

**Adressen:**

Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfragen (Bf K)  
Belpstrasse 53  
3003 Bern  
Tel.: 031/61 21 39  
Fax: 031/61 20 57

Geschäftsstelle: RAVEL  
c/o Amstein+Walthert AG Leutschenbachstrasse 45 8050 Zürich  
Tel.: 01/30591 11  
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter: Ruedi Spalinger INFEL Lagerstr. 1 8021 Zürich  
Tel.: 01/291 01 02  
Fax.: 01/291 09 03

Autoren: Jürg Nipkow, dipl. El. Ing. ETH ARENA  
Schaffhauserstr. 34 8006 Zürich  
Tel.: 01/362 91 83

Werner Gygli, dipl. Ing. FH  
Informatik Energietechnik  
Arbeitsgemeinschaft  
Weiherweg 19  
8604 Volketswil  
Tel.: 01/946 05 04

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Handen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung.

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, April 1992  
Auszugweiser Nachdruck unter Quellenangabe  
erlaubt. Zu beziehen beim Bundesamt für Konjunkturfragen **3003** Bern (Best. Nr. 724.397.23.52 d)

**Form. 724.397.23.52d**

RAVEL Materialien zu RAVEL

Materialien zu RAVEL

# **Wäschetrocknen im Mehrfamilienhaus**

(FP 23.52)

Jürg Nipkow  
Werner Gygli

Impulsprogramm RAVEL  
RAVEL - Materialien zu RAVEL

Bundesamt für Konjunkturfragen

# Inhaltsverzeichnis

Seite

	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	1
	<b>RESUME</b>	3
1.	<b>Ausgangslage</b>	5
2.	<b>Grundlagen</b>	7
2.1	Physik des Trocknungsprozesses	7
2.2	Trocknen mit Aussenluft, Meteodaten	10
2.3	Randbedingungen	12
2.4	Modellfall, Kostenbetrachtung	14
2.5	Statistisches zum Wäschetrocknen	17
3.	<b>Trocknungssysteme</b>	20
3.1	Systeme des Marktangebots	21
3.2	Ergänzende Systeme	31
4.	<b>Messprojekte</b>	32
4.1	Messungen beim Schweiz. Institut für Hauswirtschaft SIH	32
4.2	Pilotprojekt Utohof	37
5.	<b>Weitere Projekte</b>	53
5.1	Kabine mit WP-Entfeuchter und Aussenluft	53
5.2	Verbrauchsabrechnung; mit Pilotobjekt	54
5.3	“Zähleraktion” EWZ	55
6.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Umsetzung	56
7.	Literatur	59
8.	Anhang	60

Wir danken allen Personen und Stellen, die unsere Arbeit unterstützt haben. Insbesondere sei die Initiative seitens der Stadt Zürich zum Vorprojekt und ihr insgesamt massgeblicher Finanzierungsanteil erwähnt, sowie die gedankliche bzw. handfeste Mitwirkung der Herren Häfeli und Kuchen. Dank gebührt auch den Firmen ESCO Schönmann AG, Krüger AG und Roth-Kippe AG bzw. ihren Mitarbeitern für offene Information und Mitwirkung bei den Tests.

Jürg Nipkow, Wemer Gygli

## ZUSAMMENFASSUNG

Für das Wäschetrocknen im Mehrfamilienhaus werden zunehmend stromintensive Apparate eingesetzt, weil Trockenräume anderweitig genutzt werden oder aber wegen Wärme-

dämmungen an Decken und Leitungen keine ausreichende Trocknungswirkung mehr gewährleisten. In der Regel ist weder den Benutzerinnen und Benutzern noch den Bauherr-

schaften bekannt, dass das maschinelle Trocknen bis 3 mal soviel Strom braucht wie das vorgängige Waschen der gleichen Wäsche!

Ziel des Untersuchungsprojektes war es, das Wäschetrocknen als Prozess zu analysieren, che alternative Trocknungsmethoden zu beurteilen und diesbeEmpfehlungen an Bauherrschaften, Betreiber und Benutzer zu e auf einem Vorprojekt aufgebaut werden, welches die Autoren im Auftrag der Stadt Zürich 1990 abgeschlossen hatten.

Das Wäschetrocknen im Mehrfamilienhaus ist ein Prozess mit sehr vielen und teils schlecht definierbaren Randbedingungen. Der Energieverbrauch ist z.B. abhängig von:

- Vorentwässerung (Schleudern)
- Art und Dicke der Wäsche
- Trocknungsgrad (bügel-/schranktrocken)
- Chargengrösse, Zusammenhang mit Waschmaschinengrösse
- Art der Energieabrechnu
- Angebot von Hängemöglich
- Anleitung bzw. Motivation

keiten im Freien, im Estrich etc.  
der Benutzerinnen

- Gerätetechnik, u.a. Art der Steuerung.

Weitere Randbedingungen sind etwa Wasch- und Trockenraum-Benutzungsplan, Zeitbedarf des Trocknungs rozesses, Entsorgung (es Trocknungswassers bzw. -Wasserdampfs, Trockenraumeigensch

Feuchteschadenrisiko, aften (Grösse, Lüftungsmöglichkeiten, Wär-

medämmung, Fremdwärme...), Leinenanordnung, Verbot des Trocknens in der Wohnung wegen des Bauschadenrisikos.

Als Ausgangslage bezüglich Trocknungs-Energieverbrauch pro kg Trockenwäsche standen die Angaben der Geräte-Warendeklarationen zur Verfügung, welche nach einheitlichen Prüfrichtlinien gemessen werden. Diese Werte liegen schwerpunktmässig für Tumbler im Bereich 0.7 kW-h/kg, für Trockenschränke um 1 kWh/kg, für Raumluf-Entfeuchtungstrockner nach dem Wärmepumpen-Prinzip um 0.4 kWh/kg.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zwei Messprojekte durchgeführt:

Einerseits konnten am Schweizerischen Institut für Hauswirtschaft SIH, in Zusammenarbeit mit Geräteherstellern, Raumluf-Entfeuchtungstrockner bei tieferen als gemäss Prüfnorm üblichen Raumtemperaturen geprüft werden. Ueberraschenderweise ergab sich im Mittel bei 18°C kein höherer Energieverbrauch als bei 23°C und sogar bei 14°C nur eine kleine Verbrauchszunahme. Demnach sind die in diesen Geräten meist eingebauten Startheizungen nur selten sinnvoll.

Umfangreiche Messungen wurden im Pilotprojekt der Stadtzürcher Siedlung 'Utohof' durchgeführt, welches bereits im oben erwähnten Vorprojekt bearbeitet wurde. Dabei ging es um die Beurteilung von 5 verschiedenen Raumluf-Entfeuchtungstrocknem (3 Hersteller) sowie unterschiedlicher Wärmedämmungen in 9 Trockenräumen unter Praxisbedingungen. Zusätzlich wurde in zwei Trockenräumen ein ergänzendes Trocknungsprinzip mit Aussenle erprobt. In Zusammenarbeit mit Benutzerinnen, welche ihre Wäsche wogen, wurden in zwei Messkampagnen (Sommer/Winter) Prozessabläufe sowie Benutzerverhalten erfasst.

Die wichtigsten Ergebnisse des Utohof-Projekts:

- Partielle Wärmedämmung des Trockenraumes erlaubt - ohne Startheizung - eine rasche Temperaturerhöhung nach dem Start des Raumluf-Entfeuchtungstrockners. Zudem wird die Raumauskühlung bei längerem Nichtgebrauch vermindert und Oberflächenkondensat an Aussenwänden vermieden.
- Der spezifische Energieverbrauch (kWh/kg Trockenwäsche) der Raumluf-Entfeuchtungstrockner wird sehr stark vom Benutzerverhalten beeinflusst. Folgende Umstände ergeben hohe Verbräuche, unter Umständen bis zum Doppelten des Warendeklarationswertes:
  - Kleine Wäschemengen pro Charge
  - Dazuhängen feuchter Wäsche während des Prozesses
  - Stark verschiedene Wäsche-Flächengewichte (Jeans/Bettwäsche)
  - Steuerung der Geräte ohne endgültige Abschaltung: das Gerät schaltet sich immer wieder kurz ein.

Eine beim SIH durchgeführte Versuchsreihe an Tumblern ergab jedoch auch bei diesem Trocknungs erät einen starken Einfluss der Beladung: der spezifische Stromverbrauch stieg bei halber Beladung auf 130% mit und 150% ohne "Sparau-tomatik", bezogen auf Vollbeladung.

Unter günstigen Voraussetzungen - vor allem bei genügend grossen Wäschemengen erreichten die Raumluf-Entfeuch-tungstrockner auch in der Praxis deutlich kleinere Stromverbrauchswerte als Tumbler; bei unzuweckmässiger Benutzung kann jedoch ein Mehrverbrauch eintreten.

- Die Raumluf-Entfeuchtungstrockner sind je nach Produkt und bestellter Option mit verschiedenen Steuerungen ausgerü-stet. Je nach Sensibilisierungsgrad der Benutzerinnen scheinen unterschiedliche Steuerun skriterien energiesparend. Als Zusatzfunktion ist z.B. definitives Abschalten einige Zeit nach Prozessende erwünscht und bei einigen Geräten auch vorhanden. Kein Gerät wies einen wählbaren Trocknungsgrad (schrank/bügeltrocken) auf
- Die alternativen Trocknungssysteme ergaben interessante Anhaltspunkte zur besseren Energieausnützung: mittels ge-zieltem, dosiertem Aussenluft-Austausch lässt sich die sonst übliche Ueberwärmung des Trockenraumes energiesparend zum Trocknen nutzbar machen. Diese Systeme sollen in einem unabhängigen Pilotprojekt weiterent-wickelt werden.

Im Verlauf der Projektarbeiten hat sich gezeigt, dass die gewonnenen Erkenntnisse noch nicht ausreichen, umfassende Empfehlungen zu optimalen Wäschetrocknungs-Systemen abzugeben. Neben den obenerwähnten Aussenluft-Systemen sollen daher noch folgende Probembereiche in Folgeprojekten bearbeitet werden:

- Verbrauchsabhängige Energiekostenabrechnung (Sparanreize!)
- Ueberblick über praktische Trocknungs-Energieverbräuche ("Zähleraktion").

Das Ziel einer späteren Umsetzung ist es, in einem leichtverständlichen Leitfaden für Bauherrschaften, Architekten etc. energiesparende Trocknungssysteme mit entsprechenden Randbedingungen zu be-schreiben und ein erfolgversprechendes Vorgehen insbesondere für Sanierungen zu empfehlen. Erste Ansätze dazu fin-den sich im Schlussabschnitt des Berichtes.

## RESUME

On utilise de plus en plus d'appareils à consommation élevée d'électricité pour le sécha-ge du linge dans les locatifs. C'est le cas parce que les locaux réservés à l'étendage sont utilisés pour d'autres besoins ou parce que les isolations thermiques du plafond ou des conduites ont réduit le rayonnement de chaleur qui était utile pour le séchage. Les utilisateurs, ainsi que les propriétaires, ne savent en général pas que le séchage du linge dans une machine nécessite trois fois plus de courant que le lavage préalable de ce linge!

Le but du projet d'étude était d'analyser le processus de séchage, d'examiner les méthodes de séchage usuelles ou alternatives, ainsi que de préparer les bases pour des recommandations aux propriétaires, exploitants et utilisateurs. Le point de départ pour déterminer la consommation d'énergie électrique par kg de linge séché était constitué par les résultats des tests uniformisés des appareils. La valeur moyenne obtenue pour les tumblers se situe autour de 0.7 kWh/kg, elle atteint 1.0 kWh/kg pour les armoires de sécha-ge, et se situe autour de 0.4 kWh/kg pour les déshumidificateurs fonctionnant selon le principe des pompes à chaleur.

Deux projets de mesures ont été réalisés dans le cadre de ces recherches:

Des appareils de séchage par déshumidification de l'air ont été examinés à l'Institut Suisse de Recherches Ménagères (IRM/SIH), en collaboration avec les fabricants. Ces mesures ont été effectuées à des températures inférieures à celles prises en considération dans les directives pour les tests. Il a été surprenant de constater que pour des températures voisines de 18°C, la consommation d'énergie n'est pas supérieure à celle constatée à 23°C. L'augmentation de la consommation pour des températures voisines de 14°C est minime. De ce fait, les corps de chauffe incorporés dans ces appareils et devant permettre un chauffage initial ne sont que rarement utiles.

Des mesures de 5 installations différentes de séchage par déshumidification, comprenant diverses isolations thermiques des locaux, ont été effectuées dans une résidence zurichoise. Une méthode complémentaire de séchage avec l'air extérieur a également été testée dans deux cas. Les résultats les plus importants de ce projet sont les suivants:

- Une isolation thermique partielle du local de séchage permet une élévation rapide de la température dès la mise en service du déshumidificateur, sans nécessiter de chauffage préalable. Le refroidissement du local de séchage après son utilisation est fortement ralenti et les condensations superficielles sur les parois extérieures sont évitées.

- La consommation spécifique d'énergie (kWh/kg de linge séché) par les appareils à déshumidification dépend fortement du comportement des utilisateurs. Des consommations élevées, pouvant parfois atteindre le double de l'indication des appareils, proviennent en particulier de charges de linge réduites ou de déshumidificateurs ne comprenant pas de système de commande garantissant leur déclenchement définitif (l'appareil continue de s'enclencher régulièrement pour de courtes périodes).

Une série d'essais de tumblers effectuée à l'IRM a également montré une dépendance élevée de la consommation selon la charge du linge: la consommation spécifique a augmenté à 150% pour des charges réduites de moitié et à 130% dans le cas d'une "commande eco".

- Les systèmes alternatifs de séchage ont donné des résultats intéressants pour une meilleure utilisation de l'énergie: un échange judicieusement dosé d'air frais extérieur permet d'utiliser la surchauffe usuelle du séchoir afin d'augmenter son efficacité. Ces systèmes seront développés dans le cadre d'un autre projet-pilote. Deux autres problèmes devront être analysés ultérieurement: le décompte individuel des frais énergétiques (incitation d'économie), ainsi que: des mesures pratiques de consommation d'énergie de divers appareils de séchage ("Action compteurs").

Un projet de diffusion aura pour but de préparer un aide-mémoire facilement compréhensible destiné aux propriétaires, architectes, etc. et concernant les systèmes de séchage ainsi que les conditions d'utilisation permettant des économies d'énergie. Il contiendra également une démarche recommandée pour les transformations et améliorations des installations. Une première esquisse de recommandation se trouve dans les conclusions du rapport.

## 1. Ausgangslage

Das Wäschetrocknen im Mehrfamilienhaus wurde vor Jahrzehnten erstmals zum Problem, als man nicht mehr auf sonniges Wetter warten wollte und immer seltener grosse, gut durchlüftete Estriche dafür zur Verfügung standen. Zu Zeiten des unbekümmerten Heizenergieverbrauchs wurden nun einfach Räume im Untergeschoss mittels unisolierter Röhren und/oder Heizkörpern temperiert und somit, bei ausreichender Lüftung, als Trocknungsräume geeignet gemacht. Im Zuge von Energiesparmassnahmen werden seit einiger Zeit Leitungen isoliert, Kellerdecken wärmegeklämt, Radiatoren gedrosselt, Fenster geschlossen und so das Wäschetrocknen erschwert bis verunmöglicht. Für Liegenschaften verwaltungen stellt sich die Frage, welche Trocknungshilfen installiert werden sollen; ob gar auf Trockenräume ganz verzichtet werden kann durch den Einsatz von Tumbler, was allerdings das Trocknen der nicht tumbler-geeigneten Wäschestücke ungelöst lässt. Es lässt sich etwa die folgende Auslegeordnung von Problemschwerpunkten erstellen:

- Zu lange Trocknungsdauer und/oder muffiger Geruch im Trockenraum, nachdem im Zuge von wärmetechnischen Sanierungen warme Rohrleitungen und Kellerdecken wärmegeklämt wurden.
- Ungenügendes Wissen über Rahmenbedingungen und technische Gerätefunktionen, vor allem beim Einsatz von Raumluft-Entfeuchtungstrockner.
- Vorbehalte gegen den Einsatz von Tumbler wegen hohen Stromverbrauchs.
- Keine klaren Empfehlungen an die Mieterschaft bezüglich Fensterlüftung usw. in Trockenräumen.

Bezüglich des spezifischen Stromverbrauchs (pro kg Trockenwäsche TW) von Tumbler und Raumluft-Entfeuchtungstrockner stehen Angaben von Prüfungen am Schweizerischen Institut für Hauswirtschaft SIH zur Verfügung. Allerdings sind diese für Praxisverhältnisse nicht unbedingt repräsentativ, wie noch beschrieben wird. Gemäss diesen Prüfwerten verbrauchen Raumluft-Entfeuchtungstrockner unter optimalen Bedingungen rund 50% weniger Strom als Tumbler.

Wäsche im Mehrfamilienhaus ohne Trockenraum trocknen?

In fast allen Wohnbauten ist in der Regel ein oder mehrere Trockenräume vorhanden, manchmal gleichzeitig als Waschküche bzw. Aufstellort des Waschautomaten dienend. Im Zuge der Ausrüstung mit maschinellen Wäschetrocknern, vor allem Tumbler, entsteht ein Anreiz, den kostbaren Raum für das Wäschetrocknen für andere Zwecke (Vermietung als Bastelraum usw.) zu nutzen. Letzteres erfordert allerdings eine Beheizung und somit auch eine Wärmedämmung.

Die Praxis zeigt, dass auch bei freier (kostenloser) Verfügbarkeit von Tumbler ausgiebig von der Möglichkeit des Wäschehängens im Trockenraum oder im Freien Gebrauch gemacht wird. Dies auch, weil sich nicht alle Wäschestücke zum Tumbler eignen oder ein erhöhter Verschleiss oder auch Knitterfalten befürchtet werden. Der Trockenraum kann daher kaum ersatzlos den Benutzern weggenommen werden. Als annehmbarer Ersatz mit kleinem Platzbedarf kommt der Trocknungsschrank in Frage, welcher jedoch in der üblichen Ausführung einen relativ hohen Energieverbrauch aufweist und meist einen Abluftkanal o.ä. benötigt. Trocknungsschränke sind in Wohnbauten wenig verbreitet, sie werden eher für das rasche Kleidertrocknen z.B. bei Feuerwehr, Polizei usw. eingesetzt (Typ "Kleidertrocknungsschrank").

Beim Neu-Bauen auf zunehmend teurerem Boden stellt sich erst recht die Frage nach der "Einsparung" des Trockenraumes. Grundsätzlich dürfte auch hier gelten, dass nebst allfälligem Tumbler auch noch eine Möglichkeit angeboten werden muss, Wäsche an der Leine oder Stange hängend zu trocknen. Bei geeigneter maschineller Ausrüstung (Entfeuchtungs-

oder Heizgerät) kann im Neubau ein extrem kleiner Trockenraum mit grosser Leistungsfähigkeit ausreichen.

#### Vorprojekt

Anfangs 1990 wurden wir vom Amt für Technische Gebäudeausrüstung ATG der Stadt Zürich sowie gleichzeitig von der Zürcher Energieberatung angefragt, eine Untersuchung zum Problembereich Wäschetrocknen, insbesondere mit Raumluft-Entfeuchtungstrocknern, durchzuführen. Gewünscht waren Entscheidungsgrundlagen für Trocknungssystem- und Gerätewahl in der oben beschriebenen Situation ungenügend gewordener Trockenräume. Im Rahmen dieses Auftrags wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

#### Phase 1: Wissen sichern und auswerten

- Fragebogen zur Zustandsaufnahme für die Liegenschaftenverwaltung (wegen zögerndem Rücklauf konnte 1990 erst eine Teilauswertung erfolgen).
- Kleine Literaturrecherche
- Unterlagen angebotener Geräte sammeln und auswerten
- Umfrage und Interviews in der Gerätebranche, bei SIH, Anwendern, Konsumentenorganisationen USW.
- Theoretische Grundlagen und Funktionsweise der angebotenen Geräte zusammenstellen und geeignet darstellen. Probleme und allfällige gerätetechnische 'Mankos' herauschälen.

#### Phase 2: Ergänzende Trocknungssysteme beschreiben

Gemäss Grundlagen und "Mankos" aus Phase 1 wurden zusätzliche bzw. ergänzende Systeme dargestellt und grob zu beschreiben, um die grundsätzlichen Methoden des Wäschetrocknens im Sinne eines morphologischen Kastens auszulösen.

#### Phase 3: Randbedingungen darstellen, Evaluationsgrundlagen

- Randbedingungen (Umgebungstemperatur, Abwärme-, Lüftungs-Verhältnisse, Benützungszeit und Frequenz, zusätzliche Trocknungsmöglichkeiten usw.) wurden zusammengestellt und Modellfälle formuliert. Erste Ansätze für die Systemevaluation liessen sich ableiten.

#### Phase 4: Vorgaben für Pilotprojekt Utohof

Für eine städtische Siedlung mit Trockenraumproblemen wurden Vorgaben zur Ausrüstung mit Raumluft-Entfeuchtungstrockner und teilweise Wärmedämmungen erstellt, welche eine messtechnische Auswertung erlauben sollten.

## 2. Grundlagen

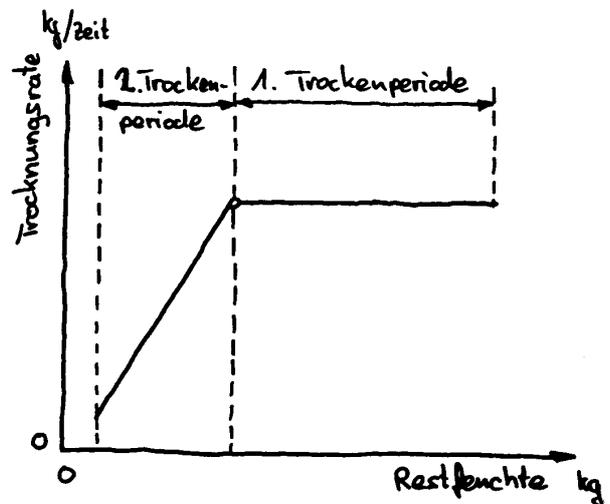
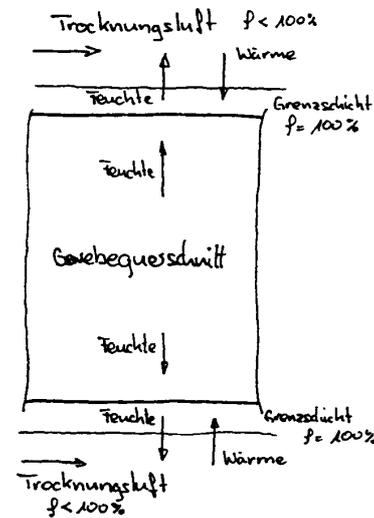
### 2.1 Physik des Trocknungsprozesses

Während des Trocknens der Wäsche treten gleichzeitig Wärme- und Massenflüsse auf Dies sowohl im Innern des Materials als auch an dessen Oberfläche. Im allgemeinen beeinflussen sowohl die äusseren Bedingungen den Trocknungsprozess als auch die inneren Faktoren des Materials. Der Einfluss dieser Faktoren während des Trocknungsvorgangs ist unterschiedlich. In der ersten Trockenperiode beeinflussen die Transportmechanismen in der Grenzschicht der Wäsche den Wärme- und Massenfluss, in der zweiten Periode überwiegen die Transportmechanismen im Innern des Materials. [2]

Man kann den Trocknungsprozess quantitativ untersuchen, indem man ein Wäschestück bei konstanten Raumbedingungen trocknet, und während des Trocknungsvorgangs durch wiederholtes Wägen die Trocknungsrate bestimmt, d.h. wieviel Wasser pro Zeiteinheit verdunstet. Folgende Trocknungsphasen können unterschieden werden:

In der ersten Phase, wo eine konstante Trocknungsrate festgestellt wird, bedeckt ein Flüssigkeitsfilm die Wäscheoberfläche, es ist eine gesättigte Grenzschicht vorhanden. Das Dampfdruckgefälle von der Grenzschicht zur Umgebungsluft bleibt konstant und damit ändert sich auch die Trocknungsrate nicht.

In der zweiten Phase, die Trocknung ist schon weit fortgeschritten, reichen die inneren Transportmechanismen für das Wasser nicht mehr aus, einen Flüssigkeitsfilm aufrecht zu erhalten. Durch die ungesättigte Grenzschicht sinkt der Dampfdruck zur Umgebungsluft und die Trocknungsrate nimmt ab. Diese Phase ist bei unterschiedlichen Stoffen verschieden lang und fällt bei dünnen Stoffen nicht mehr ins Gewicht.



## Einfluss der Raumtemperatur und -feuchtigkeit auf die Trocknungsleistung

Ist die Trocknungsleistung für die Phase konstanter Trocknungsleistung für eine bestimmte Raumbedingung bekannt, so kann sie mit Hilfe der Dalton'schen Verdunstungsgleichung auch für andere Raumbedingungen bestimmt werden.

$$m_w = y A (p_s - p_d) \text{ [kg/h]}$$

$m_w$  Verdunstungsleistung kg/h

$y$  Gesamtverdunstungsbeiwert

$A$  Übertragungsfläche

$p_s$  Partialdruck  $H_2O$  bei Sättigung

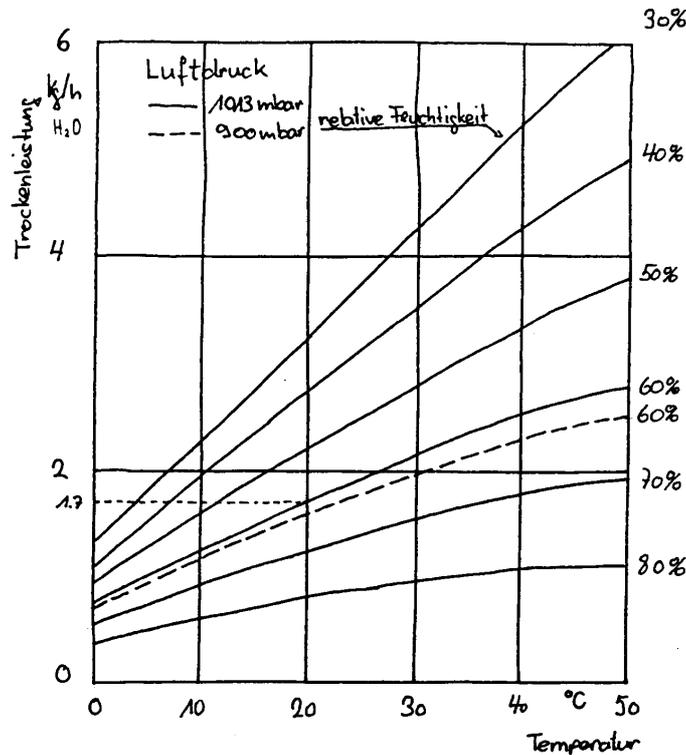
$p_d$  Partialdruck  $H_2O$  der Trocknungsluft

Im Gesamtverdunstungsbeiwert sind Trocknungseigenschaften der Wäsche und die Luftbewegung enthalten. Bei gleicher Luftbewegung und gleichem Wäscheposten bleibt dieser Wert für alle Raumbedingungen konstant.

Bei gleicher Turbulenz der Raumluft ergibt sich folgendes Bild für die Trocknungsleistung bei unterschiedlichen Temperaturen und Raumfeuchtigkeiten:

Ablesebeispiel:

Ein Wäscheposten trockne bei 20 °C und 60 % relativer Feuchtigkeit mit einer Trocknungsrate von 1.7 kg/h. Aus dem Diagramm ist zu entnehmen, dass bei einer Raumtemperatur von 14 °C und 60% relativer Feuchte die Trockenleistung auf etwa 1.4 kg/h sinken-, und die Trocknungszeit somit um ca. 17% ansteigen würde.



