

Rapport annuel 2005
AQ-PAC:
**Contrôle de la qualité des petites
installations de pompes à chaleur à l'aune
de mesures normées au centre de test
et de mesures *in situ***
Projet partiel «Augmentation de l'efficacité»
Suivi au banc d'essai et *in situ*
Meilleures installations

Par
Marco Nani, Ing. HTL
Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs
(Haute école technique intercantonale de Buchs)
Werdenbergstrasse 4, 9471 Buchs
marco.nani@ntb.ch

En collaboration avec

Peter Hubacher, Ing. HTL
Hubacher Engineering SA
Tannenbergrasse 2, 9032 Engelburg
he-ko@bluewin.ch

et

Prof. Max Ehrbar
Im Sixer 17a, 7320 Sargans
ehrbar.max@bluewin.ch

Décembre 2005

Résumé

Des contrôles selon la norme et *in situ* sont effectués dans le cadre de la stratégie systématique d'assurance-qualité appliquée par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et dans le cadre de des travaux du Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (pompes d'une puissance inférieure ou égale à 60 kW). Ces contrôles selon la norme sont réalisés en suivant des procédés reposant sur la norme internationale EN 14511 dans le Centre de test des pompes à chaleur WPZ de Buchs. Désormais, les contrôles des chauffe-eau pompes à chaleur selon la norme EN 255-3 font également partie des prestations proposées. Les contrôles selon la norme visent essentiellement à déterminer les coefficients de performance instantanés à différents points de contrôle précis.

Au Centre de test des pompes à chaleur WPZ, l'année 2005 a été marquée essentiellement, sur le plan organisationnel, par l'élaboration et l'adoption à l'échelle internationale des règlements relatifs aux contrôles selon la norme EN 14511 et EN 255-3, par la construction et la mise à jour du site Web, ainsi que par l'optimisation des processus opérationnels. En outre, le premier bulletin du WPZ présentant les résultats des contrôles a été publié. Au total, vingt contrôles de pompes à chaleur ont été effectués au Centre WPZ de Buchs en 2005.

Les évaluations des pompes ainsi contrôlées mettent en évidence les tendances suivantes:

- Après une amélioration initiale, les COP stagnent ces dernières années. En effet, si la forte pression sur les prix des pompes à chaleur a favorisé l'optimisation de celles-ci du point de vue des coûts, c'est au détriment de l'amélioration de leur efficacité énergétique. Un renforcement des exigences minimales à respecter pour obtenir le label de qualité Allemagne-Autriche-Suisse (D-A-CH) pourrait améliorer la situation dans ce domaine.
- Les pompes à chaleur air/eau et sol/eau atteignent les meilleurs COP lorsqu'elles sont équipées de compresseurs scroll et que le réfrigérant utilisé est le R290. En outre, il apparaît que mode de dégivrage le plus efficace sur le plan énergétique est l'inversion des processus lors du dégivrage des pompes à chaleur air/eau.
- Le réfrigérant le plus utilisé ces dernières années est le R407c. Si les charges en réfrigérant dans les pompes à chaleur air/eau n'ont pas diminué, les pompes sol/eau enregistrent un léger progrès à cet égard. Les constructeurs de pompes à chaleur ont en effet apporté des améliorations considérables.

Des analyses *in situ* ont également été effectuées sur différentes *installations* de pompes à chaleur. Ces analyses étaient conduites selon de nouveaux principes, avec une orientation spécifique sur les *installations* de PAC présentant les COP les plus élevés dans la durée («meilleures installations»). L'objectif est ainsi de montrer aux maîtres d'ouvrage et aux planificateurs ce qui est techniquement possible aujourd'hui à peu de frais. Les valeurs enregistrées sont étonnamment élevées, étant précisé qu'aucune installation ne peut être qualifiée d'exotique ou hors normes. Ces excellents COP s'expliquent bien plus par la mise en pratique cohérente de paramètres de planification bien connus.

Les évaluations réalisées jusqu'à présent offrent une perspective intéressante. En effet, ce sont les installations simples et non pas les plus perfectionnées qui présentent des caractéristiques optimales, notamment en ce qui concerne le dimensionnement des sondes géothermiques et de leur pompe de circulation. Dans le cas des installations affichant de bons COPA, il n'est pas toujours facile de déterminer immédiatement les raisons pour lesquelles certaines peuvent être qualifiées de «meilleures installations». En outre, la très bonne efficacité d'une installation donnée peut être due à des éléments extérieurs et secondaires.

Le présent rapport a été réalisé sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie. Cependant, les auteurs sont seuls responsables de son contenu ainsi que des conclusions.
--

Zusammenfassung

Im Rahmen der systematischen Qualitätssicherungsstrategie des Bundesamtes für Energie (BFE) und der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz für Wärmepumpen bis 60 kW Heizleistung werden Norm- und Feldprüfungen an Wärmepumpen durchgeführt. Die Normprüfungen erfolgen anhand von international festgelegten Prüfabläufen nach EN 14511 und werden im Wärmepumpen-Testzentrum WPZ in Buchs durchgeführt. Neu wurden auch Prüfungen von Wärmepumpen-Boilern nach EN 255-3 ins Dienstleistungsangebot aufgenommen. Bei den Normprüfungen werden insbesondere Leistungszahlen bei festgelegten Arbeitspunkten ermittelt.

Das Betriebsjahr 2005 am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ wurde von der organisatorischen Seite her vor allem durch die Erarbeitung und internationale Abstimmung der Prüfrelemente für die Normprüfungen nach EN 14511 und EN 255-3, den Aufbau und Unterhalt der Website und Optimierung der betrieblichen Abläufe bestimmt. Ausserdem wurde das erste WPZ-Bulletin mit den Prüfergebnissen herausgegeben. Im Jahr 2005 wurden am WPZ Buchs insgesamt 20 Wärmepumpen-Prüfungen durchgeführt.

Aufgrund von Auswertungen von am WPZ gemessenen Wärmepumpen konnten diverse Entwicklungstrends festgestellt werden:

- Der COP-Verlauf hat sich nach anfänglicher Verbesserung in den letzten Jahren abgeflacht, da aufgrund des grossen Preisdruckes in den Märkten die Wärmepumpen kostenoptimiert und nicht mehr auf die maximale energetische Effizienz hin entwickelt werden. In diesem Bereich könnte eine Verschärfung der Minimalanforderung zur Erreichung des D-A-CH-Gütesiegels eine Verbesserung bringen.
- Bei Luft-Wasser und Sole-Wasser-Wärmepumpen werden die besten COP-Werte mit Scroll-Kompressoren und dem Kältemittel R290 erzielt. Ausserdem hat sich die Prozessumkehr bei der Abtauung von Luft-Wasser-Wärmepumpe als energetisch sinnvollstes Abtauverfahren gezeigt.
- Das in den letzten Jahren am häufigsten eingesetzte Kältemittel ist R407c. Der mengenmässige Einsatz der Kältemittel wurde bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht reduziert, eine geringfügige Verbesserung zeigt sich hier bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen. Hier könnten seitens der Wärmepumpen-Hersteller massive Verbesserungen erzielt werden.

Als zweite Massnahme wurden Felderhebungen an ausgeführten Wärmepumpenanlagen durchgeführt. Bei diesen Felderhebungen wurde insofern eine neue Philosophie gefahren, als man nun gezielt Wärmepumpenanlagen mit möglichst hohen Arbeitszahlen erfasst (sogenannte Bestanlagen). Man will damit den Bauherren und Planer zeigen, was heute bei tragbaren Kosten technisch möglich ist. Die Werte liegen erstaunlich hoch, wobei keine der Anlagen als „exotisch“ eingestuft werden muss. Vielmehr wurden an sich längst bekannte Planungsparameter für gute Arbeitszahlen konsequent umgesetzt.

Die bisherigen Auswertungen zeigen ein interessantes Bild. Es sind nicht in erster Linie die Anlagen mit viel Technik, sondern die einfachen Anlagen, die optimal ausgelegt worden sind, wie z. Bsp. die Dimensionierung der Erdwärmesonden samt der Sole-Umwälzpumpe. Es ist nicht immer einfach, bei Anlagen mit guten JAZ-Resultaten gleich herauszufinden, wieso gerade diese Anlage als Bestanlage hervorsteht. Es können auch äussere Randbedingungen mithelfen, dass eine Anlage sehr gute Effizienz aufweist.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.
--

Summary

Within the systematic quality assurance strategy of the Federal Office for Energy (BFE) and the Swiss Heat Pump Association (FWS) heat pumps up to 60 kW are tested in the laboratory of the Heat Pump Test Center (WPZ) in Buchs/Switzerland and at the place of installation. The course for the standard tests are defined in the D-A-CH testing rules which are based on the international standard EN 14511. Tests for domestic hot water heat pumps, based on the standard EN 255-3, have also been taken into the service offered by the WPZ. In particular the coefficients of performance (COP) are measured at fixed operating conditions with the standard tests.

During 2005 the WPZ concentrated on preparing and the international coordination of the D-A-CH testing rules regarding to the international testing standards EN 14511 and EN255-3, developing and maintaining the website, optimising the internal operational sequences. In addition, the first WPZ-Bulletin with test results was published. In 2005 the WPZ has tested 20 heat pumps.

On the basis of the test results the following various development trends have been observed:

- After initial improvement in the last years, the COP values are stagnating. This is due to the low prices on the market. This means that heat pumps are built cost-optimized and are not developed to reach the maximum energetic efficiency. An improvement of the minimum requirement to get the D-A-CH quality seal could help to raise the COP values in the future.
- The best COP values with coefficients of performance are reached with scroll compressors and the refrigerant R290. In addition the reverse cycle defrosting has proved to be the most efficient method energy-wise for air-to-water heat pumps.
- In the last years the most used refrigerant was R407c. The quantity of used refrigerants was not reduced in the air-to-water heat pumps and a slight reduction was shown with the brine-to-water heat pumps. Substantial improvements to reduce the use of refrigerants could be made by the heat pump manufacturers.

The second measure undertaken was to analyze installed Heat Pump systems. The units chosen for this were those with the highest efficiencies (Best of class) compared to the earlier FAWA research. In this way it will be demonstrated to the Owners and Planers what improvements are possible today with reasonable costs. The improvements (efficiency) observed were amazingly large and none of the installations could be classed as "exotic". These results had been achieved by using well known planning guides for a high efficiency system.

The evaluations show an interesting picture. Primarily it is the simpler systems that have been installed optimally and not the more complex installations. This has been achieved by for example correctly dimensioning the earth coupled probes and the brine water circulation pump. It is not always straight forward to see why systems have a good JAZ index. In some cases external factors have a positive influence on the efficiency.

The average efficiency of the best of class installations lies by brine/water heat pumps 45% and for air/water by 20%, above the FAWA average value.

If the earth coupled probes is filled only with water, instead of Brine/water, then the seasonal performance factor (SPF) value increases on average from 4.42 to 5.5. In additions systems used to produce domestic hot water, are no less efficient.

This work developed on behalf of the Swiss Federal Office of Energy (BFE). For contents and the conclusions the authors of this report are excluding responsible.

Sommaire

Résumé.....	2
Zusammenfassung.....	3
Summary.....	4
Sommaire.....	5
1 Objectifs du projet.....	6
2 Travaux réalisés	6
3 Meilleures installations	6
3.1 Conditions préalables et démarche.....	6
3.2 Installations étudiées dans le cadre du présent projet	8
3.3 Connaissances et analyses actuelles	9
4 Contrôles selon la norme effectués dans le Centre WPZ de test des PAC	12
4.1 Organisation	12
4.2 Contrôles de pompes à chaleur effectués.....	12
4.2.1 Durée des contrôles selon la norme effectués en 2005	13
4.3 Perspectives et orientations stratégiques du Centre WPZ à partir de 2006.....	14
4.3.1 Optimisation des bancs d'essai.....	14
4.3.2 Accréditation en tant que centre de test.....	14
4.3.3 Recherche et développement	14
4.3.4 Evaluation de la sécurité des installations électriques en vue de leur conformité CE	14
5 Evaluation des contrôles selon la norme.....	15
5.1 Pompes à chaleur air/eau	15
5.1.1 Evolution de 1993 à 2005 des coefficients de performance instantanés des pompes à chaleur air/eau	15
5.1.2 Mode de dégivrage des pompes à chaleur air/eau	16
5.1.3 Réfrigérants utilisés dans les pompes à chaleur air/eau	18
5.1.4 Types de compresseurs utilisés dans les pompes à chaleur air/eau	20
5.1.5 Niveau de puissance acoustique des pompes à chaleur air/eau	23
5.1.6 Pompes à chaleur air/eau: conclusions.....	24
5.2 Pompes à chaleur sol/eau.....	26
5.2.1 Evolution des coefficients de performance instantanés des pompes à chaleur sol/eau de 1993 à 2005	26
5.2.2 Réfrigérants utilisés dans les pompes à chaleur sol/eau	26
5.2.3 Types de compresseurs utilisés dans les pompes à chaleur sol/eau	29
5.2.4 Niveau de puissance acoustique des pompes à chaleur sol/eau.....	32
5.2.5 Pompes à chaleur sol/eau: conclusions	33

1 Objectifs du projet

Poursuite des travaux réalisés dans le domaine de l'assurance-qualité des pompes à chaleur; suivi des contrôles selon la norme au banc d'essai et évaluations complémentaires des données disponibles (indicateurs techniques, économiques et de planification); analyses (suivi) *in situ* des meilleures installations, afin d'identifier les principales caractéristiques permettant de mettre au point ces installations.

Les mesures spécifiques qui sont planifiées sont les suivantes:

- supervision des contrôles selon la norme
- suivi *in situ* des meilleures installations
- évaluations complémentaires des données existantes (WPZ) afin de mettre au point des indicateurs techniques, économiques et de planification.

2 Travaux réalisés

- La haute surveillance constitue un élément important. Une bonne connaissance du nouveau banc d'essai notamment est primordiale. Il faut être chevronné pour effectuer les contrôles et évaluer les résultats obtenus.
- L'échantillonnage existant des installations ANIS a été examiné en vue de sélectionner les meilleures installations. Mais (malheureusement), très peu d'installations remplissaient tous les critères de sélection.
- D'autres contacts ont été établis afin de sélectionner de nouvelles installations. L'intégration de ces dernières ainsi que de leurs instruments de mesure est sous-traitée - en vertu d'une convention - à Hubacher Engineering, la société qui a piloté le projet ANIS et qui connaît donc parfaitement le travail à effectuer *in situ*.
- Etant donné que ce n'est que vers la fin du mois de novembre d'une année d'évaluation que les fichiers informatiques des installations sont créés et que les mesures enregistrées et les évaluations correspondantes sont introduites dans ces derniers, l'évaluation globale des résultats des différentes installations ne peut être effectuée que fin novembre au plus tôt.
- Les expériences et les résultats qui pointent sur les meilleures installations sont rassemblés et soumis à une évaluation critique pour en dégager les caractéristiques, celles-ci n'étant transmises aux spécialistes que lorsqu'elles reposent sur une base statistique solide.

3 Meilleures installations

3.1 Conditions préalables et démarche

L'objectif du projet partiel «Meilleures installations» consiste à déterminer les coefficients de performance annuels que peuvent atteindre les pompes à chaleur, afin de fournir des valeurs indicatives aux maîtres d'ouvrage, aux constructeurs et aux planificateurs. A la différence du projet ANIS, qui visait à présenter des *valeurs moyennes*, il s'agit en l'occurrence de dégager les *meilleures valeurs*. L'évolution (et – dans la mesure du possible – l'amélioration) des COPA des meilleures installations sera en principe suivie pendant plusieurs années. Les données saisies portent uniquement sur les pompes à chaleur air/eau et sol/eau car la majorité des PAC construites appartiennent à une de ces deux catégories.

