

Der Pfad zur Energieneutralität auf Kläranlagen



Norbert Meyer
BITControl GmbH
nm@bitcontrol.info
06569 9625511

UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG
Faculty of Science, Technology and Medicine
am 27.11.2023



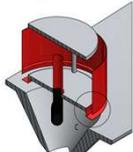
Fachplanung

Fachplanung Verfahrens-, Maschinen- und Elektrotechnik
50 Energieeffizienzstudien, Potenzialanalysen

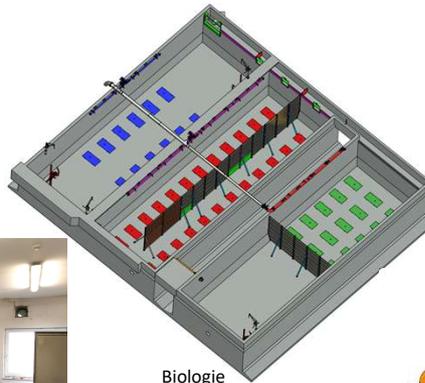
BITControl
Fachplanung & Software

BITControl GmbH
Auf dem Sauerfeld 20
54636 Nattenheim
www.bitcontrol.info

- 5 Elektrotechniker, Ingenieure
- 4 Umweltingenieure, Verfahrenstechniker
- 1 Abwassermeister
- 1 Maschinenbautechnik
- 5 Programmierer



Mittelbauwerk Asselbrunn



Biologie
Ober-Bessingen

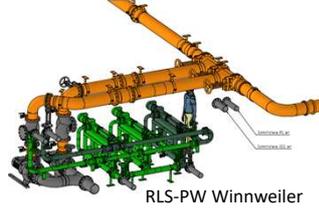
Schlammwässerung Asselbrunn



Serverschrank Mettendorf



Schaltschrank Nahetal



RLS-PW Winnweiler

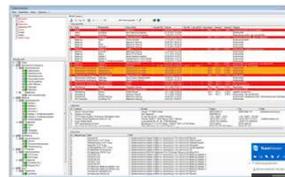
UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG am 27.11.2023

Folie 2

BITControl hat zwei Bereiche; Fachplanung und Software

Wir sind Fachplaner für Verfahrenstechnik, Maschinen- und Elektrotechnik. Da Projekte in der Abwasser- und Wasserversorgung in den allermeisten Fällen Modernisierungsprojekte im Bestand sind, müssen die Projekte fachübergreifend betrachtet werden. Das betrifft nicht nur moderne Maschinen- und Elektrotechnik. Auch das Verfahren muss immer kritisch mit betrachtet werden. Eine Modernisierung einer biologischen Stufen ist sehr oft auch mit einer Änderung des Verfahrens verbunden.

Betriebssoftware auf mehr als 130 Kläranlagen, 400 Pumpwerken, 5 Wasserversorgungen und 40 Biogasanlagen

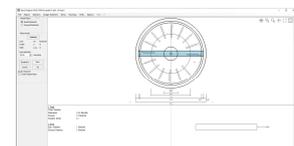


- Prozessleittechnik
- Berichtswesen
- Wartung
- Datenauswertung
- Planung von Kläranlagen
- Online Datensicherung



Perspektive:

Ein riesiger Datenschatz, als Basis für Prozesstransparenz und weiterführende Anwendungen, z.B. KI



Die beste Ausstattung nutzt nichts ohne eine gute Prozessintelligenz und Prozesstransparenz. Unsere Softwareabteilung bietet Planungs- und Betriebswerkzeuge für die Abwasserbehandlung und Wasserversorgung. Für die Planung, Überprüfung und Anpassung von Kläranlagen haben wir die Planungssoftware AQUA DESIGNER entwickelt. AQUA DESIGNER gibt es schon seit 1996. In dieser Zeit ist das Werkzeug kontinuierlich gewachsen und an den Bedarf des Planers angepasst worden. Auf mehr als 130 Kläranlagen, mehr als 400 Pumpwerken, Wasserversorgungen und 40 Biogasanlagen ist unsere Betriebssoftware, Prozessleittechnik, Wartungswerkzeug, Berichtswesen, Energieanalyse und grafische Auswertung installiert. Gerade in der aktuellen Entwicklung sehen wir das auch als einen riesigen Datenschatz und wir sind aktiv dabei, diesen Datenschatz, auch mithilfe von KI-Werkzeugen, zu heben.



UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG am 27.11.2023

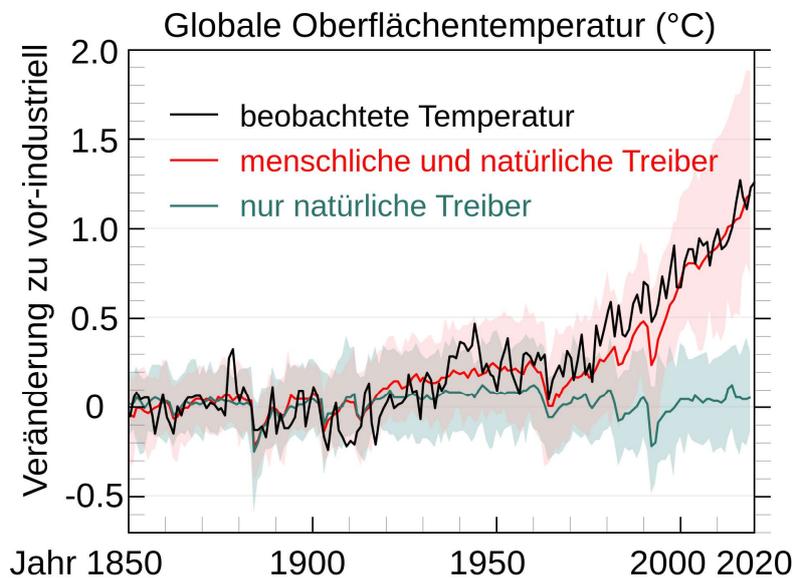
Folie 4

Besonders stolz bin ich auf unser „privates“ Energieneutralitätsprojekt. Wir haben dieses Jahr unsere 10 Parkplätze mit einer Carport-PV überdacht. Wir konnten 30 kWp auf dieser Fläche unterbringen. Seit September haben wir jetzt alle Einstellungen der bereits umgesetzten Komponenten im Griff.

Von den vier Ladestationen laden 3 Stationen nur Überschuss. Eine Station lädt immer mit voller Leistung. Wir hängen unsere Elektro und Hybrids einfach immer an. Dann laden die über die Zeit hauptsächlich wieder aus dem Überschuss voll. Das funktioniert auch jetzt, bei dem schlechten Wetter ganz gut.

Motivation

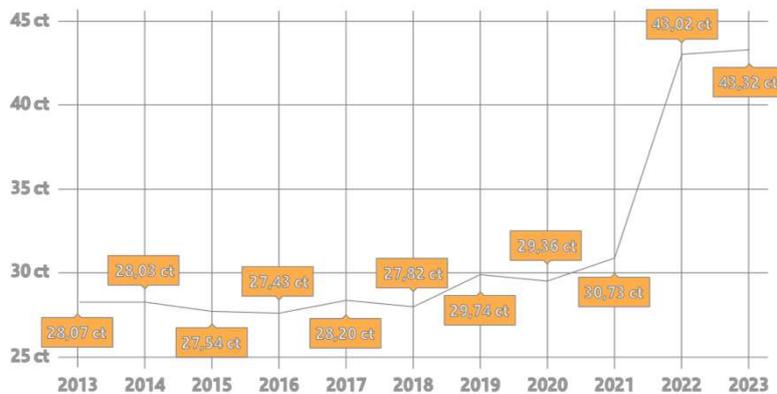
Warum beschäftigen wir uns auf Kläranlagen überhaupt mit der Energieneutralität. Dazu seien hier drei Gründe aufgeführt.



Die Grundmotivation ist natürlich die Tatsache, dass wir im derzeitigen Energiesystem weiter CO₂ in der Atmosphäre deponieren. Ein großer Teil wird von den Meeren aufgenommen und führt dort zur Versauerung. Energieneutral bedeutet, dass die CO₂-Bilanz der Kläranlagen ausgeglichen sein soll.

Strompreisentwicklung 2013 – 2023

Ø-Strompreis in ct/kWh bei einem Verbrauch von 4.000 kWh/Jahr



Quelle: verivox.de

verivox

Mit der Energieneutralität nicht zwingend verbunden, aber doch auch ein Ziel ist es, den Strombezug zu minimieren. Strom ist in den beiden letzten Jahren sehr viel teurer geworden. Das hängt nicht nur mit dem Klimawandel zusammen, mit der Tatsache, dass wir CO₂ verteuern und aus der Kohle aussteigen.

Hier spielen auch die aktuellen Krisen und die Verteuerung der von uns genutzten Energieträger eine bestimmende Rolle.



Das neue EU-Klimagesetz erhöht das EU-Emissionsreduktionsziel bis 2030 von 40 % auf mindestens 55 % gegenüber den Werten von 1990.

EU Kommunalabwasserrichtlinie, Legislativvorschlag für die Überarbeitung der kommunalene Abwasserrichtlinie (91/271/EWG)
Vierjährige Energieaudits für Kläranlagen > 100.00 EW bis Ende 2025
für Kläranlagen > 10.000 EW bis Ende 2030

Energiebilanz

> 10.000 EW	50 % erneuerbar bis 2030 100 % erneuerbar bis 2040
-------------	---

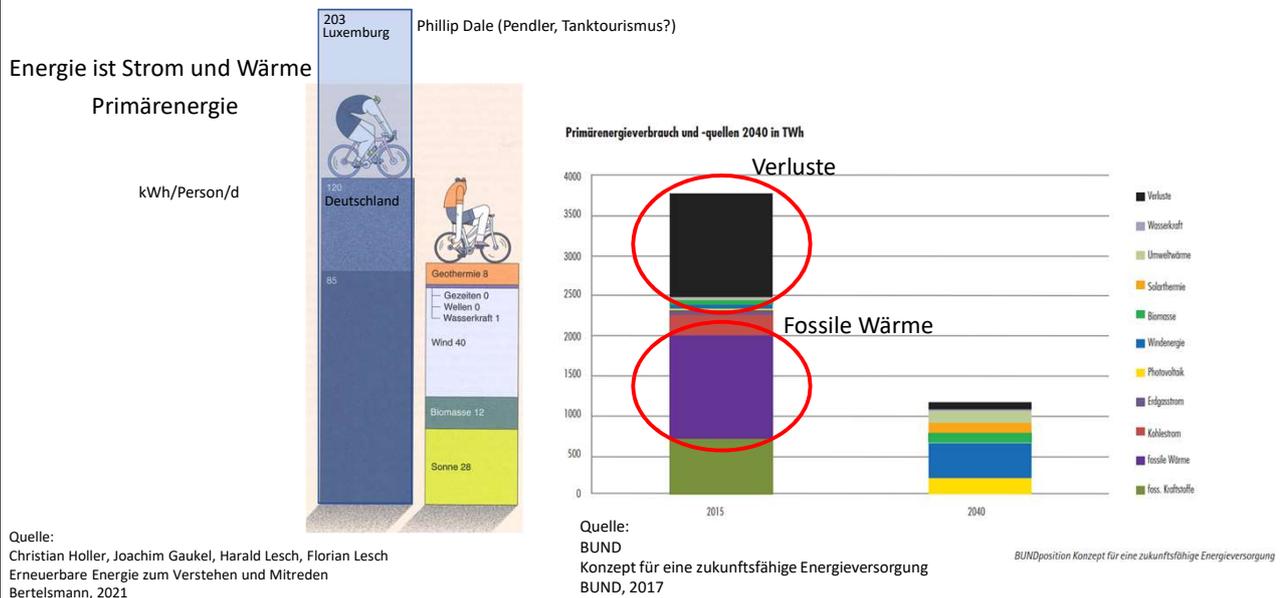
Aber auch die gesetzlichen Anforderungen an die Abwasserreinigung geben uns vor, dass wir uns auf den Weg zur Verringerung der fossilen Primärenergienutzung machen müssen.

Die Novellierung der Kommunalabwasserrichtlinie wird dahin gehen, dass konkrete Anforderungen an die Energiebilanz der Abwasserreinigung gestellt werden.

Die Situation

Wo stehen wir zur Zeit energetisch bei den Kläranlagen und wie ist das in das Umfeld eingebettet?

Hier sollen auch einige Grundbegriffe geklärt werden.



