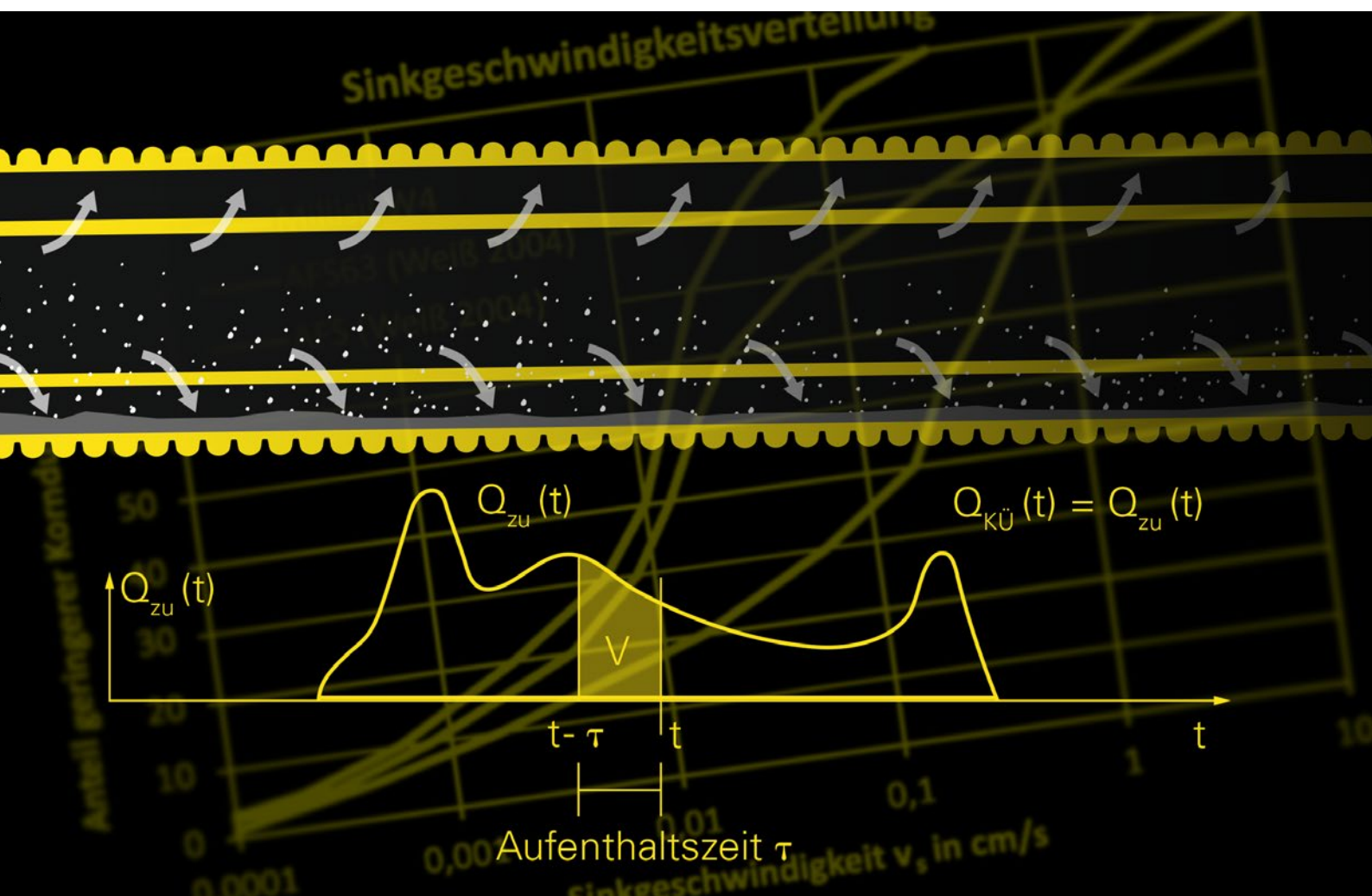


Technische Information

SediPipe – Verweilzeitverfahren



Nachweisverfahren für rohrförmige Sedimentationsanlagen vom Typ SediPipe unter Ansatz der Verweilzeit (konform zu DWA-A 102-2/BWK-A 3-2 – Kapitel 6.1.3.4. Sonderformen)

Technische Beratung – Systemberater vor Ort

Dr.-Ing. Bernd Albrecht
 Telefon +49 7144 8974180
 Telefax +49 7144 8974179
 Mobil 0171 6726235
 bernd.albrecht@fraenkische.de

Dipl.-Ing. Jens Kriese
 Telefon +49 3322 22066
 Telefax +49 3322 212559
 Mobil 0172 9324091
 jens.kriese@fraenkische.de

Dipl.-Ing. Wulff-Dietrich Maychrzak
 Telefon +49 33972 40291
 Telefax +49 33972 41909
 Mobil 0171 6739024
 wulff-dietrich.maychrzak@fraenkische.de

