver Kühlung eine Überhitzung im System auftritt. Dies gilt auch beim Einsatz von Kühlplatten. Der Effekt einer nur lokalen Kühlung aufgrund von strömungstechnischen Problemen könnte hier gegeben sein, wenn die Durchmischung nicht ausreicht.

Hierzu wurde je ein Versuch mit Oberflächenkühlung sowie Kühlplatte durchgeführt und das radiale Temperaturprofil über den kompletten Gärvorgang aufgezeichnet.

3.1.2 Aufgabenstellung und Ziele

Konkrete Aufgabenstellung war eine Temperaturprofilmessung in einem Gärtank zur Überwachung des zeitlichen und räumlichen Verlaufes des Prozesses bei einer Oberflächenkühlung oder bei der Kühlung mit einer Wärmetauscherplatte. Da bei diesem Vorgang nur geringe Temperaturunterschiede zu erwarten waren, wurde dem Messsystem ein maximaler Messfehler von $\pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$ zugestanden, was eine aufwendige Messtechnik erforderlich machte. Als Anzeigegeräte und Signalumformer (Standard Signal 0-10 V auf Digitalsignal RS424 Bus zur Messdatenerfassung mit dem PC) wurden Geräte der Firma Greisinger Elektronik eingesetzt, da schon ein Interfacekonverter zur RS232 Schnittstelle des PC sowie die dazugehörige Software vorhanden waren und deshalb nicht neu angeschafft werden mussten.

Ziel der Versuche war, das Ausmaß eines möglicherweise vorhandenen Temperaturprofils aufzuzeigen.

3.1.3 Material und Methoden

3.1.3.1 Messtechnik

Die Messtechnik bestand aus mehreren Komponenten, die auf einen möglichst geringen Fehler ausgelegt werden mussten.



Abb. 22: Temperaturmesseinheit mit Anzeige und Messumformer

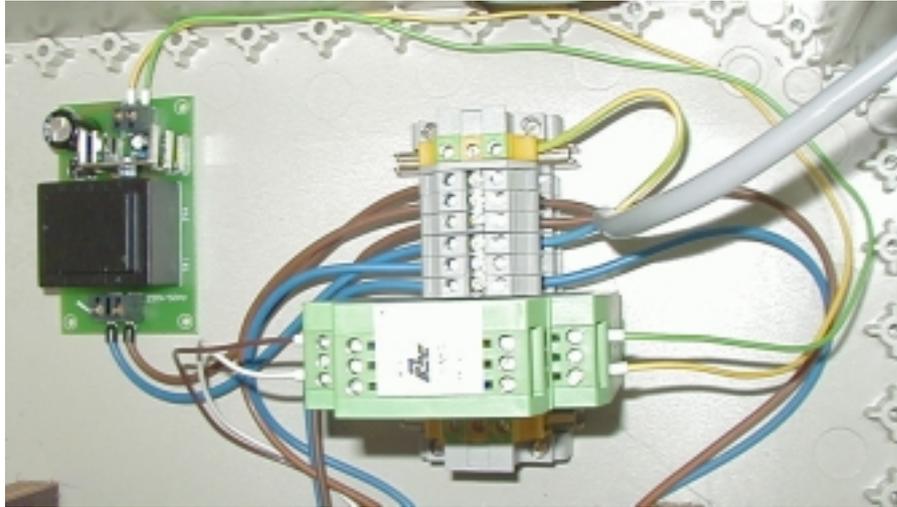


Abb. 23: Messumformer mit Netzteil

3.1.3.2 Online-Messdatenerfassungssystem

Zum Einsatz kamen Anzeigeeinheiten der Firma Greisinger. Diese besitzen eine genormte serielle Schnittstelle, die zur Online-Datenerfassung genutzt werden konnte. Es handelte sich hierbei um einen RS 424-Anschluss, der über einen seriellen Bus mit einem Datenlogger verbunden werden kann. Als Datenlogger wurde ein 486er PC eingesetzt. Dieser wurde zusätzlich mit einer Netzwerkkarte ausgestattet, um die aufgezeichneten Datensätze vom Arbeitsplatz aus direkt abrufen zu können, da der kellerwirtschaftliche Betrieb, in dem die Versuche durchgeführt wurden, ca. 1 km entfernt lag.

Da ein Anschluss des RS 424-Busses an den PC nicht direkt möglich war, wurde ein Schnittstellenkonverter (RS 424 auf RS 232) ebenfalls von der Firma Greisinger eingesetzt. Die Software zeichnete alle 5 Minuten einen Temperaturwert von jedem Sensor auf, der über sogenannte ID gekennzeichnet wurde. Ein Datensatz bestand also aus dem Datum, der Uhrzeit, der Sensor-ID und dem gemessenen Wert (Temperatur in °C).

Die Datensätze konnten mit Hilfe eines in Access erstellten Filters sortiert und in eine Excel-Datenform gebracht werden.



Abb. 24: PC-Datenlogger mit Schnittstellenkonverter und funktionsbereitem Messdatenumformer

3.1.3.3 Einbau der Messtechnik in den Tank

Beim Einbau der Temperatursensoren in den Tank war es erforderlich, nicht nur auf die Einhaltung der Maße, die für die spätere Vorstellung des Profils im Tank entscheidend waren, sondern auch auf die mögliche Beschädigung beim Befüllen zu achten. Auch die Sensoren und deren Verkabelung mussten so angebracht sein, dass das Strömungsverhalten im Tank nicht gestört wurde. Sensor 1 war in der Tankmitte angebracht, Sensor 2 auf dem halben Radius und Sensor 3 ca. 3 cm von der Außenwand entfernt. Die restlichen Einbaumaße und die Anordnung der Sensoren können aus der folgenden Darstellung entnommen werden.

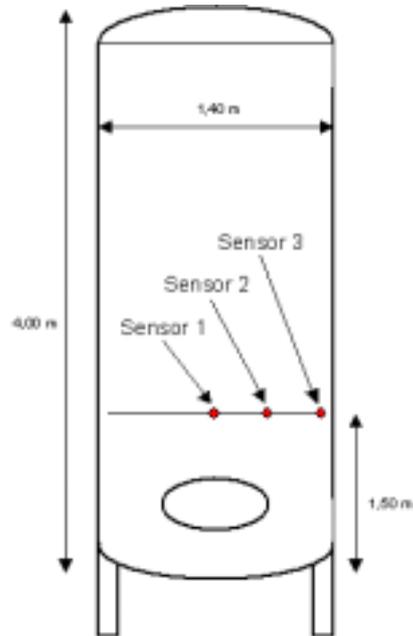


Abb. 25: Skizze der eingebauten Sensoren im Tankprofil

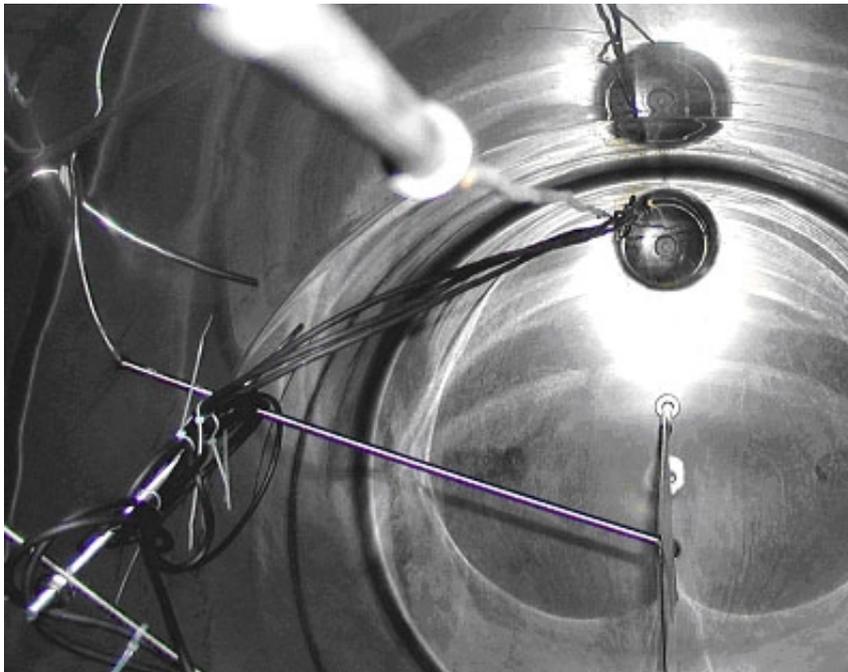


Abb. 26: Sensoren im Tank

Da der Tank rund ist (Zylinderform), wurde eine 1-dimensionale Strecke vermessen, aus der dank der Rotationssymmetrie auf das 2-dimensionale Temperaturprofil Rückschlüsse zu ziehen sind.

3.1.4 Versuchsdurchführung

3.1.4.1 Versuch 1: Zeitliche und räumliche Verläufe der Temperatur bei Oberflächenkühlung

Nach dem Einbau der Sensoren in den Tank wurde dieser mit Most der Sorte Riesling gefüllt. Das Volumen des Tanks wurde bis ca. 80 % ausgenutzt, so dass sich ca. 5 000 l Most in dem Gärbehälter befanden. Dem bei 3 °C eingelagerten Most wurde vor dem Start der Messungen eine 3-tägige Temperierungszeit eingeräumt. Nachdem sich die Flüssigkeit auf Kellertemperatur (14 °C) angeglichen hatte, wurden Zucker und Hefe zugesetzt, um den Gärprozess einzuleiten. Zu diesem Zeitpunkt begann auch die Aufzeichnung der Messwerte. Die Raumtemperatur wurde über den Versuchszeitraum konstant auf 14 °C gehalten.

Die entstehende Prozesswärme wurde mittels eines Flüssigkeitsfilms, der über die Tankoberfläche rinnt, abgeführt. Das Wasser für den Kühlprozess wurde aus dem öffentlichen Trinkwassernetz entnommen. Es hatte über den Versuchszeitraum hinweg eine Temperatur von 11,2 bis 11,5 °C. Zur Steuerung der Berieselung wurde ein Thermostat verwendet, der die Wasserkühlung bei Bedarf über ein elektrisches Magnetventil aktivierte. Hierdurch sollte die Temperatur des Mostes über die Gärzeit auf 17,0 °C konstant gehalten werden.

Über den gesamten Versuchszeitraum wurden täglich Mostproben entnommen, um anhand der Restzuckerkonzentration den Verlauf des Umsatzes und somit die Aktivität der Hefen feststellen zu können. Die Proben wurden zunächst zur späteren Analyse eingefroren.

Nachdem die Gärung nach ca. 20 Tagen abgeschlossen war, wurde die Messwertaufzeichnung gestoppt und der Tank entleert.

Auswertung der Versuchsergebnisse und Darstellung

Die mit dem Datenlogger aufgezeichneten Messwerte wurden in Excel zur weiteren Verarbeitung eingelesen. Zum besseren Verständnis der Vorgänge im Tank über die Versuchszeit wurden die Messdaten grafisch dargestellt. Es ergab sich ein zeitlicher Temperaturverlauf der drei eingebauten Temperatursensoren. Sensor 1 war in der Tankmitte angebracht, Sensor 2 auf dem halben Radius und Sensor 3 ca. 3cm von der Außenwand entfernt. In dem dargestellten Diagramm ist ein deutlicher Temperaturgradient zu erkennen.

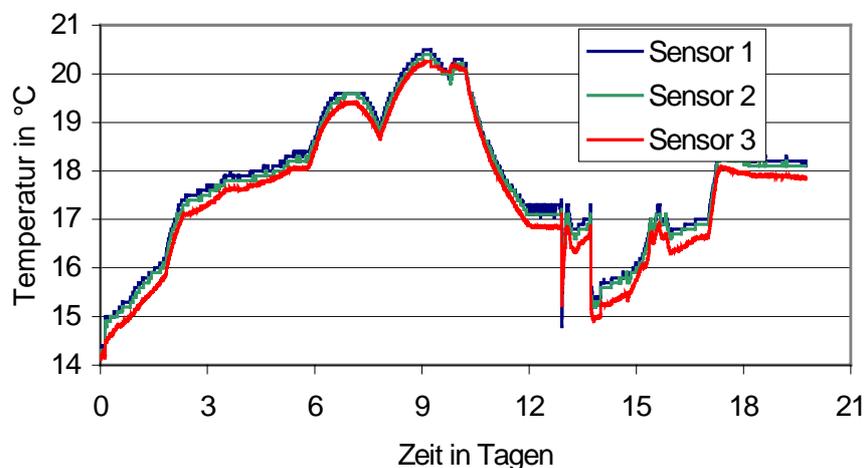


Abb. 27: Zeitlicher Temperaturverlauf bei der Oberflächenkühlung

Im Tankinnern lag, wie erwartet, die höchste Temperatur vor. Mit zunehmender Entfernung nach außen hin nahm diese wieder ab. Der Effekt lässt sich aufgrund der über die Manteloberfläche abgeführte Prozesswärme erklären. Einen Hinweis auf eine im Tank mögliche Quervermischung gab es nicht.

Analyse der Mostproben zur Bestimmung des Reaktionsumsatzes

Es wurden täglich im Abstand von ca. 24 Stunden bzw. in der Phase der höchsten Aktivität, alle 3 Stunden Mostproben entnommen. Die Zuckergehalte wurden nach dem Verfahren von Rebelein bestimmt.

Die reduzierten Zucker wurden mit alkalischer Kupferlösung oxidiert, wobei das zweiwertige Kupfer zum einwertigen Kupferoxid reduziert wurde. Nach Zusatz von Kaliumjodid wurde eine dem nicht verbrauchten Kupfersulfat äquivalente Menge Jod frei, welches mit Natriumthiosulfat zurücktitriert werden konnte.

Aufgrund der angepassten Konzentrationen der Ausgangslösungen verlief die Reaktion stöchiometrisch.

Die erhaltenen Ergebnisse (Zuckergehalte) sind tabellarisch zusammengefasst.

Der Reaktionsumsatz ist grafisch dargestellt.

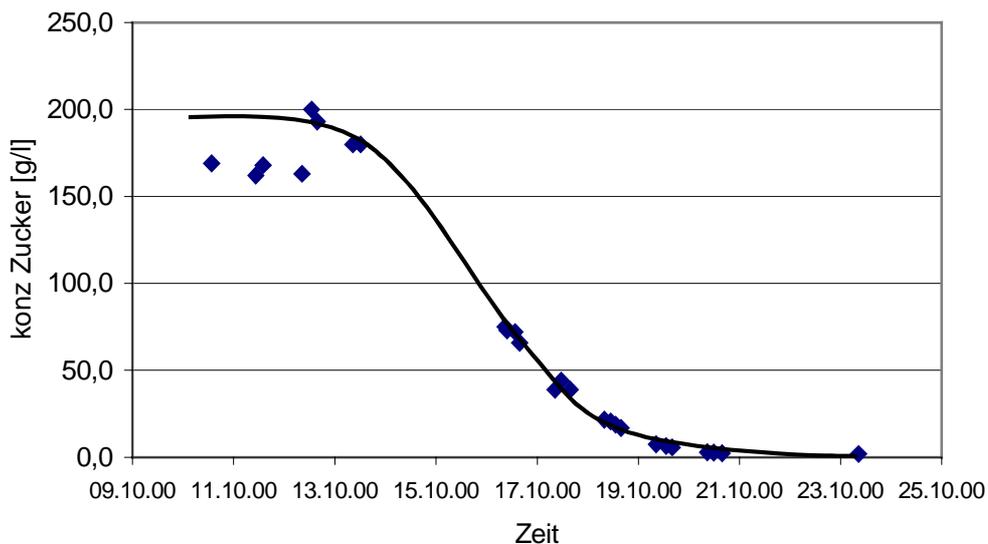


Abb. 28: Darstellung des Verlaufes der Zuckerkonzentration im Most über die Versuchszeit

Diskussion der Ergebnisse und Schlussbetrachtung

Nach Abschluss der Versuche wurde deutlich, dass sich auch während der Gärung im Tank ein meßbares Temperaturprofil ausbildet. Dies ist jedoch mit einer maximalen Temperaturspanne von 0,5°C äußerst geringfügig. Zu vermuten ist, dass die aufsteigenden CO₂-Blasen für die recht gute Durchmischung verantwortlich sind.

Die praktische Bewertung der Regelstrecke bei der Gärtankkühlung ergab folgendes Resultat. Insgesamt betrachtet ist die Temperierung über die Thermostaten / Magnetventilregelung äußerst unbefriedigend ausgefallen. Diese konnte zwar den Temperaturanstieg ab dem 3. Tag durch das Öffnen des Ventils auf ein erträgliches Maß reduzieren, aber die abgeführte Wärmemenge reichte nicht aus, um eine konstante Temperatur von 17 °C zu halten. Darüber hinaus konnte ab dem 5.

Tag ein völliges Versagen festgestellt werden. Der nun stark einsetzende Gärprozess konnte aufgrund der 2-Punktregelung des Magnetventils nicht mehr bei konstanten 17 °C gehalten werden. Da nur ein maximaler Volumenstrom, der für die Abführung der Prozesswärme nicht ausreicht, gefahren werden konnte, stieg die Temperatur in dem Tank schnell an. Dies war nur durch das Abschalten anderer Kühlsysteme wieder zu stoppen. Durch dieses Abschalten erhöhte sich der Wasserleitungsdruck und dadurch auch der Volumenstrom. Zwischen dem 7. und 8. Tag wurden diese jedoch wieder angefahren, was einen weiteren Temperaturanstieg zur Folge hatte. Ab dem 11. Tag verlangsamte sich der Gärprozess und aufgrund dessen nahm auch die Tanktemperatur ab. Da der 2-Punktregler eine Hystereseschleife⁽¹⁾ von 2 °C fährt, unterkühlte er das System auf ca. 15 °C, nachdem die Gärung nach dem 13. Tag fast zum Erliegen gekommen war.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die Durchmischung des Systems Gärtank zwar ausreichend ist, jedoch hier, durch nicht genügend abgeführte Wärmeenergie, die Temperatur an der Tankoberfläche nicht wie gewünscht konstant bei 17°C zu halten war. Dies ist auf die Regelung des in vielen Weinbaubetrieben verbreiteten Systems zurückzuführen, da immer nur 2 Betriebszustände gefahren werden konnten. Reicht der Volumenstrom nicht aus, den anfallenden Wärmestrom abzuführen, überhitzt das System. Sollte ein solches Kühlsystem zum Einsatz kommen, muss sichergestellt sein, dass auf jeden Fall der Volumenstrom ausreichend ist.

3.1.4.2 Versuch 2: Zeitliche und räumliche Verläufe der Temperatur beim Einsatz einer Wärmetauscherplatte zur Abführung der Prozesswärme

Die Wärmetauscherplatte ist über ein fest verlegtes Rohrsystem mit einem Speichertank verbunden, welcher durch ein Kompressionskälteaggregat auf 4 °C gehalten wird.



Abb. 29: Darstellung Wärmeüberträgerplatte und deren Einbau in die Tanks

(1)Hysterese ist die Differenz der Ausgangsgröße für einen festen Meßwert mit steigendem bzw. fallendem Eingangssignal d.h. unterschiedlicher Kurvenverlauf bei der Änderung der Funktionsrichtung



Abb. 30: Anschluss der Wärmeüberträgerplatten an den Kühlkreislauf

In dieser Versuchsanstellung wurde als Wärmeträgermedium Wasser eingesetzt. Dabei versorgte eine Kreiselpumpe die einzelnen Platten, die sich in den Gärtanks befanden, mit dem Kältemedium. Da der Druckverlust der einzelnen Platten relativ hoch ist, war der Volumenstrom recht gering. Dies war auch auf die Parallelschaltung der einzelnen Wärmeüberträger zurückzuführen.

Die Vorbereitung verlief analog zu dem Versuch Oberflächenkühlung.

Die Steuerung der Kälteplatten wurde über ein Magnetventil realisiert. Es wurden allerdings Thermostate mit geringerer Hysterese verwendet.

Auswertung der Versuchsergebnisse

Die mit dem Datenlogger aufgezeichneten Messwerte wurden in Excel zur weiteren Verarbeitung eingelesen. Zum besseren Verständnis der Vorgänge im Tank über die Versuchszeit, wurden die Messdaten grafisch dargestellt. So ergab sich ein zeitlicher Temperaturverlauf der drei eingebauten Temperatursensoren. Sensor 1 war in der Tankmitte angebracht, Sensor 2 auf dem halben Radius und Sensor 3 ca. 3cm von der Außenwand entfernt. Erkennbar wird ein deutlicher Temperaturgradient.