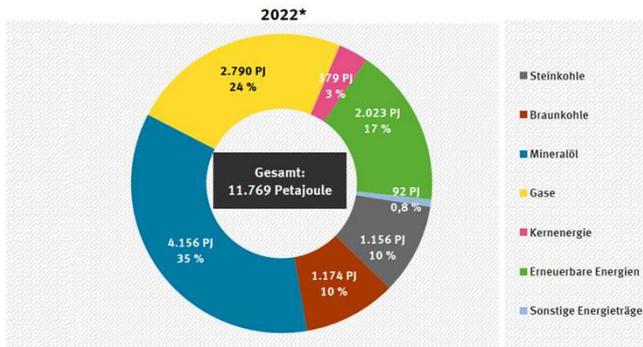
Zwischen Primärenergie und Nutzenergie besteht eine Lücke, denn die Umwandlung von Energieträgern in nutzbare Energie wie Strom und Wärme ist immer mit Verlusten verbunden. So beträgt der Primärenergiebedarf in Deutschland umgerechnet auf die Einwohner ca. 120 kWh/E/d. Hieraus entstehen dann 85 kWh/E/d an Nutzenergie. In Luxemburg beträgt der spezifische Primärenergiebedarf ca. 200 kWh/E/d. Dabei muss man sicherlich berücksichtigen, dass Luxemburg einen sehr hohen Pendleranteil und insbesondere Tankstellentourismus hat. Will man die derzeitige Nutzenergie mit regenerativem Strom ersetzen, kann von einem Wirkungsgrad von nahezu 100 % für die Strombereitstellung ausgegangen werden. So wird das z.B. in der genannten Quelle getan und dann versucht, diesen Bedarf durch regenerative Energieformen bereitzustellen.

Besonders interessant ist aber, dass wir gar nicht den ganzen Nutzenergiebedarf durch die Elektrifizierung ersetzen müssen. Die Darstellung aus BUND 2017 zeigt, dass durch die Umstellung auf ein vollständig elektrifiziertes Energiesystem auch der Nutzenergiebedarf sinkt. Das ist an der Säule 2015 sehr gut erklärbar.

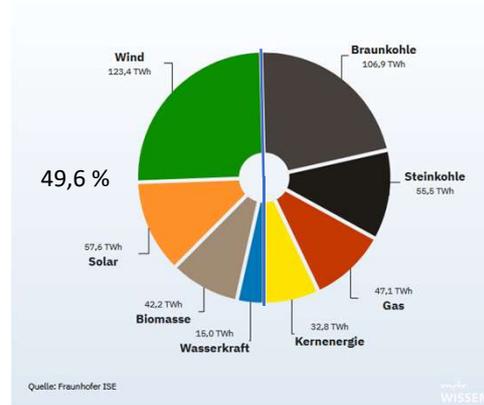
Der obere dunkle Block sind die Verluste aus der Energieumwandlung von fossilen Brennstoffen in Strom. Großkraftwerke haben einen Wirkungsgrad von ca. 43 % (Niederaußem). Der Rest, also 57 % ist Abwärme, die bei den großen zentralen Kraftwerken nur zu einem kleinen Teil durch Fernwärme genutzt werden kann.

Ein weiterer großer Block ist die Wärme. Hier beträgt zwar der Wirkungsgrad von Öl- oder Gasheizungen nahezu 100 %. Bei der Elektrifizierung und dem Einsatz von Wärmepumpen können jedoch aus 1 kWh Strom 3 – 6 kWh Wärme erzeugt werden. Bei gleichem Wärmebedarf sinkt also dann der Strombedarf deutlich. Überlagert wird das alles noch durch Energieeffizienzmaßnahmen, nicht zuletzt die Wärmedämmung, die den Strombedarf dann noch weiter sinken lässt.

Primärenergieverbrauch nach Energieträgern



Nettostromerzeugung insgesamt 2022



Einfach zur Klarstellung von Zahlen und Begrifflichkeiten sei hier „mal wieder“ der Anteil der regenerativen Energien an der Bereitstellung von Primärenergie und Stromerzeugung dargestellt. Der Transfer von Primärenergie in Nutzenergie, das heißt, zukünftig in Strom, wurde auf den vorherigen Folien dargestellt. Es wurde daraus auch deutlich, dass wir nicht den ganzen linken Kuchen durch Strom ersetzen müssen. Der größte Teil des Bedarfes an Mineralöl und Gas wird allein schon durch die Steigerung der Effizienz durch die Elektrifizierung verschwinden.

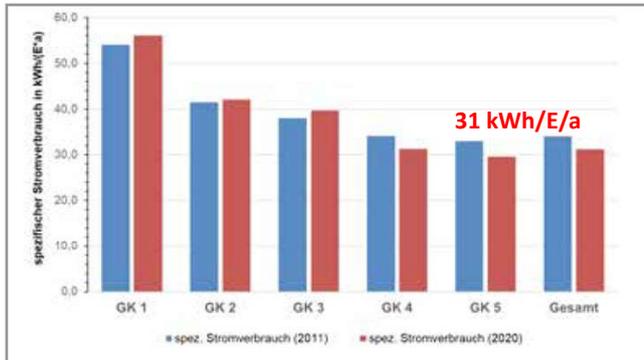


Abbildung 9: spezifische Stromverbräuche nach Größenklassen für die Jahre 2011 und 2020

DWA-Leistungsvergleich 2020

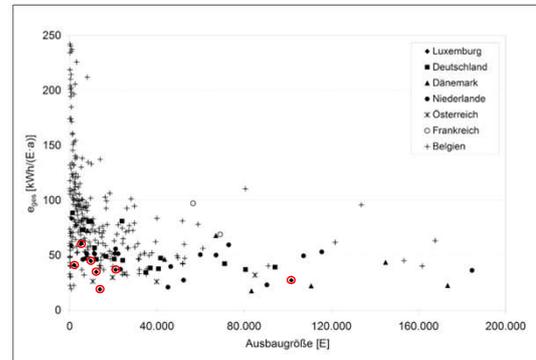


Bild 1: Gesamtstromverbrauch kommunaler Kläranlagen in Nord-West-Europa, Interreg IVB, INNERS5 [6]

Hansen, Kollisch
Zukünftige energetische Herausforderungen an kommunale Kläranlagen
Wasser, Energie und Umwelt 2017

Wie sieht die energetische Situation auf Kläranlagen aus?

Wo beginnt unser Pfad auf dem Weg zur Energieneutralität auf Kläranlagen?

Der Kennwert für den spezifischen Stromverbrauch auf Kläranlagen liegt für die Größenklassen 4,5 bei ca. 31 kWh/E/a. Luxemburg liegt im gleichen Bereich, wie eine Untersuchung von Hansen, Kollisch aus dem Jahr 2017 zeigt. Dazu sei zu sagen, dass der Kläranlagenpark in Luxemburg noch sehr jung ist und eigentlich energetisch deutlich günstiger sein sollte als die Anlagen im Nachbarland.

Der Leistungsvergleich zeigt aber auch, dass in Deutschland von 2011 bis 2020 nur sehr wenig passiert ist.

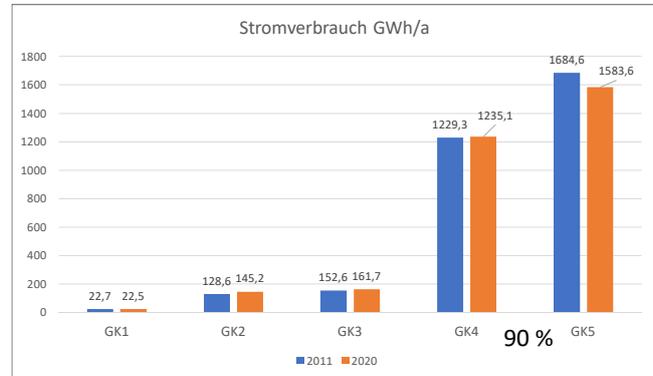
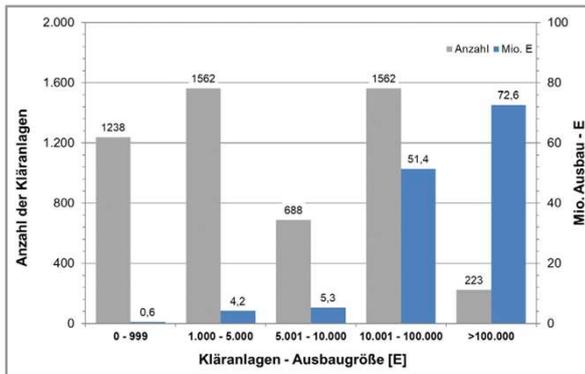


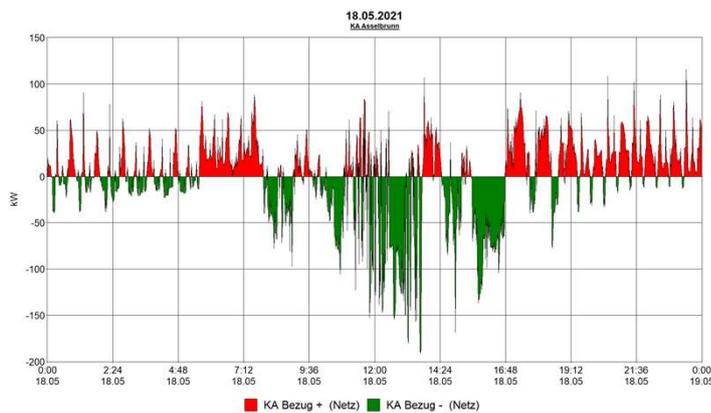
Abbildung 1: Anzahl und Ausbaugrößen der am DWA-Leistungsnachweis 2021 beteiligten Kläranlagen nach Größenklassen

Der überwiegende Teil der Einwohner in Deutschland ist an Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5 angeschlossen. Entsprechend ergibt sich hier auch der Strom- und Wärmebedarf. Bei diesen Kläranlagen stehen uns dann auch die beiden wichtigsten Komponenten der Strom-Eigenversorgung zur Verfügung. Bei den gegenwärtigen Strompreisen lohnt es sich durchaus, ab 10.000 EW die Faulungstechnologie zu prüfen. Interessant ist, dass wir bei den kleineren Kläranlagen mehr Möglichkeiten sehen, Photovoltaik zu installieren. Hier steht oft anteilig mehr Fläche zur Verfügung.

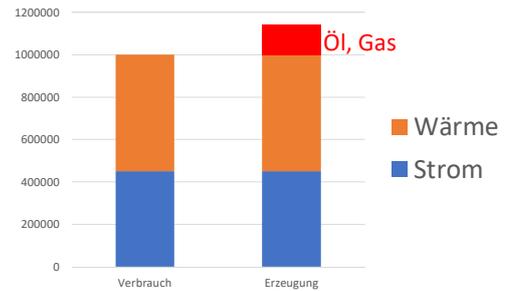
Der Weg

Schritte zur Energieneutralität

Energieneutral, nicht energieautark
Bilanzieller Ausgleich
von Bezug und Erzeugung



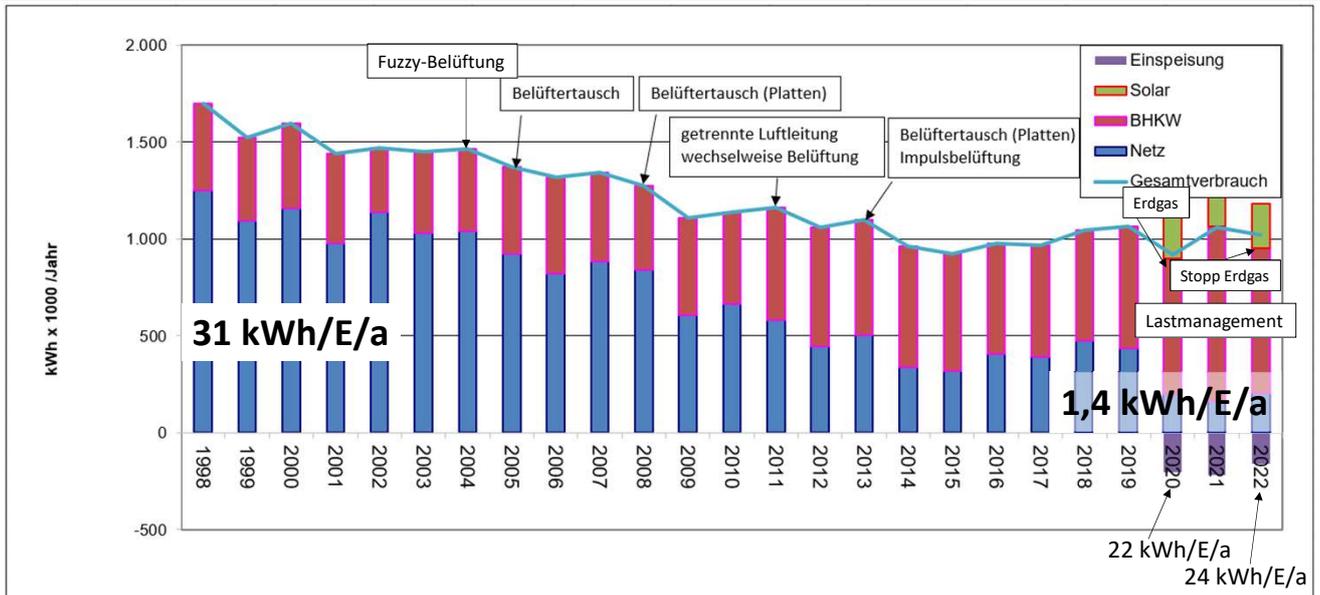
Wärmebezug in Form von Gas
oder Öl vollständig vermeiden



Strom: Energieneutralität
Wärme: Energieautarkie?

