

## Adaptive N-Laufrad® verhindert Verstopfungen bei kleinen Pumpen

### Verbessert Selbstreinigung bei niedrigem Drehmoment

Verstopfungen sind das häufigste Problem in der Abwasserförderung und insbesondere bei kleinen Pumpen kritisch, da diese über begrenzten hydraulischen Raum und ein geringeres Drehmoment verfügen. Die Folgen sind erhöhter Energieverbrauch, zusätzlicher Wartungsaufwand und Notfalleinsätze – und damit steigende Betriebskosten. Hersteller von Abwasserpumpen arbeiten kontinuierlich an verbesserten Hydrauliken, die Verstopfungen reduzieren und gleichzeitig eine hohe Leistung gewährleisten.

Das Adaptive-N-Hydraulikdesign, eine Weiterentwicklung der selbstreinigenden N-Hydraulik speziell für die Herausforderungen kleiner Pumpen, verbessert die Systemstabilität deutlich und senkt Energieverbrauch sowie ungeplante Wartungskosten.

Pumpen mit Adaptive-N-Laufrad können in Abwasserstationen mit oder ohne Siebung eingesetzt werden und fördern Abwasser aus Haushalten, Gewerbegebäuden, Krankenhäusern, Schulen und mehr. Sie eignen sich auch für industrielle Abwässer und Regenabfluss mit Feststoffen, Fasern und anderen Rückständen.



Flygt Concertor 6020 Pumpen mit Adaptive-N-Hydraulik in einer kommunalen Abwasserpumpstation

### Pumpentechnik für die heutige Abwasserzusammensetzung

Seit dem frühen 20. Jahrhundert setzen Pumpenkonstrukteure zur Verringerung von Verstopfungen vor allem auf große Durchlassgrößen. In Bergbau-, Industrie- und Rohwasseranwendungen waren harte, kugelförmige Bestandteile die häufigste Ursache für Blockaden; große Laufraddurchlässe erleichterten deren Passage. Auch Abwasserpumpen wurden traditionell so ausgelegt – für die meisten Anwendungen hat sich dies jedoch als nicht optimal erwiesen.

Die Risiken durch weiche und faserige Stoffe – die häufigsten Feststoffe im kommunalen Abwasser – wurden hingegen lange unterschätzt.

Untersuchungen zeigen, dass modernes Abwasser kaum harte, kugelförmige Objekte mit einem Durchmesser nahe dem Rohrendurchmesser enthält. Selbst wenn sie ins System gelangen, lagern sie sich meist in Bereichen mit geringer Fließgeschwindigkeit ab und erreichen die Pumpen nicht.

Heute enthält Abwasser deutlich mehr weiche Bestandteile. Die wachsende Vielfalt an Hygieneprodukten wie Feuchttücher, Lappen und andere faserige Materialien stellt ein großes Problem dar. Obwohl sie über den Hausmüll entsorgt werden sollten, werden viele heruntergespült – und nicht zersetzbare Fasern belasten zunehmend die Pumpen.

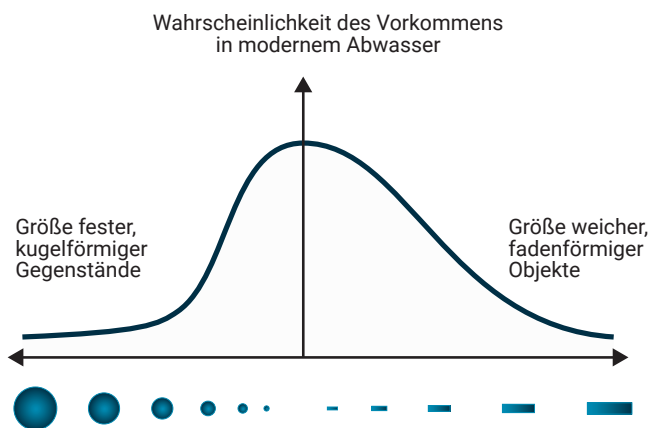


Abbildung 1: Wahrscheinlichkeit, verschiedene Arten von Feststoffen im Abwasser zu finden

Abbildung 1 zeigt schematisch die Wahrscheinlichkeit, verschiedene Feststoffarten im Abwasser anzutreffen. Harte, annähernd kugelförmige Objekte befinden sich links, weiche, längliche Objekte rechts. Wie in vielen Systemen ist die Wahrscheinlichkeit, extrem große Objekte – kugelförmig oder länglich – zu finden, sehr gering. Wichtig ist, dass die Verteilung asymmetrisch ist: Weiche, längliche Objekte treten heute im Abwasser am häufigsten auf.