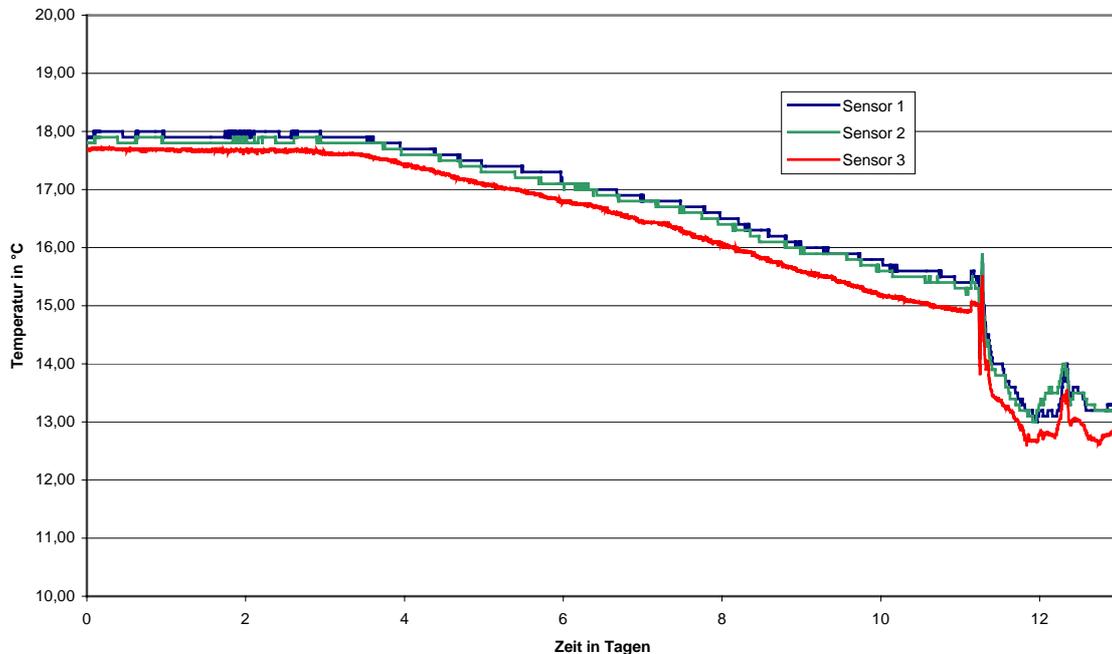


Abb. 31: Zeitlicher Temperaturverlauf bei der Kühlung mittels Platte

Dieser kam auf eine andere Art zustande als bei dem ersten Versuch mit Oberflächenkühlung. Die Kälteplatte ist relativ weit oben im Fass angebracht, was speziell für das Säubern der Gebinde, die durch ein Mannloch begehbar sind, von Vorteil ist. Die Person, die das Reinigen vornimmt, wird so durch die Platte nicht behindert. Der warme Most steigt, bedingt durch die aufsteigenden CO₂-Bläschen, nach oben (die Gärung ist in der Mitte des Tanks stärker als am Rand). Er strömt an der Kühlplatte vorbei und gibt die Wärmeenergie an diese ab. Der nun kältere Most mit höherer Dichte fällt an den Außenwänden wieder nach unten. So erklärt sich die niedere Temperatur des Sensors 1.

Die Wärmeüberträgerleistung der Kälteplatte ist aber entscheidend effektiver als die der Oberflächenkühlung. Dies beruht auf zwei Effekten: Einerseits ist die Temperatur des Kühlmediums deutlich geringer als das der Oberflächenkühlung (im Schnitt bis zu 7 K); da ferner die Wärmeübertragungsleistung eine Funktion der treibenden Temperaturdifferenz ist, kommt somit eine Verbesserung zu Stande. Zum anderen ist die Oberfläche der Kälteplatte zwar geringer als die der Tankoberfläche, jedoch kann man nicht von einer 100 %igen Benetzung letzterer ausgehen. Es bilden sich nach ca. 40-60 cm, vom oberen Rand aus gesehen, Strähnen und Rinnsale aufgrund der großen Oberflächenspannung des Wassers. So kann näherungsweise von einer nur 30 %igen Benetzung der Tankoberflächen ausgegangen werden. Diese ist damit aber immer noch um den Faktor 2-3 größer als die der Platte. Jedoch herrschen erheblich größere Strömungsgeschwindigkeiten in der Kälteplatte, was sich sehr günstig auf die innere Alphazahl (1) auswirkt.

(1) Der Alpha-Wert ist eine dimensionbehaftete Kenngröße für die Wärmeübergangsleistung zwischen 2 Medien.

3.1.5 Analyse der Mostproben zur Bestimmung des Reaktionsumsatzes

Im Abstand von ca. 24 Stunden bzw. in der Phase der größten Aktivität wurden täglich alle 3 Stunden Mostproben entnommen. Die Zuckergehalte sind, wie bereits dargestellt, nach dem Verfahren von Rebelein bestimmt worden.

Zuckerumsatz Versuch 2 (mit Kühlung über Platte)

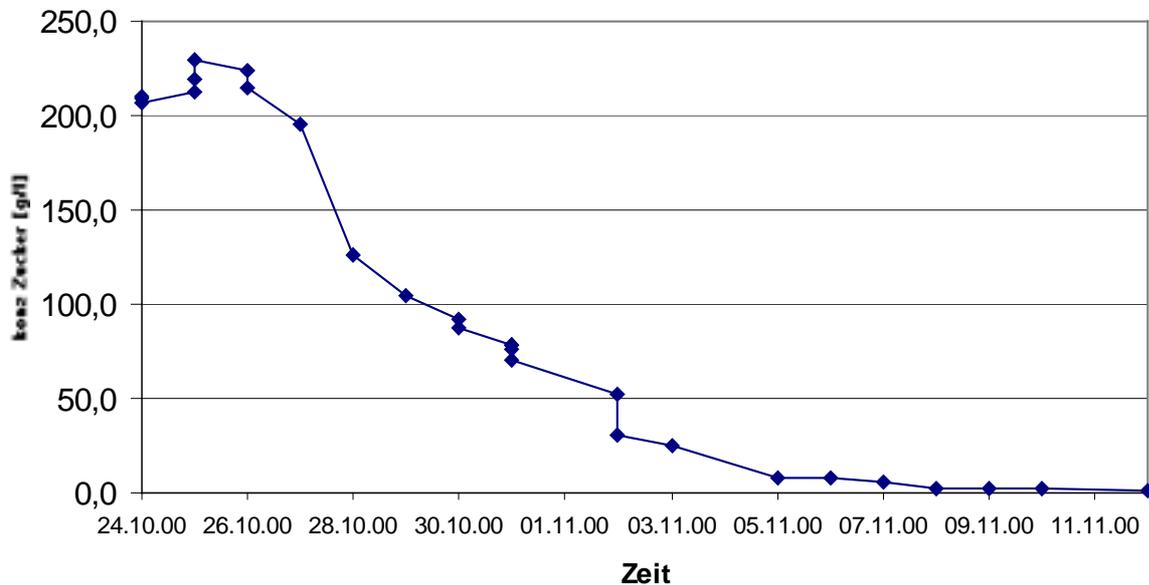


Abb. 32: Darstellung des Verlaufes der Zuckerkonzentration im Most über die Versuchszeit

Diskussion der Ergebnisse und Schlussbetrachtung

Was bei der Oberflächenkühlung nicht realisiert werden konnte, war infolge der größeren Wärmeüberträgerleistung der Kälteplatte möglich. Der bei diesem Versuchsdurchlauf eingesetzte Thermostat besaß eine geringere Hysterese, die bei nur ca. 1,5 K lag. So konnte die Temperatur selbst während der Gärung auf 18 °C begrenzt bleiben. Jedoch war der Thermostat nicht auf 18°C sondern auf 15 °C eingestellt. Wie schon erwähnt, ist zwar die Wärmeüberträgerleistung der Kälteplatte besser als die der Oberflächenkühlung, sie reichte aber nicht aus, die eingestellte Temperatur zu halten.

3.2 Bestimmung der Wärmequellichte des eingesetzten Mostes

Um eine sinnvolle Auslegung der Kältetechnik vornehmen zu können, ist es erforderlich, die produzierte Wärmemenge eines bestimmten Volumens an Most zu kennen (spezifische Wärmeleistung auf das Volumen bezogen). Entsprechende Werte sind in der Fachliteratur angegeben, die jedoch alle aus einer Quelle stammen (Troost) und auf empirische Weise ermittelt wurden.

Da diese Untersuchungen bereits vor längerer Zeit durchgeführt wurden, ergab sich die Notwendigkeit, diesen Wert der Wärmequellichte für den verwendeten Most halbempirisch zu bestimmen. Die zur Ermittlung des Temperaturprofils aufgebaute Messtechnik wurde zur Evaluierung mitgenutzt.

3.2.1 Hintergrund

Sind die Wärmequellichten des Mostes bekannt, können diese als Auslegungsgrundlage dienen und demzufolge dann auch die richtige Plattengröße für das Gärvolumen bestimmt werden.

3.2.2 Aufgabenstellung und Ziel

Aufgabenstellung war es, die maximale Wärmeleistung des untersuchten Mostes zu bestimmen, die bekanntlich auf Grund des Gärprozesses, erheblich variieren kann. Dabei mussten nicht nur die Randbedingungen wie Außentemperatur und k-Werte des Tanks sondern auch der Temperaturverlauf bekannt sein. Da ferner die entsprechende Messtechnik aus den vorher durchgeführten Untersuchungen bereits vorhanden war, stellte die Aufzeichnung des Temperaturverlaufes, aufgrund der ohne Umbau zu nutzenden Technik, kein Problem dar.

3.2.3 Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau gleicht den beiden Temperaturverteilungsversuchen. Nach dem Einfüllen der 4 100 l Most lässt sich die Temperatur etwa auf Raumwärme angleichen. Danach wurde mit Hefe angereicherter Most hinzugegeben.

Kurz darauf setzte die Gärung ein. Nachdem diese abgeschlossen war, wurde die Aufzeichnung gestoppt. Parallel dazu wurden Mostproben gezogen, um später den Zuckergehalt analysieren zu können.

3.2.4 Auswertung

Aufgrund des dritten Versuches mit der schon bei Versuch 1 und 2 beschriebenen Messanordnung, konnte die Wärmequellichte des untersuchten Mostes bestimmt werden. Dabei war es notwendig, die maximale Temperatur während des Gärvorgangs zu ermitteln sowie zu diesem Zeitpunkt den Zuckerumsatz zu kennen. Darüber hinaus wurde die Lufttemperatur des Kellers festgehalten. Zur Ermittlung des Zuckerumsatzes wurden wiederum Mostproben aus dem Gebinde in verschiedenen Zeitabständen entnommen, die, wie schon bei Versuch 1 und 2, nach dem Rebelein-Verfahren untersucht wurden.

Bei der zuletzt durchgeführten Untersuchung wurden bei der Vergärung keinerlei aktive Kühlmaßnahmen durchgeführt. So musste die gesamte entstehende Wärmemenge über die Tankaußenseite abgegeben werden. Aus den so entstandenen Messdaten konnte, wie im folgenden beschrieben, die Wärmequellichte berechnet werden.

3.2.4.1 Berechnungen der Alpha-Werte eines Weintanks

Um eine entsprechende Aussage treffen zu können, auf welcher Seite das Problem der Wärmeabfuhr bei ungekühlten Gärtanks liegt, wurden die Alpha-Werte⁽¹⁾ der Tankinnen- sowie Tankaußenseite (Naturkonvektion) berechnet.

Da die Randbedingungen eines solchen Systems sehr unterschiedlich sein können, wurden zur Berechnung einige Annahmen getroffen, die sich aus dem untersuchten System ergaben.

(1) Der Alpha-Wert ist eine dimensionbehaftete Kenngröße für die Wärmeübergangsleistung zwischen 2 Medien.

3.2.4.2 Alpha-Wert⁽¹⁾ der Tankinnenseite

Zur Berechnung wurde hier die Nusselt-Korrelation⁽²⁾ von begasten Behältern herangezogen (VDI-WA, Kapitel Ma, Blatt 9), da dies dem System am nächsten kam. Zur Bestimmung wurde allerdings die Leerraumgasgeschwindigkeit benötigt, die sich aus der gebildeten Gasmenge pro Zeiteinheit sowie der Behälterquerschnittsfläche ergab. Um auf die gebildete Gasmenge pro Zeiteinheit zu kommen, musste jedoch der Umsatz des Zuckers bekannt sein. Dieser konnte durch entsprechende Messungen ermittelt werden. Dabei ergab sich innerhalb von 24h ein Zuckerumsatz von ca. 135 g/l Most. Pro verbrauchtem Mol Zucker entstanden 2 Mol CO₂. So ergab sich für das Mostvolumen von 4 100 l eine gebildete CO₂-Menge von 138,4 m³ innerhalb der 24-stündigen Hauptgärphase, in der auch die Maximaltemperatur im Tank erreicht wurde. Der Gasvolumenstrom lag bei 1,6 l/s CO₂, mit der Tankquerschnittsfläche von 1,368 m² ergab sich eine Leerraumgeschwindigkeit von $w=1,1692$ mm/s. Zur weiteren Bestimmung wurde die Prandeltzahl⁽³⁾, die Wärmeleitfähigkeit sowie die Viskosität von Wasser bei einer Temperatur von 32 °C herangezogen (Maximaltemperatur im Gärtank).

Dabei ergab sich für das System Tankinnenseite ein Alpha-Wert von 1500 W/m²*K

3.2.4.3 Alpha-Wert der Tankaußenseite

Bei der Berechnung des Wärmeübergangswertes der Tankaußenseite wurde auf die Nusselt-Korrelation der Naturkonvektion an gekrümmten vertikalen Flächen (rohrähnlich) zurückgegriffen (VDI-WA, Kapitel Fa, Blatt 2). In diesem Zusammenhang sind ebenfalls die Randbedingungen, die bei dem Versuch vorlagen (Kellertemperatur: Luft 15 °C, Wandtemperatur: Gärtank 30 °C) mit herangezogen worden.

Dabei ergab sich ein Alpha-Wert von 3,5 W/m²*K.

3.2.4.4 Betrachtung der Alpha-Werte der Tankinnen- bzw. Tankaußenseite

Das Problem der Wärmeabfuhr in nicht zwangsgekühlten Systemen liegt nicht auf der Tankinnenseite. Die Abfuhr der Wärme über die Tankaußenseite an die Luft durch Naturkonvektion kann als kritischer Schritt in diesem System angesehen werden. Der Alpha-Wert ist um den Faktor 400 kleiner. Ihn zu erhöhen bzw. die Wärme nicht über die Außenwände an die Luft abzuführen, wäre ein sinnvoller Weg die Temperatur des Systems zu senken.

Die abgegebene Wärmemenge ist proportional zur treibenden Temperaturdifferenz. Die Temperatur im System erhöht sich so lange, bis die Differenz zwischen Most und Außenluft so groß ist, dass die gebildete Wärme bei der Gärung abgeführt werden kann. Verdoppelt man die Alpha-Werte, so muss die treibende Temperaturdifferenz nur halb so groß sein, um die gleiche Wärmemenge abzuführen d.h. der Most wird nur halb so warm.

3.2.4.5 Tankwandmaterial

Weintanks, die zur Vergärung eingesetzt werden, bestehen zumeist aus korrosionsbeständigen CrNi-Stählen, GfK-Materialien oder auch Beton.

Der CrNi-Stahl stellt wegen seiner guten Wärmeleitfähigkeit (um die 15 W/m*K) kein besonderes Problem bei der Abfuhr der Gärwärme durch die Tankaußenwände dar.

(1) Der Alpha-Wert ist eine dimensionbehaftete Kenngröße für die Wärmeübergangsleistung zwischen 2 Medien.

(2) Die Nusselt'sche Kennzahl ist ein dimensionsloser Wärmeübergangskoeffizient, der das Verhältnis der geometrischen Abmessungen in Beziehung mit der Dicke der thermischen Grenzschicht bringt.

(3) Die Prandeltzahl ist das Verhältnis von Strömungsgrenzschichtdicke zur Dicke der thermischen Grenzschicht.

Bei GfK und Beton ist der Sachverhalt jedoch ein anderer. Beton besitzt zwar einen größeren Wärmeleitkoeffizienten als GfK (Beton ca. $1 \text{ W/m}^2\text{K}$; GfK ca. $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$), jedoch sind auch erheblich größere Wandstärken bei Betontanks vorhanden. Da Betontanks oft in Kellernischen eingebaut wurden, kann so eine Wärmeabfuhr durch Konvektion über die Außenwände nur unzureichend stattfinden. Bekanntlich besitzt das Wandmaterial eine weitaus größere Speichermasse als GfK und Stahl. Diese muss sich jedoch in keiner Weise negativ auswirken, da die entstehende Wärme nicht abgeführt wird, sondern im Beton verbleibt. Unter günstigen Umständen kann dies sogar den Effekt einer aktiven Kühlung hervorrufen.

Da der Wärmeleitfähigkeitskoeffizient von GfK um den Faktor 75 schlechter ist als bei CrNi-Stählen (die Wandstärken sind in beiden Fällen etwa gleich groß), behindert dies den Wärmeabfluss beträchtlich, so dass besser auf Kühlsysteme, die sich im Most befinden, zurückgegriffen werden sollte.

3.2.4.6 Berechnung der Wärmequellichte

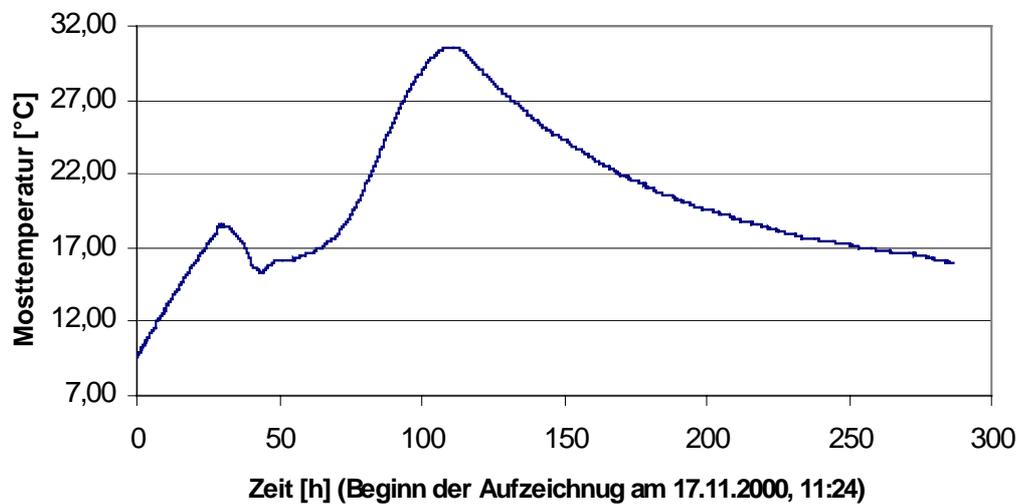


Abb. 33: Darstellung des Gärverlaufes

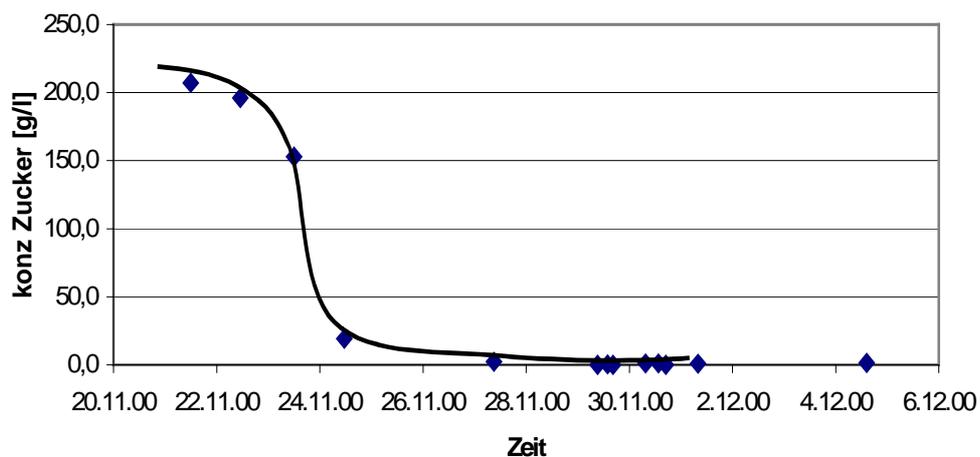


Abb. 34: Darstellung des Verlaufes der Zuckerkonzentration

In der Literatur wird durchschnittlich eine Wärmequellichte von $0,33 \text{ W/l}$ Most angegeben (Köhler, Troost). Dieser Wert konnte allerdings nicht bei dem von im Versuchsaufbau verwendeten

Most bestätigt werden. An Hand von Messungen des Temperaturverlaufs wurde am Punkt der stärksten Aktivität (32 °C) eine Bilanzierung der Wärmeströme vorgenommen. In diesem Zusammenhang wurde die, aufgrund der Naturkonvektion, über die Tankoberfläche abgegebene Menge gemessen (die dafür notwendigen physikalischen Parameter sind dem Diagramm entnommen) bzw., wie bei der Kellertemperatur, zusätzliche Messungen durchgeführt (800 W). Darüber hinaus konnte ein Messergebnis von 50 W über die vom CO₂ ausgetragene Wärmemenge ermittelt werden. Dabei ergab sich für das stationäre System aus wärmeübertragungstechnischer Sicht eine Gesamtleistung von 850 W.