Auch hier gilt es wieder Begrifflichkeiten zu klären. Energieautarkie und Neutralität wird durchweg munter synonym gebraucht, was natürlich nicht korrekt ist. In der linken Grafik ist der Strombezug (rot) und die Einspeisung (grün) im Verlauf eines Tages dargestellt. Davon ausgehend, dass wir hier mehr Einspeisung als Strombezug haben, kann die Kläranlage (Asselbrunn) als energieneutral bezeichnet werden. Sie ist aber nicht energieautark, denn es muss immer noch Strom aus dem Netz bezogen werden. Bei der Wärme müssen wir das begrifflich genauso betrachten. Hier müssen wir aber, wenn nur Klärgas für die Heizung genutzt werden kann, die Autarkie anstreben. Auf fossile Energien soll ja gänzlich verzichtet werden.

Der Pfad zur energieneutralen Kläranlage



Wenn wir hier vom Pfad zur Energieneutralität sprechen, sei hier beispielhaft ein solcher Pfad dargestellt. In seinen einzelnen Schritten seit 2004 ist es gelungen, den bilanziellen Strombezug der Kläranlage von 31 kWh/E/a auf nunmehr 1,4 kWh/E/a zu senken. Es ist also nur noch ein sehr kleiner Schritt zur tatsächlichen Energieneutralität und wir werden auch noch sehen, dass die mögliche Maßnahme hierzu auch schon identifiziert wurde.

Referenzkläranlage Kläranlage Asselbrunn AVMM, Michelstadt im Odenwald



Vielen Beispielen, die ich hier zeige, liegen Daten der Kläranlage Asselbrunn zugrunde. Die Kläranlage sei daher kurz beschrieben. Die Kläranlage Asselbrunn hat eine mittlere Belastung von 43.000 Einwohnern. Es handelt sich um eine kontinuierlich durchflossene Belebungsanlage mit vorgeschalteter/intermittierende Denitrifikation und getrennter anaerober Schlammstabilisierung. Oben rechts sieht man eine Halle. Diese Halle wurde vom Abwasserverband erworben. Hier steht die maschinelle Schlammverwässerung und es wird zur Zeit eine Schlammverbrennung errichtet. Auf der Halle befindet sich eine PV mit 246 kWp. Die Kläranlage ist schon seit jeher sehr gut mit Messtechnik ausgestattet und es wird alles archiviert, so dass wir hier viele schöne Auswertungen durchführen können.



Hier sind die verschiedenen Schritte auf dem Pfad zur Energieneutralität aufgelistet, so wie ich sie in Ihrer Abfolge für sinnvoll halte.

Außerordentlich hilfreich bei allen Schritten ist eine gute Datengrundlage. Man sollte sich also unbedingt grundsätzlich so schnell wie möglich seine Datenbasis anschauen und beginnen, sein Messwertkataster schnell schrittweise auszubauen.

Energieeffizienzmaßnahmen lassen sich nur dann effektiv identifizieren und planen, wenn auch wirklich Daten zu den Einzelprozessen vorliegen, so dass ordentliche Energiebilanzen aufgestellt werden können.

Regenerative Energien lassen sich nur dann passend planen, wenn Lastgänge bekannt sind. Prozesse müssen gegebenenfalls angepasst werden, um Verbrauch und Erzeugung aufeinander abzustimmen.

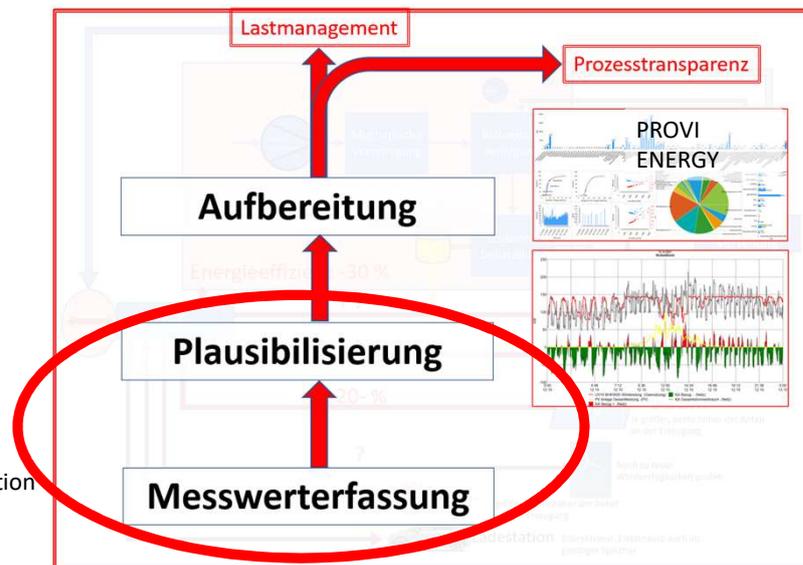
Ein Lastmanagement schließlich ist ohne eine ausreichende Datengrundlage gar nicht machbar, denn hier geht es um die Regelung der Vorgänge.

Das Fundament des Weges zur Energieneutralität ist in allen Phasen die Prozesstransparenz. Es müssen also die Voraussetzungen geschaffen werden, dass man sich den Kläranlagenprozess anschaulich und aussagekräftig visualisieren kann.

Messwarterfassung/ Prozesstransparenz

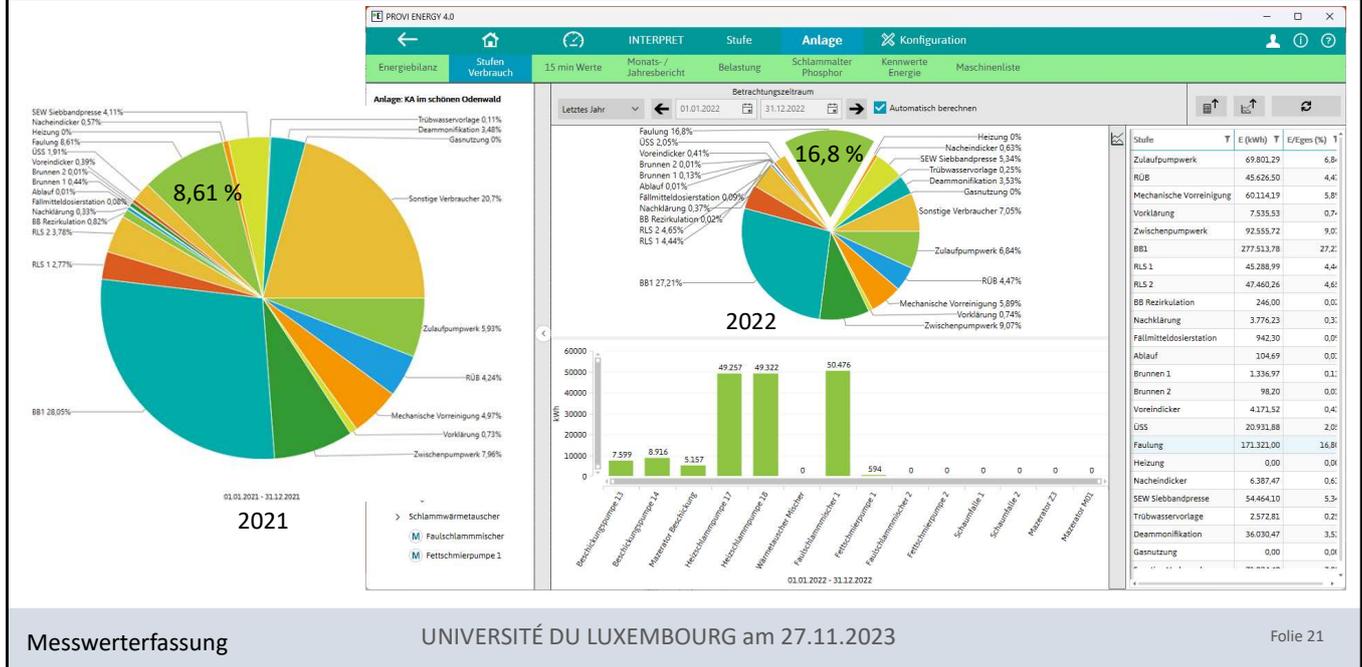
KI, Grenzwerte,
Überwachung
Meldung

Installation, Konfiguration
Übertragung



Um den Prozess transparent darzustellen, muss die Grundlage in der Messtechnik gelegt werden. Es ist sorgfältig zu analysieren, welche Messwerte, in welcher Qualität erfasst werden sollten, um den Prozess abzubilden und stimmige Energiebilanzen zu erzeugen. Dabei muss auch sichergestellt werden, dass die Messwerte die ich einrichte und dann erfasse, auch im laufenden Betrieb richtig und dauerhaft zur Verfügung stehen. Das heißt, Messfehler oder Triften oder der Ausfall einer Messung müssen erkannt werden. Hier sehen wir zur Zeit einen Schwerpunkt unserer Aktivitäten bei der Einrichtung von Energieanalysen oder bei der Einrichtung eines Lastmanagements. Ein Ansatz dabei ist, Messfehler, Triften oder Ausfälle mithilfe von KI automatisch zu erkennen und zu melden. Fehlende Daten können dann auch automatisch durch Ersatzwerte aufgefüllt werden.

Prozestransparenz als Grundlage eines effizienten Betriebes

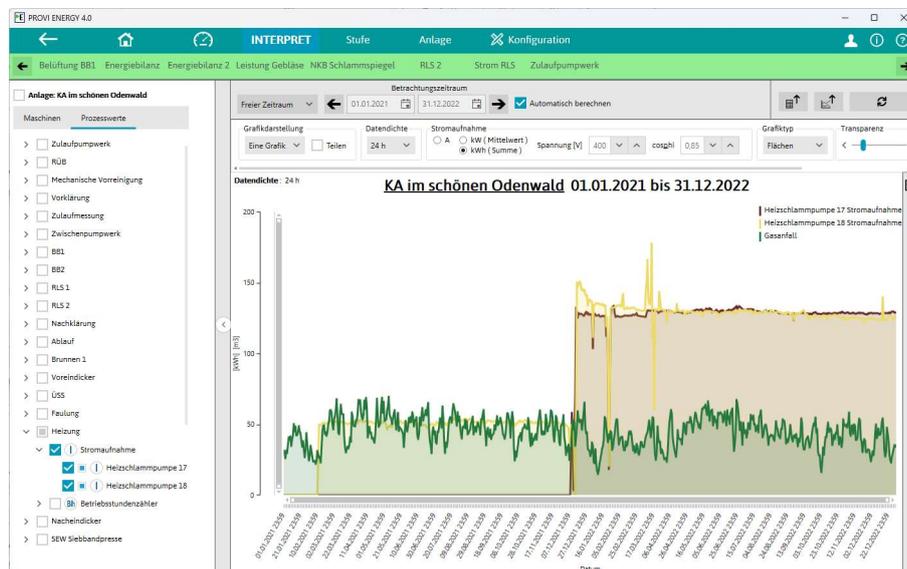


Messwertertfassung

UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG am 27.11.2023

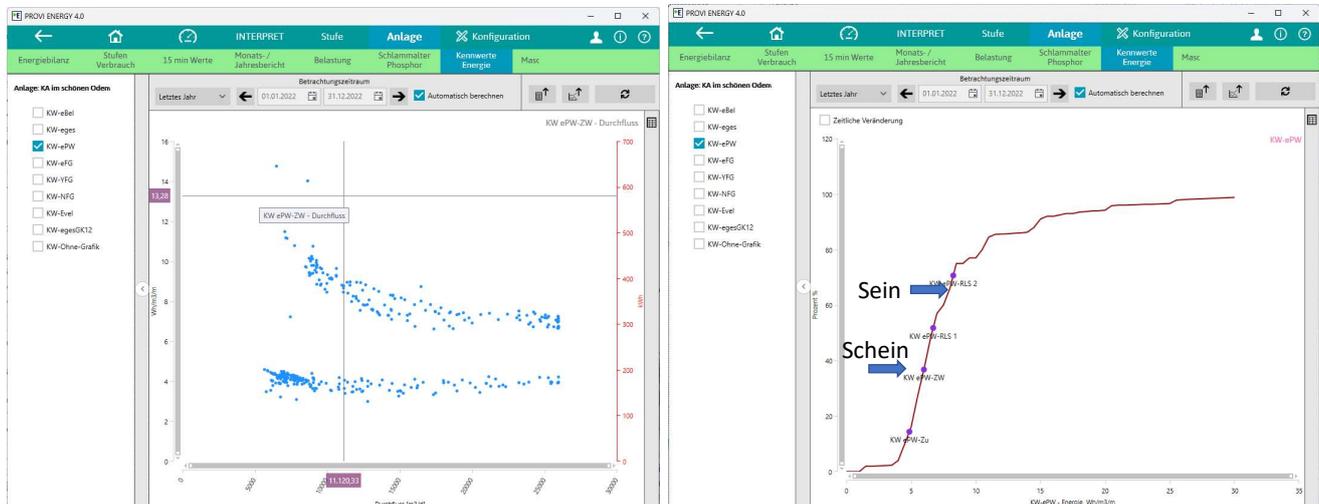
Folie 21

Eine gute Datenaufbereitung ermöglicht es nun, schrittweise in die Prozesse einzusteigen. Hier sind jetzt die Stromverbräuche der Stufen dargestellt. Dem erfahrenen Betrachter fällt der hohe Anteil des Stromverbrauches der Faulung ins Auge. Schaut man hier auf die Details, das heißt, den Stromverbrauch der Maschinen sieht man, dass die Heizschlammumpen einmal sehr viel Strom benötigen und dann auch noch beide parallel laufen. Ein Vergleich mit dem Vorjahr zeigt zudem, dass der Stromverbrauch dieser Stufe deutlich angestiegen ist. Hier lohnt es sich, den Betrieb der Heizschlammumpen im Detail anzuschauen.