## Weiches und hartes Verstopfen

Es wurde gezeigt, dass Verstopfungsprobleme hauptsächlich durch faserige Objekte verursacht werden, die sich an den Vorderkanten traditioneller Laufräder festsetzen. Die Fasern wickeln sich um diese Kanten und falten sich auf beiden Seiten der Schaufel. An geraden oder mäßig gebogenen Vorderkanten lösen sich die Ablagerungen nicht, sondern bauen sich weiter auf. Diese Ansammlungen bilden große Klumpen oder Bündel von Feststoffen (manchmal „Rag Balls“ genannt), die zu Verstopfungen führen.

Wenn sich Materialien allmählich an den Vorderkanten des Laufrads ansammeln, verringert sich der freie Durchfluss, und die Pumpenleistung sinkt. Dieses Phänomen wird als weiches Verstopfen bezeichnet, da die Pumpe nicht stoppt. Sie arbeitet weiter, jedoch mit reduzierter Leistung. Typische Auswirkungen sind längere Betriebszeiten, um ein bestimmtes Abwasservolumen zu fördern, und eine geringere Effizienz als bei einer nicht verstopften Pumpe. Weiches Verstopfen erhöht zudem den Energieverbrauch. Ein weiterer Effekt ist eine höhere Vibrationsbelastung, die zu beschleunigtem Verschleiß von Dichtungen und Lagern führt.

Dünne Fremdkörper können sich auch zwischen dem Spiralgehäuse und dem Laufrad verklemmen, was zusätzliche Reibung erzeugt. Der Motor muss mehr Drehmoment liefern, wodurch mehr Antriebsleistung benötigt wird. Überschreitet der Strom den Auslösestrom (Motorüberlastung), stoppt die Pumpe – dies wird als hartes Verstopfen bezeichnet. Hartes Verstopfen kann auch auftreten, wenn weiches Verstopfen zu großen Rag Balls führt. Die Hauptfolgen sind Stillstand und ungeplante Wartung zum Freimachen und Neustarten der Pumpe, was die Betriebskosten erhöht.

## Der Mythos der Durchlassgröße

Forschungs- und Entwicklungsergebnisse der letzten Jahrzehnte sowie Erfahrungen aus Hunderttausenden von Pumpeninstallationen haben gezeigt, dass die vereinfachte Logik der Durchlassgröße falsch und irreführend ist. Dennoch ist sie in vielen Ausschreibungen für Abwasserpumpen noch verbreitet. Nutzerfeedback und Labortests mit herkömmlichen Laufrädern haben folgende Ergebnisse gezeigt.

### Verstopfungsresistenz bei Kanalhydraulik

Kanal-Laufräder sind ein- oder mehrschaufelige geschlossene Kreisel-Laufräder mit großem Durchlass. Sie arbeiten effizient bei sauberem Wasser, neigen jedoch bei Abwasser zu Verstopfungen.

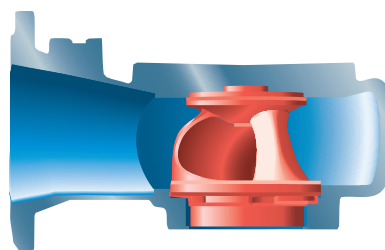


Abbildung 2: Beispiel eines einflügeligen Laufrads

Kanalhydraulik ist auf maximale Verstopfungsresistenz am Best Efficiency Point (BEP) der Pumpe ausgelegt. Je weiter der Betriebspunkt vom BEP entfernt ist, desto geringer ist die Verstopfungsresistenz. Eine allmähliche Ansammlung faseriger Materialien an der Vorderkante (Abbildung 3) führt dazu, dass die Pumpeneffizienz deutlich unter den im Werk getesteten Wert für sauberes Wasser sinkt – ein typischer Effekt des weichen Verstopfens.

Dieses langjährig genutzte Design leidet außerdem unter erheblichen Radialkräften, die starke Belastungen auf Welle und Lager verursachen und Vibrationen sowie Geräusche erhöhen. Da das Laufrad nie perfekt ausbalanciert ist, verstärken sich die Vibrationen zusätzlich.

Diese Probleme führen letztlich zu höherem Energieverbrauch, übermäßigem Verschleiß und verkürzter Pumpenlebensdauer.