Da sich zu diesem Zeitpunkt 4,1 m³ Most im Tank befanden, war eine Wärmequellichte, bezogen auf einen Liter, von 0,21 W/l festzustellen. Diese ist somit um über 36 % kleiner als die aus dem Literaturwert errechnete Leistung.

Da ferner auch die in der Fachliteratur angegebene Wärmequellichte von 0,33 W/l nur auf empirischen Studien aufbaut sowie dieser Wert für jeden Most unterschiedlich ist (abhängig von beispielsweise eingesetzten Hefen, Ausgangszuckergehalt usw.), lag der von uns ermittelte Wert eher im mittleren bis unteren Leistungsbereich.

Die 0,33 W/l sind deshalb eher als „Extremfall“ anzusehen, stellen aber, was die Auslegung betrifft, eine Basis mit Sicherheitszuschlägen dar, so dass hier keine Unterdimensionierung des Kühlsystems eintreten kann.

3.3 Untersuchung unterschiedlicher Wärmetauscher

3.3.1 Aufgabenstellung und Ziel

Aufgrund der erhöhten Nachfrage nach Mostkühlsystemen auf dem deutschen Markt und dem damit verbundenen größeren Angebot an neuen Systemen, war eine aktuelle Überprüfung erforderlich.

Die Aufgabenstellung bestand zunächst darin, die sich zur Zeit auf dem deutschen Markt befindlichen Mostkühlsysteme möglichst vollständig zu erheben. Aufgrund dessen sollte nicht nur eine entsprechende Übersicht sondern auch ein Vergleich der unterschiedlichen Systeme ermöglicht werden. Dabei wurde die Leistungsfähigkeit der übertragbaren Wärmemenge bezogen auf eine bestimmte Temperaturdifferenz bzw. Oberfläche durch den k-Wert eines solchen Systems ermittelt. Anzumerken ist, dass dieser k-Wert nicht nur von den geometrischen Abmaßen sondern auch von den strömungstechnischen Randbedingungen bestimmt wird. Diese mussten während einer Versuchsreihe entsprechend variiert werden, um so die teilweise doch recht unterschiedlichen Gegebenheiten in der Praxis zu berücksichtigen. Darüber hinaus wurde auch der Druckverlust mit einbezogen.

3.3.2 Wärmetauscherelemente im Versuch

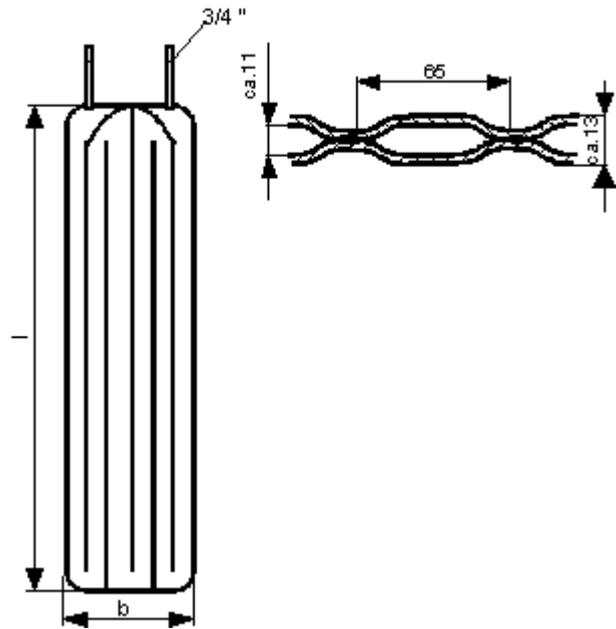
Im Rahmen der Untersuchungen wurden in Ergänzung zum bereits vorangegangenen ATW-Vorhaben 96 die Wärmetauscherelemente folgender Firmen in ein Versuchsprogramm aufgenommen: Gasser, Hyfra, Omega Engineering, Schadeck, Schärf, SWEP-Wärmetauscher, Ziemann Secathen S.A., Becker, Clina, Bucu sowie Etscheid.

Die folgende Zusammenfassung beinhaltet sowohl eine Skizze der untersuchten Wärmeüberträger (also auch wichtige Kenndaten der einzelnen Systeme, wie z.B. verwendete Werkstoffe) als auch Maße und Fertigungsverfahren.

Ein preislicher Vergleich der einzelnen Systeme wurde intensiv verfolgt, war aufgrund der Zurückhaltung der Hersteller in diesem Bereich aber nicht möglich. Die hier nicht erreichbare Markttransparenz lässt auf einen entsprechenden Verhandlungsspielraum schließen.

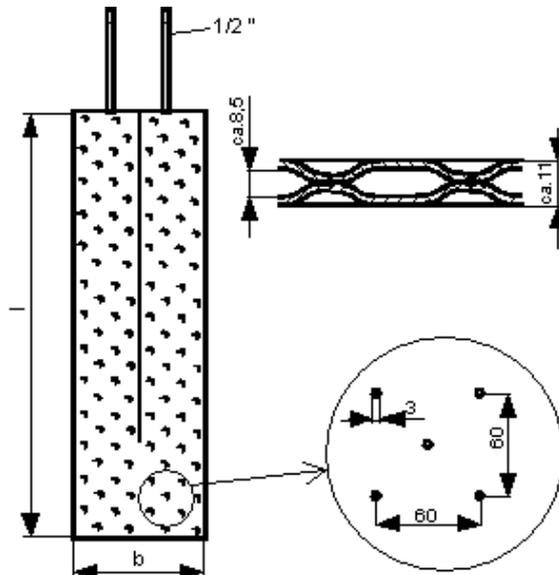
3.3.2.1 Platte 1: Hyfra

Material: 1.4571
 Wandstärke: 1,0 mm
 Länge l: 1500 mm
 Breite b: 390 mm
 Fläche: 1,17 m²
 Volumen: 3,3 l
 Gewicht: 10,2 kg
 Oberflächenbehandlung: kaltgewalzt
 und gebeizt
 Schweißverfahren: pressgeschweißt



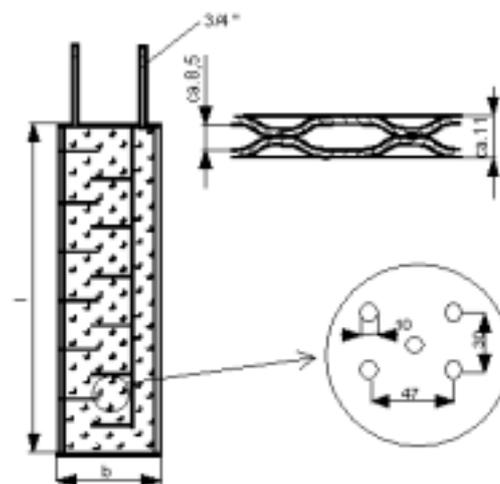
3.3.2.2 Platte 2: Gasser

Material: 1.4541
 Wandstärke: 0,8 mm
 Länge l: 1245 mm
 Breite b: 375 mm
 Fläche: 0,93 m²
 Volumen: 2,0 l
 Gewicht: 8 kg
 Oberflächenbehandlung: IId-Blech
 Schweißverfahren: pressgeschweißt



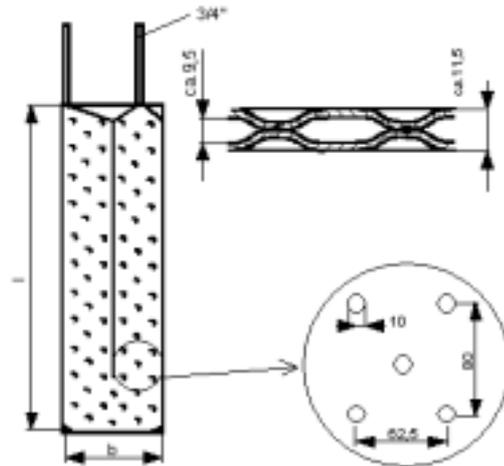
3.3.2.3 Platte 3: Schadeck

Material: 1.4571
 Wandstärke: 1,0 mm
 Länge l: 1220 mm
 Breite b: 370 mm
 Fläche: 0,9 m²
 Volumen: 1,3 l
 Gewicht: 7,6 kg
 Oberflächenbehandlung: kaltgewalzt und gebeizt
 Schweißverfahren: lasergeschweißt



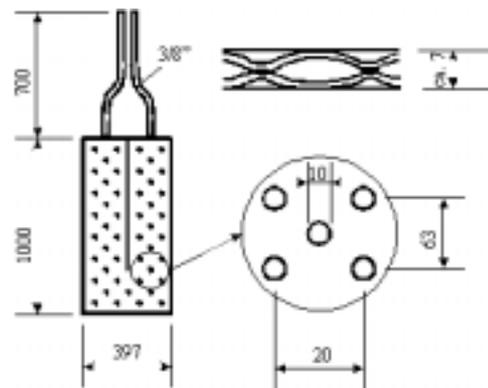
3.3.2.4 Platte 4: Fa. OMEGA

Material: 1.4301
 Wandstärke: 1,0 mm
 Länge l: 1220 mm
 Breite b: 370 mm
 Fläche: 0,9 m²
 Volumen: 2,5 l
 Gewicht: 8,3 kg
 Oberflächenbehandlung: kaltgewalzt
 und gebeizt
 Schweißverfahren: lasergeschweißt



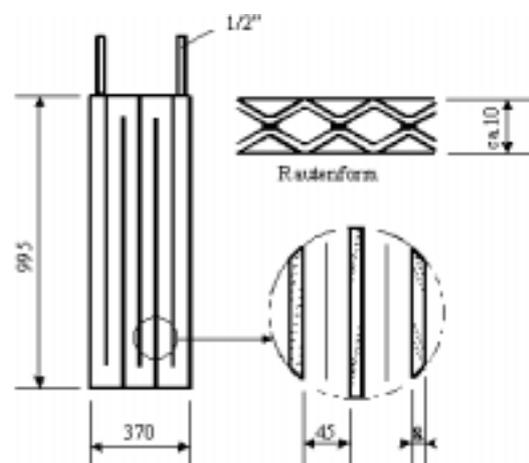
3.3.2.5 Platte 5: Fa. Schärf

Material: 1.4301
 Wandstärke: 1 mm
 Fläche: 0,89 m²
 Gewicht: 7,54 kg
 Oberflächenbehandlung: elektroliert
 Schweißverfahren: lasergeschweißt; WIG



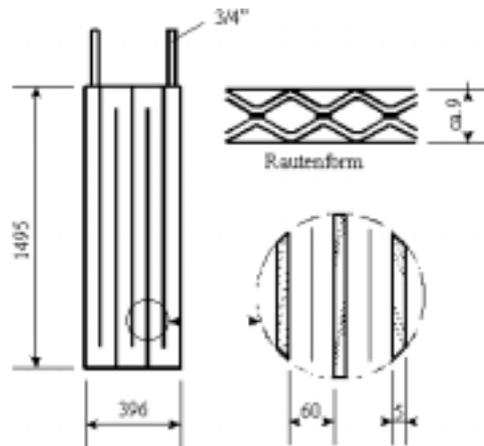
3.3.2.6 Platte 6: Fa. Buco

Material: Edelstahl
 Wandstärke: 1 mm
 Fläche: 0,74m²
 Gewicht: 6,43 kg
 Oberflächenbehandlung: kaltgewalzt
 und. gebeizt
 Schweißverfahren: WIG



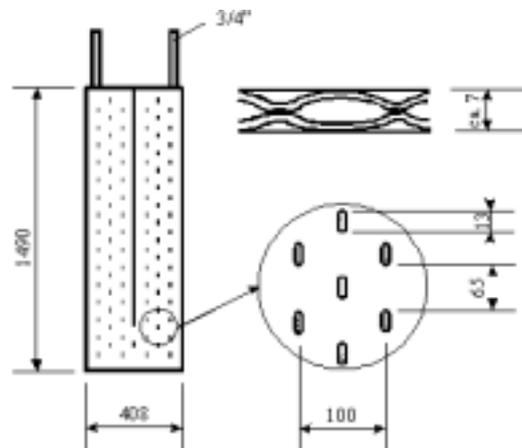
3.3.2.7 Platte 7: Fa. Becker (Rautenprofil)

Material: Edelstahl
 Wandstärke: 1 mm
 Fläche: 1,15 m²
 Gewicht: 10,85 kg
 Oberflächenbehandlung: elektropoliert
 Schweißverfahren: WIG



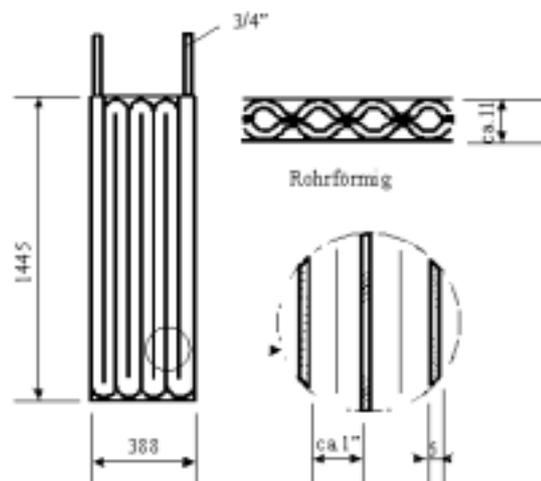
3.3.2.8 Platte 8: Fa. Becker (Punkt)

Material: Edelstahl
 Wandstärke: 1 mm
 Fläche: 1,18 m²
 Gewicht: 9,81 kg
 Oberflächenbehandlung: elektropoliert
 Schweißverfahren: WIG; pressgeschweißt



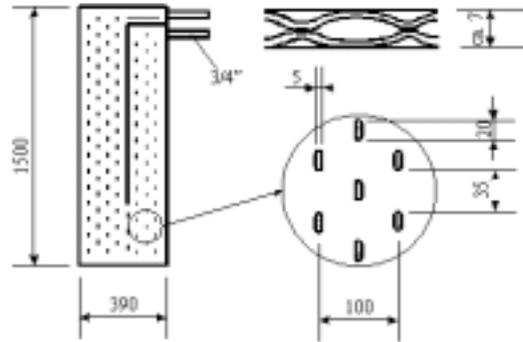
3.3.2.9 Platte 9: Fa. Ziemann Secathen S.A.

Material: Edelstahl
 Wandstärke: 1 mm
 Fläche: 1,13 m²
 Gewicht: 10,68 kg
 Oberflächenbehandlung: elektropoliert
 Schweißverfahren: WIG



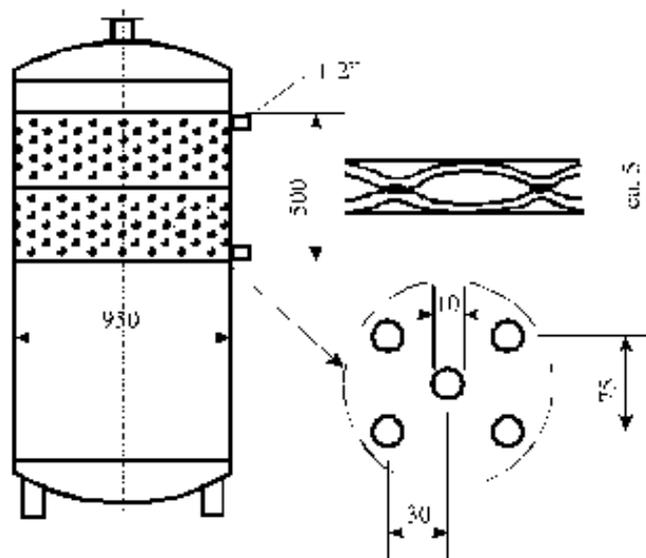
3.3.2.10 Platte 10: SWEP-Wärmetauscher

Material: Edelstahl
 Wandstärke: 1 mm
 Fläche: 1,13 m²
 Gewicht: 14,4 kg
 Oberflächenbehandlung: elektropoliert
 Schweißverfahren: pressgeschweißt



3.3.2.11 WÜT 11: Doppelmantel-Wärmetauscher, Fa. Schärf

Material: 1.4301
 Wandstärke: 1 mm
 Fläche: 1,80 m²
 Oberflächenbehandlung: kaltgewalzt und unbehandelt
 Schweißverfahren: WIG; lasergeschweißt



3.3.2.12 WÜT 12: Einsteck-Wärmetauscher („Banane“, Fa. Schärf

Material: 1.4301 (Edelstahl-Vierkantrohr)

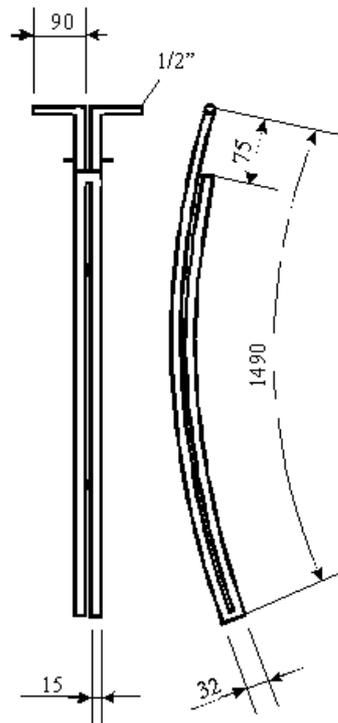
Wandstärke: 1 mm

Fläche: 0,31 m²

Gewicht: 3,9 kg

Oberflächenbehandlung: gewalzt und unbehandelt

Schweißverfahren: WIG; handgeschweißt



3.3.2.13 WÜT 13: Wellrohr-Wärmetauscher, Fa. Etscheid

Material: 1.4571

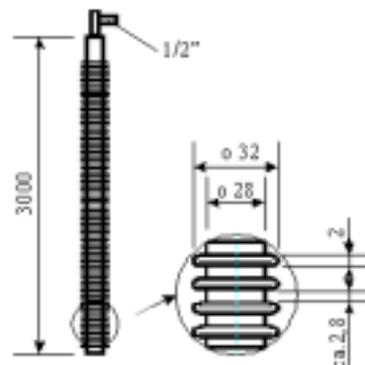
Wandstärke: 1 mm

Fläche: 0,31 m²

Gewicht: 3,9 kg

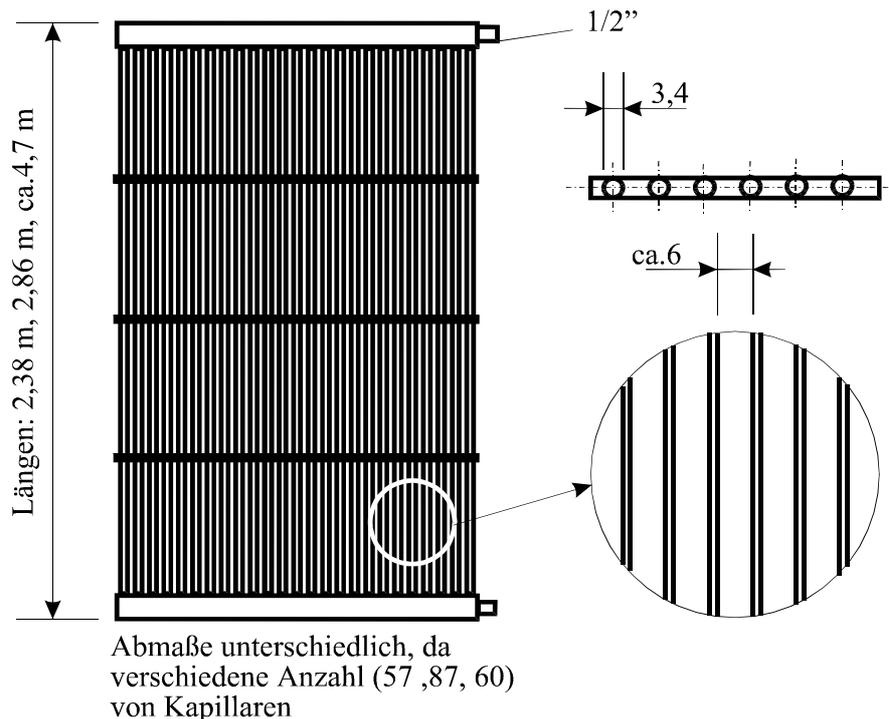
Oberflächenbehandlung: gewalzt und unbehandelt

Schweißverfahren: handgeschweißt



3.3.2.14 WÜT 14: Kapillarrohmatten, Fa. Clina

Material:	PVC
Kapillarrohrdurchmesser:	3,4 mm
Flächen:	3,1 m ² (60 Kapillare, ca. 4,7 m Länge)
	1,45 m ² (57 Kapillare, 2,38 m Länge)
	2,66 m ² (87 Kapillare, 2,86 m Länge)
Wasseranschluss:	einsteckbarer flexibler Edelstahlschlauch mit Gewebeummantelung sowie Kunststoffeinschraubverbinder ½



3.3.3 Messung der k-Werte

Anhand der bestimmten k-Werte der Systeme wurde für die Kühlplatten ein rechnerisches Modell überprüft. Dieses konnte zum größten Teil bestätigt werden.

