

# SGA – ASSPA – SSAC BULLETIN

Nr. 77 – «Outlier detection and removal»

## Editorial

Sehr verehrte Leserin, sehr verehrter Leser

wieder haben Sie ein Bulletin der SGA in der Hand. Es freut mich, dass wir Sie zu den interessierten Leser/innen zählen dürfen. Ich kann in diesem Bulletin ein Jubiläum vermelden: es sind nun 10 Jahre vergangen, seit wir mit der sensors.ch Vereinigung in Bezug auf das periodisch erscheinende Bulletin gemeinsame Sache gemacht haben. Ich denke, dies hat sich gelohnt und beide Seiten konnten profitieren, eine typische Win-Win Situation. Viel zu dieser Situation haben Frau Vogel vom SGA Sekretariat und Herr Kirchofer von der sensors.ch Vereinigung beigetragen. Ohne sie wäre das Projekt weniger gut herausgekommen. Deshalb möchte ich mich als Redaktor für ihren Einsatz ganz herzlich bedanken. Und wer weiss, vielleicht hängen wir noch 10 weitere Jahre dran. Im vorliegenden Bulletin finden Sie wie üblich Informationen über Veranstaltungen und Besuche der beiden Vereinigungen sowie einen Beitrag über die Behandlung von Outliern in Messdaten, sodass diese für Mess-, Regelungs- und Überwachungszwecke benutzt werden können, ohne dass deren Qualität durch Ausreisser stark vermindert wird.

Ich wünsche Ihnen noch eine schöne Spätsommer- und Herbstzeit

Mit freundlichen Grüssen  
 Peter Gruber



### Kontakt

Dr. Peter Gruber  
 Grenzacherweg 116  
 4125 Riehen  
[pgconsult@gmx.ch](mailto:pgconsult@gmx.ch)

### HSLU Technik & Architektur

Technikumstr. 21  
 6048 Horw  
 E-Mail: [peter.gruber@hslu.ch](mailto:peter.gruber@hslu.ch)

## Ausschreibung Förderpreis

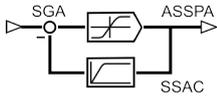
**SGA schreibt auch für 2017 wiederum einen Förderpreis aus.**

Infos zur Teilnahme finden Sie auf [Seite 18](#).

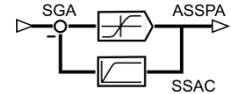


## Inhalt

<a href="#">Editorial</a>	1
<a href="#">Rückblick auf den Besuch beim SWISS Operating Center 1</a>	2
<a href="#">Comparison of different outlier filtering methods with applications to ultrasonic flow measurements</a>	3
<a href="#">SGA Förderpreis 2017</a>	18
<a href="#">IMEKO Konferenz – 19 to 21 September 2017</a>	18
<a href="#">Termine – und Infos</a>	19
<a href="#">sensors.ch – Generalversammlung 2017</a>	20
<a href="#">sensors-Besuch vom 13. Juni 2017 – OMEGA SA in Biel/BE</a>	15
<a href="#">Das internationale Einheitensystem SI im Umbruch – Jubiläumsvortrag</a>	24
<a href="#">Siebter internationaler Wettbewerb zu Applikationen der Nano-micro – Technologie / iCAN'17</a>	28
<a href="#">sensors.ch kommende Veranstaltungen</a>	30



## Rückblick auf den Besuch beim SWISS Operating Center 1 am Flughafen Zürich



Das SWISS «Operation Control Center» befindet sich im 1. Stock des Operating Centers 1, das insgesamt 9 Etagen und eine Gesamtfläche von 20'000 m<sup>2</sup> hat.

Das «Operation Control Center» bildet das Herz des SWISS Betriebes. Hier bemüht man sich einen zuverlässigen, pünktlichen, sicheren und effizienten Betrieb zu gewährleisten. Durch gute Kontakte zur Rega können auch medizinische Notfälle an Bord, die häufiger sind als von aussen angenommen, so gut und sicher wie möglich betreut werden.

Während unseres Besuches ging der Schichtwechsel völlig reibungslos über die Bühne. Nirgends gab es Probleme – alles lief in der gewünschten Routine ab.

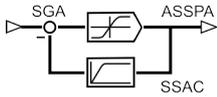
Die Uhr täuscht – am Flughafen Zürich war es bereits 14.30 Uhr, denn im Flugbetrieb wird überall UTC als Weltzeit eingesetzt.



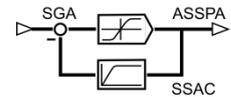
Die koordinierte Weltzeit (englisch Coordinated Universal Time, französisch Temps universel coordonné), kurz UTC, ist die heute gültige Weltzeit. Eingeführt wurde sie 1972. Aus einer Zeitangabe in UTC ergibt sich die entsprechende, in Deutschland, Österreich und anderen mitteleuropäischen Staaten geltende Mitteleuropäische Zeit (MEZ), indem man eine Stunde, und die im Sommer geltende Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ), indem man zwei Stunden addiert.



Unser Dank gilt den Herren Balemi, der den Kontakt zur SWISS hergestellt hat, Herrn Eric Natier von Seiten SWISS der den Besuch ermöglicht hat und Herrn Jean-Marc Guillet (Senior Director) der uns kurzweilig den Ablauf hinter den Kulissen geschildert hat.



## Comparison of different outlier filtering methods with applications to ultrasonic flow measurements



### Abstract

Several strategies for digital filtering of strong variations including elimination of outliers in measured data are presented and compared. The filters are applied to data from acoustic transit time measurements. The methods are however not restricted to these measurements. The data to be filtered exhibits a number of specific characteristics: first strong outliers are present due to measurement errors or high frequency random physical phenomena and second the data might contain a trend. The different filter strategies are split into separate groups: linear/nonlinear, of FIR or IIR type and applicable for on-line or off-line implementation. Among the methods considered are well-known strategies like the Grubb's filter (see appendix of IEC41 norm), MAD and clipping filters. Extensions of some of these filters are proposed. Special care has been given to the parametrization of the filters. Good results were obtained with a modification of the MAD filter: the original threshold values are made dependent on the trend in the data. This method requires the following operations:

- Trend evaluation by the method of least squares
- Sorting
- Threshold determination
- Rejection of outliers if needed
- Replacement strategy
- Low pass filtering of processed data

### Autor:

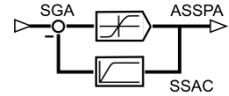
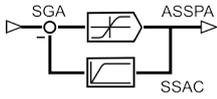
Dr. Peter Gruber  
 Grenzacherweg 116  
 4125 Riehen  
[pgconsult@gmx.ch](mailto:pgconsult@gmx.ch)

## 1. Introduction

Hydraulic efficiency measurements rely heavily on properly recorded pressure, flow, temperature and power signals. The time series of these quantities are usually corrupted by noise and outliers. For evaluating the efficiency for example, the corresponding formula is valid for quantities which are 1) low pass filtered and free of outliers and 2) correspond to a steady state or quasi-steady state condition of the plant. In some cases a trend can also be accepted for further processing of the signals. In all these cases two filtering mechanisms are crucial: the detection and removal of outliers and the detection of steady states or quasi-steady states. The following questions have to be answered: When is a recorded signal an outlier or when is it still a noisy measured value of the underlying physical process? How long can a measurement be delayed by filtering? Are the measurements used in a closed loop or are they only used for monitoring? What is known about the process and the measurement noise? The following paper deals specifically with discrete time filtering of outliers in case of constant or time varying operating conditions of the plant under inspection. The filters are split into the following classes:

- Linear non recursive (FIR) filters
- Linear recursive (IIR) filters
- Nonlinear recursive clipping filter
- Nonlinear non recursive (FIR) filters
- A novel nonlinear FIR filter for outliers in trendy data

The implementation issue of these filters will be addressed separately. Finally some of the filters will be applied to recorded flow measurement data and compared to each another. The presentation follows the report from etaeval GmbH for the hydropower plant in Wettingen, Switzerland [1].



## 2. Linear non recursive (FIR) low pass filtering

The simplest low pass filter of this kind is the moving average of length n:

$$y_k = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_{k-i} \quad (1)$$

with the corresponding z-transform of its transfer function

$$G(z) = \frac{1}{n} (1 + z^{-1} + \dots + z^{-(n-1)}) = \frac{1}{n} \frac{1 - z^{-n}}{1 - z^{-1}}$$

and frequency response:  $G(e^{j\omega T_s}) = \frac{1}{n} \frac{\sin(\frac{n\omega T_s}{2})}{\sin(\frac{\omega T_s}{2})}$   $T_s$  : sampling time

The zeros of this transfer function are at the following positions:

$$f_i = \frac{i \cdot f_s}{n} \quad i = 1, \dots, n-1$$

If a periodic signal of period T has to be suppressed by such a filter, n has to be chosen in the following way:  $n = i \cdot T / T_s = i = 1, \dots$ , which gives a minimum length filter for

$$i = 1 \text{ as: } n = T / T_s.$$

It is possible to improve the filter characteristic by cascading two such filters in series. If they have the same length n, the cascaded filter length will be doubled (2n-1). The frequency response has still the same zeros as the individual filters, but the frequencies close to the zeroes are much heavier damped.

Two such filters can also be put in parallel. The filter length of each filter can be chosen such that the individual outputs can follow different signal variations. The combination of the outputs can then be done in a linear or nonlinear way in a subsequent block.

A moving average filter is a mediocre low pass filter. To design a better filter, different design methods (see S.K. Mitra & J.F. Kaiser [2]) are available e.g. in the Matlab software environment. Here a design method for FIR filter is shown and compared to the moving average: polynomial filters R.W.Hamming [3]. As an example the filter coefficients are given for a quadratic filter of order 5,7,9 and 11:

$$\begin{aligned} n=5: g &= \frac{1}{35} [-3, 12, 17, 12, -3] \\ n=7: g &= \frac{1}{21} [-2, 3, 6, 7, 6, 3, -2] \\ n=9: g &= \frac{1}{231} [-21, 14, 39, 54, 59, 54, 39, 14, -21] \\ n=11: g &= \frac{1}{429} [-36, 9, 44, 69, 84, 89, 84, 69, 44, 9, -36] \end{aligned} \quad (2)$$

The zeros of these FIR filters are not as easily determined as in the case of the moving average. These filters can then again be cascaded if a better attenuation is required next to the zeros.

