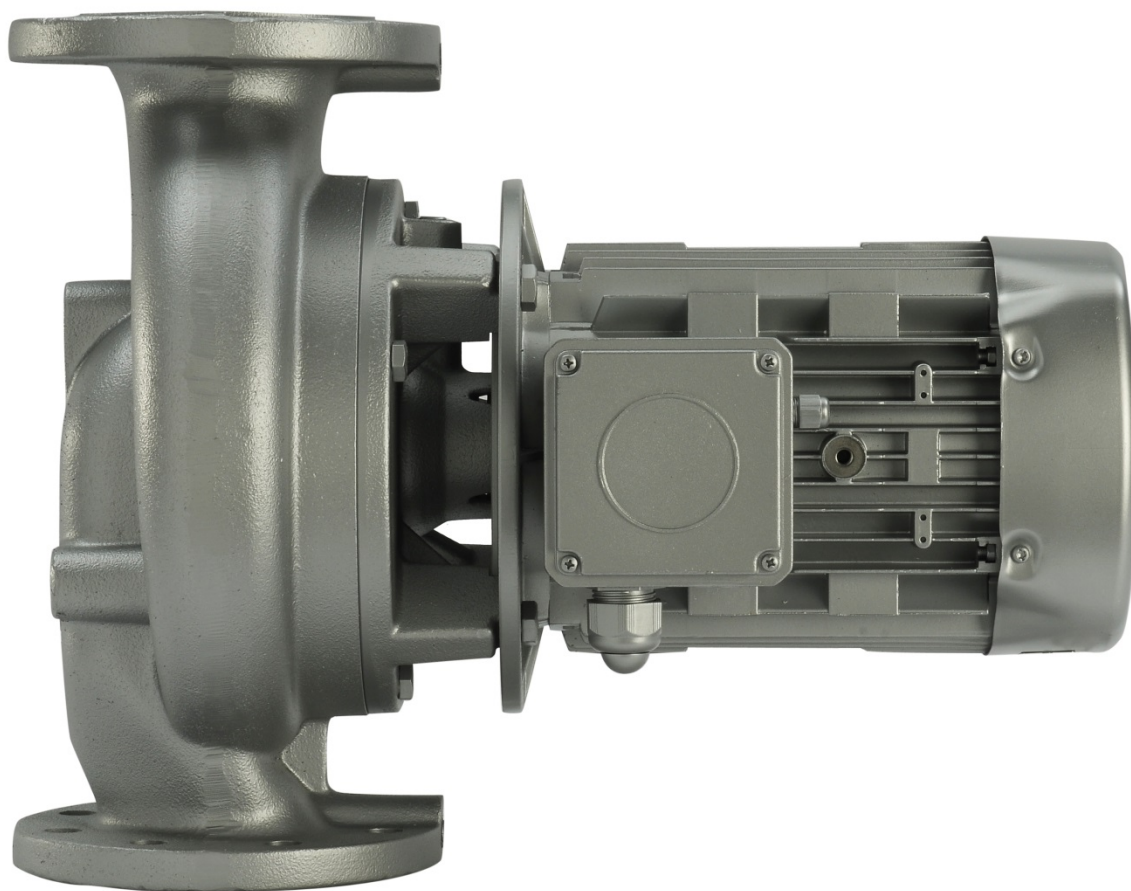


Pumpen: Potentialanalyse und Massnahmenkatalog

Schlussbericht, 28.8.2014

Conrad U. Brunner, Jürg Nipkow, Nicolas Macabrey



Topmotors, Gessnerallee 38a, 8001 Zürich, www.topmotors.ch, Tel. 044 226 30 70

Mit Unterstützung von

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Einführung	8
Aufgabe	8
Hintergrund	8
Untersuchung	9
1. Aufgabenstellung, Abgrenzung	11
1.1 Fokus	11
1.2 Vertriebsstruktur	13
1.3 Raster für die systematische Darstellung	14
2. Pumpen Typisierung nach Bauart und Anwendung	15
2.1 Physikalische Bauarten	15
2.2 Bauarten gemäss Ecodesign Richtlinie 547/2012	17
3. Mengengerüst nach Ecodesign-Typen	19
3.1 Umrechnung von EU-25 Daten für die Schweiz	19
3.2 Diskussion: Relevanz für die Schweiz	20
3.3 Mengengerüst für Pumpen nach Ecodesign-Typen	21
4. Mengengerüst nach Branchen	24
4.1 Statistische Grundlagen sind rar	24
4.2 Ableitung des Pumpen-Elektrizitätsverbrauchs	25
5. Mengengerüst Branchen und Pumpentyp kombiniert	27
6. Fazit Teil 1	29
7. Referenzen Teil 1	30
Teil 2: Massnahmenkatalog	31
1. Introduction	32
1.1 Cadre du projet	32
1.2 Objectifs et limites du document	32
1.3 Déroulement de l'étude	33
1.4 Documents et informations de base	33
2. Topologie des pompes	34
2.1 Remarques liminaires	34
2.2 Types de pompes et notions fondamentales	34
2.3 Théorie des pompes et du dimensionnement	36
3. Applications typiques	39
3.1 Approche méthodologique	39
3.2 Définition des fonctions de base et des paramètres	39

3.3	Les pompes considérées et leurs particularités	40
4.	Potentiels d'économie et mesures d'optimisation	42
4.1	Définition et périmètre du système	42
4.2	Extension du système	44
4.2	Accessibilité à l'analyse	45
4.3	Choix des équipements à analyser et à optimiser	45
4.4	Principales inefficiences et optimisations possibles	46
4.6	Estimation des gains	54
5.	Résultats par types et tailles de pompes	55
6.	Enseignements part.2	57
7.	Annexes partie 2	58
A.1	Bibliographie	59
A.2	Topologie générale des pompes	60
A.3	Glossaire trilingue des types de pompes	62

Zusammenfassung

Das gesamte elektrische Einsparungspotential der hier im Fokus untersuchten Trockenläufer-Pumpen ergibt sich aus der Kombination von "Marktvolumen" (2'160 GWh/a) und mittlerem technischem Einsparungspotenzial. Das gesamte Einsparpotenzial für den Pumpen-Elektrizitätsverbrauch der Branchen, als Querschnittswert von 20% von 2'160 GWh/a, beträgt 432 GWh/a. Dieser Wert ist als technisches Potential von wirtschaftlichen Ersatz- und Erneuerungsmassnahmen im Pumpenbestand innert 10 Jahren bei vollständiger Umsetzung zu verstehen.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in den folgenden zwei Teilen dargestellt:

- Teil 1 : MARKTANALYSE
- Teil 2 : MASSNAHMENKATALOG.

MARKTANALYSE im Teil 1

Die Untersuchung in der MARKTANALYSE im Teil 1 zeigt, anhand der bereits im Topmotors Pumpenmerkblatt [1] zusammengetragenen Elektrizitätsverbrauchsdaten, eine Aufschlüsselung der Pumpendaten der EU-25 Länder aus der Ecodesign Study für die Schweiz. Dazu wurde in dieser Marktuntersuchung - in Ansprache mit dem BFE - der Fokus auf Trockenläufer-Pumpen gelegt und nach Anwendungsgebieten und Pumpentypen genauer definiert. Unter „Trocken-Läufer“ werden Pumpen verstanden, bei denen die Welle des Elektromotors das ausserhalb liegende Pumpenrad antreibt. Dies im Gegensatz zu den sogenannten „Nassläufer-Pumpen“, bei denen die Flüssigkeit den Motor umspült und kühlt.

Pumpentyp	Korrektur (ohne WV/ARA)	Mittlere Leistung, gerundet (kW)	Anteil Bestand (Stück)	Anzahl CH (1000)	Typ. Betrieb (h/a)	Elt. Energie (CH) (GWh/a)	Elt. Energie (%)
Flanschmotorpumpe ESOB klein	-10%	4	12%	32	2250	350	16.2%
Flanschmotorpumpe ESOB gross	-20%	15	3%	7	2250	280	13.0%
Blockpumpe ESCC klein	-10%	3	12%	32	2250	300	13.9%
Blockpumpe ESCC gross	-20%	15	3%	7	2250	280	13.0%
Blockpumpe inline ESCCi klein		3	5%	14	4000	200	9.3%
Blockpumpe inline ESCCi gross		13	1%	4	4000	230	10.6%
Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe MSS klein		2	38%	99	1000	280	13.0%
Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe MSS gross		5	10%	25	1000	150	6.9%
Mehrstufige vertikale Wasserpumpe MS-V klein	-10%	1	12%	32	1500	60	2.8%
Mehrstufige vertikale Wasserpumpe MS-V gross	-20%	2	3%	7	1500	30	1.4%
Total			100%	259		2160	100%

Tab. 6 Mengengerüst der Pumpen im Fokus dieser Marktuntersuchung nach Ecodesign-Pumpentypen (WV: Wasserversorgung, ARA: Abwasserreinigung)

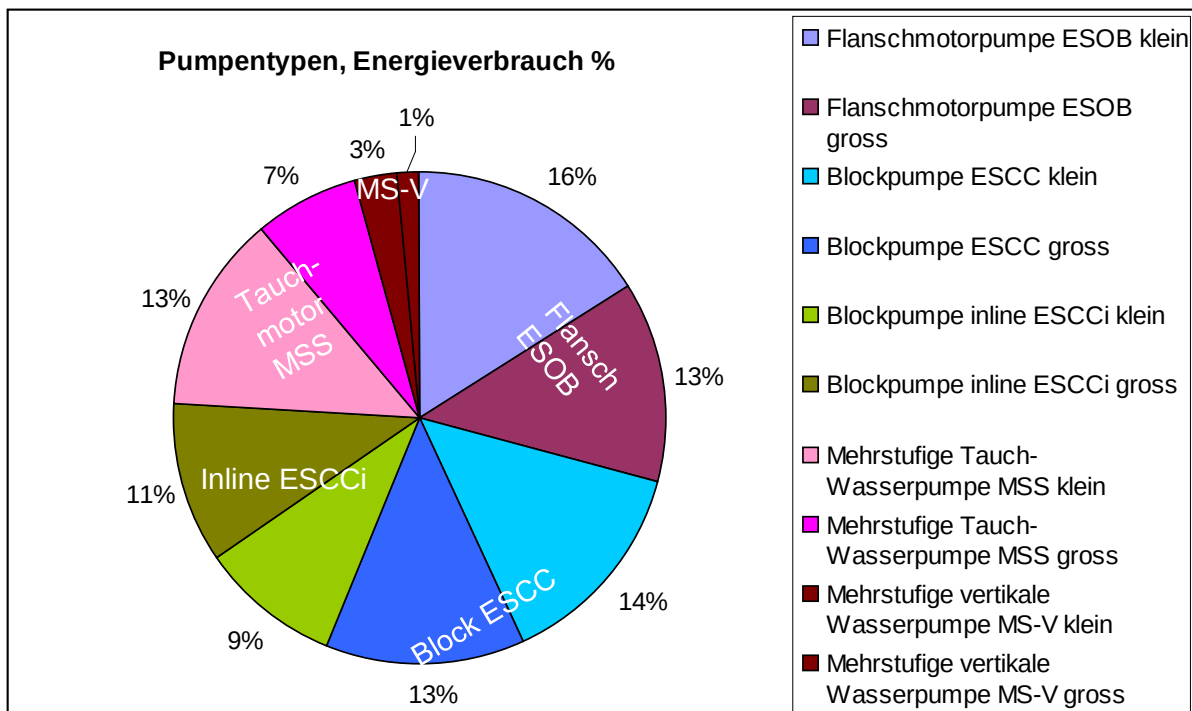


Fig. 7 Mengengerüst nach Ecodesign-Pumpentypen (Total: 2'160 GWh)

Interpretierbare Elektrizitätsverbrauchs-Daten für Industriebranchen lieferte ein Bericht des Bundesamts für Statistik [5], in welchem jedoch keinerlei Angaben zu Pumpentypen und -Leistungen zu finden sind. Immerhin lässt sich aus dieser Quelle ableiten, welches die für Effizienzmassnahmen im Pumpenbereich interessantesten Branchen sind (mit grösstem entsprechendem Elektrizitätsverbrauch), vgl. dazu Tabelle 9 / Figur 8. Über die Fachgruppe Pumpentechnik der SWISSMEM konnten zwar die namhaften Pumpenanbieter ausfindig gemacht werden, zu Markt- bzw. Bestandesdaten kann die Fachgruppe jedoch nichts beitragen.

Um einen groben Überblick des Elektrizitätsverbrauchs nach Pumpentypen und Branchen zu erhalten, wurden die Informationen der strukturierten Daten (Tabelle 6 / Figur 7) mit jenen der Branchenuntersuchung (Tabelle 9 / Figur 8) kombiniert und in Tabelle 10 und Figur 9 dargestellt.

MASSNAHMENKATALOG im Teil 2

Die Untersuchung des MASSNAHMENKATALOGS im Teil 2 zeigt, anhand einer Pumpentypologie die Verbesserungsmöglichkeiten und Einsparpotentiale: Tableau 13 zeigt die Ursachen der Ineffizienz, die Optimierungsmöglichkeiten und die geschätzte Energieeinsparung von drei Kategorien der energetischen Verbesserung:

- Bedarf, Nutzung und Regelung
- Verteilnetz
- Dimensionierung und Effizienzklasse

Cas de base	Inefficiency Ineffizienz Ursachen		Optimisation Optimierungsmöglichkeit	Gain estimé Geschätzte Energieeinsparung
	- Cat.1 Besoins, exploitation et réglage Bedarf, Nutzung und Regelung - Cat.2 Réseau et distribution Verteilnetz - Cat.3 Dimensionnement et classe efficacité Dimensionierung und Effizienzklasse			
1. Pompage et relevage de liquides Pumpenfunktion und Regelung	Cat.1	Réglage du besoin par une vanne	variateur de vitesse	15 à 20%
	Cat.3	Mauvais dimensionnement en pression	ré-usinage roue ou nouvelle pompe	10 à 20%
2. Transport de liquide Flüssigkeitsförderung	Cat.3	Pompe mal dimensionnée	nouvelle pompe	15 à 30%
	Cat.1	Variations de charge	variateur	10 à 25%
	Cat.1	Cascade mal réglée	réglage et variateurs	10 à 25%
3. Mise en pression Druckhaltung	Cat.2	Pompage centralisé	pompes distribuées	5 à 10%
	Cat.1 Cat.2	Réglage par étranglement et gros retour vers la bache	Réglage et variateurs	10 à 50%
4. Circulation Umwälzung	Cat.1	Réglage par étranglement	variateur	20 à 40%
	Cat.1	Réglage en pression	exploitation	10 à 25%
	Cat.1	Débit inutile	Contrôle en température et nouvelle pompe	15 à 25%

Tableau 13 Résumé des inefficiences, mesures d'optimisation et gains

Im Tableau 14 werden die Verbesserungen für die Pumpentypen und –anwendungen gezeigt: Die grössten Einsparungen werden bei der richtigen Dimensionierung und einer besseren Regelung im richtigen Betriebspunkt erwartet. Dies bedeutet, dass in vielen Fällen der Einsatz einer Drehzahlregulierung erfolversprechend ist. Ebenso wichtig ist die Wahl des richtigen Pumpentyps mit der bestmöglichen Effizienzklasse für die Pumpe, wie auch für den Motor und den Frequenzumrichter.

			Anwendungen / fonctions de base											
			Pompage et relevage des liquides			Transport du liquide			Mise en pression			Circulation du liquide		
			Verbesserung / Optimisation											
			Besoins, exploitation et réglages	Réseau et distribution	Dimensionnement et classe d'efficacité	Besoins, exploitation et réglages	Réseau et distribution	Dimensionnement et classe d'efficacité	Besoins, exploitation et réglages	Réseau et distribution	Dimensionnement et classe d'efficacité	Besoins, exploitation et réglages	Réseau et distribution	Dimensionnement et classe d'efficacité
Pumpe Typen / Type de pompe	ESOB (Flanschmotorpumpe, aspiration axiale à paliers intégrés)	petite				18%		20%	25%	5%		22%		
		grande				18%		20%	25%	5%		22%		
	ESCC (Blockpumpe, monobloc à aspiration axiale)	petite				20%		20%				25%		
		grande				20%		20%				25%		
	ESCCi (Blockpumpe inline, monobloc en ligne à aspiration axiale)	petite				22%		20%				28%		
		grande				22%		20%				28%		
	MS-V (Mehrstufige vertikale Wasserpumpe, verticale multi-étagée)	petite							20%	5%				
		grande							20%	5%				
	MSS (Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe, submersible multi-étagée)	petite	20%		15%									
		grande	15%		15%									

Tableau 14 Economies en valeurs relatives pour les différentes mesures d'optimisation appliquées aux diverses pompes associées à chacune des fonctions de base

Einführung

Aufgabe

Das Bundesamt für Energie hat am 15. März 2014 die Schweizerische Agentur für Energieeffizienz (S.A.F.E.) beauftragt, in einer Kurzstudie bis zum 30. Juni 2014 das Marktpotential der Pumpen in der Schweiz zu untersuchen. Dabei stehen folgende drei Aufgaben im Vordergrund:

1. Der elektrische Energieverbrauch von Pumpenanlagen: der bisher auf 4.75 TWh/a geschätzte elektrische Energieverbrauch soll geklärt, aktualisiert und besser auf Sektoren und Wirtschaftszweige aufgeteilt werden. Daraus sollen prioritäre Handlungsfelder für die energetischen Verbesserungen abgeleitet werden.
2. Das elektrische Einsparungspotential: das energetische Verbesserungspotential soll aufgrund der bisherigen Projekterfahrungen (Easy, etc.) erfasst, nach seiner Wirtschaftlichkeit beurteilt und auf wichtige Wirtschaftszweige im Industrie- und Dienstleistungssektor aufgeteilt werden.
3. Der Massnahmenkatalog: Ein Katalog von energetischen Verbesserungsmassnahmen für Pumpenanlagen soll, aufgrund der Projekt- und Umsetzungserfahrungen (Easy, etc.) erstellt werden, der typische Kennwerte für die Umsetzung darlegt.

Hintergrund

Zur Verbesserung der Marktdurchdringung von energieeffizienten elektrischen Antriebssystemen in der Schweiz, wird eine Anwendungs-spezifische Umsetzung angestrebt. Die wichtigsten Themenbereiche sind Wasserpumpen, Ventilatoren, Kompressoren für Druckluft und Kälte sowie Transportanlagen und Prozessmaschinen.

Im Bereich der Wasserpumpen ist von S.A.F.E., im Rahmen des Programmes für effiziente elektrische Antriebssysteme „Topmotors“, bereits ein Anwendermodul (Merkblatt Nr. 23/2012) erstellt worden. Zudem werden von Infracore Untersuchungen zu Pumpen im Bereich der Wasserversorgungsanlagen gemacht.

Auf europäischer Ebene sind im Rahmen der Ecodesignrichtlinien weitreichende Technik- und Marktuntersuchungen gemacht worden (Hugh Falkner, et al., AEA Energy & Environment: Water Pumps in commercial buildings, drinking water pumping, food industry, agriculture, Lot 11, April 2008). Die Europäische Kommission hat daraufhin 2012 eine Richtlinie für Wasserpumpen veröffentlicht und ab 1. Januar 2013 Mindestanforderungen in Kraft gesetzt (Commission Regulation (EU) No 547/2012 of 25 June 2012 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for **water pumps**). Bereits seit 2009 sind in der EU Mindestanforderungen für kleine Nassläufer-Umwälzpumpen in Kraft (Commission Regulation (EC) No 641/2009 of 22 July 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for glandless standalone **circulators and glandless circulators** integrated in products), die ab 1. Januar 2013 Wirkung erlangt haben.

In der Schweiz sind bereits seit 2012 in der EnV im Anhang 2.13 Mindestanforderungen für elektrische Nassläufer-Umwälzpumpen ($< 2.5 \text{ kW}_{\text{hydr.}}$) in Kraft, die ab 1. Januar 2013 Wirkung erlangt haben. Ab 1. Januar 2015 sollen diese durch Mindestanforderungen auch für elektrische Trockenläufer-Wasserpumpen ($< 150 \text{ kW}_{\text{hydr.}}$) analog der Ecodesign Richtlinie ergänzt werden.

Mit dem Pflichtenheft vom 28. Februar 2014 hat das BFE S.A.F.E., in Zusammenarbeit mit Planair SA, eingeladen, eine Offerte zur Ausarbeitung einer Analyse des elektrischen Einsparungspotentials für Pumpen mit einem Massnahmenkatalog zur Verbesserung zu erstellen. Folgende schweizerischen Unterlagen werden mitausgewertet:

- BFE: Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor, Resultate Helbling 2012, Bern 2013
- BFE/EnergieSchweiz: Elektrizitätsbedarf fürs Kühlen in der Schweiz, R. Dumortier et al., Zürich 2012
- BFE: Schlussbericht der Arbeitsgruppe Stromeffizienz im Industrie- und Dienstleistungssektor, Bern 2011
- BFE: Massnahmen zum Stromsparen bei elektrischen Antrieben, Marktanalyse in der Industrie, W. Baumgartner et al., Basics AG, Zürich, Dezember 2006

Untersuchung

Die vorliegende Untersuchung wurde in zwei Teilen durchgeführt:

Teil 1: Arena, Jürg Nipkow, Zürich
Marktanalyse Pumpen für BFE-Programm,

Für den Marktüberblick der Pumpen stehen folgende Pumpen-Kategorien im Fokus:

- Trockenläufer >> 1 kW
- Beliebige Fluids
- Exklusive ARA und Wasserversorgungen (eigene Programme bei Infracore)

Leistungen

1. Typisierung (übernehmen von bzw. koordinieren mit Planair/N. Macabrey)
2. Eigenschaften pro Kategorie:
 - Zuteilung zu Sektoren und Branchen
 - Abschätzung von Grössenklassen und Populationen
 - Abschätzung von Betriebszeiten und Energieverbrauch

Teil 2: Planair, Nicolas Macabrey, La Sagne NE
Analyse des potentiels d'économie et le catalogue de mesures

La contribution de Planair au rapport d'étude présentera les éléments suivants:

- les potentiels d'économies par situation typique (+soutien à l'établissement des potentiels par branches économiques),
- un catalogue de mesures d'optimisation en lien avec les situations typiques.