Aufgrund der Modellrechnung wurde ersichtlich, dass der Übergangswiderstand hauptsächlich auf der Innenseite der Platte liegt. Der Alpha-Wert ist dort um den Faktor 2 bis 2,5 geringer als auf der Außenseite bei einem durchgesetzten Volumenstrom von 1 m³/h, der als Referenz für die Berechnungen diente. Dabei gilt es zu überdenken, ob die Konstruktion der Platten hinsichtlich der Optimierung des k-Wertes verbessert werden könnte.

Die zum Versuch angestellten Platten lassen sich in zwei verschiedene Typen einteilen, die sich hinsichtlich der Strömungsführung des Kühlmediums unterscheiden. Platten mit nur einer oder mehreren Umlenkungen.

Platten mit nur einer Umlenkung sind dem System der überströmten Platte durch ihr Breiten–Höhen-Verhältnis von größer 15 ähnlich. Platten mit 5 bzw. 7 Umlenkungen sind dagegen dem Rohr-System näher. Sie weisen ein Breiten–Höhen-Verhältnis von maximal 1 : 4 auf.

Die Alpha-Zahlen dieser beiden Gruppen unterscheiden sich nicht direkt voneinander. Die Unterschiede ergeben sich vielmehr von den direkten Abmessungen wie Strömungsdurchmesser, Breiten-Höhen-Verhältnis, Zahl der Umlenkungen, Länge der Platte oder auch der Abstand der Schweißpunkte.

All diese Faktoren haben direkten Einfluss auf das Strömungsverhalten der Kühlflüssigkeit und somit auch direkt auf die Alpha-Zahl. Allgemein günstig wirken sich Verwirbelungen der Strömung auf den Wärmeübergang aus. Dies trifft auf kürzere Platten mit mehreren Umlenkungen sowie nicht allzu große Abstände der Schweißpunkte zu.

Verwirbelungen gehen aber immer einher mit Druckverlust. Deshalb bezahlt man meist den besseren Wärmeübergang mit einem erhöhten Druckverlust der Platte. Jedoch ist dieser auch maßgeblich vom Strömungsquerschnitt abhängig.

Der dynamische Druckverlust ist exponentiell vom Volumenstrom abhängig. Somit ist es günstiger bei geringeren Kühlmittelvolumenströmen zu fahren, da sonst der Druckverlust sehr hoch wird. Als günstig erwies sich ein Volumenstrom von kleiner als 1000 l/h, da so der Druckverlust der untersuchten Platten unter 300 mbar liegt und noch von normalen Kreiselpumpen ohne Probleme bewältigt werden kann. Somit ist auch der Energiebedarf der Pumpe nicht allzu groß.

3.3.3.1 Material und Methoden

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau zur Ermittlung des Wärmeübertragungsverhaltens bestand im wesentlichen aus den Komponenten: Zylindrisches Gebinde (1250 Liter Volumen), Kaltwassersatz zur Kühlung des Kühlmediums, Pufferbehälter sowie Durchlauferhitzer mit Umwälzpumpe.

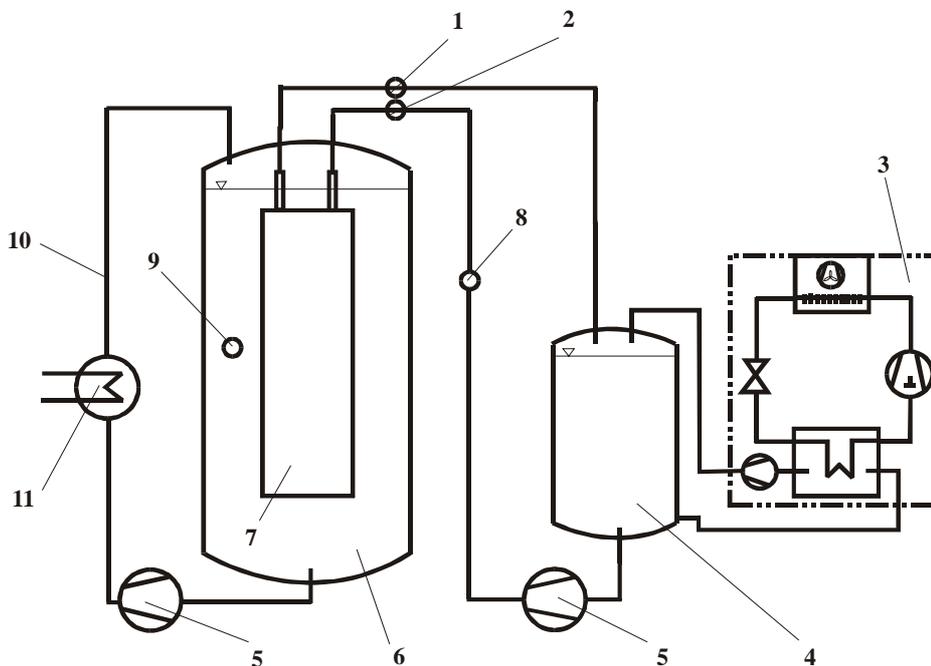


Abb. 35: Versuchsaufbau k-Wert Messung

1 und 2 Temperaturerfassung Rücklauf und Vorlauf, 3 Kaltwassersatz, 4 Pufferbehälter, 5 Umwälzpumpe, 6 Gebinde, 7 Wärmetauscherplatten (o.ä.), 8 Volumenstromerfassung, 9 Temperaturerfassung im Gebinde, 10 Umwälzstrom, 11 Durchlauferhitzer

Ein Kaltwassersatz liefert kaltes Wasser in einen Pufferbehälter mit ca. 120 Liter Volumen. Aus diesem Behälter heraus werden die Wärmetauscherelemente mit dem Kühlmedium über eine Pumpe versorgt.

Der Gebindeinhalt wird ständig über eine Umwälzpumpe ($\dot{V} = 4500 \text{ l/h}$) gut durchmischt, um eine homogene Temperaturverteilung zu erreichen. Bei Bedarf wird mit einem zuschaltbaren Durchlaufheizregister die Tanktemperatur erhöht, zur Gewährleistung einer konstanten Temperatur von 25 °C.

Eingesetzte Geräte

Volumenstromregelung:	Der Volumenstrom kann über die Drehzahl der Umwälzpumpe stufenlos eingestellt werden. Die Drehzahlregelung erfolgt über einen Frequenzumformer.
Volumenstromerfassung:	Turbinensensor, +GF+ Signet, 2-Leiter Technik Typ: 3-2100-High Flow, PVDF, ½" Schlauchanschluss mit einer Mikroprozessor-Digitalanzeige +GF+ Signet 8550-1 <i>Messbereich:</i> 3,0 bis 37,8 l/min, <i>Genauigkeit:</i> $\pm 3\%$ des aktuellen Messwertes <i>Wiederholbarkeit:</i> $\pm 0,5\%$ des aktuellen Messwertes, Anzeige über Mikroprozessor-Digitalanzeige für Normsignale GIA 1000 NS der Fa. Greisinger 4 - 20 mA, Messbereich –1999 bis 9999 Digit <i>Genauigkeit</i> $\pm 0,1\%$, ± 1 Digit <i>Auflösung:</i> Dezimalpunkt beliebig setzbar
Temperaturerfassung:	<i>Im Tank:</i> Pt 100 Temperaturfühler, 4-Leiter Technik, 0-50°C Anzeige über GIA 1000 PT 100, Mikroprozessor- Digitalanzeige der Fa. Greisinger, 4 – 20 mA <i>Messbereich:</i> -199,9 – 650 °C <i>Auflösung:</i> $\pm 0,1$ °C <i>Genauigkeit:</i> $\pm 0,03\%$, ± 1 Digit <i>Im Kühlwasserkreislauf:</i> Temperaturaufnehmer Vor- und Rücklauf, kalibriert auf 0 °C Anzeige über einen Wechselschalter und Digitalanzeige <i>Genauigkeit:</i> $\pm 0,1$ °C
Kaltwassersatz:	Rhoss, Typ: CWA/EX KAS 05 230 Scrollverdichter, 1,91 Liter Kältemittel R22, luftgekühlter Verflüssiger, Durchsatz: 2100 m³/h, Nenn-Kälteleistung: 6,28 kW, bei einer Kaltwassertemperatur von 7 °C und einer Lufttemperatur von 32 °C am Kondensatoreintritt, Nennförderhöhe der Pumpe: 48 kPa, Pufferspeicher: 32 Liter
Gebinde:	Zylindrischer Tank aus 1.4301 (Edelstahl), mit integrierter Wärmetauscherzone im oberen Bereich 950 mm Durchmesser, 1250 Liter Tankinhalt
Kaltwasserkreislauf:	½" Gummischlauch

Zur Bestimmung des k-Wertes der Kapillarrohrmatten ist der Versuchsaufbau, bis auf das Gebinde mit der äußeren Mattenanbringung, identisch. Die Abmaße, das Volumen sowie das Material sind wie beim ersten Gebinde gleich. Zum Schutz des Tanks vor Verunreinigung wurde dieser mit einer 0,1 mm dicken Reinaluminiumfolie ummantelt. Darauf sind zwei Matten (57 Kapillare, 2,38 m Länge im unteren Bereich sowie 87 Kapillare, 2,86 m Länge im oberen Bereich des Gebindes) mit einer gummielastischen Spachtelmasse aufgeklebt worden.

Um zu verhindern, dass die Umgebungsluft die Messungen beeinträchtigte, wurde eine ISOVER Mineraldämmwolle (Dicke 40 mm) um den Tank gelegt und dadurch die Kapillare isoliert.

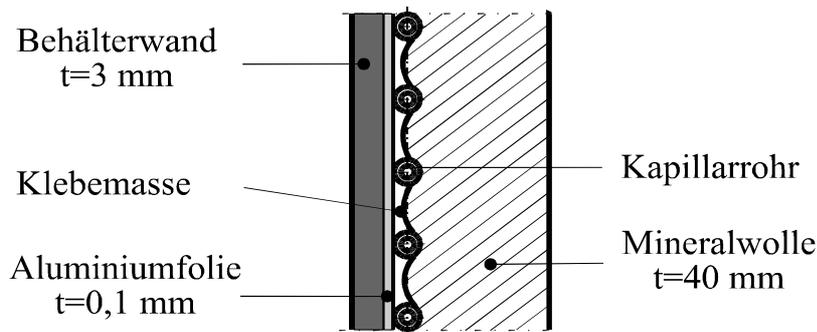


Abb. 36: Dämmung und Befestigung der Kapillarrohre außen am Gebinde

Versuchsdurchführung

In der Versuchsphase wurden alle Wärmetauscherelemente mit konstantem Kühlwasserstrom versorgt (jeweils mit Volumenströmen von 250, 500, 750, 1000 sowie 1250 l/h, außer bei den Kapillarrohrmatten außen und innen). Hier waren diese 150, 250, 350, 500 und 650 l/h. Höhere Durchsätze waren im Versuch nicht zu realisieren, da der Druckverlust stark ansteigt und dadurch die Pumpe überlastet. Dies trifft auch für die Platte 3 (Schadeck), bei mehr als 1000 l/h zu.

Die Tanktemperatur wurde, wie schon erwähnt, auf konstanten 25 °C mit einer Umwälzpumpe und einem Heizregister gehalten.

Nach einer von Volumenstrom zu Volumenstrom unterschiedlich langen Einlaufzeit, stellte sich eine stationäre Temperatur für Vor- und Rücklauf ein. War dieser Zustand erreicht, begann die Aufzeichnung der Messwerte, jeweils 30 Minuten lang im Minutentakt.

Die Auswertung der Daten fand mit Microsoft EXCEL statt.

Die Kalibrierung der Temperaturfühler wurde vor jeder Messreihe mit einem Temperiergerät auf 10 °C vollzogen. Die Messung des Volumenstromes mit der Durchflussturbine war durch Auslitern überprüft worden und wich in etwa 1,5 % vom Anzeigewert des Transmitters ab.

3.3.3.2 Auswertung

Im folgenden wird nur auf die zur Berechnung des k-Wertes erforderlichen Zusammenhänge eingegangen.

Bei den Wärmetauscherelementen kann das Modell „Wärmedurchgang durch eine einschichtige Wand“ angenommen werden (Ausnahme: Kapillarrohrmatte außen).

Die Wärme austauschende Oberfläche A entspricht hierbei der gesamten, von Tankwasser besetzten Oberfläche.

Die abzuführende Wärmeleistung \dot{Q}_{KW} entspricht dann genau der Leistung die durch den Durchlauferhitzer und die Umwälzpumpe in den Tank eingebracht wird, um die konstante Tanktemperatur von 25 °C zu gewährleisten. Diese Leistung errechnet sich aus der Beziehung:

$$\dot{Q} = k * A * \Delta t_m = \dot{m} * c_p * \Delta t$$

Da der Wärmestrom konstant ist und die gesamte Leistung durch die Wand des Wärmeübertragers abgeführt und vom Kühlwasser aufgenommen wird, lautet die Leistungsbilanzierung damit:

$$\dot{Q}_{KW} = \dot{m}_{KW} * c_{pW} * (t_{WR} - t_{WV})$$

kühlwasserseitig und

$$\dot{Q}_{Wand} = k * A * \Delta t_m$$

Wärmestrom durch die Wand.

Mit Δt_m , wird die gemittelte logarithmische Temperaturdifferenz eingeführt, da sich diese entlang der einzelnen Ströme der Oberfläche verändert.

$$\Delta t_m = \frac{(t_T - t_V) - (t_T - t_R)}{\ln \frac{t_T - t_V}{t_T - t_R}}$$

Der Massenstrom errechnet sich aus dem gemessenen Volumenstrom wie folgt:

$$\dot{m}_{KW} = \frac{\dot{V}_{KW} * \rho_W}{3,6 * 10^6}$$

Beim Gleichsetzen der beiden Leistungen ergibt sich dann nach Umstellen für den Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Wert):

$$k = \frac{\dot{m}_{KW} * c_{pW}}{A} * \ln \left(\frac{t_T - t_V}{t_T - t_R} \right)$$

$$\bar{k} = \frac{\sum_{i=1}^n k}{n}$$

\dot{Q} = Wärmestrom /kW

$t_V; t_R$ = Temperaturen Kühlwasser, Vor- und Rücklauf /°C

t_T = Tanktemperatur /°C

\dot{m}_{KW} = Massenstrom Kühlwasser /kg/s

\dot{V}_{KW} = Volumenstrom Kühlwasser /l/h

σ_W = Dichte von Wasser /kg/m³ (998,19 kg/m³ bei 1bar und 20°C)

c_{pW} = spezifische Wärmekapazität von Wasser /kJ/(kg*K)

A = Wärmeaustauschende Oberfläche (benetzte Fläche) / m²

k = Wärmedurchgangskoeffizient /W/(m²*K)

Bei der Berechnung des k-Wertes wurde hier nur der konvektive bzw. der Anteil der Wärmeleitung an der Wärmeübertragung berücksichtigt. Anteile in Form von Wärmestrahlung sind dabei vernachlässigt worden.

Auf die Berechnung des Messfehlers wird im Anhang näher eingegangen.

3.3.3.3 Ergebnisse

Die ermittelten k-Werte der einzelnen Messreihen sind der Übersicht halber tabellarisch zusammengefasst. Um den Vergleich der einzelnen Systeme besser ermöglichen zu können, wurden die ermittelten Ergebnisse nochmals in einer Grafik aufgearbeitet, in der der k-Wert über den Volumenstrom des Kühlmediums aufgetragen ist. Dadurch werden die unterschiedlichen Leistungsabstufungen besser sichtbar.

Tab. 1: Systemvergleich K-Wert

Platten Nr.	Firma	V _{KW} [l/h]	T _{KW Vorl.} [°C]	T _{KW Rückl.} [°C]	T _{Tank} [°C]	A [m ²]	m _{KW} [kg/s]	Q [W]	K [W/(m ² *K)]	Δk mittel [W/m ² /K]	dk max [W/m ² /K]	
1	Gasser	501				1,17	0,14		322	28	54	
		755					0,21		346	52	92	
		1004					0,28		372	34	61	
		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
		1500					0,42		404	69	114	
2	Hyfra	503				0,93	0,14		362	28	55	
		752					0,21		375	35	66	
		1007					0,28		408	64	1009	
		1250					0,35		419	66	110	
		1495					0,41		433	68	112	
3	Schadeck	250	11,2	21,0	25,0	0,919	0,07	2842	391	12	27	
		498	11,3	18,3	25,0		0,14	4043	450	14	32	
		752	12,0	17,1	25,0		0,21	4448	473	16	38	
		1003	12,8	16,6	24,7		0,28	4421	487	19	46	
		n.m.	n.m.	n.m.	n.m.		n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
4	Omega	251	12,5	20,7	24,9	0,913	0,07	2387	345	11	26	
		503	12,1	18,3	25,0		0,14	3617	419	14	32	
		751	11,7	16,7	25,0		0,21	4355	450	16	36	
		1002	12,2	16,2	25,0		0,28	4649	477	18	43	
		1251	14,0	16,9	24,9		0,35	4208	492	23	54	
5	Schärf	249	11,8	19,5	25,4	0,866	0,07	2224	279	8	20	
		507	11,7	17,3	25,0		0,14	3293	371	12	29	
		752	10,5	15,4	25,1		0,21	4274	412	13	33	
		1004	12,5	16,0	24,9		0,28	4076	446	18	44	
		1252	12,6	15,7	25,3		0,35	4502	469	20	49	
6	Buko	255	11,5	19,3	25,9	0,736	0,07	2307	314	8	22	
		499	11,6	16,9	25,0		0,14	3067	396	11	31	
		752	10,5	14,9	25,0		0,21	3838	429	13	36	
		1000	11,7	15,0	24,9		0,28	3827	453	16	45	
		1250	12,5	15,2	25,1		0,35	3914	475	19	54	
7	Becker	249	10,5	20,1	25,0	1,151	0,07	2772	272	10	18	
		502	9,3	16,9	25,0		0,14	4425	335	13	23	
		749	9,9	15,7	24,9		0,21	5039	369	15	27	
		1004	11,3	15,7	25,0		0,28	5124	392	18	34	
		1251	12,8	16,2	25,0		0,35	4933	412	22	41	
8	Becker	255	12,2	21,5	25,5	1,183	0,07	2751	300	12	22	
		501	12,2	18,7	25,0		0,14	3777	348	15	26	
		757	12,3	17,2	24,9		0,21	4302	366	17	30	
		1005	13,6	17,3	25,0		0,28	4313	387	20	37	
		1257	15,4	18,1	25,0		0,35	3936	407	26	48	
9	Secathen	249	12,1	20,9	25,0	1,125	0,07	2541	294	12	21	
		504	11,1	18,1	25,0		0,14	4092	364	14	26	
		749	11,2	16,6	24,9		0,21	4691	387	16	30	
		1006	12,1	16,3	25,0		0,28	4901	409	19	36	
		1252	15,4	18,1	25,0		0,35	3921	426	26	50	
10	Swep	254	11,3	19,9	25,1	1,170	0,07	2534	246	10	17	
		503	11,8	18,0	24,9		0,14	3617	320	13	24	
		751	10,7	16,0	24,7		0,21	4617	354	15	28	
		1003	12,1	16,3	25,4		0,28	4886	377	18	33	
		1255	13,2	16,5	25,2		0,35	4803	400	22	41	

