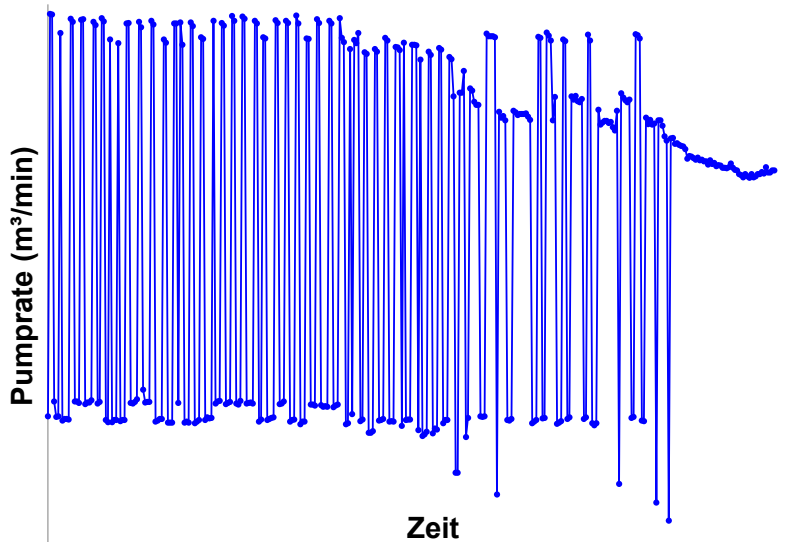


Modellierung von Leistungsabfällen von Pumpen über die Betriebsdauer – Eine theoretische Betrachtung

Motivation

- Betriebsdauer einer Pumpe in aktiver Wasserhaltung kann/soll Jahrzehnte betragen
- Leistungsabfälle über die Betriebsdauer sind realistisch
 - Mögliche Ursache: Genereller Verschleiß, insbesondere Inkrustation/Verockerung der Pumpen
 - Mögliche Auswirkung: Pumpen benötigen mehr Energie für gleiche Leistung
- Berücksichtigung in Grubenwassermodellierung sinnvoll



Erster Ansatz:

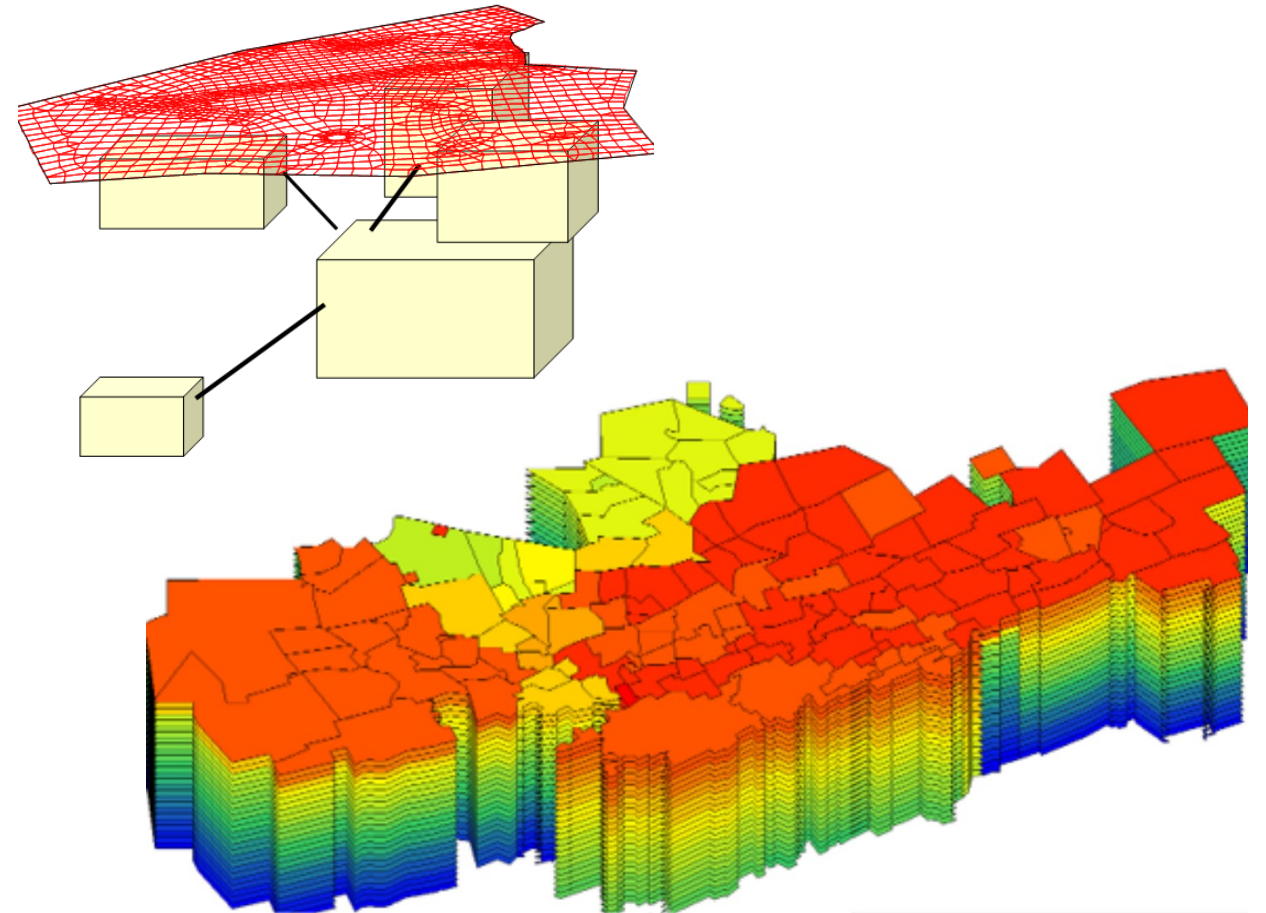
- Änderung der Pumprate über die Zeit
- Betrachtung verschiedener Änderungsfunktionen
- Anpassung für verschiedene Pumparten möglich
- Meist Reduzierung der Pumprate, aber mit Modell generelle Modifikation über Änderungsfunktion möglich



Kurze Einführung: Boxmodell - Grubenwassermodellierung

Genereller Aufbau

- **Volumen Bilanz Methode**
 - Boxen = Bilanzelemente → Bergwerke
- **Boxen**
 - stark verbunden
 - hydraulisch homogen
- **Resthohlraumvolumen**
 - Schächte
 - Abbaubereiche
- **Zuflüsse**
 - GWN, oberflächennahe Herkunft
 - Tiefes Schichtwasser, lateral
- **Abflüsse (Pumpen)**