Example n=11, filter length 11 and 21, moving average and quadratic polynomial filter of 11<sup>th</sup> order



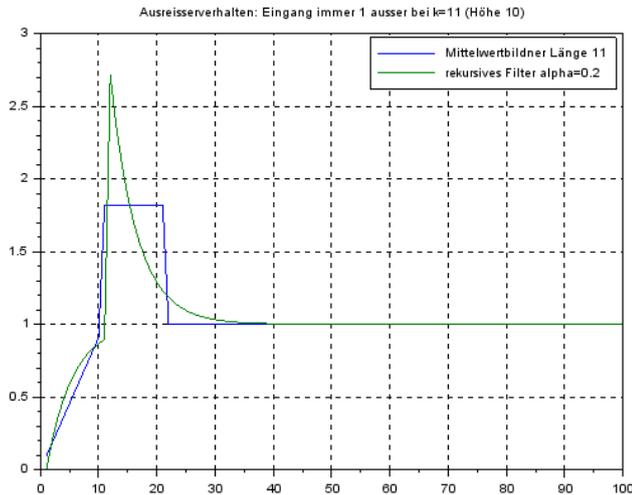
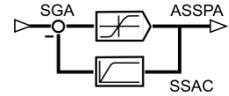
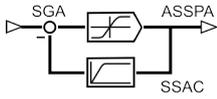


Figure 2: outlier behaviour of recursive filter of first order ( $\alpha=0.2$ ) and moving average of length 11, input as equation (3)

As can be seen in Fig. 2, the recursive filter weights the input too strong: in order to have the same effect as the moving average  $\alpha$  must be halved. Linear recursive filters of higher order may improve the situation but not substantially. What is therefore needed are nonlinear filters.

#### 4. Recursive nonlinear (Clipping) low pass filtering

If we look at the response of the recursive filter to an outlier (Fig. 2), it is clear that some kind of limiting operation helps. The clipping filter of first order can be realized by an integrator in a feedback loop (Fig. 3). If the limiter is not active, the loop acts like a linear low pass filter of first order. If however the limiter is active, the limit  $u_{\max}$  is kept and the integration speed is limited.  $u_{\max}$  and  $K$  are the two tuning parameters of the filter.

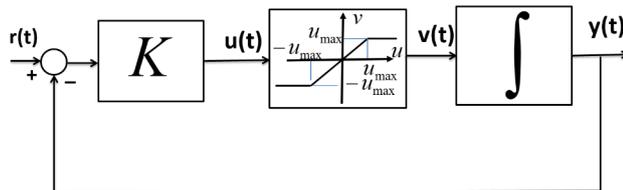


Figure 3: first order low pass filter with clipping

For the transfer function  $G(s)$  between  $r(t)$  and  $y(t)$  we can write in the linear case:

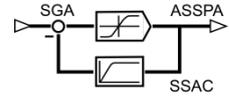
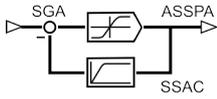
$$G(s) = \frac{K}{s + K}, \text{ with a gain 1 and a time constant of } 1/K. \text{ If the transfer function is discretized}$$

with the Euler forward rule, one obtains the first order difference equation:

$$y_{k+1} = (1 - KT_s)y_k + KT_s u_k, \text{ with } \alpha = KT_s.$$

The limiter has the following static nonlinearity:

$$v_k = f(u_k) = f(K(r_k - y_k)) = \begin{cases} u_{\max} & u_k \geq u_{\max} \\ u_k & -u_{\max} < u_k < u_{\max} \\ -u_{\max} & u_k \leq -u_{\max} \end{cases} \quad (5)$$



With equation (5), the nonlinear difference equation can be written as:

$$y_{k+1} = y_k + T_s f(K(r_k - y_k)).$$

For the same outlier case as before, the situation can be improved substantially (see Fig.4): though the filter reacts faster as in the former cases, the maximum output can be reduced to 1.2 with the tuning parameter  $K = 0.7$  and  $u_{\max} = 0.2$  ( $T_s = 1$ ).

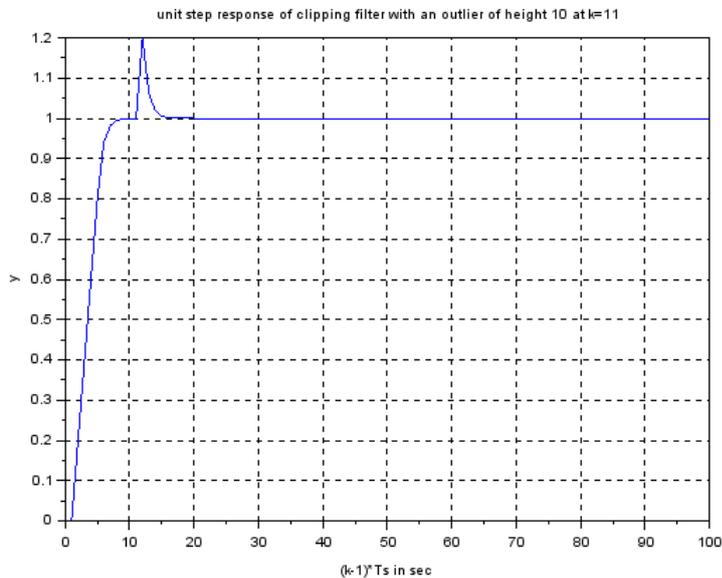


Figure 4: Clipping filter with  $K = 0,7$  and  $u_{\max} = 0,2$  ( $T_s = 1$ )

## 5. Nonlinear nonrecursive outlier-filtering

In order to eliminate outliers completely, a criteria is needed that decides if a measured value is still a valid one or an outlier. The criteria is a check of the data samples against thresholds. The filters of this class considered here are:

- 1) Median filter (median filter with fixed, MAD-filter with variable) thresholds
- 2) Standard deviation filter (Grubbs or Nalimov) with variable thresholds

### 5.1 Median-filter

For the median filter no assumptions must be made about the probability distribution of the data (normal, symmetric, one peak only, ...). The following example is an extended version of an example from H.P. Beck-Bornholdt/H.H. Dubben [4]:

**Example 1:** Given is a time series of  $n = 15$  data points (samples)  $x$ :

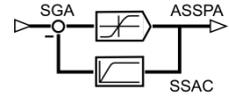
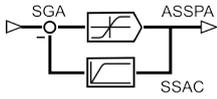
$$x = [48 \ 55 \ 35 \ 51 \ 60 \ 47 \ 75 \ 55 \ 76 \ 66 \ 87 \ 102 \ 90 \ 135 \ 168]$$

This series is now sorted in increasing order in order to determine the median value, which is defined as the one value, for which 50% of the data are lying to the left and 50% to the right. This operation is a nonlinear one because the ordering of the data is interchanged. The newly sorted list looks like

$$x_{\text{sort}} = [35 \ 47 \ 48 \ 51 \ 55 \ 55 \ 60 \ \mathbf{66} \ 75 \ 76 \ 87 \ 90 \ 102 \ 135 \ 168], \text{ with } med_x = 66.$$

Additionally we can also compute the mean and the standard deviation of the data series:

$$\text{mean: } \mu_x = 76.66 \quad \text{standard deviation: } \sigma_x = 35.96$$



### 5.1.1 Fixed number of deleted data points

The simplest way of deleting minimal and maximal values of the  $n$  samples of the time serie, is to delete the uppermost and lowest values of the sorted list  $x_{\text{sort}}$ . For  $n = 15$ , typically 2 or 3 smallest and largest values are deleted. This leads in the example to the following reduced list  $x_{\text{sort\_red}}$  of length 11 (2 samples deleted on each side):

$$x_{\text{sort\_red}} = [48 \ 51 \ 55 \ 55 \ 60 \ 66 \ 75 \ 76 \ 87 \ 90 \ 102]$$

This new data series has still the same median value of 66, but a new mean of 69,55 and a new standard deviation of 17,84. If an estimate of the mean of the new data series is required, it is possible to average over an arbitrary number of data points which are grouped symmetrically around the median value. If no averaging is applied the median value is chosen as output  $y$ , in example 1:  $y = med_x = 66$ . The other extreme case is the averaging over all values of the reduced list, in example 1:  $y = \mu_x = 76.66$ . All other symmetrical choices of number of data points (3,5,7,9) are also possible. The following questions arise by this way of deleting extreme values: How many values should be deleted on both sides of the original list? If a number of values are deleted, in what confidence interval (in %) lies the median value of the underlying population distribution inside the span of the not deleted values?

**Example 2:**  $n = 5$ . A single measurement value is per definition with a probability of 50 % larger or smaller than the median value of the underlying population distribution of the measurement values. If we pick randomly 5 independent samples of the underlying population, the chance that all 5 samples are smaller (resp. greater) than the median value is:

$$p(\forall x_i < med_x) = \left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{32} \quad \text{resp.} \quad p(\forall x_i > med_x) = \left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{32} \quad (6)$$

For the probability that the median value lies inside the range of the 5 samples one gets:

$$p(med_x \text{ inside the range}) = 1 - \frac{1}{32} - \frac{1}{32} = 0.9375$$

Or in other words: the confidence interval of the chance that the median value of the underlying population is inside the range of 5 measurement values is 93,75 %. In statistics often the 95% confidence interval is a measure for the quality of an estimate (here the test is a two sided one). Obviously this confidence interval cannot be reached with 5 samples. No sample can be deleted for the 95 % interval. If one takes a larger number, then deleting of samples is possible to get a 95 % confidence interval. The determination of the confidence interval if deleting of samples is allowed is more complex.

Example:  $n = 8$ . In analogy to (6) one obtains:

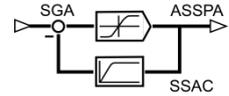
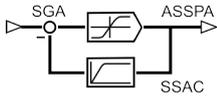
$$p(\forall x_i < med_x) = \left(\frac{1}{2}\right)^8 = \frac{1}{256} \quad \text{resp.} \quad p(\forall x_i > med_x) = \left(\frac{1}{2}\right)^8 = \frac{1}{256} \quad (7)$$

This gives a confidence interval of 99,2 %. If one extreme value is deleted, then first the probability has to be determined that one and only one out of 8 samples is larger or smaller than the median value. This probability is 8 times the probability that all 8 samples are larger or smaller than the median value

$$p(\exists x_i < med_x \text{ oder } > med_x) = 8 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^8 = \frac{8}{256}$$

The probability that the median value is inside the range of the remaining 7 values is:

$$p(med_x \text{ inside the range of 7 remainig values}) = 1 - \frac{1}{256} - \frac{1}{256} - \frac{8}{256} = 0.9609$$



This means that one extreme sample can be deleted and a confidence interval of 95% is still guaranteed. It does not matter which of the extreme value is deleted. For the confidence probability P that the median value is inside the value range of the remaining values (n = total number of samples, x = number of samples deleted at the low end, y = number of samples deleted at the high end), the following formula holds:

$$P = \frac{\sum_{i=x+1}^{n-y-1} \binom{n}{i}}{2^n}$$

Table 1 is generated by this formula.