Teil 1: Analyse des Pumpen-Bestandes

Autor:

Jürg Nipkow, dipl. El. Ing. ETH/SIA

ARENA Arbeitsgemeinschaft Energie-Alternativen, 8006 Zürich

juerg.nipkow@arena-energie.ch

1. Aufgabenstellung, Abgrenzung

1.1 Fokus

Für das Umsetzungsprojekt "Pumpen" des BFE wird ein Überblick zum Pumpenbestand benötigt. Folgende Pumpen-Kategorien sind im Fokus:

- Trockenläufer-Pumpen $>> 1$ kW (Grenzwert < 2 kW Antriebsleistung)
- Beliebige Flüssigkeiten
- Exklusive Abwasserreinigungsanlagen (ARA) und Wasserversorgungen (WV): für diese bestehen eigene Energieeffizienz-Programme

Die in diesem Projekt nicht betrachteten Nassläufer-Pumpen machen einen grossen Anteil der Stückzahlen und auch des Verbrauchs aus, wie aus der Elektrizitätsverbrauchs-Übersicht in Figur 1 hervorgeht.

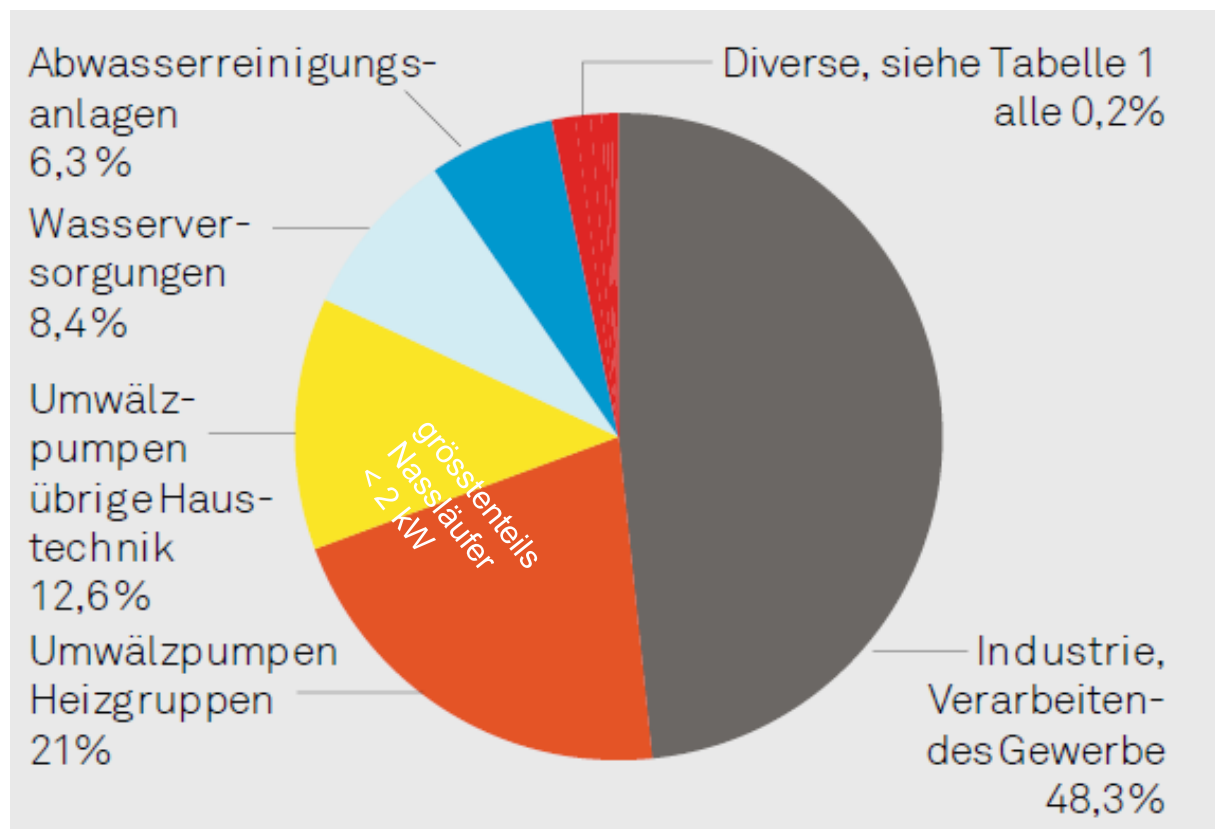


Fig. 1 Elektrizitätsverbrauch Pumpen Schweiz (ohne Pumpspeicherkraftwerke), [1]

	Elt.-Verbrauch (GWh/a)	Anteil (%)
Industrie und verarbeitendes Gewerbe	2'300	48,3 %
Umwälzpumpen Armaturen-/Heizgruppen	1'000	21,0 %
Umwälzpumpen übrige Haustechnik	600	12,6 %
Wasserversorgungen (öffentliche)	400	8,4 %
Abwasserreinigungsanlagen (öffentliche)	300	6,3 %
Geschirrspüler Haushalt	55	1,2 %
Tankstellen inklusive Flugverkehr	36	0,8 %
Fernwärmeversorgungen	27	0,6 %
Geschirrspüler im Gastronomiegewerbe	11	0,2 %
Waschmaschinen Laugenpumpen	11	0,2 %
Landwirtschaft	10	0,2 %
Schwimmbäder, Wellness (öffentlich, privat)	7,5	0,2 %
Total	4'757	100 %

Tab. 1 Elektrizitätsverbrauch Pumpen Schweiz, Zahlen zu Fig. 1, [1]. Das Total macht rund 8% des Landesverbrauchs aus.

Von den in Tabelle 1 aufgelisteten Pumpen fällt ein beträchtlicher Teil ausserhalb unseres Fokus:

	GWh/a
• 90% der Umwälzpumpen, weil Nassläufer und < 2 kW	1'440
• Öffentliche Wasserversorgungen und ARA	700
• Geschirrspüler Haushalt und Gastronomie (< 2 kW)	66
• Waschmaschinen Haushalt (< 2 kW)	11
Total ausserhalb	2'217
Somit verbleiben im Fokus der hier untersuchten Trockenläufer-Pumpen	2'543

Davon ist ein weiterer Anteil Pumpen für andere Flüssigkeiten als sauberes Wasser (Definition gemäss Ecodesign-Richtlinie), welche gesondert zu betrachten sind:

Tankstellen (36 GWh/a), sowie folgende Branchen (jeweils ein Teil der Pumpen) bzw. Anwendungen:

Raffinerien, Lebensmittel, Papier (Pulpe), Steine & Erden (Schlamm), Wäscherei (Lauge), private Abwasserpumpen, Hydraulikpumpen.

Es ist in der folgenden Analyse nicht genau möglich, diese Pumpen bezüglich ihres Elektrizitätsverbrauchs zu bewerten. Als grobe Näherung rechnen wir mit 15% des oben verbleibenden Verbrauchs für diese Pumpen (inkl. Tankstellen), also rund 380 GWh/a.

Damit bezieht sich der elektrische Energieverbrauch von Wasserpumpen (sauberes Wasser)
im engeren Fokus dieser Markstudie für Trockenläuferpumpen mit rund 2'160 GWh/a.

1.2 Vertriebsstruktur

Die Schwierigkeit der Datenbeschaffung hängt auch mit der mehrstufigen Vertriebsstruktur von Pumpen zusammen, welche es nicht ermöglicht, umfassende Informationen von einzelnen Akteuren zu erhalten, selbst wenn sie in ihrem Bereich marktführend sind.

Für Pumpen ergibt sich folgende Vertriebsstruktur in der Schweiz:

- | | | |
|-----------|--|---------------------------------------|
| 1. Stufe: | Herstellung oder Import | Grössenordnung 20 namhafte Akteure |
| 2. Stufe: | Handel (z.T. gleichzeitig Importeure) | Grössenordnung 50 Akteure |
| 3. Stufe: | Installateure (Sanitär, Heizung), | Grössenordnung 2'000 namhafte Akteure |
| 4. Stufe: | Käufer bzw. Betreiber der Pumpen und Anlagen | |

Der grösste Teil der Pumpen wird dem Betreiber nicht als Einzelteil verkauft bzw. installiert, sondern als Teil einer grösseren Anlage oder Maschine (so genannte OEM-Produkte, Original Equipment Manufacturer). Die Pumpe wechselt also beim OEM vom Status eines Einzelteils in jenen eines Anlagenbestandteils. Häufig ist dieser Wechsel zudem mit einem Informationsverlust verbunden: die technischen Daten der Einzelteile werden in der Anlagendokumentation oft nicht mehr wiedergegeben. Dies machte bei manchen Ecodesign-Richtlinien besondere Definitionen oder auch Sonder-Kategorien notwendig, um Schlupflöcher bei Effizienzanforderungen zu vermeiden.

Die komplexe Vertriebsstruktur ist nicht nur ein Hindernis bei der Datenermittlung, sondern muss auch bei den Massnahmen eines allfälligen Effizienzprogramms beachtet werden. Hinzu kommen dann noch die komplexen Management-Strukturen bei den jeweiligen Unternehmen (wer entscheidet über welche Beschaffung).

Swissmem Fachgruppe Pumpentechnik

In der Fachgruppe Pumpentechnik von Swissmem sind aktuell 21 Mitglieder eingetragen (www.swissmem.ch), Leiterin der Fachgruppe ist Brigitte Waernier. Diese Firmen sind Hersteller von Pumpen und -systemen; reine Handelsfirmen sind nicht vertreten. Zur Bestandes- bzw. Marktanalyse waren seitens Swissmem keine Informationen erhältlich.

Mitglieder Swissmem Fachgruppe Pumpentechnik (Juni 2014):

- 3S Systemtechnik AG, Remigen / AG ;
- Biral AG, Münsingen / BE ;
- Calder GmbH, Egliswil / AG ;
- Carl Heusser AG, Cham / ZG ;
- CP Pumpen AG, Zofingen / AG ;
- EMB Pumpen AG, Rheinfelden / AG ;
- Emile Egger & Cie. SA, Cressier / NE ;
- GRUNDFOS PUMPEN AG, Fällanden / ZH ;
- Gysi Pumpen AG, Farvagny / FR ;

- Häny AG, Rapperswil-Jona / SG ;
- Hidrostal AG, Neunkirch / SH ;
- HYDROWATT AG, Schaffhausen / SH ;
- KSB Zürich AG, Zürich / ZH ;
- Maag Pump Systems AG, Oberglatt / ZH ;
- Rüttschi Fluid AG, Brugg / AG ;
- SAWA Pumpentechnik AG, Degersheim / SG ;
- schubag AG, Steckborn / TG ;
- SMEDEGAARD AG Pumpen- und Motorenbau, Beinwil am See / AG ;
- Sterling Fluid Systems (Schweiz) AG, Schaffhausen / SH ;
- Sulzer Pumpen AG, Winterthur / ZH ;
- Verder AG, Basel / BS.

1.3 Raster für die systematische Darstellung

Im Zusammenhang mit der Ecodesign-Richtlinie 547/2012 "...Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Wasserpumpen" liegt der Fokus auf den von dieser Richtlinie [2] betroffenen Pumpen, welche für "sauberes Wasser" bestimmt sind.

Die folgende Tabelle 2 zeigt einen Wunsch-Raster, sowohl für die Analyse der Marktanalyse wie auch der Einsparpotenziale. Die Arbeiten zur Bestandesanalyse haben gezeigt, dass insbesondere eine Aufteilung der Bestandeszahlen nach Branchen anhand der verfügbaren Informationen nur ansatzweise möglich ist. Auch die Aufteilung nach Anwendung ist nur aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen möglich. Bei den Einsparpotenzialen ist hingegen eine Unterscheidung nach Anwendung sinnvoll und möglich.

		Anwendungen / fonctions de base							
		Pompage et relevage des liquides (Hebepumpen)		Transport du liquide		Mise en pression (Druckerhöhung)		Circulation du liquide (Umwälzung, geschlossene Kreisläufe)	
		Verbrauch	Einsparpotential	Verbrauch	Einsparpotential	Verbrauch	Einsparpotential	Verbrauch	Einsparpotential
Pumpen-Typen	ESOB (Flanschmotorpumpe)								
	ESCC (Blockpumpe)								
	ESCCi (Blockpumpe inline)								
	MS-V (Mehrstufige vertikale Wasserpumpe)								
	MSS (Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe)								

Tab. 2 Wunsch-Raster für die Pumpen-Systematik

Eine bildliche Darstellung der "Ecodesign-Pumpentypen" folgt in Kapitel 2.

Im Zusammenhang mit diesem Projekt ist zu beachten, dass zwei neue Ecodesign-Projekte zu Pumpen in Arbeit sind, welche anschliessend für allfällige Umsetzungsmassnahmen zu beachten sind:

- Ecodesign ENER Lot 28:
Pumps for private and public wastewater and for fluids with high solids content: Ein Task 8-Bericht der Preparatory Study wurde im April 2014 tlicht. <http://lot28.ecopumps.eu/documents>. Diese Pumpen sind speziell konstruiert, um mit den Feststoffbestandteilen des Schmutzwassers zurechtzukommen und liegen deshalb eher nicht im Projekt-Fokus (vgl. Abschnitt 3.2).
- Ecodesign ENER Lot 29:
Pumps for Private and Public Swimming Pools, Ponds, Fountains, and Aquariums (and clean water pumps larger than those regulated under Lot 11). Auch zu dieser Preparatory Study wurde im Januar 2014 ein Task 8-Bericht veröffentlicht. Ein breiter Fokus von Pumpentypen wird behandelt, für allfällige Massnahmen sollte der Bericht beachtet werden.

Zu beiden Lots sind auch Task 2-Berichte verfügbar (Economic and Market Analysis). In diesen finden sich auch Daten, welche grundsätzlich für unser Schweizer Pumpenprojekt von Interesse sind. Da diese Pumpen zu einem kleineren Teil im Projektfokus liegen, wurde vorerst auf eine detaillierte Analyse der Berichte verzichtet.

2. Pumpen Typisierung nach Bauart und Anwendung

2.1 Physikalische Bauarten

Pumpen sind Aggregate zur Bewegung von Flüssigkeiten gemäss den Anwendungen in Tabelle 2: Flüssigkeiten heben, transportieren, Druck erhöhen, Kreislauf aufrechterhalten (Umwälzpumpe). Oftmals sind die Anwendungen "heben, transportieren, Druck erhöhen" miteinander verbunden, die entsprechenden Pumpen werden nach der Hauptfunktion bezeichnet. In Figur 2 sind einige Hauptbauarten dargestellt.

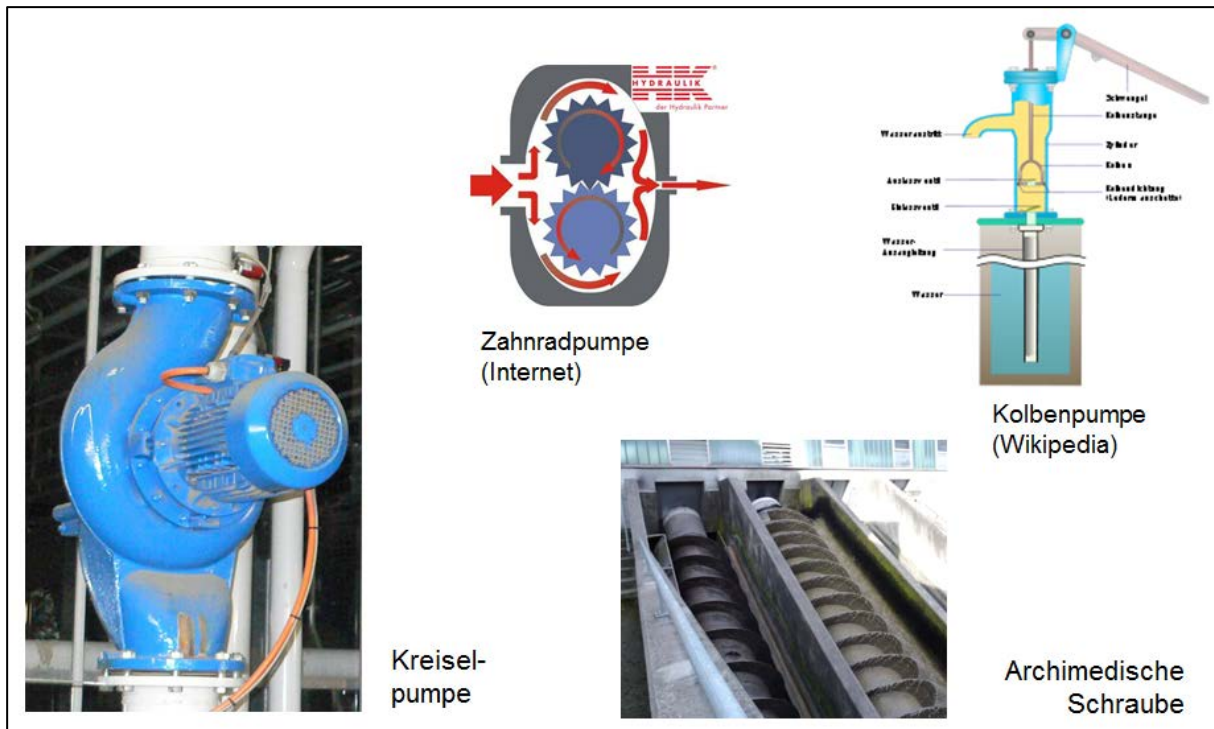


Fig. 2 Hauptbauarten von Pumpen

Die drei in Figur 2 rechts dargestellten Bauarten von Verdrängerpumpen (auch volumetrische Pumpen genannt) liegen ausserhalb des Fokus unserer Analyse. Auch Pumpen von Hydraulikaggregaten sind Verdrängerpumpen; ein grosser Teil ist zudem in Baumaschinen im Einsatz und wird direkt oder indirekt über Verbrennungsmotoren angetrieben.

Bei den Kreiselpumpen, welche den überwiegenden Anteil des Elektrizitätsverbrauchs von Pumpen beanspruchen, unterscheiden wir zuerst einmal Nassläufer und Trockenläufer.

- Nassläuferpumpen sind einstufige Radialpumpen mit integriertem Motor, der Rotor läuft im Fördermedium. Die Umwälzpumpen für Heizgruppen sowie übrige Haustechnik in Tabelle 1 sind zu ca. 90% Nassläufer, diese haben auch praktisch alle Leistungen < 2 kW.
- Bei den Trockenläufern ist der Motor von der Pumpe getrennt oder trennbar; sie benötigen deshalb eine Abdichtung der Wellendurchführung.

Die in Figur 3 wiedergegebene Darstellung aus dem Topmotors-Merkblatt [1] zeigt den Einsatzbereich der wichtigsten Bauarten von Kreiselpumpen im Q-H-Diagramm (Volumenstrom und Förderhöhe). Die in Figur 3 dargestellten einstufigen sowie mehrstufigen Radialpumpen entsprechen den im Folgenden eingehend beschriebenen Pumpentypen gemäss Ecodesign Richtlinie 547/2012. Axial- und Halbaxialpumpen sind von der Verbreitung und vom Elektrizitätsverbrauch her untergeordnet und werden im Folgenden nicht mehr separat behandelt.

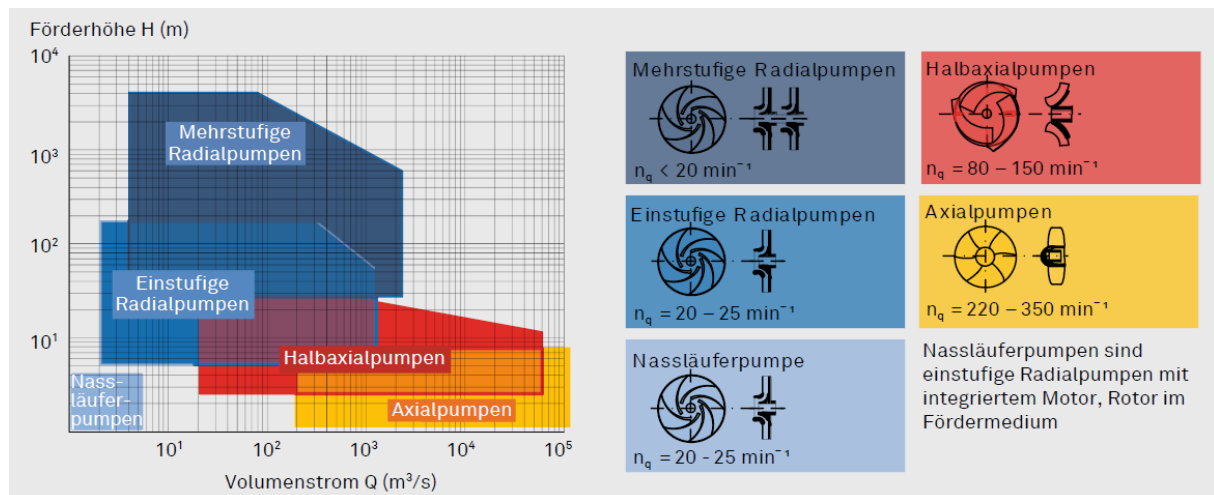


Fig. 3 Typologie von Pumpen, nach Förderhöhe und Volumenstrom [1]

2.2 Bauarten gemäss Ecodesign Richtlinie 547/2012

Tabelle 3 sowie Figur 4 zeigen die Typisierung gemäss Ecodesign Richtlinie 547/2012.