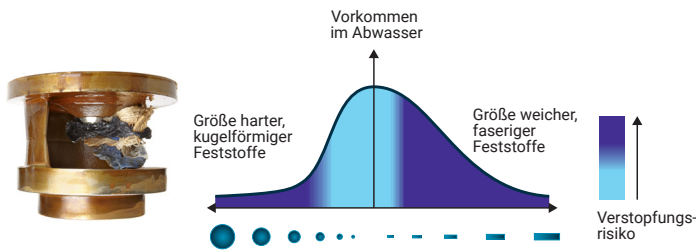


Abbildung 3: Verstopfung bei Kanal-Laufrädern

Verstopfen am Nabenbereich und an der Vorderkante. Strömungsmuster und Druckverteilung lassen die Fasern die Schaufeln bedecken und reduzieren die ohnehin niedrige hydraulische Effizienz erheblich.

Zusätzlich sammeln Wirbelpumpen viele Feststoffe im Spiralgehäuse an, was weitere Verluste, höheren Energieverbrauch und schließlich Motorüberlastung sowie Pumpenstillstand verursacht.

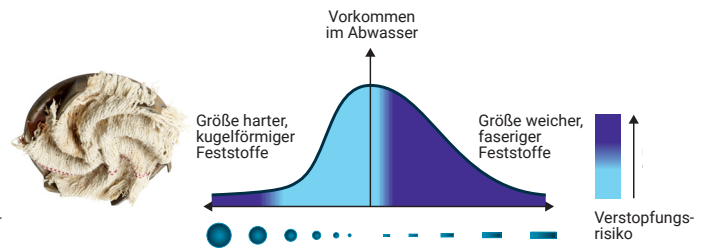


Abbildung 5: Verstopfung bei Wirbellaufkrädern

### Verstopfungsresistenz bei Wirbelhydraulik

Wirbellaufkräder sind vom Pumpengehäuse zurückgesetzt, wodurch ein geräumiges Spiralgehäuse entsteht, jedoch mit geringer Effizienz bei sauberem Wasser und Abwasser.

Pumpenkonstrukteure gingen davon aus:

- Laufrad erzeugt Wirbel im Spiralgehäuse, fördert Flüssigkeit und Ablagerungen
- arbeitet wie ein Drehmomentwandler, Energieübertragung bei geringem Durchfluss
- Laufrad liegt außerhalb des Strömungswegs, soll Verstopfungen verhindern

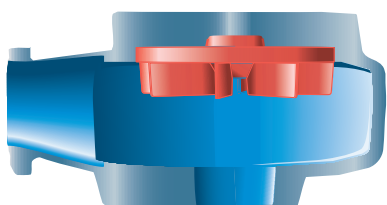


Abbildung 4: Beispiel eines Wirbellaufkrads

In der Praxis funktioniert das Wirbellaufkrad wie jedes andere Kreisellaufrad: Energie wird über die Schaufeln an das Medium übertragen. Das mehrschaufelige Wirbellaufkrad ist daher besonders anfällig für weiches

### Verstopfungsresistenz moderner selbstreinigender Hydraulik

Untersuchungen haben gezeigt, dass Verstopfungen vor allem dadurch entstehen, dass Pumpen Schwierigkeiten haben, faserige Objekte von den Vorderkanten der Laufräder zu befördern. Das N-Laufrad mit modernem selbstreinigendem Design wurde als Lösung entwickelt.

Dank deutlich zurückgekrümmter horizontaler Vorderkanten und eines Entlastungsrunds hat sich das N-Hydraulikdesign als effektiv gegen die meisten Verstopfungsprobleme erwiesen. Ohne großen Durchlass können Laufräder mit mehreren Schaufeln konstruiert werden, was Radialkräfte reduziert, die Balance verbessert und die Effizienz steigert.

Abbildung 6 zeigt die Verstopfungswahrscheinlichkeit des N-Laufrads, die deutlich niedriger ist als bei herkömmlichen Laufrädern mit großem Durchlass.