Geht man hier ins Detail, sieht man sofort, dass der Stromverbrauch der einzelnen Umwälzpumpen deutlich angestiegen ist. Die neuen Pumpen sind zuverlässiger, brauchen aber auch mehr Strom. Insbesondere aber werden jetzt beide Pumpen gleichzeitig betrieben. Die grüne Linie zeigt den Gasanfall. Was im Ergebnis entscheidend ist, ist die Beobachtung, dass durch den Betrieb der beiden Pumpen gleichzeitig, nicht mehr Gas produziert wird.

Strom: Wo stehen wir bei den Kläranlagen?



Man erkennt an dieser Darstellungsweise auch sehr schnell, ob Messfehler vorliegen. In dieser Grafik ist etwa die Hälfte der Betriebspunkte nicht auswertbar, da offensichtlich eine Energiemessung ausgefallen war.

Das führt dann auch zu falschen Auswertungen des Energieverbrauches über längere Zeiträume. Der Kennwert für das Pumpwerk ist für das betrachtete Jahr scheinbar gut. Betrachtet man jedoch nur den Zeitraum mit richtigen Werten, ist der spezifische Energieverbrauch doppelt so hoch.

Energieeffizienz

Der künftige Energiebedarf ist maßgeblich beeinflusst von der Energieeffizienz

Szenario Referenz:
Das Nutzerverhalten ändert sich nicht gegenüber heute

Szenario Suffizienz:
Es gibt eine deutliche Akzeptanz für neue Energien und ein geändertes Nutzerverhalten.

Fraunhofer ISE
Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem
Freiburg, Februar 2020



Eingesparte Energie ist die sauberste Energie. Das ist eine Binsenweisheit und so muss diese Energieform zuallererst umgesetzt werden. Die ganze folgende Energieinfrastruktur muss ja auch auf diesen optimierten Betrieb ausgelegt werden. Wie entscheidend die Energieeffizienz für die weitere Planung ist, zeigen auch die Studien für unser zukünftiges Energiesystem. Je nachdem welche Akzeptanz und welche Umsetzung von Energieeinspar- und Effizienzmaßnahmen angenommen werden, ergeben sich für Deutschland ganz verschiedene Bedarfe für das zukünftige Erzeugungspotenzial. In der obigen Studie des Fraunhofer ISE sind verschiedene Rahmenbedingungen für den Ausbau von PV und Wind bis 2050 angenommen. Das reicht von völliger Inakzeptanz von Einsparmaßnahmen und Verhaltensänderungen bis zu einem weitgehenden Verständnis für diese Problematik.

Die erforderlichen Erzeugungskapazitäten für PV und Wind variieren dann von 500 – 800 kW zu installierende Leistung.

Die sauberste Energie ist die eingesparte Energie

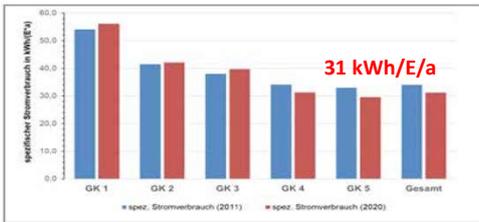
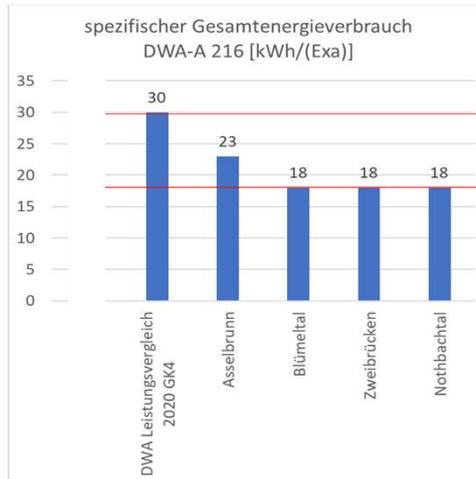


Abbildung 9: spezifische Stromverbräuche nach Größenklassen für die Jahre 2011 und 2020

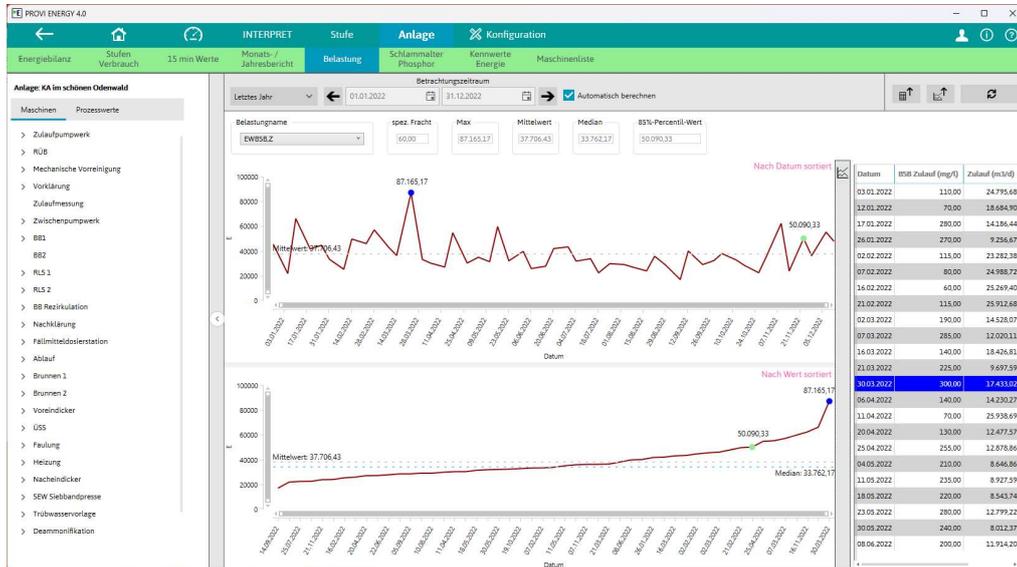
Beispiel Michelstadt, KA Asselbrunn, 40.000 EW, 2022

Gesamtstromverbrauch	1.019.526 kWh/a
Bezug	203.075 kWh/a
Einspeisung	162.353 kWh/a
Spez. bilanzieller Strombezug	1 kWh/E/a



Einsparpotenzial 38 %
Wo ist das Potenzial?

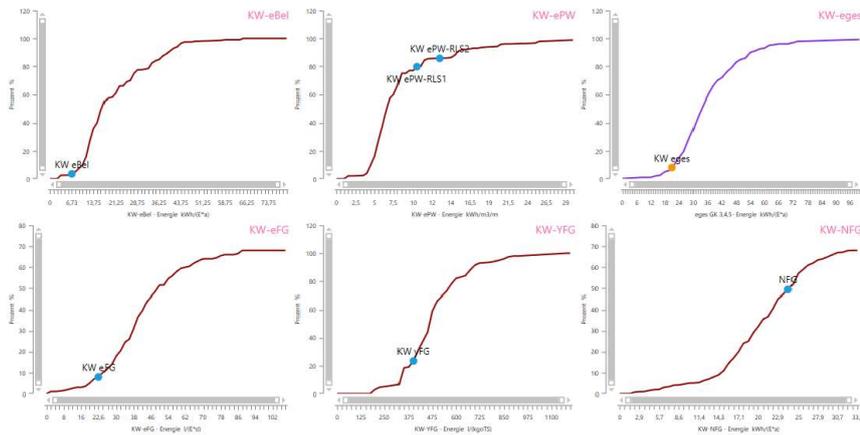
Der DWA Leistungsvergleich aus 2020 führt die spezifischen Stromverbräuche der Kläranlagen in Deutschland nach Größenklassen auf. Da der überwiegende Teil der Belastung in den Größenklassen 4 und 5 behandelt wird, ergibt sich ein durchschnittlicher spezifischer Stromverbrauch von ca. 31 kWh/(Exa). Einige von uns und anderen Büros optimierte Kläranlagen zeigen jetzt schon spezifische Stromverbräuche von unter 20 kWh/(Exa).



In viele Auswertungen geht die Belastung ein. Kennwerte beziehen sich oft auf die Belastung. Für eine automatische Auswertung ist es daher auch wichtig, dass die Auswertungswerkzeuge auf die Laborwerte zugreifen können.

Grafiken: Kennwerte nach DWA-A 216

Kennwerte



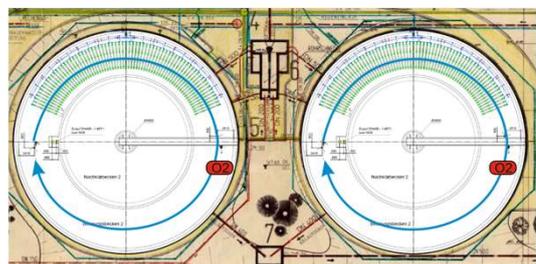
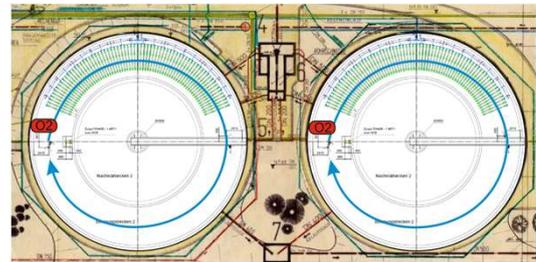
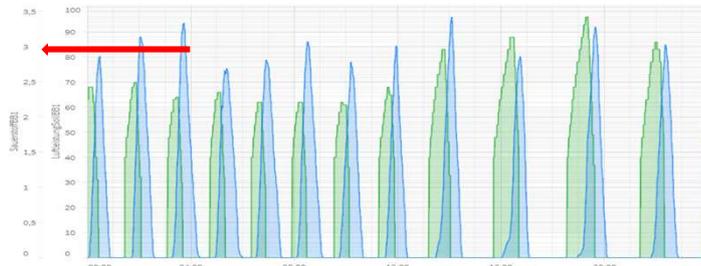
Effizienz

Folie 29

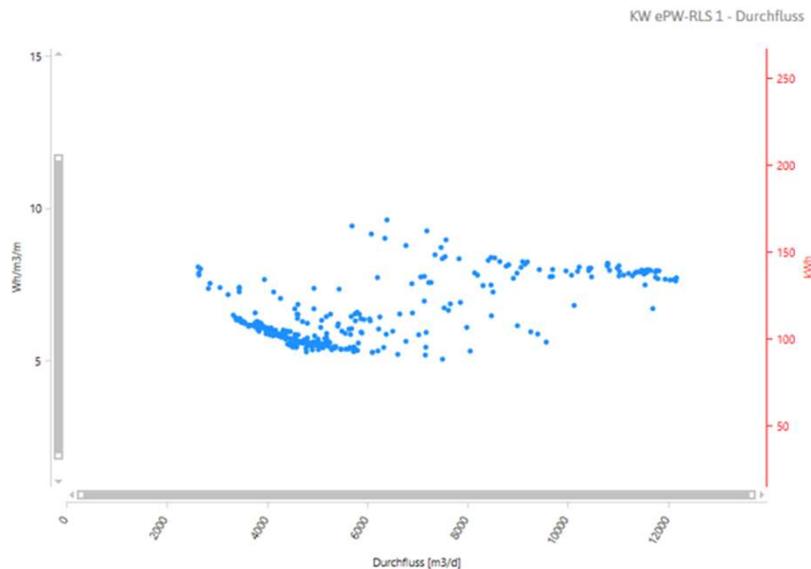
Die einfachste und schnellste Beurteilung des energetischen Zustandes meiner Kläranlage geschieht über die allgemeinen Kennwerte. Teile ich den Gesamtstromverbrauch meiner Kläranlage durch die mittlere Belastung, erhalte ich den spezifischen Gesamtstromverbrauch $eges$ kWh/E/a. Diesen Wert kann ich dann vergleichend einordnen.

Für den Gesamtstromverbrauch der Kläranlage muss ich Strombezug und Erzeuger addieren und die Rückspeisung/Einspeisung abziehen.