Wasserpumpe mit axialem Eintritt, eigene Lagerung (ESOB); "Flanschmotorpumpe"	End suction own bearing (ESOB),
Wasserpumpe mit axialem Eintritt, Blockausführung (ESCC); "Blockpumpe"	End suction close coupled (ESCC),
Block-Wasserpumpe mit axialem Eintritt, Inlineausführung (ESCCi); "Blockpumpe inline"	End suction close coupled inline (ESCCi),
Mehrstufige vertikale Wasserpumpe (MS-V);	Vertical multistage (MS-V),
Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe (MSS);	Submersible multistage (MSS);

Tab. 3 Typisierung gemäss Ecodesign Richtlinie 547/2012, mit gängigen deutschen Kurzbezeichnungen sowie englischen Bezeichnungen.

Die Bauart ESCCi (Figur 4, Bild KSB) entspricht weitgehend dem Typ ESCC, nur ist der Ansaugkanal durch eine Ausformung des Pumpengehäuses um 90° abgekröpft, was ermöglicht, diese Pumpen "inline", also in gerade Rohrführungen einzubauen.

Die übrigen Bilder in Figur 4 sind der Publikation "Water Pumps (in commercial buildings, drinking water pumping, food industry, agriculture)" entnommen [3]. Diese wurde als Appendix 6 zur Preparatory Study zu Lot 11, Appendix 6, im April 2008 veröffentlicht. Die Publikation enthält auch Daten zum Bestand der einzelnen Pumpentypen in den EU-25 Ländern, vgl. unten.

In Figur 5 unten sind die jeweils wichtigsten Ecodesign-Pumpentypen in der Darstellung des Elektrizitätsverbrauchs bei Pumpen eingetragen (Figur 5 entspricht Figur 1 mit etwas höherer Detaillierung).

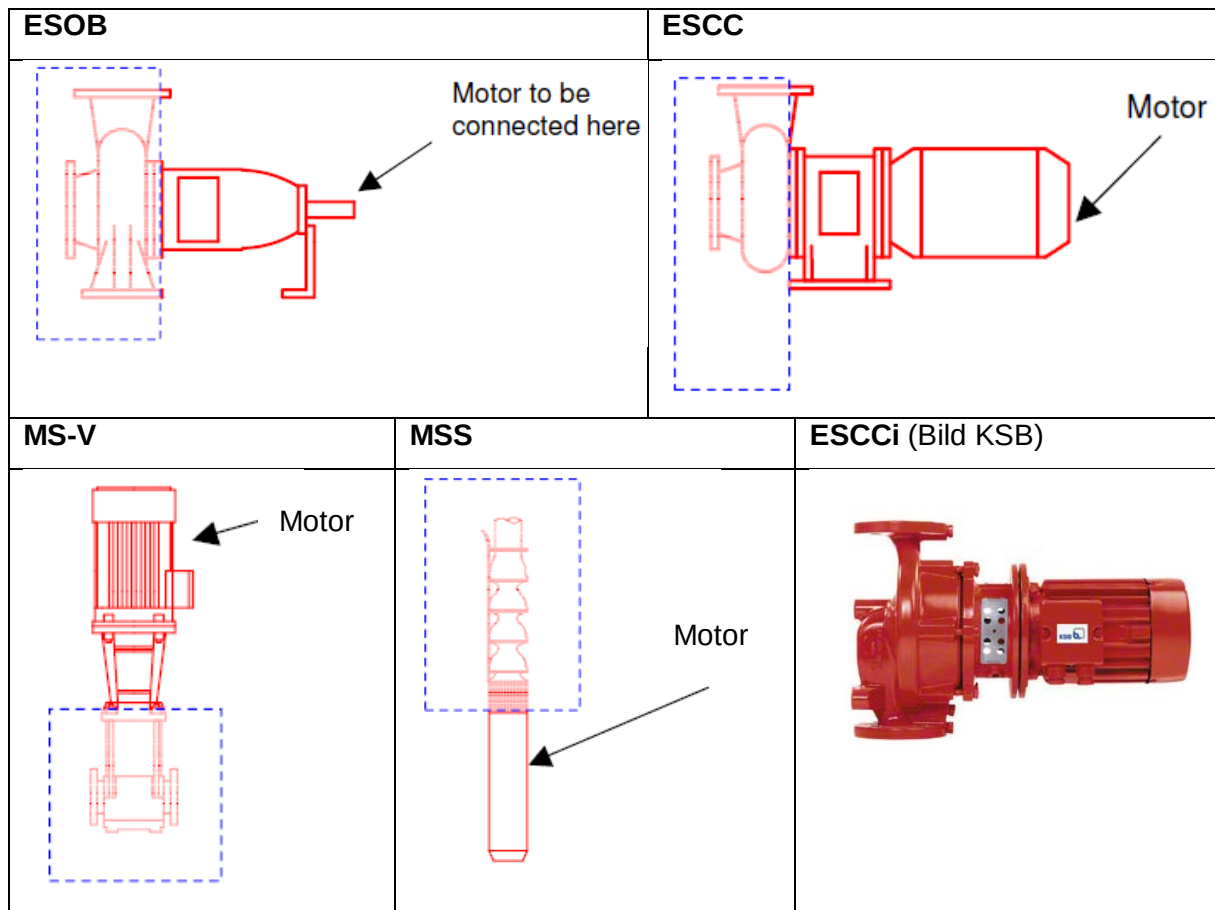


Fig. 4 Pumpentypen gemäss Ecodesign-Richtlinie 547/2012 (vgl. oben, [2])

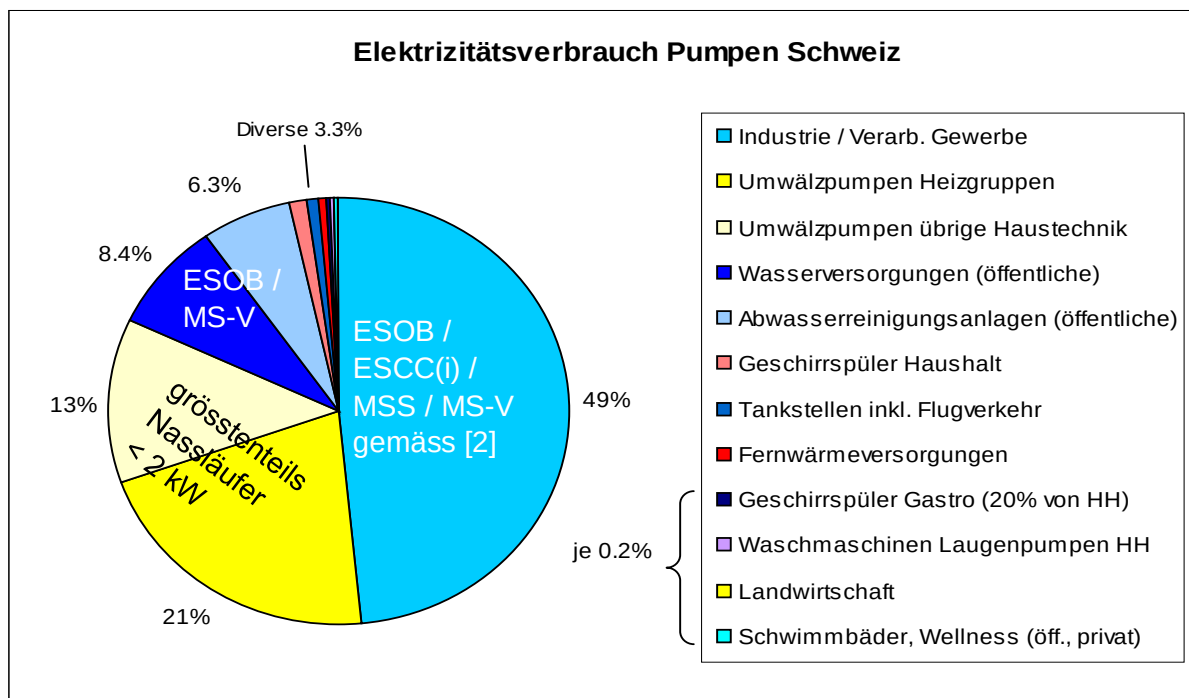


Fig. 5 Darstellung des *Energieverbrauchs* von Pumpen in der Schweiz: total 4'757 GWh/Jahr, Zuordnung der Pumpentypen gemäss Pumpenmerkblatt [1]

3. Mengengerüst nach Ecodesign-Typen

3.1 Umrechnung von EU-25 Daten für die Schweiz

In der Publikation "Water Pumps..." [3], im Folgenden als AEA-Report bezeichnet, finden sich detaillierte Tabellen zu Verkaufs- und Bestandeszahlen und weitere Angaben zur Pumpen-Population in den EU-25-Ländern. Es sind die einzigen derartigen Zahlen, die gefunden werden konnten. Zwar stammen sie von den 25 EU-Ländern, besondere Unterschiede zwischen den Ländern sind jedoch nicht aufgefallen. Die Zahlen stammen wohl von 2006 - 2007, dürften sich aber in der Struktur seither kaum stark geändert haben.

Eine Umrechnung auf die Schweiz entsprechend der Bevölkerungszahlen führt zu einem Elektrizitätsverbrauch, der recht gut jenem aus dem Topmotors-Pumpenmerkblatt für Industrie / verarbeitendes Gewerbe entspricht (2'300 GWh/a, Tabelle 1). Ein vergleichbarer Schweizer Wert ist jedoch um die Pumpen von öffentlichen Wasserversorgungen und ARA zu ergänzen, andererseits fallen "nicht-Ecodesign"-Pumpen weg (nicht sauberes Wasser, andere Bauarten). Vgl. Abschnitt 3.2 "Diskussion" unten.

Pumpentyp	Mittlere Leistung P (kW)	Anteil am Bestand (Stück)	Anzahl CH (1000)	Typ. Betriebs- (h/a)	Motor-Effizienz (%)	Elt. Verbrauch (CH) (GWh/a)	Typ. Kaufpreis (€)	Anteil Elt. Energie (%)
Flanschmotorpumpe ESOB klein	3.8	12.9%	35	2250	84.2%	364	440	16.5%
Flanschmotorpumpe ESOB gross	14.5	3.2%	9	2250	90.0%	321	1000	14.6%
Blockpumpe ESCC klein	3.2	12.9%	35	2250	84.2%	307	900	13.9%
Blockpumpe ESCC gross	14.5	3.2%	9	2250	90.0%	321	3300	14.6%
Blockpumpe inline ESCCi klein	2.7	5.2%	14	4000	84.2%	184	900	8.3%
Blockpumpe inline ESCCi gross	13.3	1.3%	4	4000	90.0%	210	3300	9.5%
Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe MSS klein	2.1	36.1%	99	1000	82.6%	258	910	11.7%
Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe MSS gross	5.0	9.0%	25	1000	87.0%	141	1000	6.4%
Mehrstufige vertikale Wasserpumpe MS-V klein	0.9	12.9%	35	1500	76.2%	63	1000	2.9%
Mehrstufige vertikale Wasserpumpe MS-V gross	2.0	3.2%	9	1500	81.0%	34	1000	1.5%
Total		100%	275			2204		100%

Tab. 4 Mengengerüst, Werte CH abgeleitet aus Werten des AEA-Reports [3] (p. 55-56)

Bemerkungen zu den Spalten:

Im AEA-Report werden die Leistungsklassen nur mit klein/gross bezeichnet, ohne Wert für eine Grenze. Wir haben die "typische" Leistung aus den anderen Werten zurückgerechnet. Die "typ. Kaufpreise" sind ohne Transaktions-, Planungs- und Montagekosten.

Weshalb die "Mehrstufige vertikale Wasserpumpe MS-V klein" eine vergleichsweise sehr kleine mittlere Leistung haben sollen, ist nicht erklärbar. Damit würde ein beträchtlicher Teil

dieser Pumpen ausserhalb des Fokus ($> 2 \text{ kW}$) fallen, was jedoch beim Elektrizitätsverbrauch nicht stark zu Buche schlagen würde. Ausserdem könnten solche Pumpen, da in gleicher Technologie wie mit grösserer Leistung, für entsprechende Massnahmen auch interessant sein.

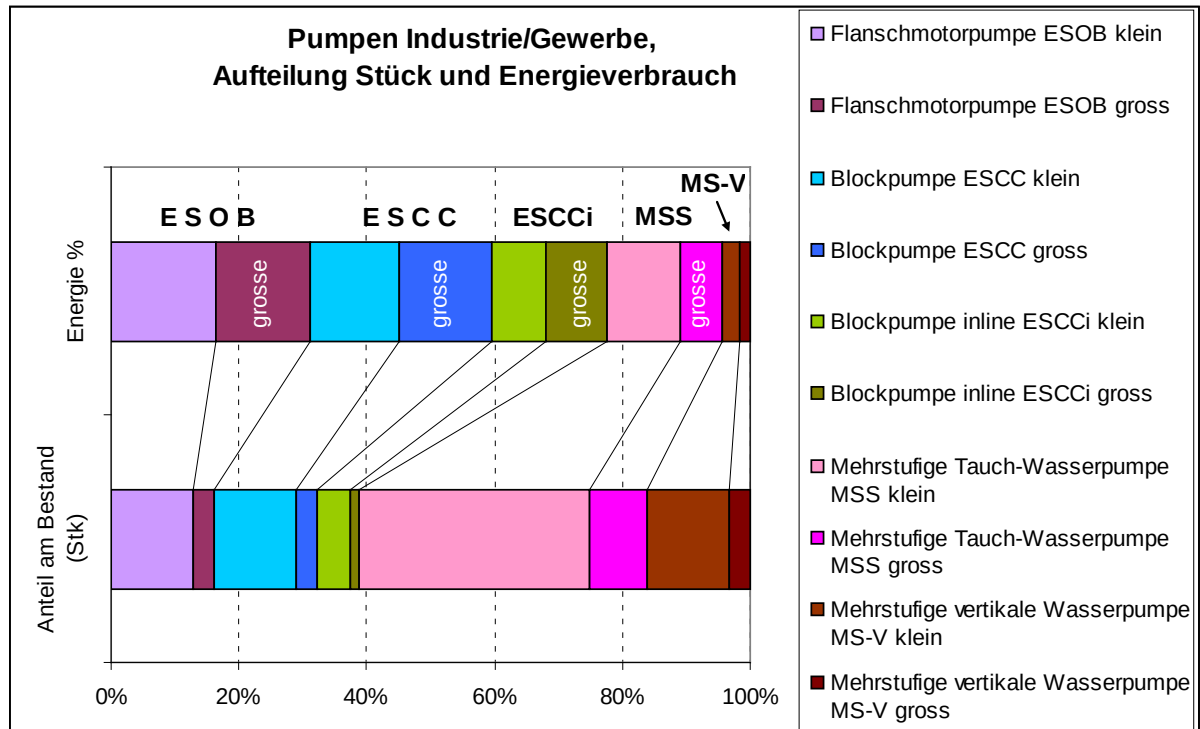


Fig. 6 Grafische Umsetzung von Tab. 4, Anteile Stückzahlen und Energieverbrauch. Auffallend ist der grosse Stückzahlen-Anteil von mehrstufigen Tauchpumpen (MSS); eine Erklärung hierfür steht noch aus.

3.2 Diskussion: Relevanz für die Schweiz

Der aus den EU-Daten [3] abgeleitete Wert (2200 GWh/a) entspricht ziemlich genau dem im Pumpen-Merkblatt festgehaltenen Wert für Industrie / verarbeitendes Gewerbe (2'300 GWh/a). Es ist jedoch zu beachten, dass in den AEA-Zahlen die Pumpen von öffentlichen Wasserversorgungen (und wohl auch ARA) enthalten sind, vgl. p. 165 "Municipal drinking water supply". Die entsprechende Zahl des Pumpenmerkblass macht dann knapp 3'000 GWh/a aus, ist jedoch um "nicht-Ecodesign"-Pumpen (nicht sauberes Wasser, andere Bauarten) zu vermindern. Es ist plausibel, dass die eher höher technisierte Schweiz einen höheren Pumpen-Elektrizitätsverbrauch pro Einwohner aufweist als die EU-25.

Die einigermaßen gute Übereinstimmung der Summen heisst nicht unbedingt, dass die Struktur auch übereinstimmt. Insbesondere enthalten die Merkblatt-Zahlen weitere vom AEA-Report nicht abgedeckte Typen (nicht Ecodesign-Typen), welche jedoch verbrauchsmässig relativ wenig ins Gewicht fallen. Da es keine besseren Zahlen gibt, arbeiten wir mit diesen, ggf. korrigiert wegen der Wasserversorgungs-/ARA-Pumpen. Abweichungen dürfte es sonst vor allem bei Typen mit kleiner Bedeutung im Elektrizitätsverbrauch geben.

Obwohl für diese Pumpenstudie ausgeklammert, ist erstaunlich, dass die vergleichsweise grossen Pumpen von Wasserversorgungen und ARA, vor allem Typen ESOB und MS-V (o-

der auch single stage vertical?), in Tabelle 4 nicht mehr "durchschlagen", d.h. zu grösseren mittleren Leistungen der entsprechenden Kategorien führen. In Tabelle 1 (gemäss Pumpenmerkblatt [1]) sind sie mit folgenden Anteilen am Gesamt-Stromverbrauch Pumpen aufgeführt:

- Wasserversorgung 8.4%
- ARA 6.3%

Welche Pumpen des Schweizer Fokus sind in Tabelle 4 **nicht** enthalten? Hinweise kann die Liste von Anwendungen in Tabelle 5 geben. Sie wurde aus Angaben von Pumpenanbietern zu ihrem Sortiment abgeleitet.

Anwendungen (gemäss Pumpenanbietern)	Typen
1. Kühlwasserkreisläufe (Industrie, aber auch Dienstleistung)	ESOB, ESCC
2. Heisswasserkreisläufe (für Prozesse, nicht Raumheizung)	ESOB, ESCC
3. Betriebswasserversorgung, Wasserfassung (z.T. Tauchpumpen?)	ESOB, ESCC
4. Druckerhöhung	ESOB, ESCC, MS-V
5. Hydraulikpumpen (für Hydraulikmaschinen aller Art: Ziel mechanische Kraft)	ESOB, ESCC, MS-V?
6. Petrochemie: Erdöl und -Produkte verschieben/ transportieren	ESOB, ESCC
7. Chemie-Industrie aller Art: Flüssigkeiten verschieben/ transportieren, auch innerhalb von Prozessen	ESOB, ESCC, Nassläufer
8. Energietechnik (Kraftwerke): Kühlwasser, andere??	ESOB, ESCC
9. Industrie-Abwasser, Gebäude-Entwässerung	ESOB, ESCC, spez., Schlamm
10. Schlamm-Pumpen (Industrie?)	spez., Schlamm
11. Bädertechnik	spez., Nassläufer
12. Schifffahrt	?
13. Feuerbekämpfung (Löschpumpen)	?

Tab. 5 Anwendungen, zugeordnete Typen.

Rot = ausserhalb Projektfokus,

blau = eher nicht zu integrieren, Spezialpumpen, nicht sauberes Wasser.

Werden auch die "eher nicht zu integrierenden" Pumpen weggelassen, so bleiben wenige Pumpenkategorien, die in Tabelle 4 fehlen:

- Nassläufer (Chemie) > 2 kW (Verbrauch vermutlich vernachlässigbar)
- Industrie-Abwasser, Gebäude-Entwässerung.

3.3 Mengengerüst für Pumpen nach Ecodesign-Typen

Die Berücksichtigung der ausserhalb des Fokus liegenden Pumpen wurde durch die folgenden Korrekturen an der primären Tabelle 4 vorgenommen:

Hydraulische Leistung $P_{hy} < 2 \text{ kW}$

So weit diese Pumpen die gleiche Technologie wie etwas grössere aufweisen, könnten sie auch mit gleichen Massnahmen behandelt werden. Deshalb werden die Werte in Tabelle 4 "Mehrstufigen vertikalen Wasserpumpe MS-V klein" nicht geändert.

Pumpen von ARA, Wasserversorgungen:

Diese Pumpen machen immerhin rund 15% des gesamten Elektrizitätsverbrauchs von Pumpen aus (Tabelle 1). Dabei handelt es sich vor allem um Pumpen der Typen ESOB, ESCC und MS-V. Bei diesen Pumpentypen werden daher der Anteil des Elektrizitätsverbrauchs und der Stückzahlen gegenüber Tabelle 4 um 20% für die grösseren, 10% für die kleineren Leistungen vermindert. Da gemäss Abschnitt 1.1 die ermittelte Summe des Elektrizitätsverbrauchs "im Projektfokus" (für sauberes Wasser) 2'160 GWh beträgt, wird in Tabelle 6 der resultierende Gesamtverbrauch auf diesen Wert angesetzt und die Anteile der Pumpentypen entsprechend angepasst. Die mittleren Leistungen P_2 wie auch die resultierenden Verbrauchswerte (GWh/a) wurden gerundet, da die Tabellenwerte nur eine Abschätzung bedeuten.