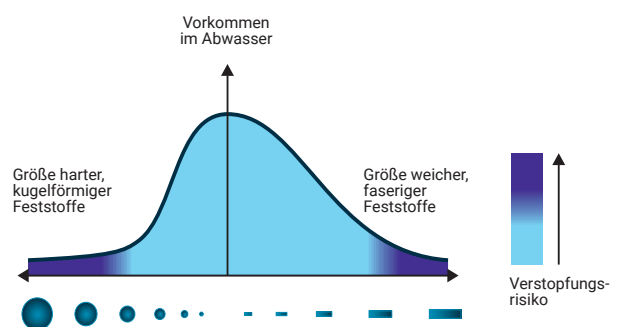


Abbildung 6: Verstopfung bei selbstreinigenden N-Laufrädern

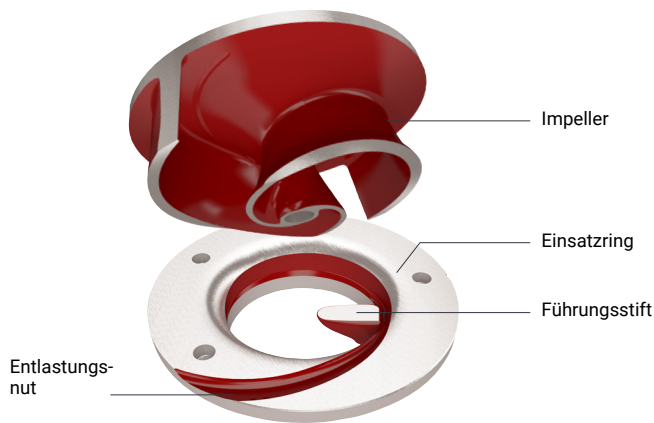


Abbildung 7: Selbstreinigendes N-Hydraulikdesign

Abbildung 7 zeigt das N-Hydraulikdesign mit semi-offenem N-Laufrad und Einsatzring mit Führungsstift

Die selbstreinigende Technologie funktioniert wie folgt:

1. Die N-Laufradschaufeln mit zurückgekrümmten, horizontalen Vorderkanten fegen Feststoffe vom Zentrum zum Umfang des Einsatzrings und ermöglichen so Selbstreinigung.
2. Die Entlastungsnut im Einsatzring arbeitet zusammen mit der Vorderkante, um Feststoffe aus dem Laufrad zu leiten.
3. Bei kleinen Geometrien fängt ein speziell entwickelter Führungsstift Fasern nahe der Nabe auf und ermöglicht den Schaufeln, diese entlang der Nut aus der Pumpe zu befördern. Dadurch wird das Verstopfungsrisiko an der Nabe semi-offener Laufräder vernachlässigbar.

Dank der Fähigkeit, selbst harte Objekte zu fördern, reduziert die selbstreinigende Technologie ungeplante Wartung deutlich und erhöht die Zuverlässigkeit. Durch die Vermeidung von Fasern, die sich um die Vorderkanten wickeln und weiches Verstopfen verursachen, sorgt das N-Laufrad für dauerhaft hohe Effizienz und niedrigeren Energieverbrauch.

Im Gegensatz zur Kanalhydraulik basiert die Verstopfungsresistenz der selbstreinigenden N-Hydraulik auf einem mechanischen Prinzip und ist unabhängig von Strömungsschwankungen. Die Pumpe arbeitet effizient an verschiedenen Betriebspunkten und Frequenzen. In Kombination mit einem Frequenzumrichter (VFD) lassen sich Prozesssteuerung, Energieeinsparungen, gleichmäßiger Betrieb und geringere Wartungskosten erzielen.

## Entwicklung der selbstreinigenden N-Hydraulik

### Begrenztes Drehmoment kleiner Pumpen

Tauchpumpen werden typischerweise von einem eng gekoppelten Elektromotor angetrieben (siehe Abbildung 8). Beim Start fließt Strom durch die Statorwicklung, erzeugt ein rotierendes Magnetfeld und dreht den Rotor über die Welle. Der Motor erzeugt dabei ein Drehmoment proportional zur Motorleistung.

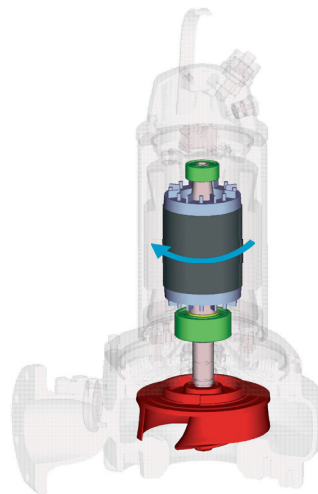


Abbildung 8: Darstellung des Drehmoments

Bei einer N-Pumpe werden Objekte entlang der Entlastungsnut aus dem Laufrad gedrückt. Da der Spalt zwischen Schaufeln und Einsatzring nur wenige Zehntel Millimeter beträgt, werden große Ablagerungen gezwungen, durch die Nut zu passieren. Dies erzeugt zusätzliche Reibung, die das Laufrad abbremst. Die Pumpe muss dafür zusätzliches Drehmoment bereitstellen – ansonsten bleibt der Schmutz stecken, und die Pumpe stoppt (hartes Verstopfen).