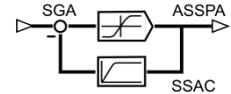
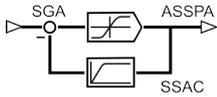
n	x	y	n	x	y	n	x	y	n	x	y
6	0	0	18	5	2	31	10	8	85	34	31
				4	4		9	9		33	32
7	0	0	19	5	4	35	12	9	91	37	32
							11	11		36	35
8	1	0	20	5	5	41	14	13	95	38	36
										37	37
9	1	1	21	6	4	45	16	14	100	41	36
				5	5		15	15		40	39
10	1	1	22	6	5	51	19	15	105	43	40
							18	18		42	41
11	2	1	23	7	4	55	20	19	111	46	41
				6	6					45	44
12	2	2	24	7	6	61	23	21		48	42
							22	22	115	47	45
13	3	1	25	7	7	64	24	23	120	50	46
	2	2								49	48
14	3	2	26	8	6	65	25	22	121	50	48
				7	7		24	24		49	49
15	3	3	27	8	7	71	28	23	123	51	48
							27	26		50	50
16	4	3	28	9	7	75	29	27		52	47
				8	8		28	28	124	51	49
17	4	4	29	9	8	81	32	29		50	50
							31	31			

Table 1: number x and y of deleted extreme values in function of sample size n for a 95 % confidence interval for the median value of underlying population to be inside reduced sample range [4]

**Example 3:** n = 11, x = 3 and y = 3. For a 95 % confidence interval x = 2 und y = 1 is required according to Table 1. The confidence interval for x = 3 and y = 3 is actually much lower:

$$P = \frac{\sum_{i=4}^7 \binom{11}{i}}{2^{11}} = \frac{\binom{11}{4} + \binom{11}{5} + \binom{11}{6} + \binom{11}{7}}{2^{11}} = \frac{\left(\frac{11!}{4!7!}\right) + \left(\frac{11!}{5!6!}\right) + \left(\frac{11!}{6!5!}\right) + \left(\frac{11!}{7!4!}\right)}{2^{11}} = \frac{2 \cdot 330 + 2 \cdot 462}{2^{11}} = 0.7734$$

That means a confidence interval of only 77 %. In case of example 1, the confidence interval of 95 % is met.



### 5.1.2 MAD-filtering: number of deleted samples dependent on data

The MAD (Median Absolute Deviation)-filter is a two stage sorting filter by which a threshold for the rejection of outliers can be found. The procedure is as following (see Menhold & al. [5]):

- 1) Sorting of samples and determination of the median value  $med_x$  as is done for the median filter.
- 2) Determination of the absolute deviations of the samples from the median value.
- 3) Sorting of the absolute deviation and determination of its median value  $absmed_x$ .
- 4) Scaling of  $absmed_x$  by a factor 1,4826 such that  $absmed_x$  is free of bias for a Gaussian statistics. The scaling can be done in other ways too, see Pearson & al. [6].
- 5) Determination of lower and upper thresholds.
- 6) Rejection of the samples if they are outside the thresholds.

**Example 1 (section 5.1):**  $x = [48 \ 55 \ 35 \ 51 \ 60 \ 47 \ 75 \ 55 \ 76 \ 66 \ 87 \ 102 \ 90 \ 135 \ 168]$

$x_{\text{sort}} = [35 \ 47 \ 48 \ 51 \ 55 \ 55 \ 60 \ 66 \ 75 \ 76 \ 87 \ 90 \ 102 \ 135 \ 168]$       $med_x = 66$

$abs(x_i - med_x) = [18 \ 11 \ 21 \ 15 \ 6 \ 19 \ 9 \ 11 \ 10 \ 0 \ 21 \ 36 \ 24 \ 69 \ 102]$

$abs_{\text{diff\_sort}} = [0 \ 6 \ 9 \ 10 \ 11 \ 11 \ 15 \ 18 \ 19 \ 21 \ 24 \ 31 \ 36 \ 69 \ 102]$

$absmed_x = 18$

Scaled value: 26,68     lower threshold:  $66 - 26,68 = 39,3$

upper threshold:  $66 + 26,68 = 92,68$

In the sorted list  $x_{\text{sort}}$  the lowest and the 3 highest values have to be eliminated (35 and 102 135 168) that means  $x = 1$  and  $y = 3$ . With the resulting  $x$  and  $y$  the 95 % confidence interval can be met ( $P = 98,19 \%$ ) It is therefore a little larger than the one obtained with the median filter with  $x = y = 3$  (see Table 1). It is obvious that for an asymmetric elimination a new median value results.

### 5.2 Standard deviation filtering: number of deleted samples dependent on mean and standard deviation

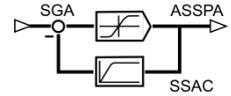
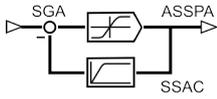
These filters are implemented as follows:

- 1) Determination of mean  $\mu$  and variance  $\sigma^2$  resp. standard deviation  $\sigma$  of  $n$  samples.
- 2) Determination of  $g_{\text{crit}}$  (Grubbs Table 2) resp.  $q_{\text{crit}}$  (Nalimov Table 3) for a given  $n$  or  $f = n-2$
- 3) Determination of the quantities ( $n > 2$ )  $g_i$  and  $q_i$

Grubbs:  $g_i = \frac{|x_i - \mu|}{\sigma}$  for all samples  $x_i$

Nalimov:  $q_i = \frac{|x_i - \mu|}{\sigma} \sqrt{\frac{n}{n-1}}$  for all samples  $x_i$

- 4) Check of all  $g_i$  and  $q_i$  values against the thresholds  $g_{\text{crit}}$  and  $q_{\text{crit}}$  for a given  $\alpha$  listed in Tables 2 and 3 and removal if necessary. In the case of the Grubbs test [7] the maximal identified outlier has to be removed and a new test is carried out with  $n-1$  samples. This is repeated until no outliers are detected anymore.



n	$g_{crit}$ $\alpha=0.05$	$g_{crit}$ $\alpha=0.01$	n	$g_{crit}$ $\alpha=0.05$	$g_{crit}$ $\alpha=0.01$	n	$g_{crit}$ $\alpha=0.05$	$g_{crit}$ $\alpha=0.01$
3	1.1543	1.1547	15	2.5483	2.8061	80	3.3061	3.6729
4	1.4812	1.4962	16	2.5857	2.8521	90	3.3477	3.7163
5	1.7150	1.7637	17	2.6200	2.8940	100	3.3841	3.7540
6	1.8871	1.9728	18	2.6516	2.9325	120	3.4451	3.8167
7	2.0200	2.1391	19	2.6809	2.9680	140	3.4951	3.8673
8	2.1266	2.2744	20	2.7082	3.0008	160	3.5373	3.9097
9	2.2150	2.3868	25	2.8217	3.1353	180	3.5736	3.9460
10	2.2900	2.4821	30	2.9085	3.2361	200	3.6055	3.9777
11	2.3547	2.5641	40	3.0361	3.3807	300	3.7236	4.0935
12	2.4116	2.6357	50	3.1282	3.4825	400	3.8032	4.1707
13	2.4620	2.6990	60	3.1997	3.5599	500	3.8631	4.2283
14	2.5073	2.7554	70	3.2576	3.6217	600	3.9109	4.2740

Table 2: thresholds according to Grubbs:  $\alpha$  corresponds the 1-0.01\*(confidence interval in %)

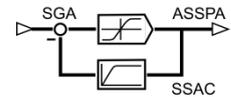
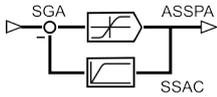
f	$q_{crit}$ $\alpha=0.05$	$q_{crit}$ $\alpha=0.01$	$q_{crit}$ $\alpha=0.001$	f	$q_{crit}$ $\alpha=0.05$	$q_{crit}$ $\alpha=0.01$	$q_{crit}$ $\alpha=0.001$
1	1.409	1.414	1.414	19	1.936	2.454	2.975
2	1.645	1.715	1.730	20	1.937	2.460	2.990
3	1.757	1.918	1.982	25	1.942	2.483	3.047
4	1.814	2.051	2.178	30	1.945	2.498	3.085
5	1.848	2.142	2.329	35	1.948	2.509	3.113
6	1.870	2.208	2.447	40	1.949	2.518	3.134
7	1.885	2.256	2.540	45	1.950	2.524	3.152
8	1.895	2.294	2.616	50	1.951	2.529	3.166
9	1.903	2.324	2.678	100	1.956	2.553	3.227
10	1.910	2.348	2.730	200	1.958	2.564	3.265
11	1.916	2.368	2.774	300	1.958	2.566	3.271
12	1.920	2.385	2.812	400	1.959	2.568	3.275
13	1.923	2.399	2.845	500	1.959	2.570	3.279
14	1.926	2.412	2.874	600	1.959	2.571	3.281
15	1.928	2.423	2.899	700	1.959	2.572	3.283
16	1.931	2.432	2.921	800	1.959	2.573	3.285
17	1.933	2.440	2.941	1000	1.960	2.576	3.291
18	1.935	2.447	2.959				

Table 3: thresholds according to Nalimov [8]:  $\alpha$  corresponds the 1-0.01\*(confidence interval in %)

**Example 1 (section 5.1):**  $n = 15$ , threshold Grubbs: 2,55      threshold Nalimov: 1,923  
 $g = [1,15 \ 0,82 \ 0,79 \ 0,71 \ 0,60 \ 0,60 \ 0,46 \ 0,29 \ 0,04 \ 0,01 \ 0,28 \ 0,37 \ 0,70 \ 1,62 \ 2,54]$

That means, Grubbs criteria identifies no outlier, Nalimov criteria identifies one.

The methods based on mean and standard deviation are less robust in removing outliers because the quadratic deviations make the thresholds larger. Only the worst outliers can be removed.



## 6. On-line implementation of the filters

If the filter is implemented in an on-line measurement system, the crucial question is how fast (with what time delay) a valid output  $y$  of the filtered data has to be generated. If the  $y$  is used purely for monitoring and off-line post processing, the delay can be larger as in the case of alarming or if the  $y$  is fed back in a closed loop control application.

### 6.1 Cleaning data first («off-line strategy»)

For purely measurement applications the following procedure for implementing an outlier filter can be used in the following way. At each time step the procedure is:

- 1) The oldest measurement value is discarded from the list and replaced with the newest sample.
- 2) Sorting algorithms (median values) are performed and/or statistical quantities of the new list are determined.
- 3) The thresholds are determined based on the quantities obtained from point 2).
- 4) The elimination of outliers which are beyond the thresholds is performed.
- 5) The remaining samples are filtered (average, low pass, median value) and the output  $y$  is generated.

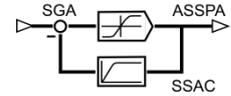
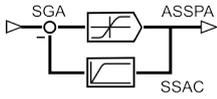
The strategy of this implementation is that first the data of the old list are updated and cleaned resulting in a new list. Then the thresholds are computed. The newest sample is then checked against the new thresholds. This filter reacts slower compared to the implementation below, but has an inherent filtering mechanism.