Pumpentyp	Korrektur für Pumpenmarkt	Mittlere Leistung, gerundet (kW)	Anteil am Bestand (Stück)	Anzahl CH (1000)	Typ. Betrieb (h/a)	Elt. Energie (CH) (GWh/a)	Elt. Energie (%)
Flanschmotorpumpe ESOB klein	-10% (WV, ARA)	4	12%	32	2250	350	16.2%
Flanschmotorpumpe ESOB gross	-20%	15	3%	7	2250	280	13.0%
Blockpumpe ESCC klein	-10%	3	12%	32	2250	300	13.9%
Blockpumpe ESCC gross	-20%	15	3%	7	2250	280	13.0%
Blockpumpe inline ESCCi klein		3	5%	14	4000	200	9.3%
Blockpumpe inline ESCCi gross		13	1%	4	4000	230	10.6%
Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe MSS klein		2	38%	99	1000	280	13.0%
Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe MSS gross		5	10%	25	1000	150	6.9%
Mehrstufige vertikale Wasserpumpe MS-V klein	-10%	1	12%	32	1500	60	2.8%
Mehrstufige vertikale Wasserpumpe MS-V gross	-20%	2	3%	7	1500	30	1.4%
Total			100%	259		2160	100%

Tab. 6 Mengengerüst für Pumpen nach Ecodesign-Pumpentypen (WV= Wasserversorgung, ARA= Abwasserreinigungsanlagen)

Figur 7 zeigt das Hauptergebnis (Energieverbrauchsanteile) grafisch. Da die Anteile der Tauchmotor-Pumpen nicht wegen der ausgenommenen Wasserversorgungen / ARA vermindert wurden, wird deren Anteil sogar noch grösser als in Figur 6. Die Werte der anderen Pumpentypen sind plausibel. Umwälzpumpen für Heizkreise (Raumheizung) mit Leistungen

über 2 kW sind vom Typ ESOB oder ESCC, jeweils Kategorie "klein". Nassläufer-Pumpen über 2 kW werden in der Schweiz für Raumheizung praktisch nicht eingesetzt.

Heizungs-Umwälzpumpen über 2 kW finden sich erst in sehr grossen Wohnbauten und Industrie-/Gewerbebauten. Gemäss Dimensionierungsregeln verteilen sie eine (maximale) Heizleistung von ca. 2 MW und mehr, womit 400 bis 1'000 Wohnungen versorgt werden können. Aus Wohnbaustatistiken des BFS (STAT-TAB, 09.2, [4]) lässt sich ableiten, dass die Zahl der Gebäude mit 30 und mehr Wohnungen (inkl. Wohnbauten mit Nebennutzung) im Jahr 2000 rund 4'500 betrug. Die Zahl der Gebäude mit über 400 Wohnungen bzw. entsprechender zu beheizender Fläche, also mit Pumpen > 2 kW, dürfte somit sehr viel tiefer liegen, z.B. bei wenigen Hundert. Damit sind diese Pumpen im Kontext der Tabelle 6 praktisch vernachlässigbar, obwohl ihre jährliche Betriebszeit bei 5'000 h/a liegt.

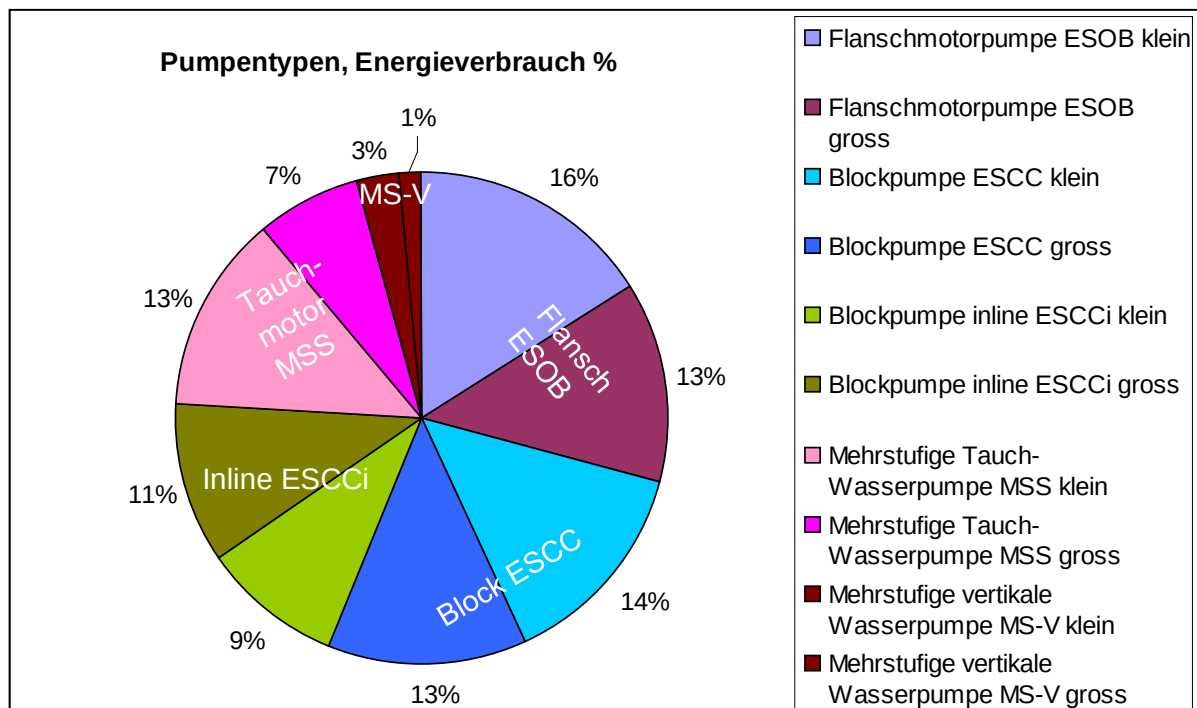


Fig. 7 Mengengerüst für nach Ecodesign-Pumpentypen (Total: 2'160 GWh/a)

Für eine direkte Zuordnung dieser Werte zu Anwendungen oder Branchen konnten keine Grundlagen gefunden werden. Tabelle 7 zeigt eine Abschätzung der Zuordnung von Ecodesign-Pumpentypen zu Anwendungen gemäss Tabelle 2. Wie bereits festgehalten, ist die relativ grosse Bedeutung der mehrstufigen Tauchmotorpumpen vorerst nicht erklärbar.

Anwendung	Hebepumpen	Transport	Druckerhöhung	Umwälzung (Zirkulation)
Branche, Kategorie typ.:	Wasserversorgung, ARA, Lebensmittel, Chemie	Lebensmittel, Chemie, Raffinerie (Pipeline)	Hochhäuser, Wassernetze mit Höhengausdehnung, Anwendungen mit Filtern oder Wärmetauschern	Kühlwasser, Betriebswasser, Heizkreise (bzw. Wärmeversorgung von Prozessen)
Wichtigste Pumpen-Kategorien	ESOB, ESCC, MS-V	ESOB, ESCC(i)	MS-V, ESCC(i), (MSS)	ESOB, ESCC(i)

Tab. 7 Abschätzung der Zuordnung von Ecodesign-Pumpentypen zu Anwendungen

In Abschnitt 4 wird auf der Basis einer Teilstatistik des BFS ein Ansatz zur Aufteilung des Pumpen-Elektrizitätsverbrauchs auf Branchen gemacht.

4. Mengengerüst nach Branchen

4.1 Statistische Grundlagen sind rar

Im Bericht des BFS "Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor, Resultate 2012" [5] finden sich Zahlen zum Elektrizitätsverbrauch nach (zusammengefassten) Branchen von Industrie und Dienstleistung (Tabelle 8). Zur Verwendung der Elektrizität gibt es keine Informationen. Diese Werte lassen sich mit dem Elektrizitätsverbrauch von Industrie und Dienstleistung gemäss Elektrizitätsstatistik des BFE vergleichen [6].

Die Differenz von rund 19% bei den Industriebranchen sind in [5] implizit erklärt: "Nicht erfasst wird der Energieverbrauch der Arbeitsstätten und Betriebe des ersten Sektors (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Fischzucht, Bergbau sowie Gewinnung von Steinen und Erden). Es sind auch keine Daten der Branche Energieversorgung und Kehrlichtverbrennungsanlagen erhoben worden. Nicht Bestandteil der Erhebung ist zudem der elektrische Netz-Energieverbrauch von Baustellen."

Da keine Aussagen zu (öffentlichen) Wasserversorgungen und ARA gemacht werden, gehen wir davon aus, dass diese beiden Anwender entweder in den Differenzen oder evtl. in den "anderen Industrien" zu finden sind. Auch Raffinerien sind am ehesten in "andere Industrien" enthalten.

	Elektrizität (GWh/a)	Arbeitsstätten	Vollzeitstellen
1 Nahrungsmittel	1'932	2'521	54'389
2 Textil / Leder	226	1'554	12'402
3 Papier / Druck	1'503	2'524	29'941
4 Chemie / Pharma	3'580	822	59'202
5 Zement / Beton	493	38	1'595
6 Andere NE-Mineralien	439	1'247	14'683
7 Metall / Eisen	1'101	124	7'563
8 NE-Metall	433	151	6'207
9 Metall Geräte	2'712	10'174	200'872
10 Maschinen	838	2'444	83'882
11 Andere Industrien	2'243	11'648	105'043
12 Bau (-industrie)	513	39'521	286'061
13 Handel	4'205	81'798	434'130
14 Gastgewerbe	2'326	25'425	148'972
15 Kredit Versicherungen	1'142	12'744	181'380
16 Verwaltung	815	7'600	128'258
17 Unterricht	1'408	15'025	106'333
18 Gesundheits- / Sozialwesen	1'744	27'316	233'957
19 Andere Dienstleistungen	4'491	125'436	619'080
Total	32'143	368'112	2'713'950
Industrie	16'013		
Dienstleistung	16'131		
Gem. Elektrizitätsstatistik 2012 [6]:			
Industrie (Elt.-Stat.)	19'000	118.7% von Branchensumme	
Dienstleistung (Elt.-Stat.)	15'900	98.6% von Branchensumme	

Tab. 8 Elektrizitätsverbrauch 2102 in Industrie- und Dienstleistungs-Branchen (Quelle [5])

4.2 Ableitung des Pumpen-Elektrizitätsverbrauchs

Im Folgenden werden die Dienstleistungsbranchen nicht mehr betrachtet, da dort fast nur Haustechnik-Umwälzpumpen vorkommen bzw. Pumpen ausserhalb des Projektfokus.

Um eine Annäherung des Elektrizitätsverbrauchs für Pumpen nach Branchen zu erhalten, wurde eine Aufteilung des Elektrizitätsverbrauchs mit folgendem Ansatz berechnet:

- In einem ersten Schritt wurde jeder Branche eine Kennzahl (Elektrizitäts-) "Verbrauchs-Anteil Motoren" zugeordnet.

- Im zweiten Schritt wurde analog ein Anteil Elektrizitätsverbrauch der Pumpen vom Verbrauch Motoren zugeordnet.
- Als dritter Schritt wird eine Reduktion für den Wegfall der kleinen Pumpen (< 2 kW) gemacht.

Damit resultieren die Werte von Tabelle 9 und Figur 8:

	Elektr. GWh/a	Verbr.- Anteil Motoren (%)	Motoren (GWh/a)	Anteil Pumpen in % v. Motoren	Pumpen (GWh/a)	Anteil Pumpen von Elt.- Gesamt	Anteil P. < 2 kW von Elt. Energie	Pumpen Markt (GWh/a)
1 Nahrungs- mittel	1'932	60%	1'159	30%	348	18%	20%	278
2 Textil / Leder	226	55%	124	25%	31	14%	20%	25
3 Papier / Druck	1'503	75%	1'127	30%	338	23%	20%	271
4 Chemie / Pharma	3'580	60%	2'148	30%	644	18%	20%	515
5 Zement / Beton	493	80%	395	40%	158	32%	20%	126
6 Andere NE- Mineralien	439	70%	307	40%	123	28%	20%	98
7 Metall / Ei- sen	1'101	65%	716	30%	215	20%	20%	172
8 NE-Metall	433	65%	281	30%	84	20%	20%	68
9 Metall Gerä- te	2'712	70%	1'898	20%	380	14%	40%	228
10 Maschinen	838	80%	671	20%	134	16%	40%	80
11 Andere Industrien	2'243	70%	1'570	20%	314	14%	40%	188
12 Bau	513	80%	410	15%	62	12%	40%	37
Industrie	16013		10'806		2'830			2'086

Tab. 9 Elektrizitätsverbrauch Pumpen im Fokus nach Branchen

Obwohl die Prozentanteile Motoren bzw. Pumpen nach Branche nur geschätzt sind (aufgrund von Erfahrungen), resultiert ein Wert nahe am oben hergeleiteten Wert für den Elektrizitätsverbrauch (2'160 GWh/a). Damit ist allerdings über die Branchenaufteilung noch nichts Genaueres gesagt. Aus den Werten der letzten Spalte in Tabelle 9 können die bezüglich Pumpen "interessanten" Branchen angegeben werden: Nahrungsmittel, Papier/Druck, Chemie/Pharma, Metall/Eisen, Metall/Geräte. Diese gemäss Statistik [5] zusammengefassten Branchen sind als Hinweis auf ggf. zu kontaktierende Branchenverbände von Interesse.

Figur 8 illustriert die Werte der Spalten "GWh/a Pumpen" und "Anteil Pumpen von Elt.-Gesamt". Interessant sind die Branchen, bei welchen beide Säulen relativ hohe Werte aufweisen (*).

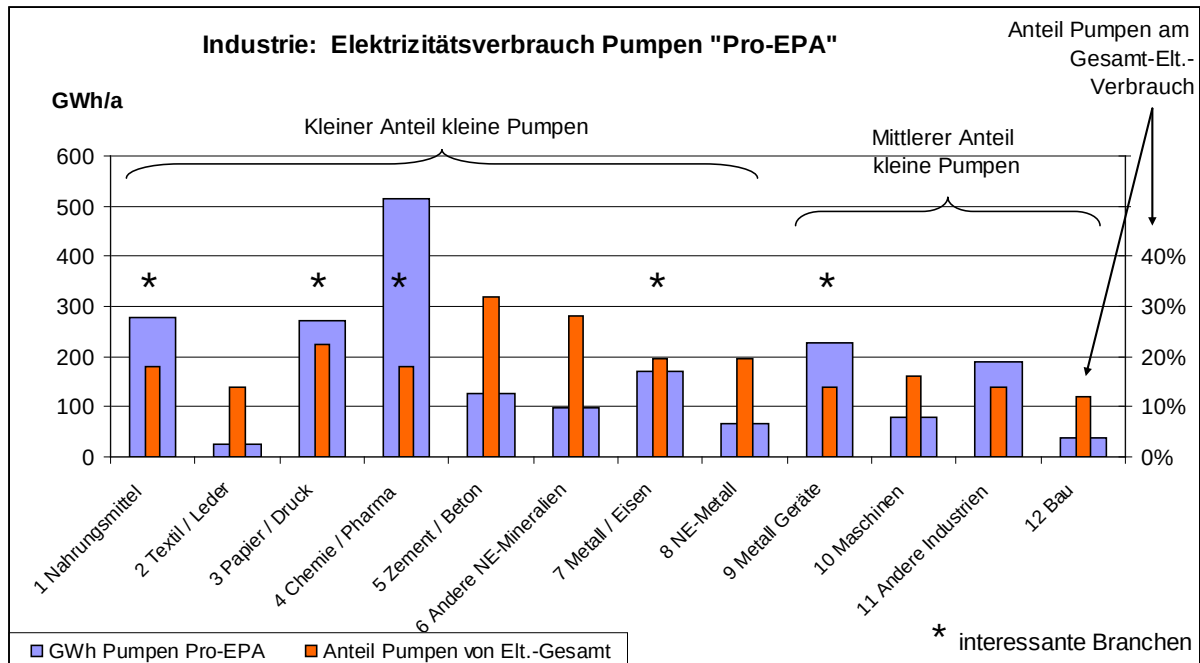


Fig. 8 Elektrizitätsverbrauch Pumpen und Anteil am Gesamt-Elektrizitätsverbrauch für Industrie- und Dienstleistungs-Branchen

5. Mengengerüst Branchen und Pumpentyp kombiniert

Für die fünf bezüglich Pumpen "interessanten" Branchen sowie den restlichen Pumpen-Elektrizitätsverbrauch ("andere als die 5 wichtigsten") wurde eine Aufteilung des Branchen-Elektrizitätsverbrauch für die Pumpen im Fokus auf die Pumpentypen vorgenommen (Tabelle 10). Figur 9 illustriert die absoluten Werte gemäss Tabelle 10. **Diese Angaben sind als grobe Abschätzung zu verstehen**, da keine Daten aus dem Markt bzw. dem Bestand verfügbar sind. Die Zahlen können als Hinweise genutzt werden, bei welchen Branchen und Pumpentypen welche technischen Einsparpotenziale (Teil 2, Tableau 14) zur Bearbeitung oder Förderung interessant sein können.

			1 Nahrungsmittel	3 Papier / Druck	4 Chemie / Pharma	7 Metall / Eisen	9 Metall Geräte	Andere (als die 5 wichtigsten)
Branchen-Verbrauch Fokus Pumpen (GWh/a)			278	271	515	172	228	622
Pumpen-Typen, Anteile am Branchen-Verbrauch	ESOB (Flanschmotorpumpe)	klein	17%	17%	15%	15%	15%	18%
		gross	17%	17%	15%	15%	15%	12%
	ESCC (Blockpumpe)	klein	14%	14%	11%	11%	14%	14%
		gross	14%	14%	11%	16%	14%	14%
	ESCCi (Blockpumpe inline)	klein	9%	9%	8%	8%	12%	9%
		gross	9%	9%	8%	8%	12%	6%
	MS-V (Mehrstufige vertikale Wasserpumpe)	klein	11%	11%	15%	15%	11%	6%
		gross	6%	6%	8%	8%	5%	2%
	MSS (Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe)	klein	3.3%	3.3%	7%	3.3%	3.5%	14%
		gross	1.8%	1.8%	3.5%	1.8%	1.5%	6%

Tab. 10 Aufteilung des Pumpen-Elektrizitätsverbrauchs nach Branchen und Pumpentypen (Basis: Tabelle 9, Abschätzungen)

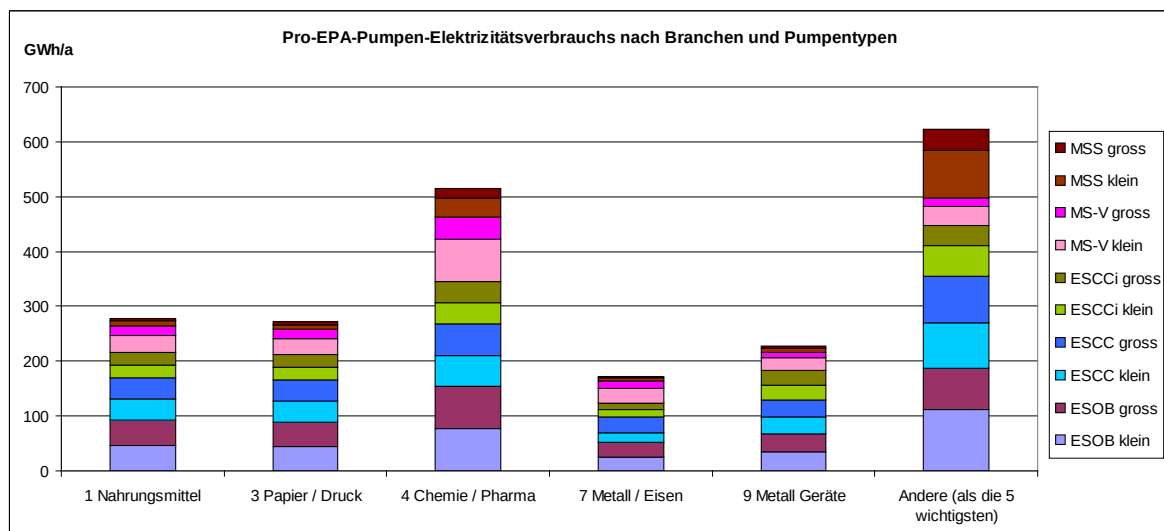


Fig. 9 Pumpen-Elektrizitätsverbrauchs nach Branchen und Pumpentypen (Werte entsprechend Tabelle 10)

6. Fazit Teil 1

Der Markt für bzw. Bestand an (Wasser-) Pumpen über 2 kW (also ohne die kleinen Heizungs-Umwälzpumpen und ohne Kleinpumpen im Bau-, Garten- und Hobbybereich) lässt sich im Rahmen dieses Projekts grob quantifizieren. Die differenziertesten Informationen bezüglich Pumpentypen und -Leistungen konnten im Bericht zur Preparatory Study [3] zum Ecodesign-Richtlinienprojekt gefunden werden. Anhand der bereits im Topmotors Pumpenmerkblatt [1] zusammengetragenen Elektrizitätsverbrauchsdaten liess sich eine gut passende **Aufschlüsselung der strukturierten Daten** der EU-25 Ländern aus der Preparatory Study [3] für die Schweiz herleiten: **Tabelle 6 / Figur 7**.

Interpretierbare Elektrizitätsverbrauchs-Daten für **Industriebranchen** liefert ein Bericht des Bundesamts für Statistik [5], in welchem jedoch keinerlei Angaben zu Pumpentypen und -Leistungen zu finden sind. Immerhin lässt sich aus dieser Quelle ableiten, welches die für Effizienzmassnahmen im Pumpenbereich interessantesten Branchen sind (mit grösstem entsprechendem Elektrizitätsverbrauch), vgl. dazu **Tabelle 9 / Figur 8**. Allenfalls können in späteren Phasen die jeweiligen Branchenverbände Ansprechpartner sein. Über die Fachgruppe Pumpentechnik der SWISSMEM konnten zwar die namhaften Pumpenanbieter ausfindig gemacht werden, zu Markt- bzw. Bestandesdaten kann die Fachgruppe jedoch nichts beitragen.