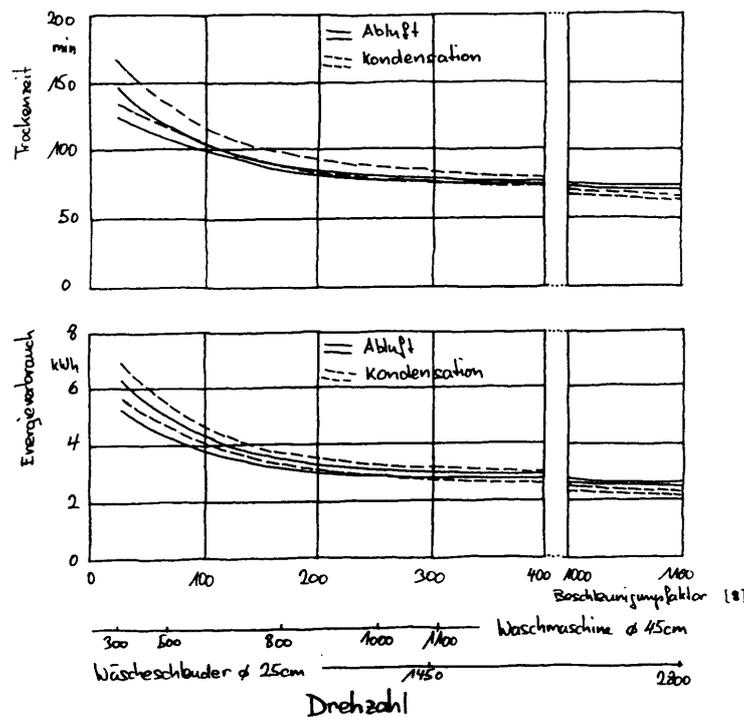
## Trocknen in Abhängigkeit der Vorentwässerung

Der Energieverbrauch beim maschinellen Trocknen ist wesentlich vom Ausgangszustand der Wäsche abhängig, d.h. von ihrer Restfeuchte nach der mechanischen Entwässerung. Eine gute Vorentwässerung vermindert die Restfeuchte im Gewebe und damit den Energieverbrauch. Pauli und Schätzke [1] haben die Abhängigkeit der Trockenzeit und des Energieverbrauchs von der Restfeuchte der Wäsche und letztlich von der Drehzahl des Entwässerungssystems untersucht. Die Ergebnisse ihrer Arbeit lauten:

Die Restfeuchte der geschleuderten Wäsche ist direkt abhängig von der Schleuderdrehzahl der Waschmaschine oder der Wäscheschleuder bzw. vom Beschleunigungsfaktor. Der Beschleunigungsfaktor wird in Vielfachen der Erdschwere-Beschleunigung ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ) angegeben. Verschiedene Gewebearten werden bei gleichem Beschleunigungsfaktor unterschiedlich entwässert, wobei die Differenzen mit steigendem Beschleunigungsfaktor abnehmen.

Bild 2.4 von Pauli und Schätzke zeigt die Trockenzeit und den Energieverbrauch in Abhängigkeit der Schleuderdrehzahl für eine Trocknung im Tumbler. Für unterschiedliche Gewebearten weichen die Kurven von einander ab, es wurde deshalb ein Bereich angegeben. Die obere Bereichsgrenze gilt für Gewebe, die schlecht entfeuchtet werden, z.B. Frotte, die untere entsprechend für gut entfeuchtbare Stoffe.

Bild 2.4: Trocknungszeit und Energieverbrauch in Abhängigkeit des Beschleunigungsfaktors für Tumbler



## 2.2 Trocknen mit Aussenluft, Meteodaten

### Trocknen im Freien

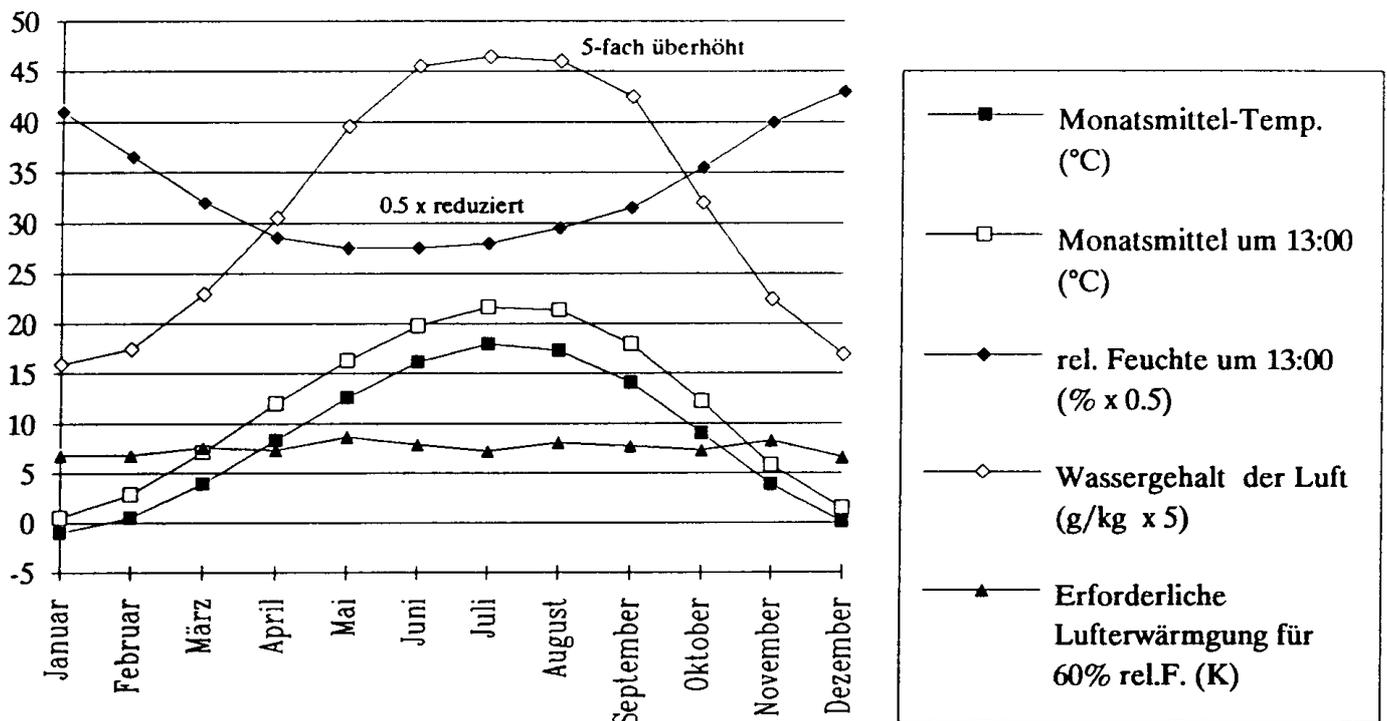
Wer Wäsche im Freien trocknen will, beobachtet das Wetter sorgfältig und entscheidet sich nur bei relativ sicheren Aussichten zum Aufhängen, da im Falle eines Misserfolgs nicht nur abgenommen und neu gehängt werden muss, sondern u.U. sogar die Wäsche feuchter als bei Beginn wird...

Erfahrungsgemäss lässt sich Wäsche im Freien trocknen:

- Praktisch immer bei Sonnenschein, allerdings bei tieferen Temperaturen langsamer, so dass der Erfolg unter etwa 10°C immer stärker von der direkten Sonnenstrahlungsenergie abhängig wird. Von November bis Februar tritt der Erfolg (Trocknung vor der abendlichen Abkühlung) nur bei besonders günstigen Bedingungen ein, so dass dann kaum im Freien gehängt wird.
- Bei relativer Luftfeuchte unter etwa 70%, wobei (ohne Sonnenstrahlung) die Trocknungsdauer stark von der Temperatur ("Feuchteabgabegeschwindigkeit", vgl. 2. 1) und Luftbewegung (Wind) abhängt.

Bild 2.5 Auswertung von Klimadaten bezüglich Wäschetrocknen

### Aussenluft-Zustände Kloten



Für das Wäschetrocknen in geschlossenen Räumen an der Leine, ohne Raumluftentfeuchter, ergeben sich im Jahresverlauf die folgenden wesentlichen Abweichungen vom Trocknen im Freien:

- Während der Heizperiode genügen relativ kleine Heizleistungen (von nicht isolierten Leitungsteilen, vom Wärmefluss durch die nicht wärmegeämmte Decken von oben), um bei deriniierter Zufuhr von Aussenluft sowie Abfuhr feuchter Mi-schluf gute Trocknungsbedingungen zu erhalten: durch die Erwärmung der Aussenluft fällt deren relative Feuchte stark. Erfahrungsgemäss "funktionieren" Trockenräume während der Heizperiode problemlos, was allerdings bei grösserem Luft-wechsel einen beträchtlichen Heizwärmeaufwand erfordert (vgl. 2.3) Leider sind hierzu keine effektiven Wärmemessun-gen bekannt. Solche wären gemäss unseren Erfahrungen sehr aufwendig, insbesondere wegen der Wärmeflüsse durch Umschliessungsflächen.
- Unmittelbar vor und nach der Heizperiode "funktionieren" Trockenräume ausgesprochen schlecht, weil die Aussenluft-Er-wärmung wegfällt oder kleiner wird und damit auch der selbsttätige Luftaustausch eines Untergeschoss-Trockenraumes stark reduziert wird. Ausserdem liegt die absolute Feuchte der Aussenluft in dieser Zeit höher.
- In der warmen Jahreszeit benötigen untergeschossige Trockenräume einen forcierten Luftaustausch, mindestens mit Querlüftung, um die relativ warme Aussenluft überhaupt nach unten zu bringen. Andernfalls entsteht - mit der Verdun-stungskälte der trocknenden Wäsche - oft ein Kaltluftsee, welcher den Trocknungsprozess fast zum Stillstand bringt; nach 1 - 2 Tagen beginnt es muffig zu riechen (es "gräuelt", Schimmelpilze).
- Trockenräume im unbeheizten Estrich "funktionieren" auch ausserhalb der Heizperiode gut, weil guter Luftaustausch ge-währleistet ist und durch Sonnen- oder nur schon Diffusstrahlung sowie u.U. Wärmefluss durch den Boden eine mehr oder weniger grosse Temperaturerhöhung erreicht wird. Für die meisten grossen Estriche finden sich allerdings seit lan-gem interessantere Nutzungen...

#### Folgerungen für die Verwendung von Aussenluft

Während eines grossen Teils des Jahres eignet sich Aussenluft grundsätzlich zur Wäschetrocknung. Durch geeignete for-cierte Luftführ-ung (Ventilatoren) und eine (gesteuerte!) Temperierung lässt sich der Einsatzbereich weit ausdehnen. Al-lerdings wird die Temperierung zeitweise auch im Sommer benötigt, so dass hierfür nicht die normale Raumheizung eingesetzt werden kann. In der französischen Schweiz wird gelegentlich die WarmwasserZirkulationsrückleitung zum Wä-schetrocknen eingesetzt, was allerdings nicht bei allen Warmwasserversorgungen problemlos ist.

Im Pilotprojekt Utohof (vgl. unten) wurden zwei Trockenräume so ausgerüstet, dass Raumluft-Entfeuchtungstrockner als "Ersatz-System" dienen, während Aussenluft bei geeigeten Luftzuständen zur Trocknung durch den Raum zirkuliert. Phy-sikalisch scheint dies gut zu funktionieren; problematisch ist jedoch die Akzeptanz bei den Benutzerinnen (längere Trocknungsdauer, tiefere Raumtemperatur).

### 2.3 Randbedingungen

“Wäschetrocknen” als Gesamtsystem ist recht komplex und - etwa im Vergleich zum Kühlschranks - nicht vorwiegend auf Geräteeigenschaften zu reduzieren. Die folgenden Überlegungen zu einigen Randbedingungen müssen zur angestrebten Optimierung des Gesamtsystems berücksichtigt werden.

#### Trockenräume

- Grösse, Baukonstruktion (evtl. Wärmedämmung, Wärmeträgheit, Feuchtepufferung\*... Wärmequellen oder -senken angrenzend
- Wärmequellen im Raum (Leitungen, evtl. Heizkörper, Apparate inkl. Wasch-/Trocknungsapparate
- Lüftung, Luftaustausch:
  - Fenster (Beschläge, Offenhalter ... ), Querlüftung möglich (direkt oder durch andere Räume?)
  - künstliche Lüftung, Ventilator (evtl. nur Anschluss an Abluftanlage?)
  - Luftaustausch mit angrenzenden Räumen möglich bzw. unterbunden: Treppenhaus, Naturkeller, evtl. andere Feuchtequellen
  - Belästigung darüberliegender Räume oder der Umgebung durch Abluft möglich (Geruch, Feuchte)?

\* Zur Feuchtepufferung ist anzumerken: das früher übliche Wäschetrocknen mit natürlicher Lüftung und Abwärme erreichte offenbar oft dank grosser Feuchte-Pufferkapazität in den Umschliessungsflächen des Trockenraumes beachtliche Trocknungsleistungen. Beispiele zeigten, dass nach Abdeckung dieser Flächen durch Plattenbeläge, Deckenisolierung usw. zeitweise Oberflächenkondensat auftrat und das Trocknen beeinträchtigt bzw. stark verlangsamt wurde.

Feste Einrichtungen nebst den Haupt-Apparaten sind ebenfalls mit der Lokalität verbunden, gehören aber systemtechnisch eher zu den Apparaten:

- Wäscheleinen (Komfort, Zweckmässigkeit betr. Luftströmung... Pro Laufmeter Wäscheleine können rund 1/3 kg Trockenwäsche gehängt werden.
  - Ablagegitter, -Gestelle u.ä., auch zum Trocknen
  - Waage
  - Benutzungsplan mit Reservations-System
  - Anleitungen, Hinweistafeln
  - Evtl. zu betätigende Lüftungsöffnungen, -Schalter, -Fenster usw.
  - Waschmittelschränke u.ä.

#### Benutzung

- Benutzungsplan Waschraum - Trockenraum; abhängig von:
  - der Anzahl und Grösse der Haushalte pro Anlage,
  - von der Anzahl der Trockenräume pro Waschautomat bzw. Waschraum und deren Kapazität,
  - Trocknungsleistung (Prozessdauer 1 Tag, 1/2 Tag,
- Alternative Trocknungsmöglichkeiten:
  - im Freien: feste Leinen, Stewi; Aufstellen jedesmal nötig?, wichtig: Zugangsweg (Treppen, Länge);

- im Estrich oder sonst an gedecktem oder geschütztem Platz
- auf Balkon, in der Wohnung (oft verboten wegen Bauschadenrisiko)

- Sparanreiz bezüglich maschinellem Trocknen:

- benutzungsabhängige Kostenabrechnung (codierte Zählerumschaltung, "Kreditkarten"-System, Münzzähler, evtl. Strichliste)

Probleme ergeben sich bei codierter Zählerumschaltung, wenn Wasch- und Trocknungsapparate aus Zeitprogrammgründen nicht zusammen freigegeben werden können (Trocknungsgerät läuft, während bereits nächste Benutzer an den Waschautomaten kommen). Oft wird dann das Trocknen pauschal verrechnet, obwohl es mehr Strom pro kg Trockenwäsche braucht als das Waschen.

#### Trockenraum-Energieflüsse

Zur Beurteilung des Wäschetrocknens im Trockenraum müssen die Energieflüsse - und zwar bezüglich Wärme wie auch Feuchte - analysiert werden. Die folgenden Abschätzungen geben Anhaltspunkte zu den erforderlichen oder sich einstellenden Energieflüssen, welche teilweise durch kostenpflichtige Energien zu decken sind.

Tab. 2.1 Abschätzung der Transmissionswärmeflüsse und Heizleistungen (Winter, Modell-Trockenraum 6 x 3 x 2.5 m)

Bauteil	Abmessungen	Wärmeübergang	Temperatur-differenz [K]	Leistung [W]
<b>Gewinne</b>				
Trockenraum-Decke wärmegeed.	18 m <sup>2</sup>	k = 0.4 W/m <sup>2</sup> K (lambda 0.4)	7	50
Heizleitungen 30 mm isoliert	10 m 1"		25	55
TR-Decke nicht wärmegeed.	18 m <sup>2</sup>	k = 1.5 W/m <sup>2</sup> K	5	135
Heizleitungen nicht isol.	10 m 1"		20	210
Radiator Einsäuler	1 x 1.5 m		25	1'500
<b>Verluste</b>				
Trockenraum-Aussenwand	9 m <sup>2</sup>	k = 1.5 W/m <sup>2</sup> K	10	135
Trockenraum-Boden (nicht wärmegeedämmt)	18 m <sup>2</sup>	k = 1.5 W/m <sup>2</sup> K	5	135
<b>Zum Vergleich:</b>				
Trocknen von 20 kg Trockenwäsche pro Tag, Verdampfungswärme von 14 kg Wasser pro 24 h			(0)	365
...pro 10 h (höhere Trocknungsleistung)			(0)	875

Kommentar:

Die Leistungsbetrachtungen zeigen, dass bisher übliche Trockenräume durch Dauer-Wärmegewinne relativ problemlos beträchtliche Wäschemengen zu trocknen vermögen (bei

geeigneter Feuchteabfuhr - z.B. Kippfenster! - und Zeitdauer). Heizkörper ergeben massive Wärmeüberschüsse, d.h. höhere Raumtemperaturen und damit höhere mögliche Trocknungsleistungen. Bei wärmegeprägten Decken und Leitungen verschieben sich die " Richtung tieferer Raumtemperaturen, was kleinere Trocknungsleistungen zur Zustände in

Folge hat. Weil die Wärmeabgabe von Decken und Leitungen ungesteuert erfolgt, ist deren Wärmedämmung sinnvoll.

## 2.4 Modellfall und Kostenbetrachtungen

### Modellfall Mehrfamilienhaus

Um konkrete Datengrundlagen zur Planung bzw. Berechnung von Wäschetrocknungsanlagen zu erhalten, werden aufgrund einer typischen Situation die interessierenden Werte abgeleitet.

Im Magazin des Schweizerischen Instituts für Hauswirtschaft SIH Nr. 1/1990 ("Waschbilanz") wurde unter dem Aspekt des Waschmittelverbrauchs der Wäscheanfall für einen 4-Personen-Haushalt zusammengestellt mit total 1'263 kg Trockenwäsche. Bei einheitlichen Wohnungsgrößen dürfte etwa mit folgendem Trockenwäscheanfall zu rechnen sein (es wird aber oft nicht alles maschinell getrocknet!):

- 4 - 6 Zimmer-Wohnung (Familien): 18 - 24 kg pro Woche
- 2 1/2 - 3 1/2 Zimmer-Wohnung: 12 - 16 kg pro Woche (2/3)
- 1 - 2 Zimmer-Wohnung: 6 - 8 kg pro Woche (1/3)

Der statistische schweizerische Durchschnittshaushalt besteht nur noch aus etwa 2.4 Personen. Wir rechnen daher als Modell mit einem Mehrfamilienhaus (-Teil) mit 6 Haushalten à 800 kg Trockenwäsche, also total 4'800 kg pro Jahr.

Trockenwäschanfall des 6-Familienhauses: 92 kg/Woche, rund 20 kg pro Arbeitstag.

Theoretische Verdampfungsenergie ohne Energierückgewinnung:

Verdampfungsenergie Wasser: 539 kcal/kg = 0.625 kWh/kg

ergibt 0.438 kWh pro kg Trockenwäsche bei 70% "Wäscherestfeuchte"

(gemäss SIH-Prüfrichtlinien, bezogen auf schranktrocken, resultiert bei Schleudern mit etwa 800 U/min).

Z Im Modellfall mit 20 kg Trockenwäsche (TW) pro Tag:

zu verdampfende Wassermenge: 14 kg; Verdampfungsenergie: 8.75 kWh.

- Tumbler: ein Tumbler mit einem spezifischem Stromverbrauch von 0.7 kWh/kg TW benötigt unter Prüfbedingungen für 20 kg Trockenwäsche 14 kWh, also 160% der Verdampfungsenergie. Im Fall von Abluft-Tumbler mit Abluft ins Freie (sonst drohen Feuchteschäden!) kommt im Winter die Heizenergie für die Ersatzluft-Erwärmung hinzu: ca. 450 M<sup>3</sup>, bei 13 K Erwärmung, also 1.9 kWh; total 15.9 kWh..

- Bei passiver Trocknung im Trockenraum (Weglüften des Wasserdampfes) muss diese Verdampfungsenergie, +/- die fühlbare Wärmedifferenz des Luftwechsels, dem Raum zugeführt werden. In anbetracht der Wärme- und Feuchte-Pufferwirkung des Raumes können die 8.75 kWh über 24 Tagesstunden verteilt werden, was eine Leistung von 365

W ergibt. (Vgl. oben: Trockenraum-Wärmeflüsse).

- Luftwechsel: Aussenluft von 4°C/75% rel.Feuchte (Heizperioden-Mittelwert) kann durch die Wäschetrocknung z.B. mit 6 g/kg Wasserdampf beladen werden, was einen Abluftzustand von 17°C/80% r.F. ergibt. Es müssen somit für die Entfernung von 14 kg Wasser 2'333 m<sup>3</sup> Aussenluft "durchgelüftet" und um 13 K erwärmt werden. Dies erfordert nochmals 9.7 kWh Wärme bzw. über 24 Tagesstunden eine Leistung von 405 W. Total 18.45 kWh bzw. 770 W.

Für einen Trockenraum von 45 M<sup>3</sup> (3 x 6 x 2.5 m) ergeben die 2'333 M<sup>3</sup> einen Luftwechsel über 24 h von  $n = 2.2/h$ . In der Praxis dürften höhere Luftwechsel mit kleineren Feuchtebeladungen vorkommen, woraus höhere Heizleistungen resultieren. Bei höheren Aussentemperaturen reduziert sich hingegen die Heizleistung. Für diese Lufterwärmung kann niederwertige Energie bzw. in der Praxis Abwärme (wenn auch z.T. aus "Wärmediebstahl") eingesetzt werden.

- Die winterliche Trocknung von 20 kg TW/Tag erfordert somit im Trockenraum eine Wärmezufuhr von ca. 770 W, welche ohne Heizkörper kaum erbracht werden kann (Abschnitt 2.3). Dies stimmt auch mit der praktischen Erfahrung überein, dass im unbeheizten Trockenraum ohne grössere "Wärmediebstähle" nur etwa 5 - 10 kg TW pro Tag getrocknet werden können.

#### Kosten/Wirtschaftlichkeit

Wie bei allen Anlagen sind Investitionskosten für die Einrichtungen sowie Betriebs- und Unterhaltskosten, für Energie, Wasser, sonstige Betriebsmittel und u.U. regelmässig erforderliche Unterhaltsarbeiten zu unterscheiden:

Für die Gesamtbeurteilung sind die Jahreskosten massgebend, welche sich zusammensetzen aus den jährlichen Kapitalkosten (Amortisation + Zins, meist als Annuität gerechnet = jährlich gleiche Beträge während der Lebensdauer bzw. kalkulatorischen Abschreibungsdauer) + Betriebs- und Unterhaltskosten. Da in Miethäusern in der Regel die Betriebskosten - meist pauschal - zusammen mit anderen Nebenkosten auf die Mieter abgewälzt werden, hat der Vermieter oft kein direktes Interesse an Betriebs-, z.B. Energiekosten-Einsparungen.

Bei bestehenden Bauten, wo einzelne Trockenräume dank aktiver Trocknungssysteme nicht mehr benötigt werden, sind allenfalls zusätzliche Mieterträge erzielbar, welche mit den anfallenden Investitionskosten zu verrechnen sind.

Tabelle 2.2 Beispiele von Investitionskosten für die Wäschetrocknung

(Annuitäten mit 6.5% Zins gerechnet)	Investition	Amort.	Annuität	
	Fr.	Jahre	%	Fr./Jahr
Trockenraum, z.B. 6 x 3 x 2.5 m, 300 Fr/m <sup>3</sup>	13'500	30	7.66	1'026
Trocknungsschrank	3 - 8'000	10	13.91	417 - 1'113
Tumbler	1'500 - 4'000	10	13.91	208 - 556
Raumluftentfeuchter	1'500 - 4'000	10	13.91	208 - 556
Heizlüfter (Gebläse mit el. Heizung)	1'000 - 4'000	15	10.64	106 - 426
Ventilator (mit geeigneten Raumöffnungen)	1'000 - 4'000	15	10.64	106 - 426
<b>Installationen:</b>				
Steckdose 230 V (meist vorhanden, evtl. versetzen)	300	15	10.64	32
Elektroanschluss 400 V (bisher 380 V), z.B.	1'000	15	10.64	106
Kartensystem, Umschaltung auf indiv. Wg.Zähler	?			
Wasser- + Abwasseranschluss (für Kond.tumbler)	1'500	20	9.08	136
Wäscheleine, Aufhängesystem	1'000	15	10.64	106
Wärmedämmung des Raumes, 20 m <sup>2</sup> à 100.--	2'000	30	7.66	153
<b>Unterhalt:</b>				
Trockenraum alle 10 Jahre neu streichen	1'000	10	13.91	139

Tab. 2.3 Beispiele von Energieverbrauch und Energiekosten

Modellfall 6-Familienhaus:

4'800 kg Trockenwäsche pro Jahr, spezifische Verbrauchswerte praxisnah etwas höher als gemäss Gerätedeklaration, Wäsche feuchte 70% gemäss Prüfrichtlinien. Gerätebeschriebe vgl. Abschnitt 3.1

	el. Tumbler	Gas-Tumbler	Heizlüfter	Entfeuchter
Spezifischer Verbrauch ca. kWh/kg Trockenwäsche	0.8	0.1 + 1.4	1.2	0.6
Jahres-Stromverbrauch kWh/a + Gasverbrauch kWh/a	3'840	240 + 3'360	5'760	2'880
Energiekosten bei -.20 Fr/kWh, Fr/a + Gas bei -.05 Rp/kWh (H <sub>o</sub> )	768	240 + 168	1'152	576

Das Verhältnis von Betriebs- zu Kapitalkosten ist natürlich von der Auslastung (Intensität der Nutzung) der Geräte abhängig, wie im obigen Beispiel ein zusätzlicher Fall Einfamilienhaus zeigen könnte: Jahres-Elektrizitätskosten für 800 kg Trockenwäsche im el. Tumbler = Fr. 128.- (640 kWh ä -.20).