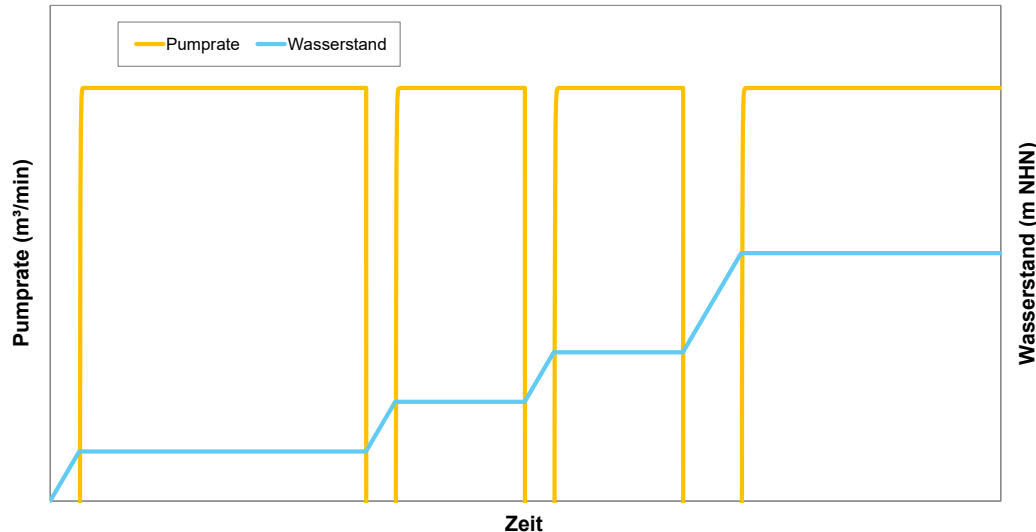


Mögliche Pumpmodellierungen im Boxmodell

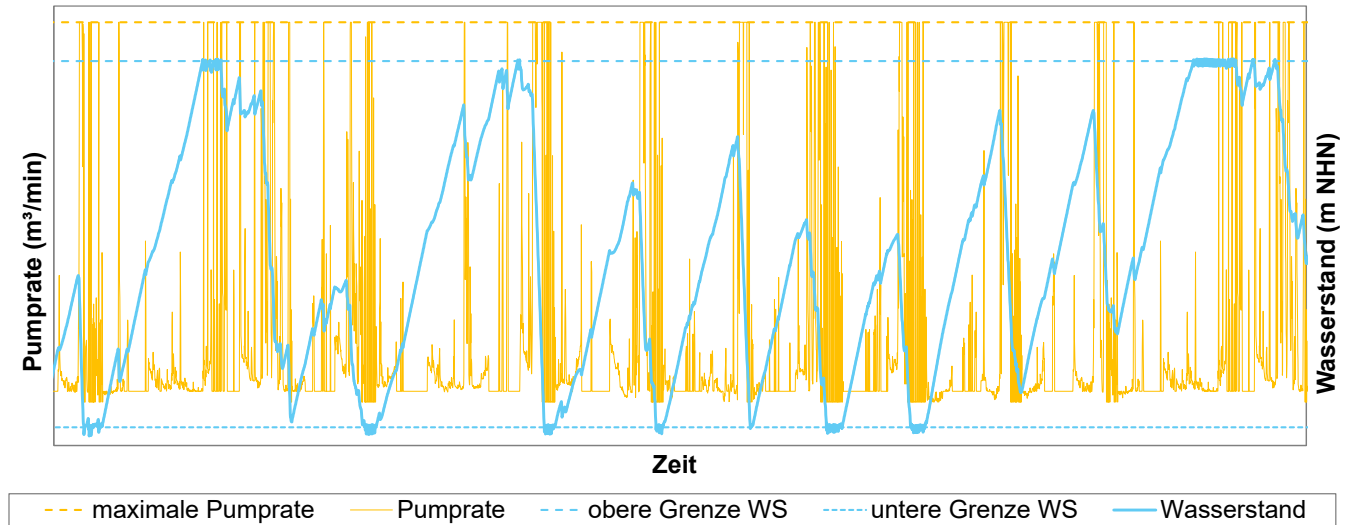
Niveaupumpen:

- Halten eines Wasserstandniveaus
- Halten eines Wasserstandniveaus mit zyklisch vorgegebenen Pumpzeiten
- Halten auf verschiedenen, zeitlich vorgegebenen Wasserstandniveaus
- Für alle Arten ist die zusätzliche Vorgabe einer maximalen Pumprate möglich

Niveaustufenpumpe



Kopplung an Vorfluter mit Schwankung zwischen zwei Wasserstandniveaus



Pumpen mit vorgegebener Pumprate:

- Feste Pumprate
- Feste Pumprate mit zyklisch vorgegebenen Pumpzeiten
- Kopplung an einen Vorfluter (Vorgabe von Wasserstandsschwankungsgrenzen möglich)
- Kopplung der Pumprate an den Wasserstand
- Zyklisches Pumpen zwischen Wasserstandsschwankungsgrenzen

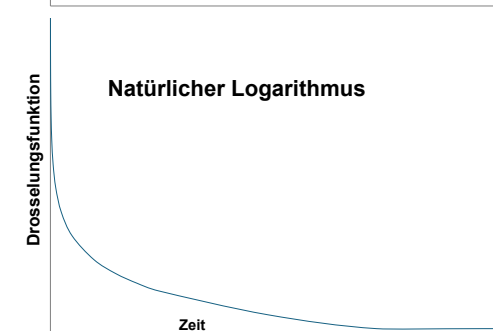
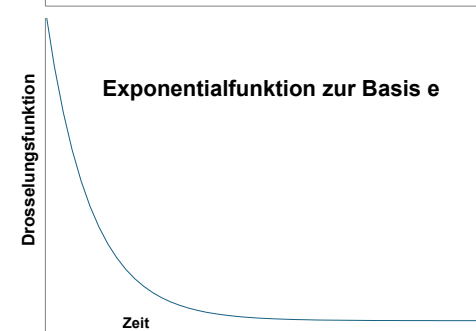
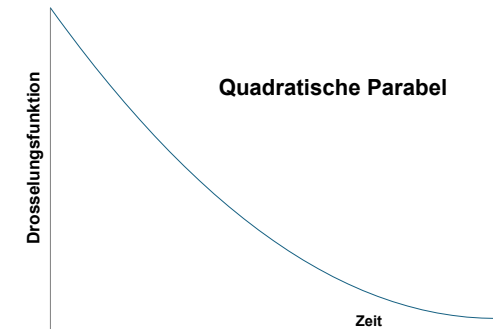
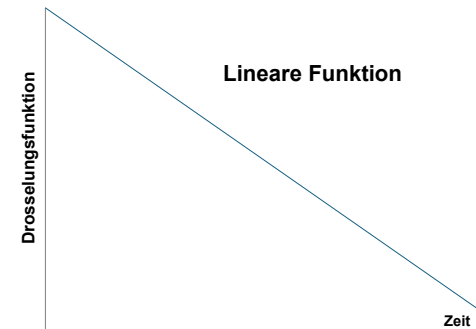
Modellierung eines Leistungsabfalls einer Pumpe