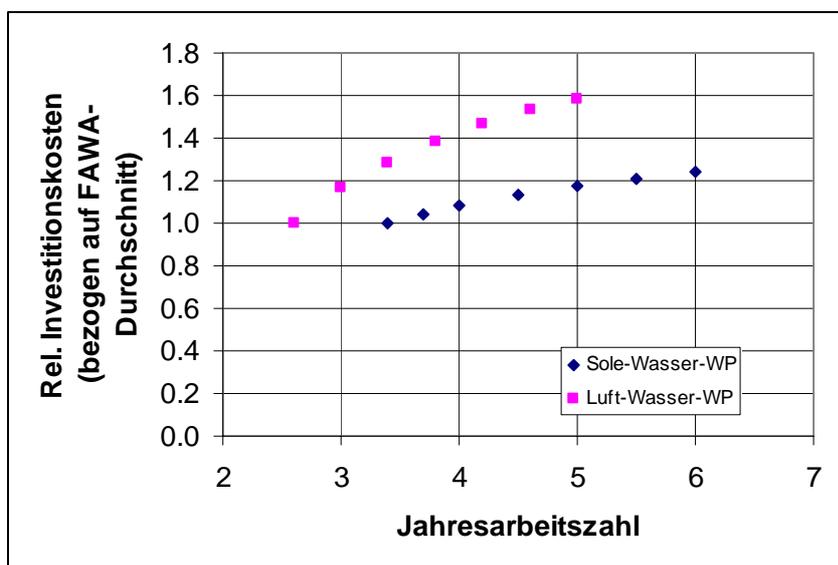
Pendant la première année, nos travaux reposent encore sur le parc d'installations ANIS. Les COPA de ces installations étant tous connus, il «suffit» de sélectionner les unités les plus performantes et d'identifier les raisons pour lesquelles elles se démarquent des autres. Mais une fois l'échantillon ANIS évalué, il y a lieu de trouver de nouvelles installations.

A quoi reconnaît-on les meilleures installations, c'est-à-dire celles dont le COPA est particulièrement élevé?

Le premier critère porte sur les contrôles selon la norme, qui sont effectués au Centre WPZ de Buchs. Les coefficients de performance instantanés varient considérablement d'un fabricant à l'autre. Cependant, notre sélection ne repose pas directement sur les coefficients de performance instantanés calculés en fonction des mesures relevées lors des contrôles, mais sur les COPA prévisionnels (comme pour le projet ANIS) que nous déterminons sur cette base pour la station climatique de Zurich-Kloten, qui présente des conditions météorologiques typiques du plateau suisse. Les installations sélectionnées sont donc celles qui présentent les meilleures valeurs prévisionnelles.

Le deuxième critère porte sur les températures du système de dimensionnement, et plus spécifiquement sur les températures de départ, qui doivent être inférieures à 40°C.

Quant au troisième critère, il s'intéresse aux solutions techniques adoptées et aux frais d'investissement correspondants, qui doivent être maintenus dans des limites raisonnables (des installations exotiques ou des prouesses technologiques sont exclues).



III. 1: Rapport entre le COPA et les frais d'investissement admissibles, pour des coûts cumulés sur la durée de vie identiques (puissance thermique d'env. 12 kW)

Abcisse: coefficient de performance annuel

Ordonnée : Frais d'investissement relatifs (par rapport à la moyenne ANIS)

Légende: PAC sol/eau
PAC air/eau

L'examen des meilleures installations porte non seulement sur leur comportement énergétique, mais surtout sur les aspects économiques. En effet, il ne sert à rien d'atteindre des COPA exceptionnellement élevés avec des installations tout à fait spécifiques et hors de prix. Nous recherchons par conséquent les meilleures installations et dont le prix est raisonnable, tout en tolérant un dépassement de quelque 20% de la moyenne en ce qui concerne les frais d'investissement liés à l'installation de chauffage.

Précisons ce principe: si nous nous basons sur les coûts cumulés sur la durée de vie, les frais d'investissement peuvent être d'autant plus conséquents que le coefficient de performance annuel sera élevé. Lorsque les coûts cumulés sur la durée de vie x sont identiques, il existe un ratio entre les frais d'investissement et le coefficient de performance annuel, que l'on peut calculer. L'illustration 2 présente ce ratio pour les pompes à chaleur air/eau et pour les pompes à chaleur sol/eau.

Le calcul prend comme point de départ les frais d'investissement pour une installation dont le COP sur la durée correspond à la moyenne ANIS. Si certaines améliorations permettent

d'atteindre un COPA de 6,0 par exemple, l'investissement consenti pour une pompe à chaleur sol/eau peut augmenter de 22%. Et en ce qui concerne les PAC air/eau, une augmentation du COP sur la durée justifie encore davantage d'investissements supplémentaires. En effet, un COPA de 5,0 au lieu de la moyenne ANIS autoriserait un investissement supplémentaire de 60%!

3.2 Installations étudiées dans le cadre du présent projet

Les installations étudiées dans le cadre du présent projet sont toutes largement documentées, d'autant plus que certaines avaient déjà été analysées dans le cadre du programme ANIS. Pour ces dernières, sous observation depuis un certain temps déjà, les données analysables sont très complètes.

Tab. 1: Echantillonnage des meilleures installations

Installation	Source de chaleur	Objet	Altitude	Réfrigérant	T départ distrib. maximale	Accumulateur	Raccordement	Eau chaude sanitaire	Longueur sonde géoth.	Diamètre sonde	nCOPA moyen	nCOPA maxi	nCOPA mini
Anlage	Wärmequelle	Objekt	Lage H.ü.M.	Kältemittel	VL Senke max.	Speicher	Einbindung	WW-Bereitung	EWS Länge	EWS Ø	nJAZ mittel	nJAZ max	nJAZ min
7	Aussenluft	Neubau	420	R290	38	ja	serie	nein			3.45	3.48	3.43
8	Aussenluft	Neubau	595	R404A	40	ja	serie	ja			2.97	3.08	2.74
9	Aussenluft	Neubau	455	R407C	35	ja	parallel	nein			3.08	3.22	3.02
10	Aussenluft	Neubau	1200	R290	40	ja	parallel	ja			3.03	3.13	2.98
11	Aussenluft	Neubau	615	R290	40	nein		nein			3.02	3.08	2.98
15	Aussenluft	Neubau	460	R290	35	ja	parallel	ja			3.38	3.49	3.31
16	Aussenluft	Neubau	525	R407C	35	nein		ja			2.60	2.70	2.50
18	Aussenluft	Altbau	430	R407C	40	ja	kombi spiral	ja			3.26	3.45	3.06
1	EWS Sole	Neubau	621	R290	35	nein		ja	150	32	4.66	5.08	4.01
2	EWS Sole	Neubau	455	R407C	35	nein		ja	140	32	4.43	4.65	4.01
3	EWS Sole	Neubau	430	R22	30	nein		ja	140	32	4.52	4.69	4.35
4	EWS Sole	Neubau	545	R290	38	nein		ja	170	32	4.94	5.10	4.66
13	EWS Sole	Neubau	490	R410A	30	nein		ja	165	40	4.57	4.64	4.50
20	EWS Sole	Altbau	695	R417A	40	nein		ja	128	32	3.68	4.13	3.44
5	EWS Wasser	Neubau	440	R407C	30	nein		ja	170	40	6.42	7.15	5.93
6	EWS Wasser	Neubau	782	R290	38	nein		ja	200	40	5.08	5.29	4.93
12	EWS Wasser	Neubau	540	R290	30	nein		ja	160	32	5.05	5.32	4.78
14	EWS Wasser	Altbau	578	R290	40	nein		nein	220	40	4.59	4.59	4.58
17	EWS Wasser	Altbau	550	R410A	45	ja	parallel	nein	200	40	5.11	5.26	4.95
19	EWS Wasser	Altbau	418	R410A	40	nein		ja	200	40			

2^{ème} colonne :: Aussenluft = Air extérieur / EWS Sole = Sonde géoth. saumure / EWS Wasser = Sonde géoth. eau

3^{ème} colonne : Neubau = Nouvelle construction / Altbau = Rénovation

7^{ème} colonne : Ja = oui / Nein = non

8^{ème} colonne : serie = Sériel / parallel = Parallèle / Kombi spiral = Combi spirale

9^{ème} colonne : Ja = oui / Nein = non

Les installations de l'échantillonnage ANIS, qui font depuis dix ans l'objet d'une évaluation annuelle, permettent de tirer des enseignements particulièrement utiles et tout à fait pertinents pour les meilleures installations.

Les analyses effectuées portent aussi sur des aspects spécifiques comme la production d'eau chaude sanitaire, les rénovations (anciens bâtiments) et les nouvelles constructions, les réfrigérants, les températures de distribution etc.

3.3 Connaissances et analyses actuelles

On constate que les paramètres déterminants comme la température de départ sont maintenus à un niveau très bas. Le nombre moyen d'heures de fonctionnement de ces installations est également plutôt faible. En effet, le total des heures de fonctionnement évaluées s'élève à 120 898, ce qui équivaut à une moyenne annuelle de 1670,9 heures par installation.

L'étude portant aussi sur la production d'eau chaude, l'échantillonnage comprend 13 installations assurant la production d'ECS et 5 installations avec chauffe-eau électrique séparé.

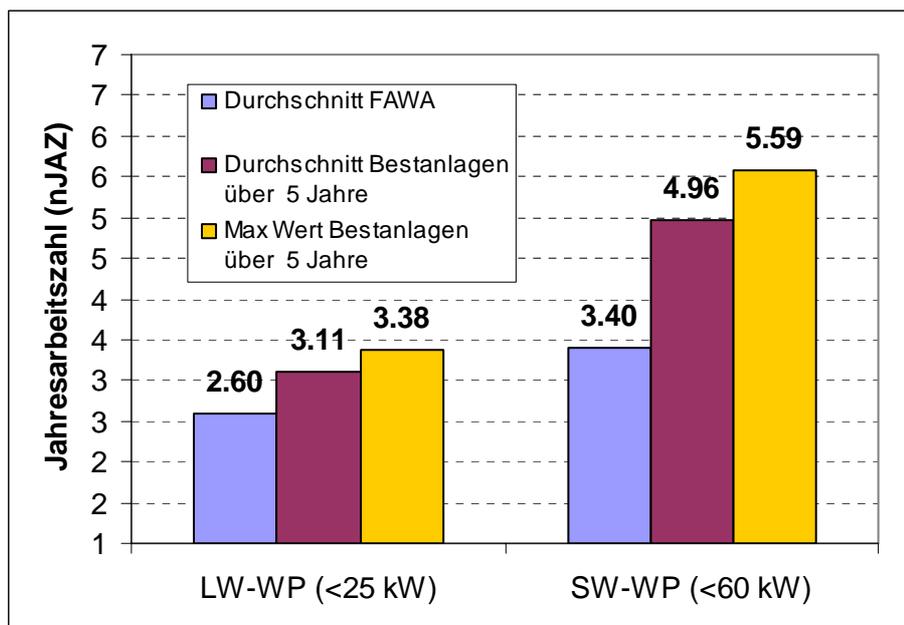
Sonde géothermique avec production d'ECS: nCOPA moyen	4,98	102,7%
Sonde géothermique sans production d'ECS: nCOPA moyen	4,85	100%
Air extérieur avec production d'ECS: nCOPA moyen	3,07	97,2%
Air extérieur sans production d'ECS: nCOPA moyen	3,16	100%

Le tableau ci-dessus montre que la production d'ECS n'influe guère sur le nCOPA. En ce qui concerne les installations avec sonde géothermique, le nCOPA de celles qui produisent de l'eau chaude sanitaire est même supérieur à celui des unités qui n'en produisent pas, ce qui est surprenant, surtout pour les installations les meilleures. Notons cependant que ces valeurs ne peuvent naturellement pas encore être considérées comme probantes sur le plan statistique en raison de la taille insuffisante de l'échantillon examiné.

Le choix du réfrigérant est un autre élément intéressant. En effet, près de la moitié des installations utilisent du propane (R290), car il est bien connu que ce réfrigérant naturel se distingue par ses excellentes propriétés et assure un fonctionnement optimal, dont des COPA élevés. Ces spécificités se reflètent d'ailleurs dans les évaluations du Centre WPZ (voir ill. 5.1.4b page 22 et ill. 5.2.2d page 29).

Dans la catégorie des pompes à chaleur sol/eau en particulier, le nCOPA moyen des meilleures installations dépasse largement la moyenne ANIS, mais en ce qui concerne les unités air/eau, les meilleures ne se distinguent que marginalement de la moyenne.

		Valeur max. sur 5 ans	Valeur min. sur 5 ans	Valeur moyenne sur 5 ans	
Meilleures installations	Sonde géoth. (sol/eau)	5,59	4,31	4,96	145,9%
ANIS	Sonde géoth. (sol/eau)			3,40	100%
Meilleures installations	Air extérieur (air/eau)	3,38	2,84	3,11	119,6%
ANIS	Air extérieur (air/eau)			2,60	100%



Ill. 2: Comparaison des meilleures installations avec l'échantillonnage ANIS

Abscisse : PAC air/eau (< 25 kW) – PAC sol/eau (< 60 kW)

Ordonnée : Coefficient de performance annuel (nCOPA)

Légende: Moyenne ANIS
Moyenne des meilleures installations (5 ans)
Valeurs max. meilleures installations (5 ans)

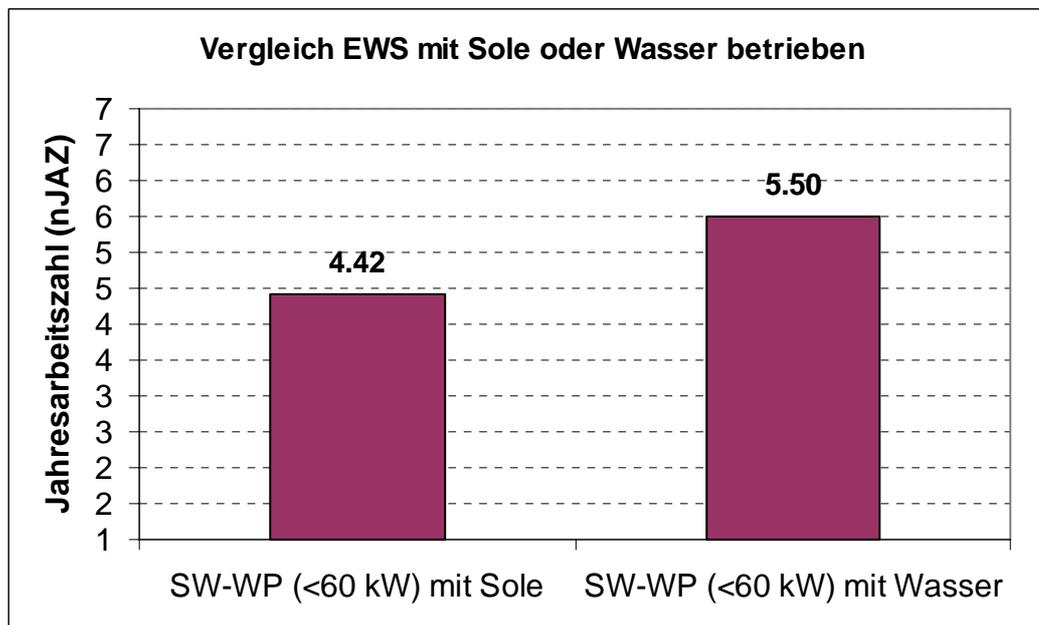
Il ressort du tableau ci-dessus que pendant la période d'évaluation (9 ans), les pompes à chaleur sol/eau non seulement ont atteint une moyenne très élevée (près de 5,0), mais ont également affiché des minima et des maxima moyens très satisfaisants. Il serait donc tout à fait réaliste de viser pour ces installations un coefficient de performance annuel de 5,0. Mais à l'heure actuelle, il semble que les innovations dans ce domaine qui visent à augmenter l'efficacité des PAC soient plutôt rares.