Um einen groben Überblick des Elektrizitätsverbrauchs nach Pumpentypen und Branchen zu erhalten, wurden die Informationen der strukturierten Daten (Tabelle 6 / Figur 7) mit jenen der Branchenuntersuchung (Tabelle 9 / Figur 8) **kombiniert und in Tabelle 10 und Figur 9** dargestellt. Die Werte dieser kombinierten Darstellung beruhen auf Schätzungen. Trotzdem können sie Hinweise dafür geben, wo sich Ansatzpunkte für Aktivitäten und Massnahmen zur Effizienzförderung ergeben.

Daten entsprechend dem in der Aufgabenstellung als Wunsch dargestellten detaillierten Raster (Tabelle 2) zu generieren, erwies sich im Rahmen des Projektes als unmöglich. Dazu wäre eine systematische Befragung von Pumpenanbietern, Planern bzw. Installateuren und vielen Anwendern nötig, welche einen sehr grossen zeitlichen und administrativen Aufwand erfordern und auch auf Hindernisse der Vertraulichkeit von Daten stossen würde (Datensammlung durch Treuhänder, etc.). Die bisher getätigten Versuche, von Pumpenanbietern und Gross-Installateuren Informationen zu erhalten, waren wenig erfolgreich.

7. Referenzen Teil 1

- [1] Merkblatt 23: Pumpen, Topmotors.ch, Zürich 2012
- [2] VERORDNUNG (EU) Nr. 547/2012 DER KOMMISSION vom 25. Juni 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Wasserpumpen.
- [3] Water Pumps (in commercial buildings, drinking water pumping, food industry, agriculture), Hugh Falkner, AEA Energy & Environment, Didcot UK, Appendix 6 zur Preparatory Study zu Lot 11, April 2008, Reference number ED02287.
Es gibt eine frühere Version als Appendix 5, Feb. 2008.
- [4] STAT-TAB, interaktive Statistikdatenbank des Bundesamts für Statistik, Bereich 09.2 Gebäude und
gen. <http://www.pxweb.bfs.admin.ch/Dialog/statfile.asp?lang=1&prod=09>
- [5] Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor, Resultate 2012, Simon Bachmann (Helbling Beratung + Bauplanung AG, 8048 Zürich, Polyquest AG, 3014 Bern), Bundesamt für Statistik BFS, 2010 Neuchâtel, Juli 2013. http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00543/index.html?lang=de&dossier_id=00775
- [6] Schweizerische Elektrizitätsstatistik, BFE 2013
- [-] Volkswirtschaftliche Massnahmenanalyse zur Energiestrategie 2050, Vertiefte Abklärungen zur Massnahme „Effizienzvorschriften für Elektrogeräte“; Rütter+Partner Sozio-ökonomische Forschung + Beratung / TEP Energy, Carsten Nathani / Martin Jakob, Okt. 2013.

In diesem Bericht findet sich S. 89 eine Grafik "Import und Export von Wasserpumpen", welche auf Daten der Aussenhandelsstatistik, EZV (Kreiselpumpen der Tarifnummern 8413.7010, 8413.7020 und 8413.7030) beruht. Diese Statistik (Import & Export) unterscheidet jedoch nur nach (Wasser-) Pumpen unter und über 100 kg Stückgewicht, wobei ≤ 100 kg eine 10x grössere Zahl Export (6.9 Millionen) als Import ausgewiesen wird, bei jenen >100 kg je 4'800 Import & Export. Aus diesen Zahlen lässt sich keine für unser Projekt relevante Information ableiten.

Teil 2: Massnahmenkatalog

Analyse des potentiels d'économie et le catalogue des mesures d'optimisation

Auteur :

Nicolas Macabrey, Dr Ing. él. EPF-SIA

Planair SA, Crêt 108 A, 2314 La Sagne

nicolas.macabrey@planair.ch

1. Introduction

1.1 Cadre du projet

Dans le cadre du programme de pompes, le concept détaillé comprend une phase d'analyse qui doit permettre, d'un côté, de mieux connaître le profil et la répartition de la consommation d'électricité des pompes en industrie (selon les domaines et les types d'activités) et, d'un autre côté, de déterminer les potentiels d'économies associées ainsi que les mesures d'optimisation permettant de réaliser ceux-ci.

Dans le cadre du groupe de travail, l'OFEN a attribué à S.A.F.E., Planair et ARENA, sous la direction de S.A.F.E., la réalisation de ces prestations. La partie analyse de marché est assurée par ARENA alors que la partie technique des pompes, économies d'énergie et mesures d'optimisation est menée par Planair SA.

Le présent document présente la seconde partie du travail.

1.2 Objectifs et limites du document

Les pompes offrent différentes configurations et sont utilisées dans tous les secteurs et branches industriels. Dans le cadre de cette étude, on se concentre sur l'industrie, l'artisanat et les services dits transformateurs. Les sites tels que les STEP, les stations de pompage et traitement de l'eau potable et les CAD ne sont pas considérés. En termes de technologies, seules les pompes usuelles, sont analysées.

Dans le cadre de cette étude, on propose une topologie des pompes qui s'appuie sur :

- les différents types de pompes (technologies, domaines de débits et de pressions couverts),
- la taille,
- les utilisations possibles.

Cette prestation est menée en étroite collaboration avec SAFE et, en lien avec l'analyse de marché, on y détermine l'importance des différents éléments ou catégories.

Les divers types de pompes et leurs utilisations peuvent être structurés en un nombre limité d'applications typiques. La seconde tâche consiste donc à lister et caractériser ces dernières en termes de :

- description de l'application,
- composants impliqués,
- gammes de puissance, rendements et durées de fonctionnement rencontrés,
- faiblesses/problématiques identifiées.

Il est alors possible de déterminer pour ces cas typiques :

- les potentiels d'optimisation associés,
- les mesures permettant de réaliser ces potentiels (inventaire des mesures les plus fréquentes et adéquates),
- les coûts et difficultés de mise en œuvre,
- les résultats économiques attendus : pay-back et économies d'électricité.

L'objectif est de disposer d'un catalogue réduit couvrant la grande majorité des situations, des solutions et des gains correspondants.

La présente étude se limite cependant:

- aux pompes et situations rencontrées communément dans l'industrie et qui représentent, ensembles, la part la plus importante de la consommation mais aussi le meilleur potentiel d'optimisation. Ce panel correspond aux types de pompes figurant dans le règlement No547 de la Commission européenne qui sera repris en Suisse dans le cadre des exigences sur les pompes,
- à une évaluation théorique basée sur la documentation et le retour d'expérience du programme EASY et autres projets.
- aux inefficiences associées à des applications/fonctions typiques des pompes
- à un catalogue de mesures d'optimisation aux potentiels d'économies en lien avec les fonctions typiques.

Il faut relever ici que la nomenclature des pompes n'est pas univoque et qu'elle dépend souvent du domaine d'application. De plus, dans une langue donnée, des pompes identiques peuvent porter de noms différents pour la même raison. Dans cette étude, réalisée en deux langues, nous avons choisi pour la partie française d'utiliser dans le texte les termes utilisés en Suisse. Un glossaire trilingue, qui fait office d'inventaire des principales pompes, figurent en annexe.

1.3 Déroulement de l'étude

Dans le cadre de cette étude, la démarche suivante a été adoptée :

- Définition des objectifs et du périmètre de l'étude en tenant compte d'autres programmes ou études de l'OFEN et de groupes d'intérêt (notamment les organismes de branche),
- Sur une base bibliographique et de règlements sur les pompes, établissement des types de pompes entrant dans la typologie dressée dans le cadre de cette étude,
- Sur la base de l'expérience, détermination des applications/fonctions typiques avec leurs particularités et informations clés,
- Etablissement des mesures d'optimisation associées et des gains potentiels,
- Evaluation des aspects pratiques liés à ces mesures.

Les bases et la mise en œuvre de ces étapes relève d'une concertation avec SAFE et l'OFEN.

1.4 Documents et informations de base

Les documents et informations suivants qui ont servi de base à l'étude sont principalement:

Titre	Date	Provenance	Remarque/annexe
Règlement No 547	25 juin 2012	Union européenne	
Directive 2009 125 CE	2009	Union européenne	

Tab. 11 Liste des documents et informations de base pris en compte dans l'étude

D'autres documents de référence ou ayant servi aux auteurs se trouvent en annexe dans la bibliographie.

2. Topologie des pompes

2.1 Remarques liminaires

Ce chapitre est consacré à une identification des principales pompes rencontrées dans les milieux industriels introduits dans la partie 1. Il ne s'agit pas ici d'un exercice exhaustif avec pour vocation de couvrir l'ensemble des pompes existantes mais plutôt de cibler les principaux types présents sur le marché. Les notions théoriques fondamentales présentées ou rappelées ont pour objectif d'éclairer les moyens proposés en vue d'optimiser leur fonctionnement d'un point de vue énergétique.

2.2 Types de pompes et notions fondamentales

Classification des pompes

Le choix d'une pompe dépend de nombreux facteurs comme la finalité (élévation, circulation, déplacement, etc.), la nature du fluide transporté (viscosité, densité, chargé de particules solides ou non, chimiquement agressif) ou encore le milieu dans lequel elle travaille (immergée ou non).

On relèvera qu'il existe différentes taxonomies basées sur le principe physique de fonctionnement ou sur la surface couverte dans l'espace débit – pression. De fait, aucune classification de pompe n'est totalement univoque. Néanmoins, une classification systématique est la suivante :

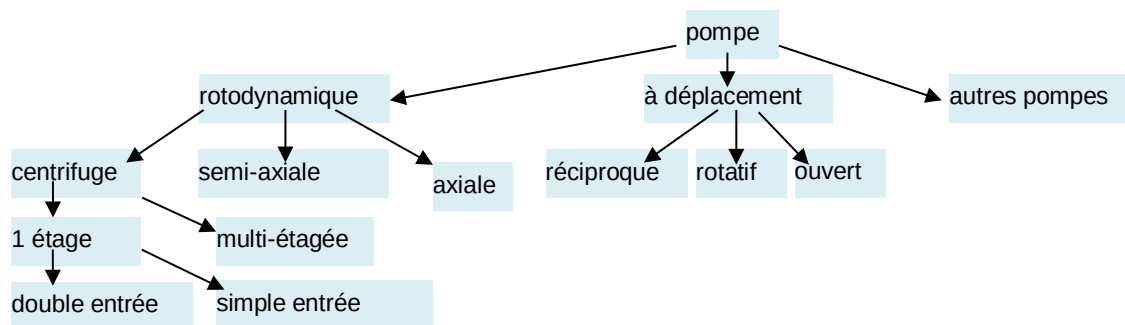


Fig. 10 Classification des pompes

Cette arborescence est souvent retranscrite selon les 4 catégories suivantes :

1. Pompes rotodynamiques
2. Pompes rotodynamiques spéciales
3. Pompes à déplacement ou volumétriques
4. Autres pompes

Cette classification est utilisée dans l'annexe A.2 pour un passage en revue des principales pompes.

Comportements des pompes

Les caractéristiques des pompes sont généralement représentées sous la forme de courbes illustrant la relation entre le volume de liquide déplacé et le différentiel de pression (ou Δp) créé par la pompe (voir fig. 11). Dans ce sens, les différentes catégories de pompes présentent des caractéristiques complètement dissemblables. Typiquement, le débit est pratiquement indépendant du Δp dans les pompes à déplacement (presque une ligne verticale dans le plan débit- Δp), alors que pour les pompes centrifuges, le Δp s'accroît fortement lorsque le débit diminue. Le comportement des pompes périphériques (rotodynamique spéciale) se situe entre les deux.

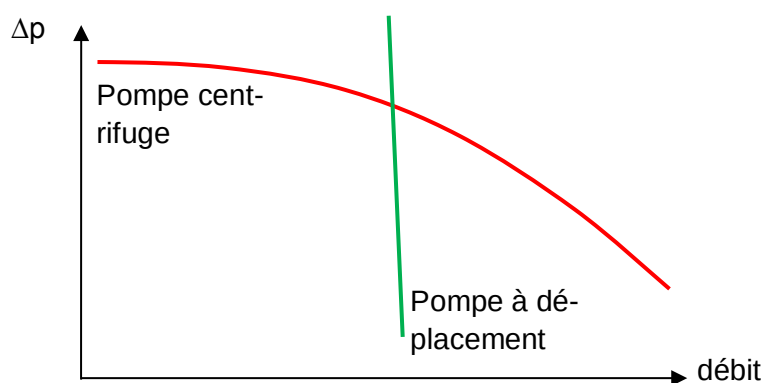


Fig. 11 Caractéristiques typiques de pompes centrifuges et à déplacement

Le débit effectif d'une pompe en situation dépend de la caractéristique de la pompe mais également de la résistance à l'écoulement qu'oppose le réseau hydraulique dans lequel la pompe est insérée. On parle de pertes de charge. Le système (conduites, échangeurs, etc.) a donc lui aussi une caractéristique débit- Δp (que l'on appelle courbe de charge) et le point de fonctionnement se trouvera à la croisée des deux courbes. Dans le couple pompe plus

système hydraulique, les variables sont alors, du côté de la pompe, la vitesse de rotation et le diamètre de roue et, du côté du système, la modification des pertes de charges via des modifications du réseau (vanne, niveau de liquide dans les bassins, ouverture/fermeture de consommateurs, etc.). Si ces paramètres demeurent constants alors le débit le sera également, seuls l'usure et les dépôts modifieront le point de fonctionnement à moyen ou long terme.

On relèvera encore qu'en termes de fonctionnement, la pression d'aspiration du liquide est un point important du comportement des pompes. Si cette pression passe au-dessous de la pression de vapeur, le liquide va s'évaporer, avec un effet appelé cavitation, au moment où les bulles d'air reprennent leur forme liquide dans la zone où la pression augmente. Ce phénomène provoque localement de très fortes pointes de pression et il est à éviter absolument car il abaisse les performances des pompes, réduit la durée de vie (parfois très fortement) et augmente le bruit.

Pompes traitées dans cette étude

Dans les développements de cette étude, nous avons choisi la taxonomie de l'Union européenne qui comprend les pompes rotodynamiques de type centrifuge appelées également « pompes à eau ». Ce groupe de pompes, le plus utilisé dans l'industrie et l'habitat, offre le potentiel d'optimisation le plus important. Par ailleurs il va également faire l'objet d'une directive d'application en Suisse. Cette approche permet aussi de bien structurer le propos selon les possibilités d'optimisations.

On rappelle que cette classification des pompes dites à eau, est formulée selon la directive 2009/125/CE et qu'elle comprend les pompes définies à la section 2.2 de la partie 1 du présent rapport.

2.3 Théorie des pompes et du dimensionnement

Les considérations théoriques qui suivent concernent les pompes rotodynamiques.

Bases de la théorie des pompes

Les quelques éléments théoriques résumés ci-après sont destinés à une bonne compréhension des mesures d'optimisation détaillées dans les chapitres suivants.

Historiquement, les pompes ont d'abord été utilisées pour remonter de l'eau. Ce changement de niveau ou d'altitude a défini la différence de pression que devait garantir la pompe. Aujourd'hui, alors que les applications sont bien plus variées et la différence de hauteur un paramètre parmi d'autres, cette hauteur à compenser ou différence de pression (Δp) demeure importante. Ainsi, sur les caractéristiques des pompes, le Δp est encore la plupart du temps indiqué comme H pour head ou hauteur (en fait une pression correspondant à celle de la colonne d'eau associée à la différence de hauteur).

Dans une pompe centrifuge, on cherche à ce qu'une part aussi grande que possible de l'énergie mécanique fournie par le moteur à l'arbre de la pompe soit convertie en augmentation de la pression statique du liquide. Le différentiel de pression de la pompe Δp est défini comme la partie utile du changement d'état du liquide provoqué par la pompe.

Ainsi, la puissance réellement utile est la puissance hydraulique transmise au liquide. Il s'agit de la puissance à l'arbre moins les différentes pertes, notamment par frottement. La puis-

sance hydraulique s'exprime alors de façon proportionnelle au débit de liquide qui traverse la pompe et au différentiel de pression.

$$P_{hydr} = \rho Q g \Delta p$$

avec :

- ρ , masse volumique du liquide [kg/m^3]
- Q , débit en [m^3/s]
- g , constante gravitationnelle en [m/s^2]
- Δp , différence de pression en [m de colonne d'eau]

Pour ce qui est de la relation entre la pression et le débit dans une pompe, les équations d'Euler établissent que le Δp dépend des vecteurs de vitesse du fluide sur les aubes de la roue et des différentes pertes hydraulique. Ces paramètres sont dépendants du débit. C'est en fait l'angle du flux entrant par rapport aux aubes qui va définir les pertes hydrauliques. Or, l'angle du flux dépend du flux total et ainsi, pour une pompe donnée, les pertes passent par un minimum pour un débit donné. Une valeur de débit plus élevée ou plus basse va conduire à des pertes plus importantes. La caractéristique débit- Δp de la pompe n'est donc pas linéaire.

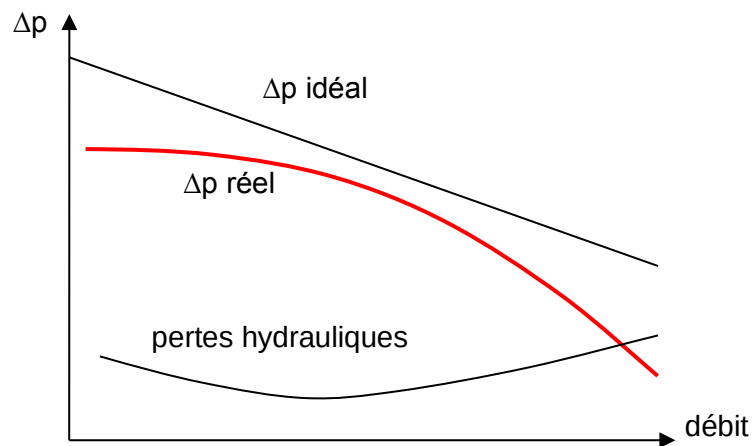
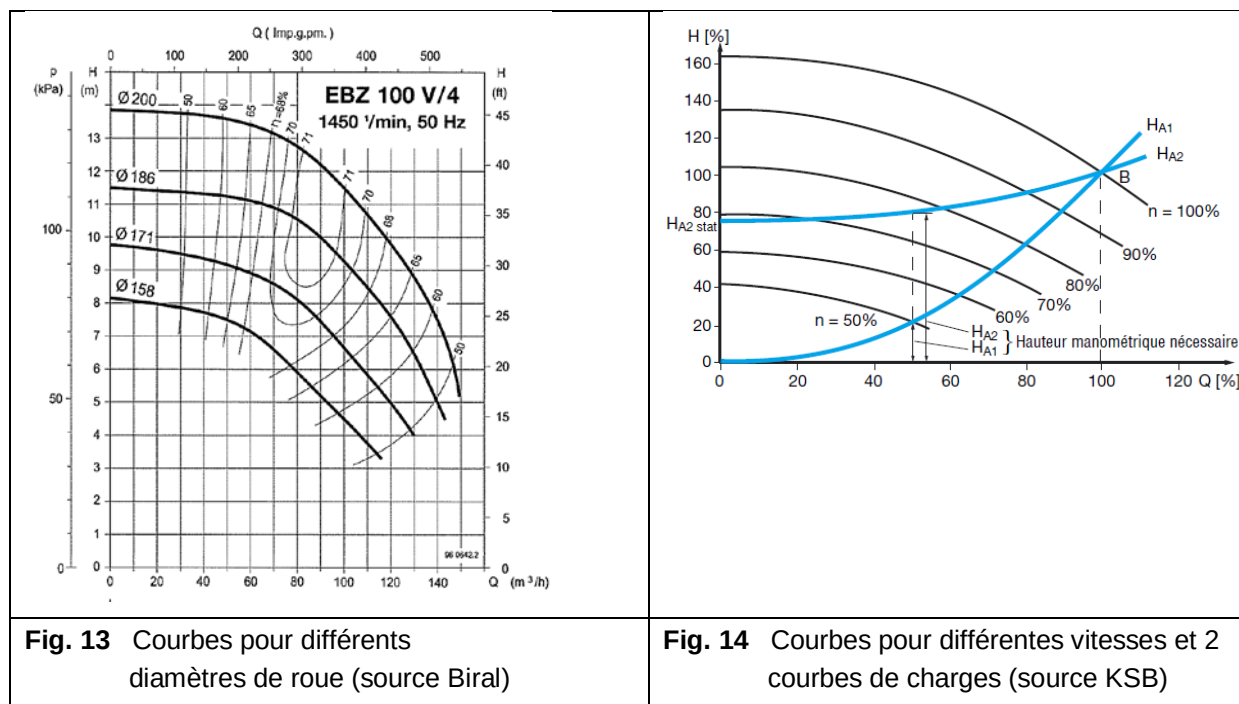


Fig. 12 Courbes caractéristique d'une pompe (relation débit-pression)

Le rendement maximum de la pompe correspond à la zone de moindres pertes hydrauliques.

Bases de dimensionnement

Afin de répondre au plus grand nombre de situations possibles tout en limitant le nombre de tailles de pompes, les constructeurs, pour des raisons économiques et pratiques, proposent, pour une pompe donnée, de changer les caractéristiques par différentes tailles de roues, voire par des pales/aubes directionnelles (rare). Aujourd'hui, les performances peuvent aussi être ajustées par une variation de la vitesse.



Les courbes précédentes portent sur une pompe particulière pour laquelle on a modifié le diamètre de roue ou la vitesse de rotation. Pour déterminer de façon plus générale la taille de la pompe adaptée à ses besoins, on part des exigences de débit et de pression et l'on consulte un courbier qui présente les tailles disponibles pour un type de pompe (et une vitesse).