- Bisher keine Änderung der Pumprate durch „innere Einflüsse“ möglich
- Änderungen sind Reaktionen auf Schwankungen im Zufluss oder Kopplung an Vorfluter oder Schwankungen zwischen Grenzen oder externe Vorgaben
- Abfall der Leistungsmöglichkeit einer Pumpe durch Verschleiß ist realistisch

Erster theoretischer Ansatz: Minderung der maximalen Pumprate über zeitliche Drosselfunktionen

- Kopplung an die Zeit, nicht an die Qualität des Wassers
- Drosselung über vier verschiedenen Funktionen:

Lineare Funktion	$Dr(t) = at + b$
Quadratische Parabel	$Dr(t) = at^2 + bt + c$
Exponentialfunktion zur Basis e	$Dr(t) = ae^{bt+c} + d$
Natürlicher Logarithmus	$Dr(t) = a \ln(bt + c) + d$

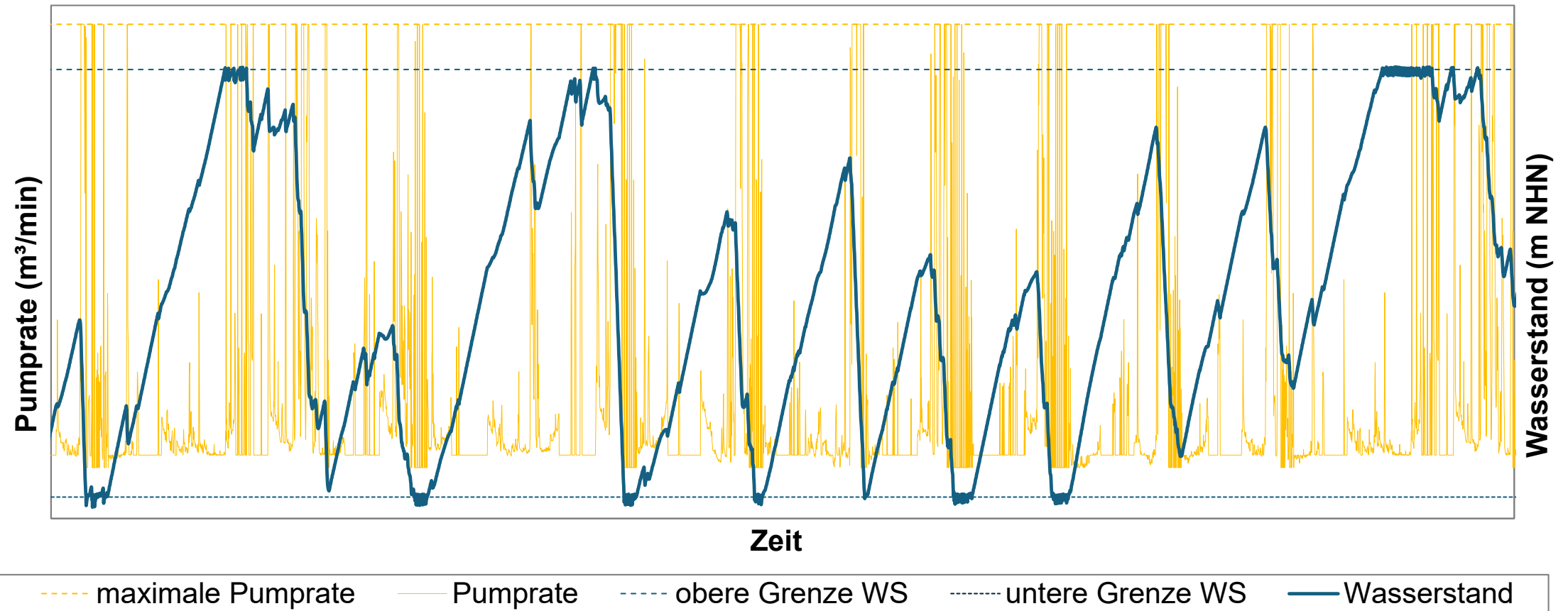