Les pompes à chaleur air/eau peuvent encore être optimisées. Une augmentation effective du COPA telle qu'elle est possible constituerait déjà un progrès réjouissant. En effet, si les résultats des analyses à différents niveaux se traduisaient par des mesures concrètes, telles que l'optimisation du dégivrage des pompes à chaleur air/eau, qui est présentée dans le rapport de l'OFEN «Dégivrage 3» (document disponible en allemand uniquement) – dégivrage avec un ventilateur seul au-dessus de +2 [°C] env.), le COPA de ces installations pourrait croître rapidement.

Pourquoi les différences entre les installations ANIS et les meilleures installations sont-elles si marquées?

- Températures de départ: selon l'analyse ANIS, la température moyenne de dimensionnement (départ) est de 43,0 [°C], tandis qu'elle s'élève à 36,7 [°C] dans les meilleures installations examinées. Cet écart entraîne une différence de quelque 8 [%] entre les COPA des deux échantillonnages.
- Réfrigérants: les installations fonctionnant avec du R290 (propane) se distinguent en général par des coefficients de performance instantanés élevés (voir également les évaluations des données du Centre WPZ, ainsi que l'ill. 5.1.4b page 18 et l'ill. 5.2.2d page 23). Il n'est donc pas surprenant que la sélection des meilleures installations comprenne un nombre d'installations fonctionnant au propane supérieur à la moyenne.
- Sonde géothermique en tant que source de chaleur: les sondes géothermiques qui fonctionnent à l'eau présentent des températures d'évaporation nettement supérieures à celles des sondes à saumure. En outre, la puissance des pompes de circulation est

largement inférieure. L'écart entre les COPA s'explique également par le fait que les sondes géothermiques à eau sont surreprésentées dans les meilleures installations (env. 50%) par rapport à l'échantillon ANIS.



III. 3: Comparaison des COPA normalisés des installations à sonde géothermique avec remplissage de saumure ou d'eau («meilleures installations»)

Titre: Comparaison des sondes géothermiques fonctionnant avec de l'eau ou de la saumure

Abscisse: PAC sol/eau (< 60 kW) à saumure – PAC sol/eau (< 60 kW) à eau

Ordonnée: Coefficient de performance annuel (nCOPA)

Ces installations sont en outre conçues de manière optimale à de nombreux égards (dimensionnement de l'échangeur, système de dégivrage etc.), ce qui améliore encore leur efficacité. Enfin, le fait que ces unités soient confiées à des propriétaires qui sont tenus de les paramétrer et de les faire fonctionner aussi adéquatement que possible (courbe de chauffage notamment) joue également un rôle important.

4 Contrôles selon la norme effectués dans le Centre WPZ de test des PAC

Nous entendons par concept de contrôle selon la norme les contrôles effectués dans le Centre de test des PAC selon la norme internationale EN 255 (désormais EN 14511) sur les petites installations de pompes à chaleur dont la puissance thermique ne dépasse pas 25 kW (PAC air/eau) ou équivaut à 60 kW (PAC sol/eau et eau / eau), et selon la norme EN 255-3 sur les chauffe-eau pompes à chaleur.

Le centre de test des PAC de Buchs (WPZ) a ouvert ses portes à la fin de l'année 2003, et a effectué les premiers contrôles selon la norme début 2004.

4.1 Organisation

Voici les points essentiels de l'activité du Centre WPZ de test des PAC au cours l'exercice 2005 du point de vue organisationnel:

- Création et mise au point, à l'échelle internationale, de divers règlements relatifs aux contrôles: les règlements sur les contrôles de pompes à chaleur air/eau, sol/eau et eau / eau ont été remaniés en fonction de la nouvelle norme EN 14511. En outre, un nouveau règlement sur les contrôles de chauffe-eau pompes à chaleur a été rédigé sur la base de la norme EN 255-3. Ces trois textes ont été adoptés en septembre 2005 lors d'un atelier qui rassemblait à Munich les membres de l'Association Allemagne-Autriche-Suisse, et remaniés par le Centre WPZ. Ils seront approuvés par l'association avant la fin de l'année.
- Création et mise à jour du site Web www.wpz.ch (en allemand): dès le début de l'année, la construction du site a été lancée en collaboration avec l'entreprise ECOSAM Bernal. Ce site est intégré dans celui de l'Ecole d'ingénieurs de Buchs – NTB, ce qui s'est révélé particulièrement utile, surtout lorsqu'il a fallu apporter des modifications. Outre des informations intéressantes au sujet du Centre WPZ et des procédés de contrôle, ce site permet également de prendre connaissance des résultats des derniers contrôles effectués, et de consulter le bulletin WPZ.
- Optimisation des processus opérationnels: création ou modification de documents standard, optimisation des processus au niveau du service à la clientèle et exécution de mandats de contrôle.
- Rédaction et envoi du premier Bulletin WPZ: un courrier a été envoyé aux adresses transmises par le Centre de Töss afin de proposer un abonnement au Bulletin. Désormais, le bulletin est payant s'il est expédié par poste sous forme de brochure, et gratuit lorsqu'il est envoyé par la voie électronique. A ce jour, 650 bulletins ont été expédiés (courrier postal et électronique). Disponible en allemand et en français, il n'a été malheureusement commandé qu'à 40 exemplaires dans la langue de Voltaire.

4.2 Contrôles de pompes à chaleur effectués

Fin 2005, 29 contrôles de pompes à chaleur avaient été effectués au Centre WPZ de Buchs, dont 20 en 2005. Outre ces contrôles réalisés selon le règlement, le Centre WPZ a effectué des mesures selon la norme sur prototype pour trois pompes à chaleur, dont deux dans le cadre de projets de l'OFEN.

Ces contrôles selon la norme portaient sur les prototypes suivants:

- pompe à chaleur air/eau de l'entreprise SATAG (projet «Dégivrage 3» de l'OFEN)
- pompe à chaleur air/eau Stiebel-Eltron avec cycle au CO₂ transcritique (projet de l'OFEN)
- pompe à chaleur sol/eau de la société Swisstherm (contrôle selon la norme avec points de contrôle supplémentaires et optimisation du coefficient de performance instantané).

Le tableau ci-dessous présente les contrôles effectués jusqu'à fin 2005 classés par type d'installation.

Type de PAC	2005	Centre WPZ depuis 2004
Air/eau	6 + 2 *	12
Sol/eau	1 + 1 **	3
Eau / eau	-	1
Installation combinée sol/eau et eau / eau	4 & 4	4 & 4
Chauffe-eau PAC	2	5
Total	20	29

* Six contrôles selon la norme et deux contrôles sur prototype

** Un contrôle selon la norme et un contrôle sur prototype

4.2.1 Durée des contrôles selon la norme effectués en 2005

Le tableau ci-dessous présente les durées (exprimées en jours de travail) des contrôles selon la norme effectués en 2005 (temps net de contrôle).

Type de PAC	Nombre	Durée du contrôle (jours de travail)		
		Min.	Max.	Moyenne
Air/eau	5	22	49 *	25
Install. comb. S / E et E / E	3	11	38 *	17
Chauffe-eau PAC	2	5	16	11

* Résultats extrêmes, non pris en compte dans le calcul de la moyenne

Ces chiffres sont ceux du temps de mesure uniquement. Pour calculer le temps total du contrôle, il y a lieu d'ajouter trois à cinq jours de travail pour l'installation et le démontage de la pompe à chaleur.

Les temps de contrôle présentent des écarts relativement importants. Les durées extrêmement longues (à savoir les deux valeurs exceptionnelles) se présentent surtout si des problèmes se posent lors de la prise des mesures.

En outre, les marges de tolérance particulièrement réduites que définit la norme EN 14511 par rapport aux valeurs cibles se sont également révélées problématiques. En effet, les responsables des contrôles ne peuvent atteindre et maintenir ces valeurs qu'en adaptant continuellement les paramètres de réglage, ce qui occasionne des retards considérables au niveau du déroulement des contrôles. Les motifs de ces retards étaient notamment les suivants:

- complexité de l'hydraulique de l'installation, d'où des difficultés de réglage;
- couplage hydraulique des deux bancs d'essai pour les installations air/eau et sol/eau par le biais d'un accumulateur thermique commun;
- manque d'exactitude au niveau du réglage des conditions de l'amenée d'air en raison de la très longue boucle de réglage du banc d'essai air/eau.

4.3 Perspectives et orientations stratégiques du Centre WPZ à partir de 2006

4.3.1 Optimisation des bancs d'essai

Les tests de PAC effectués à Buchs suscitent un grand intérêt puisque le carnet de contrôles du Centre est déjà plein jusqu'au début de l'année prochaine. Afin de diminuer les délais d'attente, d'éviter que les intéressés ne s'adressent à d'autres centres, et d'améliorer le résultat opérationnel, il y a lieu de réduire tant que faire se peut la durée des contrôles. Ceci requiert diverses mesures:

- amélioration de la précision de réglage des conditions de l'amenée d'air: utilisation d'un capteur supplémentaire placé directement après la batterie de froid du monobloc, afin de moduler le refroidissement;
- modification de la stratégie de réglage au niveau de la récupération de chaleur (banc d'essai air/eau);
- remplacement de l'accumulateur thermique en acier noir d'une dimension de 1,5 m³, par un accumulateur en acier inoxydable, raccordement du retour de la récupération de chaleur à mi-hauteur du stock;
- transformation du banc d'essai sol/eau et découplage hydraulique du banc air/eau.

4.3.2 Accréditation en tant que centre de test

Outre le Centre WPZ, il existe désormais en Europe d'autres organismes qui contrôlent les pompes à chaleur selon le règlement Allemagne-Autriche-Suisse (D-A-CH). Mais contrairement à ces derniers, le Centre WPZ de Buchs n'a pas été accrédité comme tel. Son accréditation est prévue dans le courant de l'année 2006, ce qui lui permettra de gommer ce désavantage stratégique par rapport à la concurrence.

4.3.3 Recherche et développement

Les objectifs annuels fixés pour 2005 en matière de recherche appliquée et développement ne seront malheureusement pas atteints, mais des efforts accrus de prospection directe auprès de la clientèle devraient permettre de renforcer ce département. Un nouveau collaborateur rejoindra d'ailleurs l'équipe du Centre WPZ en janvier 2006 pour s'occuper des études de projets.

4.3.4 Evaluation de la sécurité des installations électriques en vue de leur conformité CE

Afin de continuer à développer l'éventail de ses prestations, le Centre WPZ proposera prochainement, en complément aux tests effectués selon le règlement Allemagne-Autriche-Suisse (D-A-CH), des tests de conformité électrique en vue de la conformité CE des pompes à chaleur. Ce test serait effectué par une entreprise partenaire. Quant à la question de savoir si les deux tests seront effectués à Buchs (un banc d'essai mobile étant nécessaire) ou sur deux sites, elle dépendra du partenaire choisi.

5 Evaluation des contrôles selon la norme

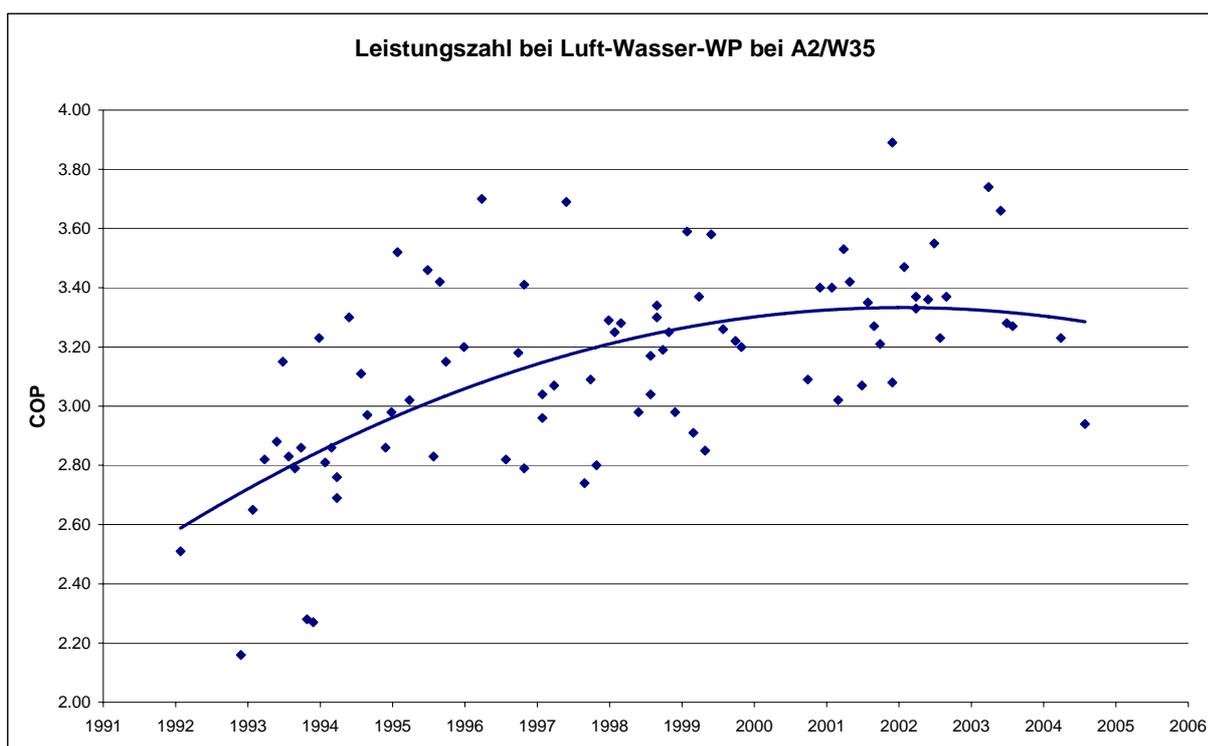
Dans ce chapitre, les données recueillies dans les centres WPZ de Töss et de Buchs depuis 1993 pour les pompes à chaleur sol/eau et air/eau sont soumises à différentes évaluations. Au moment de la rédaction du présent rapport, nous disposons de 87 séries de données à évaluer pour les pompes à chaleur air/eau, et de 171 pour les pompes à chaleur sol/eau.

Les coefficients de performance instantanés ont été évalués à l'aune des mesures relevées au niveau des points de contrôle A2/W 35 et B0/W35, l'écart entre les différentes températures de distribution étant de 10K comme le prévoit la norme EN 255.

Les évaluations ont pour but de présenter l'évolution énergétique et qualitative des pompes à chaleur contrôlées, depuis de 1993 jusqu'à 2005. Par ailleurs, elles devraient permettre d'identifier les causes de certaines tendances.