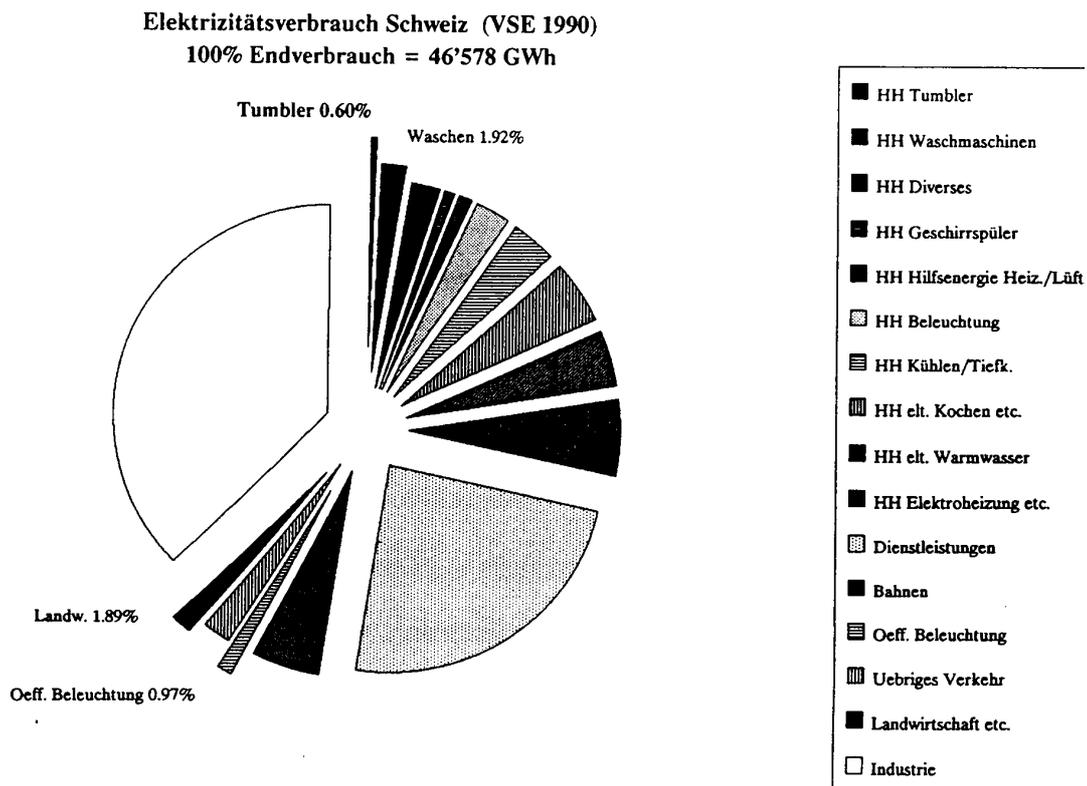
Für eine ökologische Gesamtbetrachtung müssen auch die verschiedenen Umweltbelastungen nicht-energetischer Art berücksichtigt werden. Die investierte graue Energie für Anlagen und Geräte ist in den Investitionskosten enthalten (1.5 - 2.5 kWh/Fr)

## 2.4 Statistisches zum Wäschetrocknen

In der Schweiz gibt es über eine halbe Million Wäschetrockner, welche über 0.6% des Landes-Stromverbrauchs konsumieren. Die Tendenz ist stark steigend, da aus mehreren Gründen "passive" Trockenräume zunehmend anderen Nutzungen zugeführt werden sowie Bequemlichkeit und Zeitgewinn zugunsten des maschinellen Wäschetrocknens sprechen. 1986 wurden gesamthaft etwa 15% aller Wäsche der Privathaushalte maschinell getrocknet [15]. Sollte dieser Anteil auf z.B. 50% steigen, so könnte dies fast 2% des Landes-Stromverbrauchs ausmachen (heutige spezifische Verbräuche, bezogen auf heutigen Landesstromverbrauch).

Zum Vergleich: der Gesamt-Stromverbrauch der 1.15 Mio Haushalt-Waschautomaten beträgt mit 830 GWh ' /a rund 1.8% des Stromverbrauchs! (Werte aus VSE-Statistik 89). Damit kommt auch zum Ausdruck, dass das maschinelle Trocknen mit heutiger Technik im Mittel mehr als zweimal soviel Strom braucht wie das vorgängige Waschen der gleichen Wäschemenge.

Bild 2.6 Anteile Waschen und Trocknen im schweizerischen Elektrizitätsverbrauch



Tab. 2.4 Statistik der Gerätezahlen

	Anzahl
- Tumbler gemäss VSE-Statistik Haushaltgeräte per 1989	460'000 *
- Entfeuchtungstrockner gemäss P. Hofstetter 1990 []	40'000
- Elektr. Warmluftgeräte für Trockenräume in Wohngebäuden, (grobe Schätzung)	50'000
- Trockenschränke in Wohngebäuden, grobe Schätzung	<u>10'000</u>
- Wäschetrockner gemäss IHA-Erhebung 1989	560'000
- Waschautomaten gemäss IHA-Erhebung 1989	1'500'000
<b>Verfügbarkeit von Tumblern, gemäss Mikrozensus 1986 [15]:</b>	
- 8.6% der befragten Haushalte verfügten über einen eigenen	
- 19.5% benutzten ihn mit anderen zusammen.	

\* Der Anteil Gas-Tumbler dürfte vernachlässigbar sein (<1%).

Das gewerbliche Waschen und Trocknen wird hier nicht behandelt; seine energetische Bedeutung dürfte gesamthaft deutlich kleiner sein als jene der Haushalte. Allerdings sind auch hier z.T. noch energieverschwendende Techniken im Gebrauch.

#### Fragebogen-Auswertung städtische Wohnsiedlungen Zürich

Mit Hilfe der Liegenschaftenverwaltung der Stadt Zürich konnte mittels Fragebogen eine Umfrage zur Wäschetrocknungssituation in 48 Siedlungen mit total 458 Waschküchen realisiert werden. Die Angaben wurden über die Hauswarte erhoben und in einigen Fällen durch Nachfrage ergänzt. Es handelt sich um Wohnsiedlungen verschiedener Bauart, wovon 5 Alterssiedlungen und 2 EFH-Siedlungen (zusammen 17 EFH). Die wichtigsten Resultate sind in den Bildern 2.7 und 2.8 zusammengestellt. Zusätzlich ist bemerkenswert, dass von den total 626 Waschautomaten ca. 95 Gasheizung aufweisen, und dass in praktisch sämtlichen Waschküchen Zentrifugen verfügbar sind. Die Waschautomaten in Bild 2.8, welche mit mehr als 10 Wohnungs-Äquivalenten belastet sind, stellen zu sanierende Sonderfälle dar.

Bild 2.7 Städtzürcher Siedlungen: Waschküchen nach Ausrüstung (total 458)

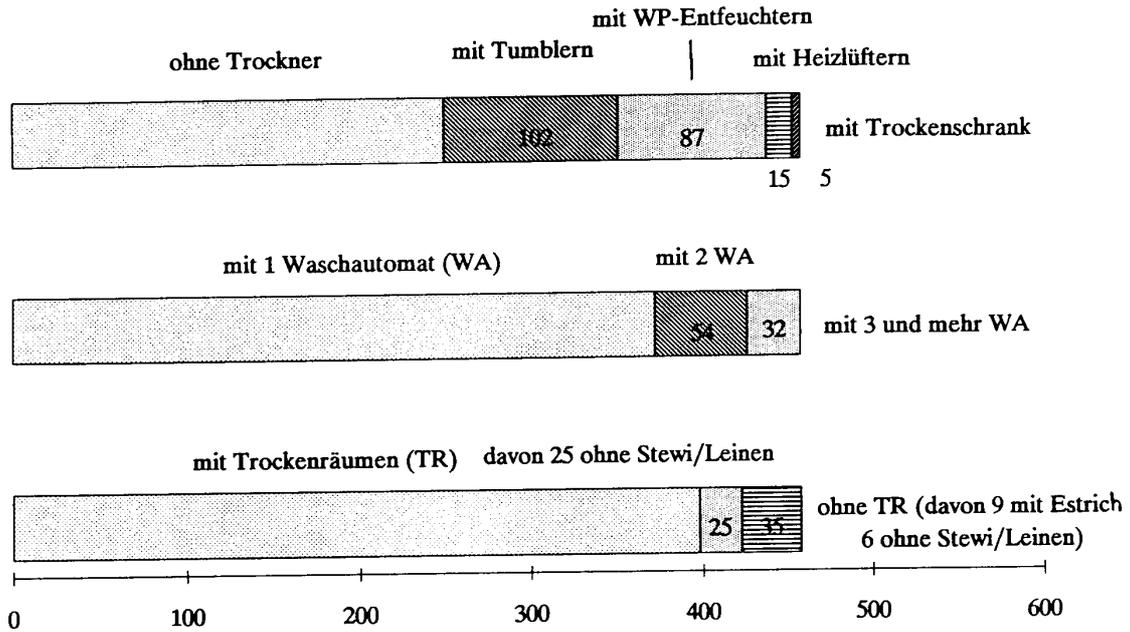
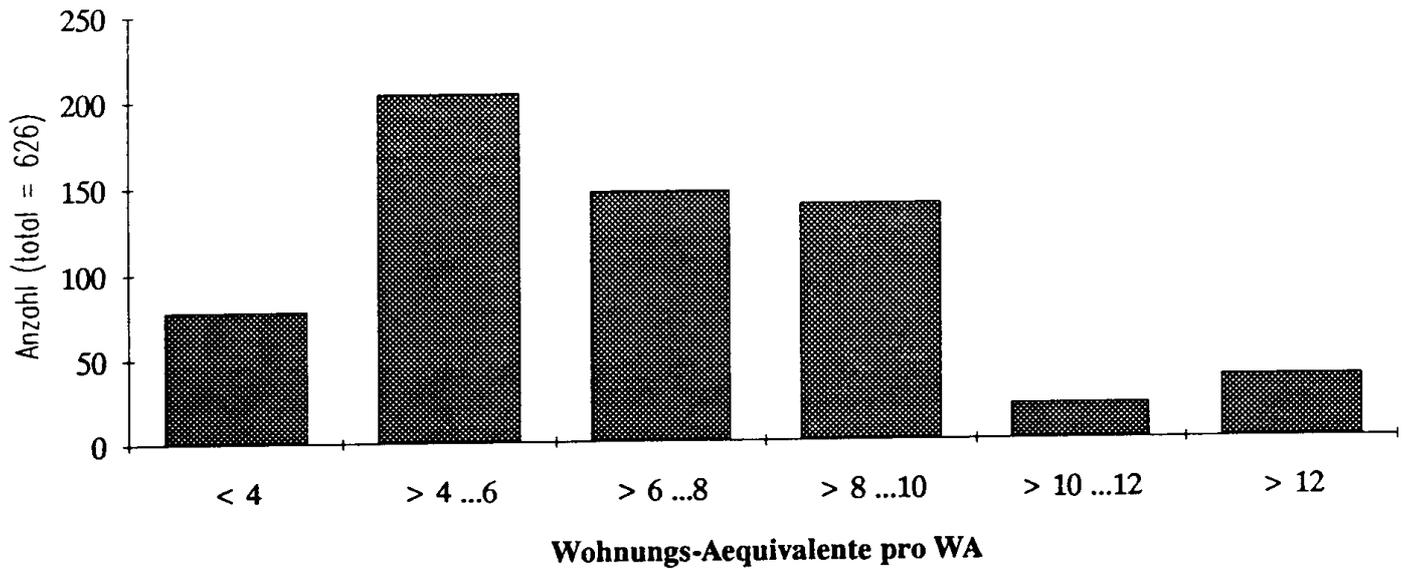


Bild 2.8 Städtzürcher Siedlungen: Anzahl Waschautomaten nach Belastung



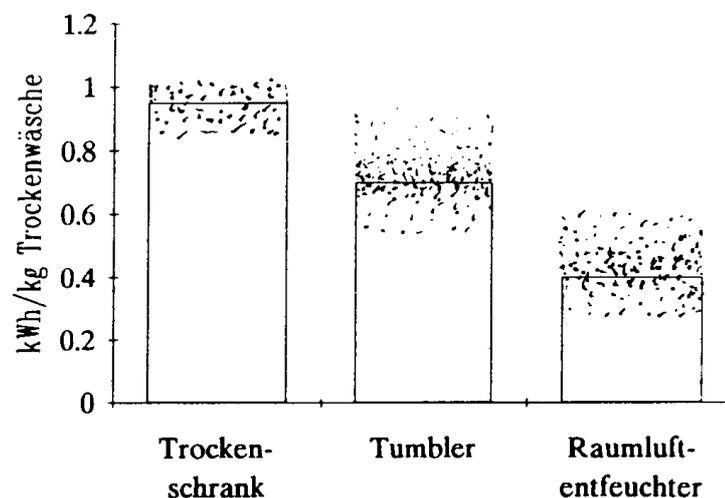
### 3. Trocknungssysteme

Tab. 3.1: Uebersicht Trocknungssysteme

System	Typ	potentielle Probleme
Tumbler	Abluft Wasser-Kondensation Luft-Kondensation	Abluft-Entsorgung Wasserverbrauch höherer Stromverbrauch
Trockenschrank (generell relativ teuer)	Abluft Wasser- oder Luftkondensation Wärmepumpe:	vgl. Tumbler vgl. Tumbler kaum marktreife Produkte
Raumluf-Entfeuchter mit Wärmepumpe		Benutzerverhalten lange Prozessdauer
Lufterhitzer (generell ist oft kein definierter Luftwechsel gewährleistet)	elektrisch an Warmwasser-Zirkulation an Heizung	Widerstandsheizung Steuerung; Legionellen Sommer..!
Ventilation (nicht üblich ohne elektrische oder andere Heizung; entwicklungsfähig!)	Kombination mit anderen Systemen	"Wärmediebstahl", Steuerung
"Passives" Trocknen im Trockenraum (generell kleine Trocknungsleistung)	UG-Trockenraum Estrich	Kaltluftsee im Sommer
Trocknen im Freien		witterungsabhängig

Bild 3.1 Bereich spezifischer Energieverbräuche gemäss Warendeclaration

Für andere Systeme sind keine EnergieWarendeclarationen gebräuchlich. Unsere Arbeiten haben gezeigt, dass die Energieverbräuche in der Praxis bis zu 50% (bei Raumlufentfeuchtern mehr) über den Deklarationswerten liegen können.



### 3.1 Systeme des Marktangebotes

#### 3.1.1 Tumbler

Beim Tumbler wird die die Wäsche in eine Trommel gefüllt, gleich wie bei einer Waschmaschine. Beim Trocknungsvorgang dreht sich die Trommel während die Wäsche von heisser trockener Luft umströmt wird. Die feuchte Luft wird je nach System ins Freie geblasen oder sie wird in einem geschlossenen Kreislauf mit Raumluft oder Wasser abgekühlt und dabei entfeuchtet. Die einzelnen Verfahren werden in den folgenden Abschnitten beschrieben. Anschliessend zeigt Bild 3.5 eine Zusammenstellung der angebotenen Modelle nach spezifischem Energieverbrauch.

Tumbler gibt es in vielfältiger Bauform, so als Standmodell, als Aufsetzmodell zu einer Waschmaschine, oder auch besonders platzsparende Bauarten. Die Füllmengen variieren je nach Grösse zwischen 2 und 6.5 kg Trockenwäsche. Die energetischen Gesichtspunkte werden in der Beschreibung der einzelnen Typen betrachtet, hier eine allgemeine Beurteilung:

- Vorteile:

- kleiner Platzbedarf
- Wäsche muss nicht aufgehängt werden
- Frottestoffe und Maschenware werden weich und flauschig.

- Nachteile

es eignen sich nicht alle Textilien für den Tumbler, daher muss die Wäsche vorher sortiert werden. Für Wäsche, die nicht im Tumbler getrocknet werden darf, muss zusätzlich noch eine andere Trocknungsmöglichkeit vorhanden sein.

Wegen unterschiedlichen Trocknungsverhaltens verschiedener Textilien werden die schneller trocknenden über trocknet, was zu Knitterbildung führen kann.

#### Abluft-Tumbler

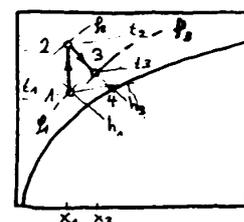
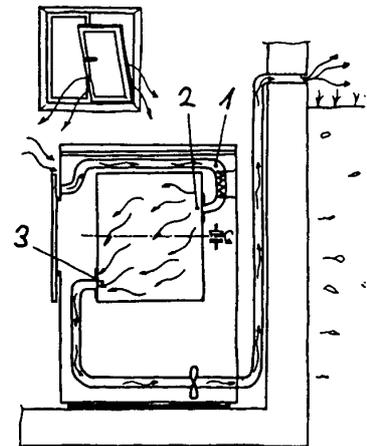
Prozessbeschreibung (Bild 32)

(1 — 2) Luft aus dem Trockenraum wird an esaugt und mit einem Lufterhitzer erwärmt. Dabei steigt die Temperatur von  $t_1$  auf  $t_2$  und die relative Feuchtigkeit sinkt von #1 nach #2. Im  $h,x$ -Diagramm ebenfalls von Punkt 1 nach Punkt 2.

(2 - 3) Danach wird die warme trockenere Luft in die Trommel geleitet und nimmt Wasser von der Wäsche auf. Bei praktisch konstanter Enthalpie sinkt die Lufttemperatur auf  $t_3$  und die relative Feuchte nimmt auf #3 zu. Im  $h,x$ -Diagramm von 2 — 3.

Danach wird die feuchte Luft ins Freie geführt.

(4) Punkt 4 im  $h,x$ -Diagramm würde die Luft erreichen, wenn sie vollständig gesättigt wäre. Je weiter sie von 4 entfernt ist, um so schlechter ist die Feuchteaufnahme von der Wäsche verlaufen und desto mehr Energie geht verloren.



- Vorteile

Relativ einfache Konstruktion und daher kostengünstig in der Anschaffung. Es ist kein Kondensationssystem erforderlich.

- Nachteile

Kaltluft muss von draussen nachströmen, warme Abluft wird ins Freie geleitet. Diese Energie zum Aufheizen der Kaltluft, wird oft versteckt von der Hausheizung aufgebracht, wenn z.B. warme Luft vom Treppenhaus nachströmt oder wegen niedrigen Trockenraumtemperaturen der Wärmefluss durch die Decke zunimmt.

- Kritische Betriebszustände

Die Abluft ist zu trocken und könnte noch mehr Feuchtigkeit aufnehmen; es geht sehr viel Energie verloren. Gründe dafür sind: kurze Verweildauer der Luft bei der Wäsche, ungünstige Luftführung durch die Trommel. Dies kann ein Grund sein für den unterschiedlichen Energieverbrauch der angebotenen Tumbler mit Abluftsystem. Auch bei ungenügender Trommelfüllung ist dieser Zustand gegeben.

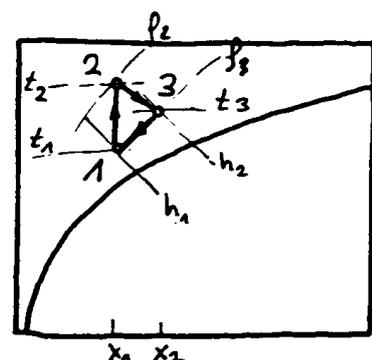
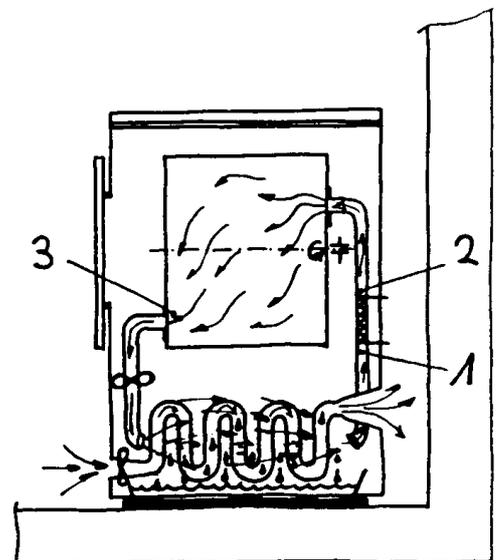
Die Abluft wird nicht ins Freie geführt, sondern in den Raum, wo die Maschine steht. Die Raumluft wird immer mehr mit Feuchtigkeit angereichert und die Wäsche wird gar nicht mehr trocken oder nur nach langer Zeit mit erhöhtem Energieverbrauch. Dies ist somit nur bei sehr gut durchlüfteten Räumen denkbar (Wärmeverlust im Winter).

Kondensations-Tumbler mit Luftkühlung Prozessbeschreibung (Bild 3.3)

(1 — 2) Luft im Punkt 1 wird mit einem Luftheizer erwärmt. Dabei steigt die Temperatur von  $t_1$  auf  $t_2$  und die relative Feuchtigkeit sinkt von #1 nach #2. Die Zustandsänderung im  $h,x$ -Diagramm läuft von Punkt 1 nach 2.

(2 — > 3) Danach wird die warme trockenere Luft in die Trommel geleitet und nimmt Wasser von der Wäsche auf. Bei praktisch konstanter Enthalpie sinkt die Lufttemperatur auf  $t_3$  und die relative Feuchte nimmt auf #3 ZU. Im  $h,x$ -Diagramm 2— 3.

(3 — > 1) Danach wird die feuchte Luft über einen Kühler geführt, wo sie abgekühlt wird; dabei kondensiert Wasser aus. Diese Zustandsänderung verläuft im  $h,x$ -Diagramm von 3 nach 1.



Nach dem Kühler gelangt die Luft wieder in die Heizung und der Prozess beginnt von neuem.

Zur Abkühlung der feuchten Luft wird Raumluft verwendet, welche durch den Wärmetauscher geblasen wird. Das auskondensierte Wasser schlägt sich an den Wänden des Wärmetauschers nieder und wird aufgefangen bzw. abgeleitet. Die kühlende Raumluft ist vom Tumblerkreislauf getrennt und nimmt keine Feuchtigkeit auf.

#### - Vorteile

Es muss keine Frischluft von draussen angesaugt werden. Der Luftwechsel des Gebäudes bleibt unverändert. Gegenüber dem Ablufttumbler bleibt die verbrauchte Energie im Haus und kann im Winter z.T. heizwirksam werden.

#### Nachteile

Kondensationstumbler mit Luftkühlung verbrauchen etwas mehr Energie als Ablufttumbler.

Evtl muss ein Kondensatbehälter nach der Trocknung entleert werden.

#### - Kritische Betriebszustände

Steht die Maschine in einem kleinen Raum, so erwärmt sich die Luft schnell und damit auch die "Kühlluft" für die Kondensation. Die Prozessstemperatur wird angehoben oder, bei vorgegebener Trocknungstemperatur, verlängert sich die Trocknungsdauer mit entsprechender Erhöhung des Energieverbrauches.

### Kondensations-Tumbler mit Wasserkühlung Bild 3.4

Der Prozess läuft analog ab wie beim System mit Luftkühlung, nüt dem Unterschied, dass Wasser zur Kühlung verwendet wird. Für die Abkühlung der feuchten Luft wird Kaltwasser in die Luft gesprüht. Der Wasserdampf kondensiert und wird mit dem Kühlwasser abgeführt.

Vorteil gegenüber Luft-Kondensationstumbler

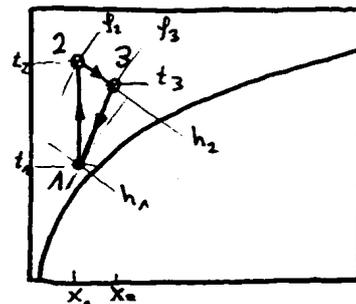
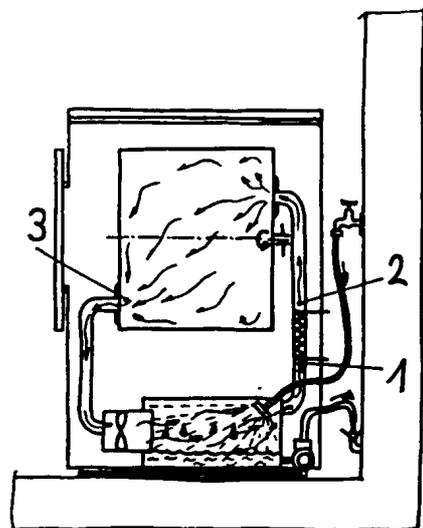
Kann auch in kleinsten Räumen ohne Nachteil für die Prozessführung und den Energieverbrauch betrieben werden.

Nachteile

Installationsaufwand für Wasserzu- und evtl. Ableitung.

Pro Trocknungsgang muss neben dem Stromverbrauch mit einem Wasserverbrauch von 60 bis 120 Litern errechnet werden.

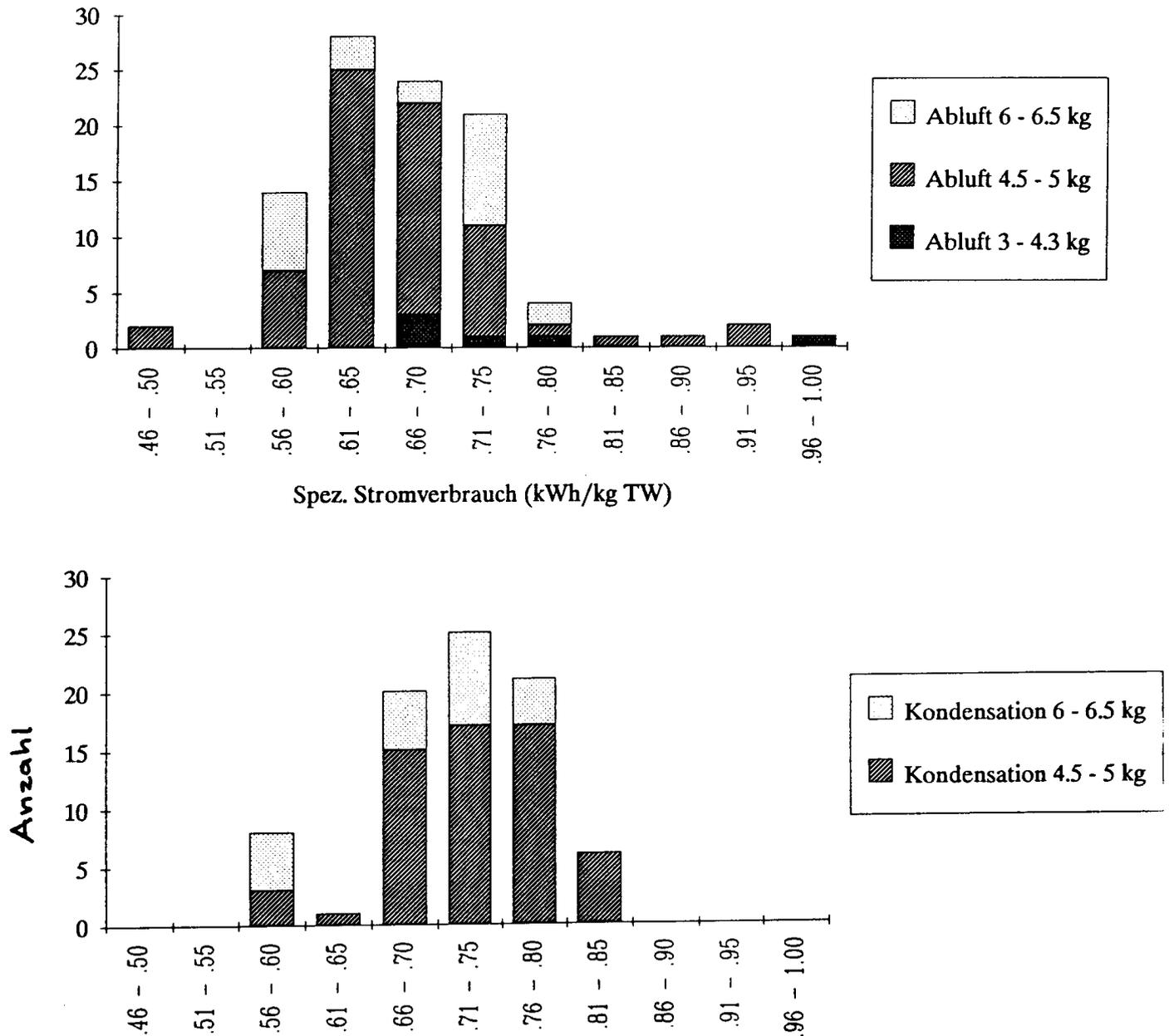
Dies kann die Betriebskosten entscheidend erhöhen.