Drosselung der maximalen Pumprate über die Zeit

Theoretisches Modell mit einer Pumpe und einem konstanten Zufluss

Keine Drosselung

Kopplung an Vorfluter mit Schwankung zwischen zwei Wasserstandniveaus

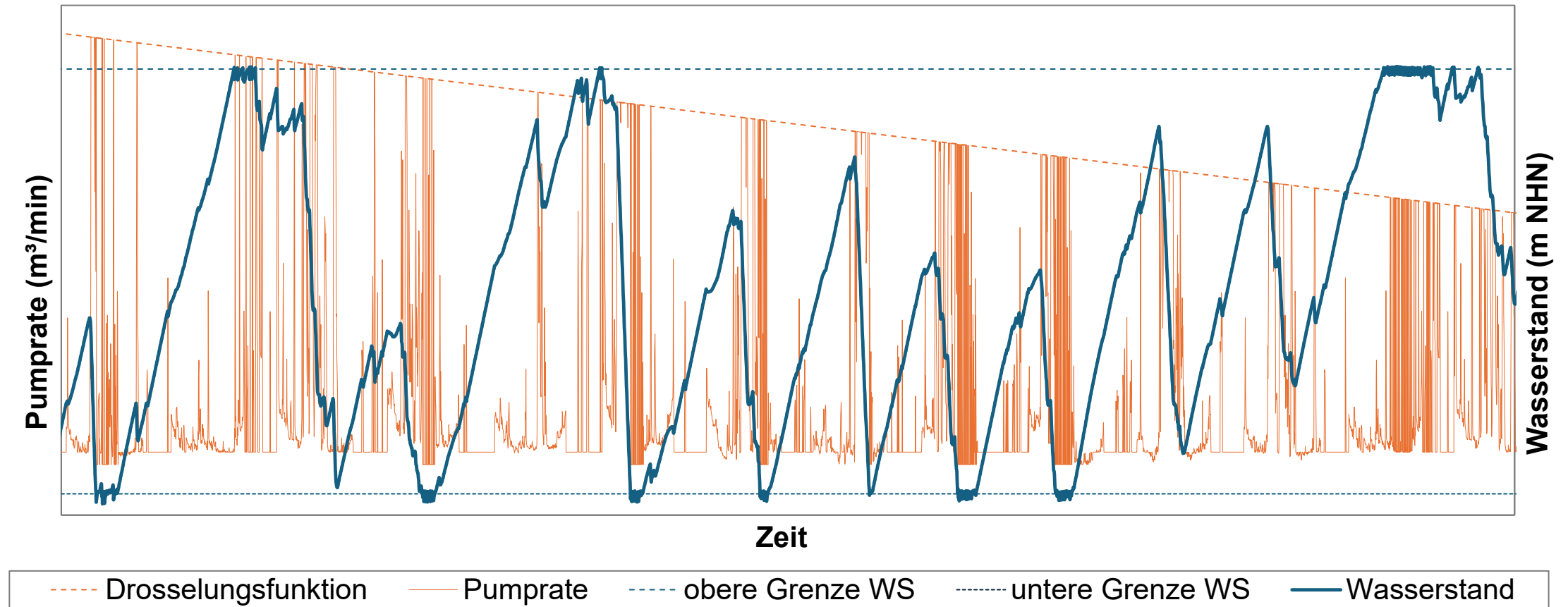


Drosselung der maximalen Pumprate über die Zeit

Theoretisches Modell mit einer Pumpe und einem konstanten Zufluss

Lineare Drosselung

Kopplung an Vorfluter mit Schwankung zwischen zwei Wasserstandniveaus

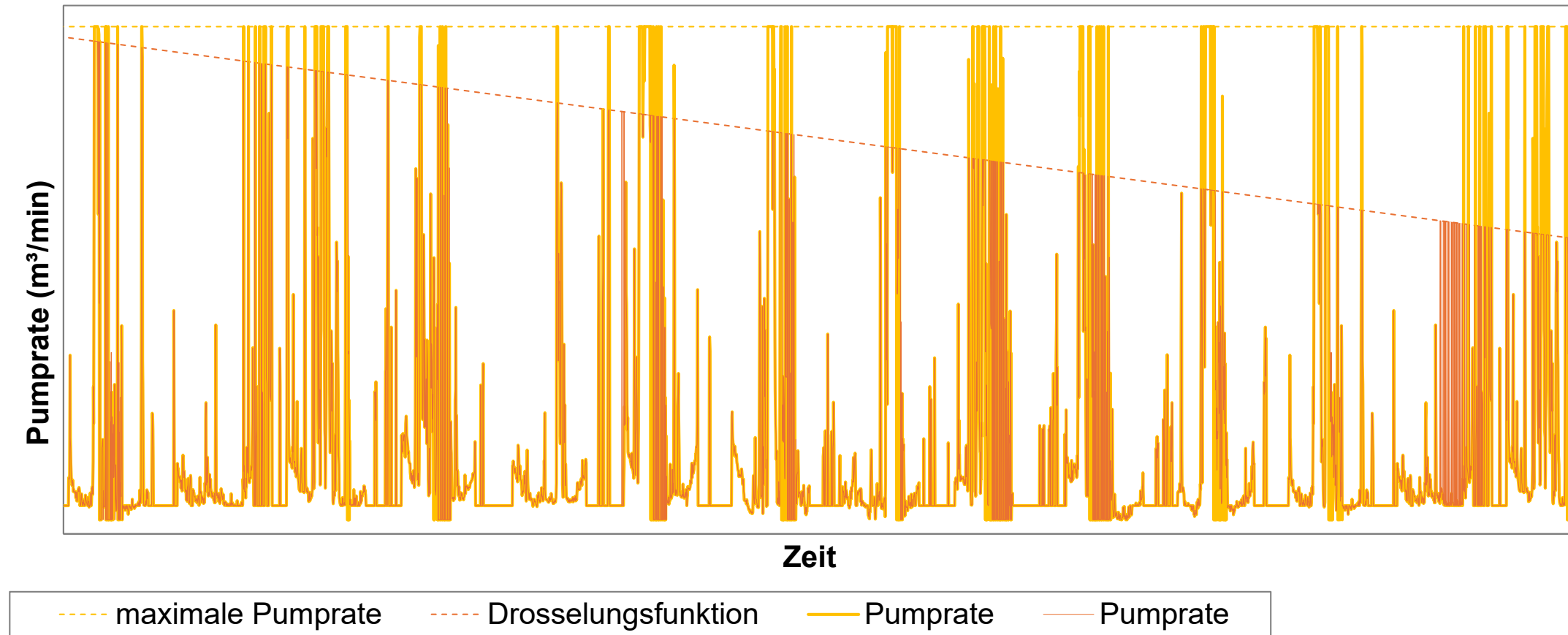


Drosselung der maximalen Pumprate über die Zeit

Theoretisches Modell mit einer Pumpe und einem konstanten Zufluss

Vergleich der Pumpraten

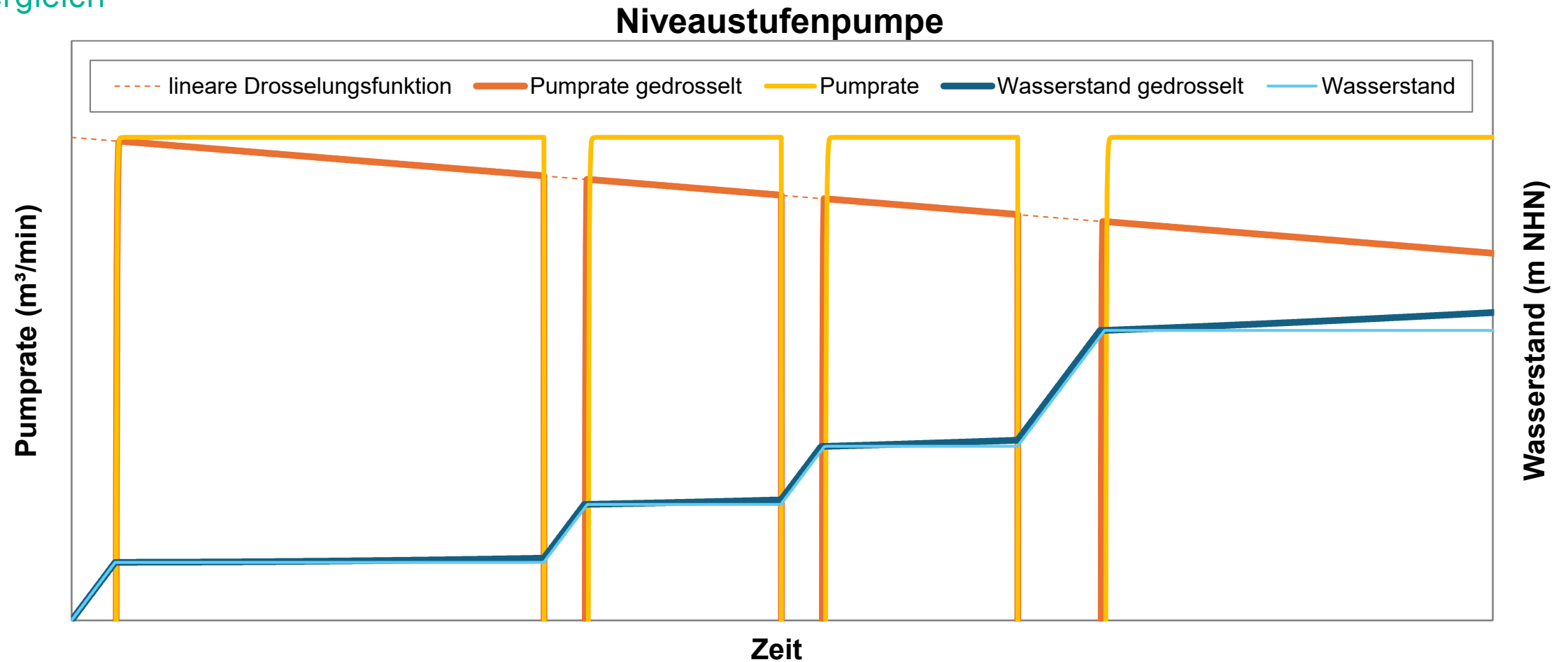
Kopplung an Vorfluter mit Schwankung zwischen zwei Wasserstandniveaus