5.1 Pompes à chaleur air/eau

5.1.1 Evolution de 1993 à 2005 des coefficients de performance instantanés des pompes à chaleur air/eau



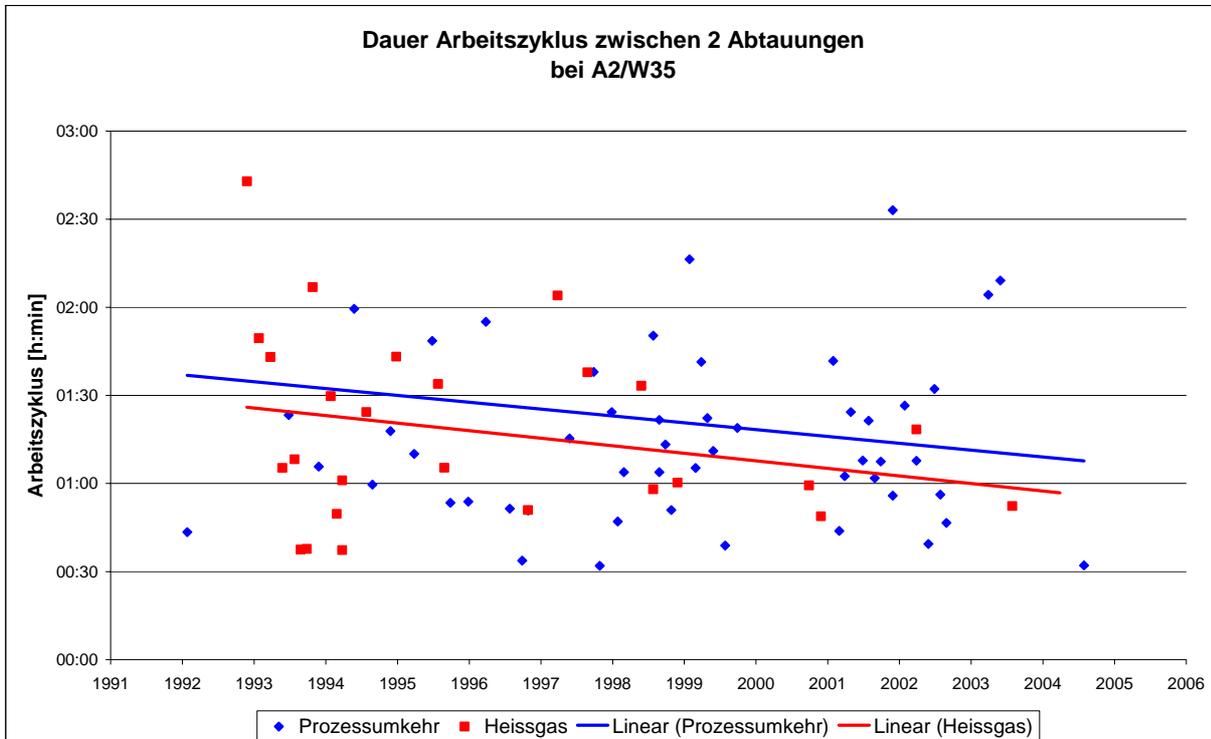
III. 5.1.1: Evolution du COP de l'ensemble des PAC air/eau testées depuis 1993

Titre: PAC air/eau: coefficient de performance instantané (A2/W35)

L'illustration 5.1.1 met en évidence l'augmentation constante des coefficients de performance instantanés jusqu'à la fin de l'année 2002. En effet, la moyenne est passée d'environ 2,5 en 1993 à environ 3,3 fin 2002. Et depuis lors, ces coefficients se maintiennent plus ou moins à ce niveau. Les valeurs relevées depuis l'année 2000 oscillent entre 2,94 et 3,89.

5.1.2 Mode de dégivrage des pompes à chaleur air/eau

Le dégivrage de l'évaporateur a un impact considérable sur l'efficacité énergétique des pompes à chaleur air/eau. Le dégivrage s'opère uniquement par gaz chaud ou par inversion du circuit.



Ill. 5.1.2a: Durée des cycles opérationnels entre deux dégivrages en fonction du mode de dégivrage.

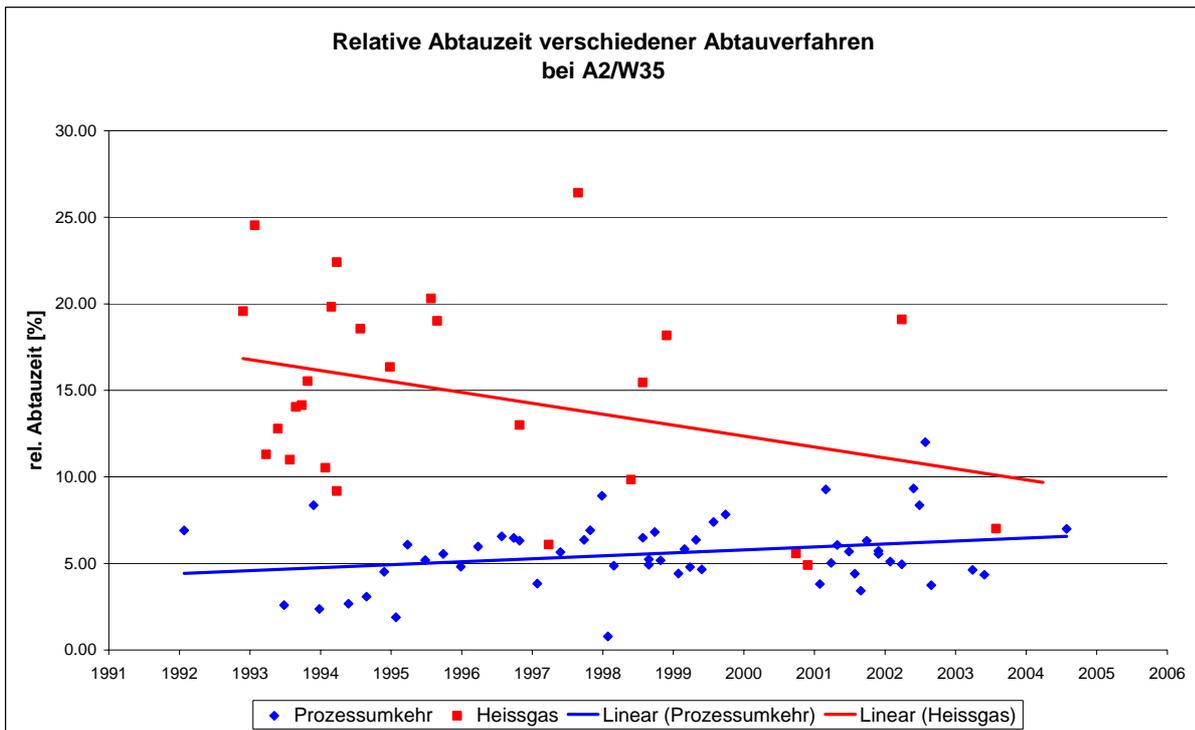
Titre: Durée du cycle opérationnel entre deux dégivrages (A2/W35)

Ordonnée: Cycle opérationnel [h:min]

Légendes: Inversion du circuit – Gaz chaud – Linéaire (inversion du circuit) – Linéaire (gaz chaud)

L'illustration 5.1.2a indique clairement que la durée de fonctionnement entre deux dégivrages a considérablement diminué indépendamment du mode de dégivrage. En effet, par rapport à la moyenne calculée en 1993, la réduction enregistrée en 2005 est de 32% en cas de dégivrage par inversion du circuit et de 34% en cas de dégivrage par gaz chaud. En l'occurrence, la durée du cycle opérationnel entre deux dégivrages est systématiquement plus longue (environ 10 minutes) en cas de dégivrage par inversion du circuit qu'en cas de dégivrage par gaz chaud. Le graphique montre également que le dégivrage par inversion du circuit est de plus en plus utilisé, tandis que le dégivrage par gaz chaud ne l'est plus qu'exceptionnellement depuis 2000.

L'illustration 5.1.2b compare les durées relatives de dégivrage des deux modes. Compte tenu des conclusions tirées de l'illustration 5.1.2a, il serait logique de supposer une augmentation de 30% environ du temps de dégivrage relatif pour un temps de dégivrage égal. Cette hypothèse vaut également pour le dégivrage par inversion du circuit, qui enregistre effectivement une augmentation similaire de 1993 à 2005, mais à l'inverse, le temps moyen de dégivrage relatif avec cette technique s'est nettement amélioré (9% au lieu de 17% (!) initialement). Depuis l'année 2000, seules quatre pompes à chaleur avec dégivrage par gaz chaud ont été testées, mais pour trois d'entre elles, les temps de dégivrage relatifs sont similaires aux valeurs des PAC avec dégivrage par inversion du circuit.



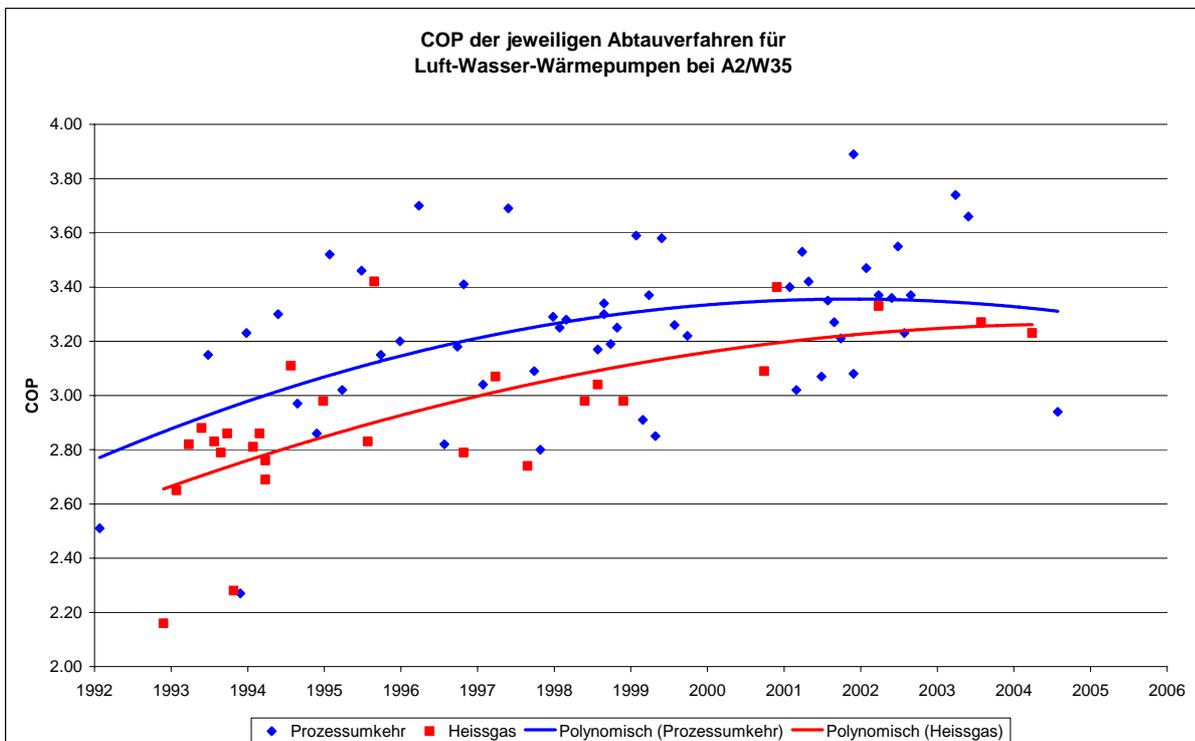
III. 5.1.2b: Evolution des temps de dégivrage relatifs en fonction du mode de dégivrage

Titre: Temps de dégivrage relatif en fonction du mode de dégivrage (A2/W35)

Ordonnée: Temps de dégivrage relatif [%]

Légendes: Inversion du circuit – Gaz chaud – Linéaire (inversion du circuit) – Linéaire (gaz chaud)

L'illustration 5.1.2c montre que dans les années 1990, le dégivrage par gaz chaud était nettement moins efficace que le dégivrage par inversion du circuit du point de vue énergétique, les valeurs enregistrées à partir de l'année 2000 étant presque équivalentes.

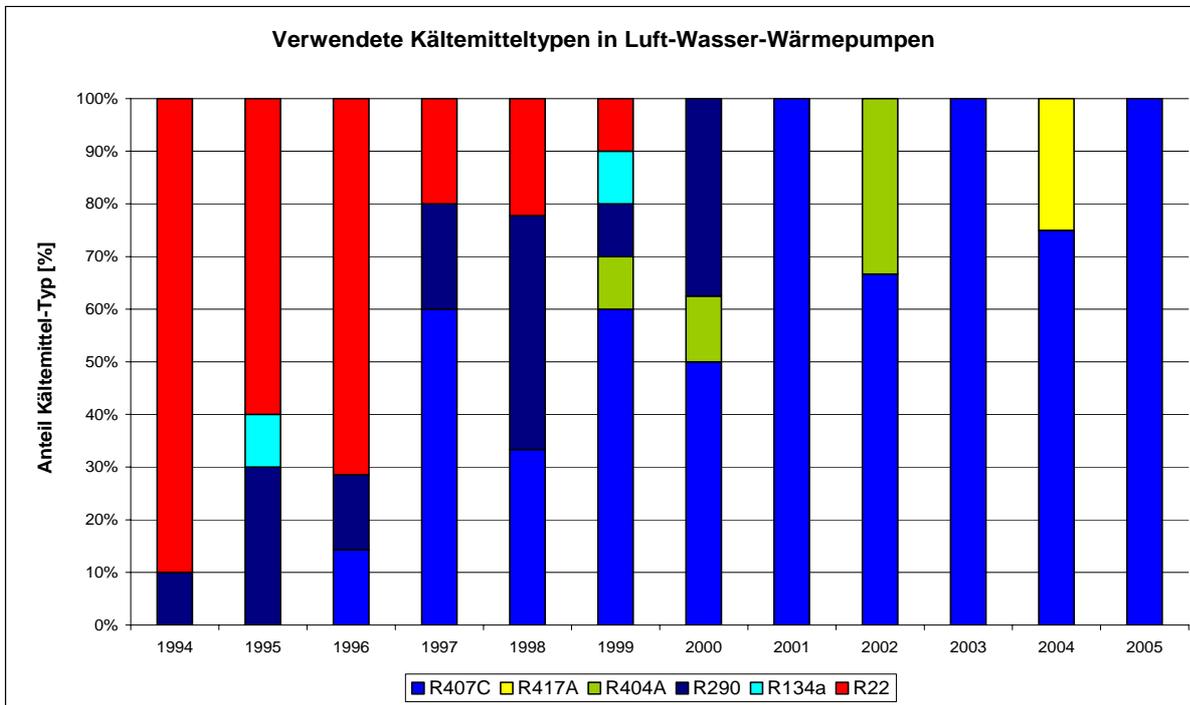


III. 5.1.2c: Evolution du COP en fonction du mode de dégivrage

Titre: Pompes à chaleur air/eau: évolution du COP en fonction du mode de dégivrage (A2/W35)

Légendes: Inversion du circuit – Gaz chaud – Linéaire (inversion du circuit) – Linéaire (gaz chaud)