Die Kondensationswärme des bei der Trocknung verdampften Wassers kann nicht heizwirksam werden, da sie mit dem Kühlwasser zusammen in den Abfluss gelangt.

Höherer Installationsaufwand durch Wasser-Anschluss- und Ableitung.

Bild 3.5 Tumbler-Marktangebot 1987/91: Anzahl Modelle nach spez. Energieverbrauch, Art und Fassungsvermögen. Modell-Anzahl total: 179, davon 98 Ablufttumbler. Quelle: CH-Datenbank.



Energieverbrauch bei Tumbler-Teilbeladung: Wegen schlechterer Feuchtesättigung der Abluft verkürzt sich die Prozessdauer nicht entsprechend dem Grad der Teilbeladung. Dadurch erhöht sich der spezifische Energieverbrauch. Messungen beim SIH ergaben bei 50% Teilbeladung folgende spezifische Energieverbräuche: 150% ohne und 130% mit "Sparautomatik".

### 3.1.2 Raumluftheuchter mit Wärmepumpe

Prozessbeschreibung (Bild 3.6)

Trockene Luft mit der relativen Feuchte #1 und der Temperatur  $t_1$  wird mit Ventilatoren gegen die Wäsche geblasen. Zwei Vorgänge laufen dabei mehr oder weniger parallel ab. Im  $h,x$ -Diagramm können diese beiden Vorgänge nacheinander aufgezeichnet werden.

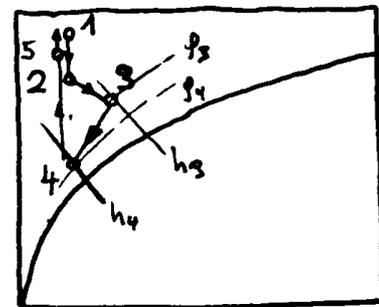
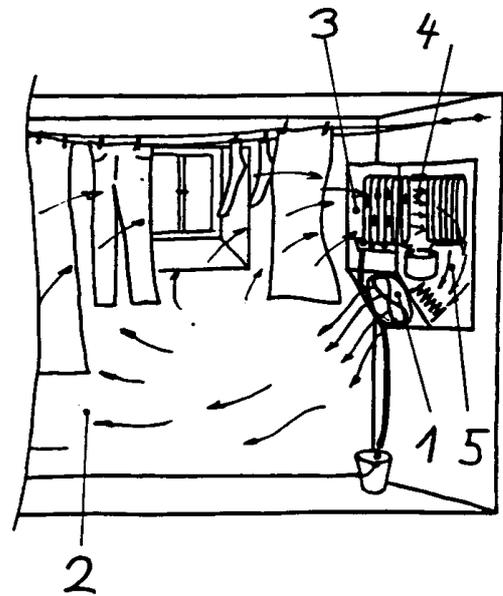
a) (1 → 2) Die Luft vermischt sich mit der übrigen Raumlufte und kühlt sich dabei mehr oder weniger ab, je nach Strömungsverhältnissen im Raum und der Temperatur. Das bedeutet für die mögliche Feuchtigkeitsaufnahme einen Verlust.

b) (2 → 3) Die Luft nimmt Wasser aus der Wäsche auf und kühlt sich von  $t_1$  auf  $t_2$  ab. Die Feuchtigkeit steigt dabei an.

(3 → 4) Die feuchte Luft wird vom Gerät angesogen und über den Verdampfer, die kalte Seite der Wärmepumpe, geführt. Dabei wird der Luft Feuchtigkeit entzogen. Im  $h,x$ -Diagramm von 3 nach 4 kann die Wassermenge abgelesen werden, die auskondensiert.

(4 → 5) Gleich danach wird die Luft über den Kondensator der Wärmepumpe geführt und erwärmt sich dabei.

Bei den meisten Geräten ist noch eine Zusatzheizung eingebaut, die die Luft in kalten Räumen, u.U. vor dem eigentlichen Trocknungsprozess, erwärmt.



#### Vorteile

relativ geringer Energieverbrauch durch die Wärmepumpe, weil sie die Kondensationsenergie auf ein höheres Temperaturniveau bringt und sie so für die Wiedererwärmung der Luft brauchbar macht.

Keine Knitterbildung auch bei Überdörrung

Für alle Wäschesorten geeignet

Keine mechanische Beanspruchung der Wäsche

- Nachteile

Abhängigkeit von den Raum-Randbedingungen (Temperaturen, Wärmeträgheit, Wärmedämmung). Bei Raumtemperaturen unterhalb etwa 12°C ist u.U. Vorheizen nötig.

Die Wärmepumpe arbeitet mit FCKW-Kältemittel (Ozonzerstörung). Zur Zeit wird bei den Herstellern vom Kältemittel R12 auf das weniger schädliche R22 umgestellt.

Die Wäsche muss aufgehängt werden

- Kritische Betriebszustände, mögliche Mankos

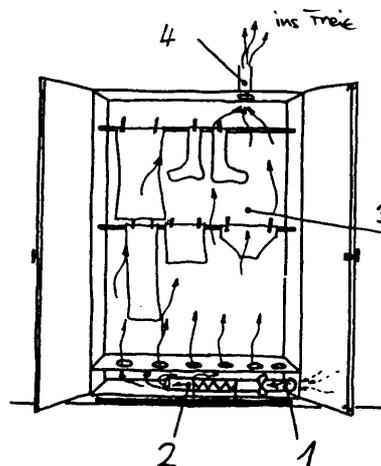
Der Raumluftentfeuchter muss in einem geschlossenen Trockenraum arbeiten können. Offene Fenster und Türen können zu sehr hohen Verlusten führen, weil dann z.B. Aussenluft entfeuchtet wird.

Tiefe Raumtemperaturen: Der Entfeuchtungsprozess findet auf sehr niedrigem Temperaturniveau statt und die Luft kann entsprechend wenig Feuchtigkeit aufnehmen und abgeben. Der Trocknungsprozess verlängert sich, der Energieverbrauch nimmt zu.

Bei zu tiefen Raumtemperaturen - je nach Gerät ca. 12 ... 18°C - können Vereisungen am Verdampfer auftreten, was die Funktion u.U. verunmöglicht, falls das Gerät nicht über eine Abtauung verfügt.

### 3.1.3 Wäschetrockenschrank (Bild 3.7)

Beim Trockenschrank wird die Wäsche wie im Trockenraum an einer eng gespannten Leine aufgehängt. Nach dem Aufhängen der Wäsche werden die Schranktüren geschlossen und der Trocknungsvorgang kann beginnen. Ein Ventilator bläst vorgewärmte trockene Luft gegen die Wäsche. Die feuchte Luft wird je nach System ins Freie geblasen oder sie wird in einem geschlossenen Kreislauf mit Raumluft oder Wasser abgekühlt und dabei entfeuchtet. Der Schranktrockner ist ein Minitrockenraum, mit Systemvarianten eines Tumblers. Die einzelnen Verfahren werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.



#### Vorteile

Relativ kleiner Platzbedarf, aber grösser als der eines Tumblers. Eine Typische Schrankgröße ist 120\*65\*200 cm (Breite\*Tiefe\*Höhe).

Im Trockenschrank können alle Textilienarten getrocknet werden, es muss keine weitere Trocknungsmöglichkeit vorgesehen werden, wie beim Tumbler.

Da die Wäsche hängt, muss auch bei einer Übertrocknung nicht mit Knitterbildung gerechnet werden.

Die Wäsche unterliegt im Gegensatz zu einem Tumbler keiner mechanischen Beanspruchung.

Durch die grosse Oberfläche der aufgehängten Wäsche und die intensive Luftumwälzung auf engem Raum (— hoher Verdunstungsbeiwert) können grosse Trocknungsleistungen erreicht werden. Umgekehrt kann dadurch auch bei Raumtemperatur und kleinem Dampfdruckgefälle noch eine akzeptable Trockenleistung erreicht werden.

#### Nachteile

Durch die grössere Oberfläche eines Trockenschrankes gegenüber einem Tumbler muss bei hohen Trocknungstemperaturen mit einem höheren Wärmeverlust gegen den Raum gerechnet werden. Dieser Wärmeverlust führt direkt zu einer Verschlechterung der Verbrauchswerte.

#### Wäschetrockenschrank mit Abluftsystem

Der Prozess läuft analog ab wie beim Abluft-Tumbler, mit dem Unterschied, dass die Wäsche aufgehängt wird und dass der Wärmeverlust an den Raum, bedingt durch die grössere Schrankoberfläche, höher ist.

#### Wäschetrockenschrank mit Luft-Kondensationssystem

Der Prozess läuft analog ab wie beim Trockenschrank mit Abluftsystem, mit dem Unterschied, dass die Luft in einem geschlossenen Kreis umgewälzt wird. Für die Abkühlung der feuchten Luft wird Raumluft verwendet, die durch den Wärmetauscher geblasen wird, wie beim Luftkondensations-Tumbler.

#### Wäschetrockenschrank mit Wasser-Kondensationssystem

Der Prozess läuft analog ab wie beim Luft-Kondensationssystem, mit dem Unterschied, dass die Kondensationswärme hier durch den Abfluss verloren geht.

#### Wäschetrockenschrank mit Wärmepumpe

Die Kondensation der feuchten Luft geschieht am Verdampfer der Wärmepumpe, die die Kondensationsenergie auf ein höheres Temperaturniveau bringt und sie so für die Wiedererwärmung der Luft brauchbar macht. Die Antriebsenergie der Wärmepumpe wird in Wärme umgewandelt, so dass die Temperatur der im Kreis geführten Trocknungsluft stetig ansteigt, bis sich ein Gleichgewicht mit den Schrankverlusten einstellt.

Theoretisch müsste ein gegenüber dem Trockenschrank mit Heizung viel kleinerer Energieverbrauch möglich sein. Das einzige auf dem Markt erhältliche Produkt scheint einen Spezifischen Verbrauch in der Grössenordnung eines guten Tumblers aufzuweisen (keine neutralen Messungen vorliegend). Dies ist zwar etwas günstiger als der direktbeheizte Schrank, steht aber in keinem vertretbaren Verhältnis zu den sehr hohen Anschaffungskosten.

### 3.1.4 Warmluft-Wäschetrockner

Das System besteht aus einem Luftherhitzer, wobei die Warmluft gegen die aufgehängte Wäsche geblasen wird, und einer Möglichkeit zur Entfernung der feuchten Luft. Der Luftherhitzer kann auf verschiedene Weise beheizt werden; für Wohngebäude sind praktisch nur elektrisch beheizte Kompaktgeräte bekannt. Für den erforderlichen Luftwechsel ist häufig nur Fensterlüftung vorgesehen, was das System extrem benutzerabhängig macht und sogar zu Bauschäden führen kann (Wand-Durchfeuchtung durch Kondensat). Kompetente Anbieter gewährleisten bei der Installation einen definierten Luftwechsel durch Zu- und Abluftöffnungen, wobei z.B. die Zuluftöffnung im Ventilator-Saugbereich liegt.

Wenn die Feuchtigkeit nicht entfernt wird, so kommt trotz Heizung der Trocknungsprozess bei hoher Luftfeuchte praktisch zum Stillstand, woraus ein sehr hoher Energieverbrauch resultiert. Messwerte des Energieverbrauches solcher Systeme konnten nicht in Erfahrung gebracht werden; aus den Überlegungen zum Wärmefluss im Trockenraum (Abschnitt 2.3) lassen sich jedoch Werte ableiten, die weit über Tumbler-Verbrauchswerten liegen.

Die Betrachtungen zur Wäschetrocknung mit Aussenluft (Abschnitt 2.2, Bild 2.5) zeigen andererseits, dass ein System mit richtig dosiertem Aussenluftwechsel bei relativ bescheidener Erwärmung dieser Aussenluft interessante Eigenschaften aufweisen könnte. Kombinierte Systeme mit Aussenluft sollen in einem Folgeprojekt genauer untersucht werden (vgl. Abschnitt 5).

### 3.1.5 Erdgasbeheizte Trocknungsgeräte

Erdgas als Energiequelle zum Wäschetrocknen ist wenig bekannt bzw. eingesetzt. Immerhin werden (1991) entsprechende Geräte angeboten:

- Gasbeheizte Tumbler Firma Merker, Baden: TG/TGK 45 und 60
- Gewerbliche/halbgewerbliche Tumbler mit u.a. Gasheizung, Firma Electrolux Systemtechnik, Liestal (Energieverbrauch ähnlich elektrobeheizt, ca 0.6 kWh/kg Trockenwäsche)
- Gasbeheizter Trocknungsschrank Firma Walther, Zürich (Einzelfall, keine Energieverbrauchsangaben)
- Wäschetrocknen via Gasheizung mittels Heizkörper oder Luftherhitzer (analog zu anderen Systemen mit Heizkesselwärme zu betrachten)

In Grundsätzliches zum Erdgas

- Als Energieträger ist Erdgas weniger hochwertig als Elektrizität. Dies kommt auch im günstigeren Preis von Erdgas (Grossabnehmer/Heizung) zum Ausdruck.
- Tarife: Für Grossabnehmer und für Reingasheizung (EWZ Tarif B) liegt der Arbeitspreis im Mittel etwas über jenem für Heizöl und ist daran gekoppelt. Er ist somit bis 5 mal günstiger als Hochtarifstrom. Vorläufig wird für Kleinverbraucher (EWZ Tarif A) ein an den Stromtarif angelehnter viel höherer Arbeitspreis verrechnet; gemäss Tarifempfehlung des EVED sollte aber davon abgesehen werden.

- Kleinleistungs-Gasgeräte wie Tumbler, Waschautomaten usw. dürfen bis 18 M3 Raumgrösse ohne Abgas-Ableitung betrieben werden. In diesen Fällen wird sowohl die ganze Abwärme wie auch der bei der Verbrennung entstehende Wasserdampf (146 g/kWh(Ho» in den Raum abgegeben, was z.B. für gasbeheiztes Waschen und Tumbeln pro kg Trockenwäsche rund 0.3 kg Wasser ausmacht, ohne die Wäsche feuchte! Selbst bei Ableitung der Tumbler-Abluft bzw. mit Kondensationstumbler sind daher Feuchte-Bauschäden sehr wohl möglich.

#### Energieverbrauch

Durch den bei Kleinstfeuerungen (hier 5 - 8 kW) nicht optimalen feuerungstechnischen und Wärmeübertragungs-Wirkungsgrad (analog Kesselwirkungsgrad) ergeben sich wesentlich höhere Energieverbräuche für Gas-Tumbler und -Waschautomaten im Vergleich zu elektrisch beheizten. Als Anhaltspunkte dienen folgende Werte:

Tab. 3.2 Energieverbrauchs-Vergleich Tumbler mit Elektro- bzw. Gas-Heizung  
Werte in kWh/kg Trockenwäsche (Verbrauch Gasgerät: el. Antrieb + Gas (Ho»

System	el. Abluft (1)	Gas Abluft (2)	(2) : (1)	el. Wasser-Kond.
4...5 kg Tumbler	0.77	0.1 + 1.41	1.96 [-]	0.85
5...6 kg Tumbler	0.75	0.09 + 1.43	2.03 [-]	0.79
<b>Gerätepreis Gas-Tumbler = ca. 125% des Elektrogerätes</b>				

#### Wirtschaftlichkeit

Der etwa doppelte Energieverbrauch der Gasgeräte ist unter den Kriterien der Energiepreise, der Wertigkeit, der Umweltbelastung und der allfälligen Abwärmenutzung (z.B. für Raumtemperierung) zu betrachten. Bei letzterer ist allerdings der oben erwähnte Feuchteeintrag kritisch zu berücksichtigen! Die Wertigkeit ist für den Betreiber und Benutzer nicht ohne weiteres erfassbar bzw. bewertbar, hingegen sollte zusätzlich die Umweltbelastung mit einbezogen werden: bei Gas z.B. NOx, CO2, Emissionen bei Gewinnung und Transport, bei Elektrizität vor allem Kraftwerkproblematik aller Art.

Die Wirtschaftlichkeit für den Betreiber hängt vor allem von den Energiepreisen ab, wobei dazu die Mehrkosten des Gasgerätes und der zusätzlichen Installationen (Gasanschluss, ev. Abgasabzug) zu amortisieren sind und evtl. jährliche Servicekosten anfallen.

Im Fall EWZ bedeutet dies, dass Gas-Tumbler mit Tarif A sicher nicht wirtschaftlich sind, mit Tarif B jedoch bei guter Auslastung durchaus (Beispiel in Tab. 2.3 Kostenbetrachtungen).

In einer Betrachtung über verschiedene Systeme könnte allerdings ein System "Forcierte Lüftung mit bedarfsabhängiger Luftherwärmung" mittels Erdgas interessanter sein.

### 3.1.6 Adsorptionstrockner

#### Funktionsprinzip:

Die Raumluft ("Prozessluft") wird durch 3/4 Sektoren eines drehenden Sorptionsrades geblasen (wie Regenerations-Wärmetauscher, aber mit Sorptionsmaterial beschichtet) und dabei stark entfeuchtet. Eine Teilmenge der entfeuchteten Luft wird im elektrischen Luftherhitzer um ca. 70°C (offenbar, s.u.) erwärmt und durch 1/4 Sektor des Sorptionsrades geführt, wobei sie das vorher adsorbierte Wasser aufnimmt: "Regeneration" des Sorptionsrades. Diese feuchte, warme Luft wird (ins Freie) abgeführt; bei noch z.B. 50°C ist die relative Feuchte dieser Abluft aber nur knapp 20%. Ein Teil der Regenerationswärme bleibt als sensible Wärme im Sorptionsrad und wird für die Vorwärmung des Regenerationsluftstromes genutzt ("Wärmerückgewinnung"). Es findet keine Wasser-Kondensation statt!

#### Technische Daten des Gerätes Anderson Recusorb DR 03IE:

Entfeuchtungsleistung (20°C / /60% rF)	1.1 kg H <sub>2</sub> O/h
Spez. Energieverbrauch	1.2 kWh/kg H <sub>2</sub> O
- ergäbe bei 70% Wäsche-Anfangsrestfeuchte:	0.84 kWh/kg TW
Preis (1988), inkl. Fortluftventilatorbox, ca.	5'500 Fr.
Prozessluftstrom	200 m <sup>3</sup> /h
Regenerationsluftstrom (= Fortluft/Zuluft)	70 m <sup>3</sup> /h
Heizleistung	1.7 kW
Anschlussleistung	1.9 kW

#### Abschätzung von Regenerationstemperatur und Entfeuchtungsluft-Zustand:

Regen. Luftstrom 70 M<sup>3</sup> /h, 1.7 kW — Temperaturdifferenz ca. 70 K Beladung mit 1.1 kg H<sub>2</sub>O ergibt einen Wassergehalt von 13.66 g/kg Entfeuchtung von 200 M<sup>3</sup> /h, 1.1 kg H<sub>2</sub>O/h, vorher 20°C/600% rF (8.7 g H<sub>2</sub>O/kg): ergibt ein Restfeuchte von 3.9 g/kg — (20°C) ca. 27% rF.

#### Probleme des Adsorptionstrockners als Wäschetrockner

- Kleine Entfeuchtungsleistung pro Anschlussleistung (nimmt nicht zu bei steigender relativer Feuchte!)
- Grosse Luftwechsel erforderlich, kein "Wind" durch Gerät.
- Der Vorteil des Adsorptionstrockners liegt bei tiefen Temperaturen und dort nötigen kleinen absoluten Feuchten. Beim Wäschetrocknen sind diese Eigenschaften nicht erforderlich. Der Adsorptionstrockner wird daher auch nicht als Wäschetrockner angeboten.

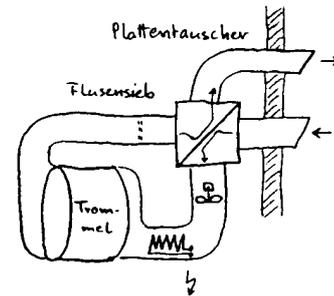
## 3.2 Ergänzende Systeme

### 3.2.1 Wärmerückgewinnung WRG (Bild 3.8)

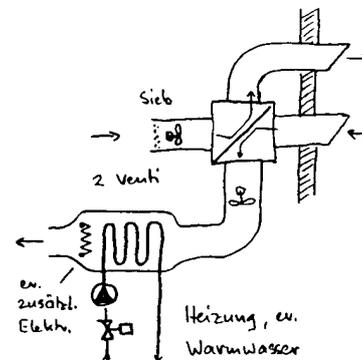
Es kommen nur WRG-Systeme mit vollständiger Trennung in Frage (also keine TauscherRäder, -Ringe etc.), da keine Feuchte auf die Zuluft übertragen werden soll!

Bei einem Tumbler oder Trockenschrank mit WRG ergibt sich im Vergleich zum Abluftsystem der Vorteil, dass keine Raum-Auskühlung auftreten kann. Die Zuluft zum Luftherhitzer ist zudem vorgewärmt. Weil jedoch die feuchte Tumbler-Abluft bis kurz vor ProzessEnde nur rund 40°C aufweist, ist jedoch der Vorwärmeffekt und damit das Sparpotential klein (da ja bei gleicher Zu- und Abluftmenge die latente Ablufte-nergie nur teilweise nutzbar ist). Der technische Aufwand wäre bedeutend: Wärmetauscher (reinigbar, flusen-unempfindlich, mit Kondensatableitung), Kanäle, evtl. zusätzlicher Ventilator; die Wirtschaftlichkeit schlecht.

Für einen Trockenraum mit Ventilation gilt Analoges, wobei hier wesentlich kleinere Temperaturdifferenzen Ab-/Zuluft wirksam und grössere Luftmengen zu verarbeiten sind. Hier dürften zudem bei starkem Frost Vereisungsprobleme auftreten.



Tumbler



offenes System

### 3.2.2 Kompaktsysteme mit Wärmepumpe WP (Tumbler, Schrank)

Gegenüber dem Trockner mit Luftkondensations bietet die WP den Vorteil, dass dank sehr tiefer Kondensationstemperatur (WP-Verdampfer) wesentlich tiefere Wäschetemperaturen für eine übliche Entfeuchtungsleistung ausreichen und die Kondensationswärme ins System zurückgeführt wird. Die WP-Systeme sind ausserdem fast unabhängig von der Raumtemperatur und benötigen keine Abluftkanäle usw.

Versuche am Neu-Technikum Buchs SG (Pro£ Ehrbar, [ 1 1]) mit einem WP-Tumbler zeigten, dass thermische Stabilitätsprobleme auftreten können. Diese mit einer zusätzlichen Wasserkühlung zu lösen wäre allerdings nicht sinnvoll. Die bisherigen Versuche haben auch bezüglich Stromverbrauch noch keine aufsehenerregenden Resultate gezeigt.

Mit dem auf dem Markt erhältlichen WP-Trocknungsschrank "Walther" liegt eine technische Lösung (mit hohem Preis) vor, welche jedoch bezüglich spezifischem Energieverbrauch offenbar einem guten Tumbler nicht überlegen ist.

Im Verlauf der Projektarbeiten hat sich ein Systemansatz zwischen Kompaktgerät und Trockenraum herauskristallisiert und scheint vielversprechend: In einer wärmegeprägten Kabine, ca. 2 x 3 x 2 m, sind Wäscheleinen oder -Stangen auf Auszügen o.ä. so angeordnet dass sie für das Aufhängen bequem zugänglich sind, im Betrieb aber sehr kompakt bleiben (z.B. 20 kg Trockenwäsche: ca 8 cm Leinenabstand). Die Kabinenluft kann mittels WP-Entfeuchter oder mittels Aussenluft getrocknet werden. Ein detaillierter Projektbeschreibung findet sich im Aschnitt 5.

## 4. Messprojekte

### 4.1 Messungen beim Schweiz. Institut für Hauswirtschaft SIH

Das Ziel unserer Messkampagne war, den Energieverbrauch sowie den Verlauf des Trocknungsvorgangs (Raumluft- und weitere Parameter) bei unterschiedlichen Raumluft-Temperaturen zu erfahren. Die Prüfungen wurden nach den Norm-Prüfbedingungen (ausgearbeitet im SIH, in Anlehnung an Tumbler-Prüfnormen) durchgeführt, mit Ausnahme der tieferen Raumtemperaturen: nebst 23°C auch 18 und 14°C.

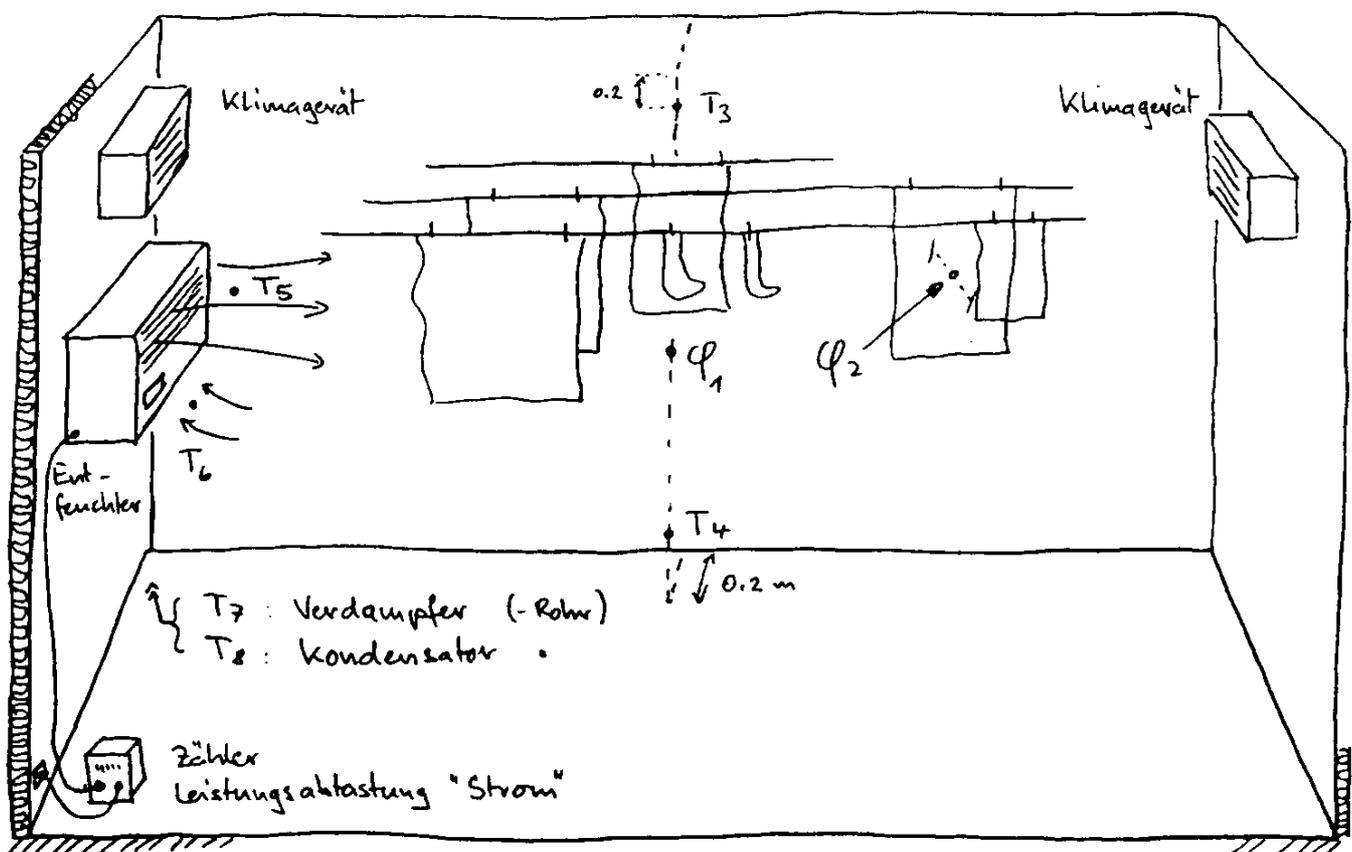
Die Messungen beim SIH konnten kostengünstig durchgeführt werden, weil die 3 beteiligten Gerätehersteller gewisse Prüfungen sowieso beabsichtigten und zudem selbst interessiert waren, die Ergebnisse ihrer Geräte bei tieferen Raumtemperaturen zu erfahren. Der Grossteil der Prüfkosten wurde daher von den Herstellern getragen.