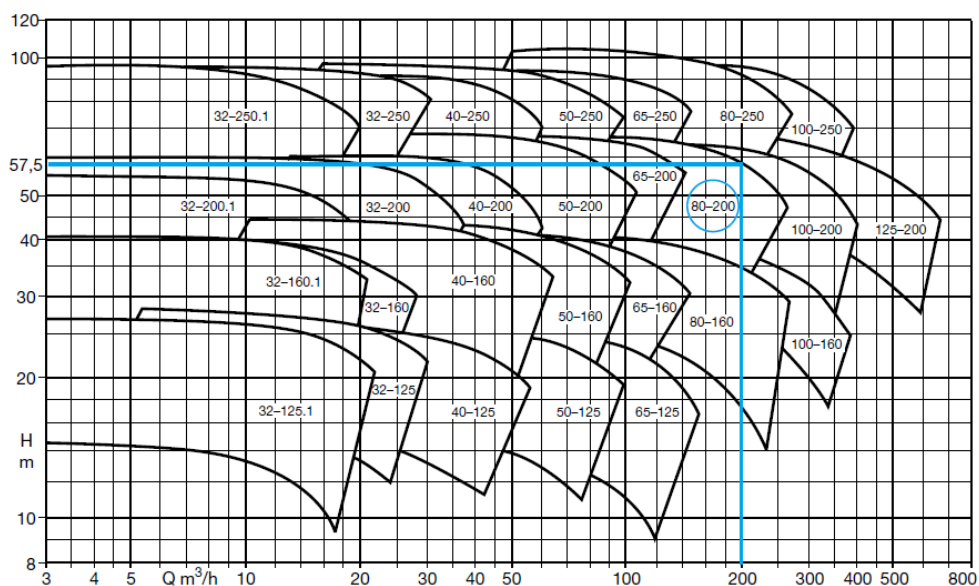


Fig. 15 Exemple de courbier général (source KSB)

On notera que les deux nombres associés à chaque pompe représentent le diamètre nominal de la bride de refoulement (gauche) et le diamètre nominal de la roue (droite). Les lignes bleues correspondent à un débit de 200 m³/h et un Δp de 57.5 m.

De façon encore plus générale, les différentes pompes rotodynamiques offrent, ensembles, des possibilités de fonctionnement couvrant pratiquement tout l'espace débit- Δp . Dans la classification de la fig.3 (part.1), on trouve les pompes axiales et semi-axiales qui permettent des débits élevés lorsque le différentiel de pression demeure modeste.

Le dimensionnement d'une pompe passe donc par des étapes nécessaires que l'on pourrait résumer ainsi :

- 1) Analyse du type d'application ou fonction à accomplir (voir section 3 ci-après) et prise en compte des propriétés du liquide
- 2) Sélection du type de pompe en accord avec le point précédent
- 3) Détermination du besoin à satisfaire (courbe de charge de l'installation, débit à assurer, variations attendues, vitesse, etc.)
- 4) Choix de la taille de la pompe (courbier, logiciel)
- 5) Analyse des courbes de la pompe (choix du diamètre de roue, vitesse variable ou non, etc.) et choix des matériaux

Remarques

Cette présentation de la topologie générale de pompes et des bases théoriques de fonctionnement et de dimensionnement est évidemment très partielle et des éléments très importants comme le NPSH ne sont pas abordés.

3. Applications typiques

3.1 Approche méthodologique

Dans ce document, les pompes considérées sont celles de la nomenclature de l'Union européenne. Elles sont présentées ci-après avec quelques détails. Notre objectif est d'identifier les applications pour lesquelles des analyses et des optimisations sont possibles avec un minimum d'entraves. De plus, à des fins de simplicité, nous limitons les applications à un nombre réduits de fonctions de base qu'assurent les pompes. C'est dans cette perspective que nous avons structuré les propositions.

3.2 Définition des fonctions de base et des paramètres

Les fonctions de base typiques que réalisent les pompes sont présentées ci-après. Elles sont ensuite déclinées sous diverses formes selon les paramètres additionnels. On peut lister les fonctions de base suivantes pour une pompe:

1. POMPAGE ET RELEVAGE DU LIQUIDE
2. TRANSPORT DU LIQUIDE
3. MISE EN PRESSION DU LIQUIDE
4. CIRCULATION DU LIQUIDE (CIRCUIT FERMÉ)

Différents paramètres vont ensuite influencer le choix de la pompe :

- grandeurs physiques : température, pression
- propriétés mécaniques et chimiques du liquide: viscosité, taux de particules solides, pH et autres propriétés chimiques
- exigences du milieu industriel : sécurité, hygiène, (monde pétrolier, chimie, alimentaire, médical, zone ATEX)
- milieux de travail : immergé, submersible

Finalement, le dimensionnement intégrera encore les grandeurs suivantes (besoin) :

- débit
- pression
- réseau (courbe de charge) et les variations de charge
- besoin ou non d'auto amorçage

Toutes les applications présentées dans les sections précédentes (industrie, habitat) sont des mises en œuvre des fonctions de base, modulées par les paramètres ci-dessus.

3.3 Les pompes considérées et leurs particularités

Les particularités des pompes considérées dans ce document sont les suivantes:

1) Pompe à aspiration axiale à paliers intégrés (ESOB)



Les pompes appartenant à cette catégorie ESOB sont dites monocellulaires ou mono-étagées puisqu'elle ne comprennent qu'une roue. Elles sont destinées à des liquides clairs (température $>110^{\circ}\text{C}$) et se caractérisent par une aspiration axiale, alors que le refoulement se fait perpendiculairement. Elles disposent de leurs propres paliers et n'ont donc pas les restrictions de l'exécution monobloc (voir ci-après). Un accouplement est nécessaire entre l'arbre du moteur et celui de la pompe. Ce type de pompe est extrêmement souple et on peut les adapter à de très nombreuses situations. Seul l'encombrement peut être limitatif. Elles travaillent jusqu'à $2000 \text{ m}^3/\text{h}$, 150 kW et 16 bars environ. Ces pompes sont très utilisées pour la circulation d'eau de refroidissement. La norme EN 733 définit les dimensions de telles pompes et les performances (EN 735 pour les tolérances et l'interchangeabilité).

2) Pompe monobloc à aspiration axiale (ESCC)



Les pompes monobloc à aspiration axiale ESCC sont également monocellulaires. Elles se différencient de la catégorie précédente par le fait que la pompe est montée directement sur l'arbre du moteur. La poussée axiale et la charge radiale sont reprises par les paliers du moteur. Il peut en découler une limitation de la pression d'aspiration. Le pied est unique et commun à la pompe et au moteur. Il peut se situer sous le bloc de pompe ou sous le moteur.

L'avantage des solutions monoblocs est le caractère compact et l'alignement garanti. On les utilise sur les liquides clairs jusqu'à des débits de 300 m³/h et 10 voire 16 bars. Les mêmes normes s'appliquent que pour les pompes ESOB.



3) Pompe monobloc en ligne à aspiration axiale (ESCCi)

Les pompes monoblocs en ligne ont pour particularité une aspiration et un refoulement dans le même axe. Elles sont généralement montées verticalement même si tous les axes sont possibles (sauf sous le moteur) et peuvent être intégrées directement dans les conduites sans supports additionnels. La puissance maximale des pompes monobloc est de l'ordre de 40 kW. Les mêmes normes s'appliquent ici aussi.



4) Pompe verticale multi-étagée (MS-V)

Le différentiel de pression fourni par une pompe dépend du diamètre de roue et de la vitesse. Néanmoins, si l'on voulait réaliser une pompe fournissant un faible débit mais avec un Δp élevée, il faudrait une roue de très grand diamètre mais d'une épaisseur très faible. Une telle pompe deviendrait très difficile à usiner, la quantité de matière très élevée et comme les pertes par frottement entre la roue et le casing de la pompe dépendent de la surface (5^{ème} puissance), le rendement hydraulique baisserait rapidement. La vitesse ne peut, elle non plus, être fortement augmentée. La solution réside dans la fragmentation du différentiel de pression par le recours à plusieurs roues en série. On parle alors de pompes multi-étagées, appelées aussi pompes centrifuges multi-cellulaires. L'augmentation du nombre de roues permet donc de produire avec un bon rendement des pressions importantes. L'exécution verticale offre un encombrement au sol réduit. Le désavantage réside dans un démontage plus compliqué. On trouve aujourd'hui un grand nombre de ces pompes en inox embouti. Il s'agit alors de pompe de durée de vie plus courte que la version en acier coulé mais d'un prix est 2.5 fois moins élevé. La version considérée ici présente une aspiration et un refoulement dans le même axe. La pression différentielle est de 25 bars pour un débit max. de 100 m³/h environ. Une exécution traversante, avec l'aspiration et le refoulement aux deux extrémités de la pompe, permet d'atteindre 40 bars et 300 kW. Ces pompes sont typiquement utilisées pour l'alimentation de chaudières, la distribution d'eau (plusieurs étages), la lutte incendie, etc. Le désavantage de ces pompes réside dans le nombre important de joint et dans les chemins de fuite que cela représente. La température de fonctionnement est donc limitée à 170°C et leur utilisation avec des liquides dangereux très réduite.



5) Pompe submersible multiétagée (MSS)

Les pompes submersibles sont placées dans les bassins ou les parties inondées pour drainer des eaux claires. Il s'agit toujours d'endroits situés en contrebas de la zone de traitement. La version MSS est typique des pompes plongées dans des puits. Elle comprend un moteur, situé dans la partie basse afin d'être constamment refroidi, une prise d'eau en position médiane et un refoulement au sommet. Le moteur baigne dans un mélange d'eau et de glycol. Ce mélange permet

de lubrifier les paliers et la butée (reprise de l'effort axial) ainsi que l'échange de chaleur avec l'eau extérieure. Les bobinages sont constitués de fils gainés et donc isolés. Il n'y a pas d'eau extérieure à l'intérieur du moteur. Ces pompes peuvent fournir des performances très élevées (100 bars, 5000 m³/h). Nous ne considérerons dans notre cas que les pompes de tailles modeste (4 et 6 pouces), tel que prévu dans le règlement de l'UE.

Les 5 types de pompes considérés ci-dessus ne sont pas tous à même d'assurer les 4 fonctions de base. On peut proposer un classement non univoque des pompes considérées dans cette étude et de leur habilité à assurer la fonction.

Types / fonctions	Pompage et relevage	Transport	Mise en pression	Circulation
Pompe à aspiration axiale à paliers intégrés (ESOB)	éventuel	oui	oui	oui
Pompe monobloc à aspiration axiale (ESCC)	non	oui	éventuel	oui
Pompe monobloc en ligne à aspiration axiale (ESCCi)	non	oui	éventuel	oui
Pompe verticale multi-étagée (MS-V)	éventuel	éventuel	oui	éventuel
Pompe submersible multi-étagée (MSS)	oui	non	non	non

Tableau 11 Habilité des pompes à réaliser les fonctions de base

L'appréciation « oui » signifie que la pompe est bien adaptée et utilisée largement, « non » indique le contraire et « éventuel » indique que la pompe peut assurer cette fonction dans certaines conditions mais que c'est rare dans la pratique.

On rappelle par ailleurs que des pompes importantes ne sont pas traitées ici car elles concernent des domaines possédant leurs propres programmes ou mesures d'optimisation.

4. Potentiels d'économie et mesures d'optimisation

4.1 Définition et périmètre du système

Une analyse et une optimisation cohérentes passent par une compréhension du fonctionnement de la pompe mais également de celle du système dans lequel elle s'insère. Une pompe n'est jamais seule, puisqu'elle a besoin d'être entraînée. Elle est donc au minimum associée à un moteur électrique. La chaîne électromécanique dans laquelle elle est intégrée constitue l'entraînement électrique. Celui-ci peut comprendre les composants suivants :

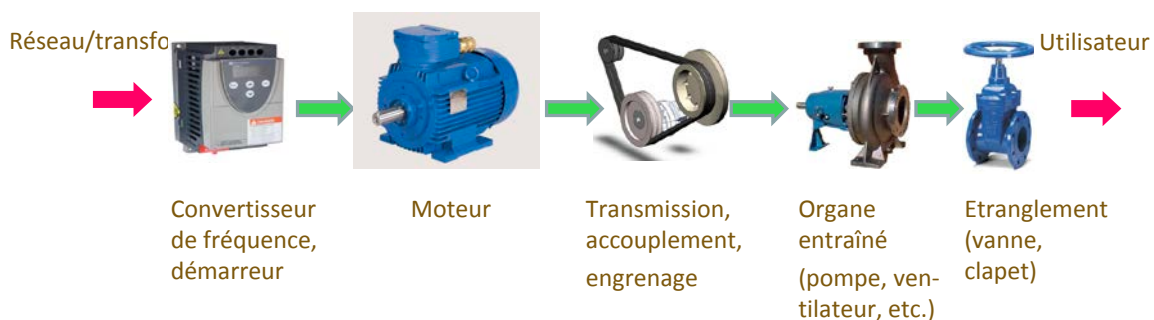


Fig. 16 Représentation schématique des composants d'un entraînement électrique

De son côté, la pompe est insérée dans un réseau hydraulique avec lequel elle interagit et qui limitera sa zone de fonctionnement. L'exploitation et le réglage peuvent agir sur les composants de l'entraînement et sur des éléments du circuit hydraulique pour répondre aux besoins. Dans ce but, on trouve aussi des pompes montées en cascade. Ces façons de gérer le besoin peuvent être plus ou moins efficaces d'un point de vue énergétique.

On comprend donc que la tâche d'analyse et d'optimisation peut intégrer plusieurs niveaux et que, si le périmètre du système considéré dans l'analyse va influencer l'ampleur des économies atteignables, il va aussi modifier le besoin d'information et de compréhension. Cela signifie en clair que si la prise en compte du système global dans lequel est intégré l'entraînement permet de dégager un potentiel d'économie maximum, cela implique a contrario un niveau de détails élevé et des solutions plus individuelles.

La difficulté pour la personne en charge de l'analyse réside dans la définition des frontières du système qu'elle intégrera dans sa démarche.

Dans cette étude, nous avons retenu comme périmètre d'analyse l'installation technique régie par la finalité de l'action de la pompe. On peut alors élaborer des stratégies et évaluer des potentiels aux niveaux suivants :

- Système : besoin réel, exploitation et réglage
- Entraînement : gestion des variations de charges, variation des besoins, tailles des composants et gestion de la cascade des composants en parallèle, etc.
- Composant : technologie, classe d'efficacité, dimensionnement, plage de fonctionnement.

Par ailleurs, il faut souligner que si certaines optimisations sont communes aux 4 fonctions de base que peut assurer une pompe (liste ci-avant), d'autres sont très spécifiques. Par exemple, certaines mesures efficaces dans une circulation en boucle fermée ne peuvent s'appliquer à un relevage des eaux. De plus certaines optimisations des entraînements électriques ne sont pas retenues dans ces lignes car pas pertinentes pour les pompes ou en dehors du cadre du projet.

Le tableau ci-dessous propose des optimisations de diverses natures, structurées selon le niveau d'intervention dans le système. Nous avons définis 4 catégories principales auxquelles se rattachent les différentes optimisations.

Optimisations possibles	Niveau d'intervention	Intégré dans cette étude		Commentaires
1. Besoins, exploitation et réglage				
Satisfaction des besoins réels et exploitation optimisée (arrêts sans besoins, débits minimum, fonctionnement à vide)	système	oui		Potentiel peut être élevé
Modes de réglage et de commande (p.ex. en pression plutôt que selon les besoins)	système, entraînement	oui		Potentiel peut être élevé
Variation de charges et de débits (variateurs au lieu de vannes)	système, entraînement	oui		Potentiel élevé
Gestion des cascades (règles de commutation, priorité aux composants efficaces, variations des tailles dans la cascade et introduction totale ou partielle de variateurs, etc.)	système, entraînement	oui		Potentiel assez élevé
2. Réseau et distribution				
Réseau (pertes de charge dues aux vannes et au réseau mal conçu, recirculations trop importantes vers bâches alimentaires, etc.)	système	oui		Potentiel peut être élevé
Conception de la distribution (centralisé, surpression suivie de dépression, etc.)	système	oui		Potentiel moyen
Position des pompes (centralisées, distribuées)	système			Potentiel moyen
3. Dimensionnement et classe d'efficacité				
Redimensionnement de l'entraînement selon la zone de fonctionnement réelle (variateur, moteur, pompe)	entraînement, pompe	oui		Potentiel élevé
Installation de composants de la classe énergétique la plus élevée et la mieux adaptée (p. ex. moteur synchrone)	entraînement, pompe	oui		Potentiel assez élevé
4. Autres mesures				
Accouplement et transmission	entraînement		non	Peu de potentiel car entraînements directs
Pertes mécaniques, entretien	entraînement		non	Pas dans les analyses
Identification et suppression des fuites	système		non	Hors des outils énergétiques
Récupération d'énergie	système		non	Hors sujet
Alimentation électrique de l'installation	entraînement		non	Compétences spécialisées

Tab. 12 Liste d'optimisations groupées en 4 catégories principales

4.2 Extension du système

Dans la réalité des applications industrielles, il arrive très fréquemment que l'installation technique dans laquelle s'intègre l'entraînement électrique ne soit pas fermée mais qu'elle interagisse de façon directe ou indirecte avec d'autres installations ou systèmes. Les stratégies d'action peuvent alors être qualifiée de locale ou globale selon que le système est de type :

1. Installation technique « simple » et indépendante
2. Installation technique complexe et interdépendante

La notion d'interdépendance signifie que l'optimisation énergétique du dispositif incluant les pompes va, tout en assurant la fonction auprès des utilisateurs, modifier le comportement énergétique d'un autre système. C'est notamment souvent le cas dans des installations de production de froid et de refroidissement en cascade. Ces installations comprenant des compresseurs et des tours de refroidissement sont complexes à optimiser d'une façon globale et valable dans toutes les situations. Par ailleurs, considérant l'installation intégrant les pompes, il n'est pas toujours facile d'évaluer l'impact qu'aurait une modification ou une optimisation locale. Dans cette étude, nous allons considérer des cas pour lesquels le système est de type 1 (simple et indépendant) ou pour lesquels on peut assurer que l'optimisation de la consommation électrique de l'entraînement ne va pas péjorer le bilan électrique ou thermique d'une autre installation.

4.2 Accessibilité à l'analyse

Dans la démarche d'optimisation, la possibilité de déterminer le rendement global via la détermination de la puissance utile est un point important. Il est usuellement plus aisé et conclusif d'analyser des systèmes pour lesquelles la puissance associée à la prestation est mesurable. C'est normalement le cas des pompes même si l'accès à l'un ou l'autre des pressions n'est parfois pas possible. Il est alors nécessaire de se rabattre sur une mesure indirecte comme un niveau de liquide dans une bêche.

Un autre point important de l'analyse et des optimisations concerne le niveau d'intégration/d'accessibilité physique de l'entraînement. On peut dissocier les situations suivantes :

- entraînement intégré/fermé
- entraînement ouvert/découplé

Ce caractère ouvert ou fermé de l'entraînement modifie les possibilités d'intervention tant au niveau des analyses que des optimisations. Les entraînements intégrés ou fermés (souvent associés au procédé), sont des installations pour lesquelles le moteur et la pompe ne sont pas accessibles car totalement insérés dans la machine. Les optimisations, voire même les analyses, dépendent alors de la bonne volonté du fabricant. Dans la seconde catégorie dite ouverte on peut accéder aux organes et on trouve souvent un accouplement entre un moteur « classique » et l'élément entraîné. Il s'agit par exemple de la fourniture des « utilities ». Les opérations d'analyse et d'optimisation y sont généralement plus simples. On relèvera encore que certains équipements fermés, de la volonté du fabricant de réduire les coûts, intègrent des composants non optimisés d'un point de vue énergétique.

4.3 Choix des équipements à analyser et à optimiser

Au sein d'une entreprise, le responsable « énergie » est généralement confronté à une forte concurrence pour l'accès aux crédits. Ainsi, en dehors d'une vision idéaliste ou de plans d'actions fixés par la direction générale, le responsable « énergie » doit montrer que ses propositions d'optimisation des pompes sont autant de mesures rentables. Pour y parvenir, il doit disposer de résultats d'analyses détaillant la situation actuelle, les optimisations possibles et les gains énergétiques et financiers correspondant. Cela signifie qu'il doit d'abord identifier les installations potentiellement intéressantes.

Ces étapes nécessitent une méthodologie assurant une grande efficacité et un minimum de pertes de temps. L'identification des équipements à analyser peut se baser sur une approche du type « Méthode 1-2-3 » de Topmotors.

Cette méthode de (pré-)sélection privilégie les critères énergétiques:

- puissance,
- âge,
- heures d'exploitations,
- taux de charge.

Par la suite, le choix définitif des mesurages devra intégrer les critères additionnels suivants:

- faisabilité des mesurages (accessibilité, mode de fonctionnement représentatif, etc.),
- possibilité d'en tirer des résultats conclusifs (situation compréhensible grâce aux informations : stratégie de commande et d'exploitation, courbes caractéristiques, etc.),
- la faisabilité des futures mesures d'optimisation (adaptations possibles, garanties contraignantes, prestataires externes, etc.),
- duplicité des équipements, cas de références.

L'objectif de ces évaluations préliminaires est de ne lancer des mesurages, assez coûteux, que pour des installations pour lesquelles les résultats permettront de tirer des enseignements et les potentiels optimisations pas bloqués par des obstacles rédhibitoires.

4.4 Principales inefficiences et optimisations possibles

Lorsque l'on considère les 4 fonctions de base d'une pompe, on peut identifier des inefficiences partagées par toutes et des spécificités.