Installation von Messungen: Messort



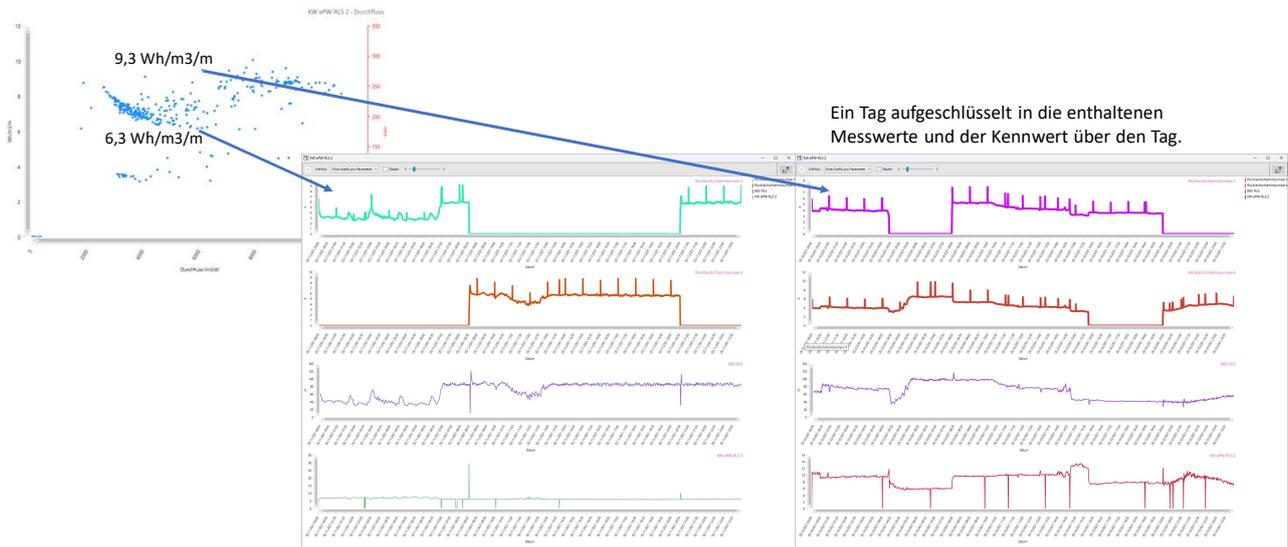
Die Qualität der Daten ist auch wichtig für die Regelungstechnik. In diesem Beispiel sieht man, wie sich die Platzierung der Sauerstoffsonde im Belebungsbecken auf den Energieverbrauch auswirkt. Oben ist die Sauerstoffsonde vor dem Belüftungsfeld platziert. Es kommt also zu Verzögerungen in der Erkennung des Belüftungsbeginns, denn das Wasser macht zunächst einen vollen Umlauf, bevor das Ergebnis der Belüftung am Sensor erkannt wird. In der Folge wird länger und auch intensiver als erforderlich belüftet. Schaut man sich die Sauerstoffkonzentrationen genauer an sieht man, dass unten nicht nur kürzer belüftet wird, auch die Zielkonzentration ist mit etwa 1,6 mg/l statt 2,5 mg/l niedriger.



Die Darstellung des Pumpenkennwertes Wh/m³/m über den Durchfluss wurde schon unter der Messwernerfassung gezeigt. Pumpen sind nach der Belüftung die zweite Gruppe bedeutender Stromverbraucher.

Die richtige Aufbereitung und Darstellung der Messwerte kann in einer Grafik viele wertvolle Informationen liefern. Hier ist der Energiekennwert eines Pumpwerkes über der täglichen Durchflussmenge aufgetragen. Zunächst sieht man, dass die Mehrzahl der Betriebspunkte bei einem täglichen Zufluss von 3.000 – 6.000 m³/d liegt. Hier ist der Energiekennwert auch überwiegend gut.

Man sieht aber auch, dass hier einige Kennwerte höher liegen und dass der Kennwert bei höheren Durchflüssen auch schlechter wird. Hier kann man nun in diese Betriebspunkte genauer hineinschauen und das Regelverhalten des Pumpwerkes betrachten.



Interessant ist jetzt zu sehen, wie sich der Kennwert bei bestimmten Betriebszuständen verhält. Das Datum sagt da nicht viel aus.

Bei Pumpwerken wird hier z.B. der Kennwert über den Durchfluss aufgetragen. Man erkennt an obigem Beispiel, dass der Kennwert tendenziell mit wachsendem Durchfluss sinkt. Allerdings zeigt sich hier eine starke Streuung. Bei gleichem Durchfluss schwankt der Kennwert durchaus um 100 %.

Geht man hier in die Details, sieht man, dass die Pumpen bei täglicher Durchflussmenge sehr verschieden angesteuert werden. Eine Optimierung ist hier also unter Umständen schon durch eine Änderung der Programmierung möglich.

Energieerzeugung

<u>Strom</u>		<u>Wärme</u>	
Gasnutzung	+	Gasnutzung	+
Covergärung	+	Abwärme Gebläse	+
Photovoltaik	+	Wärmerückgewinnung	+
Kleinwindanlagen	-	Wärmepumpe	+
Windräder	0		
Abwasserturbine	-		

Das größte Potenzial zur Strom- und Wärmeerzeugung auf Kläranlagen mit separater anaerober Schlammstabilisierung hat die Verwertung des Klärgases. Die Klärgasproduktion kann durch Covergärung gesteigert werden.

Photovoltaik ist der zweite Baustein zur Stromerzeugung. Durch Nutzung aller verfügbarer Flächen wird es in den allermeisten Fällen möglich sein, dadurch die Lücke zur Stromneutralität zu schließen.

Kleinwindanlagen haben sich bisher als zu teuer erwiesen.

Ist ein Windrad so nah, dass es über eine direkte Leitung mit der Kläranlage verbunden werden kann, stellt das eine sehr wirtschaftliche Form der Stromerzeugung dar.

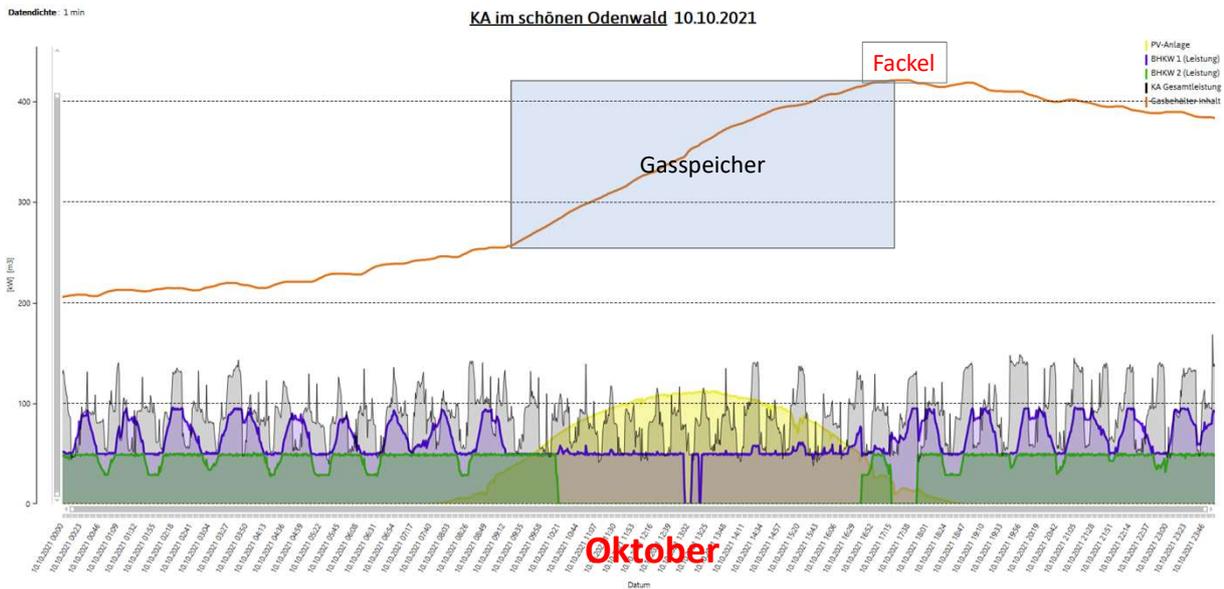
Die Gasnutzung liefert in der Regel genügend Wärme, um den Bedarf der Kläranlage zu decken, wenn Anlagentechnik und Regelungstechnik gut ausgeführt sind. Wichtig ist hier auch, dass der Rohschlamm gut eingedickt wird.

Die Abwärme der Gebläse kann für Heizzwecke in Betriebsgebäuden genutzt werden. Das lohnt sich aber nur bei größeren Anlagen.

Die Wärmerückgewinnung aus dem ausgefaulten Schlamm ist ein interessanter Ansatz, der mit der Klärschlammmentwässerung abgewogen werden muss.

Schließlich sind Wärmepumpen effizient, um Wärmelücken zu schließen. Auf Kläranlagen bieten sich natürlich Abwasserwärmepumpen an.

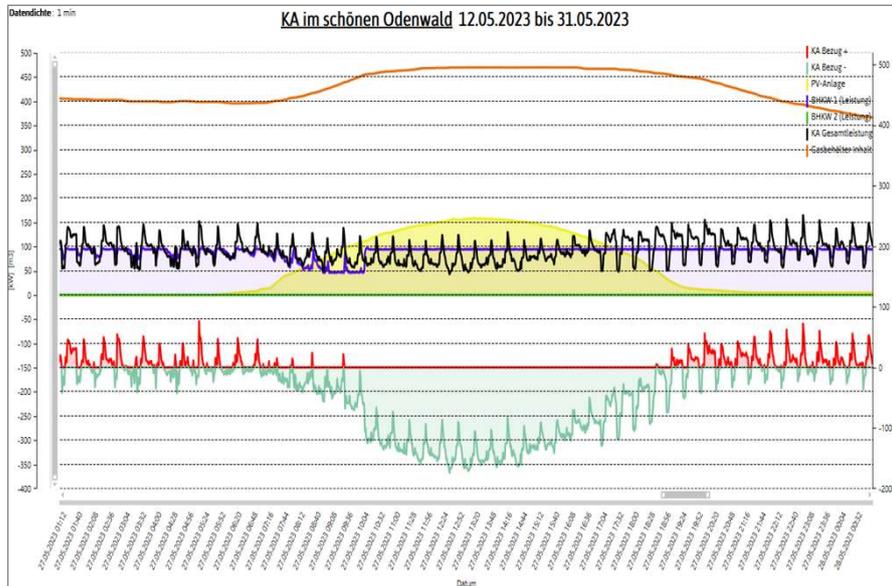
Wasserturbinen werden viel diskutiert und es wird auch immer wieder nachgefragt. Aus den bisherigen Projekten lässt sich aber sagen, dass hier das Potenzial meist sehr gering und die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist.



PV, BHKW und Gasspeicher müssen zusammen betrachtet werden. Je nach Größe der PV steht tagsüber im Sommer lange Zeit ausreichend Photovoltaikstrom zur Verfügung, so dass die BHKWs für die Stromerzeugung nicht gebraucht werden. In diesem Beispiel im Oktober 2021 ist von 10:00 Uhr bis 16:30 Uhr überwiegend ausreichend Strom aus der PV vorhanden, so dass die BHKWs über einen Zeitraum von 6,5 Stunden nicht gebraucht werden.

Es wird dann ein BHKW trotzdem bei niedriger Last betrieben, um Wärme für den Faulturm zur Verfügung zu stellen.

Der Gasspeicher ist am Spätnachmittag voll, so dass hier unter Umständen schon die Fackel in Betrieb geht. Es muss dann durch die Regelung/Steuerung sicher gestellt werden, dass aber einem bestimmten Füllpunkt im Gasbehälter die BHKWs auf Volllast gehen um zu vermeiden, dass die Fackel anspringt.



In diesem Beispiel im Mai 2023 ist sogar von 8:30 bis 17:30 Uhr, also über 9 Stunden ausreichend Strom aus der PV vorhanden. Man sieht am Behälterfüllstand, dass hier die Fackel in Betrieb war, da zusätzlich auch noch ein BHKW außer Betrieb war.

Dachanlagen, Flächenanlagen, Tracker



Beispiel: KA Wallmenroth
VG Betzdorf-Gebhardshain



Beispiel: KA Ober Bessingen
AV Lauter-Wetter

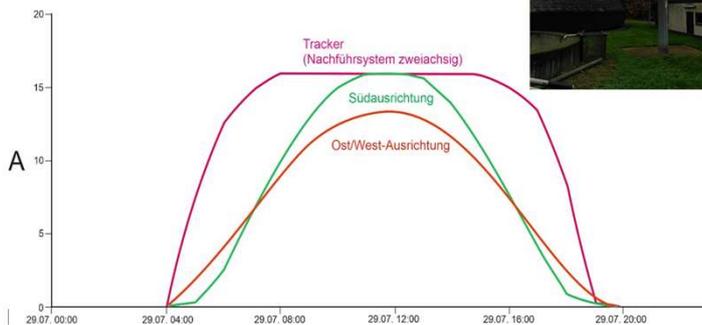


Abbildung 3-2: Gegenüberstellung des Energieertrags verschiedener Installationsarten



Abbildung 2-9: Flächen 1-3, Ost/West



Abbildung 2-10: Flächen 1-3, Süd

Die Ausrichtung der Photovoltaikmodule führt zu unterschiedlichen Erzeugungsprofilen über den Tag. Die Südausrichtung ergibt den höchsten Ertrag, zeigt aber auch den steilsten Lastverlauf über den Tag.

Ost-West-Ausrichtung führt zu höheren Erträgen in den Morgen- und Nachmittagsstunden, hat aber eine geringere Leistungshöhe.

Schließlich verbinden Nachführsysteme die Eigenarten beider Ausrichtungen. Sie sind immer genau zu Sonne ausgereicht und liefern daher immer den maximalen Ertrag. Die Trägersysteme solcher Anlagen sind natürlich teurer als die einfachen Aufständerungen.