Die Messanordnung ist in Bild 4.1 dargestellt. Der SIH-Prüfraum hat wärmeisolierte Wände und Decken mit Blechoberflächen (keine Feuchtespeicherfähigkeit).

Zum Mess- und Prüfungskonzept SIH ist anzumerken:

Die Prüfraum-Temperatur wird mittels Klimaanlage konstant gehalten. Aus den Registrierungen (Bild 42) geht hervor, dass der Ein-/Aus-Betrieb der Klimaanlage beträchtliche Schwankungen der Luftzustände verursacht, insbesondere der relativen Feuchte.

Bild 4.1. Messanordnung im SIH-Prüfraum



Das bei Kühlbetrieb (welcher in allen Versuchen eintrat) vom Klimaanlage-Verdampfer abgeschiedene Kondenswasser wird mittels Zerstäuber wieder der Raumluft aufgegeben, um möglichst keine Verfälschung der Trocknungsergebnisse zu erhalten. Da der Versuchsraum Metalloberflächen bzw. einen Bodenanstich aufweist, kann keine wesentliche Wassermenge absorbiert werden. Deshalb ist bisher nicht erklärbar, weshalb die insgesamt beim Trocknungsvorgang abgeschiedene Wassermenge gegenüber der Anfangsrestfeuchte der Wäsche z.T. grosse Abweichungen aufwies (ca. 45 bis 106%, fast immer 100%, also "verlorenes" Wasser).

Gemessene Grössen:

phi 1 relative Feuchte nahe Wand

phi 2 relative Feuchte zwischen der Wäsche

T3 Raumtemperatur nahe Decke

T4 Raumtemperatur nahe Boden

T5 Ausblastemperatur Gerät

T6 Ansaugtemperatur Gerät

T7 Geräteverdampfer (an Rohr, ca. Registermitte)

T8 Geräte Kondensator (an Rohr, ca. Registermitte) T7/T8 waren nicht bei allen Geräten zugänglich

P ("Strom"), aufgenommene Wirkleistung mit Umformer

E Energieverbrauch (für Endrestfeuchte Null korrigiert), mittels geeichtem Elektrizitätszähler

TD Trocknungsdauer (für Endrestfeuchte Null korrigiert)

RW Restwassermenge, vom Gerät abgeschieden.

Bild 4.2 Beispiel einer zusammengestellten Registrierung

Bemerkenswert ist das unterschiedliche Verdampfer-Abtauverhalten bzw. Abtausystem der Geräte. Bei einzelnen Geräten ist auch bei 14°C noch keine Abtauung erforderlich, bei anderen aber schon bei 18°C. Es ist kein klarer Zusammenhang zwischen Abtausystem und Geräte-Energieverbrauch zu ersehen. Nicht alle Geräte mit Energieverbrauchs-Anstieg bei 14°C wiesen dort Abtauvorgänge auf

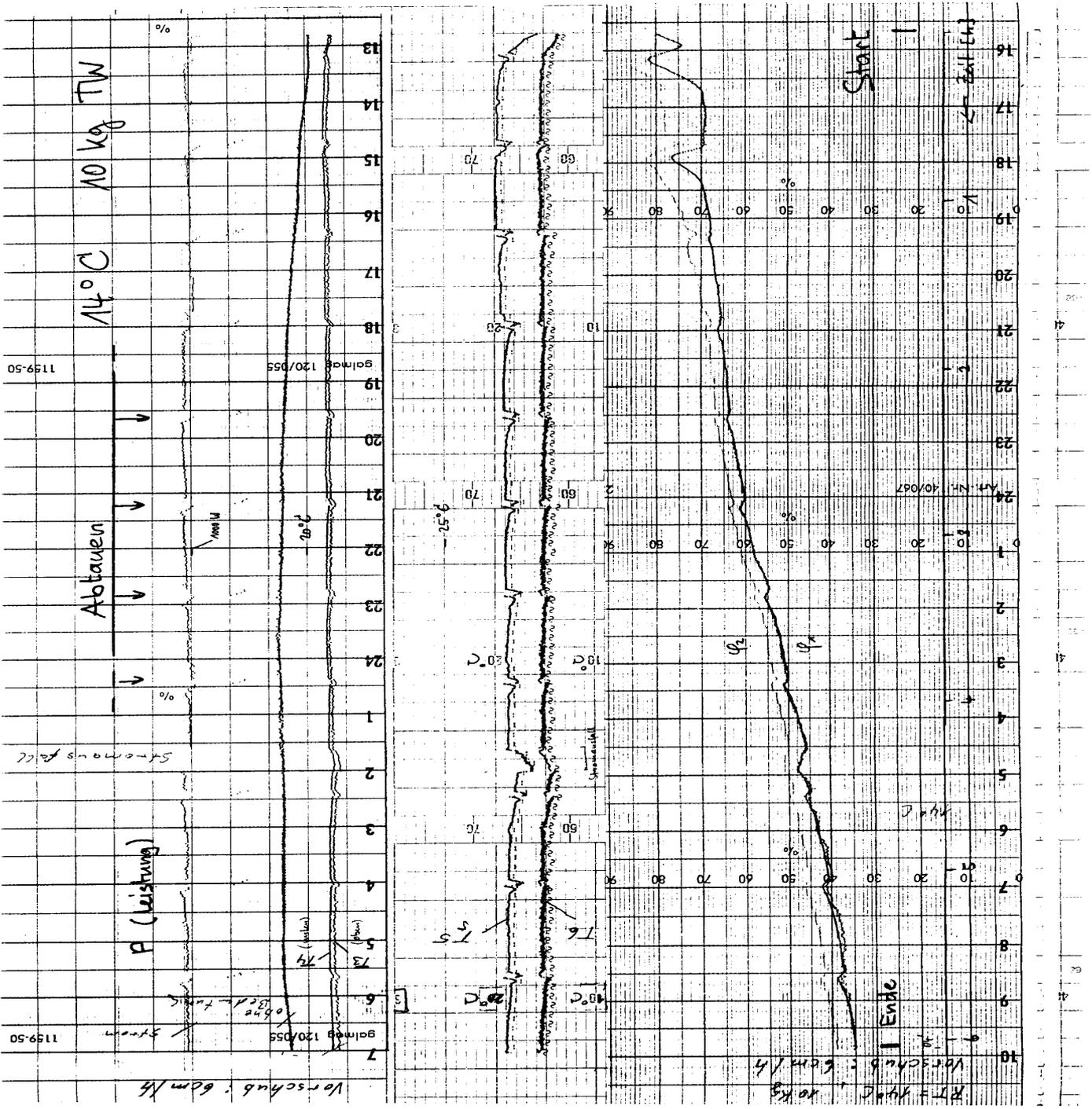
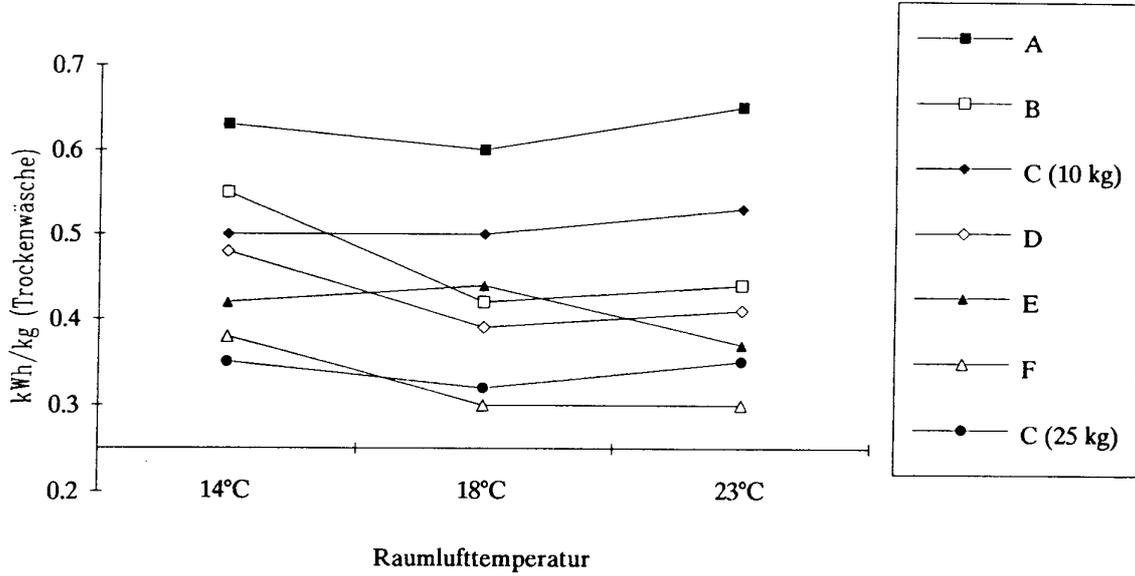
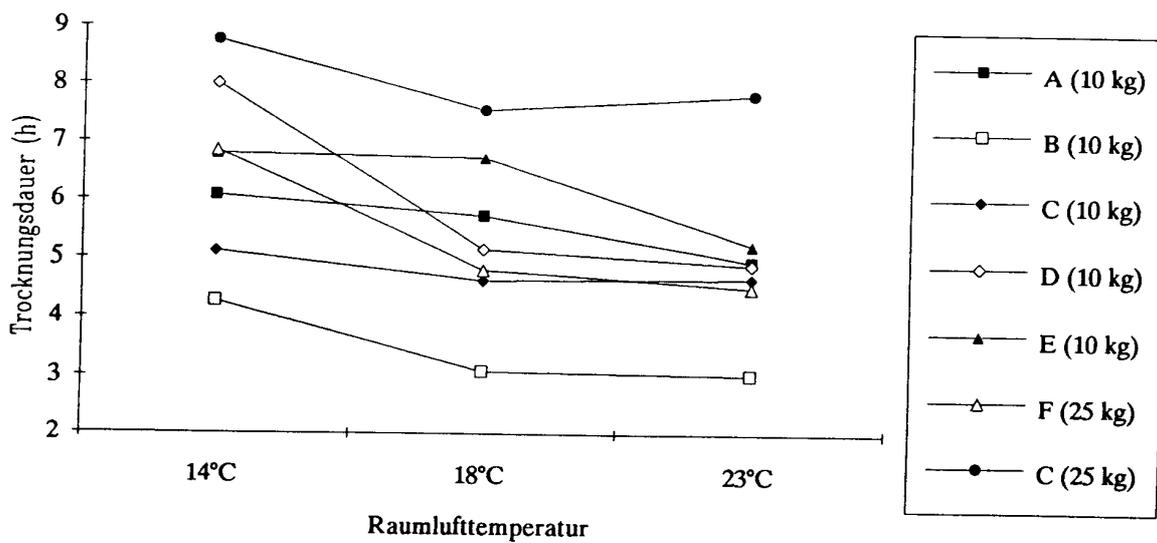


Bild 4.3 Spez. Energieverbräuche von Raumluftentfeuchtern  
 Bild 4.4 Trocknungsdauer bei Raumluftentfeuchtern

**Spez. Elektrizitätsverbrauch von  
 WP-Wäschetrocknern (SIH-Klimaraum)**



**Trocknungsdauer von WP-Wäschetrocknern  
 (SIH-Klimaraum)**



## Kommentare zu Bildern 4.3 - 4.5

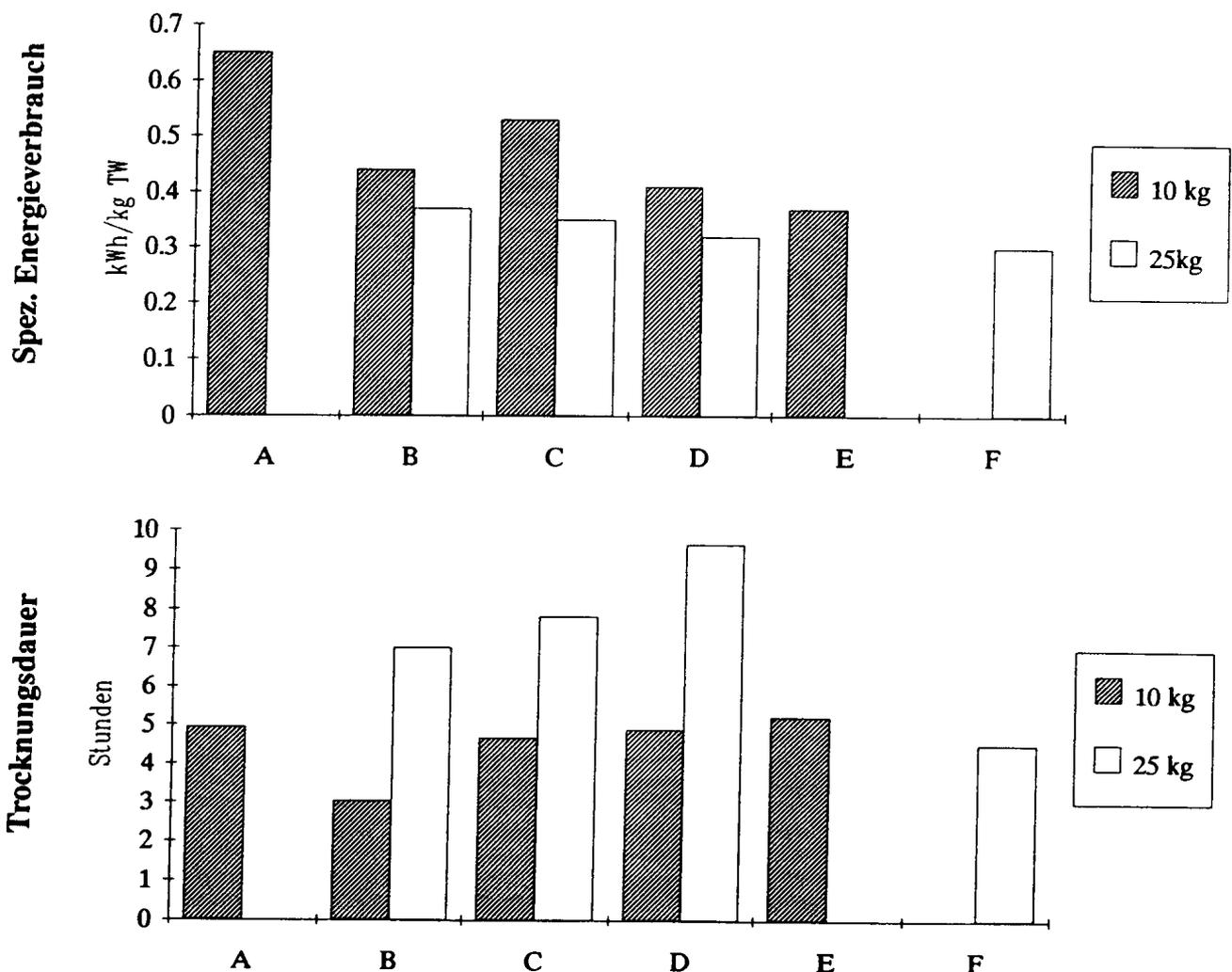
- Das auffallendste und unerwartete Ergebnis ist die Temperaturabhängigkeit des spezifischen Energieverbrauchs: kaum signifikante Unterschiede zwischen 18 und 23°C und im Mittel mässiger Anstieg bei 14°C. Auch die Unterschiede der Trocknungsdauern und damit der Trocknungsleistungen sind analog relativ gering.

Daraus folgt, dass die fast in allen Geräten normalerweise eingesetzten "Startheizungen (Widerstandsheizung, oft 380 V) überflüssig sind oder allenfalls ab 15°C thermostatisch ausgeschaltet werden sollten.

- Die Energieverbrauchs-Unterschiede zwischen den verschiedenen Geräten sind für jeweils angepasste Belastung (grosse Geräte: 25 kg, kleine 10 kg Trockenwäsche) relativ klein (Bild 4.3). Auffallende Ausnahme ist Gerät A, allerdings mit eher zu kleiner Belastung; dieses Gerät erreichte bei einer früheren Prüfung mit 25 kg ebenfalls gute Werte. Gerät E fällt bezüglich Temperaturabhängigkeit etwas aus dem Rahmen: grösster Energieverbrauch bei 18°C.

- Aus den Energieverbrauchs-Veränderungen bei unterschiedlicher Wäschemenge (Bild 4.5) ist die grosse Bedeutung richtig angepasster Belastung klar ersichtlich. Hierbei treten in der Praxis die grössten Abweichungen von den Prüfbedingungen auf, weil oft kleine Wäschemengen getrocknet werden (vgl. Utohof!).

Bild 4.5 Spez. Energieverbrauch und Trocknungsdauer nach Chargengewicht



## 4.2 Pilotprojekt Utohof

### 4.2.1 Ausgangslage

Zustand 1990:

9 Waschküchen mit Gas-Waschautomat, Tumbler mit z.T. Wasserkondensation, z.T. Abluft in den Raum; je 2 Trockenräume mit isolierten Leitungen, eher kühl, oft unbefriedigende Trocknungswirkung.

Der Sanierungsvorschlag sollte die Situation sofort nachhaltig verbessern und gleichzeitig als Pilotprojekt aussagekräftige Messresultate für andere Objekte ergeben.

Disposition (vgl. auch Bild 4.6):

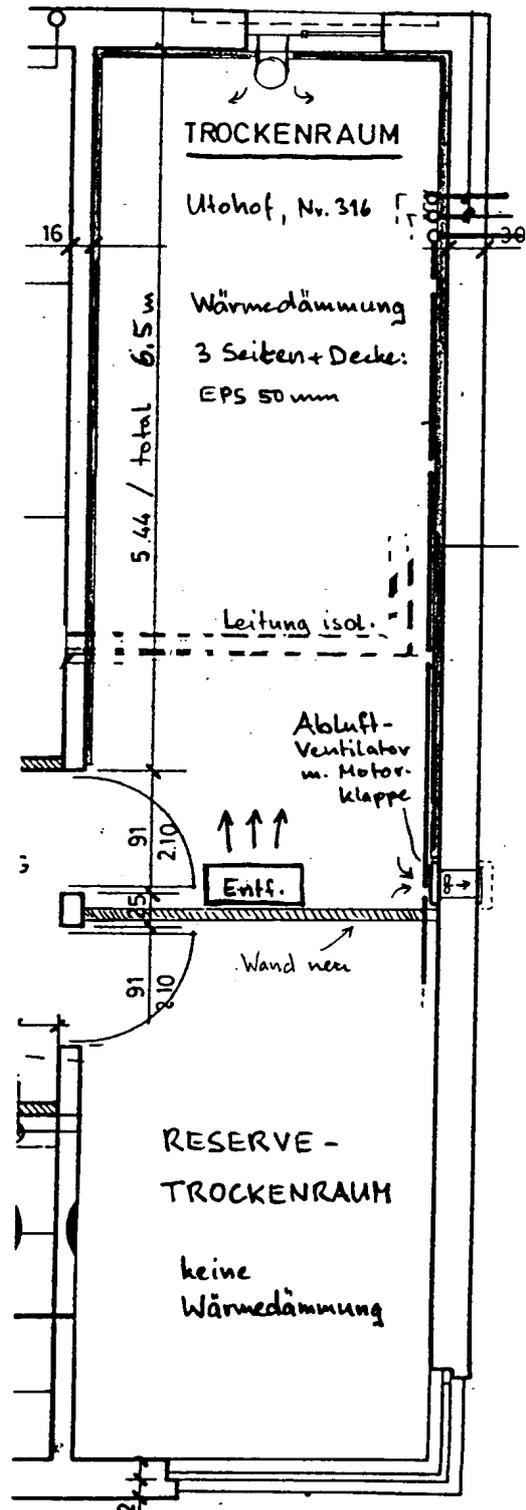
Pro Waschküche (d.h. pro Haus) wurde ein Trockenraum mit einem WP-Entfeuchtungstrockner versehen. Neben Wäscheleinen nach Herstellerempfehlung wurden Ablagegitter und Kinderleinen installiert.

In 2 Trockenräumen wurde die zusätzliche Möglichkeit für forcierten Luftwechsel mit Abluftventilator und Zuluftöffnung ins Freie installiert, vgl. untenstehenden Beschrieb.

In unterschiedlicher Weise wurden Wärmedämmungen von Aussenwänden (bzw. gegen Erdreich) mit verschiedenen Materialien ausgeführt. Nachdem anfänglich 6 Typen vorgeschlagen wurden, beschränkte man sich zur Vereinfachung bei der Ausführung auf 3 Typen. Mit Messungen soll einerseits das Kondensatrisiko in den Wänden erfasst und andererseits der Einfluss der Wärmedämmung auf den Trocknungsprozess (Dauer, Energieverbrauch) studiert werden.

Am Technikum Winterthur wurden einige Typen bauphysikalisch für Extremsituationen untersucht (Kondensatanfall). Aus einem Forschungsprojekt der Zürcher Energieberatung geht hervor, dass sorptionsfähige Wärmedämmstoffe (z.B. Isofloc oder Weichfaserplatten wie Pavatherm) sich nicht gemäss der Dampfdiffusionstheorie verhalten, sondern die allenfalls kondensierende Feuchtigkeit kapillar zur Raumoberfläche zurückleiten und daher das Kondensatrisiko wesentlich kleiner ist als theoretisch berechnet. Für unsere Testflächen - die z.T. rechnerisch mit Kondensatrisiko behaftet sind - können erst nächsten Winter Resultate ermittelt werden, da sie erst im März/April 91 erstellt wurden.

Bild 4.6



Aus ökologischer bzw. baubiologischer Sicht besteht das Anliegen, Materialien wie Altpapier- und Holzfasern einzusetzen, vor allem anstelle von organischen Schäumen wie z.B. Polystyrol.

Geräte: Es wurden 5 verschiedene Geräte von 3 Herstellern eingesetzt:

Je 3x ESCO WPT 21, Krüger Secomat 700: "starke" Geräte, für jeweils 12 Wohnungen, je 1x ESCO WPT 20 GS, Krüger Secomat 500, Roth-Kippe Bora 45: "mittelstarke" Geräte für je 10 Wohnungen.

Vorhandene Startheizungen wurden nicht in Betrieb gesetzt. Zwei Trockenräume wurde auf spezielle Empfehlung des Geräteelieferanten baulich verkürzt.

Bestehende Tumbler: Wegen des hohen Strom- und z.T. Wasserverbrauchs sollten sie gelegentlich ausser Betrieb genommen werden, womit allerdings zugewartet werden soll, bis der neue Trocknungsbetrieb sich bewährt. Evtl. auch Verbrauchsabrechnung installieren zwecks Anreiz, umzusteigen.

Bestehende Gas-Waschautomaten (vorläufig wurde nichts geändert): Mit dem vorhandenen Gastarif (Vertrag, B) ist dieser Energieträger wirtschaftlich. Zu überlegen ist, ob zwecks besserer Trockenhaltung der Räume das Abgas ins Freie geleitet werden soll; die Kondensatmenge macht pro Waschtage etwa 4 Füllungen etwa 2 Liter aus! (Zugunterbrecher, Abgasrohr, Wanddurchbruch, evtl. Kondensatgrube: mind. 400 Fr/Stück). Andererseits geht damit auch die Abgaswärme grossenteils verloren, welche hier immerhin etwa 4 kWh pro Waschtage ausmacht. Praktisch ist wahrscheinlich das Fenster während des Waschens fast immer angekippt, was mit Abgasableitung unnötig wäre, so dass entsprechende Wärmeverluste entfallen. Wärmerückgewinnung aus dem Abgas wäre wegen des Zugbedarfs (Zugunterbrecher) nur in bescheidenem Masse möglich und sicher unwirtschaftlich.

Aussenluft-Trocknungssystem Uthof

Idee: gemäss den theoretischen Ueberlegungen und Witterungsanalysen kann während eines beachtlichen Teils aller Jahresstunden (tagsüber) mittels Aussenluft Wäsche getrocknet werden. Aus mehreren Gründen hängen jedoch die Waschenden nur bei extrem günstigen Aussichten die Wäsche tatsächlich ins Freie. Eine bessere "Aussenluft-Nutzung" ist dadurch zu erreichen, dass geeignete Aussenluft in den Trockenraum gebracht wird:

- Definierte Luftwechselrate gemäss erforderlichem Feuchtetransport durch Abluftventilator und Zuluftöffnung.
- "Wind machen" im Trockenraum durch Betrieb des Umluftventilators des Entfeuchtungsgerätes.
- Automatische luftzustands-abhängige Umschaltung auf Kompressorbetrieb des Entfeuchters; dies auch zwangsweise nach längstens ca. 3 - 4 h (um innert nützlicher Fristen fertigtrocknen zu können).

Realisierung: (vgl. auch Bild 4.10)

Raum Üetlibergstr. 308: Raumlüftentfeuchter-Ventilator 270 W Wärmedämmung: Decke; 500% der Wände (gegen aussen/Veloraum).

Raum Üetlibergstr. 316: Raumlüftentfeuchter-Ventilator 480 W Wärmedämmung: Decke; 85% der Wände (50% gegen aussen).

Beide Anlagen: Abluftventilator effektiv ca. 400 m<sup>3</sup>, 30 W, Motor-Klappe aussen, Zuluftöffnung im Fenster-Beistoss, mit 250 mm o Blechrohr zum Boden führend. Im Winter soll damit der unbeabsichtigte Luftwechsel minimal bleiben. (Die Klappe hat eine beachtliche Leckfläche; Beistoss/Rohranschluss in Blech ist stark undicht. Verbesserung nötig!).

Steuerung: Eine speziell (vorläufig nicht vom Projekt finanziert) entwickelte Steuerschaltung wird im Raum 316 eingesetzt: nebst Zeit- und Raumtemperatur-Grenzwerten wird für den Aussenluftzustand eine Grenzkurve nach Temperatur und Feuchte beurteilt und bei Ueberschreitung auf Kompressorbetrieb umgeschaltet. Besondere Probleme ergab die Kombination mit der Entfeuchter-Steuerlektronik (diverse Ein- und Ausschaltvorgänge Ventilator und Kompressor), da für die Benutzerinnen keine andere als die normale Gerätebedienung nötig und erkennbar sein soll. Im Raum 308 wird eine einfachere Steuerung mit Zeit- und Raumtemperatur-Grenzwert sowie Aussenluft-Hygrostat eingesetzt.