Da Motoren für Tauch-Abwasserpumpen meist nicht stark überdimensioniert sind, reicht das maximale Drehmoment bei voller Leistung manchmal nicht aus, um hartnäckige Ablagerungen zu fördern. Dies betrifft besonders kleine Pumpen, bei denen die Drehmomentreserve gering ist. Zur Verbesserung der Funktion kleiner N-Pumpen wurde die Adaptive N-Technologie entwickelt, um das Risiko von hartem Verstopfen bei unzureichendem Drehmoment zu reduzieren.

## Adaptive N-Technologie

Bei der Adaptive N-Technologie ist das N-Laufrad nicht starr auf der Welle befestigt: Es kann sich axial bewegen, wenn ein Druckunterschied durch große Ablagerungen entsteht. Dadurch vergrößert sich kurzzeitig der Spalt zwischen Schaufeln und Einsatzring, sodass große Rag Balls und hartnäckige Fremdstoffe problemlos passieren können – ohne zusätzliches Motordrehmoment. Dieser Vorteil ist besonders bei Einphasenmotoren deutlich, deren verfügbares Drehmoment begrenzt ist.

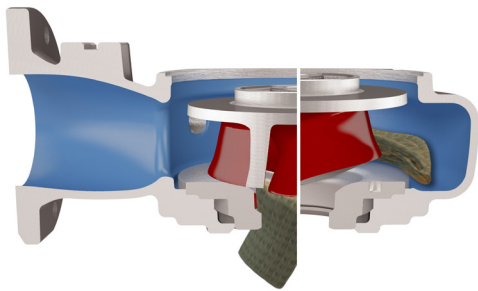


Abbildung 9: Positionen des Adaptive-N-Laufrads während des Betriebs

Wie in Abbildung 9 links gezeigt, arbeitet das Adaptive N-Laufrad meist wie ein normales N-Laufrad. Wird jedoch mehr Platz benötigt, bewegt sich das Laufrad nach oben, wie rechts in Abbildung 9 dargestellt.

Der adaptive Mechanismus reagiert auf hydraulische Druckunterschiede über dem Laufrad. Die Kraft ergibt sich aus  $F = P \times A$ , wobei P der Druck und A die Fläche ist, auf die der Druck wirkt. Abbildung 10 zeigt, wie diese Kräfte die Position des Laufrads bestimmen. Bei leicht verschmutztem Abwasser wirkt am Laufradboden eine zunehmende Aufwärtskraft vom Zentrum zum Rand. Gleichzeitig wirkt oben eine gleichmäßige Abwärtskraft auf die gesamte Laufradscheibe. Die resultierende Kraft hält das Laufrad in der normalen Betriebsposition.

Bei großem Fremdkörper ändert sich das Kräftegleichgewicht: Eine wachsende Aufwärtskraft am Laufradboden übersteigt die Abwärtskraft, das Laufrad hebt sich, der Spalt vergrößert sich, und der Fremdkörper passiert. Danach kehrt das Laufrad in die normale Position zurück.

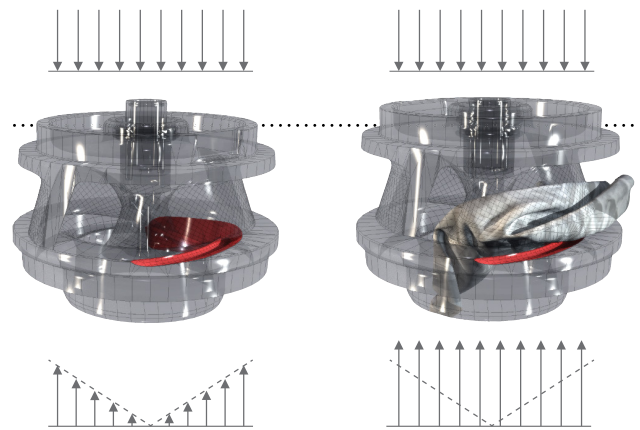


Abbildung 10: Kraftverteilung bei normalem Betrieb (links) und beim Eindringen großer Fremdkörper in die Pumpe (rechts)

Da diese Bewegung nur Bruchteile einer Sekunde dauert, beeinflusst die momentane Leistungsaufnahme die Gesamteffizienz kaum. Gleichzeitig werden Welle, Dichtungen und Lager entlastet, was deren Lebensdauer verlängert.