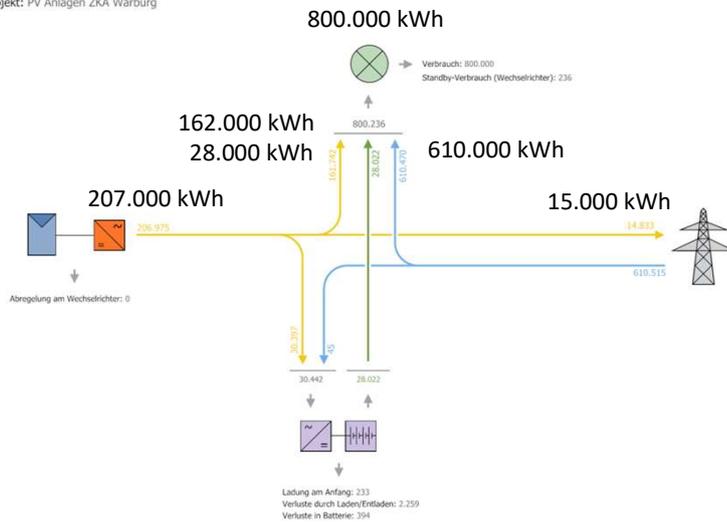
Ist eine PV wesentlich kleiner ausgelegt, als es der Lastanforderung der Kläranlage entspricht, ist die Südausrichtung geeignet.

Ist die Leistung der PV groß, ist unter Umständen die Ost-West-Ausrichtung günstiger.

Ist die PV relativ zum Gesamtstrombedarf klein, lohnt sich der Tracker, da der gesamte Strom dann auf der Anlage direkt verbraucht wird.

Stromerzeugung: Photovoltaik und Batterie

Energiefluss-Grafik
Projekt: PV Anlagen ZKA Warburg



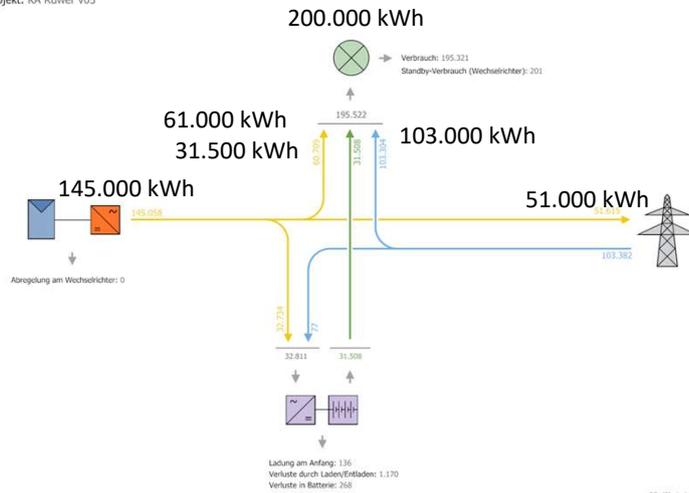
Beispiel: Kläranlage Warburg
PV: 266 kWp
Batterie: 230 kWh
Batterie nicht wirtschaftlich,
bis die BHKW-Erzeugung steigt



Die Kläranlage Warburg soll eine PV mit 266 kWp erhalten. Von den dann erzeugten 207.000 kWh werden 162.000 kWh direkt in der Anlage verbraucht. Es wurde diskutiert, hier eine Batterie mit einer Kapazität von 230 kWh mit vorzusehen. Aus dieser Batterie werden aber nur 28.000 kWh/a an die Kläranlage wieder abgegeben. Da hier der größte Teil des erzeugten PV-Stromes direkt verbraucht werden kann, ist eine Batterie nicht wirtschaftlich.

Steigt auf der Anlage die Stromproduktion durch das BHKW an und es wird dann weniger PV-Strom direkt genutzt, kann eine Batterie wirtschaftlich werden. Die Größe muss dann ermittelt werden.

Energiefluss-Grafik
Projekt: KA Ruwer v03



KA Ruwer



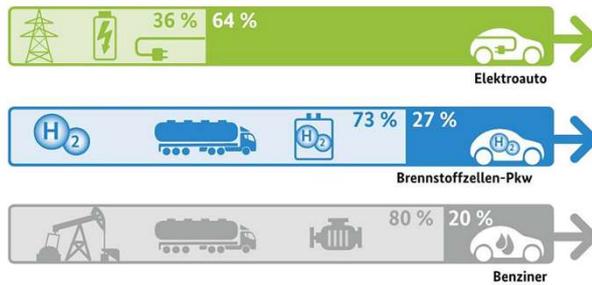
Im Beispiel der Kläranlage Ruwer werden nur 61.000 von 145.000 kWh/a direkt verbraucht. Die Batterie kann weitere 31.500 kWh speichern und wieder zur Verfügung stellen. Hier erweist sich die Batterie mit einer Größe von 136 kWh als wirtschaftlich.

Strom: Mobilität, Überschüsse in die Batterie

Nachfrage bei VG Schweich und Stadtwerke Bitburg
Jährlicher Treibstoffverbrauch für den gesamten Fahrzeugpark der Werke
4.000 – 5.000 Liter Diesel und Benzin

Das entspricht einem Primärenergiebedarf von 40.000 – 50.000 kWh

Die Elektrifizierung des Fahrzeugparks bringt Effizienzgewinne
Bei einer Steigerung des Wirkungsgrades von ca. 30 % bei Verbrennern auf 70 % bei Elektrofahrzeugen
wird der entsprechende Primärenergiebedarf mehr als halbiert.



Zahlen von Agora Verkehrswende und Öko-Institut, 2017

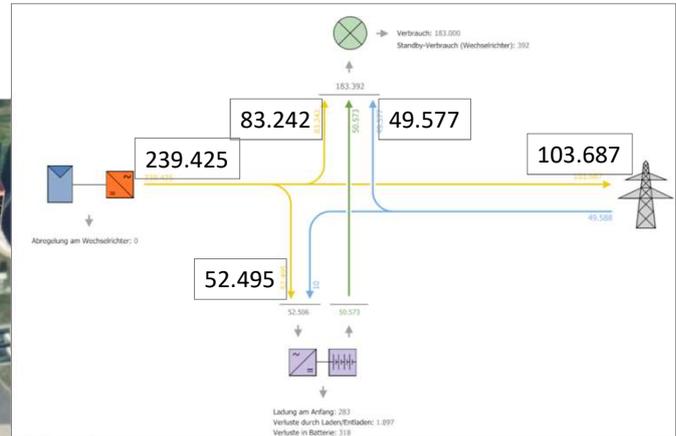


Bedarf: Vergleichmäßigung der Strombereitstellung

Noch teuer: ca. 40 Cent/kWh
Abhängig vom Windangebot

Simultan aerob stabilisierende Anlagen

Bad Muskau, 8.000 EW



Erzeugung

UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG am 27.11.2023

Folie 44

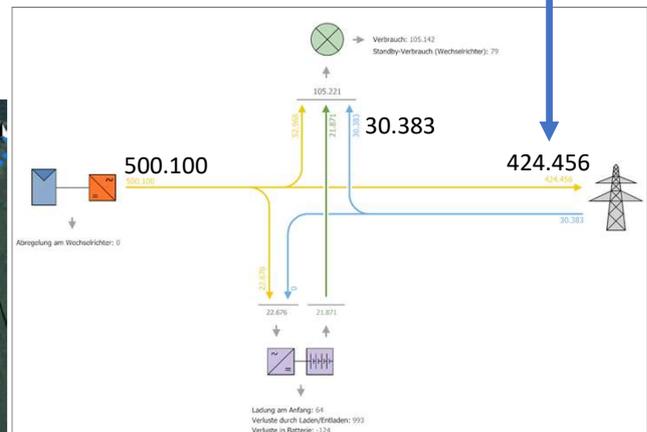
Simultan aerob stabilisierende Anlagen sollen hier auch nicht vergessen werden. Hier steht uns nur die Photovoltaik als regenerative Energiequelle zur Verfügung. Dann brauche ich entsprechend Fläche, oder ich nutze die Fläche z.B. über Tracker gut aus.

Bilanzkreis

Lutzerath, 6.000 EW



Stromvermarktung Bilanzkreisverantwortlicher



Erzeugung

UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG am 27.11.2023

Folie 45

Interessanterweise ist bei den kleineren Kläranlagen oft Fläche vorhanden, um größere PV-Kapazitäten aufzubauen. Will ich eine Kläranlage allein über die Photovoltaik energieneutral machen und auch den Netzbezug minimieren, muss die Anlage überdimensioniert werden. Dann ergibt sich natürlich insgesamt ein deutlicher Überschuss. Dann kommt das Thema Bilanzkreis ins Spiel. Auf diese Thematik sei hier einfach nur verwiesen.

Wärmehaushalt

Die Wärmethematik ist auf Kläranlagen tatsächlich noch weitgehend Terra incognita oder ein unbeschriebenes Blatt. Wer kennt seinen spezifischen Wärmebedarf in kWh/E/a oder weiß überhaupt welche Messungen installiert sind. In Prozessleitsystemen habe ich bisher nur sehr selten Anzeigen oder Darstellung der Wärmebilanz gesehen.

Der Wärmebedarf auf Kläranlagen

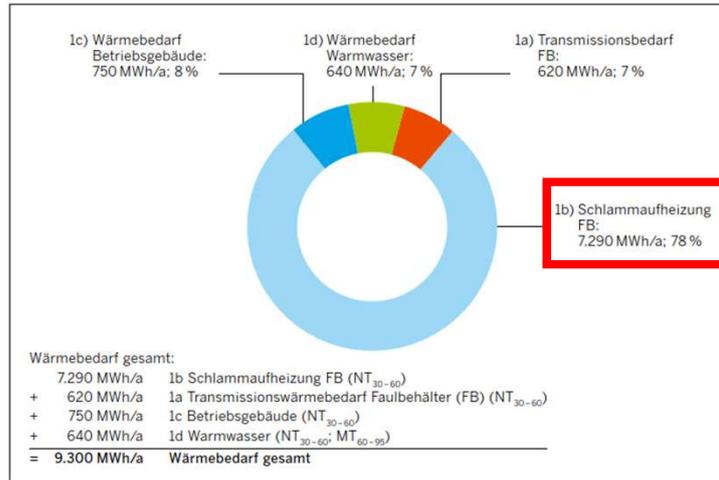


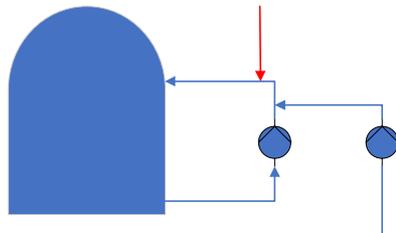
Bild 5-15 Wärmebedarfsanteile bei einer konventionellen Kläranlage mit anaerober Schlammstabilisierung und einer Anschlussgröße von 500.000 E_{abwasser&Schlamm}

Quelle:
Handbuch NRW, Energie in Kläranlagen
2. Vollständig überarbeitete Fassung, Januar 2018

Etwa drei Viertel des Wärmebedarfes auf einer Kläranlage mit Schlammfäulung wird durch die Schlamm-
aufheizung verursacht.

Bedeutung der Schlammeindickung für den Wärmehaushalt

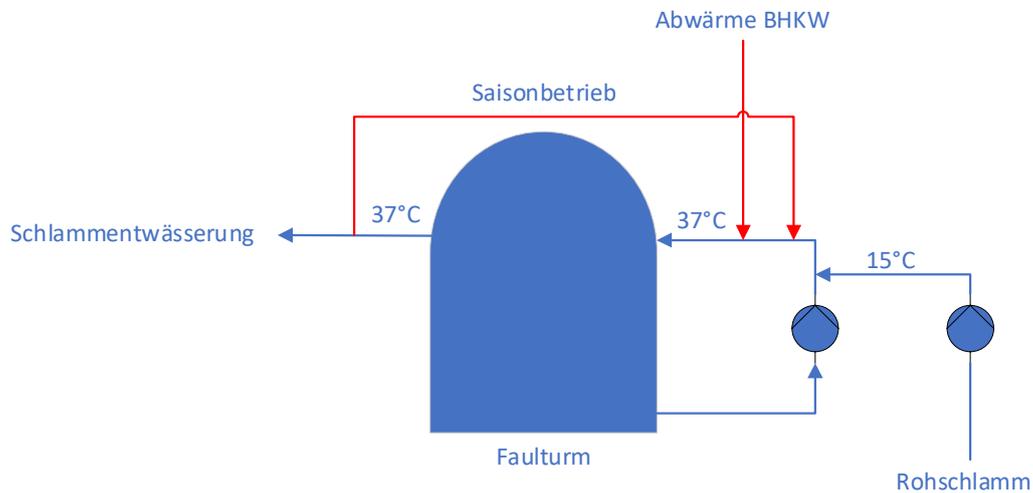
Beispiel Schlammaufheizung 24.000 EW



Rohschlammfall 70 m³/d oder 25.550 m³/a, 26 kg/m³
Aufheizung von 15°C auf 37°C
1,16 kWh/(m³xK)
Wärmebedarf 652.000 kWh/a
Wirkungsgrad 80 %
Wärmebedarf 815.000 kWh/a
34 kWh/(Exa)

Rohschlammfall 40 m³/d oder 14.600 m³/a, 45 kg/m³
Aufheizung von 15°C auf 37°C
1,16 kWh/(m³xK)
Wärmebedarf 373.000 kWh/a
Wirkungsgrad 80 %
Wärmebedarf 466.000 kWh/a
19,4 kWh/(Exa)

Die Schlammaufheizung benötigt auf der Kläranlage die meiste Wärme. Genauso, wie sich beim Stromverbrauch der Belüftung meist das größte Einsparpotenzial ergibt, müssen wir uns hier die Schlammaufheizung genauer anschauen. Der naheliegenste Aspekt ist die Schlammeindickung. Bei der Schlammaufheizung wird Wasser von etwa 15°C auf 37°C aufgeheizt. Wasser warm zu machen verbraucht viel Energie. Obiges Berechnungsbeispiel zeigt aus einem tatsächlichen Projekt, dass hier allein durch eine verbesserte Eindickung von 26 kg/m³ auf 45 kg/m³ ca. 350.000 kWh/a an Wärme eingespart werden können.