Dipl.-Ing. (FH) Ralf Becker
 Telefon +49 6472 8327711
 Telefax +49 6472 8327712
 Mobil 0172 6097908
 ralf.becker@fraenkische.de

Heiko Liese
 Telefon +49 5602 9134444
 Telefax +49 9525 889290131
 Mobil 0160 7480750
 heiko.liese@fraenkische.de

Ralf Neubauer
 Telefon +49 9170 972110
 Telefax +49 9170 972131
 Mobil 0171 3797169
 ralf.neubauer@fraenkische.de

Dipl.-Ing. Jürgen Böhm
 Telefon +49 34361 687950
 Telefax +49 34361 687951
 Mobil 0171 7295077
 juergen.boehm@fraenkische.de

Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Lützel
 Telefon +49 5138 6067989
 Telefax +49 5138 7094883
 Mobil 0170 9220780
 sebastian.luetzel@fraenkische.de

Frank Tersteegen
 Telefon +49 2842 330651
 Telefax +49 2842 330652
 Mobil 0171 7326178
 frank.tersteegen@fraenkische.de

Dipl.-Ing. (FH) Eberhard Dreisewerd
 Telefon +49 5244 901350
 Telefax +49 5244 901351
 Mobil 0171 6739025
 eberhard.dreisewerd@fraenkische.de

Martin Karch
 Telefon +49 9871 9970
 Telefax +49 9871 9980
 Mobil 0171 7238940
 martin.karch@fraenkische.de

Dipl.-Ing. (FH) Olaf Jagielski
 Telefon +49 271 3847994
 Telefax +49 271 3847995
 Mobil 0151 61059250
 olaf.jagielski@fraenkische.de

B. Eng. Daniel Dorfner
 Mobil 0151 17611930
 daniel.dorfner@fraenkische.de



Inhalt

Technische Beratung – Systemberater vor Ort	2
1 Allgemeines	4
2 Beschreibung Verweilzeitverfahren	4
3 Merkmale des Rechenmodells	6
4 Validierung des Rechenmodells	8
5 Bemessungsverfahren	9
6 Zusammenfassung	14
7 Literatur	14

Verfasser / Autoren

Dr.-Ing. Gebhard Weiß

Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH
Steinstraße 7, 97980 Bad Mergentheim, Deutschland

Dipl.-Ing. (FH) Michael Schütz

FRÄNKISCHE ROHRWERKE Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG
Hellinger Straße 1, 97486 Königsberg, Deutschland

1 Allgemeines

Das Regelwerk DWA-A 102-2/BWK-A 3-2 „Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen“ beschreibt unter Abschnitt 6.1.3.4 Sonderformen baulicher Anlagen oder industriell gefertigte technische Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung. Diese müssen hinsichtlich Stoffrückhalt und dauerhaftem Betrieb die einschlägigen Anforderungen erfüllen. Die Bewertung der Wirksamkeit dieser Sonderform-Anlagen hat für den Einzelfall im Rahmen eines Nachweisverfahrens zu erfolgen (Abschnitt 8, DWA-A 102-2/BWK-A 3-2).

Die industriell gefertigten Sedimentationsanlagen vom Typ SediPipe fallen unter die o.g. Sonderform. Die bewährte Produktfamilie von FRÄNKISCHE besteht aus längs durchströmten, langgestreckten, gedungenen und dauergestauten Rohren als Sedimentationsreaktoren, in denen zudem ein speziell entwickelter Strömungstrenner die Remobilisierung des Sedimentdepots auch während größerer Zuflüsse zuverlässig verhindert (Abb. 1).

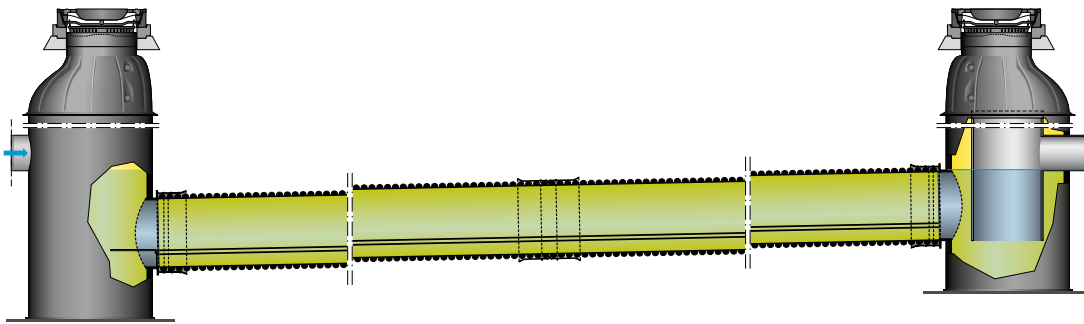


Abb. 1: beispielhafte Darstellung (Längsschnitt) einer SediPipe XL

Nachfolgend wird das speziell entwickelte und fachlich anerkannte Nachweisverfahren – **„Verweilzeitverfahren“** – dargestellt.

Die Entwicklung erfolgte in direkter Zusammenarbeit mit Dr.-Ing. Gebhard Weiß von der Firma UFT (Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH).