5.1.3 Réfrigérants utilisés dans les pompes à chaleur air/eau



III. 5.1.3a: Réfrigérants utilisés dans les pompes à chaleur air/eau

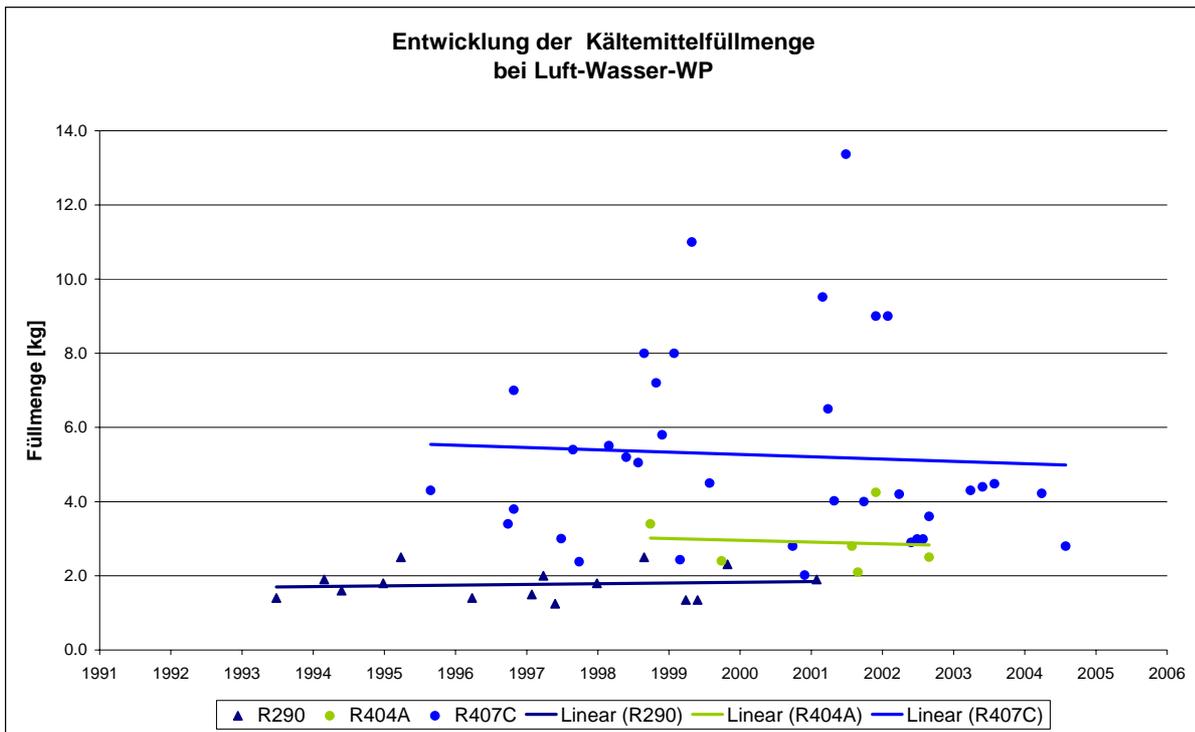
Titre: Pompes à chaleur air/eau: réfrigérants utilisés
Ordonnée: Part des différents réfrigérants [%]

En raison de l'interdiction prononcée en Suisse, le réfrigérant R22 n'est plus utilisé dans les nouvelles installations depuis 2000. Quant au R290, il était fréquemment utilisé jusqu'à cette même année. Outre le R407c, le réfrigérant le plus utilisé depuis 1997, certaines pompes à chaleur testées fonctionnaient avec du R404a, du R417a et du R134a, ce dernier étant le plus rare des trois.

Les considérations ci-dessous s'appliquent uniquement au R290, au R407c et au R404a, les réfrigérants les plus courants.

L'illustration 5.1.3b montre clairement que les charges absolues et spécifiques en R290 et en R404a sont restées à peu près stables au fil du temps et sont par ailleurs relativement similaires.

Il en va en revanche différemment du R407c, le réfrigérant le plus courant, puisque la charge spécifique utilisée augmente avec le temps alors que l'on pourrait supposer une réduction des charges absolues (voir ill. 5.1.3b). Cependant, ces conclusions quant aux tendances doivent être relativisées étant donné la dispersion marquée entre les valeurs relevées.

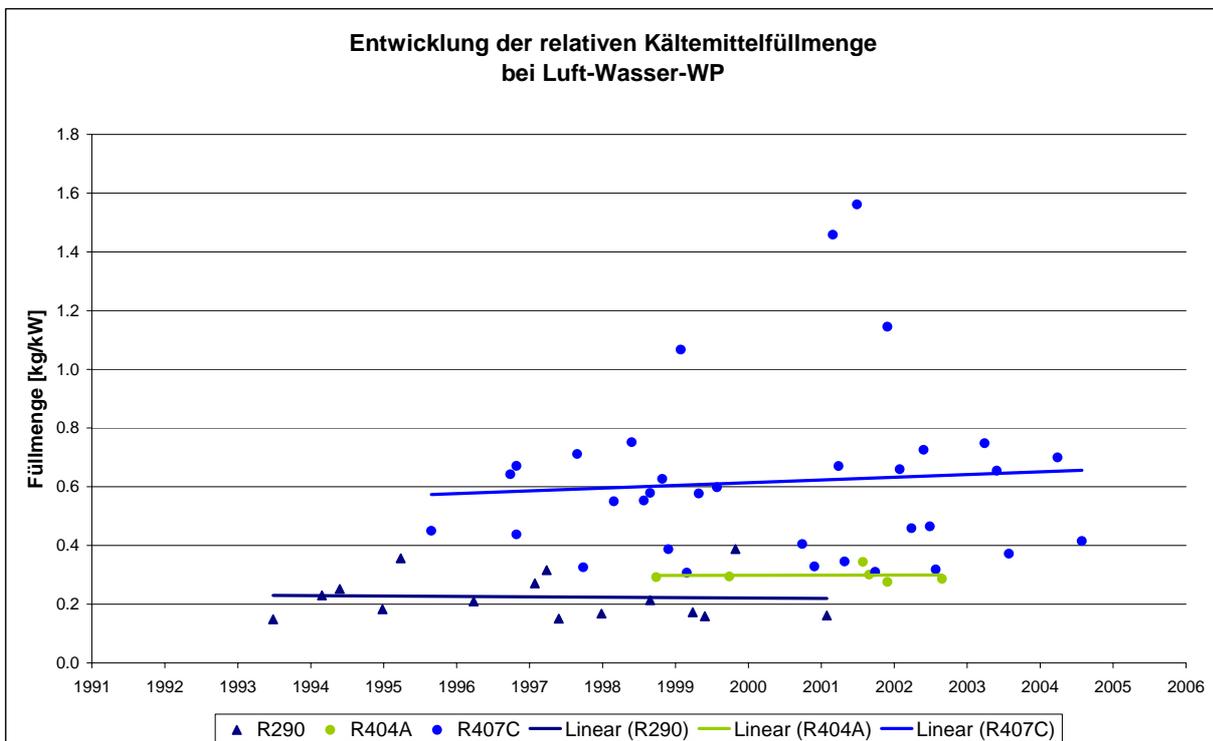


III. 5.1.3b: Evolution des charges absolues en réfrigérant

Titre: PAC air/eau: évolution de la charge en réfrigérant

Ordonnée: Charge [kg]

Légendes: R290 – R404a – R407c – Linéaire (R290) – Linéaire (R404a) – Linéaire (R407c)

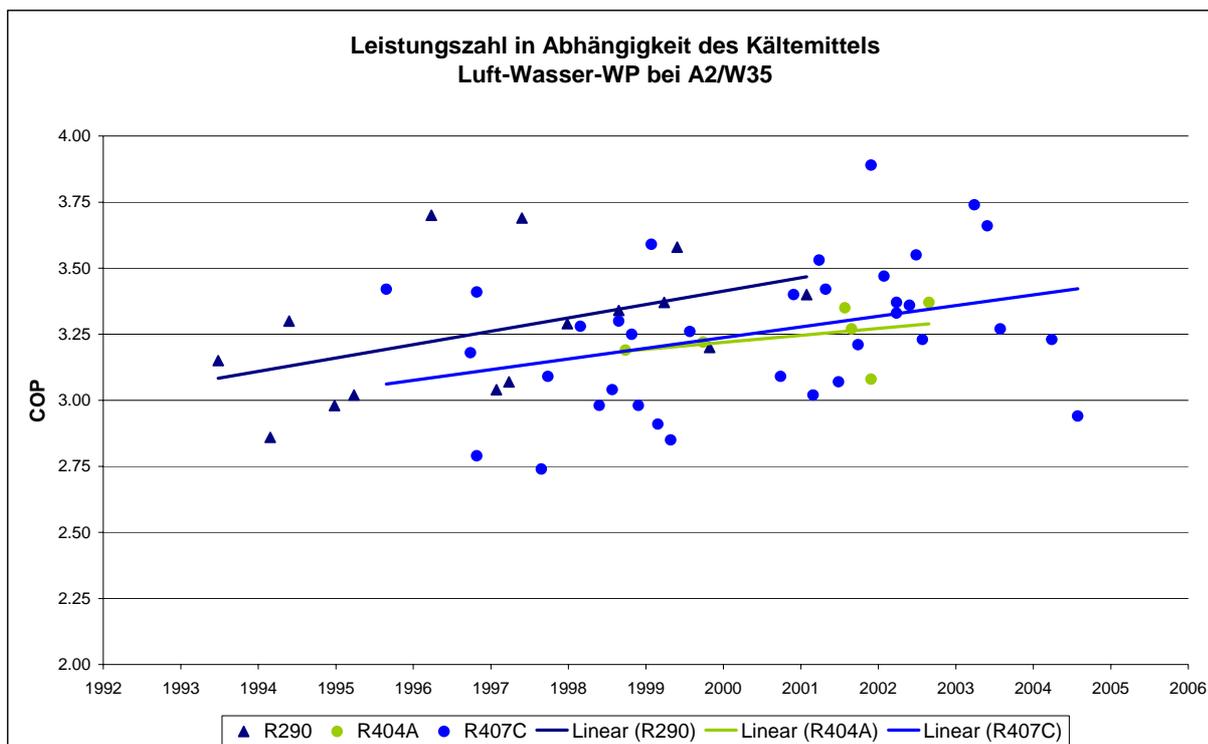


III. 5.1.3c: Evolution des charges relatives en réfrigérant

Titre: PAC air/eau: évolution de la charge relative en réfrigérant

Ordonnée: Charge [kg/kW]

Légendes: R290 – R404a – R407c – Linéaire (R290) – Linéaire (R404a) – Linéaire (R407c)



III. 5.1.3d: Evolution du COP en fonction du type de réfrigérant utilisé

Titre: PAC air/eau: évolution du coefficient de performance instantané selon le réfrigérant utilisé (A2/W35)

Légendes: R290 – R404a – R407c – Linéaire (R290) – Linéaire (R404a) – Linéaire (R407c)

L'évolution du COP au fil du temps et en fonction du réfrigérant se caractérise par une tendance à la hausse quel que soit le produit utilisé. Parmi les réfrigérants, la moyenne pour le R290 se distingue par un COP supérieur de 0,15 à 0,2 environ (entre 4,8% et 5,9%) à celui associé aux valeurs moyennes du R407c et du R404a qui sont presque similaires.

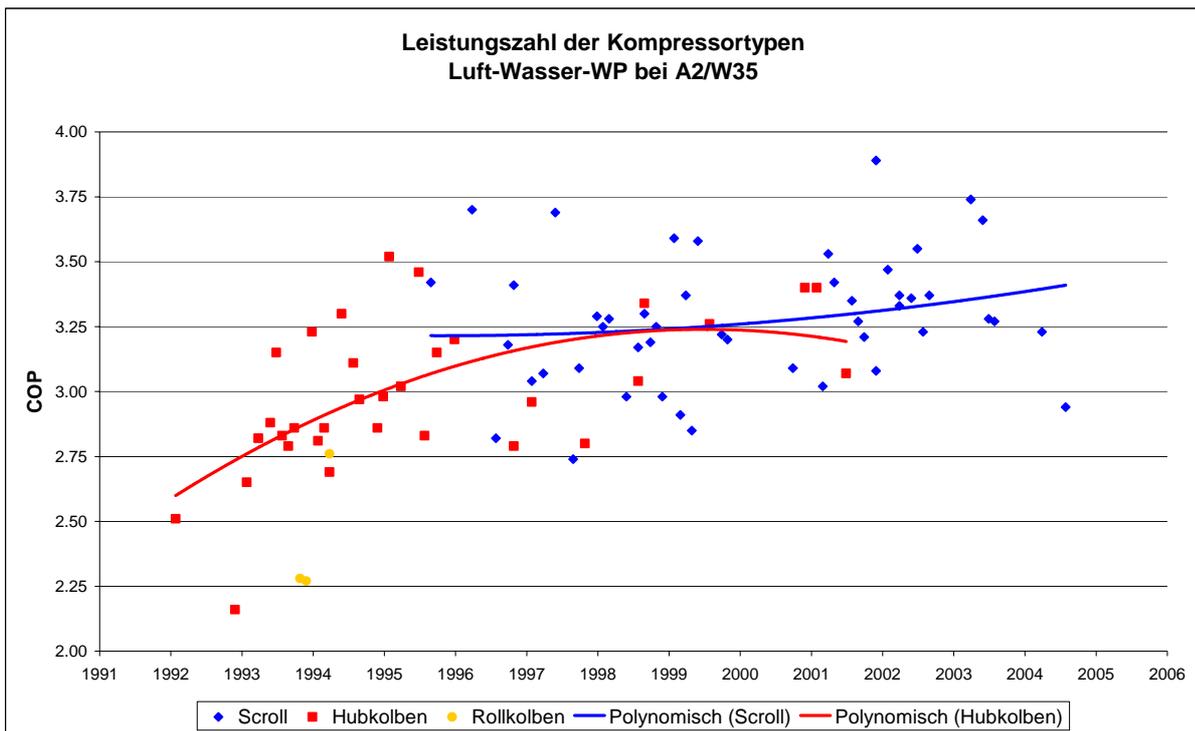
5.1.4 Types de compresseurs utilisés dans les pompes à chaleur air/eau

Comme le montre l'illustration 5.10.4a, les compresseurs utilisés jusqu'à 1996 environ étaient presque exclusivement des compresseurs à piston. Mais de 1996 à 2000, ils ont été de plus en plus remplacés par des compresseurs scroll, et à partir de l'année 2000, seules quatre pompes à chaleur sur les 34 testées étaient pourvues d'un compresseur à piston, les trente autres étant équipées de compresseurs scroll. Seules trois pompes à chaleur air/eau à compresseur rotatif ont été contrôlées en 1994 dans le Centre WPZ, raison pour laquelle nous avons renoncé à prendre en compte ce type de compresseur ci-après. L'illustration 5.1.4a indique également que les pompes à chaleur à compresseur à piston présentent à la fin de leur développement les mêmes COP que les pompes à chaleur qui étaient pourvues au départ de compresseurs scroll. Cependant, le recours aux compresseurs scroll a permis une augmentation supplémentaire du COP jusqu'en 2005. Les mesures relevées présentent des différences relativement importantes par rapport aux courbes de régression.

Les recherches décrites dans les derniers chapitres ont mis en exergue le lien entre l'efficacité énergétique et les autres spécificités de construction des pompes à chaleur. L'illustration 5.1.4b présente par exemple l'évolution temporelle du COP des installations équipées de compresseurs scroll en fonction du type de réfrigérant et du mode de dégivrage.