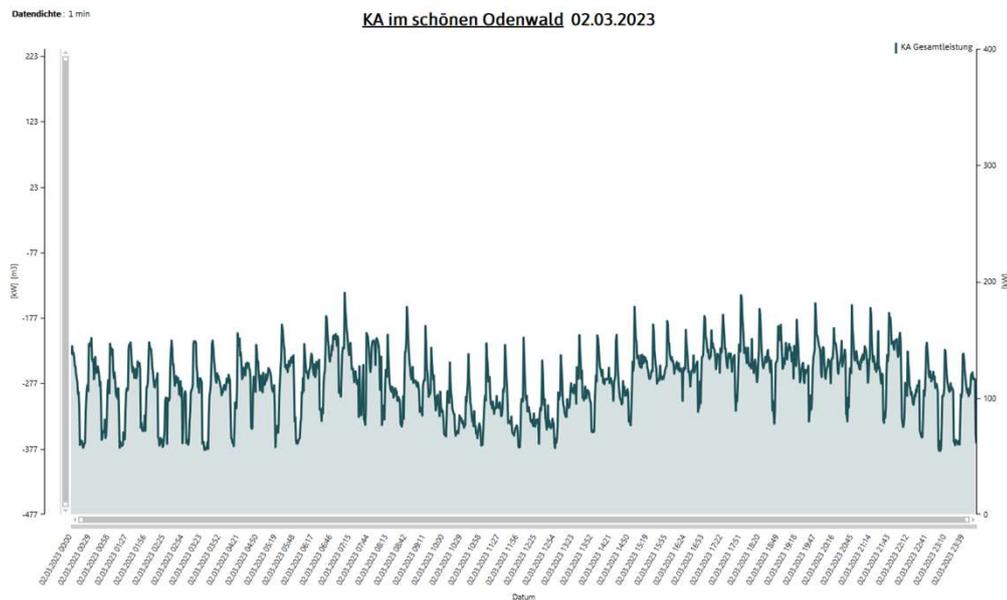


Was in der Industrie gang und gäbe ist, sollte auch bei der Schlammfäulung betrachtet werden. Die Wärme, die mit dem ausgefaulten Schlamm den Faulturm verlässt, sollte genutzt werden um den zugeführten Rohschlamm aufzuheizen. Dabei sind natürlich andere Prozesse mit zu berücksichtigen.

Will ich den warmen Schlamm der Schlammwässerung zuführen, um ein Entwässerungsergebnis zu verbessern. Aber auch in diesem Fall kann überlegt werden, ob man einen Teil der Wärme bei Bedarf für die Schlammaufheizung nutzt.

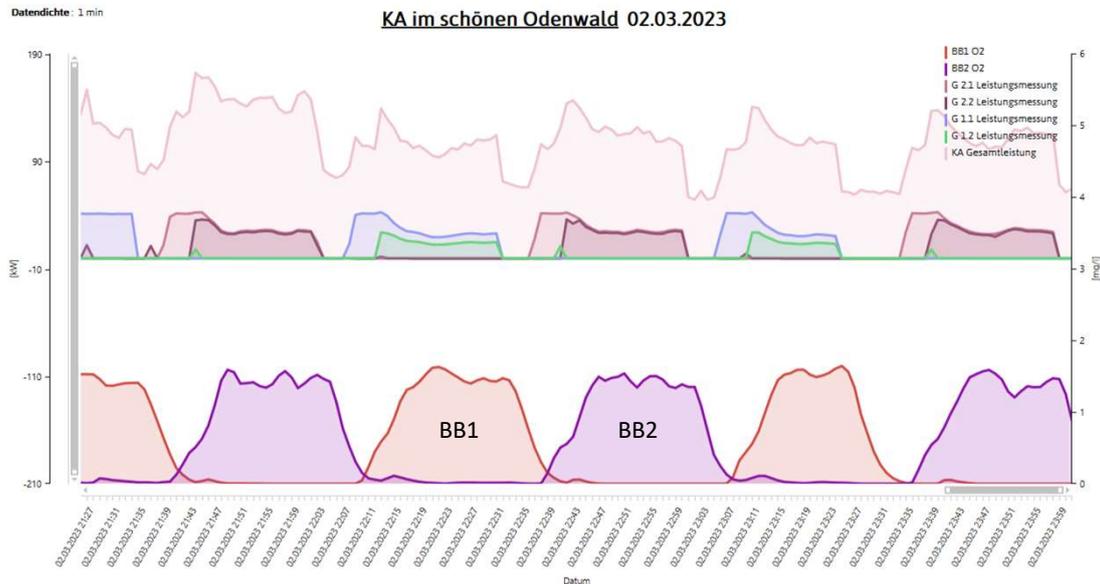
Im Sommer ist sowieso zu viel Wärme vorhanden. Dann brauche ich die interne Wärmenutzung nicht. Dieser Wärmetausch kann aber auch saisonal genutzt werden.

Lastmanagement



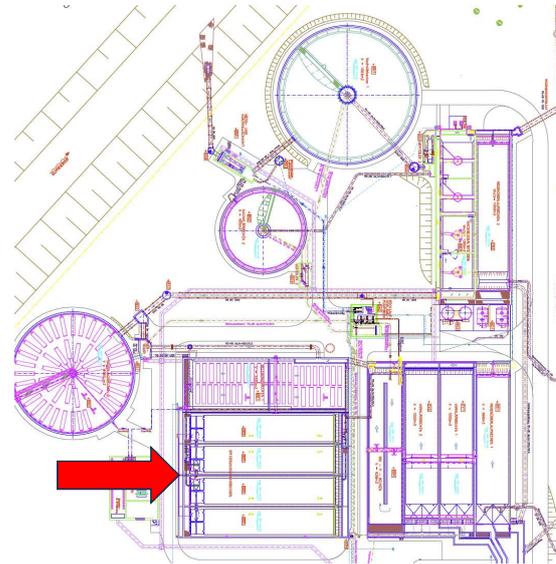
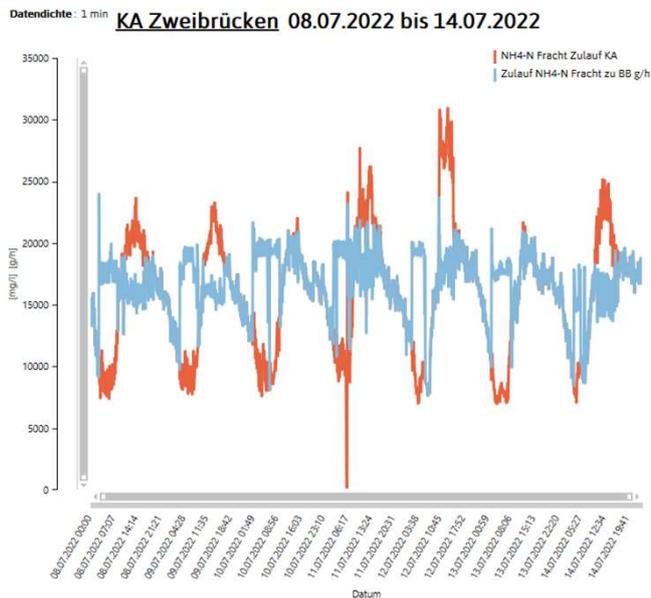
Lastmanagement heißt nicht nur, dass ich die Erzeugung an den Verbrauch anpasse. Lastmanagement kann auch bedeuten, dass ich mir noch einmal die Prozesse anschau. Die Kurve zeigt den Verlauf des Stromverbrauches über einen Tag. Deutlich sind die zyklischen Anstiege zu erkennen und wir wissen alle, so das herkommt. Die Kläranlage wird intermittierend belüftet. Immer wenn die Gebläse in Betrieb gehen, entsteht ein Berg.

In diesem Beispiel ist der wellenförmige Verlauf schon optimiert, da der Betrieb der Gebläse schon so angepasst wurde, dass die Wellen nicht zu hoch werden.

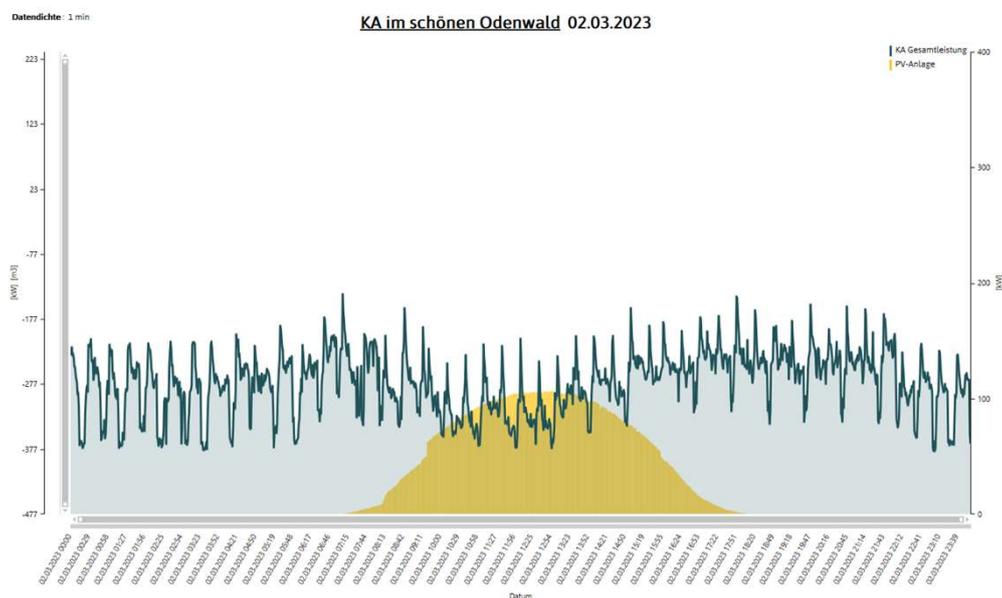


Die Kläranlage Asselbrunn hat zwei Kombibecken. Die beiden Becken werden im Wechsel belüftet, so dass die Gebläse der beiden Straßen nicht gleichzeitig laufen. Dadurch sind die Schwankungen schon halbiert. Da die Gesamtbelüftungszeit aber unter 12 Stunden liegt, ergeben sich auch Phasen in denen überhaupt nicht belüftet wird. Das sieht man in der oberen Grafik. Dort ist die Leistung der Gebläse aufgetragen. Unten sieht man die Sauerstoffkonzentration.

Lastmanagement: Stoffstrommanagement

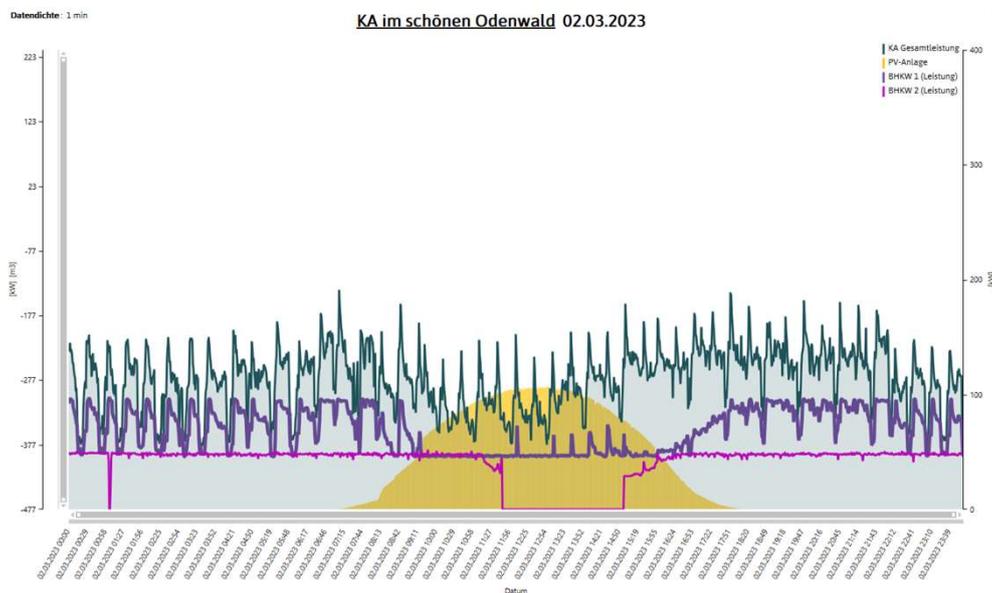


Auf der Kläranlage Zweibrücken wird das Lastmanagement durch ein Stoffstrommanagement unterstützt. Die Kläranlage hat vier große Pufferbecken. Im Zulauf wird mit einer Ammoniummessung und der Zulaufmenge die Ammoniumfracht kontinuierlich ermittelt und berechnet. Ammoniumspitzen werden in die Pufferbecken abgeleitet. Läuft wenig Ammonium zu, wird aus den Pufferbecken in den Zulauf gepumpt. Es wird so versucht, die Ammoniumfracht zur Biologie zu vergleichmäßigen, was auch sehr gut gelingt.