Zusammenfassend verbessert die Adaptive N-Technologie die Selbstreinigungsfunktion kleiner Pumpen mit begrenztem Motordrehmoment deutlich. Das Ergebnis ist ein zuverlässiger Betrieb, dauerhaft hohe Effizienz und geringere Gesamtkosten.

Notiz: Die Feder im Laufradnabenbereich ist nicht Teil der adaptiven Funktion. Sie hält das Laufrad während Montage und Transport fixiert, um Schäden vor der Inbetriebnahme zu vermeiden.

## Lebenszykluskostenanalyse für kleine Abwasserpumpen

Die Lebenszykluskostenanalyse (LCC) ist eine Methode zur Ermittlung der Gesamtkosten eines Systems über seine Lebensdauer oder zum Vergleich von Investitionsplänen. Eine vollständige LCC-Analyse umfasst alle kostenrelevanten Faktoren einer Anlage, darunter Anschaffung, Installation, Betrieb, Energie, Ausfallzeiten, Umwelt, Wartung und Entsorgung. Welche Kosten am wichtigsten sind, hängt von Anwendung, Standort, Arbeits- und Energiepreisen ab, die je nach Markt stark variieren können.

Bei der Bewertung von Abwasserpumpen wird oft eine vereinfachte Analyse genutzt, bei der die relevantesten Faktoren Anschaffung, Energieverbrauch und Wartungskosten (insbesondere ungeplante Wartung) sind. Andere Faktoren können vernachlässigt werden.

Verstopfungen als Hauptfaktor für ungeplante Wartungskosten. Die Häufigkeit von Verstopfungen hängt von mehreren Faktoren ab:

- Art des geförderten Mediums
- Hydrauliktyp der Pumpe
- Länge der Betriebszyklen
- Pumpengröße
- Motordrehmoment und Trägheitsmoment
- Qualität der Routinewartung

### Erhöhter Energieverbrauch durch weiches Verstopfen

Bei einer Kanal-Laufradpumpe kann weiches Verstopfen zu Leistungseinbußen führen und die Pumpe nach längeren Betriebszyklen auslösen. Bei Wirbelaufzählern kann die Pumpe dank des großen Gehäuseums weiterlaufen, wodurch sich mehr Feststoffe ansammeln. In beiden Fällen reduziert weiches Verstopfen die Effizienz und kann hartes Verstopfen begünstigen.

Abbildung 11 zeigt den Einfluss von weichem Verstopfen auf Effizienz und Energieverbrauch. Bei traditionellen Pumpen, sowohl mit Kanal- als auch mit Wirbelaufzählern, sinkt die Effizienz kontinuierlich, und der Energieverbrauch steigt im Laufe der Zeit, unabhängig davon, ob die Pumpe im Dauer- oder

Intervallbetrieb läuft. Selbst kurze Spülzyklen können nur vorübergehend Effizienzgewinne bringen. Selbstreinigende Pumpen mit N- oder Adaptive-N-Hydraulik halten die Effizienz konstant und verbrauchen kontinuierlich weniger Energie, egal ob sie dauerhaft oder intermittierend betrieben werden.

Erhöhte Energiekosten durch weiches Verstopfen lassen sich vor Ort messen, ihre Vorhersage ist jedoch schwierig, da die Eigenschaften des Abwassers und die Betriebszyklen stark variieren.