Drosselung der maximalen Pumprate über die Zeit

Theoretisches Modell mit einer Pumpe und einem konstanten Zufluss

Vergleich

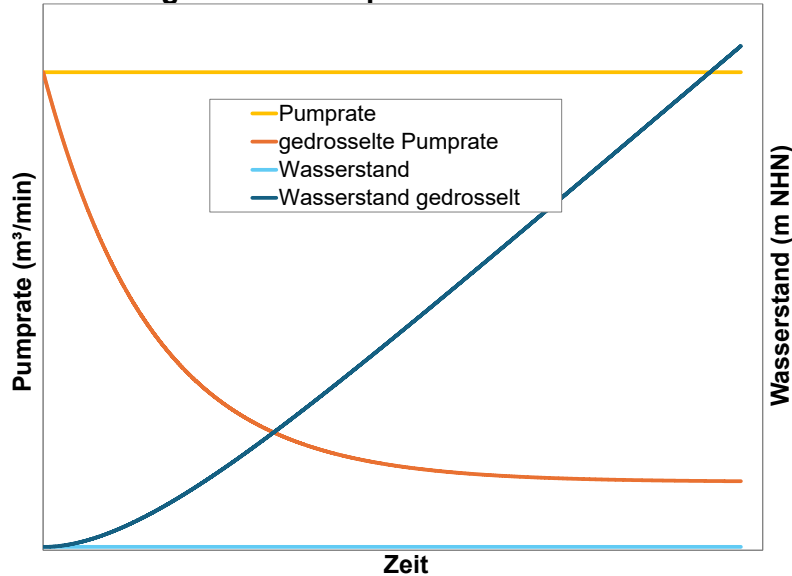


Drosselung der maximalen Pumprate über die Zeit

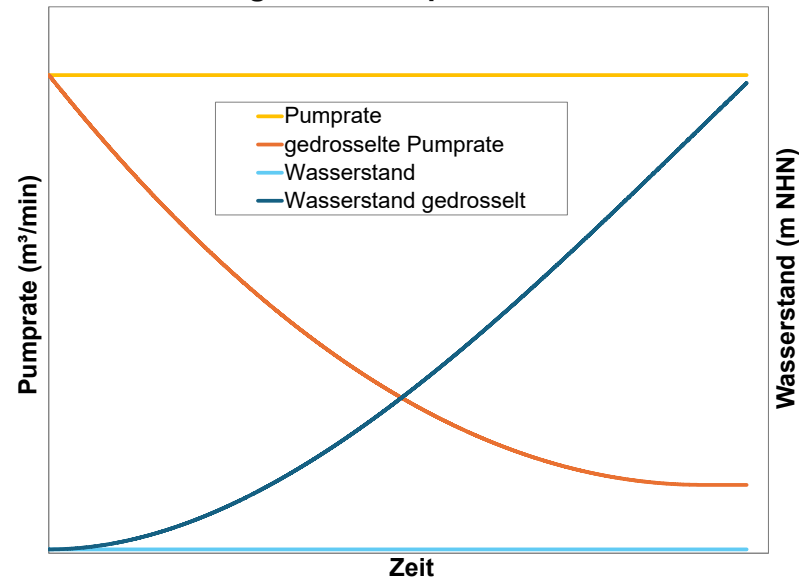
Theoretisches Modell mit einem konstanten Zufluss und mit einer Pumpe mit einer konstanten Pumprate

Drei verschiedene Drosselungsansätze

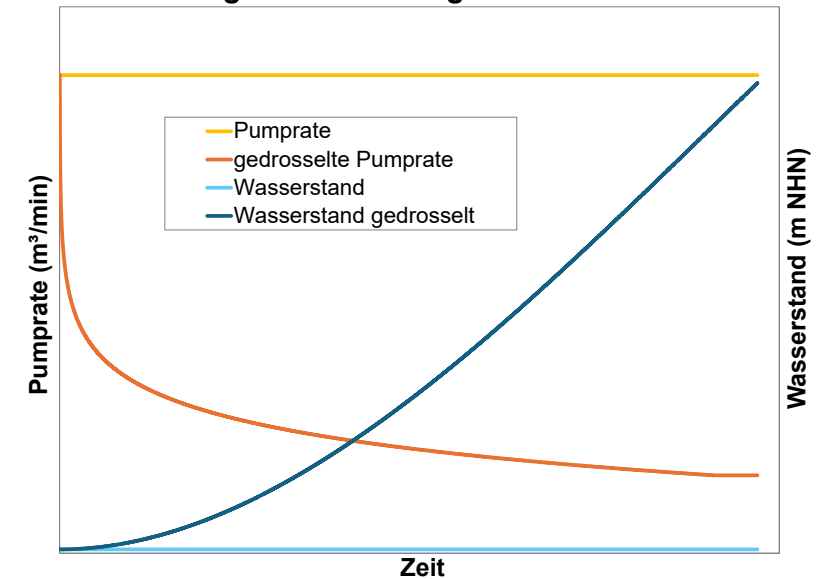
Drosselung über eine Exponentialfunktion zur Basis e



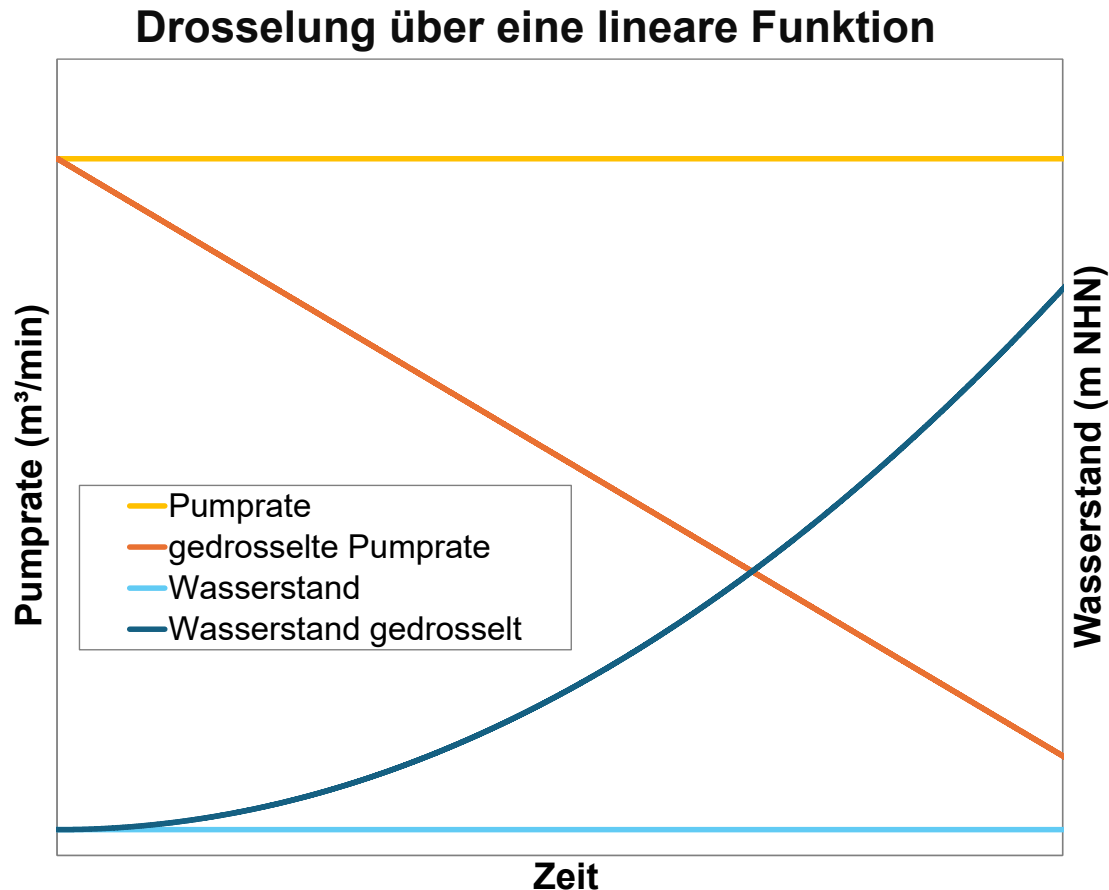
Drosselung über eine quadratische Parabel