Vorläufig eingestellte Grenzwerte für Umschaltung auf Kompressorbetrieb (irreversibel bis Ende des Trocknungsvorgangs):

Zeit: 3 h nach Start

Raumtemperatur: Unterschreiten von 14°C

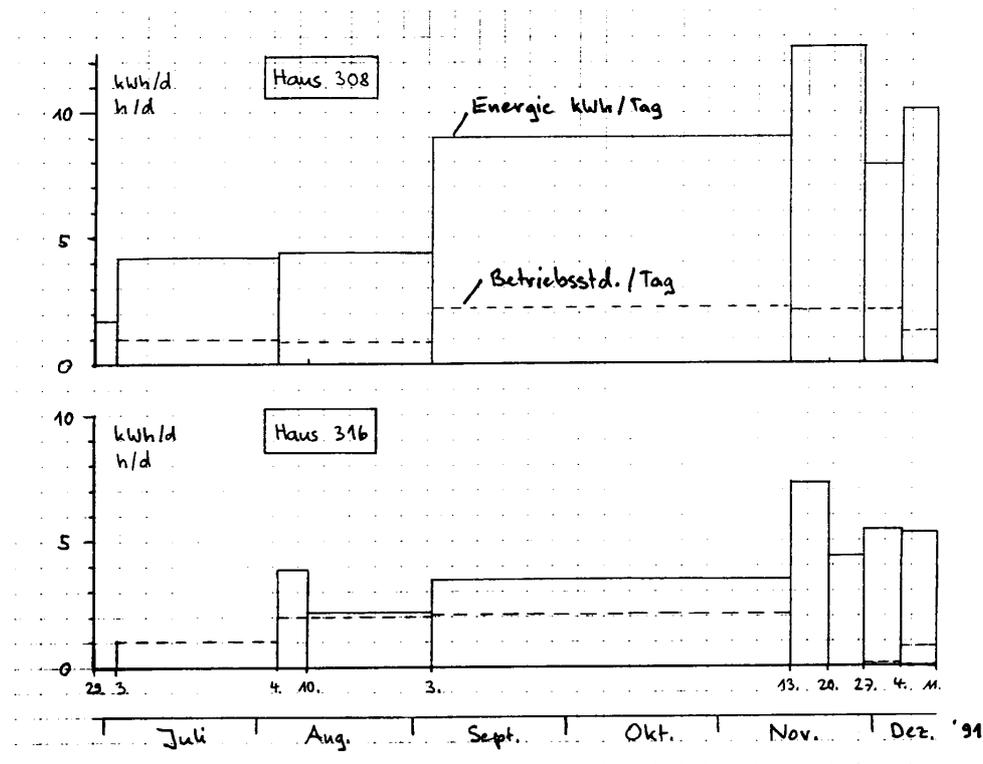
Aussenluft-Hygrostat: 65% rF

Aussenluft-Spezialsteuerung: entspricht ungefähr  $T [^{\circ}\text{C}] + rF [\%] 85$

Resultate des Aussenluft-Betriebs:

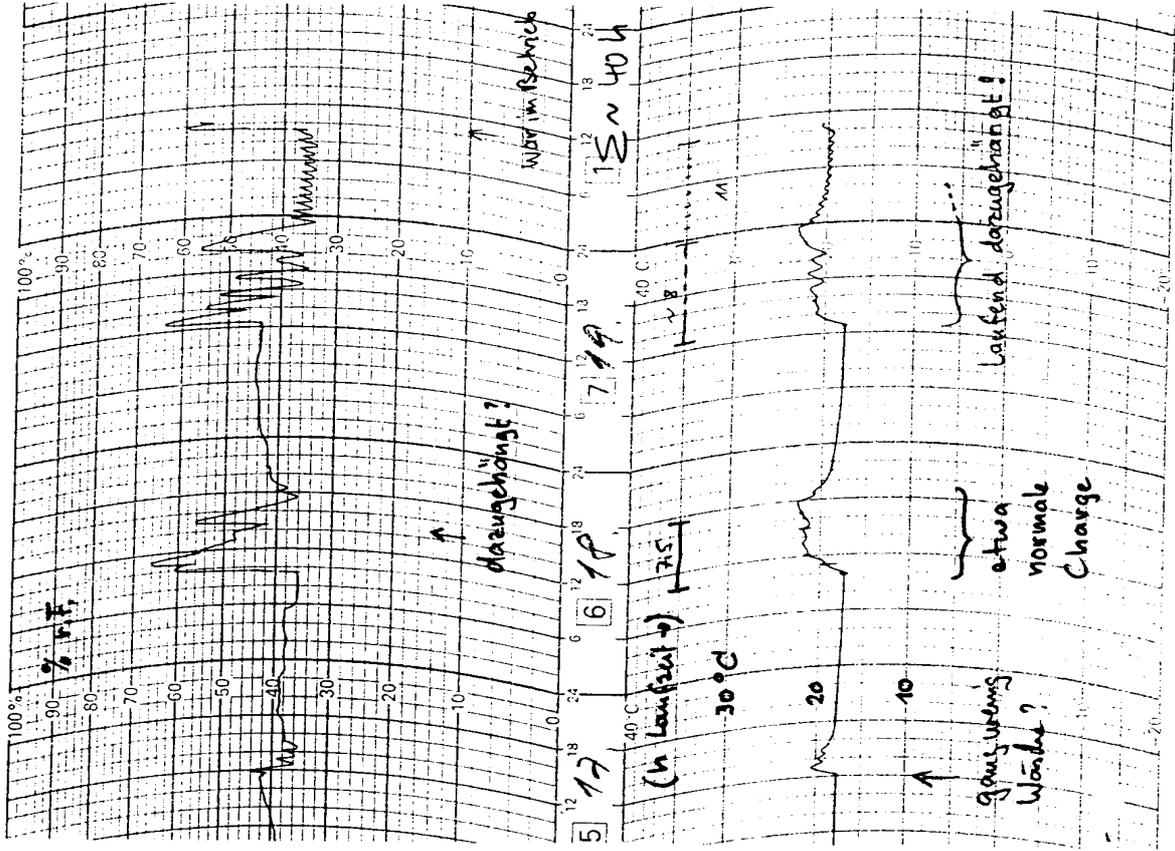
Mittels Elektrizitätszählern und Betriebsstundenzählern, Thermohygrograf-Registrierungen (nur Nov./Dez.) sowie den Vielfachregistrierungen in Nr. 316 konnte der Betrieb dieser Anlagen einigermaßen beurteilt werden. Im Raum 316 mit der Spezialsteuerung wurden höhere Aussenluft-Betriebszeit-Anteile erzielt; die Trockenraum-Belegung war jedoch kleiner als im Raum 308.. Da im Raum 316 nur wenige Aussenluft-Betriebsstunden mit Wäschegewichtserfassung vorkamen, sind noch keine quantitativen Aussagen zum Energieverbrauch möglich. Dies soll im Folgeprojekt (vgl. Abschnitt 5) mit verschiedenen Steuerungen erfolgen. Die Bilder 4.7 und 4.8/9 dokumentieren die vorläufigen Ergebnisse.

Bild 4.7 Energieverbrauch und Aussenluft-Ventilator-Betriebsstunden

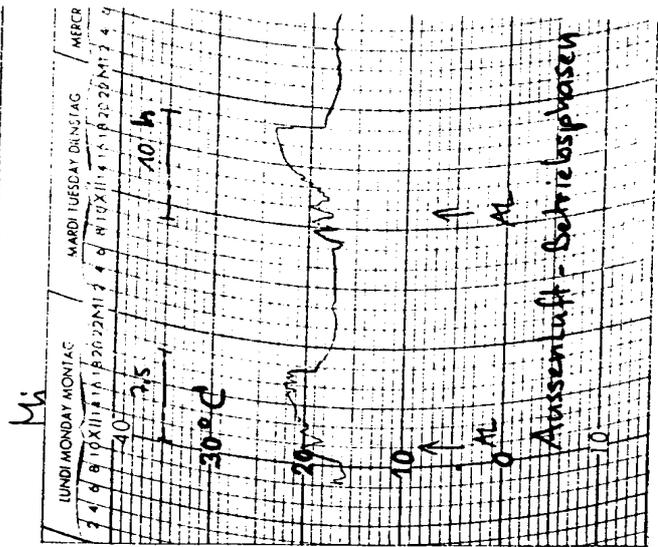
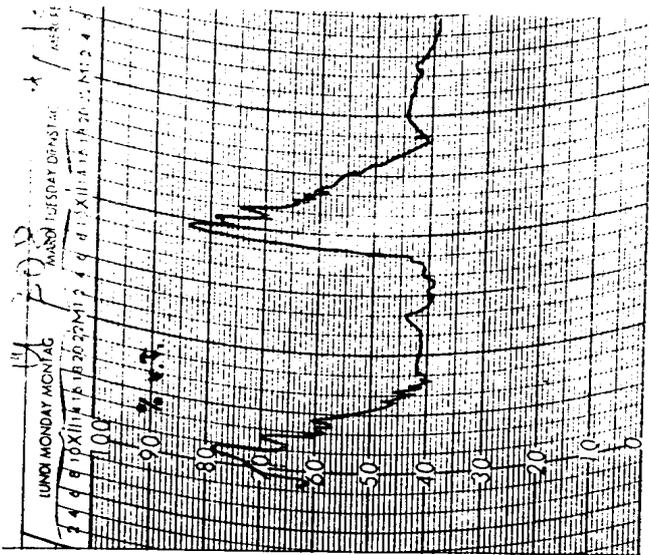


rel. Feuchte

Raumtemperatur



Nr. 316



Nr. 308

## 4.2.2 Messdispositiv Utohof

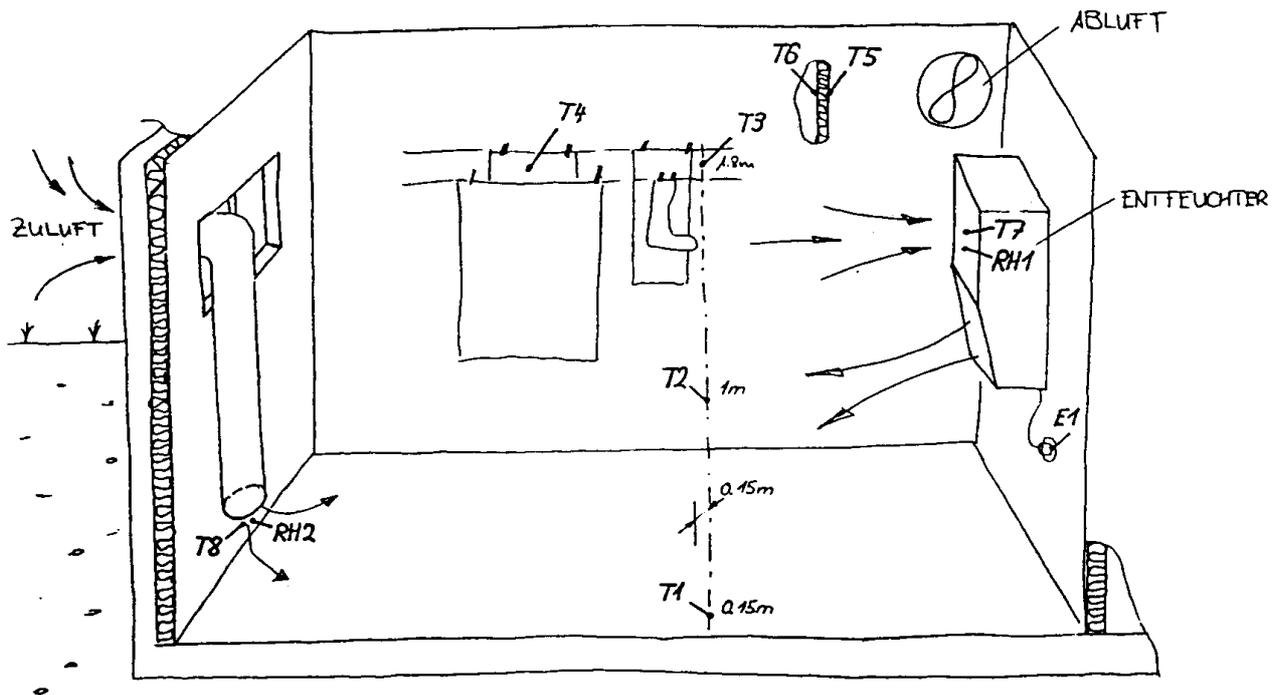


Bild 4.10 zeigt die Skizze eines Trockenraumes mit Aussenluftventilator und Wärmepumpenentfeuchter, wie er von uns ausgemessen wurde.

## Messstellenliste

E1 Stromverbrauch des Wäschetrockners

T1, T2, T3 Temperaturschichtung im Raum mit drei Fühlern an der Seite des Trockenraumes

T4 Temperatur zwischen der Wäsche, in der Mitte des Raumes.

T5 Oberflächentemperatur des Trockenraumes

T6 Wandtemperatur hinter der Isolierung

T7 Eintrittstemperatur der Luft beim Wäschetrockner

T8 Aussentemperatur (nur bei Aussenluftbetrieb)

RH1 Eintrittsfeuchtigkeit der Luft in den Wäschetrockner

RH2 Aussentluftfeuchtigkeit (nur bei Aussenluftbetrieb)

Waage Gewicht der nassen und trocknen Wäsche. Die Wägungen werden von den Mieterinnen durchgeführt und mit Wert und Zeit in eine Liste eingetragen.

### Datenerfassung/Registrierung/Auswertung

Alle Messgrößen, ausser dem Gewicht der Wäsche, werden von einem Datenlogger mit einer Abtastrate von 5 s gemessen und alle 10 Minuten als Mittelwerte abgelegt.

Typ des verwendeten Datenloggers: "Dau 16/20" der Firma VNR electronic SA, Lausanne. Der Datenspeicher des Loggers ist batteriegebuffert, sodass die Messung bei Stromausfall zwar ausfällt, die bis zu dem Zeitpunkt gespeicherten Daten aber erhalten bleiben.

Im Abstand von etwa einer Woche werden die Messdaten von uns auf einen mobilen PC übertragen und zusätzlich auf Diskette gesichert.

Für die Auswertung können die Messdaten direkt in ein Tabellenkalkulationsprogramm (Quattro Pro) eingelesen und mit vorbereiteten Arbeitsblättern ausgewertet werden. Mit diesem Programm können die Messgrößen auch am Messort grafisch dargestellt werden.

### Genauigkeit des Gesamtsystems

Der Analog/Digital Wandler des Loggers arbeitet mit einer Auflösung von 14 Bit. Die Auflösung für die Temperatur ist 0.1°C und für die relative Feuchtigkeit 0.1 % RH.

Die resultierende Systemgenauigkeit für Logger und Messfühler beträgt somit:

Temperaturfehler < 0.25 °C

Feuchtigkeitsfehler bis 90% RH < 2.10% RH, bis 100% < 3.1% RH

### Verwendete Messfühler

Die Temperaturen werden mit PT100 Messwiderständen der Klasse A in 4-Leitertechnik gemessen. Messungenauigkeit ± 0.15°C.

Für die Feuchtigkeitsmessung wurde ein kapazitiver Sensor vom Typ HMP 35A der Firma VAISALA eingesetzt. Messgenauigkeit bis 90% RH ±2%. Mit Kalibriereinrichtung gemessene Abweichung bei 80% RH + 0.2%.

Strommessung mit dem Gerät EMU 1.28a, der Firma EMU Elektronik AG mit Infrarot-Impuls-Schnittstelle für Energiemessung mittels Abtaster (1 Wh/Impuls) mitte

Verwendete Waage: Industriewaage KB60 der Firma Mettler. Messgenauigkeit < 1 Gramm.

### 4.2.3 Messkampagne und Resultate

Die von uns durchgeführten Messungen verfolgten den Zweck, verschiedene Wärmepumpenentfeuchter in ihrem praktischen Betrieb auszumessen, sowie den Einfluss unterschiedlicher Wärmedämmungen in den 9 Trockenräumen zu beurteilen.

Dazu wurden insgesamt 14 Messwerte mit einem Datenlogger im 10 Minuten Takt aufgezeichnet. Das Messdispositiv ist am Ende dieses Abschnitts beschrieben. Die wichtigsten Größen waren Raumtemperaturen, Feuchtigkeit, Energieverbrauch Oberflächentemperatur einer Aussenwand und die Temperatur hinter der Isolation. Das Gewicht der nassen und trockenen Wäsche wurde mit einer Waage von den Benutzerinnen registriert und mit Datum und Zeit in eine Liste eingetragen. Dazu wurden die Mieterinnen instruiert, um möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten.

Damit konnten die einzelnen Trocknungsvorgänge erfasst und der Energieverbrauch pro kg Trockenwäsche bestimmt werden. Durch den quantitativen Verlauf der verschiedenen Messgrößen konnte der Trocknungsprozess analysiert und die Verbrauchswerte interpretiert werden.

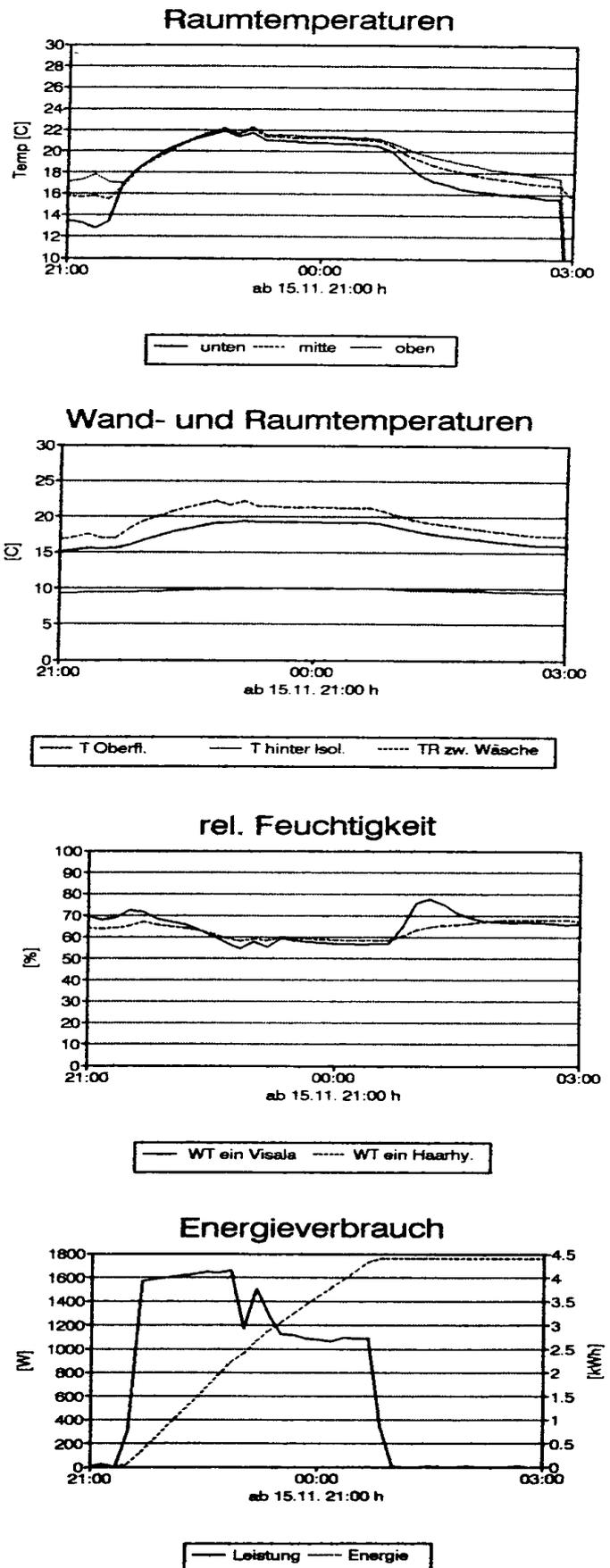
Jeder abgeschlossene Trocknungsvorgang wurde aus den Gesamtdaten herausgeschnitten und grafisch und numerisch dargestellt.

Nebenstehendes Bild zeigt die grafische Standardauswertung pro Trocknungsvorgang. (Bild 4.11)

Genauigkeit der Messungen:

Die Frauen waren meist sehr interessiert und haben die Listen gewissenhaft ausgefüllt. Trotzdem muss damit gerechnet werden, dass einmal ein Wäschekorb nicht gewogen wurde und so den Energieverbrauchswert verschlechterte. Man muss sich bewusst sein dass diese Messreihen nicht unter Laborbedingungen stattfanden.

Bild 4.11



Ergebnisse der Messungen

Bild 4.12 und zeigen den Energieverbrauch der Wärmepumpenentfeuchter, wie er durch uns im praktischen Einsatz gemessen worden ist. Die Durchschnittswerte liegen deutlich über den vom SIH ermittelten Werten.

Auch die beiden untersuchten Geräte zeigen grosse Unterschiede.

Durchschnittlicher Energieverbrauch pro kg Trockenwäsche:

- Gerät 1            0.91 kWh/kg
- Gerät 2            0.74 kWh/kg

Praxistests von Tumblern sind uns keine bekannt. Eine vom SIH in unserem Auftrag durchgeführte Messung zeigt aber auch eine starke Abhängigkeit des Verbrauches von der Beladung (siehe Abschnitt 3.1).

Im folgenden sollen diese Messwerte genauer dargestellt und interpretiert werden. Es soll gezeigt werden, welche Einflussfaktoren zu den gemessenen Verbrauchswerten führten und was allenfalls getan werden kann, um die Situation zu verbessern.

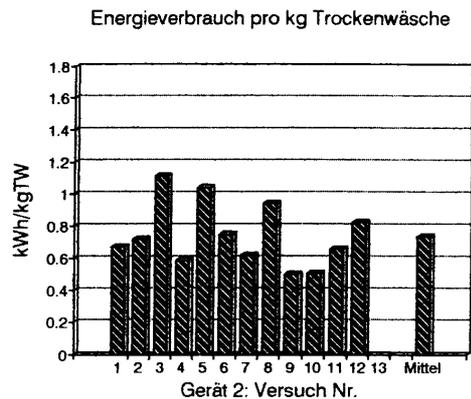
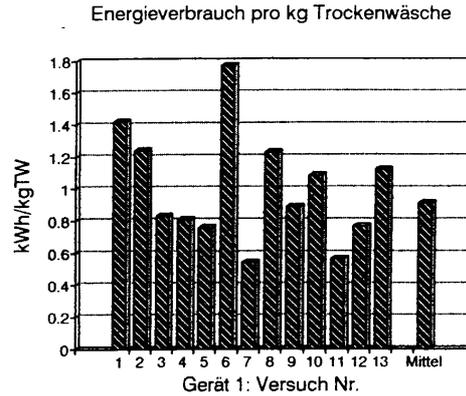


Bild 4.12

Normierter Energieverbrauch

Die Anfangsfeuchtigkeit war bei den Messungen beim Gerät 1 mit 54 % deutlich niedriger als bei Gerät 2 mit 64 %.

Die Anfangsfeuchte ist eine Grösse, die zwar den Energieverbrauch massgeblich beeinflusst, auf den Prozessablauf hat sie aber keinen grossen Einfluss. Aus diesem Grunde wurden die Verbrauchswerte auf eine konstante Anfangsfeuchtigkeit von 56 % umgerechnet, um im folgenden die übrigen Einflussparameter unverfälscht untersuchen zu können. 56 % entspricht der durchschnittlichen Feuchtigkeit, wie sie die SIH Prüfnorm vorschreibt. Bild 4.13 zeigt diese normierten Verbrauchswerte.

Natürlich soll die Wäsche möglichst gut geschleudert werden, das ist eine Voraussetzung für einen tiefen Energieverbrauch.

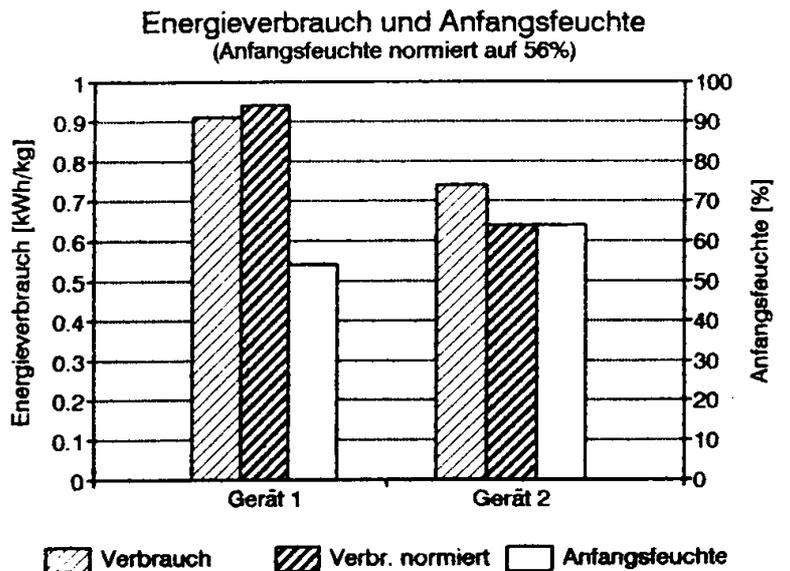


Bild 4.13

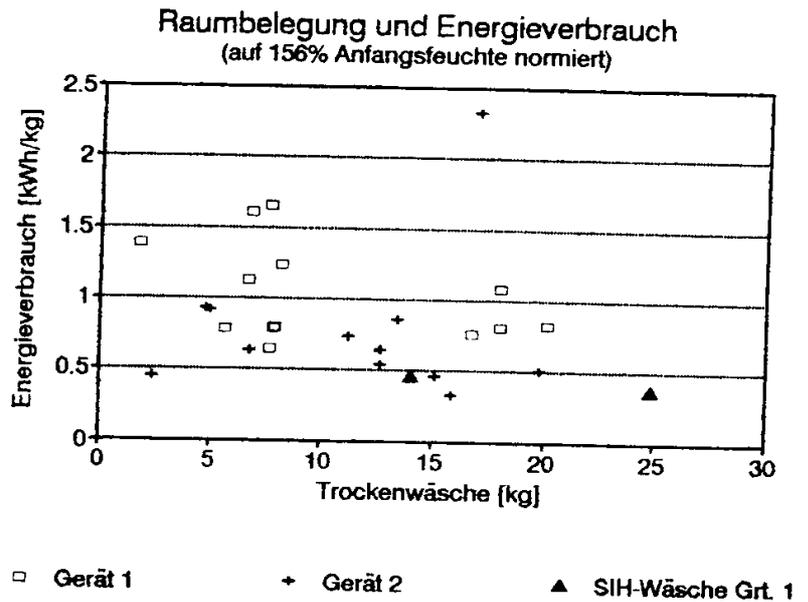
Raumbelegung und Energieverbrauch

Den Zusammenhang von Raumbelegung (Wäschegewicht) und Energieverbrauch von allen Messungen zeigt Bild 4.14. Bei Gerät 1 ist die Abhängigkeit vom Wäschegewicht deutlich grösser als bei Gerät 2, zudem liegt Gerät 1 auch im Energieverbrauch höher.

Die Werte können aber NICHT als Vergleich zwischen den Geräten betrachtet werden, weil die Randbedingungen dieser Praxismessungen den Energieverbrauch stark verändern können.

Es ist zu bemerken, dass zum Teil auch hohe Belegungen schlechtere Werte zeigten, weil während dem Trocknungsprozess zugehängt wurde. Dies konnte anhand der Protokolle aber nicht immer eindeutig herausgefunden werden.

Bild 4.14



Bei der zweiten Messkampagne, bei Gerät 2, wurden die Benutzerinnen noch besser instruiert, es wurde darauf hingewiesen, wie wichtig es ist, möglichst viel Wäsche aufzuhängen und erst dann den Entfeuchter in Betrieb zu nehmen. Dies wurde bei Gerät 2 besser befolgt und wirkte sich positiv auf die Verbrauchswerte aus. Es konnte anhand der Protokolle und der Messergebnisse festgestellt werden, dass das durchschnittliche Wäschegewicht bei Gerät 2 höher war als bei 1, und dass weniger dazugehängt wurde, was sich ebenfalls sehr positiv auswirkte. Bild 4.15 zeigt das durchschnittliche Wäschegewicht für die Versuche bei Gerät 1 und 2, das auch dadurch relativ klein ist, weil ein Tumbler als weitere Trocknungsmöglichkeit vorhanden ist.