Platten Nr.	Firma	V _{KW} [l/h]	T _{KW Vorl.} [°C]	T _{KW Rückl.} [°C]	T _{Tank} [°C]	A [m ²]	m _{KW} [kg/s]	Q [W]	K [W/(m ² *K)]	Δk mittel [W/m ² /K]	dk max [W/m ² /K]
11	Schärf	251	14,5	23,2	25,1	1,791	0,07	2533	279	14	25
		503	12,7	21,7	24,9		0,14	5251	436	18	33
		752	14,8	21,3	25,1		0,21	5669	486	22	40
		1000	16,9	21,4	25,1		0,28	5219	515	26	50
		1250	19,2	22,1	25,2		0,35	4204	535	36	68
12	Schärf	249	10,4	16,0	25,1	0,314	0,07	1617	441	5	33
		501	10,2	14,0	25,2		0,14	2208	541	7	49
		753	9,8	12,6	25,0		0,21	2445	566	9	62
		1006	10,3	12,5	25,2		0,28	2567	594	12	76
		1249	11,4	13,1	25,0		0,35	2463	616	15	96
13	Etscheid	256	11,6	19,9	25,0	0,900	0,07	2464	319	10	22
		505	12,1	18,2	25,1		0,14	3573	412	13	31
		755	15,3	19,2	25,1		0,21	3400	492	20	48
		1005	18,2	20,6	25,0		0,28	2798	564	32	76
		1249	19,9	21,6	25,1		0,35	2463	637	47	111
14	Clina	151	12,6	24,2	24,9	3,101	0,04	2032	162	33	21
		254	12,7	23,2	24,8		0,07	3093	192	26	18
		352	11,2	21,7	24,8		0,10	4287	195	22	14
		502	11,7	20,4	25,0		0,14	5065	199	21	14
		652	13,0	19,8	24,9		0,18	5142	207	23	16
15	Clina	154,19	12,12	18,41	25,1	1,355	0,04	1125	87	4	7
		251,29	11,44	16,81	25,1		0,07	1565	108	5	8
		349,77	11,43	15,61	25,2		0,10	1696	109	6	10
		506,55	11,39	14,54	25,1		0,14	1851	113	7	12
		650,84	12,02	14,51	25,1		0,18	1880	118	9	14

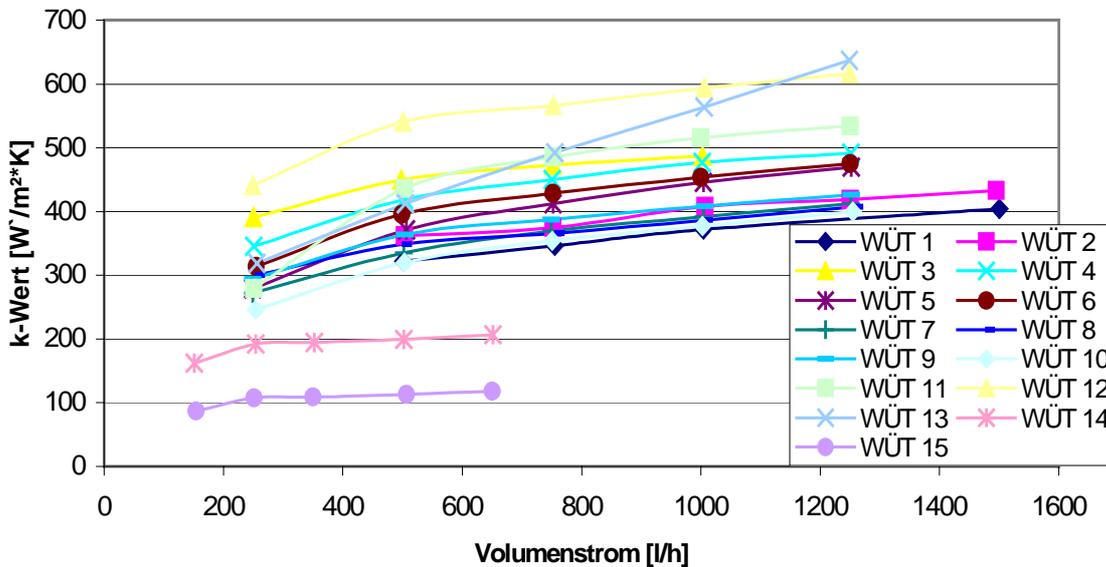


Abb. 37: k-Wert über dem Volumenstrom

3.3.3.4 Diskussion und Schlussbetrachtung

Bei allen Messreihen konnte dokumentiert werden, dass eine Steigerung des k-Wertes mit einer Erhöhung des Volumenstroms einher ging. Dieser stieg im unteren Bereich stark an, flachte sich bei höheren Durchsätzen allmählich ab und näherte sich einem Grenzwert an. Dies war auch beim flexiblen Wellrohr, welches einen sehr linearen k-Wert-Anstieg aufwies, für Volumenströme über 1250 l/h zu erkennen. Ab diesem Wert wurden alle Messungen abgebrochen. Die entstehenden Druckverluste konnten nicht mehr über die vorhandene Pumpe gedeckt werden. Die Messreihe zur Platte 3 der Fa. Schadeck musste auf Grund dieses Sachverhaltes bereits bei einem Volumenstrom von 1000 l/h abgebrochen werden.

Die k-Werte aller Wärmetauscherelemente lagen im Bereich zwischen 246 und 637 W/m²/K, mit Ausnahme der Kapillarrohrmatten-Ergebnisse der Fa. Clina, die sich in Bereichen unterhalb von 207 W/m²/K bewegten.

Die Gründe hierfür sind in den bei den Kapillaren vorliegenden sehr kleinen Durchflussquerschnitte (was die Strömungsgeschwindigkeit und dadurch auch die β -Zahl erhöht) sowie in dem stärker ins Gewicht fallenden gleichzeitig stark ansteigenden Druckverlust zu sehen. Deshalb war es wegen der zu erwartenden Pumpenüberlastung nicht möglich, Volumenströme über 650 l/h zu realisieren. Ferner wiesen die aus PVC bestehenden Röhrchen mit 0,17 W/m/K im Vergleich zu Edelstahl mit 21 W/m/K oder Aluminium mit 221 W/m/K, eine sehr ungünstige Wärmeleitfähigkeit auf.

Bei der außen am Tank angebrachten Kapillarrohrmatte waren die k-Werte nochmals etwa um den Faktor drei niedriger als bei der im Gebinde eingehängten, aufgerollten Matte.

In diesem Zusammenhang spielen drei Faktoren eine Rolle. Da die sich außen befindenden Matten mit einer gummielastischen Spachtelmasse auf eine Aluminiumfolie aufgeklebt werden müssen, ist es, selbst bei guter Verspannung, nicht zu vermeiden, dass zwischen Behälterwand und Alufolie Luft eingeschlossen wird. Da ferner die Rohrlänge, bedingt durch Fertigungstoleranzen, variiert, war es nicht möglich, alle Kapillare exakt an die Tankoberfläche anzuschmiegen. Aufgrund dessen konnte auch die für die Wärmeübertragung zur Verfügung stehende Oberfläche nur unzureichend ermittelt werden.

Diese Fläche ist mit einem Drittel der gesamten Rohraußenfläche angenommen worden.

Ferner konnten auch beim Wärmedurchgang Komplikationen in Form von zwischen PVC-Rohr und Alufolie eingeschlossener Luft sowie mehrschichtiger Behälterwand beobachtet werden. Der durch die Alufolie entstandene Widerstand war im Gegensatz zu dem der Luft relativ niedrig. Die β -Zahl von unbewegter Luft erwies sich als äußerst schlecht (Isolierwirkung), aber auch die Wärmeleitfähigkeit der aus organischer Substanz bestehenden Klebmasse war als gering erkennbar.

Allgemein ist noch anzumerken, dass der Wärmedurchgang aufgrund einer turbulenten Strömungsführung begünstigt wurde, was bei den Elementen Wellrohr, Banane, Platte 3 und Doppelmantel gut feststellbar war.

Trotz ähnlicher Bauform wiesen die Platten der Firmen SWEP (10) und Becker „Punkt“ (8) Unterschiede beim k-Wert auf, was wohl auf die größere Wandstärke sowie die dicker ausgelegten Platten der Firma SWEP (dadurch größerer Strömungsquerschnitt und somit geringere Wassergeschwindigkeit) zurückzuführen ist.

Bei der Auswahl der Wärmetauscherelemente war ein Kompromiss zwischen guten k-Werten durch verwinkelte Strömungsführung sowie dem dadurch gleichzeitig ansteigenden Druckverlust (erhöhte Pumpenleistung) zu finden.

Die zu den kleinen Elementen zählenden Wellrohre und Bananen sind trotz guter k-Werte nicht für großvolumige Gebinde geeignet, finden aber trotzdem ihren Platz im Weinkeller, da sie sehr flexibel (ohne Öffnen des Tankes) einsetzbar sind.

3.3.4 Ermittlung des Druckverlustes

Darüber hinaus wurde auch der Druckverlust der schon getesteten Wärmetauscher ermittelt. Für die Praxis ist dieser Wert ebenso relevant wie der k-Wert der Gärkühlsysteme, da dieser direkt mit den Energiekosten verbunden ist. Nicht so relevant ist er bei aus dem Trinkwassernetz gespeisten Anlagen. Hier ist der Druckverlust für den maximal durchsetzbaren Volumenstrom verantwortlich. Da das Wasserleitungsnetz nur einen gewissen Vordruck bietet, richtet sich nach ihm die durch die Platte(n) fließende Wassermenge. Der Druckverlust solcher hydraulischer Einbauten ist immer vom durchfließenden Volumenstrom abhängig, wie auch aus den entsprechenden Diagrammen gut erkennbar. Aufgrund dessen ist für ein solches System, in Verbindung mit dem durch die Strömungsmaschine (Pumpe/Verdichter) erzeugten Vordruck, der Volumenstrom festgelegt. Da jedoch für eine günstige Wärmeabfuhr auch ein höherer Volumenstrom notwendig ist, muss die Umwälzpumpe entsprechend dimensioniert sein.

In diesem Zusammenhang stellt also ein Wärmeüberträger, der neben einem hohen k-Wert auch einen geringen Druckverlust besitzt, die optimale Lösung dar.

3.3.4.1 Material und Methoden

Versuchsaufbau

Die Druckverluste der einzelnen Wärmetauscherelemente wurden mit dem gleichen Apparate-Aufbau wie bei der k-Wertbestimmung, allerdings außerhalb des Gebindes, ermittelt. Als Sensor diente ein Differenzdruckmesser, der unmittelbar am Aus- und Einlauf der Elemente den Druckverlust erfasste.

Eingesetzte Geräte

Druckmessung:	Druckmesser der Fa. Schoppe & Faeser GmbH 2-Leitertechnik, 4 – 20 mA, werkseitig kalibriert, Spannung: 12 – 45 V/DC Messanfang: - 16...+16 bar Messspanne: 3,2 ... 16 bar Messbereich: 0 – 3500 mbar
Anzeigegerät:	Anzeige über Mikroprozessordigitalanzeige für Normsignale GIA 1000 NS der Fa. Greisinger 4 – 20 mA, Messbereich –1999 bis 9999 Digit Genauigkeit: $\pm 0,1\%$, ± 1 Digit Auflösung: Dezimalpunkt beliebig setzbar

Versuchsdurchführung

Der Druckverlust wurde für die Wärmetauscherelemente bei Durchflussmengen von jeweils 250, 500, 750 sowie 1000 l/h bestimmt und, wenn druckverlustbedingt, auch bei 2500 l/h. Bei den Kapillarrohrmatten lag die Ermittlung bei 150, 250, 350, 500 und 600 l/h.

Dabei wurde mit der Aufnahme der Werte begonnen, sobald sich ein stationärer Druck einstellte. Für Druck und Volumenstrom des Kühlwassers sind jeweils 15 Werte im Abstand von 30 Sekunden aufgenommen worden.

3.3.4.2 Ergebnisse

Wie schon bei den k-Werten wurden die einzelnen Versuchsreihen aus Gründen der Übersichtlichkeit auch hier in einer Tabelle zusammengefasst. Da jedoch der Vergleich der einzelnen Wärmeübertrager aus einem Diagramm besser erkennbar ist, wurden die ermittelten Wert auch noch grafisch dargestellt.

Tab.:2: Systemvergleich Druckverlust

Platten Nr.	Datum	Wärmetauscher Typ	Firma	V_{KW} [l/h]	Δp [mbar]	A [m ²]	$\Delta p/A$ [mbar/m ²]	$\Delta p/k$ [mbar/W/m ² /K]
1	alt	Platte	Gasser	501	42	1,17	36	0,130
				755	82		70	0,237
				1004	130		111	0,349
				k.A.	k.A.		k.A.	k.A.
				1500	251		215	0,621
2	alt	Platte	Hyfra	503	23	0,93	25	0,064
				752	46		49	0,123
				1007	76		82	0,186
				1250	107		115	0,255
				1495	149		160	0,344
3	22.01.2001	Platte	Schadeck	255	144	0,919	157	0,369
				506	453		493	1,008
				749	923		1005	1,953
				1002	1573		1712	3,230
				1254	2352		2560	k.A.,
4	22.01.2001	Platte	Omega	258	15	0,913	16	0,043
				502	46		50	0,110
				749	94		103	0,209
				1001	165		181	0,346
				1250	251		275	0,511
5	22.01.2001	Platte	Schärf	255	25	0,886	28	0,090
				504	78		88	0,210
				751	165		186	0,401
				999	280		316	0,628
				1252	426		481	0,908
6	20.03.2001	Platte	Buko	256	9	0,736	12	0,029
				499	30		41	0,076
				751	65		88	0,152
				1000	110		149	0,243
				1248	165		224	0,347
7	22.01.2001	Platte	Becker (Raute)	254	24	1,151	21	0,088
				504	79		69	0,236
				749	161		140	0,436
				1001	269		234	0,686
				1249	395		343	0,959
8	22.01.2001	Platte	Becker (Punkt)	251	14	1,183	12	0,047
				499	47		40	0,135
				753	100		85	0,274
				1000	171		145	0,442
				1253	261		221	0,641

Platten Nr.	Datum	Wärmetauscher Typ	Firma	V_{KW} [l/h]	Δp [mbar]	A [m ²]	$\Delta p/A$ [mbar/m ²]	$\Delta p/k$ [mbar/W/m ² /K]
9	22.01.2001	Platte	Secathen	253	38	1,125	34	0,129
				498	121		108	0,332
				750	257		228	0,664
				1004	430		382	1,053
				1257	648		576	1,520
10	22.01.2001	Platte	SWEP	248	20	1,170	17	0,081
				503	62		53	0,194
				746	119		102	0,336
				1007	210		179	0,557
				1249	316		270	0,790
11	22.01.2001	Doppelmantel	Schärf	255	34	1,791	19	0,122
				501	113		63	0,259
				753	236		132	0,486
				1002	382		213	0,741
				1251	567		317	1,061
12	22.01.2001	Banane	Schärf	256	42	0,314	134	0,095
				501	140		446	0,259
				748	295		939	0,521
				1001	501		1596	0,844
				1252	763		2430	1,239
13	22.01.2001	Wellrohr	Etscheid	253	60	0,900	67	0,188
				500	201		223	0,488
				750	426		473	0,866
				1008	727		808	1,289
				1247	1069		1188	1,678
14	22.01.2001	Kapillare innen	Clina	152	364	3,101	117	2,249
				248	709		229	3,689
				355	1213		391	6,231
				499	2006		647	10,063
				653	2998		967	14,509
15	20.03.2001	Kapillare außen	Clina	152	47	1,36	34	0,534
				259	118		87	1,097
				346	200		147	1,836
				506	392		290	3,464
				652	620		457	5,251
				752	798		589	k.A.
				1003	1532		1131	k.A.

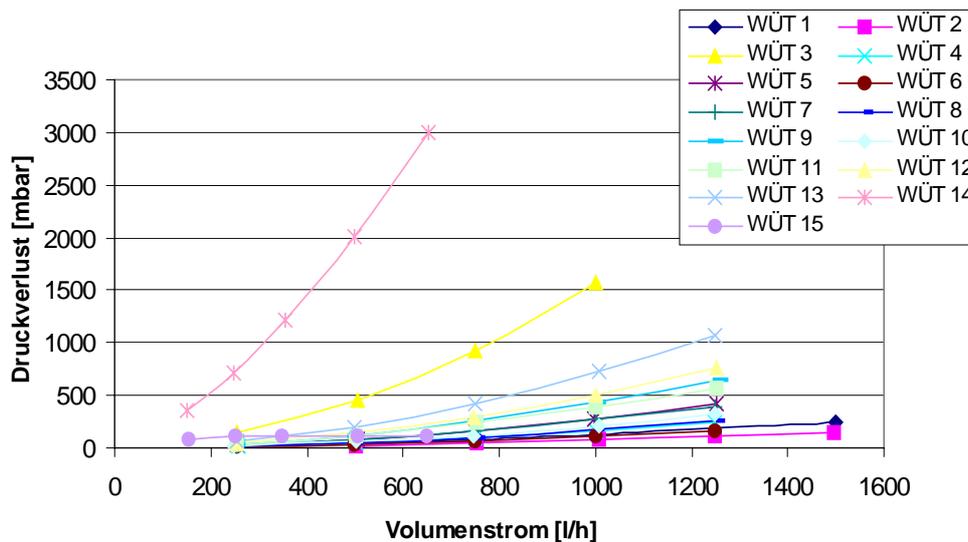


Abb. 38: Druckverlust über dem Volumenstrom

3.3.4.3 Diskussion der Ergebnisse

Um eine Vergleichbarkeit der Messwerte erzielen zu können, war es notwendig, die Druckverluste in Relation zur wärmeübertragenden Fläche sowie zum k-Wert zu setzen. Zum einen wurde dadurch ein Zusammenhang zur Elementgeometrie hergestellt (da die einzelnen Wärmeübertragungsflächen der Elemente unterschiedlich sind) sowie zum anderen ein Zusammenhang zum Wärmedurchgangsverhalten aufgezeigt.

Aus dem Diagramm 38 kann direkt das Gesamtverhalten der Wärmetauscherelemente abgelesen werden; dabei sind Nutzen (hohe k-Werte) und Aufwand (Pumpenleistung bzw. Druckverlust) in Relation gesetzt. Die absoluten Werte der Druckverluste, die zur Bestimmung der Leistungsaufnahme einer Pumpe für den Kühlmediumstrom notwendig wären, können den Tabellen entnommen werden.

Die Platte der Fa. Bucu schnitt mit der flachsten Kurve, bei mittleren k-Werten und geringem Druckverlust, am besten ab. Von allen Platten wies die Platte 3 die schlechtesten Werte auf (guter Wärmedurchgang, aufgrund der verwundenen Strömungsführung, aber auch hoher Druckverlust).

Aus Diagramm 38 ist zu erkennen, dass die Druckverluste der Kapillarrohrwärmetauscher, im Verhältnis zu den restlichen Messreihen, sehr hoch lagen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die einzelnen Kapillare nur kleine Strömungsquerschnitte aufwiesen, somit also hohe Fließgeschwindigkeiten von Wasser in den Rohren und damit verbundenen auch hohe Druckverluste hatten.

Die Verluste der außen angebrachten Matten sind etwas geringer, da hier zwei Matten parallel geschaltet wurden und sich der Volumenstrom aufteilte. Es ist möglich, in dieser Konstellation Durchsätze bis 1000 l/h zu erreichen, was mit einer einzelnen Matte mit max. 650 l/h nicht machbar wäre.

Die Werte der meisten Elemente bewegten sich in einem Mittelfeld, bei Druckverlusten bis 576 mbar. Im allgemeinen hatten diejenigen Platten bessere Werte, welche punktförmig verschweißt sind (wie die Platten 4, 5, 8 und 10). Beim Durchfließen der Innenräume entstand somit eine gute Quervermischung des Stroms, bei geringem Druckverlust. Ein wenig schlechter schnitten die Platten 7 und 9 mit rohr- oder rautenförmigen Strömungskanälen ab (mittlere Druckverluste bei mittleren k-Werten). Eine Ausnahme bildete dabei die Platte 6 der Fa. Bucu.