Drosselung über einen Logarithmus naturalis



Exkurs: Mathematischer Zusammenhang zwischen Pumprate und Wasserstand



$$Q(t) = Q_{konst} Dr(t) \text{ mit } Dr(t) = at + b$$

$$\text{Wassermenge: } WM(t) = \int_0^t Q(t) dt = Q_{konst} \left(\frac{1}{2} at^2 + bt \right)$$

$$WM(Ws) = \int_{Ws_0}^{Ws} A(t) dWs$$

mit A als auffüllbare Fläche pro Wasserstand Ws ;

$$\text{hier } A(Ws) = A_{konst}$$

$$WM(Ws) = A_{konst} Ws - A_{konst} Ws_0$$

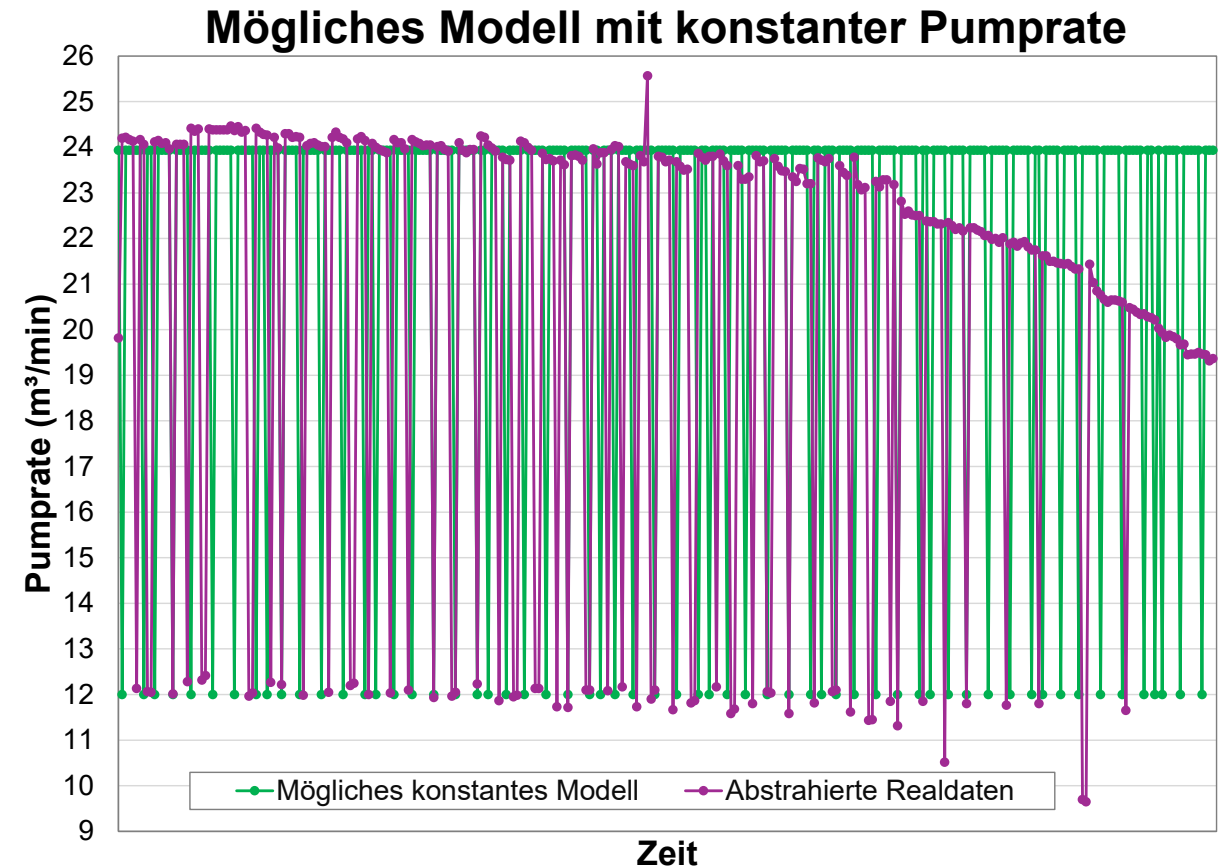
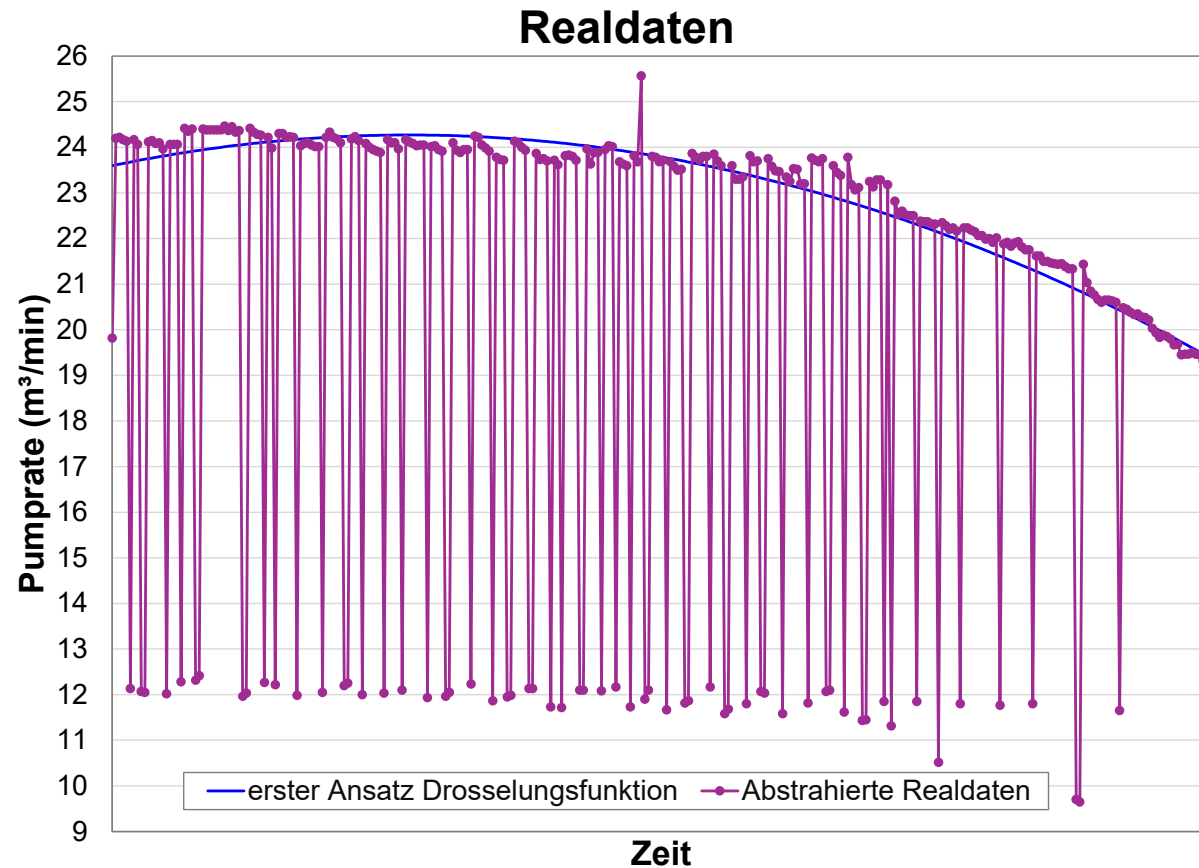
$$\Rightarrow A_{konst} Ws - A_{konst} Ws_0 = Q_{konst} \left(\frac{1}{2} at^2 + bt \right)$$