Pompage et relevage de liquide

Cette fonction de base est très commune et constitue la première utilisation historique des pompes. On la trouve dans les réseaux d'eau et toutes les formes d'adduction d'eau. Dans les sites industriels elle se rencontre, par exemple, dans les situations dans lesquelles on a besoin de remonter des liquides dans une bûche alimentaire située à un niveau plus élevé ou alors pour le pompage sur un réseau, dans une rivière (piquage) ou dans des nappes de l'eau nécessaire à l'exploitation du site. Une autre forme de relevage se trouve dans les tours de lavage de fumées ou les tours de refroidissement.

Selon notre expérience, on observe pour cette fonction essentiellement 2 inefficiences :

- Le réglage du besoin (débit) par étranglement
- Un mauvais dimensionnement (pression)

En termes d'optimisation, cette fonction est associée à une contrainte physique indépassable : la différence de hauteur ou hauteur statique entre le bassin source et le bassin destination. Cette réalité limite les potentiels d'économie en réduisant la plage de travail dans l'espace débit- Δp . Le différentiel de pression comprend en fait une partie statique associée à cette différence de hauteur et une partie dynamique provenant de la perte de charge (proportionnelle au débit). La figure ci-dessous illustre ces principes.

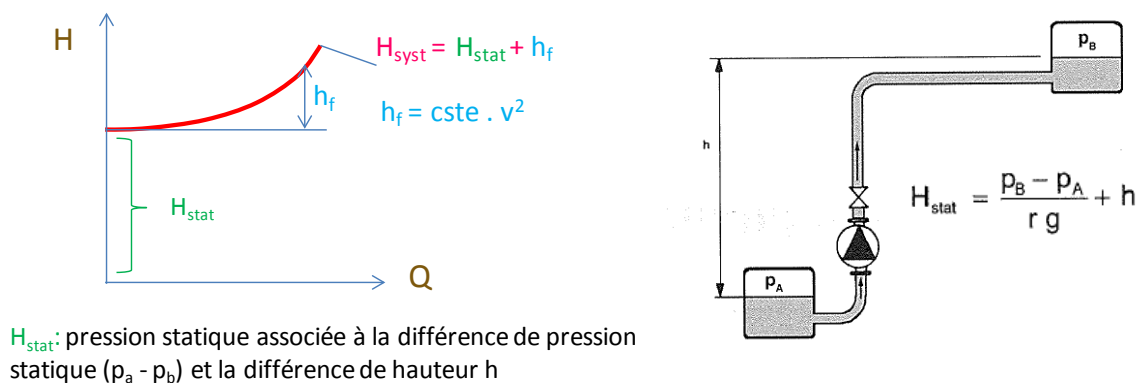
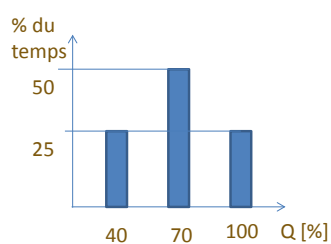


Fig. 17 Relevage des eaux : situation et courbe de charge

On présente ci-dessous un exemple illustrant l'effet du remplacement d'un étranglement par un variateur de vitesse et une situation dans laquelle la pression a été surestimée.

Réglage du débit

Une pompe est associée à un réseau hydraulique comprenant une différence de hauteur important en regard de la perte de charge maximum. Les besoins étant variables au cours de l'année, une vanne permet de régler le débit. La pompe fonctionne au total 8600 h/an, avec le profil suivant :



Le profil à gauche montre que, sur 8600 h, la pompe fournit :

- durant 25% du temps (2125 h) 300 m³/h, soit 100% du débit nom.
- durant 50% du temps (4300 h) 210 m³/h, soit 70% du débit nom.
- durant 25% du temps (2125 h) 125 m³/h, soit 40% du débit nom.

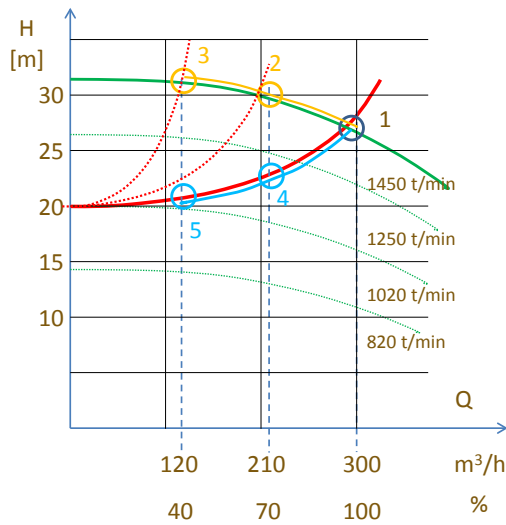
Fig. 18 Profil de débit

Les courbes caractéristiques et les points de fonctionnement sont présentés ci-dessous. La courbe nominale de la pompe à 50Hz est le trait vert épais et la courbe de charge du circuit hydraulique à vanne ouverte est la ligne rouge pleine. On constate sur la courbe de charge que la pompe doit assurer un différentiel de pression statique de 2 m (0.2 bar).

Lorsque le débit est réglé par la vanne, le point de fonctionnement se déplace du point 1 (cas de base à débit max. et vanne ouverte) vers les points 2 puis 3 (vanne de plus en plus fermée). Le débit se réduit et le Δp sur la pompe augmente. La courbe de charge du réseau se modifie du fait de l'étranglement (les pertes de charges augmentent). Après introduction d'un variateur, la courbe de charge ne change plus et la variation de débit a lieu par changement de vitesse de rotation. On se déplace sur des courbes caractéristiques internes correspondant au fonctionnement de la pompe à des vitesses plus faibles que la valeur nominale. On passe ainsi du point 1 aux points 4 puis 5.

Pour les trois débits rencontrés (3 besoins différents), on observe qu'au débit nominal le point de fonctionnement est identique avec et sans variateur. Pour des débits réduits,

l'introduction du variateur permet de travailler à des pressions plus faibles. L'effet sur la puissance hydraulique est illustré par les calculs à gauche des courbes.



$$P_{\text{hydr}} = Q_{\text{moy}} \Delta p \text{ en } [m^3/s \cdot Pa = W]$$

$$P_{\text{hydr } 1} = (300/3600) 270'000 = 22500 \text{ W}$$

$$P_{\text{hydr } 2} = (210/3600) 300'000 = 17500 \text{ W}$$

$$P_{\text{hydr } 3} = (120/3600) 315'000 = 10500 \text{ W}$$

$$P_{\text{hydr } 4} = (210/3600) 225'000 = 13125 \text{ W}$$

$$P_{\text{hydr } 5} = (120/3600) 205'000 = 6834 \text{ W}$$

Consommations annuelles:

$$E_{\text{étrangl}} = 2125P_1 + 4300P_2 + 2125P_3 = 145.3 \text{ MWh/an}$$

$$E_{\text{variateur}} = 2125P_1 + 4300P_4 + 2125P_5 = 118.7 \text{ MWh/an}$$

Fig. 19 Courbes caractéristiques, courbes de charge et points de fonctionnement

Dans cet exemple, l'amélioration technique permet une baisse de 18.4 % de la puissance hydraulique. Le potentiel d'économie associé à l'introduction d'un variateur de vitesse est limité dans un système de pompage comprenant une importante hauteur géométrique.

Mauvais dimensionnement en pression

Dans ce cas, il s'agit souvent d'une appréciation erronée de la courbe de charge du système. Lorsque la résistance du réseau a été surestimée, typiquement pour prendre de la marge, le débit sera trop important (point 1). L'exploitant va alors fermer la vanne jusqu'au débit désiré provoquant une baisse sensible du rendement (point 2). Une solution réside dans une retaille de la roue et donc une diminution du diamètre (point 3). Le rendement sera cependant moins bon qu'avec une pompe bien dimensionnée. Le choix du remplacement de la pompe ou du ré-usinage de la roue dépendra des grandeurs de pompes disponibles, des coûts et des gains atteignables.

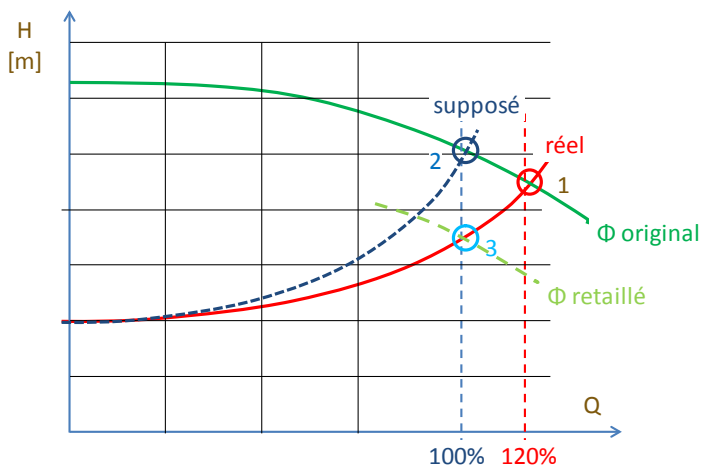


Fig. 20 Mauvais dimensionnement et retaille de la roue

Transport du liquide

La fonction de transport d'un liquide signifie que l'on déplace un liquide d'un point A à un point B dans un circuit ouvert. Ce déplacement peut être associé simplement à la mise à disposition du liquide dans une autre partie d'un site industriel (eau de refroidissement, de procédé ou de lavage) ou alors comme véhicule de transport de matières solides (produit ou effluent) en suspension dans le liquide. On transporte alors le produit d'un poste à un autre. Dans ce cas, on parle de liquide chargé (de particules solides).

Cette fonction se différencie de la précédente par l'importance réduite de la hauteur statique par rapport à la perte de charge dynamique.

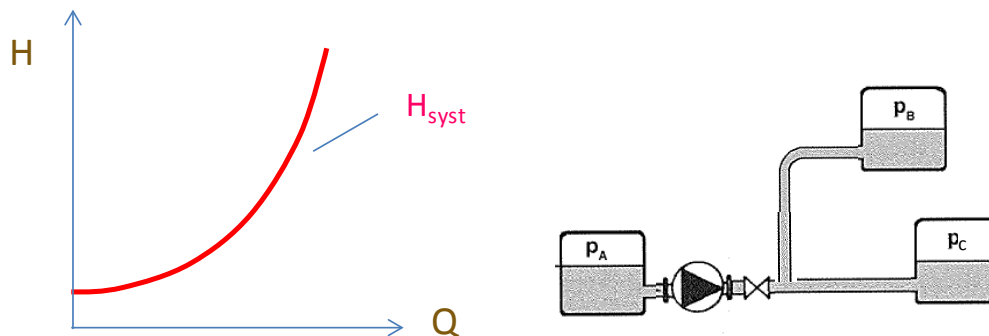


Fig. 21 Transport de liquide : situation et courbe de charge

Selon notre expérience, on observe pour cette fonction essentiellement 3 inefficiences :

- Une pompe mal dimensionnée
- Une gestion des variations de charge mal maîtrisée (énergie)
- Une cascade mal réglée

Mauvais dimensionnement

On rencontre fréquemment des pompes dont le point de fonctionnement ou la zone de fonctionnement est éloignée du point à rendement optimum. Cela provient d'un mauvais dimensionnement initial ou de modifications ultérieures du système (consommateurs). Le rendement peut être particulièrement modeste. Le redimensionnement de la pompe est alors la solution.

La figure ci-dessous illustre une situation réelle d'une pompe de distribution d'eau filtrée sur un site industriel. On se rend compte que le point de fonctionnement nominal (rond bleu) n'était pas optimal (mauvais dimensionnement de départ). La zone de fonctionnement actuelle est pire encore avec un rendement très faible et un débit minimum à la limite de la zone acceptable en termes de fiabilité (mauvaise lubrification, efforts maximum, risque de cavitation).

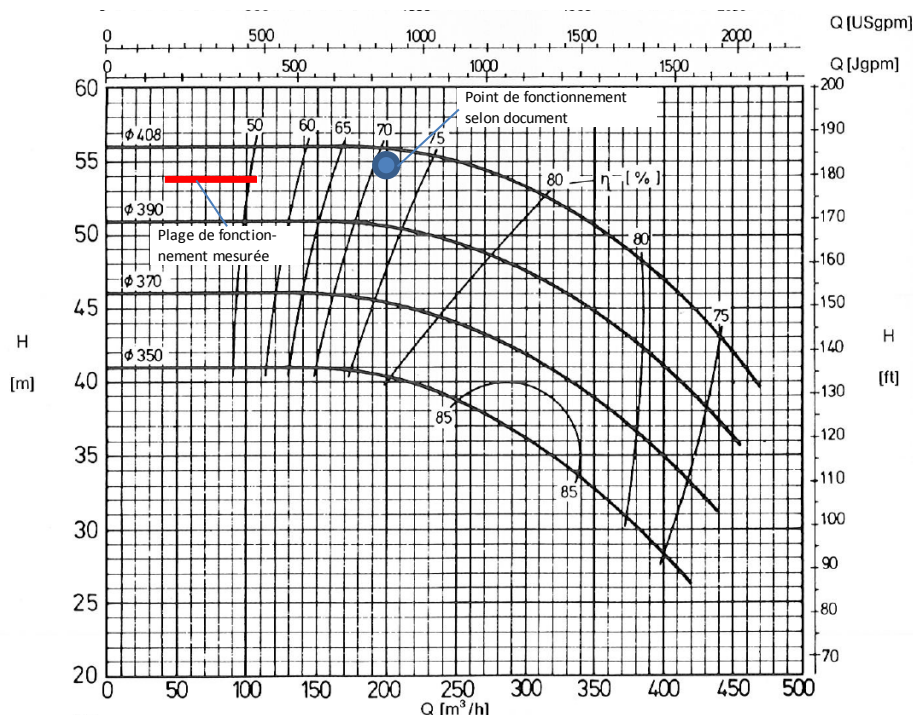


Fig. 22 Distribution d'eau filtrée : point nominal et valeurs relevées

La pompe doit être redimensionnée. Le potentiel d'économie d'énergie est important et de l'ordre de 25 %.

Variations de charge

Dans une distribution d'eau, les besoins des utilisateurs varient. La pompe de distribution verra la courbe de charge évoluer et le débit osciller. Les variations de débit vont conduire à des modifications du rendement. Le profil de rendement a une forme de parabole plus ou moins serrée. Une allure plus plate supportera mieux, en termes énergétique, les variations importantes de débit. Un tel profil n'offre évidemment pas le rendement maximum le plus élevé.

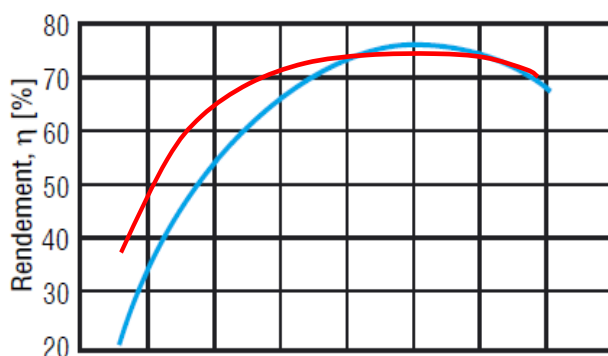


Fig. 23 Profil de courbes de rendement hydraulique de pompes

Pour une pompe en place, il s'agit dans le cas d'une distribution de maintenir la pression de consigne. Celle-ci correspond au débit maximum (tous les consommateurs ouverts). Lorsque des utilisateurs réduisent leurs besoins, la courbe de charge va s'orienter vers la gauche de la caractéristique et la pression augmenter. Le recours à un variateur de vitesse permet de

maintenir la pression de consigne tout en réduisant la vitesse. On diminue ainsi la consommation d'énergie. Celle-ci peut être significative (de l'ordre de 20%).

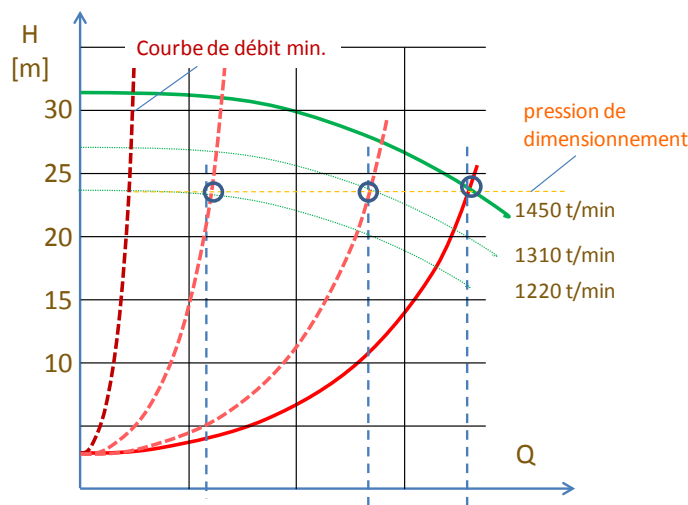


Fig. 24 Maintien de la pression dans un réseau de distribution par un variateur

Cette approche avec un variateur permet aussi de réduire la pression dans la pompe et, s'il y a un dispositif de contrôle de débit, de s'assurer que l'on ne travaille pas au-dessous de la zone de débit minimum de la pompe.

Cascade mal réglée

La distribution de liquide est parfois assurée par des pompes montées en parallèle qui sont enclenchées en cascade selon les besoins. On observe parfois des inefficiences dans la gestion de la cascade. Un premier cas est lié aux plages de fonctionnement. Il arrive qu'une pompe additionnelle, typiquement une seconde pompe, soit enclenchée alors que la pompe en fonctionnement est encore bien dans la plage de fonctionnement (bon rendement). Il en découle que le débit individuel des 2 pompes est alors relativement faible et le rendement global chute fortement. Le même problème peut survenir avant le déclenchement d'une pompe inutile lorsque le débit demandé diminue. La problématique existe également avec des pompes de tailles différentes qui ne sont pas enclenchées de façon à optimiser le rendement global. Par ailleurs, lorsqu'une batterie de pompe est disponible, on privilégie rarement les plus récentes (et donc les plus efficaces).

Un autre problème vient parfois du fait que l'on n'a pas pris assez en compte la forme de la courbe de charge de réseau. Lorsque celle-ci est pentue, l'augmentation de débit associé à une seconde pompe peut être modeste. Les enclenchements/déclenchements paraissent alors erratiques.

Il convient donc de bien considérer les courbes des pompes et celle du réseau pour décider du moment opportun pour les enclenchements et déclenchements (hystérésis entre les deux). Une cascade peut également bénéficier de l'apport de convertisseurs de fréquence. On pilotera alors tous les pompes en fonctionnement avec la même fréquence.

Bien dimensionnée, l'utilisation d'une cascade avec variateurs permet des gains importants en comparaison avec une pompe unique qui ne peut offrir un bon rendement que dans une plage réduite de débit.

Mise en pression du liquide

Dans cette fonction, on considère les situations où les pompes doivent lutter contre une importante perte de charge dynamique ou une forte contre-pression. Il s'agit typiquement des réseaux étendus sur lesquelles on a recours à des pompes boosters permettant de mettre une partie du réseau en surpression ou encore de surpresseurs placés sur des branches éloignées. On peut également associer à cette catégorie des pompes alimentant des chaudières en pression. Les inefficiences sont ici :

- Pompage centralisé
- Réglage par étranglement et retour vers une bêche

Pompage centralisé

En termes d'inefficience, la situation est ici un peu particulière puisque le recours des surpresseurs locaux est une forme d'optimisation par rapport à des pompes centralisées. Ainsi, lorsque l'on a des utilisateurs éloignés pour lesquels la perte de charge est importante, la pompe centralisée doit assurer la pression ces utilisateurs. L'introduction d'un surpresseur fait que la pompe centrale n'a plus à vaincre les pertes de charge du long réseau mais uniquement celui des utilisateurs proches. La pression de travail peut être réduite.

Réglage par étranglement

Dans le cas de l'alimentation de chaudière (contre-pression importante), il est possible remplacer la vanne de gestion du débit par une variation de vitesse et de limiter la circulation en retour vers la bêche au minimum nécessaire à la pompe. On peut travailler avec un surpresseur sous forme de pompes en parallèle. Des besoins croissants sont assurés en augmentant la vitesse de rotation puis par l'enclenchement d'une pompe supplémentaire. La situation est plus compliquée lorsque le groupe de pompe alimente, par un collecteur, une série de chaudières (disposant chacune de sa vanne d'entrée commandée selon le niveau d'eau). Il est nécessaire alors de travailler avec un réglage plus élaboré, typiquement une approche où l'on définit un « master » pour lequel on assure le débit nécessaire en ouvrant la vanne au maximum et en pilotant la pompe en vitesse. Les autres éléments du système sont réglés en conséquence. Il existe encore d'autres options selon la configuration.

Circulation du liquide (circuit fermé)

Cette fonction de circulation se caractérise par un circuit hydraulique fermé. Cela signifie qu'il y a circulation et retour du liquide au point de départ. D'un point de vue hydraulique, il n'y a pas de composante statique à la courbe de charge du système.