### 6.2 Output generation first («on-line strategy»)

For control applications the output  $y$  of the measured value has to be generated fast. Therefore the following implementation strategy is applied at each time step:

- 1) The new incoming measurement value is compared to the thresholds obtained from the old  $n$  samples.
- 2) If the new measurement value is not identified as an outlier, it will be directed straight to the output  $y$ . The output can then be further low pass filtered if needed.
- 3) If the new measurement value is identified as an outlier, then it is discarded and the new output  $y$  is set as:
  - old median value
  - average of old samples
  - old output value.
- 4) In all cases the oldest sample of the old list is then eliminated and is replaced by the new sample.
- 5) Sorting algorithms (median values) and/or statistical quantities of the new list is performed.
- 6) The thresholds are determined based on the quantities obtained from point 5).

This strategy generates first an output and processes afterwards the necessary steps for adjusting the thresholds. Therefore the delay of the output  $y$  is small.



### 6.3 Initial conditions of filter

The filter memory is continuously filled up until the n delays are occupied. During this initialisation phase the output y is determined as the average of the already filled values. If the initialisation is complete the above procedures start. The length n of the filter is dependent on the application. If periodic components in the measurement signal should be filtered by the above filters, then n has to be adjusted accordingly.

## 7. Outlier filtering for trendy data

If time series show a trend, then it makes sense to adjust the threshold along the time window. With a least square estimate of offset and slope along the n samples of the time window, the trend can be found. For the samples  $x_i$  at times  $t_i$ ,  $i=1, \dots, n$ , the slope is given by:

$$\text{slope} = \frac{n \cdot \sum_{i=0}^{n-1} t_i x_i - \sum_{i=0}^{n-1} t_i \sum_{i=0}^{n-1} x_i}{n \cdot \sum_{i=0}^{n-1} t_i^2 - \left( \sum_{i=0}^{n-1} x_i \right)^2} \quad \Delta t = t_{i+1} - t_i$$

The newly proposed on-line filtering mechanism for trendy data is now for each time step as follows:

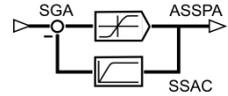
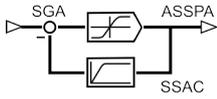
- 1) The new incoming measurement value is compared to the thresholds at the end of the window length n obtained from the old n samples.
- 2) If the new measurement value is not identified as an outlier, it will be directed straight to the output y. The output can then be further low pass filtered if needed.
- 3) If the new measurement value is identified as an outlier, then it is discarded and the new output y is set as old output value.
- 4) The oldest sample of the old list is then eliminated and is replaced by the newest sample.
- 5) The slope (trend) of the updated n samples of the new list is determined.
- 6) MAD procedure (see section 5.1.2) including upperMAD and lowerMAD threshold determination is performed.
- 7) The upper and lower thresholds are adjusted along the window length n by the following adjustment:

$$\begin{aligned} \text{upper}(i) &= \text{upper}_{MAD} + k \cdot \text{slope} \cdot (i-1)\Delta t \\ \text{lower}(i) &= \text{lower}_{MAD} + k \cdot \text{slope} \cdot (i-1)\Delta t \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad 0 < k < 1$$

Similar procedures could be derived for the thresholds of other outlier filters as the Grubbs filter.

## 8. ADM flow measurement example

The example is taken from [1]. The flow measurement signal in this application is supposed to be used in a feedback loop for regulating the flow through a Kaplan turbine. The measurement samples are updated with a sampling time of 0,2 sec and later decimated to 1 sec. The time delay of the signal should be kept due to the feedback a small as possible. Therefore only filters of the on-line type are applied. Two time series are examined:



1) Start up of the turbine which means with a trend in the data: the flow is increased from 0 to 27 m<sup>3</sup>/s. The outlier filter has to be tuned such, that the increase (trend) of the flow is not treated as an outlier. If the original data are analysed, some periodic components can be detected during the time intervals where no or only as small flow increase is recognizable. These periodic components have to be suppressed additionally by the filtering process. As the original data did not show any strong outliers, outliers were added artificially at t = 220, 350 and 535 (double) sec (see Fig. 5).

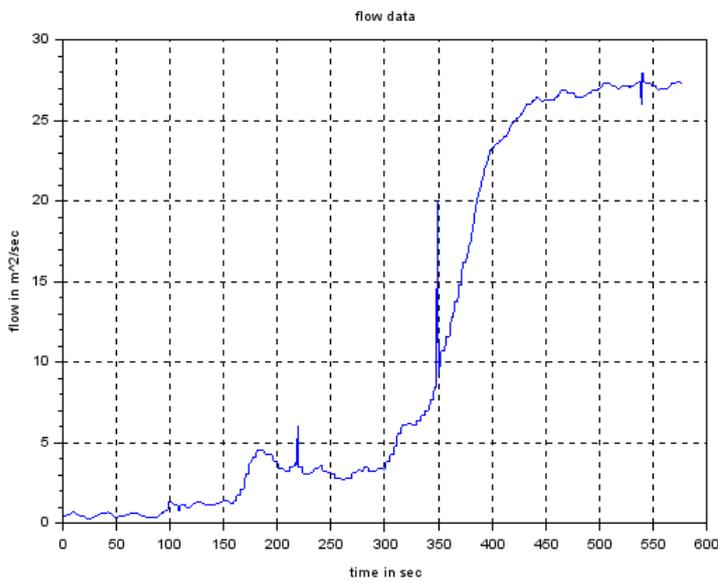


Figure 5: real start up flow data corrupted by three artificial outliers

2) Turbine in quasi steady state operation with real outliers at t = 1830 until 1840 sec (Fig. 6). There is an unexpected drop of more than 15 % which has to be eliminated as unwanted outliers.

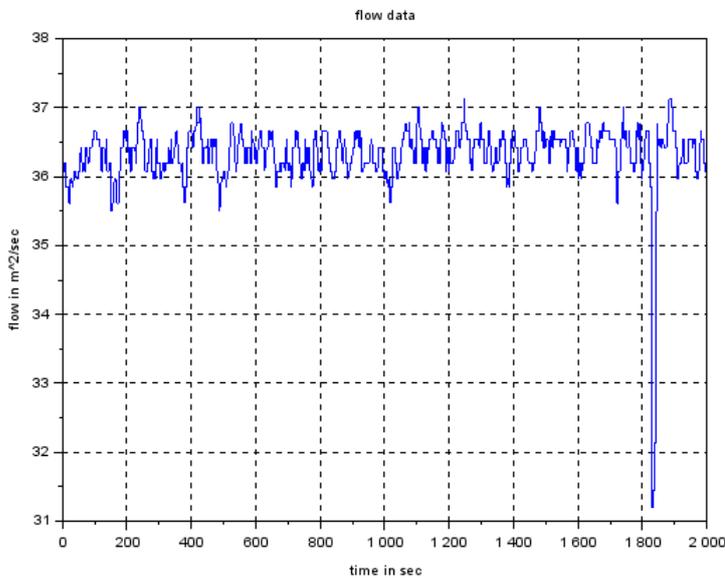
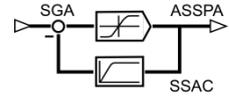
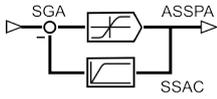


Figure 6: quasi-steady state flow data corrupted by real outliers



Different on-line outlier filters are applied to both situations:

- Median filter of filter length  $n = 15$ , with fixed number of deleted samples left and right (3, 3) and averaging over remaining 9 samples
- Moving average of length  $n = 15$
- Clipping filter with  $K = 0.2$  and  $u_{\max} = -u_{\min} = 0,5$
- trend MAD on-line: Trend filter with MAD filtering (length  $n = 15$ ),  $k = 0.2$

The filter parameters (same values for both cases) have been chosen such that the outliers are removed as good as possible, periodic components dampened, the delay in following the ramp never exceeds 20 seconds and the quasi steady state is filtered.

### 8.1 Turbine start up

The artificial outliers could all be suppressed by the four outlier filtering methods (see Fig. 7 and Fig. 8). The median fix on-line filter and the MAD on-line filter both have problems with following the steep changes. A tendency to keep the old value dominates the behaviour. This could be changed if the filters are tuned specifically for this situation. Clipping and the moving average have an inherent time delay in all situations.

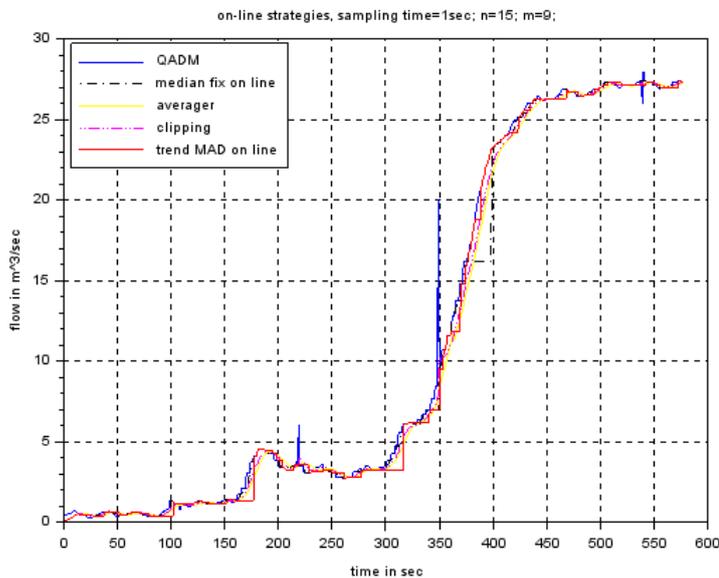


Figure 7: outlier filter behaviour for turbine start up.

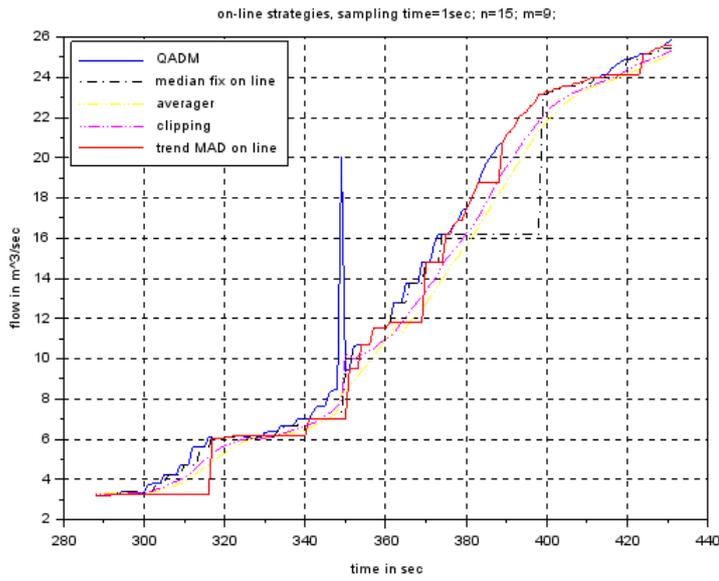
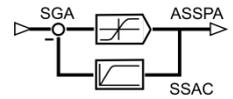
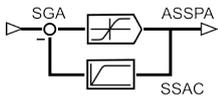


Figure 8: Zoom of Fig. 7 from 290 to 430 sec

## 8.2 Quasi steady state operation

For this situation all on-line filters behave well in following the signal in normal conditions. At the time of the outlier the trend MAD on-line filter is capable to suppress the signal sufficiently. The cost of this positive benefit is the tendency of this filter to stay inert (long periods of constant output signal y).