Wie schon erwähnt, haben die Elemente mit einem guten k-Wert in der Regel auch hohe Druckverluste, mit Ausnahme der Kapillarrohrmatten, was an den Kurven der Banane und dem Wellrohr-Wärmetauscher festgestellt werden kann. Die Druckverluste sind hierbei der verwinkelten Strömungsführung zuzuweisen.

3.3.5 Fowling und Reinigungsverhalten der Platten

3.3.5.1 Was ist Fowling und was sind seine Einflussfaktoren?

Unter Fowling versteht man im allgemeinen die Belegung der Oberfläche eines Wärmeübertrages mit organisch oder auch anorganischen Schmutzschichten, was zu einem schlechteren Wärmeübergang führt. Für den Weinbau ist jedoch stärker die Reinigungsfähigkeit solcher Platten von Interesse. Deshalb wurde auch auf dieses Thema bei den Untersuchungen größerer Wert gelegt.

3.3.5.2 Versuchsdurchführung

Zur Bestimmung des Fowlingverhaltens wurden die Platten 5, 7, 8 und 9 sowie die Banane und das Wellrohr in einen Gärtank mit 4 500 Liter Volumen, gefüllt mit Silvanermost, eingebracht. Über die gesamte Gärphase, also über einen Zeitraum von 14 Tagen, sind diese Elemente im Gebinde verblieben. Da die Befestigungsmöglichkeiten im Gebinde selbst gering sind, konnten die Platten sowie die Banane nur schräg an die Seitenwand angelehnt werden. Darüber hinaus standen die Platten auf dem Kopf, um zu gewährleisten, dass sich diese im gärenden Most und nicht in dem am Boden abgesetzten Hefetrub befanden. Das Wellrohr wurde in den Tank eingehängt. Nach der Entnahme, wurden die Elemente optisch begutachtet sowie eine Kontrolle der Festigkeit und Haftung der Beläge durch eine Fingerprobe vorgenommen. Die Elemente wurden bereits 5 Stunden vor Versuchsbeginn aus dem Tank genommen und waren abgetrocknet.

Zur Bewertung des Reinigungsverhaltens wurden alle Wärmetauscher mit steigender Intensität gesäubert und dabei der Zeitaufwand gemessen. Erste Stufe: Reinigung mit einem leichten Sprühstrahl mit kaltem Wasser aus 0,5 m Entfernung, 1 Minute. Zweite Stufe: Mit mittelstarkem Strahl 1 Minute lang aus 1 m Entfernung. Dritte Stufe: Kalter starker Vollstrahl aus 1 m Entfernung, 1 Minute. Letzte Stufe: Mechanische Reinigung mit kaltem und heißem Wasser.

3.3.5.3 Auswertung

Bei der ersten Betrachtung nach Entnahme der Elemente konnte folgendes beobachtet werden (die dazugehörigen Bilder sind im Anhang beigefügt):

Platte 5 (Schärf):	Einseitiger Weinsteinansatz geringer Dicke, Weinstein sitzt nicht fest (Fingerprobe) ca. 3/5 der Platte mit Weinstein und Hefetrub belegt
Platte 7 (Becker-R.):	Leichter, einseitiger Weinstein- und Hefetrubansatz, mit Finger leicht zu lösen
Platte 8 (Becker-P.):	Leichter, einseitiger Weinstein- und Hefetrubansatz, mit Finger leicht zu lösen
Platte 9 (Secathen):	Platte sehr sauber, kein Weinsteinansatz
Nr. 12 - Banane:	Weinstein und Hefetrubansatz an drei Seiten, Weinstein mit Finger auf gesamter Länge schlecht lösbar
Nr. 13 - Wellrohr:	Starker Weinsteinansatz in den Rillen, mit Finger nur bedingt lösbar

Tab. 3: Reinigungsverhalten verschiedener Wärmetauscher

Art der Reinigung	leichter kalter Sprühstrahl 0,5 m, 1 min	mittelstarker kalter Sprühstrahl 1 m, 1 min	kalter starker Vollstrahl 1 m, 1 min
Platte 5	Rückstandslos sauber Nach 1 min	-----	-----
Platte 7	Rückstandslos sauber Nach 1 min	-----	-----
Platte 8	sauber nach 1 min, nur Reste an Oberflächen- beschädigungen	restlos sauber nach 10 s	-----
Platte 9	rückstandslos sauber nach 1 min	-----	-----
12 Banane	Rückstände außen sowie in den Zwischenräumen nach 1 min	nur unwesentlich sauberer, innen wie außen	keine Verbesserung der Rei- nigung, weitere Verfahrens- weise siehe unten
13 Wellrohr	rückstandslos sauber nach 1 min	-----	-----

Die weitere Reinigung der Banane musste mechanisch mit einer Bürste und heißem Wasser, teilweise sogar mit der aus Holz bestehenden Bürstenrückseite, vorgenommen werden. Dabei betrug die Reinigungszeit 10 Minuten; die Zwischenräume waren nicht zu säubern.

3.3.5.4 Diskussion der Ergebnisse

Abgesehen von der Banane konnten alle Platten sowie das Wellrohr ohne größeren Aufwand problemlos gereinigt werden. Voraussetzung dafür ist ihre sehr gut bearbeitete Oberfläche (elektropoliert, verschweißte Plattenkanten, einwandfreie Verarbeitung der Schweißnähte sowie nicht Vorhandensein erhabener Stellen, an denen sich Weinstein anlagern kann). An Stellen, die z.B. durch Kratzer eine Oberflächenbeschädigung aufwiesen, ließ sich zwar eine Belagsbildung erkennen, die aber ohne Probleme entfernt werden konnte. Hervor zu heben ist ferner, dass lediglich ein kalter Wassersprühstrahl mit Leitungsdruck, jedoch kein Hochdruckreiniger o.ä. zum Einsatz kam.

Im Gegensatz dazu ließ sich die Banane aufgrund ihrer durch Umformarbeiten entstandenen Riefen an der Oberfläche (dadurch Weinsteinanlagerungen) sehr schlecht reinigen. Ferner sind die ausgelegten Zwischenräume der einzelnen Stränge mit 2 mm sehr eng und dadurch auch schlecht zu säubern. Darüber hinaus könnte bei schlechter Reinigung, nach mehrmaligem Gebrauch, ein völliger Verschluss dieser Zwischenräume auftreten, was zur Folge hätte, dass ein Verlust der wärmeübertragenden Fläche von etwa 25 % entstehen würde.

Spaltkorrosion kann bei allen Elementen ausgeschlossen werden, da die Kanten sauber verschweißt und somit verschlossen sind.

Im Vergleich zu gebeizten oder unbehandelten Elementen, wiesen die elektropolierten Platten klare Vorteile bezüglich ihres guten Reinigungsverhaltens auf und sind aufgrund dessen auch geeigneter für kellertechnische Belange.

3.4 Rentabilität von Eisspeichern in der Gärkühlung

Eisspeicher könnten sich für eine Gärkühlung als durchaus interessant erweisen. Diese sind in der Lage Spitzenlasten an Kälteleistung als eine Art „Kälteakku“ abzapfen. Demzufolge könnte

in vielen Fällen auf einen Teil der Leistung der Kompressionskälteaggregate verzichtet werden. Somit könnte auch ein nur die Grundlast abdeckendes kleineres Gerät genügen. Da der vorhandene Eisspeicher die erforderliche Spitzenleistung dann temporär liefert, könnten sich entsprechend hohe Einsparungen bei den Investitionskosten ergeben.

3.4.1 Funktionsprinzip

Das physikalische/thermodynamische Grundprinzip beruht auf der latenten Schmelzwärme von Wasser, die erheblich größer ist als dessen Wärmekapazität.

Deshalb ist es möglich, mit annähernd gleichem Volumen ein Vielfaches der Wärmemenge aufzunehmen. Zum Vergleich hat Wasser eine spezifische Wärmekapazität von $c_p=4,218 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ bei 0°C . Im Gegensatz dazu beträgt die latente Schmelzwärme $\Delta h_{\text{schm}}=333,8 \text{ kJ/kg}$ bei 1,013 bar. Dies bedeutet ein Faktor von ca. 80 an entsprechender Wärmeaufnahme.

Somit könnten 1000 kg Wasser eine Wärmemenge von 333,8 MJ speichern, was 92,7 kWh entspricht. Speicher solcher Größenordnungen besitzen Kälteleistungen bis zu 10 kW Spitzenlast.

Technisch gesehen ist es auch möglich, Kühlmitteltemperaturen unter 0°C zu erzeugen, wenn dem Speichermedium (meist Wasser) Gefrierpunkterniedriger zugegeben würden. Dabei können auch Solen mit Temperaturen unter -11°C als Latentwärmespeicher eingesetzt werden. Dies hat den Vorteil, dass eine größere Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträger- (Kühlkreislauf) sowie Wärmespeichermedium vorherrscht und dadurch höhere Leistungen zu erreichen sind. Darüber hinaus können auch tiefere Temperaturen im Wärmeträgermedium gefahren werden (um z.B. Gefrierhäuser - unter 0°C - zu versorgen), was jedoch für die Mostkühlung nicht von Bedeutung ist.

Technisch gesehen, besteht ein Eisspeicher aus folgenden zwei Baugruppen:

Einem mit Wasser oder Solemedium (das während der Ladephase zu Eis erstarrt) gefüllten Behälter und einem sich im Behälter befindenden Wärmetauscher. Dieser füllt allerdings das Volumen homogen aus, da Eis bekanntlich keine guten Wärmeleiteigenschaften besitzt. Darüber hinaus sind die Abstände der einzelnen WÜT-Elemente⁽¹⁾ nicht all zu groß, da sonst die Übertragungsleistung, auf Grund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Eises, nicht ausreichen würde.

Bei solchen Systemen ist allerdings darauf zu achten, dass diese nicht „überladen werden“, da sich Eis mit abnehmender Temperatur ausdehnt und somit den Speicher zerstören würde.

Das Prinzip der Kälteleistungsspeicherung kann genutzt werden, um Spitzenlasten an Kältebedarf abzuf puffern, die im regulären Betrieb auftreten können. Dabei muss das Kälteaggregat nicht auf die möglicherweise nur zwei mal im Jahr auftretende Spitzenlast ausgelegt sondern nur auf die Durchschnittslast dimensioniert werden, da der Kältespeicher als Leistungsreserve zur Verfügung steht. Ferner wäre ein nächtliches Laden der Kältespeicher mit günstigerem Strom denkbar. Am Tage müsste das Kühlaggregat nur noch mit halber Leistung betrieben werden, da ein Teil der Wärme an den Latentspeicher abgegeben werden kann.

Aus diesem Grunde wären Eisspeicher durchaus zur Senkung der Investitions- sowie Energiekosten geeignet.

(1) WÜT: Wärmeüberträger

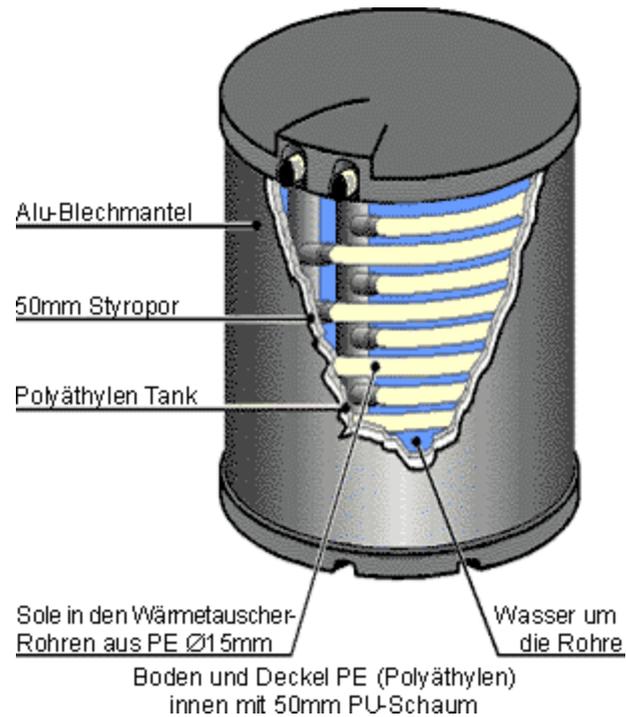


Abb. 39: Funktionsskizze eines Eisspeichers

3.4.2 Rentabilitätsbetrachtung

Aufgrund der Untersuchungen war festzustellen, dass der Einsatz eines solchen Systems wegen der relativ hohen Investitionskosten (ab 10 000 €) selbst für größere Genossenschaftsbetriebe, die einen erheblich stärkeren Kühlbedarf haben, nicht rentabel ist. Diese Systeme sind für wesentlich größere Mengen an Kälteenergie konzipiert (ab 500 kW Kälteleistung). Die Vorhaltung von Kompressionskälteleistungen in Form von zusätzlichen Geräten ist bei der Gärkühlung immer noch billiger als auf die Pufferung mit einem Eisspeicher zurückzugreifen. Somit eignen sich solche Systeme für den hier in Frage kommenden Einsatzbereich nicht.

4 Auslegung von Wärmeüberträgersystemen in der Gärkühlung

In erster Linie beschränkte sich die hier dargestellte Auslegung von Wärmeüberträgersystemen auf Kühlplatten die in Tanks eingebaut werden, da diese nicht nur die Mehrheit der vorhandenen Systeme darstellen sondern auch speziell für den jeweiligen Betrieb angepasst werden können. Andere Systeme, wie z.B. das Berieseln der Tankoberfläche, sind zwar auch weit verbreitet, jedoch ist hier auch keine Auslegung erforderlich.

Um eine möglichst einfache Auslegung zu erhalten, wurden entsprechende Diagramme erstellt, die alle notwendigen Kenndaten beinhalten, um so die jeweilige Plattengröße bestimmen zu können.

4.1 Welche Informationen werden für die Auslegung benötigt?

Um eine entsprechende Auslegung vornehmen zu können, müssen bestimmte Kenndaten vorhanden sein. Aufgrund dieser Angaben können dann die in den folgenden Diagrammen (Abbildungen 40 und 41) angegebenen Werte abgelesen werden.

Benötigt werden folgende Daten:

- ÷ **Maximale Mosttemperatur (T₂):** Dabei handelt es sich um die Temperatur, die der Most während der Gärungsphase nicht überschreiten sollte.
- ÷ **Temperatur des Zulaufmediums (T₁):** Dies kann sowohl die Temperatur des Leitungswassers sein, wenn die Platte mit diesem gespeist wird oder die Temperatur des aus dem Kaltwassersatz ausfließenden Wassers oder die Zulauftemperatur des Kältemediums, das im Kreislauf gepumpt wird.
- ÷ **Volumenstrom (V):** In diesem Zusammenhang spielt der Volumenstrom eine entscheidende Rolle, da von ihm der k-Wert des Wärmeüberträgers (WÜT) abhängt. Dieser wird durch den Druckverlust des WÜT bestimmt. Wird ein Kaltwassersatz am Trinkwassernetz oder das Trinkwassernetz direkt als Speisequelle des Kältemediums eingesetzt, sollte darauf geachtet werden, dass sich ein Volumenstrom von maximal 100 l pro Stunde einstellt. Da erfahrungsgemäß der Druckverlust der Platten maximal bei ca. 0,4 bar liegt, der Wasserleitungsvordruck jedoch erheblich höher ist, müsste über eine Androsselung, die durch ein hinter dem WÜT anzubringendes einfaches Ventil erfolgen könnte, nachgedacht werden. Aufgrund dessen kann eine erhebliche Wassermenge eingespart werden. Von noch größerer Bedeutung ist der Volumenstrom für Anlagen, die im Kreislaufbetrieb über einen Kaltwasserspeicher gefahren werden. Dabei ist die Pumpe, die sich im System befindet, maßgebend. Kreiselpumpen können einen Differenzdruck um die 300 mbar erzeugen. Dies entspricht beim Einsatz von durchschnittlichen Kühlplatte einer Umwälzmenge von ca. 1 m³/h. Ebenso ist darauf zu achten, dass beim Einsatz mehrerer Kühlplatten, wie es in der Regel der Fall ist, die Umwälzpumpe genug Leistungsreserven bietet. Zusammenfassend ist festzustellen, dass beim Einsatz einer Kreiselpumpe, wenn keine näheren Angaben über den Volumenstrom bekannt sind, mit durchschnittlich 1 m³/h gerechnet werden kann.
- ÷ **k-Wert der Platte, die eingesetzt werden soll (k):** Hat sich der Interessent für einen Hersteller entschieden, kann aus den erstellten Diagrammen der entsprechende k-Wert der jeweiligen Platte entnommen werden, der sich, wie schon erwähnt, nach dem Volumenstrom im WÜT richtet. Somit kann für den zutreffenden Volumenstrom der entsprechende k-Wert abgelesen werden.

- ÷ **Größe des Gärtanks:** Die Angabe der Größe des Gärtanks wird in Diagramm1 benötigt. Alle Angaben beziehen sich auf Liter.

4.2 Zusätzliche Hinweise (Werkstoffwahl)

Als Materialien für die Wärmetauscherplatten werden ausschließlich korrosionsbeständige Stähle verwendet. Diese sind bereits in der Lebensmittelindustrie weit verbreitet. Die Beständigkeit des Stahls gegenüber dem Most, der aufgrund seiner enthaltenen organischen und anorganischen Säuren doch recht aggressiv wirken kann, ist auf den sich in der Legierung befindenden hohen Chromanteil zurückzuführen. Ab einem Wert von etwa 12 bis 13 % bildet sich eine Cr-Oxidschicht (Passivschicht) an der Oberfläche, die durch ihre gute Stabilität ein sogenanntes „Rosten“ verhindert. In diesem Zusammenhang befinden sich jedoch unterschiedliche austenitische CrNi–Stahlmaterialien auf dem Markt, die je nach Einsatz und Verarbeitung verschiedene Anteile an Cr und Ni oder auch noch zusätzliche Metalle (z.B. Ti oder Nb; Verschweißbarkeit) besitzen.

Zur näheren Information sind daher im folgenden einige für den Einsatz im Lebensmittelbereich geeignete Stahlmaterialien entsprechend aufgelistet:

Bezeichnung	Werkstoffnummer	Eigenschaft
X 5 CrNi	1.4301	nicht schweißgeeignet ⁽¹⁾
X 10 CrNiTi	1.4541	schweißgeeignet
X 5 CrNiMo	1.4401	nicht schweißgeeignet ⁽¹⁾
X 10 CrNiMoTi	1.4571	schweißgeeignet

(1) Es kann zu Korrosionsproblemen an den Schweißnähten kommen

Darüber hinaus sollte besonders beim Einsatz nicht schweißgeeigneter Materialien auf Korrosionsschäden an den Schweißnähten, aufgrund auftretender Gefügeveränderungen (interkristalliner Korngrenzenzerfall), geachtet werden.

Ein weiteres Problem, das im Zusammenhang mit Cr-haltigen Edelstahlmaterialien auftreten kann, stellt der sogenannte Lochfraß dar, der auf eine Zerstörung der Passivschicht durch Cl⁻ und SO₃²⁻-Ionen zurückzuführen ist.

4.3 Auslegung

Die entsprechende Auslegung ist in zwei Diagrammen zusammengefasst, um diese möglichst einfach zu gestalten. Dabei dient das erste zur Berechnung der abzuführenden Wärmemenge und das zweite zur Festlegung der Plattengröße.

In diesem Zusammenhang muss zunächst die Temperaturdifferenz zwischen dem Eintritt des Kühlmediums und der maximalen Mosttemperatur ermittelt (Subtrahierung T1 von T2) sowie die entsprechende Tankgröße ausgewählt werden (Linienschar im Diagramm).

Im Anschluss ist dann der im Auslegungs-Diagramm 1 (Abb. 40) zu der entsprechenden Tankgröße und Temperaturdifferenz gehörende Y-Wert abzulesen, der für das Diagramm 2 zwingend erforderlich ist.

Im Diagramm 2 (Abb. 41) wird der k-Wert der Platte, die verwendet werden soll, aufgeführt. Um diesen Wert zu erhalten, muss jedoch wiederum der Volumenstrom des Kältemediums durch diese Platte bekannt sein. Sollte der Fall eintreten, dass die Werte des Volumenstroms nicht vorhanden sind, geht man von 1 m³/h als Erfahrungswert für ein Kreislaufsystem mit Kreiselpumpe aus.

Ist ferner auch der entsprechende k-Wert nicht bekannt, kann, um überhaupt eine Auslegungsabschätzung vornehmen zu können, ein Durchschnittswert von $350 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{k})$ angenommen werden.