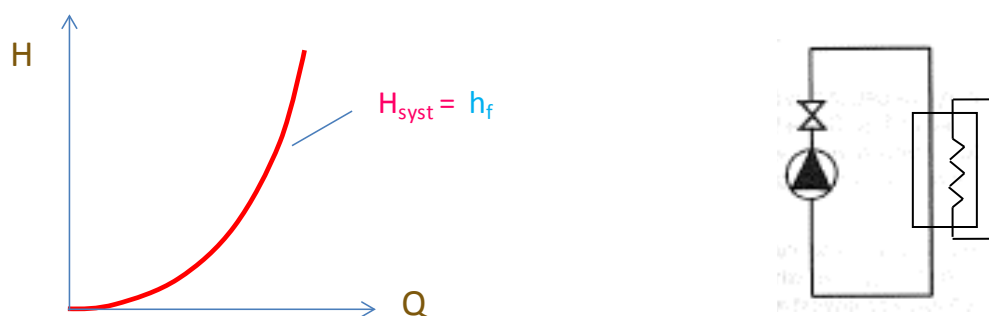


Fig. 25 Circulation des eaux : situation et courbe de charge

Il en découle que certaines inefficacités sont spécifiques à cette fonction tout comme les potentielles optimisations. Pour les premières on citera :

- Réglage par étranglement
- Réglage en pression avec capteurs au niveau de la pompe
- Débit ne correspondant pas au besoin réel

L'application typique de cette solution est la circulation d'un fluide caloporteur dans un réseau de refroidissement (boucle de refroidissement, boucle de chauffage). L'objectif final de la circulation est de fournir ou d'extraire de la chaleur d'utilisateurs au travers d'échangeurs.

Réglage par étranglement

Dans des situations simples, le réglage par vannes peut avantageusement être remplacé par un variateur de vitesse. On a alors une situation suivante :

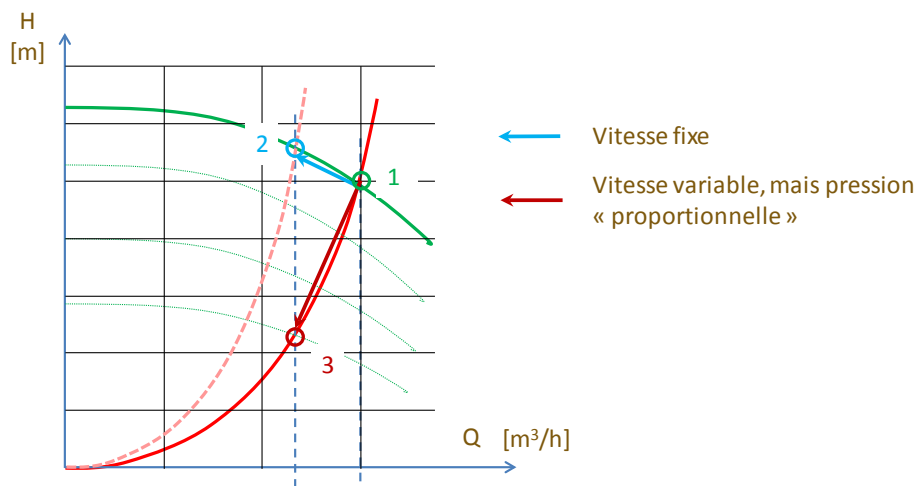


Fig. 26 Réglage du débit par vanne et convertisseur

La réduction du débit par une vanne va faire passer le point de fonctionnement de la position 1 à la position 2. Le recours à un variateur de vitesse permet de travailler sur une courbe de charge inchangée mais à une vitesse plus faible (point 3). Le gain énergétique est très important.

Réglage en pression

La situation est plus compliquée lorsqu'il y a plusieurs consommateurs indépendants en parallèle (enclenchement/déclenchement de branches de consommateurs). Une contrainte supplémentaire apparaît alors : la nécessité de garantir le débit nécessaire dans tous les consommateurs, y compris les plus éloignés.

La stratégie classique pour gérer cette situation réside dans une commande en pression avec les capteurs proches de la pompe. La pression nominale est maintenue dans tous les cas et la variation de charge (passage de la courbe rouge à la courbe rose en trait-tillée, fig. 27 ci-dessous) suit la flèche jaune. Cette stratégie maintient une pression trop élevée lors-

que le débit diminue. Le déplacement des capteurs près des charges et la mesure du débit permettent d'assurer le débit voulu des utilisateurs éloignés. La pression est adaptée aux besoins sur les utilisateurs. Le réglage est alors de type vitesse variable mais pression proportionnelle. Le gain énergétique est bien plus important.

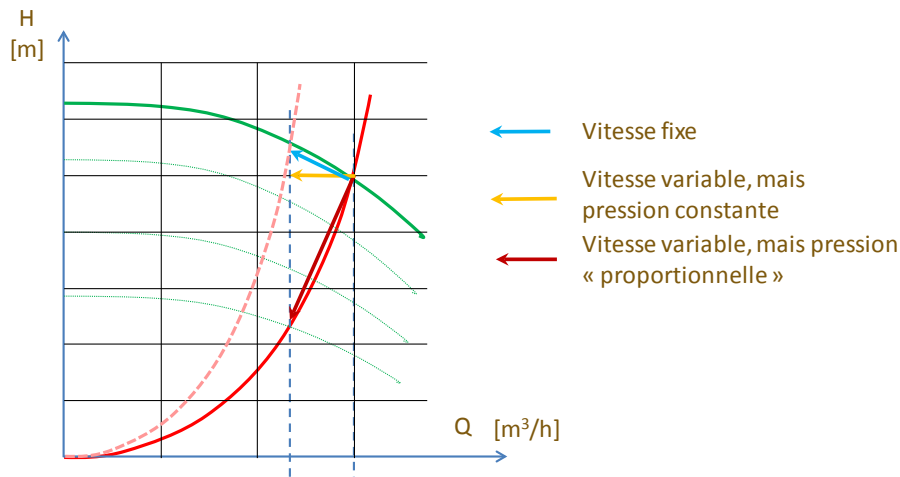


Fig. 27 Couverture des besoins par un réglage à vitesse variable et pression proportionnelle

Besoins réels

En termes de couverture des besoins dans les systèmes de refroidissement, il est possible de régler la pompe en fonction du différentiel de température aux bornes de l'utilisateur ou sur la température de retour. L'idée est de faire circuler le volume de liquide nécessaire à l'extraction de chaleur et pas plus. On y parvient par un variateur de vitesse et un réglage idoine.

4.6 Estimation des gains

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le plus grand potentiel de gain énergétique se situe parfois dans la satisfaction des besoins réels et dans l'exploitation optimisée (fonctionnement sans besoins, marche à vide, marche en régime réduit, etc.). Ces potentiels varient évidemment de cas en cas. Ils ne figurent pratiquement pas dans les situations présentées ci-dessus. Ils font partie de la catégorie « 1. Besoins, exploitation et réglage » du tableau 12 et sont intégrés dans le tableau ci-dessous qui résume les inefficiences (en les identifiant selon les 4 catégories du tableau 12), les optimisations et les gains possibles. Pour ces derniers, il s'agit d'estimations.

Cas de base	Inefficience		Optimisation	Gain estimé
	Cat.1 Besoins, exploitation et réglage Cat.2 Réseau et distribution Cat.3 Dimensionnement et classe efficacité			
1. Pompage et relevage de liquides	Cat.1	Réglage du besoin par une vanne	variateur de vitesse	15 à 20%
	Cat.3	Mauvais dimensionnement en pression	ré-usinage roue ou nouvelle pompe	10 à 20%
2. Transport de liquide	Cat.3	Pompe mal dimensionnée	nouvelle pompe	15 à 30%
	Cat.1	Variations de charge	variateur	10 à 25%
	Cat.1	Cascade mal réglée	réglage et variateur	10 à 25%
3. Mise en pression	Cat.2	Pompage centralisé	pompes distribuées	5 à 10%
	Cat.1 Cat.2	Réglage par étranglement et gros retour vers la bache	Réglage et variateur	10 à 50%
4. Circulation	Cat.1	Réglage par étranglement	variateur	20 à 40%
	Cat.1	Réglage en pression	exploitation	10 à 25%
	Cat.1	Débit inutile	contrôle en température et nouvelle pompe	15 à 25%

Tab. 13 Résumé des inefficiences, mesures d'optimisation et gains

5. Résultats par types et tailles de pompes

On rappelle que l'objectif de cette étude est de disposer de potentiels d'économie par type de pompes, par taille et par application et, initialement, pour les différentes industries répertoriées dans la partie 1 du rapport. L'idée est de pouvoir mieux cibler les mesures d'optimisation. Il s'avère que les potentiels détaillés par branche n'ont finalement pas été possibles (informations non existantes). Nous avons donc travaillé à deux niveaux, d'un côté le tableau 10 de la partie 1 qui présente les parts de marché des différentes pompes pour les principales catégories d'industries et le tableau 14 ci-dessous qui détaille les gains possibles, par type et taille de pompes, pour les différentes applications/fonctions et les différentes variantes d'optimisation.

Dans ce tableau, les cases foncées correspondent aux utilisations effectives des pompes. Les cases en couleurs claires sont celles des utilisations éventuelles et ne sont pas complétées. Il en est de même des cases blanches qui correspondent aux fonctions pour lesquelles le type de pompe n'est pas adapté.

Ce tableau montre les résultats en valeurs relatives. Cela signifie que le pourcentage d'économie d'une mesure particulière pour une fonction et un type de pompe ne dépend pas de l'industrie ou le domaine d'application.

			Anwendungen / fonctions de base											
			Pompage et relevage des liquides			Transport du liquide			Mise en pression			Circulation du liquide		
			Verbesserung / Optimisation											
			Besoins, exploitation et réglages	Réseau et distribution	Dimensionnement et classe d'efficacité	Besoins, exploitation et réglages	Réseau et distribution	Dimensionnement et classe d'efficacité	Besoins, exploitation et réglages	Réseau et distribution	Dimensionnement et classe d'efficacité	Besoins, exploitation et réglages	Réseau et distribution	Dimensionnement et classe d'efficacité
Pumpe Typen / Type de pompe	ESOB (Flanschmotorpumpe, aspiration axiale à paliers intégrés)	petite				18%		20%	25%	5%		22%		
		grande				18%		20%	25%	5%		22%		
	ESCC (Blockpumpe, monobloc à aspiration axiale)	petite				20%		20%				25%		
		grande				20%		20%				25%		
	ESCCi (Blockpumpe inline, monobloc en ligne à aspiration axiale)	petite				22%		20%				28%		
		grande				22%		20%				28%		
	MS-V (Mehrstufige vertikale Wasserpumpe, verticale multi-étagée)	petite							20%	5%				
		grande							20%	5%				
MSS (Mehrstufige Tauch-Wasserpumpe, submersible multi-étagée)	petite	20%		15%										
	grande	15%		15%										

Tab. 14 Economies en valeurs relatives pour les différentes mesures d'optimisation appliquées aux diverses pompes associées à chacune des fonctions de base

Les économies en valeurs absolues devraient prendre en compte le nombre effectif de pompes et la consommation des différents cas de figure présents dans l'industrie. Comme nous l'avons expliqué ci-dessus, un tel niveau de détail n'est pas atteignable.

De façon sommaire, au vue des valeurs du tableau, une estimation générale de 20% de potentiel d'économie paraît réaliste. Cette valeur moyenne permet des calculs moyens par branche industrielle. Le tableau 14 pourrait être utilisé de cas en cas pour des estimations plus précises.

6. Enseignements part.2

On trouve sur le marché un grand nombre de modèles de pompe appartenant principalement aux types volumétriques et centrifuges. Ces dernières sont les plus nombreuses et celles qui représentent le meilleur potentiel d'optimisation. Dans cette étude, nous avons considéré les modèles appelés « pompes à eau » tel que défini par l'Union européenne dans son règlement 547 qui sera repris en Suisse. Notre objectif, dans cette seconde partie du rapport, était de mettre en exergue les applications types ou fonctions qui permettent des optimisations rentables et à la faisabilité éprouvée. Pour les 4 fonctions de base, pompage, distribution, surpression et circulation, il existe des optimisations communes et d'autres spécifiques. On a défini et illustré dans cette étude des mesures d'optimisation appartenant à 3 catégories principales : exploitation et réglage, réseau et dimensionnement. Nous avons montré aussi l'importance et les enjeux du périmètre d'étude et les implications du type de système (indépendant ou interdépendant). Nous avons proposés des exemples illustratifs ou des remarques pour une majorité de situations avec l'objectif de souligner les points importants

Les optimisations à considérer sont listées dans le tableau 12 et les potentiels correspondant dans le tableau 13. Nous avons finalement intégré les différents types de pompes, avec leur capacité à accomplir les fonctions de base, dans les estimations de potentiels d'économie (tab. 14).

Les valeurs des différents tableaux sont des estimations. Elles permettent cependant d'obtenir un ordre de grandeur des gains atteignables pour les branches industrielles considérées (20% en moyenne de 2'160 GWh/a donnent 432 GWh/a). Par ailleurs, les situations réelles étant toujours des cas individuels, cette partie 2 permet au lecteur intéressé de cibler des analyses selon sa situation propre.

7. Annexes partie 2

- A.1 Bibliographie
- A.2 Topologie générale des pompes
- A.3 Glossaire trilingue des types de pompes

A.1 Bibliographie

- Nesbit B. Handbooks of pumps and pumping, Pumping manual international
- Macabrey N. Optimisation des entraînements électriques, cours CAS, HES-SO
- EU European Guide to Pump efficiency for single stage centrifugal pumps
- AEA Group Appendix 6: Lot 11-Water pumps, ED Number 02287, 2008
- KSB Perfectionnement à l'hydraulique et à l'électricité H2
- EU Study on improving the energy efficiency of pumps, Feb. 2001
- Barbarulo R. Les pompes centrifuges Conception et règles d'utilisation, ed. Nathan
- Biral Catalogue de pompes
- Häny Catalogue de pompes
- Staubli T. Bessere Pumpen - Merkblatt für Pumpen, Hochschule Luzern

A.2 Topologie générale des pompes

Une classification reconnue est la suivante :

1. Pompes rotodynamiques
2. Pompes rotodynamiques spéciales
3. Pompes à déplacement
4. Autres pompes

Une pompe rotodynamique est caractérisée par une ou plusieurs roues, équipées de pales tournant dans une garniture externe. Elles peuvent être radiale, axiale ou mixte selon la direction du liquide au travers des pâles. Les roues peuvent être fermées (par des flasques de chaque côté des aubes), semi-fermées (une seule flasque à l'arrière des aubes) ou ouvertes. Le principe de fonctionnement consiste à transformer l'énergie mécanique en énergie de pression.

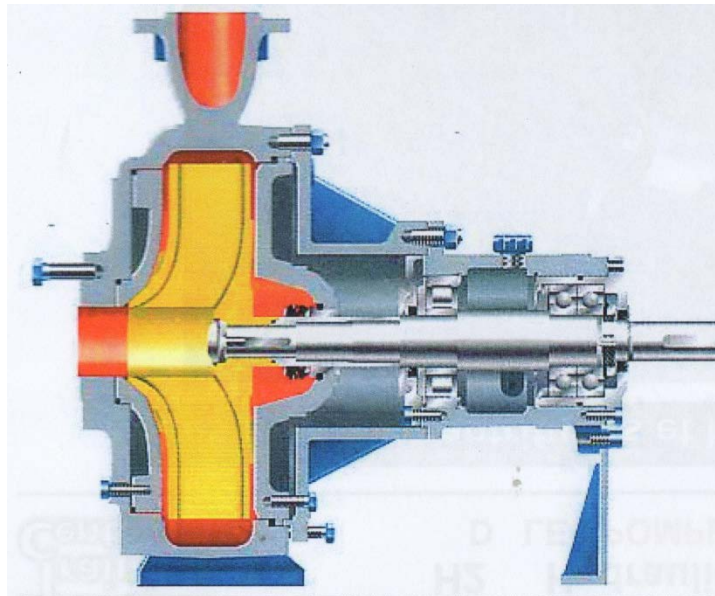


Fig. a.1 Exemple de pompe rotodynamique (pompe centrifuge monocellulaire, source KSB)

Pour ce qui est des pompes rotodynamiques spéciales, elles se rapprochent des pompes radiales bien que leur comportement ne corresponde pas aux résultats des équations rotodynamiques. Elles exigent souvent des tests pour confirmer leurs performances. On trouve par exemple les pompes périphériques ou les pompes à tube de Pitot (tambour rotatif). Elles sont intéressantes parce que l'énergie cinétique est transformée en pression avec une hauteur que ne peut atteindre une pompe centrifuge à même vitesse.

Les pompes à déplacement ou pompes volumétriques fonctionnent quant à elles sur le principe d'un volume de fluide isolé et forcé dans une direction donnée (ou turbiné vers une sortie). On trouve deux types:

- à mouvement réciproque
- à mouvement rotatif

Dans la première catégorie, la plus ancienne exécution est la pompe à piston. Un volume de liquide est confiné dans le cylindre et expulsé par le piston. Aujourd'hui on trouve aussi des pompes à membranes.

Pour les pompes à mouvement rotatif, les pompes à engrenage fonctionnent en déplaçant le liquide dans les interstices entre les dents de deux pignons accouplés. Le différentiel de pression est assuré par le joint que constitue la surface de contact des dents appartenant des deux pignons engrenés. Dans cette catégorie on trouve aussi les pompes à vis, les pompes péristaltiques, à lobes, à palettes ou à rotor flexible.

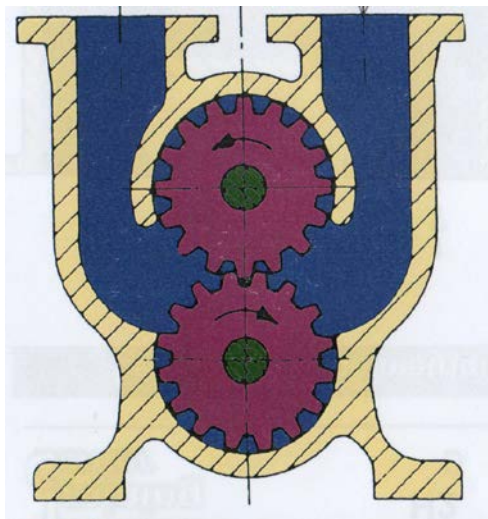


Fig. a.2 Exemple de pompe volumétrique (pompe à engrenages, source KSB)

Parmi la catégorie « autres pompes », on trouve typiquement les éjecteurs et les pompes air-lift. Dans ce type de pompe, la pression statique sur la buse chute lorsque la vitesse du fluide en déplacement s'accroît. Le liquide à pomper est alors aspiré et mélangé avec le fluide en mouvement. Comme ce type de pompe peut traiter tant des liquides que des gaz, on les utilise parfois pour amorcer d'autres pompes. Les pompes dites air-lift fonctionnent en réduisant la densité effective via l'introduction de quantité importante de gaz (air comprimé). On les appelle alors éjecteur. Le liquide peut alors devenir de la mousse si la tension de surface est adéquate. Le gaz sous pression (ou à p_{atm}) élève alors le liquide de faible densité au-dessus du liquide stationnaire.

A.3 Glossaire trilingue des types de pompes

Français	Deutsch	English
Pompes rotodynamiques	Kreiselpumpen	rotodynamic pumps
Circulateurs	Umwälzpumpen	circulators
Pompes centrifuges	Normkreiselpumpen	standardized centrifugal pumps
pompes monobloc	Blockpumpen	blocpumps
Pompes haute pression (multi-étages)	mehrstufige Hochdruck-pumpen	multistage high pressure pumps
Surpresseurs	Druckerhöhungsanlage,	hydro-pneumatic booster sys-tems
Electropompes pour eaux chargées en fosse sèches	Abwasserpumpen für Trockeninstallation,	surface monoblock electric pump
Pompe de forage à arbre de transmission	Vertikalpumpen für Nassauf-stellung,	vertical wet pit pumps
Pompes à moteur immergé	Unterwasserpumpen / Tauch-motorpumpen,	submersible pumps
Pompe à plan de joint	axiale/radiale geteilte Pumpen	axial/radial split pumps
pompes en matériau synthé-tique et pompes magnétiques	Kunststoffpumpen und Ma-gnetpumpen,	Non-metallic rotodynamic pumps and magnetic drive rotodynamic pumps
turbopompe	turbopumpe	propeller
Pompes volumétriques	Verdrängerpumpen,	positive displacement pump)
Pompe à engrenage interne et externe	Zahnradpumpen	gear pump
Pompe à piston	Kolbenpumpen,	piston pump
Pompe à noyau plongeur	Tauchkolbenpumpen,	plunger pump
Pompe à vis	Schraubenpumpen	screw pump
Pompe à lobes	Drehkolbenpumpen	lobe pump
Pompe péristaltique ou à ga-lets	Schlauch/Peristaltikpumpen	peristaltic hose pump
Pompes à palettes	Drehschieberpumpen	vane pump
Pompes Moineau	Exzentrerschneckenpumpen	progressive cavity pumps
Pompes à membrane	Membranpumpen,	diaphragm pump)

Autres pompes	andere Pumpentypen,	other pumps
Pompe à jet-éjecteur	Dampfstrahlspeisepumpen	Jet pump-ejector
Pompe à tube de Pitot	Pitotrohrpumpen	Pitot tube pump
Pompe air-lift	Air-liftpumpen	Air-lift pump
Pompe selon EU 547		
Pompe à aspiration axiale à palier intégrés (ESOB)	Wasserpumpe mit axialem Eintritt, eigene Lagerung (ESOB)	End suction own bearing (ES-OB)
Pompe monobloc à aspiration axiale (ESCC)	Wasserpumpe mit axialem Eintritt, Blockausführung (ESCC)	End suction close coupled (ESCC)
Pompe monobloc en ligne à aspiration axiale (ESCCi)	Block-Wasserpumpe mit axialem Eintritt, Inlineausführung (ESCCi)	End suction close coupled inline (ESCCi)
Pompe verticale multiétagée (MS-V)	mehrstufige vertikale Wasserpumpe (MS-V)	Vertical multistage (MS-V)
Pompe submersible multiétagée (MSS)	mehrstufige Tauch-Wasserpumpe (MSS)	Submersible multistage (MSS)

Tab. a.1 Annuaire des pompes dans les 3 langues