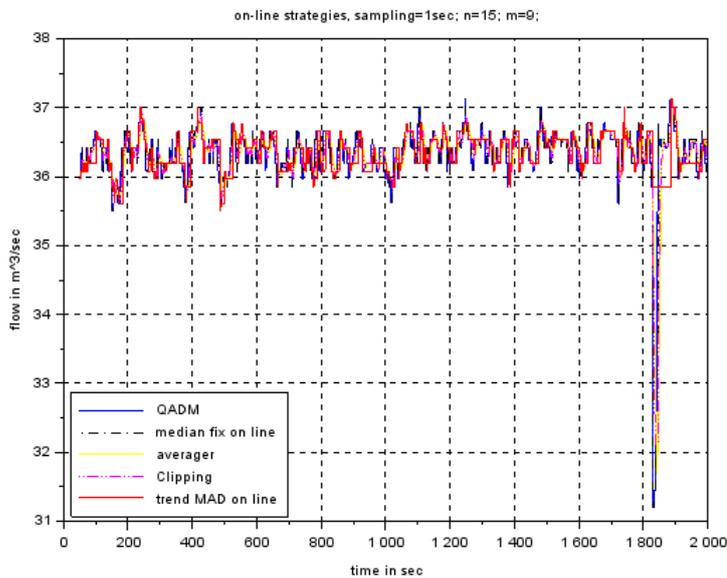


Figure 9: Outlier filter behaviour in quasi steady state

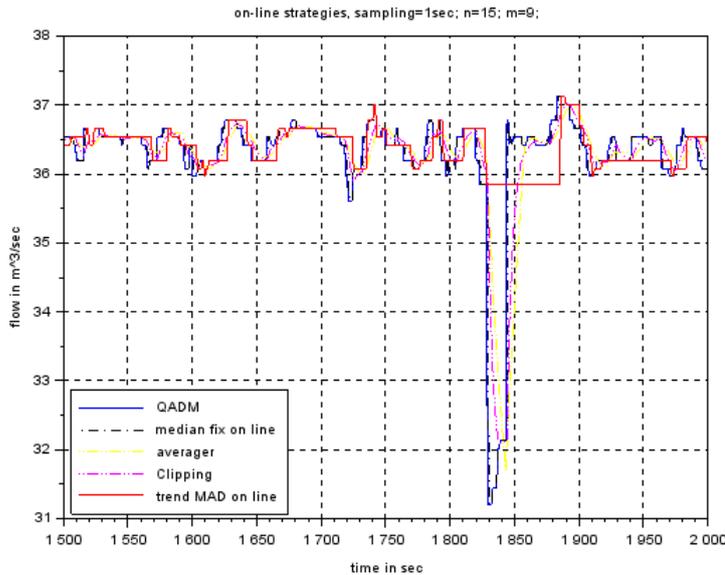
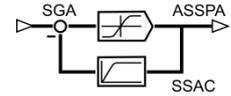
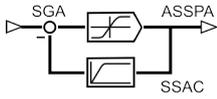
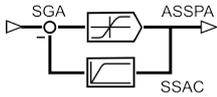


Figure 9a: Zoom of Fig. 9  
from 1500 to 2000 sec

## 9. Conclusions

For on line applications it is recommended to use filters based on «on-line strategies» only. If the filters should work in quasi steady state conditions and for trendy conditions then a compromise has to be chosen between outlier rejection ability and ability of following signal variations. The proposed trendy MAD on-line filter seems to be a good choice for these applications. This filter can also be tuned in for more efficient way if it is used in specific situations. This is only partially true for the other filters.

- [1] P. Gruber: Outlier-Filterungsmethoden mit Anwendung auf Ultraschall-Durchflussmessdaten, erweiterte Version, etaeval Bericht 2015-10, 2015
- [2] S.K. Mitra, J.F. Kaiser: Handbook for digital signal processing, John Wiley & sons, 1993
- [3] R.W. Hamming: Digital Filters, Prentice Hall 1977
- [4] H.P. Beck-Bornholdt/H.H. Dubben: Der Hund, der Eier legt, rororo Sachbuch 61154, 2006
- [5] P.H. Menhold, R.K. Pearson, F. Allgöwer: On-line outlier detection and removal, MED99
- [6] R.K. Pearson, Y. Neuvo, J. Astola, M. Gabbouj: The Class of Generalized Hampel filters, 23rd European Signal Conference (EUSIPCO), 2015, Nice
- [7] IEC41: Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines, Appendix B, p. 353, 1991
- [8] L. Sachs: Angewandte Statistik, 4. Auflage, Springer Verlag 1973



## SGA Förderpreis 2017

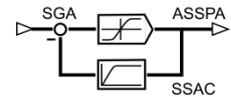
Wie in den vergangenen Jahren schreibt die SGA auch 2017 wieder einen Förderpreis aus. Der Preis wird vergeben an Bachelor- und Master-Arbeiten, die innovativ, sowie praxis- oder theorierelevant sind und die den Bereich der Regelungstechnik oder systemtheoretische Aspekte der Messtechnik abdecken.

Die Rahmenbedingungen entnehmen Sie bitte den auf der SGA Webseite unter [www.sga-asspa.ch](http://www.sga-asspa.ch) zum Download bereit stehenden PDF Dateien: «Preis Ausschreibung 2017 D.pdf» und «SGA Fragebogen 2017.pdf»

L'Association Suisse pour l'Automatique (ASSPA) propose de nouveau un prix pour le meilleur projet de Bachelor pour la meilleure thèse de Master.

Le prix est attribué au travail de Bachelor et de Master répondant au mieux aux critères suivants: innovant, pertinent au point de vue théorique ou pratique, dans le domaine du réglage automatique ou comportant des aspects théoriques de systèmes dans la technique de mesure.

Détails des documents voir: [www.sga-asspa.ch](http://www.sga-asspa.ch) «Annonce prix ASSPA 2017.pdf» et «ASSPA questionnaire 2017.pdf».



Einsendeschluss:  
5. Oktober 2017

Info unter:  
[www.sga-asspa.ch](http://www.sga-asspa.ch)

## IMEKO Konferenz – 19 to 21 September 2017

Measure today and Create the future with CIM 2017

The CIM 2017, International Metrology Congress, will be held, from 19 to 21 September in Paris (France).

The CIM is a unique crossroads between R&D and industrial applications for all actors and all fields: industrial end-users of measurement equipments, technical experts, public and private laboratories, manufacturers and service providers.

The Congress allows to:

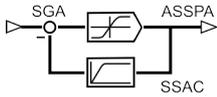
- improve your measurement, analysis and test processes, whilst reducing any inherent risks,
- explore evolutions in techniques, R&D progress and learn more about practical industrial applications.

The major topics are: metrology 4.0 and factory of the future, new ISO 17 025, metrology for biology, health and pharmaceuticals, new developments in energy, nanotechnologies ...

The CIM 2017 is co-organised with ENOVA Paris, the reference exhibition for technologies in Electronic, IoT, Measurement, Vision and Optic.

Programme and more information on [www.cim2017.com](http://www.cim2017.com)



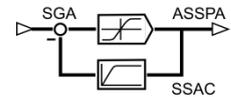


## Termine – Links IFAC

Infos zu allen Veranstaltungen der IFAC können Sie direkt auf der SGA Webseite entnehmen. Es sind alle IFAC News aufgeschaltet.

Sollten Sie die Mails, mit denen wir Ihnen jeweils die IFAC News als PDF weiterleiten nicht mehr griffbereit haben, finden Sie diese auch auf unserer Webseite unter:

[www.sga-asspa.ch](http://www.sga-asspa.ch)



## Termine – IMEKO

Infos und Daten zu allen IMEKO Events entnehmen Sie bitte der [IMEKO Webseite](#)  
Bitte beachten Sie auch die Konferenztermine auf Seite 11.

## swissT.net

Auszug aus Inside Nr. 1/17

«MAS Automation Management

*Der Master ob Advanced Studies in Automation Management vermittelt in einem praxisnahen Lehrgang die notwendigen Kernkompetenzen einer projektleitenden Ingenieurs. Er bereitet die Studierenden auf die heutigen und künftigen Herausforderungen in der Automatisierungstechnik in einem globalen Umfeld vor. Der MAS wird an der Hochschule für Technik FHNW zusammen mit swissT.net und Partnerschulen in der ganzen Schweiz durchgeführt.»*

Nächster Start 4.9.2017  
[www.masam.ch/](http://www.masam.ch/)

## Rückblick SGA Generalversammlung – 20.6.2017

Im Anschluss an den Besuch bei der SWISS im Operating Control Center am Flughafen Zürich wurde im ref. Kirchengemeindezentrum in Kloten die Generalversammlung 2017 abgehalten. 20 Mitglieder haben daran teilgenommen.

Das Protokoll ist diesem Bulletin angehängt – wir bitten um Kenntnisnahme.



## Administration

Sollten Sie inzwischen eine E-Mail Adresse haben oder hat sich Ihre E-Mail Adresse geändert, so sind wir Ihnen dankbar, wenn Sie uns dies mitteilen.

Auch bei Adressänderungen bitten wir Sie um eine kurze Info – Besten Dank im Voraus!

## Impressum

Das Bulletin erscheint dreimal jährlich und wird den Mitgliedern per E-Mail zugestellt. Es ist für PDF und Bildschirm optimiert. Die gedruckte Version erscheint daher nicht im doppelseitigen Layout.

Redaktion SGA Dr. Peter Gruber  
sensors.ch Peter Kirchofer

**Gestaltung SGA Sekretariat Christl Vogel**

**Auflage 150 Exemplare SGA + 150 Exemplare sensors.ch**

**Redaktionsschluss für Bulletin Nr. 78 – Dezember 2017**

## Herausgeber

Schweizerische Gesellschaft für Automatik  
Association Suisse pour l'Automatique  
Swiss Society for Automatic Control

## Adresse

SGA Sekretariat  
Christl Vogel  
Eggwilstr. 16a  
CH.9552 Bronschhofen  
Tel. 076 215 67 57  
[sekretariat@sga-asspa.ch](mailto:sekretariat@sga-asspa.ch)

## sensors.ch – Generalversammlung 2017

Am 13. Juni 2017 fand bei der Fa. OMEGA SA in Biel/BE die ordentliche GV von sensors.ch statt.