Aufgrund dieser Berechnungen erhält man somit die für das jeweilige System benötigte Plattengröße.

Zur besseren Übersicht sind die Auslegungs-Diagramme 1 und 2 nochmals in einem größeren Format im Anhang beigefügt.

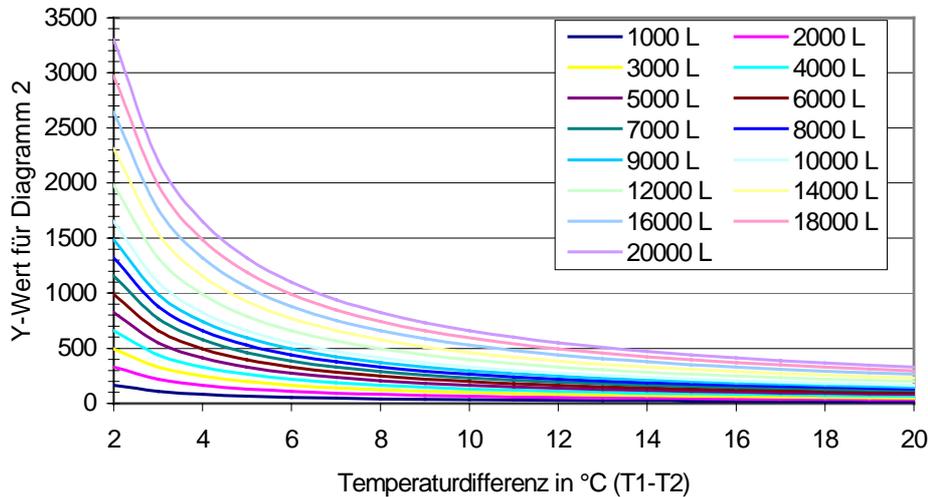


Abb. 40: Auslegungsdiagramm 1

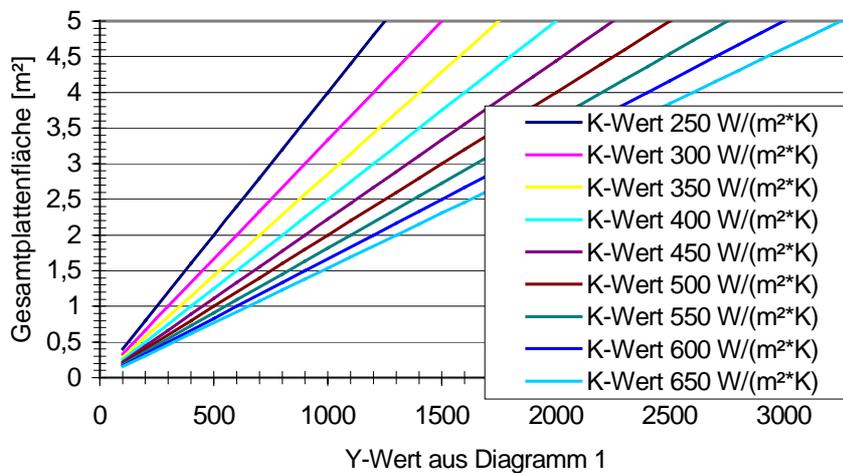


Abb. 41: Auslegungsdiagramm 2

Die erhaltenen Ergebnisse aus den Auslegungshinweisen sind als Richtwerte zu verstehen. Allerdings beschreiben diese immer den günstigsten Fall, so dass genug Leistungsreserve nach oben hin vorhanden ist.

Der aus Diagramm 1 abgelesene Y-Wert entspricht einer Wärmeleistungsmenge, die der Most bei maximaler Aktivität entwickelt. Diese ergibt sich aus der Mostmenge (Tankvolumina) und der treibenden Temperaturdifferenz.

Da nun die abzuführende Wärmemenge bekannt ist, kann über den k-Wert die Plattenfläche ermittelt werden, was in Diagramm 2 realisiert werden.

Den Diagrammen liegen folgende Gleichungen zu Grunde:

Diagramm 1:

$$\Psi = \frac{V \cdot 0,33 \frac{\text{W}}{\text{l}}}{T_1 - T_2} \quad (1)$$

Ψ entspricht dabei dem Y-Wert im Diagramm.

Diagramm 2:

$$A = \frac{\Psi}{k} \quad (2)$$

Die Auslegung kann auch anhand der Formel erfolgen. Der Übersicht halber ist (1) und (2) nochmals zu (3) zusammengefasst.

$$A = \frac{V \cdot 0,33 \frac{\text{W}}{\text{l}}}{(T_1 - T_2) \cdot k} \quad (3)$$

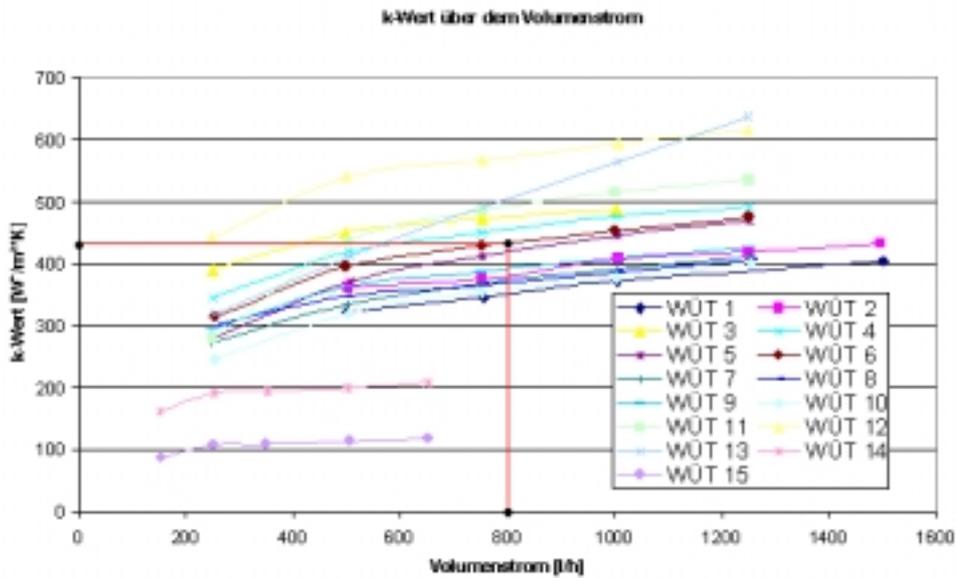
Von den Herstellern solcher Wärmetauscher werden verschiedene Größenklassen mit unterschiedlichen Abstufungen angeboten. Deshalb sollte vor einer Anschaffung immer überlegt werden, welches Größenmodell für das jeweilige System das richtige ist.

4.4 Beispiel einer Auslegung

Anhand eines konstruierten Beispiels wird nun die Wahl der entsprechenden Plattengröße für einen Tank erläutert.

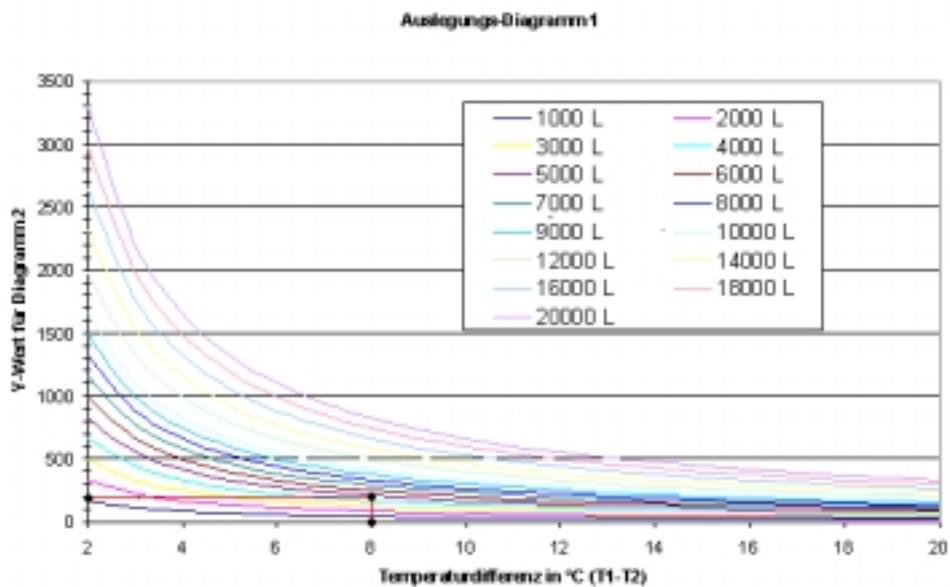
Es wird angenommen, dass ein Gärbehälter mit 5 000 l Volumen, durch einen Kältekreislauf, der eine Kühlmediumtemperatur von 10 °C besitzt, versorgt werden soll. Die Vergärung ist bei 18 °C vorgesehen. Der Volumenstrom im Kühlkreislauf beträgt 0,8 m³/h. Als Platte wird Typ Nr. 6 ausgewählt.

Wie aus Abbildung 37 Seite 52 ersichtlich, ergibt sich für die Platte 6, bei einem

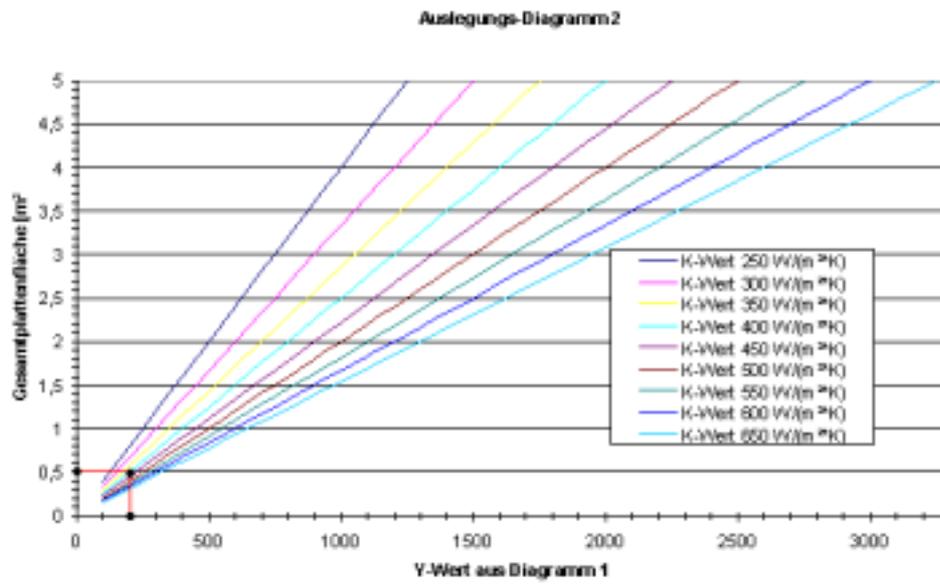


Volumenstrom von 0,8 m³/h, ein k-Wert von rund 430 W/(m²·K).

Aufgrund des bekannten Gärraumvolumens von 5 000 l sowie der Temperaturdifferenz von 8 °C zwischen Kühlmittel- und maximaler Mosttemperatur, ergibt sich ein Y-Wert von ca. 200 (abzulesen aus dem Auslegungs-Diagramm 1).



Anhand des Auslegungs-Diagramms 2 kann nun die Fläche des Wärmeübertrages bestimmt werden. Hierbei resultiert für die genannten Randbedingungen eine Gesamtfläche von 0,5 m².



5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Akzeptanz der Kältetechnik in der Weinwirtschaft, ermittelt über eine bundesweite Recherche, ist mittlerweile relativ hoch. Deutlich wird dies an der großen Anzahl von Systemen, die sich im praktischen Einsatz befinden. Als Motivation für bereits getätigte oder noch bevorstehende Investitionen wird primär die Erhöhung der Qualität der so erzeugten Weine angeführt. Sekundär hingegen ist das Einsparen von Wasser- und Abwasserkosten. Hier lassen sich in Zukunft, wie die Analyse der Ver- und Entsorgungskosten zeigt, Einsparungspotentiale realisieren.

Kurzfristig beabsichtigen über 50 % der Betriebe sowohl neu zu investieren als auch bestehende Berieselungskühlanlagen auf Systeme mit Kälteaggregaten umzurüsten.

Jedoch sind auch Schwächen und Kritikpunkte dieser Technologie bereits erkennbar. So besteht nach Angaben der Erzeuger ein deutlicher Verbesserungsbedarf und -potential sowohl der einzelnen Komponenten als auch des kompletten Anlagenkonzeptes.

Die Umfragen bestätigten die These, dass insbesondere selbstvermarktende Betriebe sowie Genossenschaften und Kellereien aus dieser Technik einen derart großen Nutzen ziehen können, dass sich eine solche Investition in wenigen Jahren rechnet. Im Gegensatz dazu profitieren sehr kleine Betriebe sowie viele Fassweinvermarkter, aufgrund des Kostendrucks von diesen Systemen zur Zeit nur in Einzelfällen.

Nach Abschluss der Versuche zur Temperaturprofilbildung während des Gärprozesses wurde deutlich, dass sich in den Gärgebinden in Abhängigkeit der jeweiligen Randbedingungen ein messbares Temperaturprofil bildet. Da sich in den Versuchsansätzen nur eine maximale Temperaturdifferenz von 0,5 °C ausbildet, kann das System trotzdem als homogen bezeichnet werden.

Bei allen Messreihen zur Untersuchung der k-Werte von Kühlsystemen war festzustellen, dass mit einer Erhöhung des Volumenstroms eine Steigerung des k-Wertes einherging. Dieser stieg anfangs stark an, flachte sich bei höheren Durchsätzen allmählich ab und näherte sich einem Grenzwert an. Die k-Werte aller Wärmetauscherelemente lagen im Bereich zwischen 245 und 640 W/m²/K, mit Ausnahme der Kapillarrohrmatten-Ergebnisse der Fa. Clina, die sich in Bereichen unterhalb von 207 W/m²/K bewegten. Ferner wiesen im Vergleich zu Edelstahl mit 21 W/m/K und Aluminium mit 221 W/m/K, die aus PVC bestehenden Röhrchen mit 0,17 W/m/K eine sehr ungünstige Wärmeleitfähigkeit auf. Bei der außen am Tank angebrachten Kapillarrohrmatte waren die k-Werte nochmals etwa um den Faktor drei schlechter als bei der im Gebinde eingehängten, aufgerollten Matte. Anzumerken ist, dass der Wärmedurchgang aufgrund einer turbulenten Strömungsführung begünstigt wurde, was bei den Elementen Wellrohr, Banane, Platte 3 und Doppelmantel gut feststellbar war.

Um eine Vergleichbarkeit der Messwerte erzielen zu können, war es notwendig, die Druckverluste in Relation zur wärmeübertragenden Fläche sowie zum k-Wert zu setzen. Aus einem für die praktische Anwendung entwickelten Diagramm kann nun direkt das Gesamtverhalten der Wärmetauscherelemente abgelesen werden. Dabei sind Nutzen (hohe k-Werte) und Aufwand (Pumpenleistung und Druckverlust) in Relation gesetzt. Für die Erfassung der absoluten Werte der Druckverluste, die zur Bestimmung der Leistungsaufnahme einer Pumpe für den Kühlmediumstrom notwendig wären, wurden eigens Tabellen aufgestellt. Die Werte der meisten Elemente bewegten sich in einem Mittelfeld, bei Druckverlusten bis 576 mbar. Dabei haben die Elemente mit einem guten k-Wert in der Regel auch hohe Druckverluste, mit Ausnahme der Kapillarrohrmatten, was an den Kurven der Banane und dem Wellrohr-Wärmetauscher festgestellt werden kann. Die Druckverluste sind hier der verwinkelten Strömungsführung zuzuweisen.

Abgesehen von der Kühl-Banane konnten alle Platten sowie das Wellrohr ohne größeren Aufwand problemlos gereinigt werden. Voraussetzung dafür ist ihre sehr gut bearbeitete Oberfläche (elektropoliert, verschweißte Plattenkanten, einwandfreie Verarbeitung der Schweißnähte sowie nicht Vorhandensein erhabener Stellen, an denen sich Weinstein anlagern kann). An Stellen, die z.B. durch Kratzer eine Oberflächenbeschädigung aufwiesen, ließ sich zwar eine Belagsbildung erkennen, die aber ohne Probleme entfernt werden konnte. Hervorzuheben ist ferner, dass lediglich ein kalter Wassersprühstrahl mit Leitungsdruck, jedoch kein Hochdruckreiniger o.ä. zum Einsatz kam.

Spaltkorrosion kann bei allen Elementen ausgeschlossen werden, da die Kanten sauber verschweißt und somit verschlossen sind. Im Vergleich zu gebeizten oder unbehandelten Elementen wiesen die elektropolierten Platten klare Vorteile bezüglich ihres Reinigungsverhaltens auf und sind deshalb auch geeigneter für kellertechnische Belange.

Aus der Marktanalyse im Bereich der Eisspeichersysteme war festzustellen, dass der Einsatz dieser Systeme wegen der relativ hohen Investitionskosten (ab 10 000 €) selbst für größere Genossenschaftsbetriebe, die einen erheblich stärkeren Kühlbedarf haben, nicht rentabel ist. Anlagen dieser Art sind zur Zeit noch für wesentlich größere Mengen an Kälteenergie konzipiert (ab 500 kW Kälteleistung). Die Vorhaltung von Kompressionskälteleistungen in Form von zusätzlichen Geräten ist bei der Gärkühlung immer noch wirtschaftlicher als auf die Pufferung mit einem Eisspeicher zurückzugreifen. Somit eignen sich solche Systeme für den hier in Frage kommenden Einsatzbereich nicht.

6 Ausblick

Aufgrund der gestiegenen Nachfrage im Kältesektor drängen immer neue Wärmeüberträgermodule auf den Markt. Darüber hinaus gewinnen auch schon seit längerer Zeit bestehende Systeme, wie z.B. Doppelmanteltanks zunehmend an Bedeutung. Diese Systeme in ihrer Effektivität und Praxistauglichkeit zu überprüfen muss das Ziel weiter gehender Versuche sein.

Darüber hinaus können im Kühlplattenbereich, wie sowohl die Umfrage als auch die Untersuchungen gezeigt haben, Optimierungen vorgenommen werden. Dies bezieht sich auf deren geometrische Anordnung im Tank sowie die Verbesserung des k-Wertes und des Druckverlustes.

Große Defizite sind bei der Regelungstechnik sowohl bei Einzelsystemen als auch bei den kompletten Anlagen zu verzeichnen. Hier besteht ein großes Entwicklungspotenzial bei der Überwachung des Gärverlaufes. Wären Kenndaten über den Verlauf der Zuckerkonzentration und der Temperatur exakt bekannt, könnte über ein zentrales Prozessleitsystem nicht nur die Kühlung des Mostes geregelt sondern auch direkt der Restzucker Gehalt und die Alkoholkonzentration gesteuert werden. Beim Erreichen der Endkonzentrationen wäre dann die Gärung durch Abkühlen zu stoppen. Im Bereich der Lebensmitteltechnik sind solche Onlinemesssensoren, wie z.B. Biegeschwinger (zur Dichtebestimmung) bereits im Einsatz.

Ebenso interessant ist eine oenologische Begutachtung der verschiedenen Kühlsysteme. Auch die Beeinflussung der Qualität der erzeugten Weine über eine Variation der Mosttemperaturen oder den kontrollierten Gärverlauf der erzeugten Weine ist von Interesse. Dies lässt eine direkte Aussage über die Qualitätsverbesserung durch eine solche Maßnahme zu.