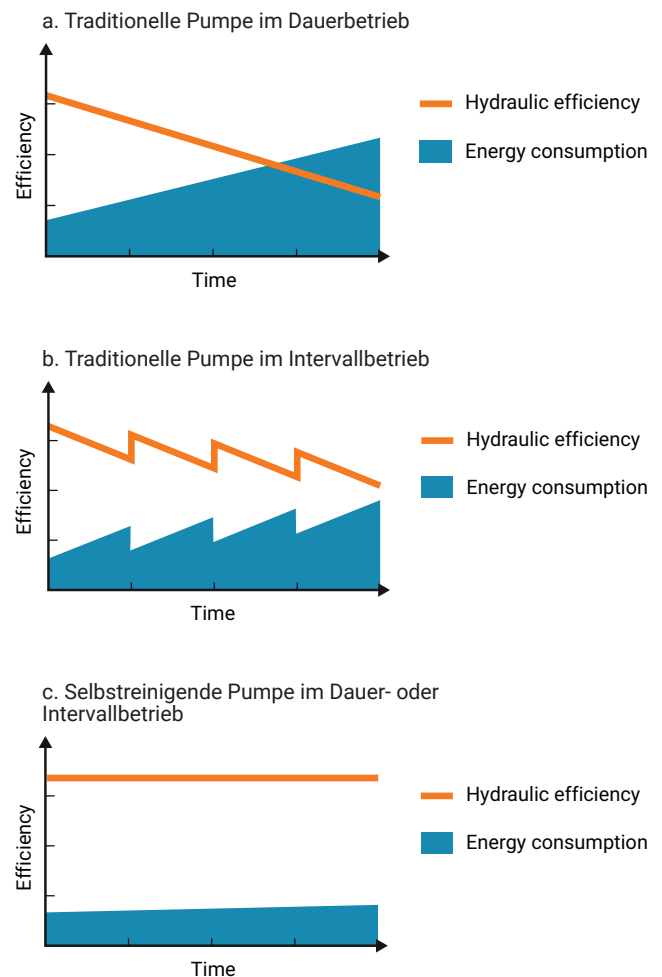


Abbildung 11: Leistung traditioneller Pumpen unter zwei unterschiedlichen Betriebsbedingungen im Vergleich zu einer selbstreinigenden Abwasserpumpe mit N-Technologie

## Vereinfachtes LCC-Vergleichsbeispiel

Das folgende Beispiel zeigt eine vereinfachte Lebenszykluskostenanalyse (LCC) für drei Pumpentypen bei kurzen versus langen täglichen Betriebszeiten.

### Anwendung und Pumpendetails

Pumpmedium	Ungeklärtes Abwasser			
Fördermenge	25 l/s			
Förderhöhe	8 m			
Betriebsdauer	5 years			
Energiekosten*	0.1 € / kWh			
Kosten für ungeplante Wartung	200 € pro Einsatz			
Pumpenauswahl	Kanal-Laufrad	Wirbellaufrad	Adaptives N-Laufrad	
Nennleistung (kW)	3.1	4.7	3.1	
Hydraulischer Wirkungsgrad (sauberes Wasser)**	75%	46%	77%	
Gesamtwirkungsgrad**	63%	38%	65%	
Spezifischer Energieverbrauch kWh/m <sup>3</sup> **	0.0346	0.0574	0.0335	
Anzahl der Einsätze pro Jahr	Betrieb 3 Stunden / Tag	4	2	0.5
	Betrieb 12 Stunden / Tag	16	8	2

\*Energiekosten können je nach Land stark variieren.

\*\*Wirkungsgrad- und Energieverbrauchswerte basieren auf den Leistungskurven der Flygt-Pumpe.

Die Anschaffung der verschiedenen Hydrauliktypen spielt nur eine geringe Rolle, da sie bei langen Betriebszyklen nur einen kleinen Teil der LCC ausmacht. Auch die geplanten Wartungskosten sind bei allen Pumpen ähnlich, während ungeplante Wartungskosten aufgrund von hartem Verstopfen einen deutlich größeren Einfluss auf die Gesamtkosten haben.

Bei einer Kanal-Laufradpumpe, die 12 Stunden pro Tag über fünf Jahre läuft (Abbildung 14), übersteigen die Kosten für ungeplante Wartung das Fünffache der Anfangsinvestition. Im Vergleich dazu betragen die Wartungskosten der Adaptive-N-Laufradpumpe nur etwa 60 % der Anschaffungskosten.

Wirbellaufträger haben zwar tendenziell weniger Serviceeinsätze, ihre geringere Effizienz führt jedoch zu höheren Energiekosten. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren verbraucht eine Wirbel-Hydraulikpumpe mehr Energie als die anderen beiden Hydrauliktypen.

Unabhängig davon, ob die Pumpe 3 oder 12 Stunden pro Tag betrieben wird (Abbildungen 13 und 14), weist die Adaptive-N-Laufradpumpe die geringsten Lebenszykluskosten auf und minimiert ungeplante Wartungen. Berücksichtigt man die Energieeinsparung durch die Vermeidung von weichem Verstopfen, sind die Einsparungen noch höher. Zudem bietet die N-Pumpe einen störungsfreien Betrieb für den Endanwender.