Der Verein begeht in diesem Jahr sein 30-jähriges Jubiläum, weshalb zum Abschluss der GV der Vortrag «Das internationale Einheitensystem SI im Umbruch» durch Rudolf Thalmann vom Eidgenössischen Institut für Metrologie, METAS (**M**etrologie und **A**kkreditierung **S**chweiz) präsentiert wurde. Im Anschluss waren alle Teilnehmer zu einem feinen Jubiläums-Nachtessen im Restaurant L'Ecluse eingeladen.

Aus der Traktandenliste der GV sind die folgenden Punkte vielleicht auch für Nicht-Mitglieder von Interesse:

### Firmenbesuche

Der Präsident stellt eine Liste der fünf im Jahre 2016 besuchten Firmen vor:

▪ TISSOT SA,	Le Locle, NE	10. Febr. 2016	mit 27 TN
▪ VOLPI AG	Schlieren, ZH	28. April 2016	mit 15 TN
▪ E+H FLOWTEC AG	Reinach, BL	14. Juni 2016	mit 21 TN
▪ TRUMPF Maschinen AG	Baar, ZG	14. Sept. 2016	mit 17 TN
▪ Institut IDIAP	Martigny, VS	03. Nov. 2016	mit 6 TN

Insgesamt nahmen im Berichtsjahr 86 Personen bei den Besichtigungen teil.

An den 139 Besuchen seit 1994 waren es total 2'200 Teilnehmer.

### Sponsoring der iCAN Contests

Der vierte «international Contest of Application in Nano-micro – Technology» (iCAN) wurde im Juli 2016 in Paris abgehalten, und von den beiden entsandten Schweizer Teams errang jenes mit dem Projekt « $\mu$ WINDfon» einen ersten Rang, jenes mit dem Projekt «MotionPilot» einen zweiten Rang.

Der fünfte internationale Contest findet im November 2017 in Beijing, China statt.

### Sensors.ch Preis 2017

Für den sensors.ch-Preis 2017 wurden nur 2 Arbeiten eingereicht und nach den Kriterien «Zieldefinition», «Originalität», «Mögliche Anwendungen», «Präsentation» und «Diskussion» von den drei Jury-Mitgliedern aus dem Vorstand beurteilt. Es wurde die Bachelor-Arbeit von Andreas Halter und Florian Neff vom Institut für Mikro- und Nanotechnologie an der NTB Interstaatlichen Hochschule für Technik Buchs mit dem Titel «Resonanter Dichtensensor aus Silizium» erkoren.

Die Arbeit wurde von Prof. Dr. Rudolf Buser und Prof. Dr. Martin Gutsche betreut. Ziel der Arbeit war es, mit einem neuartigen Sensor die Dichte von SF<sub>6</sub>-Gas in einem Hochspannungs-Schalter zu ermitteln. Der Sensor hat gegenüber bisherigen Produkten eine 7-mal höhere Sensitivität.

Eine ausführliche Darstellung zur prämierten Arbeit ist zur Publikation im nächsten Bulletin vorgesehen.

### Jubiläums-Vortrag

Zum 30-Jahr-Jubiläum des Vereins hielt Rudolf Thalmann vom METAS den Vortrag «Das internationale Einheitensystem SI im Umbruch». Der Vortrag erscheint in einem separaten Beitrag in diesem Bulletin.

**Autor:**  
Peter Kirchhofer  
Tel. 061 281 19 45 (privat)  
[peter.kirchhofer@alumni.ethz.ch](mailto:peter.kirchhofer@alumni.ethz.ch)



Bild Nr. 1: sensors.ch – GV: geschäftlicher Teil  
© Ph. Fischer



Bild Nr. 2: A. Halter und F. Neff haben den Prix Sensors vom Obmann der Jury, Erwin Schaller entgegengenommen  
© Ph. Fischer



Ausklang mit Jubiläums-Nachtessen im Restaurant L'Ecluse  
© Ph. Fischer  
Tisch 1 und Tisch 2

## sensors-Besuch vom 13. Juni 2017 – OMEGA SA in Biel/BE

Vorgängig zur Generalversammlung 2017 konnten die Vereinsmitglieder die Firma OMEGA SA besuchen. Das Unternehmen wurde durch Herrn Giampaolo Civelli, International Training Manager, anhand eines Werbe-Videos und anschliessendem Vortrag vorgestellt.

Das Unternehmen wurde 1848 durch den Uhrmacher Louis Brandt in La Chaux-de-Fonds als Uhrenmanufaktur mit seinem Namen gegründet. Nach dem Tod von Louis Brandt verlagerten 1880 seine Söhne die Produktion nach Biel, wo sie eine industrielle Fertigung der Uhren aus zugekauften Einzelteilen aufzogen. 1889 stellte die Firma mit etwa 500 Mitarbeitern jährlich 100'000 Uhren her. Im Jahr 1894 wurde eine Taschenuhr «OMEGA» so benannt, weil das  $\Omega$ -Zeichen die übergreifenden Werte der Schweizer Uhrmacher und den «letzten Schrei» auf dem Uhrenmarkt symbolisiert: Vollständigkeit, Erfüllung, Perfektion, Leistung und Exzellenz.

Nach 1903 lenkten die Nachkommen der Gebrüder Brandt das Unternehmen und entwickelten spezielle Uhren, z.B. für Sport, zum Tauchen und für die Aviatik. 1932 wurde OMEGA offizieller Zeitmesser an den Olympischen Spielen in Los Angeles und löste das bisher verwendete Zeitmessverfahren mit sechs Stoppuhren und nachfolgender Zeit-Mittelwertbildung ab.

Schon 1925 begann OMEGA die Zusammenarbeit mit TISSOT, woraus 1930 die Société Suisse pour l'Industrie Horlogère (SSIH) entstand. 1983 fusionierte die SSIH und damit auch die OMEGA mit der Allgemeinen Schweizer Uhrenindustrie AG (ASUAG) zur Société suisse de Microélectronique et d'Horlogerie SA (SMH), welche dann 1998 in Swatch Group umbenannt wurde.

Die Eignung der Materialien wird beim Einsatz in der rauen Umgebung beim Sport, in der Luftfahrt und im Weltall z.B. während der Apollo-Mission demonstriert.

Verschiedene neue Technologien wurden bei OMEGA im Laufe der Zeit entwickelt:

- 1999 koaxiale Hemmung mit zwei auf der gleichen Welle nebeneinander angeordneten Gang- oder Hemmungsräder. Dies reduziert die Reibung im Uhrwerk und erhöht dank geringerer Schmierung über einen längeren Zeitraum die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit.  
Unter folgendem Link ist das Funktionsprinzip der koaxialen Hemmung anschaulich erklärt: [www.youtube.com/watch?v=D-nLHEsUthI](http://www.youtube.com/watch?v=D-nLHEsUthI)
- 2007 Entwicklung des Uhren-Rohwerks «Kaliber 8500»
- 2008 erste Unruh aus dem komplett antimagnetischen Silizium
- 2013 erste Uhr, welche Magnetfeldern bis zu 15 Kilogauss widersteht
- 2015 METAS-Zertifizierung für Uhren
- 2017 schon 12 Kaliber von OMEGA sind COSC- und METAS-zertifiziert

Die Distribution von OMEGA-Uhren erfolgt über ein weltumspannendes Vertriebsnetz und in sorgfältig ausgewählten Luxus- und Monobrand-Boutiquen.

Im Anschluss an diese Einführung stand die **Besichtigung der METAS-zertifizierten Prüflaboratorien für die Master Chronometer** auf dem Programm.

### Autor:

Peter Kirchofer  
Tel. 061 281 19 45 (privat)  
[peter.kirchofer@alumni.ethz.ch](mailto:peter.kirchofer@alumni.ethz.ch)



Bild Nr. 1: METAS-zertifiziertes Prüflabor  
© OMEGA SA

Bild Nr. 2: Im Prüflabor wird Schutzkleidung getragen  
© Ph. Fischer

Die dort angewandten Prüfverfahren werden durch die «Contrôle officiel suisse des chronomètres» (COSC) festgelegt, der 1973 durch die 5 Uhrmacher-Kantone Bern, Genf, Neuenburg, Solothurn und Waadt, sowie dem SMH gegründeten amtlichen Schweizer Chronometer-Kontrolle. Das Prüf-Labor ist im Besitz von OMEGA und wurde durch das METAS zertifiziert.

Jeder zertifizierte Chronometer ist einzigartig und durch eine eingravierte Nummer und eine Zulassungs-Nummer von der COSC gekennzeichnet. Zusätzlich zur COSC-Zertifizierung hat OMEGA noch neue Präzisions-Standards gesetzt und kann sich dank der Zertifizierung durch METAS auf eine zweite Zertifizierung berufen.



Bild Nr. 3: Master Chronometer Zertifikat  
© OMEGA SA

Die Kontrollen bestehen aus statischen Tests im Labor. Jede Uhr wird in fünf verschiedenen Positionen und bei drei verschiedenen Temperaturen (8 °, 23 ° und 33 ° bzw. 38 °C) getestet und über 10 Tage täglichen Kontrollen unterzogen, jeden Tag, auch an Samstagen und Sonntagen. Basierend auf den Messungen werden verschiedene Ausscheidungskriterien berechnet. Wenn, und nur wenn alle Kriterien erfüllt sind, wird die Uhr zertifiziert.

Die Kriterien beziehen sich auf:

- die durchschnittliche Anzahl Ticks pro Tag
- die mittlere Abweichung der Tick-Frequenz
- die grösste Abweichung der Tick-Frequenz
- den Unterschied der Tick-Frequenz in horizontaler und vertikaler Position der Uhr
- die grössten Aussetzer beim Ticken
- die Änderung der Tick-Frequenz in Funktion der Temperatur (bei +38 °C gepaart mit häufigen Bewegungen, bei +20 °C mit wenigen Bewegungen)
- die Änderung der Tick-Frequenz nach Anlegen eines Magnetfelds von 15 Kilogauss in einem der weltweit grössten Permanent-Magnete
- die Tick-Frequenz nach dem Ablauf der Gangreserve des Uhrwerks
- Dichtigkeits-Test: die Uhr wird in Wasser eingetaucht und einem bestimmten Druck ausgesetzt. Beim anschliessenden Feuchte-Test wird die Uhr auf +50 °C erwärmt und das Uhrglas mit einem Tropfen kaltem Wasser abgekühlt. Dann darf sich auf der Glasinnenseite kein Kondenswasser bilden.

Die Lauf-Kontrollen während der Tests erfolgen durch Photographieren der Uhrzeiger-Stellungen. Diese werden mittels eines SAP-Systems protokolliert und ausgewertet.