Nous avons renoncé à effectuer ce genre d'analyse sur les compresseurs à piston, dans la mesure où ces derniers fonctionnent presque exclusivement avec du R22, un réfrigérant qui

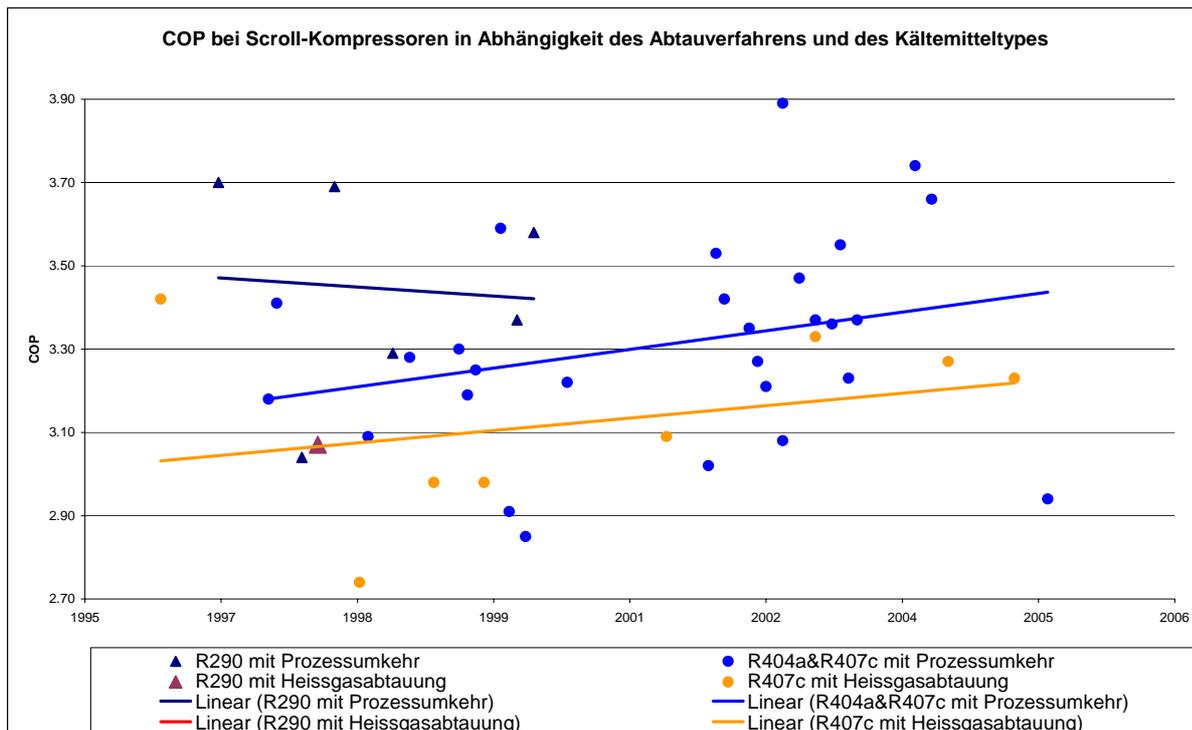
n'est plus utilisé depuis 2000. Par ailleurs, la quantité de données évaluables ne suffit pas pour proposer des conclusions valables au sujet des différents réfrigérants utilisés à ce jour.



III. 5.1.4a: Evolution du COP en fonction du type de compresseur

Titre: PAC air/eau: évolution du coefficient de performance instantané en fonction du type de compresseur (A2/W35)

Légendes: Compr. scroll – Compr. à piston – Compr. rotatif – Polynomiale (compr. scroll) – Polynomiale (compr. à piston)



III. 5.1.4b: Evolution du COP des pompes à chaleur à compresseur scroll en fonction du réfrigérant et du mode de dégivrage

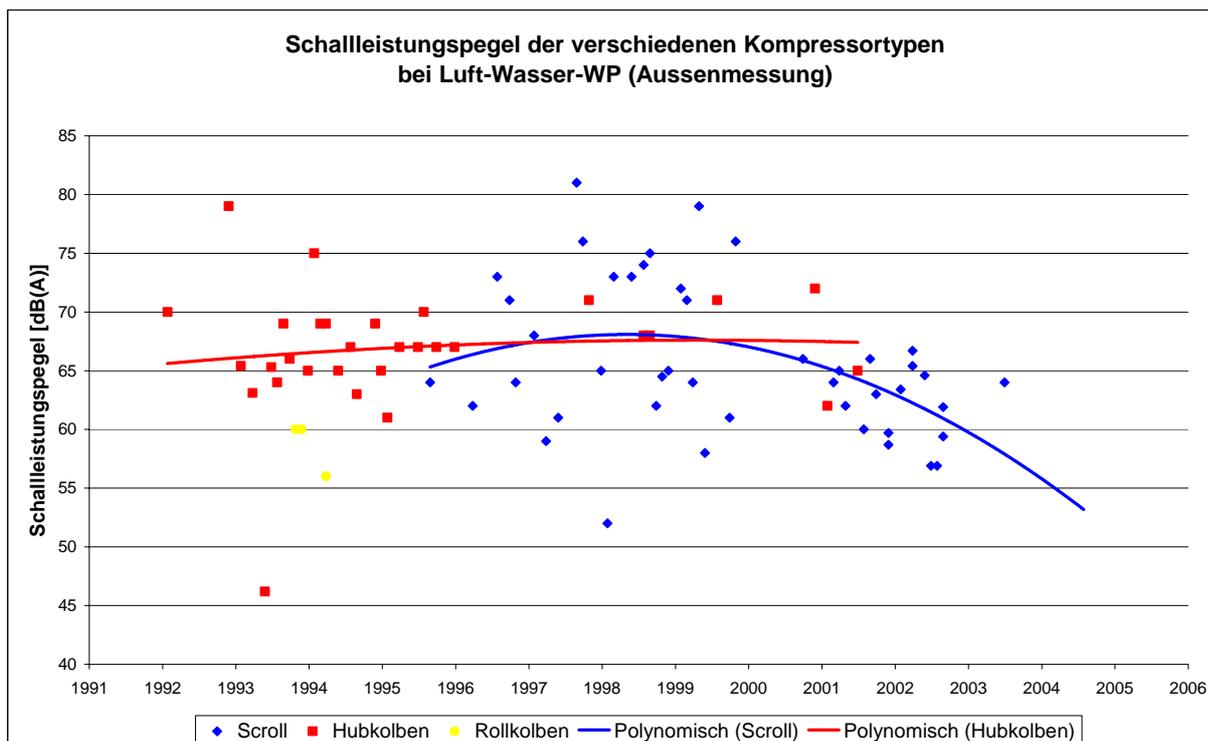
Titre: Compresseurs scroll: évolution du COP en fonction du mode de dégivrage et du réfrigérant

Légendes en bas :

À gauche : R290 avec inversion du circuit
 R290 avec dégivrage par gaz chaud
 Linéaire (R290 avec inversion du circuit)
 Linéaire (R290 avec dégivrage par gaz chaud)

À droite R404a & R407c avec inversion du circuit
 R407c avec dégivrage par gaz chaud
 Linéaire (R404a & R407c avec inversion du circuit)
 Linéaire (R407c avec dégivrage par gaz chaud)

Force est de constater que le dégivrage par inversion du circuit affiche des coefficients de performance instantanés moyens nettement plus élevés que le dégivrage par gaz chaud. Les pompes à chaleur qui utilisent du R290 comme réfrigérant et dont le dégivrage s'effectue par inversion du circuit affichaient déjà les coefficients de performance instantanés les plus élevés à la fin des années 1990, coefficients qui n'ont pu être égalés avec le R407c que quelques années plus tard. Mais ici aussi, la dispersion des valeurs relevées pour le R407c est extrêmement marquée.



III. 5.1.5b: Niveau de puissance acoustique des pompes à chaleur pourvues de différents compresseurs

Titre: PAC air/eau: niveau de puissance acoustique en fonction du type de compresseur (mesures prises à l'extérieur)

Ordonnée: Niveau de puissance acoustique [dB(A)]

Légendes: Compr. scroll – Compr. à piston – Compr. rotatif – Polynomiale (compr. scroll) – Polynomiale (compr. à piston)

L'illustration 5.1.5b indique également que la réduction du niveau de puissance acoustique ne coïncide pas avec l'introduction du compresseur scroll, mais qu'elle est plutôt due à des optimisations du prélèvement d'air.

5.1.6 Pompes à chaleur air/eau: conclusions

D'un point de vue technologique, les coefficients de performance instantanés des pompes à chaleur air/eau pourraient être encore améliorés. Leur stagnation ces dernières années est vraisemblablement due à la forte pression qu'exercent les marchés sur les coûts. Lorsqu'ils mettent sur le marché de nouveaux produits, les fabricants de pompes à chaleur s'attachent en effet de plus en plus à optimiser les coûts plutôt que l'efficacité énergétique.

En ce qui concerne les exigences à remplir pour obtenir le label de qualité octroyé depuis 2000, le COP doit être de 3,0. Soulignons qu'à partir de cette année, seul un COP parmi les mesures effectuées était en deçà de ce seuil. Il semblerait donc que les fabricants aient dimensionné leurs pompes à chaleur en fonction de la valeur requise pour obtenir le label de qualité. L'on peut donc penser qu'un relèvement du seuil fixé pour l'octroi de ce label se traduirait par une amélioration des installations.

Au début, le dégivrage par inversion du circuit était nettement supérieur au dégivrage par gaz chaud, mais grâce à une série d'améliorations, le temps de dégivrage relatif a pu être réduit considérablement, surtout pour les installations à dégivrage par gaz chaud, ce qui a accru l'efficacité énergétique de ces dernières à tel point que ces deux modes de dégivrage peuvent presque être placés sur un pied d'égalité aujourd'hui.

L'étude des corrélations entre les COP et les différents modes de dégivrage, réfrigérants et types de compresseurs montre clairement que ce sont les pompes à chaleur air/eau à inversion du circuit, qui utilisent du R290 comme réfrigérant et qui sont pourvues d'un compresseur scroll, qui ont affiché les meilleurs coefficients de performance instantanés moyens ces dix dernières années.

Dans les années 1990, le R22 était le réfrigérant le plus courant. Depuis son interdiction en 2000, il a été remplacé essentiellement par le R290, le R404a et le R407c, ce dernier étant le plus utilisé aujourd'hui. En effet, malgré son efficacité énergétique exceptionnelle, le R290 n'a pas pu s'imposer sur le marché en raison des réserves majeures qu'il suscitait en termes de sécurité.

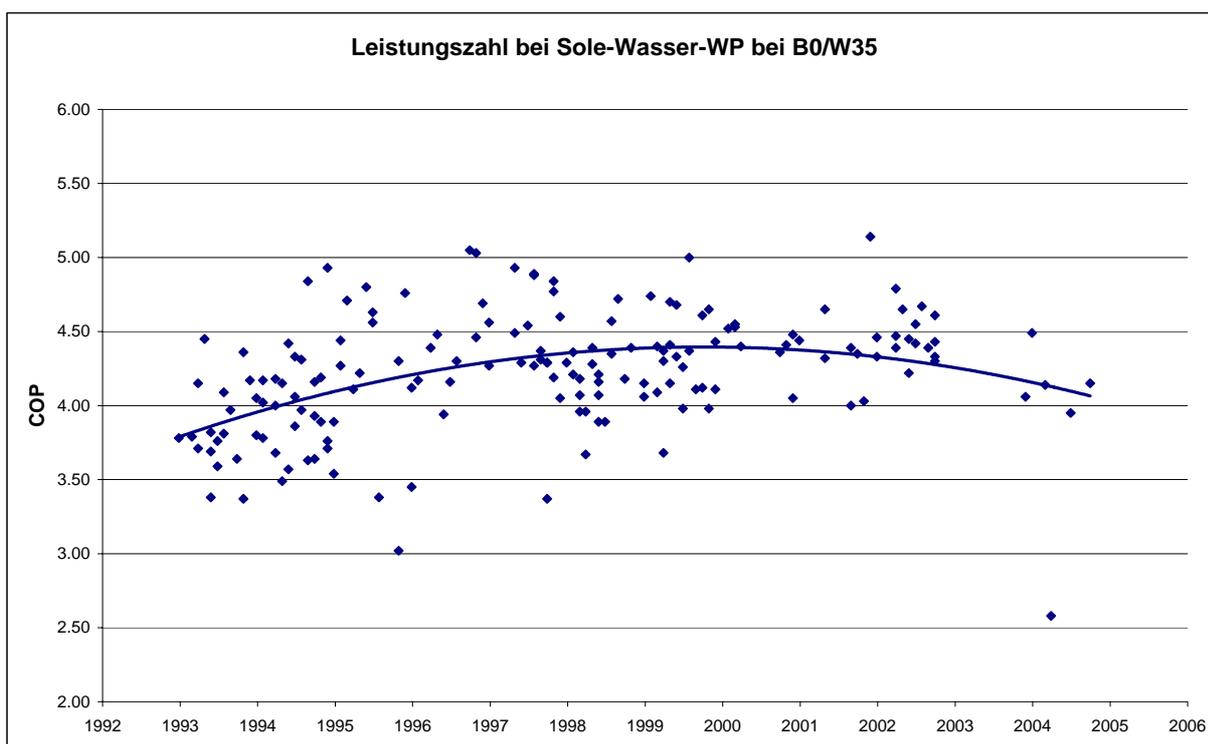
Les charges relatives en réfrigérant varient largement, surtout en ce qui concerne le R407c, le produit le plus couramment utilisé. Etant donné que ce paramètre dépend de la conception de la pompe à chaleur, seuls les constructeurs et les fabricants de pompes à chaleur peuvent réduire la charge en réfrigérant.

L'illustration 5.1.5b indique également que la réduction du niveau de puissance acoustique des pompes à chaleur air/eau ne coïncide pas avec l'introduction du compresseur scroll, mais qu'elle est plutôt due à des optimisations du prélèvement d'air.

5.2 Pompes à chaleur sol/eau

5.2.1 Evolution des coefficients de performance instantanés des pompes à chaleur sol/eau de 1993 à 2005

L'illustration 5.2.1 met en lumière la hausse constante des coefficients de performance instantanés jusqu'en 2000. La moyenne de ces derniers est en effet passée d'environ 3,8 initialement à 4,4 environ. Mais depuis 2003, les valeurs moyennes ont enregistré un léger repli et se situent à 4,2 environ. Les mesures relevées depuis l'année 2000 oscillent entre 3,95 et 5,14 (certaines installations affichent un coefficient de performance instantané de 2,58).