Unsere Versuche mit der SIH Testwäsche bei Gerät 1, zeigten auch bei Gerät 1 deutlich bessere Verbrauchswerte, wenn das Wäschegewicht pro Trocknung grösser ist und nicht zugehängt wird. Siehe Bild 4.14 und Abschnitt "Versuche mit der SIH Testwäsche" weiter hinten in diesem Kapitel.

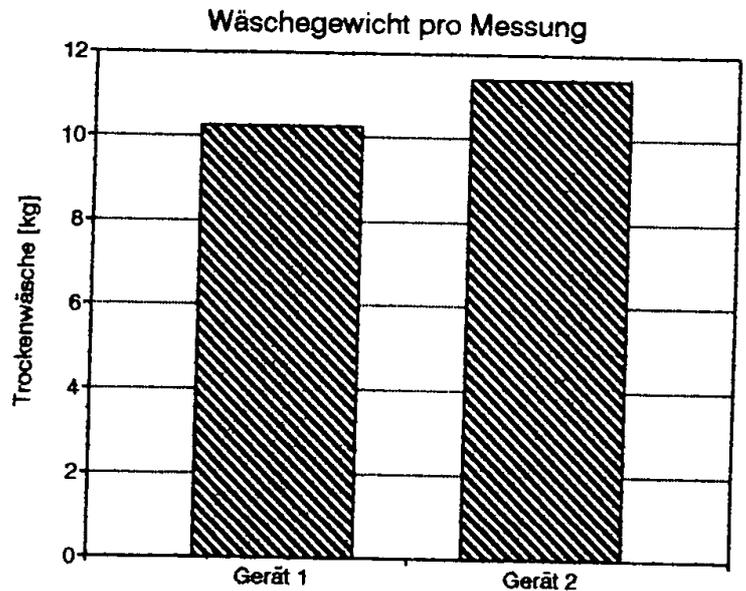
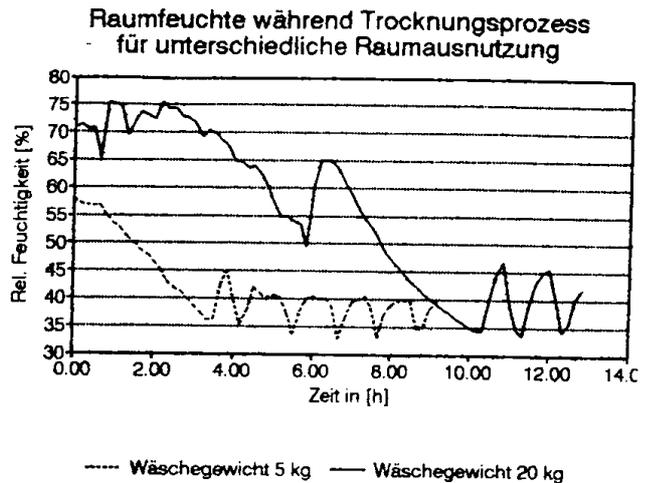


Bild 4.15

Die Raumbeladung wirkt sich stark auf die Luftfeuchtigkeit während dem Trocknungsverlauf aus. Bild 4.16 zeigt den gemessenen Feuchtigkeitsverlauf für zwei Raumbeladungen von 5 kg bzw. 20 kg Trockenwäsche. Die Daten stammen aus den Messungen vom 22. und 23. November 1991. Bei der 20 kg Beladung wurde zwischendurch Wäsche nachgehängt, was sich durch die erneute Zunahme der Feuchtigkeit bemerkbar machte. Bei kleiner Wäschemenge arbeitete der Luftfeuchter bei deutlich tieferen relativen Feuchtigkeiten, was sich nachteilig auf den Energieverbrauch auswirkte.

Bild 4.16



Eine tiefe Luftfeuchtigkeit wirkt sich ungünstig auf die Entfeuchtung aus, weil die nötige Abkühlung bis zum Taupunkt der Luft einen immer grösseren Anteil an der Kälteleistung des Kompressors benötigt. Bild 4.17 zeigt den Prozessverlauf im h-x

Diagramm, beim Ausscheiden von Wasser bei unterschiedlicher Raumluftfeuchtigkeit. Punkt 1 und 2 sind die Raumluftbedingungen bei niedriger und hoher Feuchtigkeit. Punkt 3 zeigt den Zustand der Luft nach dem Verdampfer des Entfeuchters. Man sieht, dass die ausgeschiedene Wassermenge bei gleichem Energieaufwand kleiner wird, je tiefer die Ausgangsfeuchtigkeit ist. Dadurch steigt die Laufzeit des Entfeuchters, bezogen auf ein kg Trockenwäsche, an.

Durch diesen Unterschied im Feuchtigkeitsniveau erklärt sich der höhere Energieverbrauch bei kleinerer Raumbeladung.

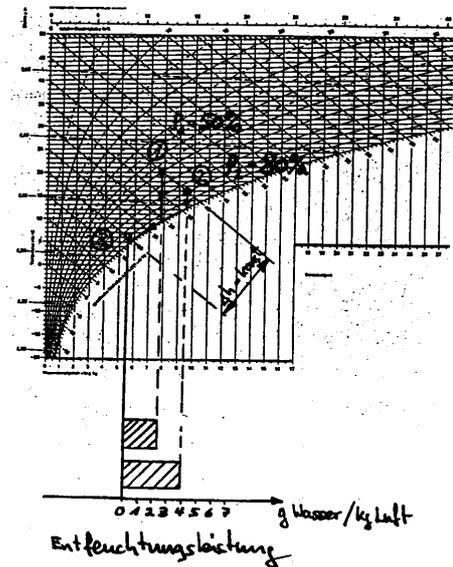


Bild 4.17

Bei kleiner Raumausnutzung steigt aber auch der Anteil der Ventilatorenergie, weil die Trocknung eine gewisse Zeit braucht und bei kleiner Wäschemenge kaum mehr abnimmt. Bild 4.18 zeigt den Energieverbrauch der oben erwähnten Messungen, aufgeteilt in einen Anteil "Ventilator" und einen Anteil "Kompressor" des Wärmepumpenentfeuchters.

Energieverbrauch bei unterschiedlicher Raumausnutzung

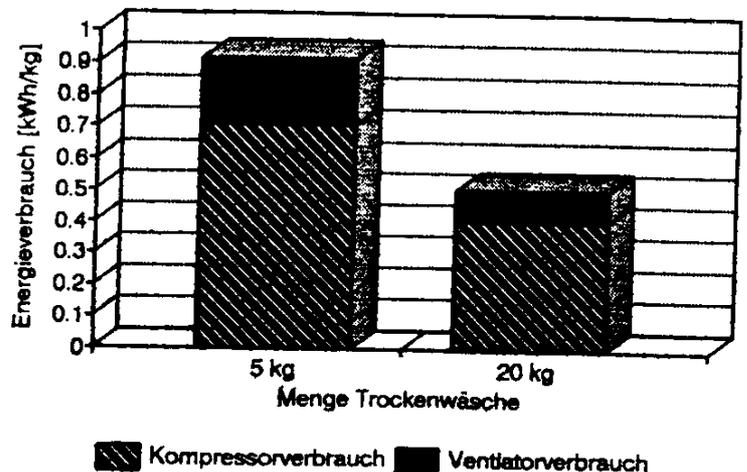


Bild 4.18

## Raumausnutzung und Benutzerverhalten

Wie gezeigt wurde, ist es sehr wichtig für einen tiefen Energieverbrauch, dass der Raum möglichst vollgehängt wird, bevor der Entfeuchter in Betrieb genommen wird. Dies ist sogar das wichtigste Kriterium bei Entfeuchtungstrocknern. Damit ist der Erfolg des Trockners stark vom Benutzerverhalten abhängig. Unsere Versuche haben gezeigt, dass es schwierig ist, die Benutzerinnen zum richtigen Verhalten anzuhalten, vor allem dann, wenn sie eingeübte Verhaltensweisen ändern sollen.

Es ist zu beachten, dass es auch bei gutem Willen nicht immer möglich ist, den Raum voll zu belegen.

Selbst Motivation während der Messkampagne zeigte nur langsamen Erfolg. Das durchschnittliche Trockengewicht lag um 10 kg pro Trockengang, wobei zum Teil noch zugehängt wurde. Siehe auch Abschnitt "Raumbelegung und Energieverbrauch".

Als Verbesserungsmaßnahme müssen die Benutzerinnen besser informiert werden. Dazu kann eine Informatinstafel dienen, die im Trockenraum aufgehängt wird.

Nebenstehende Tabelle zeigt die wichtigsten Punkte auf, die eine Informationstafel enthalten soll.

### Trocknen schwerer Stoffe

Unterschiedlich schwere Stoffe in einem Trocknungsgang führen dazu, dass ein Teil der Wäsche früher trocken ist und der Rest dadurch einer Teilbelegung des Raumes gleichkommt, mit entsprechend hohen Verbrauchswerten. Man kann dies als verdeckte Teilbelegung des Trockenraumes betrachten. Die Benutzerin kann dem entgegenwirken, indem sie die schwer trocknenden Wäschestücke mehr in den Luftstrom hängt.

## Benutzerinformation

- Der Entfeuchter soll erst eingeschaltet werden, wenn alle Wäsche gewaschen ist.
- Bei gemeinsamen Waschtagen soll man sich Absprechen, und den Trocknungsraum gemeinsam benutzen.
- Schwere und schlecht trocknende Stoffe sollen direkt im Luftstrom aufgehängt werden.
- Die Wäsche vor dem Aufhängen gut schleudern.
- Die Wäsche nicht über die Leinen hängen, sondern mit Klammern befestigen. Damit wird die Oberfläche grösser und es trocknet schneller.

Fenster und Türen schliessen.

Als weitere Massnahme ist eine bessere Einführung durch die Gerätehersteller wichtig.

Die Testwäsche des SIH besteht durchwegs aus Stoffen mit einem niedrigen bis mittleren Flächengewicht, was das Problem entschärft und einen Teil der besseren Verbrauchswerte erklärt. Die Stoffzusammensetzung entspricht nach unserer Ansicht nicht der Praxis. So fehlen zum Beispiel Jeans, dicke Baumwoll-T-Shirts, oder Pullover.



Anteil Ventilatorenergie

Die Anschlussleistung der Ventilatoren unterscheidet sich zwischen den ausgemessenen Geräten sehr stark. beim Gerät 1 beträgt sie 480 W und beim Gerät 2 nur 245 W. Wird der durchschnittliche Energieverbrauch in Ventilatorenergie und Kompressorenergie aufgeteilt, so ergibt sich folgender Verbrauch: (Bild 4.19). Der Mehrverbrauch von Gerät 1 kann also hauptsächlich auf den höheren Verbrauch des Ventilators zurückgeführt werden.

Der Druckverlust im Luftsystem ist wesentlich und muss von den Herstellern vermehrt beachtet werden.

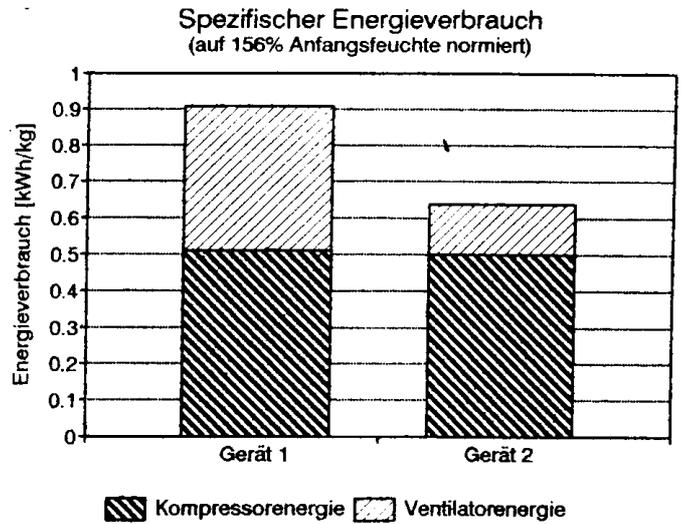


Bild 4.19

Problem 'Prozess beenden'

Dass Entfeuchter auch nach der Trocknung oft weiterlaufen, ist ein Problem, das während den Messungen festgestellt wurde und den Energieverbrauch unnötig erhöht.

Bild 4.20 soll das Problem verdeutlichen. Es zeigt den gemessenen Verlauf der Feuchtigkeit und des Energieverbrauches für Gerät 2. Dieses verfügt zwar über einen AUS-Schalter, dessen Betätigung wird aber oft vergessen, oder die Trocknung ist erst um Mitternacht beendet. Obwohl die Wäsche (nach Protokoll) um 18:30 entfernt worden ist, schaltet das Gerät die ganze Nacht über ein und aus. Dies erhöhte den Energieverbrauch für die 10 kg Trockenwäsche von 0.72 kWh/kg auf 1.07 kWh/kg, also um 0.35 kWh/kg oder knapp die Hälfte.

Fazit: Weil immer Feuchtigkeit von Wänden oder durch den natürlichen Luftwechsel nachdringt, müssen Entfeuchtungsgeräte über eine automatische Abschaltung verfügen, sobald sie eine gewisse Zeit (z.B 2 Stunden) in der EIN- Äus-Phase laufen. Diese Steuerungsart wird bei Geräte 1 mit Erfolg verwendet.

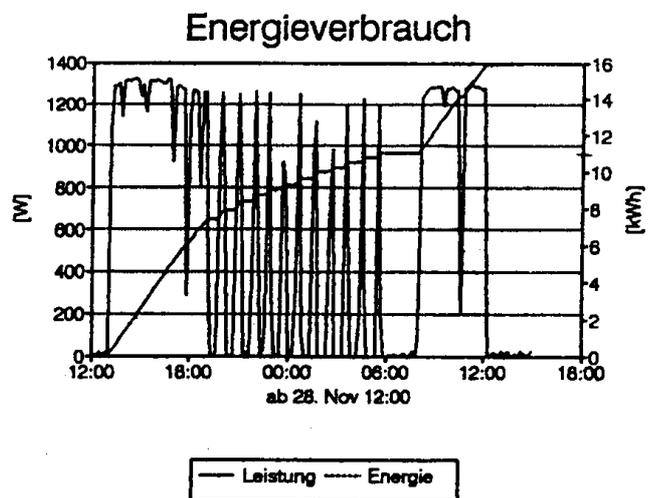
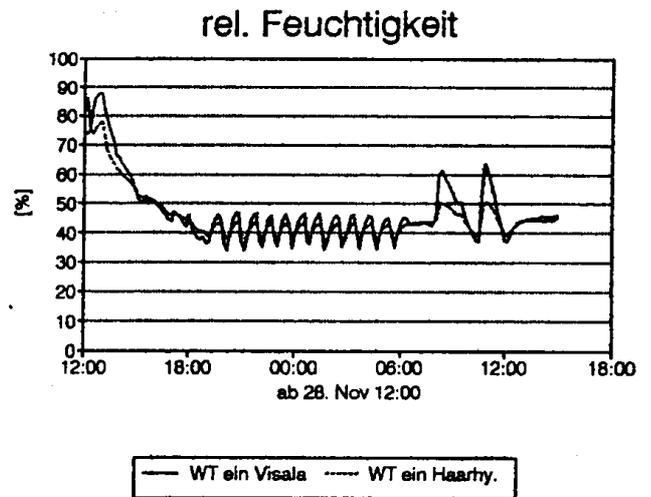


Bild 420



Versuche mit der Testwäsche vom SIH (Schweizerisches Institut für Hauswirtschaft)

Nach den schlechten Ergebnissen aus der ersten Messkampagne bei Gerät 1 haben wir zwei Versuche mit der Testwäsche vom SIH unternommen. Das Ziel war es zu untersuchen, ob wir die guten Verbrauchswerte vom SIH im praktischen Versuch bestätigen können. Wenn sich Unterschiede ergeben, kann damit die Wäschezusammensetzung und die Menge als Ursache der Differenzen ausgeschlossen werden und die Gründe sind in anderen Randbedingungen zu suchen.

Als Zweites wollten wir den Einfluss der Raumbelegung untersuchen.

Interpretation:

Das Ergebnis zeigt, dass der Verbrauchswert unserer Messung mit 25 kg Trockenwäsche (Versuch 2) um 23% höher liegt, als die Ergebnisse durch das SIH bei 23°C und 18°C für Gerät 1.

Andererseits liegt der Wert aber noch im Bereich der SIH Messungen. Der Unterschied kann durch den Einfluss des realen Trockenraumes erklärt werden (z.B. Feuchteabgabe der Wände). Mehrere gleichartige Versuche waren im Rahmen des Projektes nicht möglich weil diese sehr zeitintensiv sind.

Versuch 1 mit einer reduzierten Wäschemenge von 14 kg hat gegenüber Versuch 2 mit 25 kg einen Mehrverbrauch von 27% ergeben. Messungen des Teillastverhaltens am SIH mit einer Belegung von 25 kg und 10 kg hat den spezifischen Verbrauchswert um 50% erhöht.

Eine lineare Extrapolation auf eine Belegung von 10 kg ergäbe einen Verbrauchswert von 0.51 kWh/kg oder eine Erhöhung um 37 %. Bei einem quadratischen Zusammenhang ergäbe sich eine Erhöhung um 57%. Das Teillastverhalten unserer Testmessung stimmt in erster Näherung mit den SIH Messungen überein.

Versuche mit Testwäsche:

Bei einem Versuch mit der Testwäsche wurde die volle Wäschemenge von 24.75 kg verwendet, in einem zweiten nur noch 14 kg.

Der Energieverbrauch wurde nach Angaben des Prüfprogramms vom SIH [Lit: 8] normiert um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Versuch	Trockenwäsche [kg]	Raumtemperatur [°C]	Verbrauch [kwh/kgTW]
Versuch 1	14	25	0.47
Versuch 2	25	26	0.37
SIH	25	23	0.30
SIH	25	18	0.30
SIH	25	14	0.38

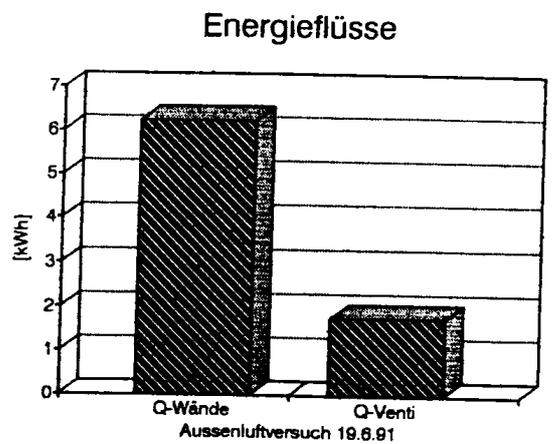
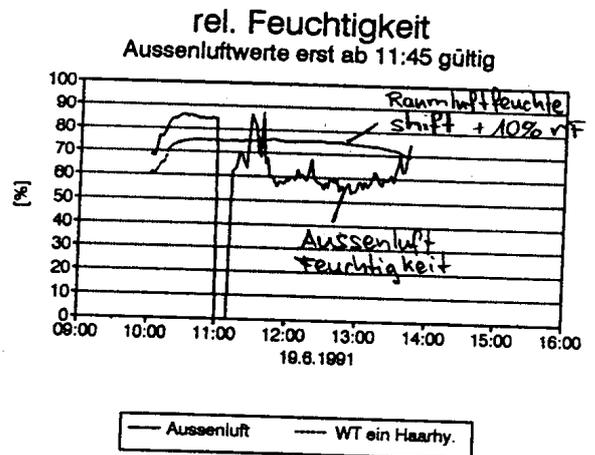
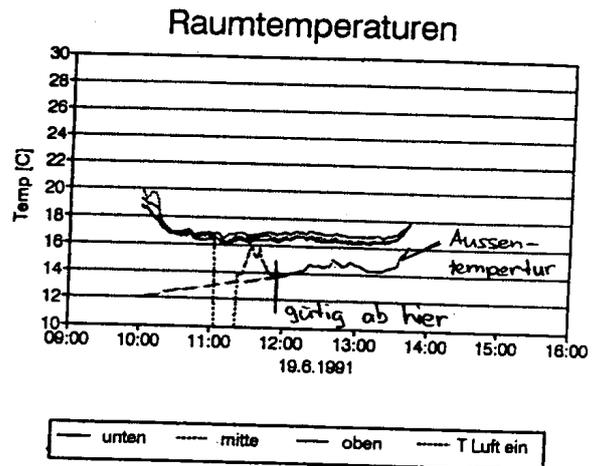
Bei Versuch 1 und 2 handelt es sich um die Durchschnittstemperatur

Bild 4.21

Schlussfolgerung/Ergebnisse:

- Der gemessene Verbrauch liegt etwas unter den Ergebnissen der SIH Messungen
- Die Verbrauchswerte liegen aber deutlich unter den bisherigen Praxismessungen.

- Die Gründe für die hohen Praxiswerte liegen einmal in der schlechten Raumauslastung durch die Benutzer und zum andern wahrscheinlich in einer ungünstigen Zusammensetzung der Wäsche (mehr schwerere Stoffe).



### Trocknen mit Aussenluft (ohne Entfeuchterbetrieb)

Bei unserem Aussenluftversuch vom 19.6.91 wurde mit einem zusätzlichen Ventilator Aussenluft in den Raum geblasen. Um die Turbulenz im Raum zu erhöhen, sind die Ventilatoren des Entfeuchters gelaufen; der Kompressor selber war jedoch nicht in Betrieb.

Der Prozessverlauf kann aus Bild 4.22 und .23 entnommen werden. Deutlich ist die Abkühlung der Raumtemperatur am Anfang der Trocknung ersichtlich. Die Aussenluftbedingungen (Feuchte und Temperatur) sind erst ab 11:45 h aufgezeichnet worden. (Messfühler umplaziert)

Bild 4.22

Randbedingungen: (Durchschnittswerte über die Trocknungsdauer)

Aussenlufttemperatur	14 °C
Aussenfeuchtigkeit	60 %
Aussenluftmenge	420m <sup>3</sup> /h
Anfangstemperatur Raum	19°C
nach einer Stunde	17°C
Abluftfeuchtigkeit	85 %

Ergebnis:

Der erreichte Energieverbrauch lag mit 0.13 kWh/kgTW sehr tief, weit unter den bisherigen Messungen und den SIH-Werten.

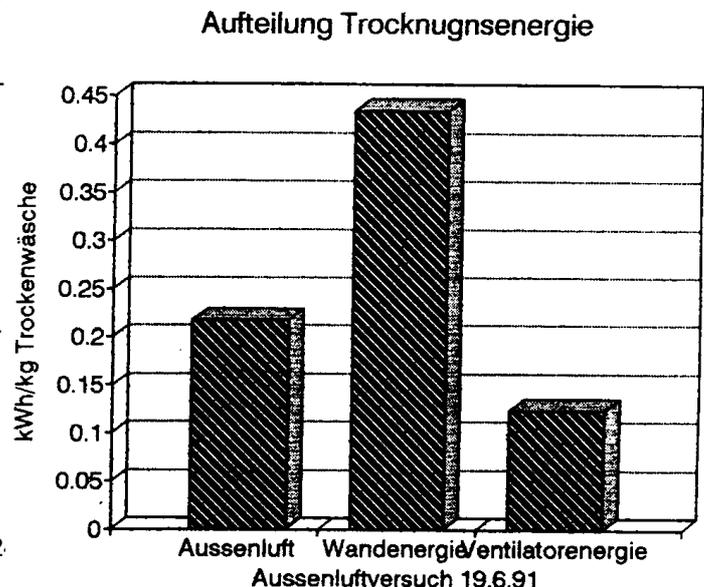
Die erreichte Trocknungsgeschwindigkeit lag mit 4.5 kgTW/h beinahe im Bereich der Tumbler.

Bild 4.2

Mit einem Wert von 0.25 kWh/kgH<sub>2</sub>O liegt der Wert weit unter der Verdampfungsenergie von Wasser (0.625 kWh/kg H<sub>2</sub>O). Da die Wärmepumpe nicht in Betrieb war, müssen noch andere Energiequellen vorhanden sein.

Eine genauere Betrachtung zeigt, dass die fehlende Wärmeenergie von den Umschliessungsflächen des Trockenraumes kommt. Die kühle Aussenluft senkt die Raumtemperatur unter den Anfangswert, sodass die Wände des Trockenraumes Wärmeenergie an die Raumluft abgeben (Bild 4.24). Die Energie von den Wänden entspricht gerade der Energie die nötig ist,

Bild 4.2



um die Aussenluft zu erwärmen abzüglich der Ventilatorenergie. Es gilt:  
 $Q_{Wand} = Q_{Lufteerw\u00e4rmung} - Q_{Ventilator}$

Die Werte konnten aus den Messdaten ermittelt werden.

Die Energie, die n\u00f6tig war, um das Wasser in der W\u00e4sche zu verdampfen, wurde also zum grossen Teil von den W\u00e4nden beigesteuert (0.44 kWh/kgTW). Kleinere Teile durch das Trocknungspotential der Aussenluft selber (0.18 kWh/kgTW) und die Ventilatorenergie (0.15 kWh/kgTW). Bild 4.25 zeigt das Ergebnis nochmals grafisch.

Der Versuch hat im Juni stattgefunden, die W\u00e4rmeenergie aus den W\u00e4nden wurde ausschliesslich durch Umwelte-  
 nergie aufgebracht. Im Winter m\u00fcsste die Energie aus den Umschliessungsfl\u00e4chen vom Heizsystem geliefert werden. Der Energieverbrauch w\u00e4re entsprechend h\u00f6her. (W\u00e4rmefluss von den Nachbarzonen).

H\u00e4tte der Trockenraum die gleiche Temperatur gehabt wie die Aussenluft, so w\u00e4re der Trocknungsbeitrag der W\u00e4nde auf null gefallen. Trocknungszeit und Energieverbrauch h\u00e4tten sich auf mehr als das Doppelte erh\u00f6ht.

Ist der Trockenraum k\u00e4lter als die Aussenluft, so wird die Situation noch schlechter und es kann kaum noch eine akzeptable Trocknungsrate erreicht werden, wenn nur mit Aussenluft getrocknet wird.