7 Anhang

7.1 Fehlerberechnung

Der k-Wert errechnet sich aus den Größen \dot{V}_{KW} , t_T , sowie t_V und t_R , welche fehlerbehaftet sind. Der mittlere Fehler lässt sich über das Fehlerfortpflanzungsgesetz von „Gauß“ folgendermaßen ermitteln:

$$\Delta \bar{k} = \sqrt{\left(\frac{\partial k}{\partial \dot{V}_{KW}} \Delta \bar{\dot{V}_{KW}}\right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial t_T} \Delta \bar{t}_T\right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial t_V} \Delta \bar{t}_V\right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial t_R} \Delta \bar{t}_R\right)^2}$$

$$\Delta \bar{k} = \sqrt{\left(\frac{c_{pW} \rho_W}{A} \ln\left(\frac{t_T - t_V}{t_T - t_R}\right) \Delta \bar{\dot{V}_{KW}}\right)^2 + \left(\frac{c_{pW} \rho_W \dot{V}_{KW}}{A} \frac{(t_V - t_R)}{(t_T - t_V)(t_T - t_R)} \Delta \bar{t}_T\right)^2 + \left(\frac{c_{pW} \rho_W \dot{V}_{KW}}{A} \left(-\frac{1}{t_T - t_V}\right) \Delta \bar{t}_V\right)^2 + \left(\frac{c_{pW} \rho_W \dot{V}_{KW}}{A} \left(\frac{1}{t_T - t_R}\right) \Delta \bar{t}_R\right)^2}$$

$$\Delta \bar{k} = \left(\left| \frac{\partial k}{\partial \dot{V}_{KW}} \Delta \bar{\dot{V}_{KW}} \right| + \left| \frac{\partial k}{\partial t_T} \Delta \bar{t}_T \right| + \left| \frac{\partial k}{\partial t_V} \Delta \bar{t}_V \right| + \left| \frac{\partial k}{\partial t_R} \Delta \bar{t}_R \right| \right)$$

$$\Delta \bar{k} = \left(\left| \frac{c_{pW} \rho_W}{A} \ln\left(\frac{t_T - t_V}{t_T - t_R}\right) \Delta \bar{\dot{V}_{KW}} \right| + \left| \frac{c_{pW} \rho_W \dot{V}_{KW}}{A} \frac{(t_V - t_R)}{(t_T - t_V)(t_T - t_R)} \Delta \bar{t}_T \right| + \left| \frac{c_{pW} \rho_W \dot{V}_{KW}}{A} \left(-\frac{1}{t_T - t_V}\right) \Delta \bar{t}_V \right| + \left| \frac{c_{pW} \rho_W \dot{V}_{KW}}{A} \left(\frac{1}{t_T - t_R}\right) \Delta \bar{t}_R \right| \right)$$

Bei der Berechnung der mittleren und maximalen Fehler sind die Vertrauensbereiche \dot{V}_{KW} ; t_T ; t_V und t_R der einzelnen Messgrößen wie folgt festgelegt worden:

Temperaturmessungen: $\pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$

Volumenstromerfassung: 3 % (des aktuellen Messwertes).

7.2 Literaturverzeichnis

- BEITZ, KÜTTNER: DUBBEL- Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 17. Auflage; 1990
- CERBE, HOFFMANN: Einführung in die Thermodynamik, Hanser-Verlag, München Wien, 10. Auflage; 1994
- DVS: Fügetechnik - Schweißtechnik, Deutscher Verlag für Schweißtechnik DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf; 1990
- HERBRIK, R.: Energie - und Wärmetechnik, B. G. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1993
- KÖHLER, H. J.: Technologische und betriebswirtschaftliche Untersuchungen über die Möglichkeiten zur umweltgerechten Gärtankkühlung in kleineren und mittleren Weinbau- und Kellerbetrieben. ATW-Bericht 58, KTBL (Hrsg.) Darmstadt, 1994
- KUCHLING, H.: Taschenbuch der Physik, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt, 13. Auflage; 1991
- MAURER, R.: Bedeutung und Möglichkeiten der Gärtemperaturregelung, Rebe und Wein, Seite 361-365, 1982
- MICHEL, H.: Qualitätssteigerung durch Gärzügelung, Weinwirtschaft Technik, Nr. 8, 13. September 1991
- MICHEL, H.: Qualitätssteigerung durch Gärzügelung, Weinwirtschaft Technik, Nr. 9, 25. Oktober 1991
- MÜLLER, D.H. et al: Aktive Kühlung bei der Gärung von Wein und Most. ATW-Bericht 96, KTBL (Hrsg.) Darmstadt, 1998
- MÜLLER, K.-P.: Praktische Oberflächentechnik, Vieweg-Verlag, Braunschweig Wiesbaden; 1995
- RECKNAGEL: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, R. Oldenbourg-Verlag, München, 64. Auflage; 1987
- TROGUS, H.: Möglichkeiten der Gärbeeinflussung und die Bedeutung von Kontrollmaßnahmen während der Gärung, Der Badische Winzer, 9/1987
- TROOST, G.: Technologie des Weines, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 5. Auflage; 1980
- VDI Wärmeatlas – Berechnungsblätter für den Wärmeübergang; 8. Auflage; Springer-Verlag
- VOGT, JAKOB, LEMPERLE, WEISS: Der Wein, Eugen-Ulmer-Verlag, Stuttgart, 9. Auflage; 1984
- WEIK, B.: Technische Möglichkeiten der Gärtemperatursteuerung, Weinwirtschaft Technik, Nr. 4, 21. April 1989

7.3 Bezugsquellen

7.3.1 Komplettsysteme zur Mostkühlung

H. BECKER GmbH	Im Felsenkeller 55239 Gau-Odernheim	Tel.: 06733/ 348 Fax: 06733/ 1847
CADALPE Macchine Enologiche SPA	Via Cesane Battisti 87 I-31028 Vazzola (TV)	Tel.: 0438 / 441570 Fax: 0438 / 441577
ERS Energie- und Kältetechnik	Im Kirschbüchel 9 56587 Straßenhaus	Tel.: 02634/ 94260-10 Fax: 02634/ 94260-44
FORGEL	16, Rue Pierre Salmon F-51430 Bezannes-Reims	Tel.: +33 / 26 48 41 41 Fax: +33 / 26 36 15 30
GASSER Kälte-Klima Fertigung	Mauritiusstraße 65 55232 Alzey Gasser-kaelte@onlinehome.de	Tel.: 06731 / 41182 Fax: 06731 / 7035
HYFRA-Industriekühlanlagen GmbH	Industriestraße 56593 Krunkel	Tel.: 02687 / 898-33 Fax: 02687 / 898-25
KÄLTE-KLIMA SCHOLL	Heistererstraße 22 53579 Erpel	Tel.: 02644/ 80499 Fax: 02644/ 981619
TMCI PADOVAN SPA	Via dal Vera 13 I-31015 Conegliano (TV)	Tel.: 39 438 4147 Fax: 39 438 23682
ZINK a.a.	F-6852 Pfaffenheim	Tel.: 86 42 19 35 Fax: 86 42 43 35

7.3.2 Absorptionskälteanlagen

Deutsche BABCOCK-BORSIG AG	Egellsstraße 21 13507 Berlin	Tel.: 030 / 4301-2468 Fax: 030 / 4301-2476
ROBUR Heizsysteme GmbH	Robert-Bosch-Str. 17A 63477 Maintal	Tel.: 06181 / 48155 / 47957 Fax: 06181 / 432101
YORK INTERNATIONAL GmbH	Postfach 100465 68004 Mannheim	Tel.: 0621 / 468-0 Fax: 0621 / 468 -654

7.3.3 Kaltwassersätze

ABB Kälteanlagen GmbH	Lorenz-Schott-Str. 4 55252 Mainz-Kastel	Tel.: 06134 / 712-660 Fax: 06134 / 712-667
AEL Apparatebau GmbH Leisnig	Dobelner Straße 9 04703 Leisnig	Tel.: 034321 / 61125 Fax: 034321 / 61118
CLIMATIC GfKK mbH (Berlin)	Gradestraße 113 12347 Berlin	Tel.: 030 / 600994-0 Fax: 030 / 6063010
GASSER Kälte-Klima Fertigung	Mauritiusstraße 65 55232 Alzey-Heimersheim	Tel.: 06731 / 41182 Fax: 06731 / 7035
GESSNER Kälte-Klimotechnik GmbH	Schleussner Straße 56 63263 Neu-Isenburg	Tel.: 06102 / 7108-0 Fax: 06102 / 710833
GM ETSCHIED Anlagen GmbH	Fritz-Haber-Straße 1 53577 Neustadt-Wied	Tel.: 02683 / 208-0 Fax: 02683 / 308-33
GfKK ¹ mbH (Hessen)	Hermann-Rau-Straße 26 35398 Gießen	Tel.: 0641 / 25038-0 Fax: 0641 / 2503838

¹ GfKK = Gesellschaft für Kälte-Klimotechnik mbH

GfKK mbH (Köln)	Dieselstraße 7 50859 Köln	Tel.: 02234 / 4006-0 Fax: 02234 / 400685
GfKK mbH (Saar-Pfalz)	Am Stockwald 4a 66954 Pirmasens	Tel.: 06331 / 60838-0 Fax: 06331 / 608381
GP Klimatechnik GmbH	Bischof-Brand-Straße 1a 61440 Oberursel	Tel.: 06171 / 98440 Fax: 06171 / 980020
ILKA MAFA Kältetechnik GmbH	Berliner Straße 06184 Döllnitz b. Halle	Tel.: 0345 / 7826-100 Fax: 0345 / 7826-104
KKW GmbH	Am Goldenen Feld 18 95326 Kulmbach	Tel.: 09221 / 709-0
KÜBA Kältetechnik GmbH	Oberdiller Straße 23 82065 Baierbrunn	Tel: 089 / 74473-0 Fax: 089 / 74473-121
TRANE Deutschland Berlin	Bürgerstraße 17 13409 Berlin www.trane-berlin.de	Tel.: 030 / 492 7081 Fax: 030 / 499 7920
YORK INTERNATIONAL GmbH	Postfach 100465 68004 Mannheim 1	Tel.: 0621 / 468-0 Fax: 0621 / 468-654

7.3.4 Wärmetauscher

ACHENBACH + DEUKER	Wenschtsstraße 15, PF 223108 57037 Siegen	Tel.: 0271 / 83094 Fax.: 0271 / 85969
AEL Apparatebau GmbH Leisnig	Dobelner Straße 9 04703 Leisnig	Tel.: 034321 / 61125 Fax: 034321 / 61118
ALFA LAVAL GmbH	Postfach 1114 21503 Glinde bei Hamburg	Tel.: 040 / 727403 Fax: 040 / 72742515
BDAG BALCKE-DÜRR AG	Postfach 1240 40832 Ratingen	
H. BECKER GmbH	Im Felsenkeller 55239 Gau-Odernheim	Tel.: 06733 / 348 Fax: 06733 / 1847
BUCO Wärmeaustausch GmbH	Sandstraße 31 21502 Geesthacht www.buco-gmbh.de	Tel.: 04152 / 8082-0 Fax: 04152 / 8082-43 buco@buco-gmbh.de
CLINA Heiz-und Kühlelemente GmbH	Lübarser Straße 40-46 13435 Berlin	Tel.: 030/ 402 054-0 Fax: 030/ 402 054-19
DEG ENGINEERING GmbH	Lockhofstraße 3 45881 Gelsenkirchen	Tel.: 0209 / 45011 Fax: 0209 / 468971
GASSER Kälte-Klima Fertigung	Mauritiusstraße 65 55232 Alzey-Heimersheim	Tel.: 06731 / 41182 Fax: 06731 / 7035
LTH Maschinenfabrik Anlagenbau GmbH	Postfach 440125 01266 Dresden	Tel.: 0351 / 25343-0 Fax: 0351 / 2522 676
Karl Hermann SCHADEK- Thermotechnische Geräte	PF 1228, 57226 Wilnsdorf Heideweg 16 57226 Wilnsdorf	Tel.: 02739 / 3501 Fax: 02739 / 4368
SWEP Wärmetauscher Deutschland AG	Postfach 10 12 14 31112 Hildesheim	Tel.: 05121 / 7520-0 Fax: 05121 / 54011

7.3.5 Wärmetauscherplatten

BUCO Wärmeaustauscher JOHS. BURMESTER + Co. GmbH	Sandstraße 31 21502 Geesthacht www.buco-gmbh.de	Tel.: 04152 / 8082-0 Fax: 04152 / 8082-43 buco@buco-gmbh.de
ERIS-Kühlung GmbH	Friedrich Schüle Straße 12 85622 Feldkirchen	Tel.: 089 / 9032076-76 Fax: 089 / 9038990
GASSER – Kälte-Klima Fertigung	Mauritiusstraße 65 55232 Alzey-Heimersheim	Tel.: 06731 / 41182 Fax: 06731 / 7035
HYFRA-Industriekühlanlagen GmbH	Industriestraße 56593 Kunkel	Tel.: 02687 / 898-33 Fax: 02687 / 898-25
KARL HERMANN SCHADEK – Thermotechnische Geräte	Postfach 1228 57226 Wilnsdorf	Tel.: 02739 / 3501 Fax: 02739 / 4368
OMEGA ENGINEERING	Kellbergstraße 39 37627 Stadtoldendorf	Tel.: 05532 / 5966 Fax: 05532 / 5956
VRITHERM GmbH	Finkenweg 1 70771 Leinfelden-Unterriechen	Tel.: 0771 / 7545018 / 19 Fax: 0771 / 7545010

7.3.6 Tanktemperaturregelsysteme

CADALPE Macchine Enologica SPA	Via Cesane Battisti 87 I-31028 Vazzola (TV)	Tel.: 0438 / 441570 Fax: 0438 / 441577
DANFOSS Wärme- und Kältetechnik GmbH	Postfach 1261 63130 Heusenstamm	Tel.: 06104 / 698-0 Fax: 06104 / 698-134
LIQUOSYSTEMS GmbH	Wilhelmstraße 45 74366 Kirchheim	Tel: 07143 / 891050 Fax: 07143 / 92868

7.3.7 Eisspeicher

CALMAC INTERNATIONAL	P.B. 3223, Hertiezentrum 11 CH-6303 Zug	Tel.: 041 / 710 22 70 Fax: 041 / 710 23 28
CALORPLAST WÄRMETECHNIK GmbH	Siempelkampstraße 94 D-47803 Krefeld www.calorplast.de	Tel.: 02151 / 8777-0 Fax: 02151 / 877733 calorplast@t-online.de
CLIMATIC GfKK mbH (Berlin)	Gradestraße 113 12347 Berlin	Tel.: 030 / 600994-0 Fax: 030 / 6063010
GfKK mbH (Hessen)	Hermann-Rau-Str. 26 35398 Gießen	Tel.: 0641 / 25038-0 Fax: 0641 / 2503838
GfKK mbH (Köln)	Dieselstraße 7 50859 Köln	Tel.: 02234 / 4006-0 Fax: 02234 / 400685
GfKK mbH (Saar-Pfalz)	Am Stockwald 4a 66954 Pirmasens	Tel.: 06331 / 60838-0 Fax: 06331 / 608381
Hannes SCHNEIDER Energieanlagen GmbH	Karl-Zanger-Str. 13a A-6067 Absam	Tel.: 05223 / 43411-0 Fax: 05223 / 43418-10
SICOTRONIC GmbH	Freischützstraße 81 81927 München	Tel.: 089 / 959397-0 Fax: 089 / 959397-72

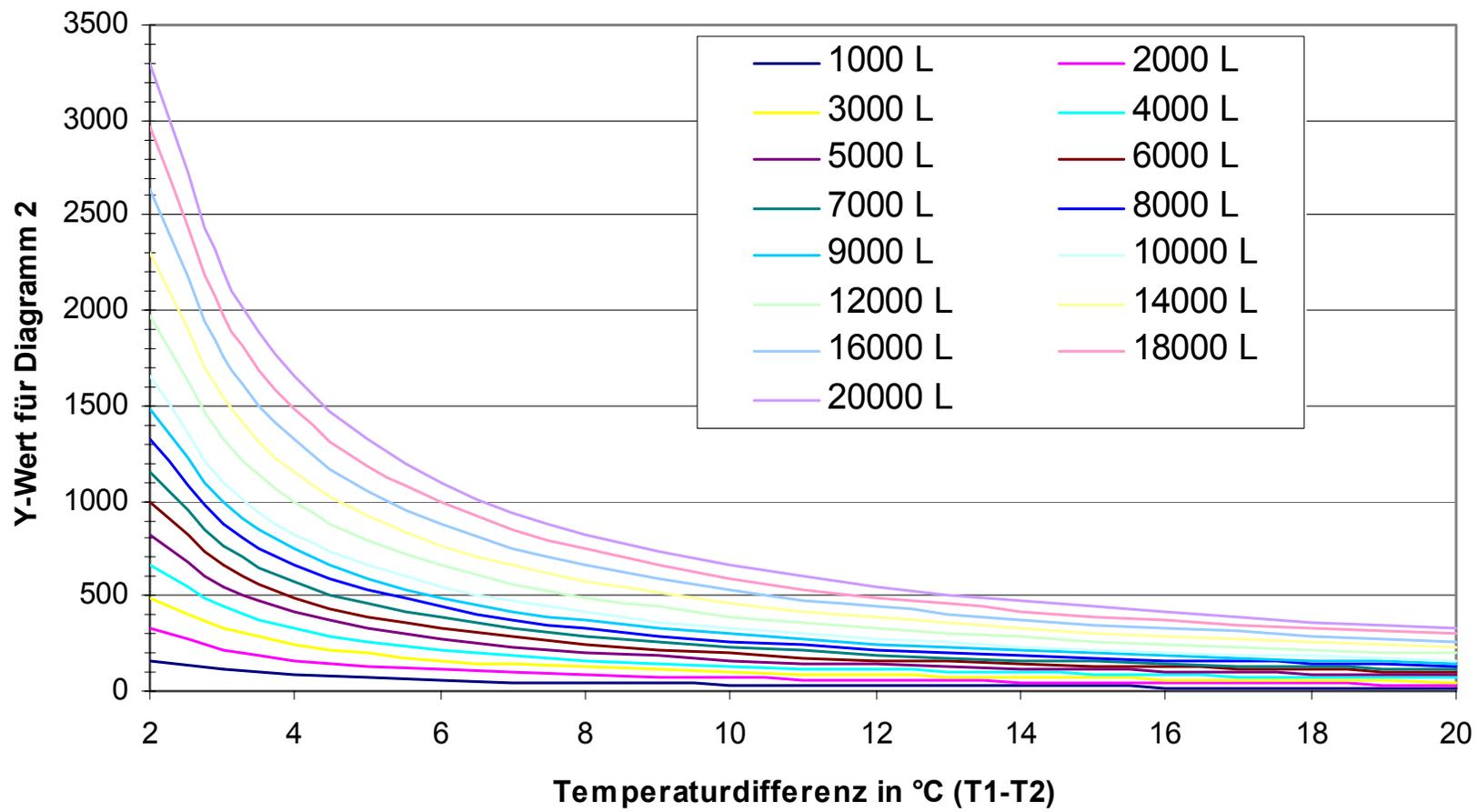
Umfrage bei Winzerbetrieben zur aktiven Tankkühlung von Most während der Vergärung und Temperierung von Most und Wein

1. Größe des Betriebes ?ha	
2. Jährliche Produktionsmengen ?hl Weißweinhl Rotwein
3. Art von Gärtanks ?	Edelstahl.....hl Beton.....hl	GFK.....hl Holz.....hl
4. Aufstellungsort der Gärtanks?	Keller	Halle Außenliegend
5. Lage des Betriebs ?	Im Ort	Aussiedler
6. Circapreise	Frischwasser.....DM/m ³ Strom.....Pf/kWh Abwasser.....DM/m ³	
7. Nutzen Sie eine Anlage zur Gärtankkühlung ?	Ja	Nein

Wenn JA weiter mit Frage 8	Wenn NEIN weiter mit Frage 19
-----------------------------------	--------------------------------------

8. Anlagenart?	Berieselung	
	Trinkwasser	Temperatur.....°C
	Brunnenwasser	Temperatur.....°C
	Wärmetauscherplatten ohne Kälteanlage	
	Kälteanlage	Sonstige.....
9. Anschaffungskosten?	Bis 15 TDM	Bis 25 TDM
	Bis 35 TDM	Über 35 TDM
10. Betriebskosten pro Jahr ?TDM	
11. Leistung der Anlage ?	LeistungkW	Menge an Mosthl
12. Anzahl der Gebinde die mit der Kühltechnik ausgestattet sind?	Anzahl	Gesamtvolumen:hl
13. Wie viele Gebinde kühlen Sie gleichzeitig ?	Anzahl	Gesamtvolumenhl
14. Welche Kühlelemente befinden sich an / in den Tanks ?	Berieselungsdüsen	Doppelmantel
	mobile Geräte z.B Durchlaufkühler	Schlangen- rohrwärmetauscher
	Wärmetauscherplatten	Sonstige.....
15. Wie viele Gebinde sind insgesamt mit Kühltechnik ausgestattet ?	Anzahl	Gesamtvolumenhl
16. Ist die Anlage wartungsfreundlich?	Ja	Nein
17. Ist die Anlage leicht zu reinigen?	Ja	Nein
18. Sind sie mit der Anlage zufrieden?	Ja	Nein
	Wenn nein, Begründung:.....	

Auslegungs-Diagramm 1



Auslegungs-Diagramm 2