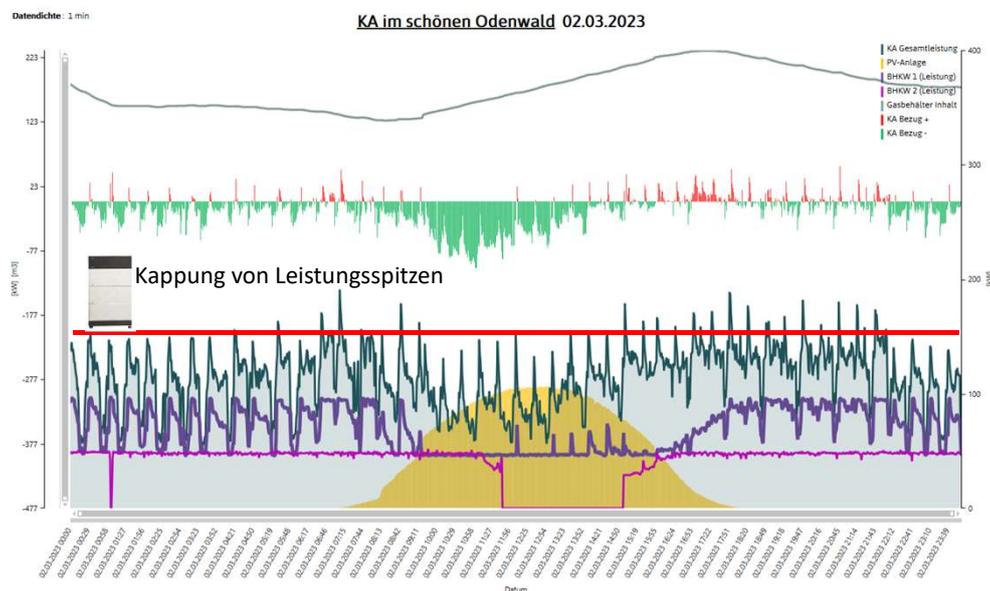


Ist Photovoltaik vorhanden, kann über viele Stunden des Tages, hier von 10:00 Uhr bis 15:00 Uhr der Strombedarf allein durch die PV gedeckt werden. In diesem Zeitraum ist dann ist für die Stromversorgung kaum weitere Erzeugung mehr erforderlich.

Lastmanagement: Erzeuger und Verbraucher



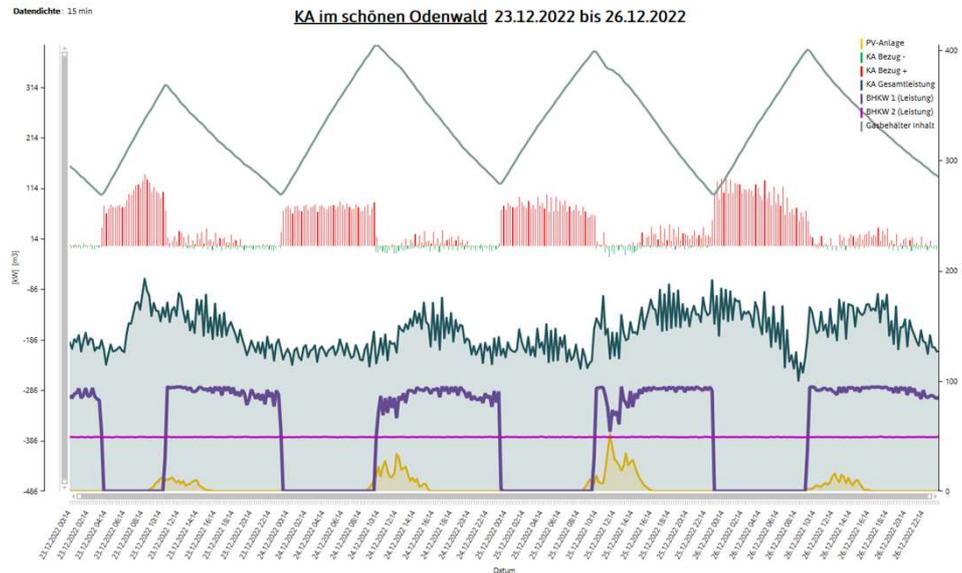
Die BHKWs laufen dann überwiegend in der restlichen Zeit. Man sieht hier, dass ein BHKW bei reduzierter Leistung weiter läuft, um die Wärme für den Faulturm zur Verfügung zu stellen. Das zweite BHKW schaltet irgendwann vollständig ab.



Oben sieht man jetzt Strombezug und Einspeisung. Das sieht an diesem Tag sehr gut aus. Es wird nur sehr wenig Strom bezogen. Dieser Strombezug ergibt sich fast nur aus der Regelträgheit der BHKWs.

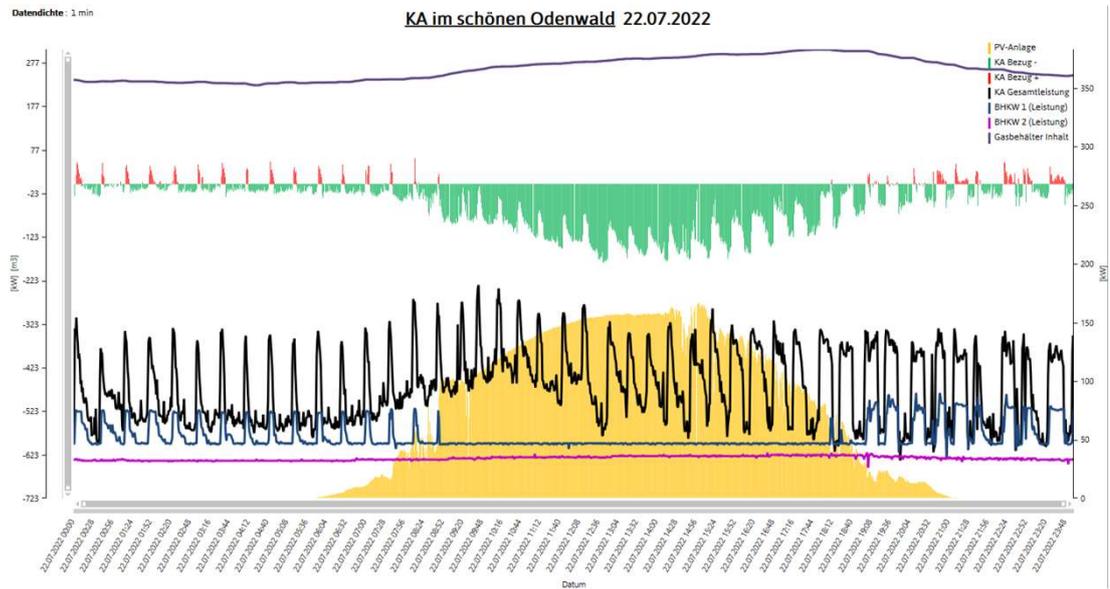
Ganz oben sieht man den Gasbehälterfüllstand. Man sieht deutlich, dass am Tag genügend Speicherraum vorhanden sein muss, um das eingesparte Gas für die verbleibende Zeit vorzuhalten.

Lastmanagement: Strombezug und Einspeisung, Winter



Es sehen natürlich nicht alle Tage so rosig aus. Im Winter tritt natürlich dann die Situation ein, dass wenig Gas da ist und auch die Sonne nicht scheint. Dann steigt natürlich auch der Strombezug an. Hier sieht man wieder, dass Energieneutralität und Energieautarkie zwei sehr verschiedene Dinge sind.

Lastmanagement: Strombezug und Einspeisung, Sommer



Umgekehrt gibt es Sommertage, an denen die Sonnen perfekt scheint und gleichzeitig sehr viel Gas zur Verfügung steht. Dann müssen die BHKWs laufen, obwohl genügend PV-Strom zur Verfügung steht. An solchen Tagen wird dann sehr viel Strom in das Netz rückgespeist.

PTJ,

Ohne eine vierte Reinigungsstufe liegt der Energiebedarf von Kläranlagen je nach Ausbaugröße bei etwa 33 bis 54 kWh pro Einwohnerwert und Jahr. Die Installation ist neben den zusätzlichen Investitionen mit einem deutlichen Anstieg des Strombedarfs von bis zu 30 Prozent verbunden. Eine Ozonung erhöht diesen Energiebedarf einer Kläranlage beispielsweise um 10 bis 30 Prozent.

Datum?

Pinnekamp, VDI 2017

Erhöhung des Energiebedarfes um 4 – 15 %, auf Basis bestehender Anlagen

KA Weißenburg, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2019

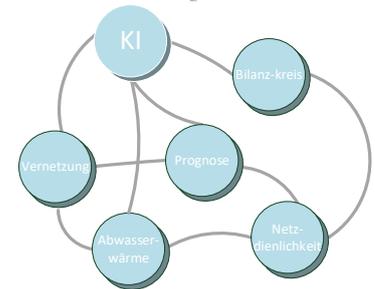
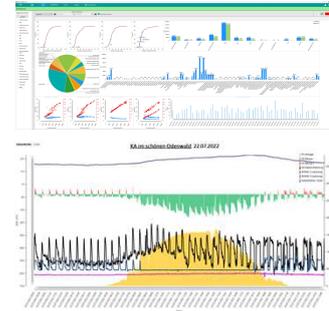
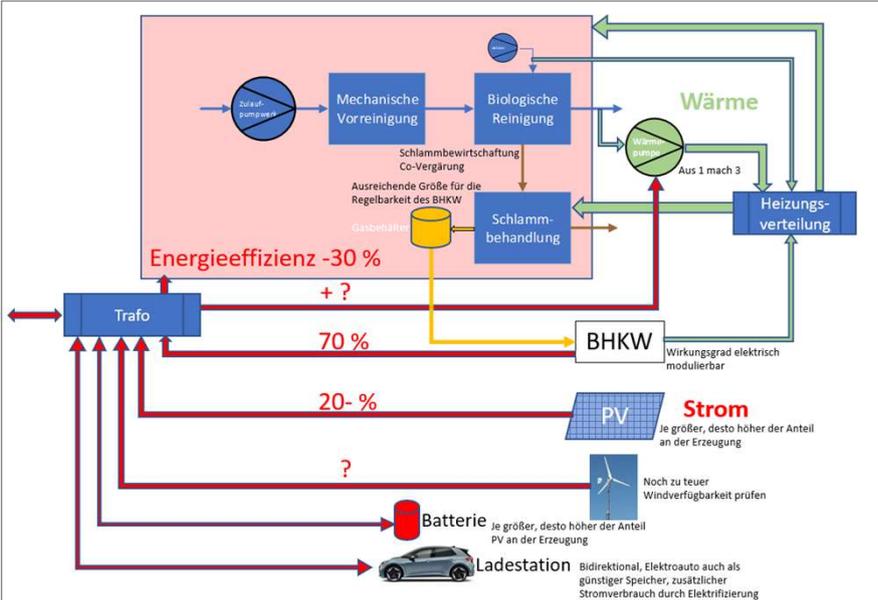
Ozonung und GAK, 2017

Erhöhung des Strombedarfes von 32 auf 40 kWh/E/a (+25%)

Die vierte Reinigungsstufe sei hier nur kurz angetippt. Sie wird natürlich zu einer Erhöhung des Strombedarfes führen. Umso wichtiger ist es, die Einsparpotenziale voll auszuschöpfen.

Zusammenfassung

Die Bausteine zur Energieneutralität



Eifeler Abwassertag am 14.09.2023

Folie 62

Fazit

Energieneutralität auf Kläranlagen ist möglich

Prozesstransparenz

1. Messwerterfassung
2. Energieeffizienz
3. Regenerative Erzeugung
4. Lastmanagement

**Wärme und Strom
(30 %)
Klärgas und PV
KI**



UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG am 27.11.2023

Folie 65

1968 machte die Apollo 8 Mission dieses Foto der Erde aus dem Weltraum

Quellen

Claudia Kemfert und andere
100 % erneuerbare Energie für Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Dezentralität und räumlicher Verbrauchsnähe – Potenziale, Szenarien und Auswirkungen auf Netzinfrastrukturen
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung 2021

Christian Holler, Joachim Gaukel, Harald Lesch, Florian Lesch
Erneuerbare Energie zum Verstehen und Mitreden
Bertelsmann, 2021

BUND
Konzept für eine zukunftsfähige Energieversorgung
BUND, 2017

Klimapfade 2.0
Eine Studie der Boston Consulting Group für den BDI, Oktober 2021

DWA-Leistungsvergleich 2020

Handbuch NRW, Energie in Kläranlagen
2. Vollständig überarbeitete Fassung, Januar 2018

Vortrag Elektolyse und Kläranlagen Siekmann, Hr. Ellerich

Warum PV in Abwasserbetrieben, Prof. Karl Keilen