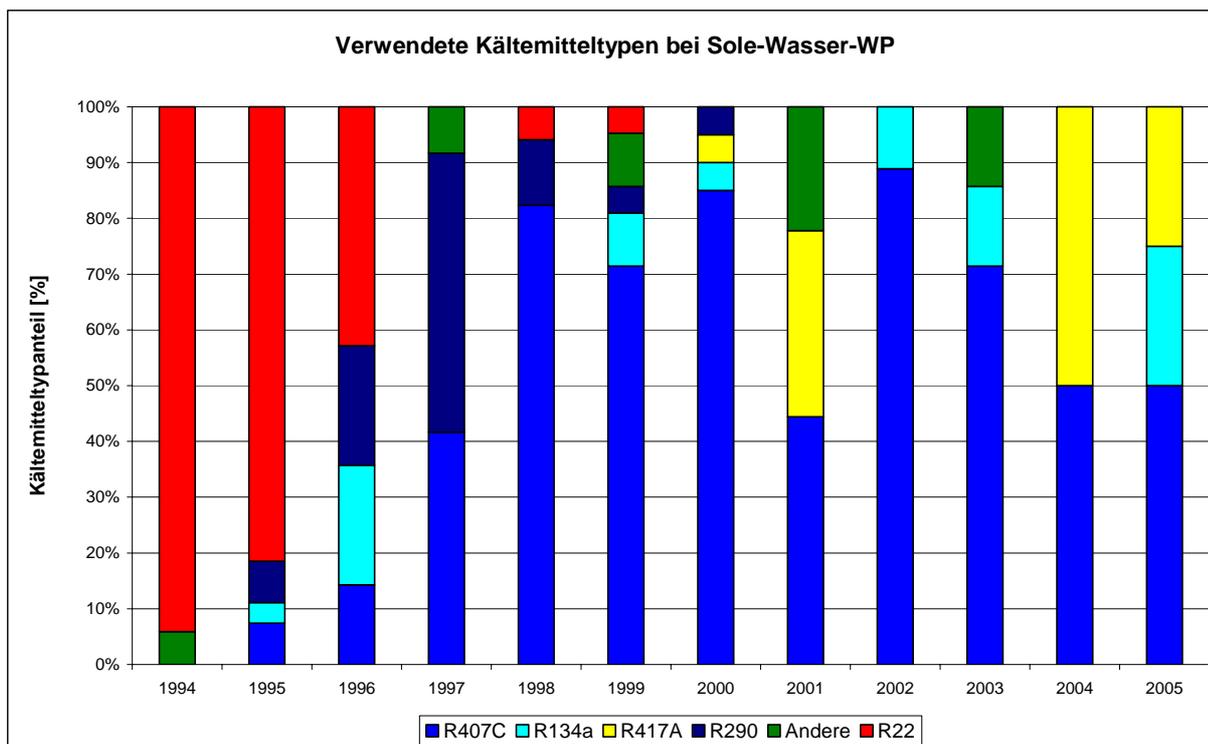
III. 5.2.1: Evolution du COP des PAC sol/eau testées depuis 1993

Titre: PAC sol/eau: évolution du coefficient de performance instantané (B0/W35)

5.2.2 Réfrigérants utilisés dans les pompes à chaleur sol/eau

En raison de l'interdiction prononcée en Suisse, le réfrigérant R22 n'est plus utilisé dans les nouvelles installations depuis 2000. Quant au R290, il était assez fréquemment employé jusqu'à cette même année. Outre le R407c, le réfrigérant le plus courant depuis 1998, certaines pompes à chaleur contrôlées fonctionnaient avec du R417a et du R134a, ce dernier étant le plus rare (voir illustration 5.2.2a).

Les considérations ci-dessous s'appliquent uniquement au R290, au R407c, au R134a et au R417a, les réfrigérants les plus courants ces dernières années.



III. 5.2.2a: Réfrigérants utilisés dans les pompes à chaleur sol/eau

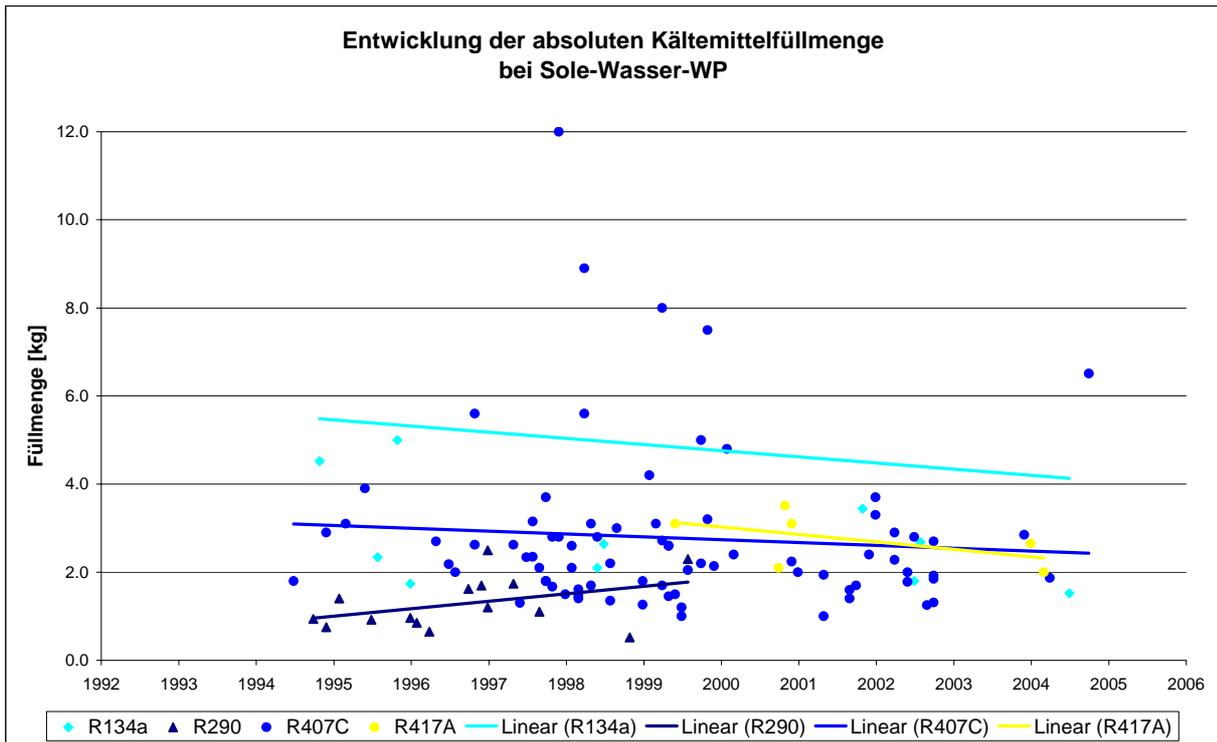
Titre: PAC sol/eau: types de réfrigérants utilisés

Ordonnée: Part des différents réfrigérants [%]

Légendes: R407c – R134a – R417a – R290 – Autres – R22

L'illustration 5.2.2b montre que les charges absolues en réfrigérant ont baissé au fil du temps, à l'exception du R290 qui enregistre une légère hausse.

Les charges relatives en réfrigérant affichent également des tendances à la baisse (voir illustration 5.2.2c). Cependant, les charges en R407c présentent de grandes disparités.

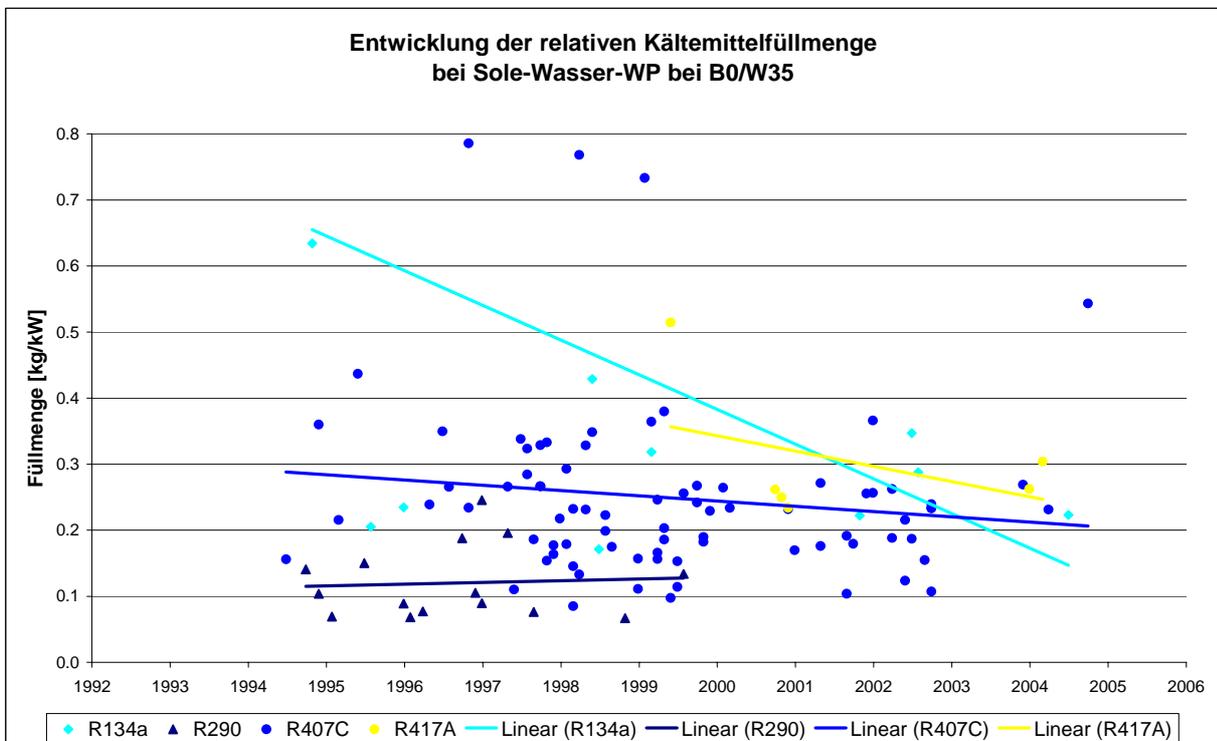


III. 5.2.2b: Evolution des charges absolues en réfrigérant

Titre: PAC sol/eau: évolution des charges absolues en réfrigérant

Ordonnée: Charge [kg]

Légendes: R134a – R290 – R407c – R417a – Linéaire (R134a) – Linéaire (R290) – Linéaire (R407c) – Linéaire (R417a)



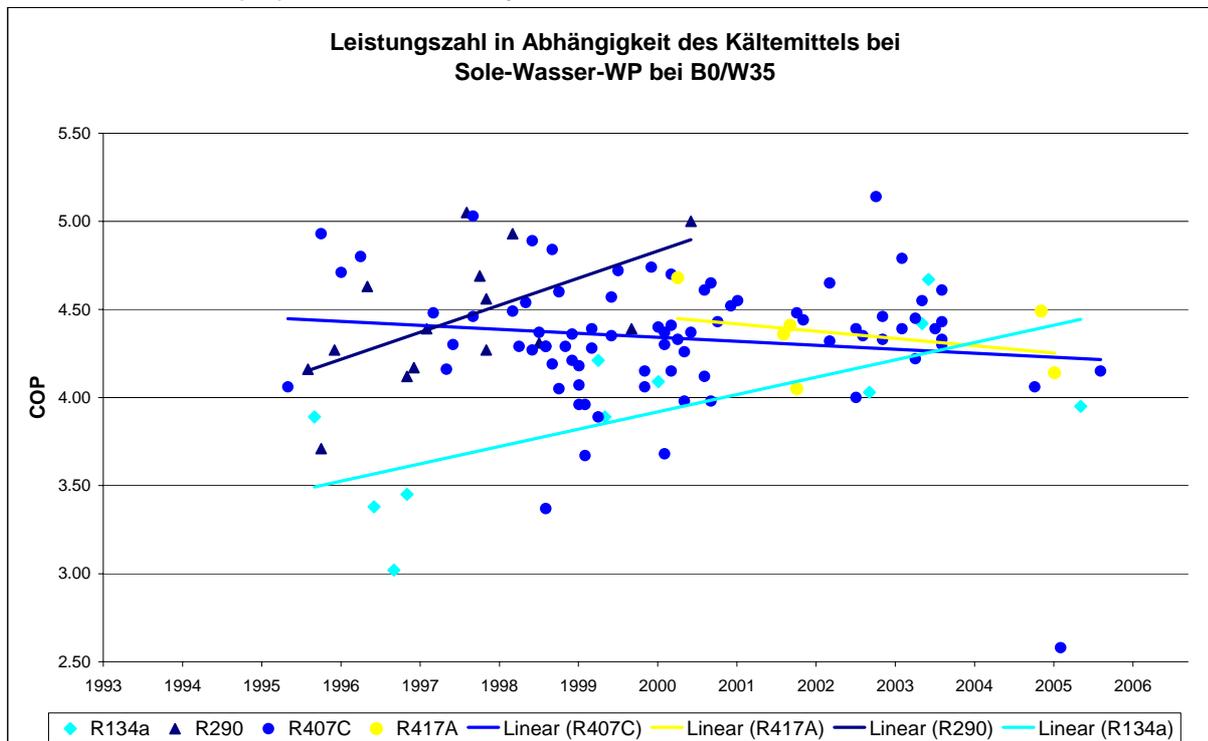
III. 5.2.2c: Evolution des charges relatives en réfrigérant

Titre: PAC sol/eau: évolution des charges relatives en réfrigérant (B0/W35)

Ordonnée: Charge [kg/kW]

Légendes: R134a – R290 – R407c – R417a – Linéaire (R134a) – Linéaire (R290) – Linéaire (R407c) – Linéaire (R417a)

L'évolution des COP au fil du temps et en fonction du réfrigérant se caractérise par une tendance à la hausse s'agissant du R290 et du R134a, mais par une légère baisse pour ce qui est du R407c et du R417a. Comme pour les pompes à chaleur air/eau, ce sont celles qui utilisent du R290 qui présentent en moyenne les meilleurs COP.



III. 5.2.2d: Evolution du COP en fonction du réfrigérant

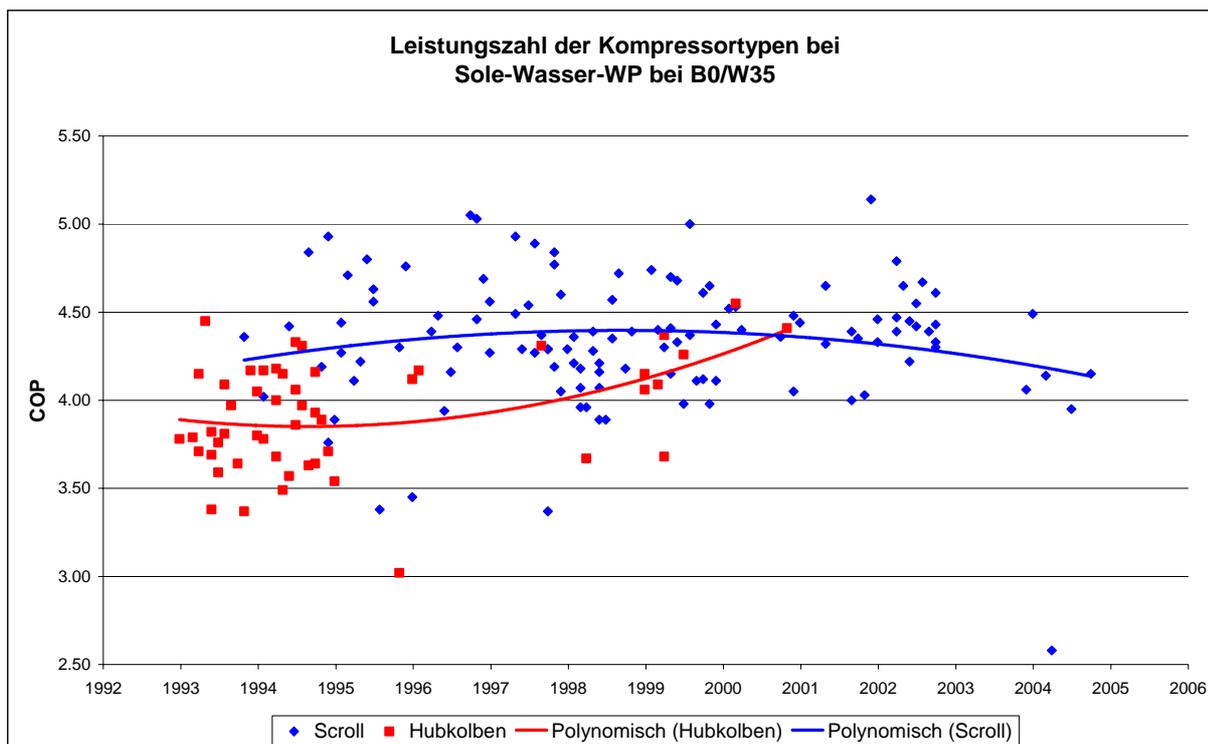
Titre: PAC sol/eau: évolution du coefficient de performance instantané en fonction du réfrigérant (B0/W35)

Légendes: R134a – R290 – R407c – R417a – Linéaire (R407c) – Linéaire (R417a) – Linéaire (R290) – Linéaire (R134a)

5.2.3 Types de compresseurs utilisés dans les pompes à chaleur sol/eau

Comme le montre l'illustration 5.2.3a, les compresseurs utilisés jusqu'à 1996 environ étaient presque exclusivement des compresseurs à piston. Mais dès 1997, ils ont de plus en plus été remplacés par des compresseurs scroll, et à partir de 2000, seules deux pompes à chaleur parmi les installations étudiées étaient encore équipées de compresseurs à piston.