$$\Leftrightarrow Ws(t) = \frac{Q_{konst} \left(\frac{1}{2} at^2 + bt \right)}{A_{konst}} + Ws_0$$

$$Ws(t) = \frac{WM(t)}{A_T} + Ws_0$$

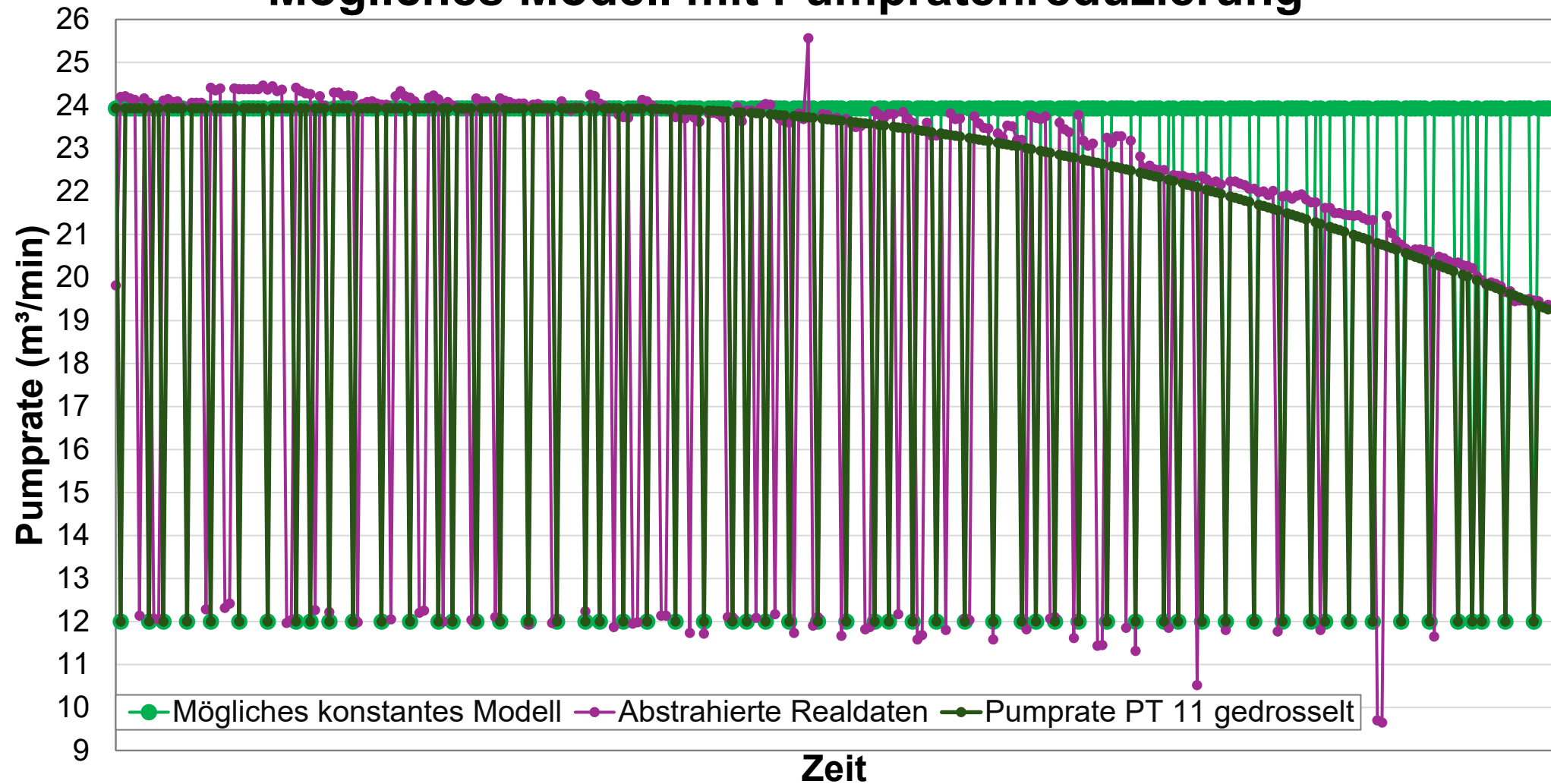
Nachmodellierung eines abstrahierten Realfalls