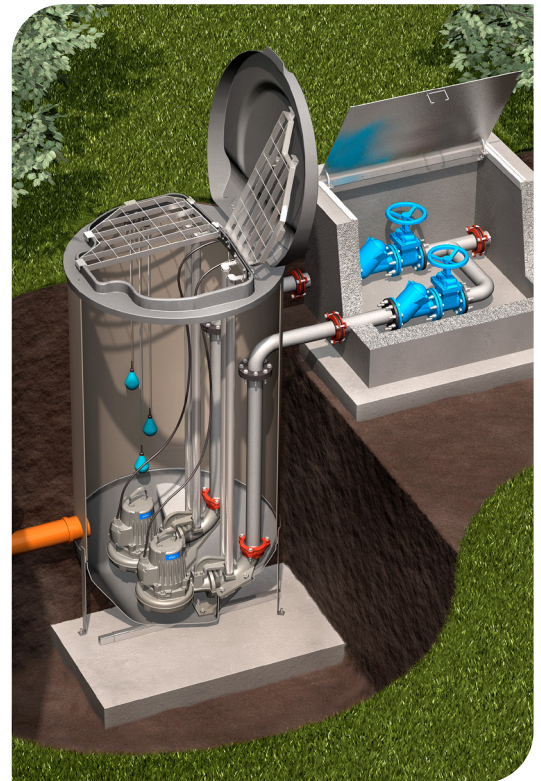


Abbildung 12: Beispiel einer Pumpstation mit Nassschacht und zwei kleinen Abwasserpumpen

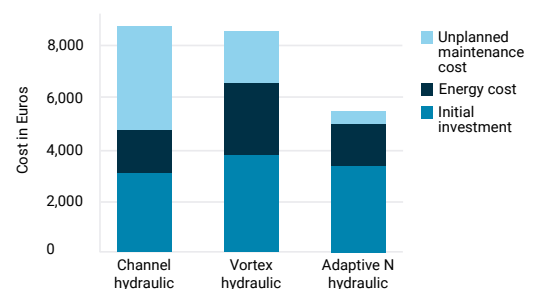


Abbildung 13: Vereinfachte LCC-Analyse bei 3 Stunden Betriebszeit pro Tag über 5 Jahre

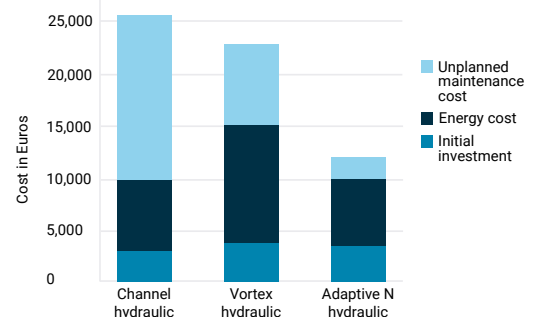


Abbildung 14: Vereinfachte LCC-Analyse bei 12 Stunden Betriebszeit pro Tag über 5 Jahre

## Zusammenfassung

Der zunehmende Fokus auf die Minimierung der Betriebskosten erhöht die Nachfrage nach Pumpen mit besserer Verstopfungsresistenz und höherer Effizienz, insbesondere im Abwasserbereich. Vor über 25 Jahren wurde hierfür ein selbstreinigendes Hydraulikdesign entwickelt. Das semi-offene N-Laufrad mit zurückgekrümmten horizontalen Vorderkanten und Entlastungsnut reduziert das Risiko von Verstopfungen deutlich. Dadurch bieten N-Pumpen dauerhaft hohe Effizienz und höhere Zuverlässigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Hydraulikdesigns und werden weltweit erfolgreich eingesetzt.

Bei kleinen Abwasserpumpen mit begrenztem Motordrehmoment stieß die N-Technologie in anspruchsvollen Anwendungen an Grenzen. Um die Selbstreinigungsfunktion weiter zu verbessern und insbesondere hartes Verstopfen bei Pumpen mit niedrigem Drehmoment zu reduzieren, wurde das N-Laufrad mit Adaptive N-Technologie ergänzt. Die hydraulische Anpassung erlaubt eine axiale Bewegung des Laufrads, sodass selbst hartnäckige Ablagerungen problemlos passieren können. Zahlreiche Labor- und Feldtests zeigen, dass Adaptive N-Hydraulik sowohl weiches als auch hartes Verstopfen bei kleinen Pumpen effektiv löst.

Darüber hinaus zeigt die Lebenszykluskostenanalyse (LCC) ein erhebliches Einsparpotenzial für Adaptive N-Pumpen, das sich in der Regel aus geringerem Energieverbrauch und reduzierten Kosten für ungeplante Wartung ergibt.