Aucune pompe à chaleur sol/eau testée au Centre WPZ n'était pourvue d'un compresseur rotatif.



III. 5.2.3a: Evolution du COP en fonction du type de compresseur

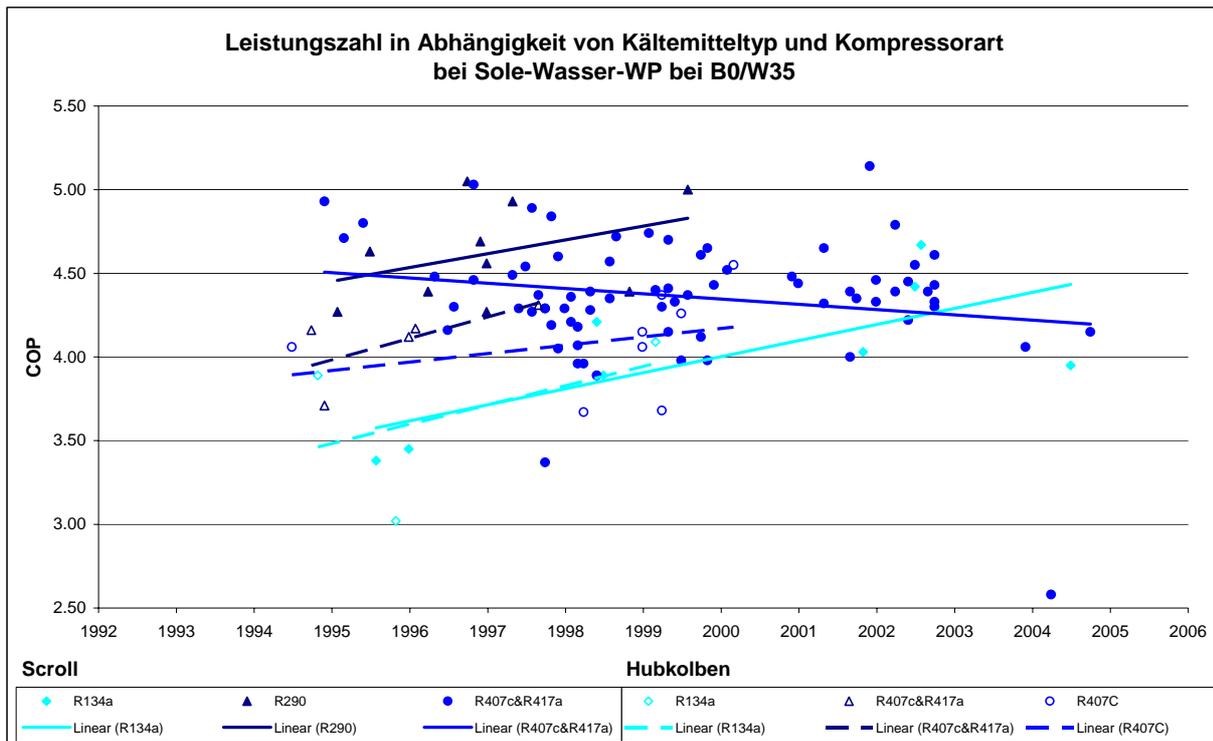
Titre: PAC sol/eau: évolution du coefficient de performance instantané en fonction du type de compresseur (B0/W35)

Légendes: Compr. scroll – Compr. à piston – Polynomiale (compr. à piston) – Polynomiale (compr. scroll)

L'illustration 5.2.3a indique également que les pompes à chaleur équipées d'un compresseur à piston présentent à la fin de leur développement les mêmes COP que les pompes à chaleur qui étaient pourvues au départ de compresseurs scroll. L'introduction des compresseurs scroll n'a apporté aucune amélioration décisive des COP au fil du temps puisque ces derniers sont même en régression depuis l'année 2000. Les mesures relevées présentent toutes une dispersion relativement importante par rapport aux courbes de régression.

L'illustration 5.2.3b retrace par exemple l'évolution dans le temps du COP en fonction du réfrigérant et du type de compresseur.

A nouveau, ce sont les pompes à chaleur à compresseur scroll et fonctionnant au R290 qui affichent les meilleurs COP. En combinaison avec le R290, le R407c et le R417a, les compresseurs scroll présentent des avantages indéniables par rapport aux compresseurs à piston. Avec le R134a en revanche, l'introduction des compresseurs scroll n'a apporté aucune amélioration. Les COP des pompes à chaleur utilisant du R407c et pourvues d'un compresseur scroll baissent au fil du temps, mais ceux des PAC fonctionnant avec d'autres réfrigérants ont tendance à augmenter.



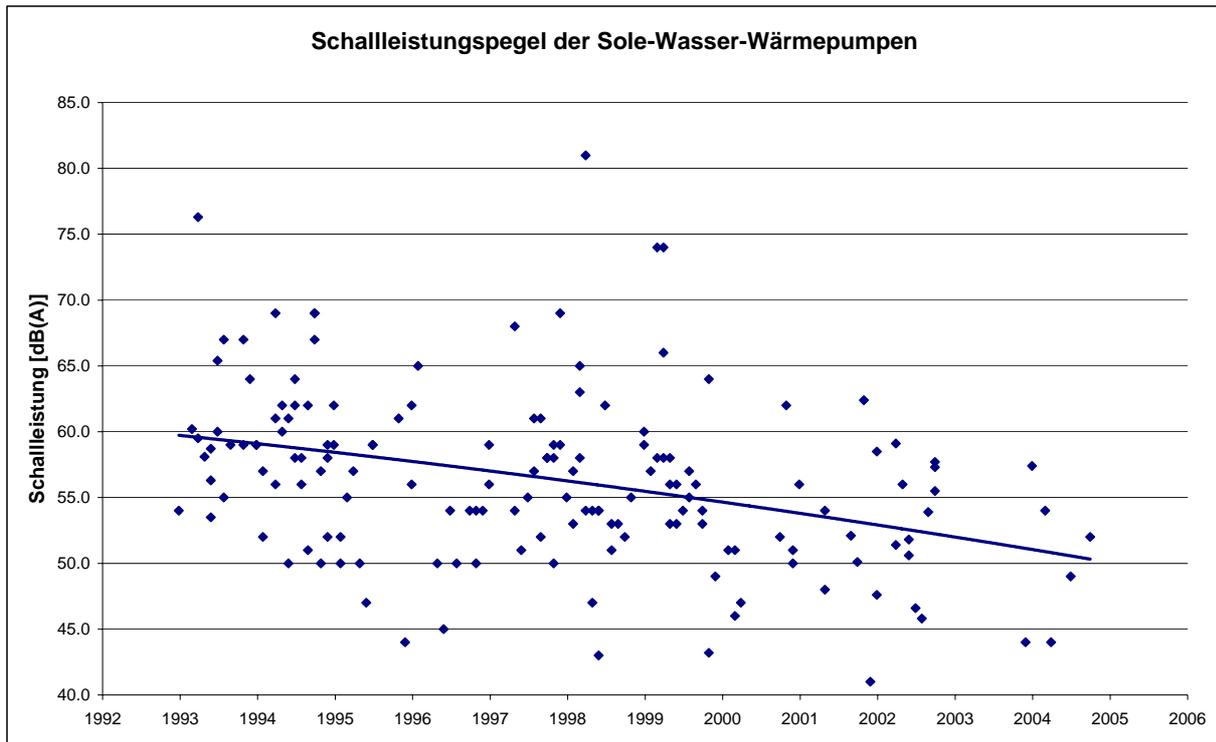
III. 5.2.3b: Evolution du COP en fonction du réfrigérant et du type de compresseur

Titre: PAC sol/eau: évolution du coefficient de performance instantané en fonction du réfrigérant et du type de compresseur (B0/W35)

Légendes:

<i>Compresseurs scroll</i>		
R134a	R290	R407c & R417a
Linéaire (R134a)	Linéaire (R290)	Linéaire (R407c & R417a)
 <i>Compresseurs à piston</i>		
R134a	R407c & R417a	R407c
Linéaire (R134a)	Linéaire (R407c & R417a)	Linéaire (R407c)

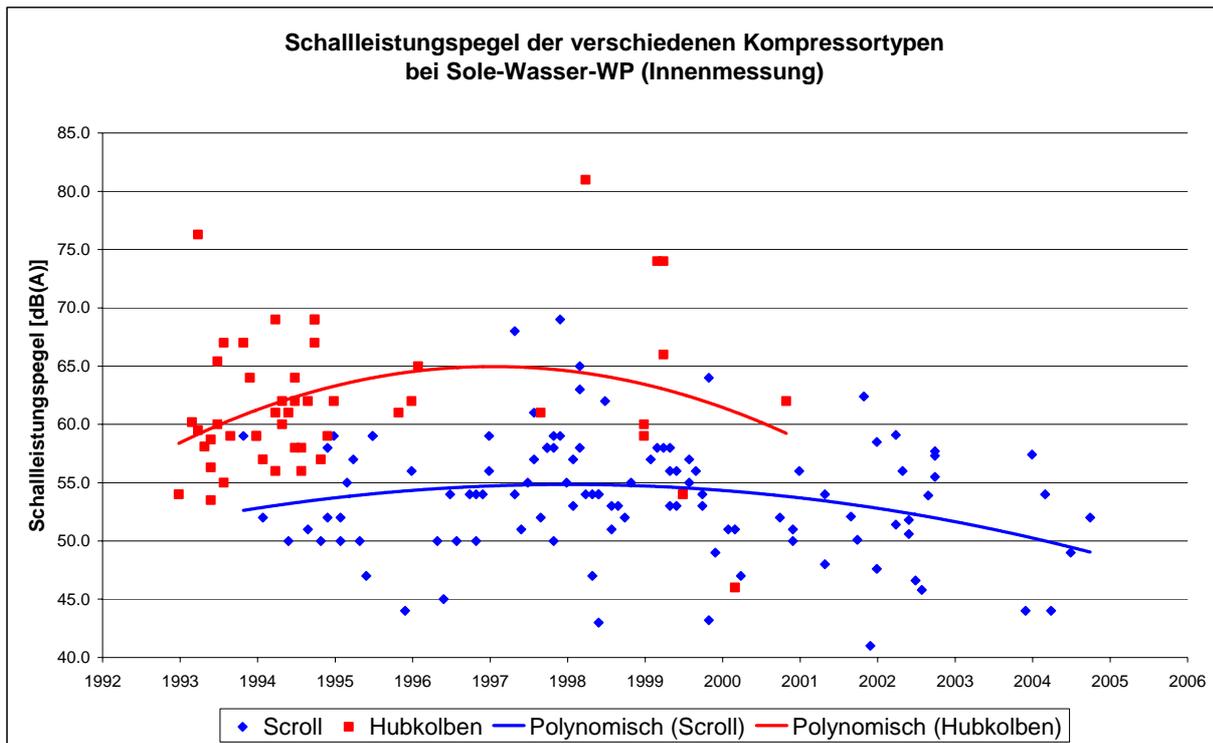
5.2.4 Niveau de puissance acoustique des pompes à chaleur sol/eau



III. 5.2.4a: Niveau de puissance acoustique des pompes à chaleur sol/eau

Titre: Pompes à chaleur sol/eau: niveau de puissance acoustique
Légendes: Puissance acoustique [dB(A)]

L'illustration 5.2.4a montre la diminution manifeste et constante du niveau de puissance acoustique qui a été enregistré ces 12 dernières années.



Ill. 5.2.4b: Niveau de puissance acoustique des pompes à chaleur pourvues de différents types de compresseurs

Titre: PAC sol/eau: évolution du niveau de puissance acoustique selon le type de compresseur (mesures intérieures)

Ordonnée: Niveau de puissance acoustique [dB(A)]

Légendes: Compr. scroll – Compr. à piston – Polynomiale (compr. scroll) – Polynomiale (compr. à piston)

L'illustration 5.2.4b montre que c'est essentiellement grâce à l'introduction des compresseurs scroll que les niveaux de puissance acoustique ont pu être réduits.

5.2.5 Pompes à chaleur sol/eau: conclusions

Les coefficients de performance moyens instantanés des pompes à chaleur sol/eau affichent une tendance baissière depuis 2000 alors qu'ils pourraient augmenter. Mais à l'instar des pompes à chaleur air/eau, lorsque les fabricants mettent sur le marché de nouveaux produits, ils s'attachent à en optimiser davantage les coûts que l'efficacité énergétique.

Un COP de 4,0 est nécessaire pour obtenir le label de qualité octroyé depuis 2000. Nous avons également constaté pour ces modèles qu'à partir de cette date, presque aucune installation ne présentait un COP inférieur au seuil fixé, ce qui témoigne une fois de plus de l'impact du label de qualité.

L'étude des corrélations entre les COP d'une part, et les différents réfrigérants et types de compresseurs d'autre part montre clairement que ce sont les pompes à chaleur sol/eau qui utilisent du R290 et qui sont pourvues d'un compresseur scroll, qui ont affiché les meilleurs coefficients de performance instantanés moyens ces dix dernières années.

Dans les années 1990, le réfrigérant le plus courant était le R22. Depuis son interdiction en 2000, il a été remplacé essentiellement par le R290, le R407c, le R134a, et le R417a, le R407c étant le plus utilisé aujourd'hui. En effet, malgré son efficacité énergétique exceptionnelle, le R290 n'a pas non plus pu s'imposer sur le marché.

Les charges relatives en réfrigérant dans les pompes à chaleur sol/eau ont pu être réduites au fil du temps. Mais les valeurs enregistrées varient largement, surtout en ce qui concerne le réfrigérant le plus utilisé. Etant donné que ce paramètre dépend de la construction de la pompe à chaleur, seuls les concepteurs et les fabricants de pompes à chaleur peuvent diminuer la charge en réfrigérant.

L'introduction des compresseurs scroll a permis de réduire drastiquement le niveau de puissance acoustique (10 dB en moyenne), et certaines des valeurs atteintes aujourd'hui (moins de 50 dB) constituent des valeurs optimales dans le domaine du chauffage.

Marco Nani, 16.02.2006
Centre de test des pompes à chaleur WPZ

Peter Hubacher / Max Ehrbar, 22.02.2006 (Chap. 3: meilleures installations)
Hubacher Engineering