Wechselspiel von 3 Pumpen mit einer maximalen Pumprate von jeweils 12 m³/min



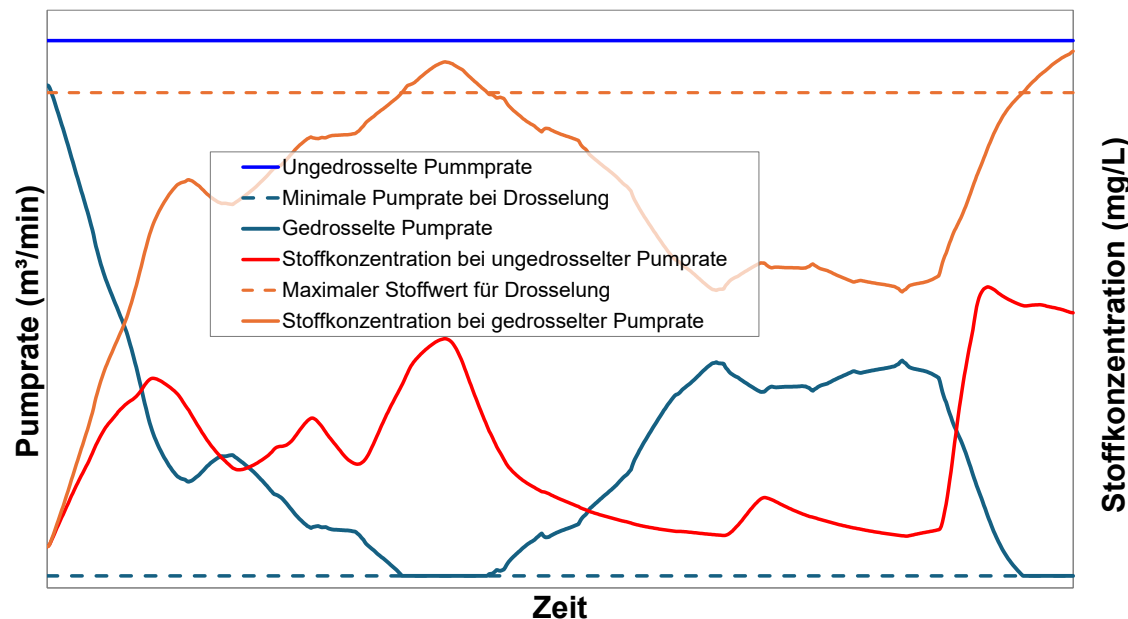
Nachmodellierung eines abstrahierten Realfall

Mögliches Modell mit Pumpratenreduzierung



Erweiterungsmöglichkeit: Kopplung der Leistungsänderung an die Qualität des Wassers

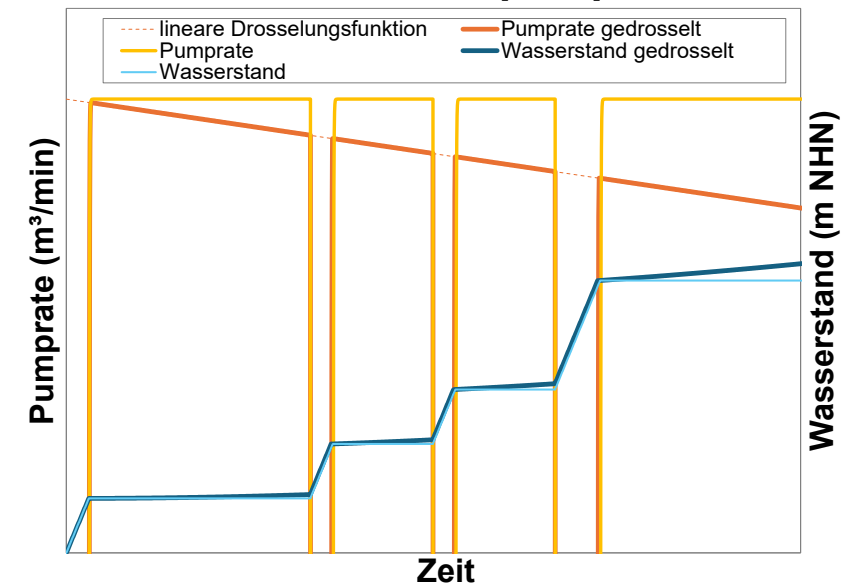
- Leistungsverlust von Pumpen meist durch Verockerung oder Inkrustation
 - Wasserqualität entscheidend
- Funktion der Pumpratenänderung nicht über Zeit sondern über chemische Parameter
- Grundsätzlich Kopplung an chemische Parameter umsetzbar



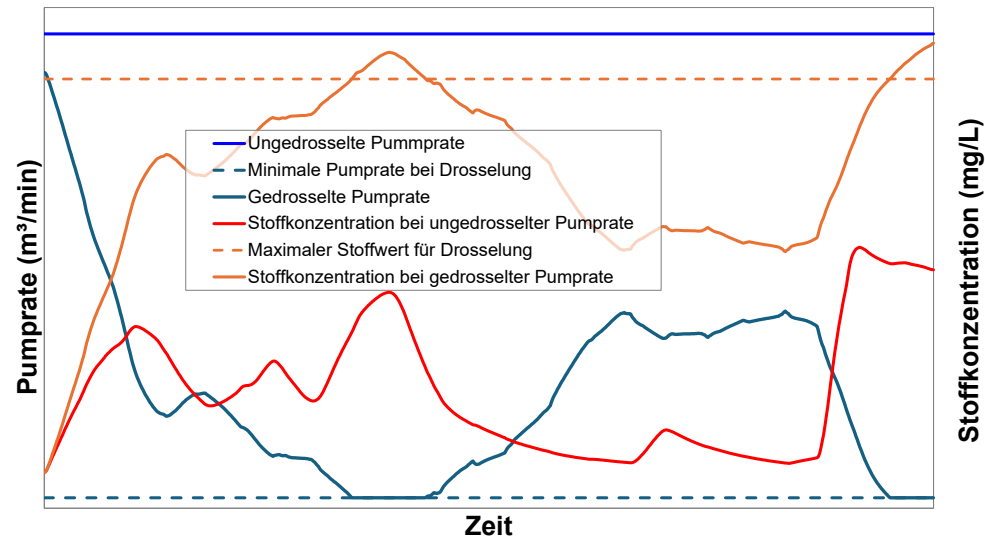
Zusammenfassung....

- Zeitliche Änderung der Pumprate möglich
- Wahl zwischen verschiedenen mathematischen Funktionen
- Änderungsfunktion auf unterschiedliche Pumparten anwendbar

Niveaustufenpumpe



... und Ausblick



- Kopplung an Wasserqualität
- Modellierung von Verockerung und Inkrustation
- Zukünftige mögliche Optimierungen:
 - Bessere Planbarkeit von Revisionsarbeiten
 - Höhere Effizienz der Pumpe möglich
 - Kostenreduzierung durch Pumpbetrieb im effektiven Arbeitspunkt der Pumpe

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Julia Nicolina Sunten

Dr. Nele Pollmann

Dr. Christoph Klinger

Dr. Norbert Gomolla

DMT GmbH & Co. KG - Natural Resources

Hydrogeologie & Wasserwirtschaft

Am TÜV 1, 45307 Essen,

JuliaNicolina.Sunten@dmt-group.com

Mobil +49 160 8880 349

Christine von Kleinsorgen

RAG Aktiengesellschaft

V-WH-SK Grubenwasserkonzepte

Wilhelmstraße 98, 44649 Herne