Nach der Besichtigung der Prüf-Laboratorien stand ein **Besuch des OMEGA Museums** auf dem Programm, wo anhand verschiedener Exponate, Uhren und Szenerien eine virtuelle Reise durch die Geschichte der OMEGA ermöglicht wird.



Bild Nr. 4: Museums-Exponat «Präzisions-Rekord am Genfer Observatorium»  
© Ph. Fischer

Highlights sind die Werkbank des Gründers Louis Brandt und die Nachbildung der Szene mit den Apollo-Astronauten auf dem Mond. Zu den verschiedenen Produkte-Linien der OMEGA-Uhren sind repräsentative Teile und Uhrwerke ausgestellt. Zudem wird eine Vielzahl von Uhren von Berühmtheiten aus Politik, Sport, Wissenschaft und Wirtschaft präsentiert, welche an denkwürdige Momente des 19., 20. und 21. Jahrhunderts erinnern.



Bild Nr. 5:  
Museums-Exponat  
«OMEGA-Zeitmesser waren auf dem Mond»  
© Ph. Fischer

Firmen-Website:  
[www.omegawatches.com](http://www.omegawatches.com)

## Das internationale Einheitensystem SI im Umbruch – Jubiläumsvortrag

Im Anschluss an den geschäftlichen Teil der GV präsentierte aus dem Anlass des 30-jährigen Bestehens des sensors.ch-Vereins Rudolf Thalmann vom Eidgenössischen Institut für Metrologie, METAS das internationale Einheitensystem im Umbruch.

### Das METAS in Kürze

Das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) ist das nationale Metrologieinstitut der Schweiz. Seine Aufgabe ist die Schaffung der Voraussetzungen, dass in der Schweiz so gemessen werden kann, wie es für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft notwendig ist.

Am Standort Wabern bei Bern sind etwa 200 Mitarbeitende tätig, realisieren Masseinheiten und vergleichen diese international, beaufsichtigen das Messwesen im gesetzlich geregelten Bereich und geben Masseinheiten an Forschung, Wirtschaft und Industrie weiter.

Der Nutzen der Metrologie besteht in der Sicherung von Messwerten und Referenzdaten, Qualitätssicherung und Erforschung grundlegender Zusammenhänge zwischen Naturkonstanten.

### Autor:

Peter Kirchofer  
Tel. 061 281 19 45 (privat)  
[peter.kirchofer@alumni.ethz.ch](mailto:peter.kirchofer@alumni.ethz.ch)

### Das Internationale Einheitensystem SI (Système International)

Das SI muss international vereinbarten Ansprüchen an die Genauigkeit, Vergleichbarkeit und Stabilität genügen. Im Jahr 1791 wurde der Meter als zwanzigmillionster Teil des Erdmeridianbogens durch Paris festgelegt. 1801 wurde darauf basierend der helvetische Urmeter aus Eisen hergestellt. 1875 einigten sich 17 Gründerstaaten auf das metrische System und 1889 erhielt die Schweiz die Kopie Nr. 2 des Urmeters und die Kopie Nr. 38 des Kilogrammprototyps. Heute sind 58 Mitgliedstaaten in der Meterkonvention.



Abb. 1 links: Die Schweiz hat die Kopie Nr. 2 des Urmeters und Kopie Nr. 38 der Kilogrammprototyps © METAS

Abb. 2 rechts: Der Meridianbogen durch Paris © METAS



Abb. 3: Geschützte Aufbewahrung des Kilogrammprototyps © METAS

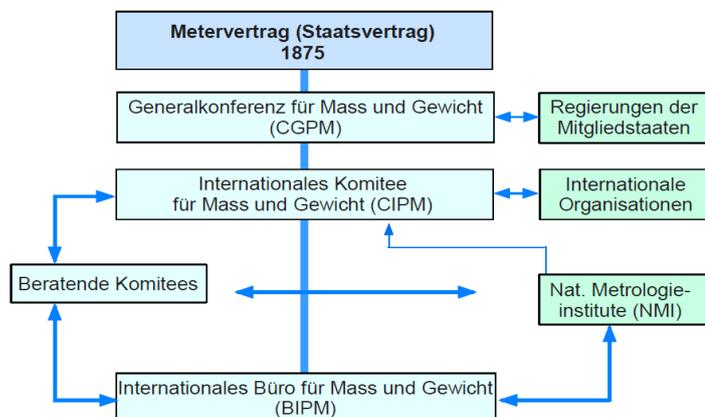


Abb. 4: Organisation der Meterkonvention © METAS

In der Folgezeit wurde das metrische System weiter entwickelt und auf andere physikalische Grössen angewandt (elektrische und optische Grössen, Zeit). 1960 umfasste das SI die 7 Basis-Einheiten Kilogramm, Meter, Sekunde, Ampere, Kelvin, Mol und Candela. Abgeleitete Einheiten bestehen aus Kombinationen der Basiseinheiten.

Der Meter (m) ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von 1/299 792 458 Sekunde durchläuft.

Das Kilogramm (kg) ist die Masse des Internationalen Kilogramm-Prototyps (IKP).

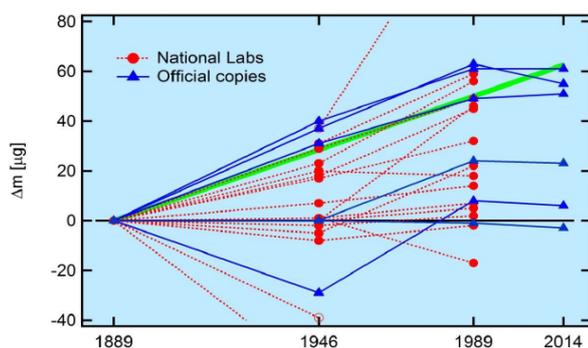


Abb. 5: Periodische Verifikation der Nationalen kg-Prototypen © METAS

Die Sekunde (s) ist das 9 192 631 770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids Cäsium 133 entsprechenden Strahlung.

Die Basiseinheit Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen Stromes, der durch zwei, im Vakuum parallel im Abstand von 1 m voneinander angeordnete, geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigen Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je Meter Leiterlänge die Kraft  $2 \times 10^{-7}$  Newton hervorrufen würde.

Die Definition des Ampere verknüpft die elektrischen Einheiten mit den mechanischen m, kg und s. Jedes Experiment, das elektrische mit mechanischen Einheiten in Verbindung bringt, ist im Prinzip für die Realisierung einer elektrischen Einheit geeignet. Die Durchführung solcher Experimente mit hoher Genauigkeit ist leider ein schwieriges Unterfangen.

Zur Zeit können die Einheiten Ohm (bzw. Farad) und die elektrische Leistungseinheit Watt (VA) am genauesten mit kg, m und s in Verbindung gebracht werden.

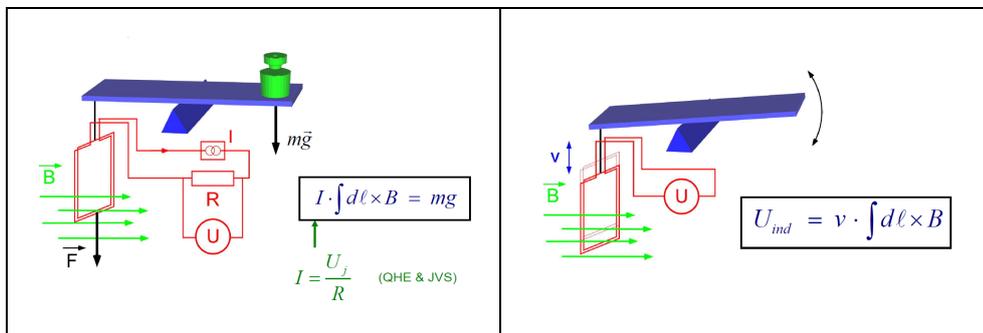


Abb. 6 links: Die Watt-Waage in der statischen Phase © METAS

Abb. 7 rechts: Die Watt-Waage in der dynamischen Phase © METAS

Das Kelvin ist der 273,16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers. Celsiusskala:  $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$

Die «Internationale Temperaturskala 1990» (ITS 90) wird festgelegt durch eine Reihe von hochstabilen Fixpunkten und vorgegebenen Thermometertypen zur Interpolation der Temperaturskala zwischen den Fixpunkten, z.B.: Tripelpunkt von Quecksilber ( $-38,8344\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), Tripelpunkt von Wasser ( $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), Schmelzpunkt von Gallium ( $29,7646\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Platinwiderstandsthermometer dienen zur Interpolation.

Die Candela (cd) ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz  $540 \cdot 10^{12}$  Hertz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung  $1/683$  Watt pro Steradian beträgt.

Das Mol (mol) ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso vielen Einzelteilchen besteht, wie Atome in  $0,012$  Kilogramm des Kohlenstoffnuklids  $^{12}$  enthalten sind.

Die 7 konventionell festgelegte Basiseinheiten sind auf Artefakt (kg), Materialeigenschaft (K) oder Naturkonstanten (m, A) abgestützt.

### Schwachpunkte des aktuellen SI

- Über die Jahre instabiles kg-Artefakt (?)  
Die verschiedenen nationalen kg-Prototypen driften unterschiedlich stark um durchschnittlich etwa  $+50 \mu\text{g} / 100$  Jahre
- Unpraktikable Ampère-Definition und Parallelsystem elektrischer Einheiten ausserhalb des SI
- Kelvin-Realisierung basiert auf Materialeigenschaft, Genauigkeit ist begrenzt durch Reinheit der Tripelpunktzelle

### Konzept für ein «neues SI»

Quantenmechanische Effekte erlauben die Realisierung von hochstabilen elektrischen Normalen:

- Josephson Effekt
- Quanten-Hall-Effekt

Naturkonstanten als Referenz: Sieben Konstanten mit *fixierten* Werten sind notwendig (entsprechend den 7 Basiseinheiten)

- Die 7 Konstanten definieren das System:
 

Sekunde	←	Cäsium 133 Atom Hyperfeinsplitting Frequenz ist $9'192'632'770$ Hz
Meter	←	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum $c$ ist $299'792'458$ m/s
Kilogramm	←	Planck Konstante $h$ ist $6,626068 \times 10^{-34}$ Joule x s
Ampere	←	Elementarladung $e$ ist $1,602176 \times 10^{-19}$ Coulomb
Kelvin	←	Boltzmann-Konstante $k$ ist $1,38065 \times 10^{-23}$ Joule / Kelvin
Mol	←	Avogadro-Zahl $N_A = 6,022141$ pro Mol
Candela	←	Lichtstärke $K_{cd}$ einer monochromatischen $540$ THz-Quelle ist $683$ Lumen pro Watt
- Daraus können mit Hilfe der physikalischen Gesetze alle Einheiten im SI realisiert werden.
- Eine Unterscheidung zwischen Basis- und abgeleiteten Einheiten ist nicht mehr notwendig (das Konzept wird jedoch aus historischen Erwägungen beibehalten).