Schlussfolgerung:

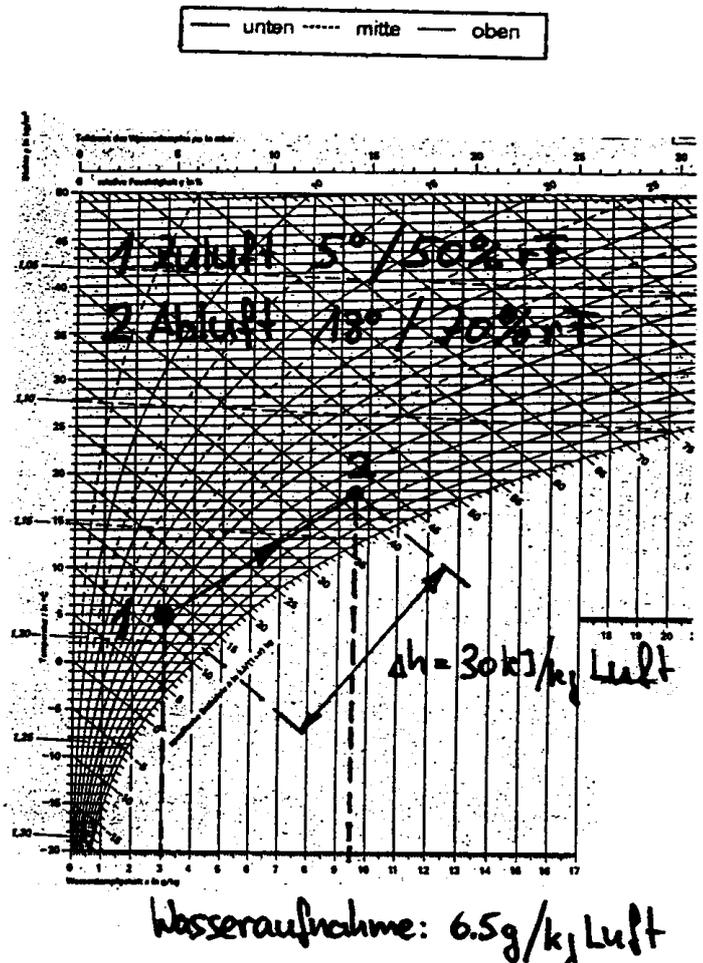
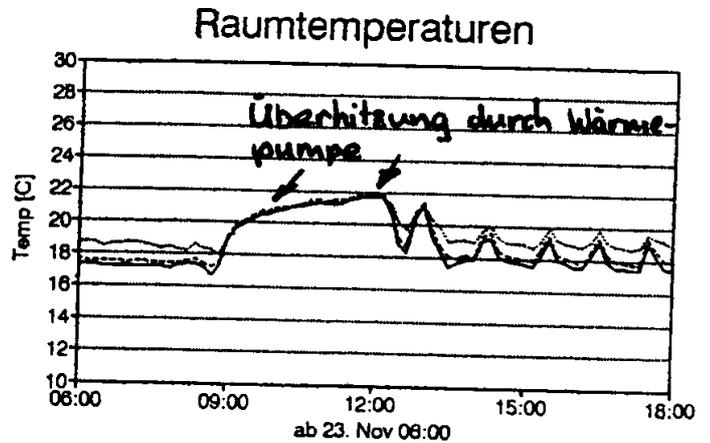
Unter der Bedingung, dass der Trockenraum w\u00e4rmer ist als die Aussenluft, kann sehr gut mit Aussenluft getrocknet werden, ohne dass der Kompressor in Betrieb genommen werden muss, wie unser V.-rsuch gezeigt hat. Dies bedingt aber eine Steuerune, die verschiedene Situationen unterscheiden kann. Nebenstehende Tabelle zeigt die Bedingungen, die sie einhalten MUSS.

Um das Potential \u00fcber die Sommerperiode absch\u00e4tzen zu k\u00f6nnen, sind aber weiter Untersuchungen n\u00f6tig.

Bild 4.25

Bedingungen f\u00fcr eine Aussenluftsteuerung:

- Trocknen mit Aussenluft, wenn die Temperatur im Trockenraum h\u00f6her ist als die Aussentemperatur.
- Die Ablufttemperatur soll w\u00e4hrend dem Trocknungsprozess stets h\u00f6her liegen als die Zulufttemperatur.
- F\u00e4llt die Abluft- unter die Zulufttemperatur, so ist der Kompressor in Betrieb zu nehmen. Bei warmer Zuluft im Sommer, kann eine etwas tiefere Ablufttemperatur in kauf genommen werden, weil auch dann einen gen\u00fcgende Trockenrate erzielt werden kann.
- Bei hohen Aussentemperaturen, kann die Aussenl\u00fcftung in Betrieb genommen werden, um den Trockenraum zu erw\u00e4rmen. Dadurch kann ein hohes Potential f\u00fcr Aussenlufttrocknung am andern Morgen erzielt werden.





### Kühlen mit Aussenluft (mit Entfeuchterbetrieb)

#### Geschlossenes System

Wird keine Aussenluft in den Raum geführt, so handelt es sich um ein geschlossenes System. Die Kompressorenergie, die aufgewendet wird, führt zu einer Erhöhung der Lufttemperatur im Raum, bis der Wärmefluss in die Wände des Raumes die Kompressorleistung erreicht. Dazu Bild 4.26 aus unserer Messkampagne. Die Kompressorenergie wird dadurch nicht entfeuchtungswirksam, sondern geht in die Wände verloren. Die Wärmeenergie zum Verdunsten des Wassers in der Wäsche und die Wärmeenergie zum Entfeuchten der Luft am Verdampfer heben sich gegenseitig auf.

Bild 4.26

#### Offenes System

In einem offenen System mit Aussenluftkühlung wird die Kompressorenergie dazu verwendet, die Aussenluft aufzuwärmen. Die Temperatur im Raum bleibt konstant und es findet kein Wärmefluss an die Wände statt, da kein Temperaturunterschied zwischen Raumluft und Wänden besteht. Die erwärmte Aussenluft wird trockener und kann dadurch Feuchtigkeit aufnehmen. Dadurch wird die Kompressorenergie zum Teil entfeuchtungswirksam. Nur noch die sensible Energie, die nötig ist, um die Aussenluft zu erwärmen, geht als "nicht entfeuchtungswirksam" verloren. Im h-x Diagramm ist die Erwärmung der Aussenluft mit der Feuchtigkeitsaufnahme eingezeichnet (Bild 4.27).

Sinkt die Raumtemperatur während dem Trocknungsvorgang mit Aussenluftkühlung unter den Anfangswert ab, so findet noch ein Wärmefluss von den Wänden an die Raumluft statt, der ebenfalls entfeuchtungswirksam wird. Eine Unterkühlung des Raumes muss aber verhindert werden.

#### Regelung bei Aussenluftkühlung

Bei den beiden Trocknungsräumen im Utohof ist die Aussenluftregelung neu so eingestellt, dass sie den Raum auf 18°C kühlt. Messungen konnten im Rahmen dieses Projektes nicht mehr durchgeführt werden.

Bild 4.26

## 5. Weitere Projekte

### 5.1 Kabine mit Wärmepumpen-Entfeuchter und Aussenluft

#### Projektidee

Eine Wäschetrocknungskabine (Beschreibung weiter hinten) mit kombinierter Aussenluft- und Wärmepumpen-Entfeuchtung soll es ermöglichen, die Trocknungskapazität der Aussenluft optimal auszunutzen.

Die Verwendung einer Kabine hat wichtige Vorteile bei der Prozessführung gegenüber einem Trocknungsraum:

- Durch die Kabine steht ein raum-unabhängig funktionierendes Trocknungssystem zur Verfügung.
- Durch die relativ kleine, wärmegeämmte Kabine, ist eine Aussenlufttrocknung bis ca. 10-12°C möglich, ohne das Gebäude auszukühlen.
- Mit geringerer Ventilatorleistung lassen sich hohe Luftturbulenzen in der Kabine erzeugen, was zu einer grossen Trocknungsleistung führt.

#### Projektziel

Ziel der Arbeit ist es, die Projektidee zum neuartigen Trocknungssystem mit einem Prototyp zu realisieren, um genaue Verbrauchswerte zu ermitteln und die nötigen Erfahrungen für eine spätere industrielle Produktion zu sammeln. Teilschritte sind:

1. Schritt: Entwicklung und Bau eines Prototyps einer Wäschetrocknungskabine.
2. Schritt: Durch Labormessungen werden die Leistungsdaten dieser Wäschetrocknungskabine ermittelt, insbesondere:
  - Trocknungsleistungen und Energieverbrauch in Funktion der Aussenluftbedingungen.
  - Potential der Aussenlufttrocknung über das ganze Jahr, ermittelt mit Simulationsrechnungen.
3. Schritt: Der praktische Betrieb wird untersucht (evtl. Einrichtung in einem normalen Wohnhaus). Wichtige Fragestellungen sind dabei:
  - Einfluss des Benutzerverhaltens auf den Energieverbrauch.
  - Akzeptanz durch die Benutzer (- Fragebogen).

Durch die Ergebnisse der Untersuchungen kann die Wirtschaftlichkeit und die Konkurrenzfähigkeit zu gängigen Systemen ermittelt werden (Markt-Akzeptanz und -Potential).

Als zusätzliche Option sollen Einsatzmöglichkeiten des kombinierten Wärmepumpen-Aussenluftsystems in üblichen, teilweise wärmegeämmten, allenfalls mittels Leichtbauwänden verkleinerten Trockenräumen mindestens theoretisch untersucht werden.

#### Beschrieb der zu entwickelnden Trocknungskabine

Z Wärmegeämmte Kabine in Elementbauweise aus ökologisch vertretbaren Materialien (keine organischen Schaumstoffe); ca. 3 x 2 x H = 2 m; eine Wand öffenbar; die Wäsche wird an einem ausziehbaren/ausfahrbaren Leinengestell o.ä. relativ gedrängt aufgehängt (Leinenabstand im Betrieb 0.1 m).

- Entfeuchtungsgeräte-Komponenten in der Stirnpartie, evtl. ausserhalb der Kabine angeordnet; optimierte Luftführung durch die Kabine zwecks gleichmässiger turbulenter Durchströmung der Wäsche bei minimalem Ventilatorenergieverbrauch.
- Entwicklung bzw. Weiterentwicklung einer elektronischen Steuerung, welche in Abhängigkeit des Aussenluft- und des Kabinenluftzustands sowie des Trocknungsstadiums den Betrieb von Aussenluft- und Luftumwälzungsventilator (als "Wind") und des Entfeuchter-Kompressors steuert. Eine einfache Version einer solchen Steuerung ist im Pilotprojekt Utohof im Betrieb: sie bewirkt eine Umschaltung von Aussenluft- auf Kompressorbetrieb in Abhängigkeit des Aussenluftzustands, der Raumtemperatur und einer maximalen Zeitdauer. Für die Benutzerinnen des Trockenraumes lässt sich das Entfeuchtungsgerät ganz normal bedienen; es gibt keine weiteren Bedienungsorgane.
- Bau und Betrieb der Einrichtung; für eine erste Messkampagne kommt als Standort eine Halle beim Büro W. Gygli in Frage. Anschliessend evtl. Einrichtung in einem normalen Wohnhaus, wo während der Messkampagne die Wäsche nass und trocken durch die Benutzerinnen gewogen werden kann, was im Pilotprojekt Utohof gut funktioniert hat.

Das Projekt wurde von einer Arbeitsgemeinschaft ARENA, W. Gygli, ESCO Schönmann AG beim zürcher kantonalen Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene ATAL zur Unterstützung beantragt. Es soll 1992/93 durchgeführt werden.

## 5.2 EWZ-"Zähleraktion"

Die Eigenschaften der verschiedenen Wäschetrocknungsgeräte bei Vollbeladung und optimaler Betriebsweise sind aus den SIH-Prüfungen recht gut bekannt. Unsere Feldmessungen zeigen jedoch, dass der praktische Betrieb oft weit vom theoretischen Optimum entfernt liegt. Bei Erhebungen von Geräteherstellern ist anzunehmen, dass vor allem ei optimumnahe" Fälle dokumentiert und weitergegeben werden. Da praktisch nirgends der Energieverbrauch von Wäschetrocknern separat erfasst wird, besteht auch weitgehende Unkenntnis über den quantitativen Gebrauch der Geräte (Alternativen wie Stewi, Balkon usw. sind meist vorhanden!) sowie über den effektiven entsprechenden Energieverbrauch von Haushalten (verschiedener Grösse).

Mit relativ einfachen technischen Mitteln könnte eine Art Stichprobe bei typischen städtischen Siedlungs-Situationen gewonnen werden:

- Bereitstellung von z.B. 30 Elektrizitätszählern (Einphasen, Occasionen) auf Brettchen Tableaux mit Kabeln und Stecker/Buchsen, welche bei 220 V Geräten (fast alle Raumluftheuchter) dazwischengesteckt werden können. Platzierung und Ablesung nach unseren Vorschlägen (Fragebogenaktion städtische Wohnsiedlungen).
- Feste Installation von z.B. 20 Drehstromzählern in Anlagen, wo der Tumbler separat angeschlossen ist.
- Halb-mobile Installation (Brettchen.beim Gerät ... ) von z.B. 10 Drehstromzählern in Anlagen mit Tumblern, welche nicht separat angeschlossen sind.
- Evtl. weitere Zählungen in Anlagen mit elektrischen Warmluftgeräten.

Wenn eine solche Aktion vom EWZ (Elektrizitätswerk der Stadt Zürich) selbst organisiert (mit Hinweisen aus unserem Projekt) und getragen wird, sollte dies mit relativ bescheidenem Aufwand innert z.B. 1 Jahr möglich sein.

**5.3 Verbrauchsabhängige Energiekostenabrechnung beim Waschen und Trocknen**

Die Ergebnisse des RVL-Projektes sind in

**Tab. 6.2 Beurteilungsmatrix Entwurf Dez. 91**

Systeme	Abluft-		Tumbler: Wasser-Ko.		Luft-Kond.		Lufterhitzer		WP-Luft-Entfeuchter	Trockenschrank	Ventilation	im Freien (Stewi.)
	ja	nein!	ja	nein!	ja	nein!	ja	nein!				
Kriterien												
Funktionsstüchtig: wetterunabhängig	ja		ja		ja		ja		ja	ja	nein!	nein!
sonstige Abhängigkeit/ Einflüsse	kühlt Raum aus	Wasser-verbrauch!	heizt Raum auf				WW-System		Raum $\geq 12^{\circ}\text{C}$	wie Tumbler	Aussenluft benötigt	AL, Regen Ausweichsyst.
Zeitbedarf für 20 kg Trockenwäsche ca. h	5	5	5	5	5	3-6	3-6	3-6	5-10	5	8-16 (?)	5 + ...
spez. Energieverbrauch Bereich [kWh/kg TW]	0.6 - 0.8	0.65 - 0.85	0.65 - 0.85	0.65 - 0.85	0.65 - 0.85	0.8 - 1.5 (?)	dito.	0.25 - 0.6		0.9 - ...	0.1 - 0.3	0
Aufhängen nötig	-	-	-	-	-	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Raumbedarf (20 kg TW/Tag), ca m <sup>2</sup>	2	2	2	2	2	15	15	15	15	3	15	0
Investitionskosten inkl. Install., ohne Raumkosten ca [1'000 Fr.]	4	4	3.5	3.5	3.5	2	4 (?)	4.5	4.5	5	2	2
Bauphysikalische Probleme	möglich	-	-	-	-	möglich	möglich	möglich	möglich	wie Tumbler	möglich	-
Luftaustausch-Probleme	-	-	(Ueberwärm.)	(Ueberwärm.)	(Ueberwärm.)	ja	ja	-	-	(gelöst)	(gelöst)	-
Belästigungen (Lärm, Abluft...)	Abluft (Lärm)	(Lärm)	(Abluft)	(Abluft)	(Abluft)	(Abluft)	(Lärm)	ev. Abluft	ev. Abluft	ev. Abluft	(optisch)	
Fehlplanungspotential	gering: Abluft	-	gering: Ueberwärm.	gering: Ueberwärm.	gering: Ueberwärm.	gross: Luftwechsel	sehr gross: LW, Heizsy.	mittel	gering: Abluft	gering: Abluft	gross	gering: guter Stao.

Wäschetrocknen einen grossen Einfluss des Benutzerverhaltens (u.a. Chargengrösse, "Dazuhängen") auf den Energieverbrauch. Auch die Beschäftigung mit weiteren Anlagen der Stadt Zürich, die ausserhalb dieses Projekts grob untersucht und beratend begleitet wurden, zeigten klar, dass eine energieoptimale Wäschetrocknung nicht ohne begleitende Anreize für Benutzerinnen auskommt. Die Bequemlichkeit ist doch das stärkste Naturgesetz! Die positiven Erfahrungen mit der

verbrauchsabhängigen Heiz- und Warmwasserkostenabrechnung lassen sehr beträchtliche Energieeinsparungen durch Sparanreize vermuten: sind doch die Verschwendungsmöglichkeiten etwa durch Teilbeladung (Waschen und Trocknen) oder durch Nicht-Nutzen der Trocknungsmöglichkeit im Freien vergleichsweise enorm.

#### Vorgehen

1. Phase: Theoretische Bearbeitung, Zusammenstellung der Gerätetechnik, Darstellung der Zusammenhänge mit alternativen Trocknungssystemen; morphologische Darstellung möglicher Anreiz- bzw. Lenksysteme, psychologische Momente (Beizug externer Fachleute), volkswirtschaftliche Auswirkungen. Parallel dazu kleine Umfrage bei Liegenschaftsverwaltungen mit einschlägiger Erfahrung, stichprobenartig, ausgehend von unterschiedlichen Systemen.
2. Phase: Vorbereitung und Begleitung eines Versuchsobjekts für den Übergang auf Verbrauchsabrechnung: Stromzählung vorher/nachher, Auswertung, Problemanalyse. Womöglich ist ein Objekt aus dem Teilprojekt "Zähleraktion" auszurüsten, um die "vorher" Daten rasch zu haben.
3. Phase: Schlussfolgerungen und Empfehlungen (bzw. Integration in RAVEL-Umsetzung), Schlussbericht.

Die Projekte 5.2 und 5.3 wurden von der Arbeitsgemeinschaft ARENA/W. Gygli dem EWZ zur Unterstützung bzw. Mitdurchführung beantragt. Aufgrund des stadtzürcher "Stromsparbeschlusses" wird voraussichtlich die Durchführung 1992/93 ermöglicht.

## 6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

### Evaluation

Im Rahmen der bisherigen Arbeiten können noch keine umfassenden Empfehlungen zum optimalen Wäschetrocknungs-System gemacht werden. Wenn Ergebnisse der geplanten Folgeprojekte vorliegen, soll für die Umsetzung ein sinnvoller Vorgehensablauf für die Anlagenplanung bzw. -Sanierung entwickelt werden. Nachstehend ein Vorschlag für die Gliederung einer Broschüre, welche Bauherrschaften bzw. Verwaltungen als Leitfaden zum Thema Wäschetrocknen dienen soll:

Tab. 6.1 Inhaltsverzeichnis-Vorschlag Broschüre (für Investoren/Verwaltungen)

- 1 Wäschetrocknen - was passiert dabei überhaupt? (physikalische Grundlagen).
- 2 Typische Situationen, Energieverbrauch, Kosten
- 3 Einflussmöglichkeiten auf das Benutzerverhalten
- 4 Sanierungs-Strategien.
- 5 Planung von Neuanlagen
- 6 Informationsquellen, Tests usw.

Im Verlauf der Arbeiten wurde versucht, eine Evaluationsmatrix für verschiedene Trocknungssysteme zusammenzustellen. Diese muss noch weiterentwickelt werden, sei jedoch als Ansatz für die Umsetzung hier wiedergegeben:

Tab. 6.2 Entwurf einer Evaluationsmatrix (folgende Seite)



Die wichtigsten Folgerungen aus den Erkenntnissen des Untersuchungsprojekts

- a) Energiesparendes Wäschetrocknen lässt sich nicht wie bei anderen Haushalt-Grossgeräten - vor allem Kühlgeräten - einfach durch die Wahl eines sparsamen Gerätes erreichen. Noch viel ausgeprägter als beim Waschautomaten (Füllgrad wesentlich) sind Benutzerverhalten und Randbedingungen für den Gesamt-Energieverbrauch mitbestimmend. Unter günstigen Bedingungen kann ja Wäsche auch ohne kostenpflichtige Energie getrocknet werden (wie früher üblich!). An Wäscheleinen im Freien und ausreichenden Leinen im Estrich oder einem durch Abwärme temperierten Raum mit Fenster-Durchzug-Lüftung.
- b) Der tatsächliche Energieverbrauch des maschinellen Wäschetrocknens in der Praxis ist nur für Einzelfälle bekannt und kann weit über den Werten gemäss Geräte-Deklaration (SIH-Prüfwerte) liegen. Einerseits resultieren aus ungünstigem Benutzerverhalten hohe Stromverbrauchswerte pro kg Trockenwäsche, besonders bei Raumluft-Entfeuchtern, aber auch bei Tumbler; andererseits wird stets auch ein beachtlicher Teil der Wäsche nicht maschinell getrocknet (z.B. Wolle). In einem geplanten Folgeprojekt (EWZ-"Zähleraktion") sollen Praxisdaten ermittelt werden.
- c) Raumluft-Entfeuchter trocknen nicht in jedem Fall energiesparender (gemäss Gerätedeklaration) als Tumbler, sondern nur bei einigermaßen sachgerechtem Gebrauch. Nach unseren Messungen liegt der spezifische Stromverbrauch von Raumluft-Entfeuchtern grösserer Leistung ohne besondere Anleitung der Benutzerinnen im Bereich der deklarierten Tumbler-Verbrauchswerte. Beim Einsatz kleinerer (allenfalls mehrerer) Einheiten in entsprechend kleineren Trockenräumen dürfte das Fehlverhaltenspotential kleiner sein. Wird allerdings auch der Tumbler häufig teil-beladen - was leider anzunehmen ist - so kann sein spezifischer Stromverbrauch bis 150% des Deklarationswertes betragen und damit wiederum höher liegen als unsere gemessenen Durchschnittswerte von Raumluft-Entfeuchtern.
- d) Bei Raumluft-Entfeuchtern wie bei Tumbler werden unterschiedlich energiesparende Steuerungen angeboten. Die relativ geringen Mehrkosten für eine gute Steuerung lohnen sich auf jeden Fall. Ebenso wichtig sind didaktisch gute und das Energiesparen berücksichtigende Anleitungen (Piktogramme, evtl. mehrsprachig!); insbesondere bei einem Systemwechsel.
- e) Zweckmässiges Benutzerverhalten lässt sich - wie bekanntlich beim Heizwärmesparen wohl auch hier durch verbrauchsabhängige Energiekostenabrechnung stark fördern. Verschiedene Systeme werden hierzu angeboten, meist allerdings sind sie nur für Waschautomaten gedacht. Sollen diese wie auch Wäschetrockner erfasst werden, so ergeben sich unter Umständen Probleme. Weil die Energiekosten überlicherweise ohne weiteres auf die Mieterschaft abgewälzt werden, besteht kaum ein Anreiz für die Vermieterschaft, solche - stets mit Umtrieben verbundene - Abrechnungssysteme anzuschaffen. In einem geplanten Folgeprojekt soll der Aspekt der verbrauchsabhängigen Energiekostenabrechnung beim Waschen und Trocknen näher untersucht werden.
- f) Das Trocknungssystem mit Wärmepumpen-Entfeuchtern scheint noch ein beträchtliches energetisches Sparpotential in Kombination mit Aussenluftsystemen sowie durch Zwischen-Wärmetauschern zu enthalten. In einem Folgeprojekt sollen solche Systeme gebaut und erprobt werden.

## 7. Literaturverzeichnis

- 1 Zeit, Energieverbrauch und Trockenergebnis beim maschinellen Trocknen in Abhängigkeit von der Vorentwässerung.  
H. Pauli und M. Schätzke, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 31 1981.  
  
Neuere Erkenntnisse über das Trocknen von Textilien.  
W. Ziemba, Diss. ETH Zürich Prom. Nr. 2459, Zürich 1955
- 3 Maschinelles Wäschetrocknen, div. Beiträge  
in "Auf Nummer Sicher" Nr. 6/1988, Schweiz. Institut für Hauswirtschaft SIH, Baden
- 4 Raumlufentfeuchter neu in der SIH-Prüfung,  
"Auf Nummer Sicher" Nr. 8/1988, Schweiz. Institut für Hauswirtschaft SIH, Baden.  
  
Maschinelles Wäschetrocknen: Technik - Tips - Tabellen  
Publikation Nr. 1.2, Mai 1990, Schweiz. Institut für Hauswirtschaft SIH, Baden
- 6 Wieviel Wäsche wäscht "Familie Schweizer" in einem Jahr?  
in: SIH-Magazin Nr. 1/1990, Schweiz. Institut für Hauswirtschaft SIH, Baden
- 7 Raumluf-Entfeuchter, Begriffe, Prüfung der Gebrauchseigenschaften DIN 3167 (Entwurf Juni 1988)
- 8 Prüfrichtlinien für Raumlufentfeuchter, Schweiz. Institut für Hauswirtschaft SIH, Baden.  
  
Prüfrichtlinien für Tumbler, Schweiz. Institut für Hauswirtschaft SIH, Baden
- 10 Prüfrichtlinien für Tumbler, CEN-Entwurf 59D, Nov. 1989  
Schweiz. elektrotechn. Komitee CES
- 11 Wäschetrockner mit Wärmepumpe, Diplomarbeit NTB 1989 Thomas Kunz / Prof. M. Ehrbar, Neu-  
Technikum Buchs SG
- 12 "Test" Heft 9/1982: Wäschetrockner (Stiftung Warentest, Berlin)
- 13 "Test" Heft 2/1985: Wäschetrockner (Stiftung Warentest, Berlin)
- 14 "Test" Heft 10/1989: Wäschetrockner (Stiftung Warentest, Berlin)
- 15 Mikrozensus 1986, Studie Nr. 8 "Energieverbrauch im Haushalt" (Bundesamt für Statistik, Bern 1989)

## 8. Anhang

Beispiel eines Anleitungstextes für Raumlufentfeuchter

Mit dem Entfeuchtungsgerät

richtig und stromsparend Wäsche trocknen

1 a) Fenster schliessen (im Winter Fenster nie lange offen lassen, sonst kühlt der Raum aus)

b) Wäsche möglichst in der Zentrifuge schleudern, da die Waschmaschine dies weniger gut tut. Das Trocknen geht nachher schneller und braucht weniger Strom.

c) Erlaubt das Wetter, am Stewi oder auf dem Balkon zu trocknen? Dies spart am meisten Strom!

2) Wäsche hängen: mindestens 2 Maschinen, besser 3 oder 4 miteinander.

Schwer Trocknendes nahe am Gerät (etwas Zwischenraum lassen, damit die Trocknungsluft nach hinten durchkommt).

Das Gerät arbeitet bei weniger als 2 Maschinen aufgehängter Wäsche mit schlechtem Wirkungsgrad, also zu hohem Stromverbrauch. Wenn Sie "zwischen durch" nur 1 Maschine waschen, so hängen Sie diese am besten zusammen mit Wäsche anderer Waschender auf oder benutzen Sie den Tumbler.

3) Gerät starten, Türe schliessen. Jetzt kann noch während 1 - 2 Stunden feuchte Wäsche (leicht Trocknendes) dazugehängt werden.

Wenn später nochmals Feuchtes dazugehängt wird, verzögert sich der Trocknungsvorgang wesentlich, weil die schon angetrocknete Wäsche langsamer weiterdrocknet, bis die dazugehängte ebenfalls angetrocknet ist. Dabei ist der Wirkungsgrad schlecht.

4) Der Trocknungsvorgang dauert je nach Wäschemenge und -Feuchte (schleudern!) etwa 4 - 8 Stunden.

Es lohnt sich nicht, wegen einiger feuchter Hosenbünde das Gerät nochmals zu starten: diese lassen Sie besser in der Wohnung fertigtrocknen.

Wenn das Gerät das erstmal abstellt, ist evtl. noch nicht alles ganz trocken; das Gerät schaltet sich nochmals selbst ein. Sollte die Wäsche übertrocknet werden (hart), teilen Sie dies bitte dem Hauswart zwecks Weitermeldung mit.

Wenn Sie die Wäsche abends noch abnehmen wollen, sollten Sie das Gerät vor dem Mittag starten und nach 14 Uhr nichts mehr dazuhängen. Haben Sie sehr viel Wäsche, so hängen Sie z.B. vor dem Mittag 2 - 3 Maschinen und starten. Gegen Abend, nach dem Abnehmen, können Sie nochmals 3 - 4 Maschinen hängen und über Nacht trocknen lassen.

5) Stromverbrauch: Das Entfeuchtungsgerät nimmt nur knapp halb so viel Leistung auf wie der Tumbler. Wenn es also an der gleichen Wäschemenge doppelt so lange "arbeitet" wie der Tumbler, braucht es dabei nicht mehr Strom! Da es zudem 3 - 4 Waschmaschinenfüllungen gleichzeitig trocknen kann, dauert dies zwar wesentlich länger als 3 - 4 mal tumbeln, braucht aber weniger Strom.