### Herausforderung: Ersatz des kg-Artefakts (des Ur-Kilogramms)

- Bezug des kg zu Naturkonstanten
- Experimente notwendig, welche diese Beziehung mit einer relativen Genauigkeit von  $10^{-8}$  realisieren können
- Lösungsansatz A: «Von der mikroskopischen zur makroskopischen Welt...»  
→ Zählen von Atomen bzw. Dichte-Messung in einem Si-Einkristall
- Lösungsansatz B: «Beziehung zwischen elektrischen und mechanischen Grössen herstellen unter Ausnutzung der Kraftgesetze und der elektrischen Quanteneffekte.»  
→ Quanten-Hall-Effekt, Josephson Effekt bzw. Watt-Waage-Experiment zum Vergleich elektrischer mit mechanischer Leistung:  $U \times I = m \times g \times v$   
METAS hat ein solches Watt-Waage-Experiment erfolgreich aufgebaut

Der Zeitplan zur Einführung des neuen SI sieht vor, dass

- anlässlich der 26. Generalkonferenz für Masse und Gewicht;  
am 13. bis 16. November 2018 der Entscheid zur Einführung gefällt wird und
- am Welt-Metrologietag vom 20. Mai 2019 das revidierte SI praktisch eingeführt wird.

### Schlussfolgerung

- Die geplante Revision ändert und verbessert das SI grundlegend.
- Ein Satz von «definierenden Konstanten» legt das System eindeutig fest.
- Das System ist unabhängig von Experimenten:  
verbesserte Erkenntnisse und Technologien machen verbesserte Einheitenrealisierungen möglich.
- Die Realisierung ist überall möglich.
- Nach heutigem Erkenntnisstand ist das System zeitlich stabil.

**Für den Anwender ändert sich nichts,  
die Werte der Einheiten bleiben unverändert!**

## Siebter internationaler Wettbewerb zu Applikationen der Nano-micro – Technologie / iCAN'17

Der «international Contest of Application in Nano-micro – Technology» (iCAN) ist ein ursprünglich von China ausgerichteter internationaler Wettbewerb mit dem Ziel, das Interesse von Jugendlichen für die Nano-Micro-Technologie zu fördern und eine gemeinsame Plattform für Hochschulen und die Industrie zu schaffen. Die Studierenden nehmen in Teams mit 2 bis 4 Personen teil. Das Projekt jedes Teams behandelt neue Applikationen von Micro/Nano-Bauteilen, wobei am Ende jedes Projekts der Wettbewerbsjury ein voll funktionsfähiges Muster vorgeführt werden muss.

Im Bericht zum letztjährigen Wettbewerb wurde vom Autor die Anzahl der durchgeführten Wettbewerbe falsch angegeben, weshalb hier eine vollständige Auflistung aller bisher durchgeführten internationalen iCAN-Wettbewerbe publiziert sei:



Abb. 1: Einführung durch Prof. Dr. J. Brugger EPFL Chairman der Jury

Austragungsjahr:	Veranstaltungsort:
2011	Beijing, China
2012	Beijing, China
2013	Barcelona, Spanien
2014	Sendai, Japan
2015	Anchorage, Alaska, USA
2016	Paris, Frankreich
2017	Beijing, China

**Autor:**  
Peter Kirchhofer  
Tel. 061 281 19 45 (privat)  
[peter.kirchhofer@alumni.ethz.ch](mailto:peter.kirchhofer@alumni.ethz.ch)

Die Teilnehmer am internationalen Wettbewerb müssen sich vorgängig an einem nationalen Wettbewerb qualifizieren. Dieser wird von Nano-Tera, einer von der Eidgenossenschaft unterstützten Initiative zur Förderung der Zusammenarbeit von Firmen und Institutionen aus dem Gebiet der Gesundheits-, Sicherheits- und Umwelt-Technologien organisiert. Die Teilnahme am Wettbewerb steht allen Schweizer Studierenden offen. Sie müssen sich in einem Projekt-Team organisieren, basierend auf bestehenden Mikro/Nano-Bausteinen eine neuartige Applikation entwickeln und anlässlich der Jurierung vorführen.

Die Präsentation und Jurierung der neuen eingereichten Schweizer Wettbewerbsbeiträge fand am 18. Mai 2017 wiederum im Hauptquartier des Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) in Neuchâtel statt. Die Jury umfasste Personen aus Hochschulen und der Industrie.

Zuerst hatte Herr Benjamin Bonnal, Teilnehmer vom internationalen Contest 2015 in Anchorage (dort im 2. Rang) die Gelegenheit, über den weiteren Verlauf des damaligen Projekts «BeMap» (Bicycle environmental Mapping Device), einem tragbaren Gerät mit GPS und weiteren Sensoren zum kontinuierlichen Umweltmonitoring zu berichten. Ein Abstract zur Arbeit kann unter [ican-contest.ch/media/projects/BeMap-Bicycle\\_iCAN-CH\\_2015.pdf](http://ican-contest.ch/media/projects/BeMap-Bicycle_iCAN-CH_2015.pdf) eingesehen werden.

Das Team konnte «BeMap» in Brasilien an Anlässen (Ausstellungen und Mapping Parties) der SwissNex in Rio de Janeiro und Sao Paulo präsentieren. SwissNex ist eine Eidgenössische Institution zur Förderung akademischer Kontakte zwischen Wissenschaften, Künsten, Unternehmertum und Innovation ([www.swissnex.org](http://www.swissnex.org)).

Dann folgte die Vorstellung der beiden neuen eingereichten Wettbewerbsarbeiten:

- Team 1:** EPFL
- Smail Alt Bouhsain
  - Achraf Kabbabi

Betreuer: Prof. Giovanni Boero (EPF Lausanne, Laboratoire de Microsystèmes)  
Projekt: «MAPPY»

Das fundamentale Ziel des Projekts war, eine kostengünstige Einrichtung zu schaffen, welche einen unbekanntem Raum günstiger erkunden und kartographieren kann, als dies mit Kameras möglich ist.



Abb. 2: Team 1 «MAPPY»  
© Ted Byrne/FSRM

Es wurde ein Ansatz mit einem autonom sich fortbewegenden Roboter verfolgt, welcher mit Hilfe von Infrarot-Sensoren entlang der Wände sich fortbewegt, die Raumhöhe misst und dabei laufend die Koordinaten der Wände und Decke über Bluetooth zum Rechner überträgt, wo die Daten ausgewertet und in einem 3D-Bild dargestellt werden. MAPPY ist im vorliegenden Status und nach insgesamt 2 Monaten Entwicklungszeit zur Vermessung leer stehender Räume konzipiert, und es werden nur Ecken von 90° und 270° detektiert. Im Anschluss an die Präsentation wurden die Juroren vom korrekten Funktionieren von MAPPY anlässlich von Probeläufen in einem Modell-Raum überzeugt, obwohl das System geringfügige Messfehler wegen dem Schlupf zwischen den Roboterrädern und dem Boden zeigte.



Abb. 3 links: «MAPPY»  
© Ted Byrne/FSRM

Abb. 4 rechts: «MAPPY»  
beim Erkunden des  
Raumes  
© Ted Byrne/FSRM

#### Team 2: SUPSI

- Geovanny Arguello
- Jefferson Cunalata
- Fabio Arnez
- Alexander Gomez

Betreuer: Ricardo Monleone (SUPSI Institute for Systems and Applied Electronics, Laboratory for Telecom, Telemetry and High Frequency)

Projekt: «Schrödinger Box» Internet of Things for Package delivery Chain Control and Assessment

Ziel der Arbeit war es, eine kostengünstige Methode zur elektronischen Überwachung von zu transportierenden Waren (z.B. bezüglich Vibrationen, Schock, Feuchte und Temperatur) zu entwickeln. Die konsequente Überwachung erlaubt es, die Ware künftig so gut wie nötig, aber so wenig wie möglich einzupacken und dabei doch deren Unversehrtheit zu gewährleisten. Die Ware wird vom Transport-Unternehmen nach der Entgegennahme mit einem Sensor- und Datenspeichersystem (der sogenannten «Schrödinger Box», so benannt in Analogie zum vom Physiker Schrödinger beschriebenen Paradox) zusammen verpackt und begleitet die Ware bis zur Abgabe am Zielort. So wird die Lieferkette vom Anfang bis zum Ende lückenlos überwacht. In der Schrödinger Box werden nur die erfassten Rohdaten gespeichert, welche entlang der Lieferkette jederzeit über eine Bluetooth-Schnittstelle berührungslos abgefragt und in einem externen Rechner ausgewertet werden können. Um die Batterie in der Schrödinger Box zu schonen, bleibt die Bluetooth-Kommunikation ausgeschaltet und wird nur durch ein leistungsarmes RFID-Signal bei Bedarf eingeschaltet.



Abb. 5 links: Team 2  
«Schrödinger Box»  
© Ted Byrne/FSRM

Abb 6 rechts:  
Die Schrödinger Box  
© Team 2

Im Anschluss an die Präsentation ihrer Arbeiten durch die beiden Teams zog sich die Jury zur Beratung über die beste Arbeit zurück. Die Bewertung umfasste wie schon bei den bisherigen Wettbewerben folgende fünf unterschiedlich gewichtete Kategorien: Funktion, d.h. erfolgreiche Vorführung der Applikation (40 %), Originalität (20%), SW und HW – Integration (20 %), Ausführung und Ästhetik (10 %) sowie schriftliche Unterlagen und Dokumentation (10 %).

Als Gewinner wurde das Team 1 erkoren, allerdings mit der Auflage, dass zusätzliche Anwendungen für MAPPY ausgearbeitet werden und evtl. weitere Sensoren in den Roboter integriert werden. Das Team kann dann im November 2017 am internationalen Contest in Beijing die Schweiz vertreten.

Das Team 2 wurde ermuntert, beim nächstjährigen Contest mit einer neuen oder erweiterten Applikation die Schrödinger Box nochmals zu präsentieren.

Beim abschliessenden Apéro konnten die Juroren die Team-Mitglieder weiter befragen und mit ihnen auch weiterführende und neue Ideen diskutieren.

Schweizerische iCAN-Web-Site: <http://ican-contest.ch>

Internationale iCAN-Web-Site: <http://english.ican-contest.org/index.html>

2017 iCAN – Flyer: [http://ican-contest.ch/media/iCAN2017\\_CH\\_flyer\\_20161019.pdf](http://ican-contest.ch/media/iCAN2017_CH_flyer_20161019.pdf)

## Kommende Veranstaltungen

- |                  |  |
|------------------|--|
| 13. Sept. 2017   | Balluff AG, Sensortechnik, Bellmund                        |
| 25. Oktober 2017 | Sensirion, Stäfa, ZH<br>Experten für smarte Sensorlösungen |