2 Beschreibung Verweilzeitverfahren

Klassische Regenklärbecken zur Behandlung von Regenabfluss aus Trennsystemen und anschließender Einleitung in Oberflächengewässer sollen zukünftig ohne Dauerstau betrieben werden (gem. Abs. 6.1.3.2, DWA-A 102-2). Sie wurden in der Vergangenheit nach DWA-M 153 (2012) eingestuft und nach DWA-A 166 auf eine zulässige Oberflächenbeschickung q_A bei einer kritischen Regenspende r_{krit} bemessen.

Das im Dezember 2020 erschienene Arbeitsblatt DWA-A 102-2/BWK-A 3-2 schlägt mit dem Ansatz eines flächenspezifischen AFS63-Schmutzabtrags in $kg/(ha \cdot a)$ und eines zulässigen flächenspezifischen Schmutzaustrags ins Gewässer einen anderen Weg ein.

Es gilt nun, einen hinreichenden Wirkungsgrad und somit eine entsprechende Abscheidewirkung für Behandlungsanlagen nachzuweisen.

Um die in der Realität auftretenden, variablen Regenzuflüsse und die damit zusammenhängenden zeitlich instationären Sedimentationsvorgänge abbilden zu können, wurde mit dem „Verweilzeitverfahren“ ein anlagenspezifisches Nachweisverfahren entwickelt.

Das Verfahren berechnet dabei zu jedem Zeitpunkt t die Verweilzeit $\tau(t)$ des zu diesem Zeitpunkt aus der Behandlungsanlage ablaufenden Wassers. Dadurch werden die Verweilzeit des Niederschlagswassers in der Anlage und die damit einhergehenden Sedimentationsvorgänge wirklichkeitsgetreu abgebildet. Die Verwendung der Verweilzeit $\tau(t)$ statt der Oberflächenbeschickung q_A beschreibt den instationären Durchströmungs- und Sedimentationsvorgang, ohne die bei üblichen Sedimentationsformeln (Wirkungsgrad = $f(q_A)$) nötige Annahme einer quasistationären Durchströmung. Eine von der Verweilzeit abhängige Sedimentationsroutine erlaubt eine Langzeitsimulation und schließlich die Berechnung des Stoffaustrags.

Dadurch kann auch dann der Effekt einer zeitlich gedehnten Sedimentation berücksichtigt werden, wenn der Reaktor nicht durchströmt wird, aber dennoch einen Dauerstau aufweist (Batch-Effekt). Das unmittelbar nach einer solchen Zeitperiode austretende Wasser hatte eine lange Verweilzeit und weist dementsprechend eine nur geringe Konzentration von feinen Feststoffen AFS63 auf.

Auf den Gesamtwirkungsgrad η_{ges} hat dieser Effekt gerade bei entsprechend konstruktiv gestalteten Anlagen wie SediPipe eine sehr große, positive Auswirkung. Hingegen kann gezeigt werden, dass sehr lange Verweilzeiten, auch aufgrund des im Vergleich zum Regenklärbecken geringen, spezifischen Speichervolumens der SediPipe, die Ausnahmen sind. Hierdurch können in Verbindung mit der stets gleichmäßigen Verdrängungsströmung (Abb. 2) maßgebende Stoßbelastungen der Gewässer aus langzeitlichen Rücklöseprozessen oder Chlorid-Einschichtungen ausgeschlossen werden.

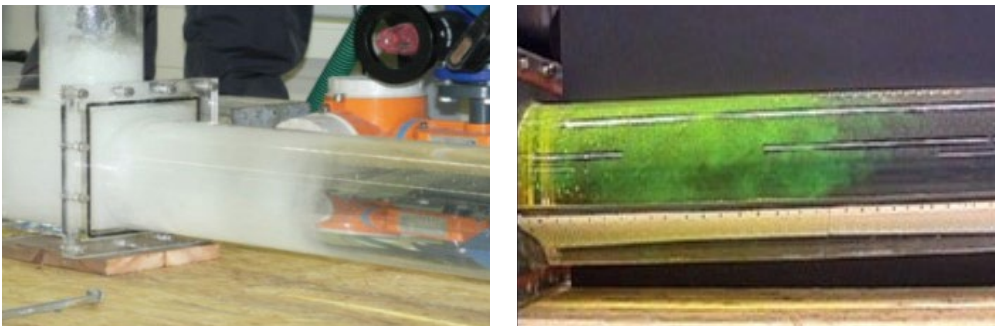


Abb. 2: Prinzipielle Darstellung der Pfropfenströmung (Verdrängungsströmung) im Sedimentationsrohr

Dies wurde an einer Vielzahl tatsächlich gemessener, sowie synthetischer NIEDSIM-Regenreihen der LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg geprüft. Abbildung 3 zeigt, dass 67 – 88 % des Überlaufvolumens eine Verweilzeit von weniger als 24 h haben. Dem gegenüber weisen nur 3 – 8 % eine Verweilzeit von mehr als einer Woche auf.

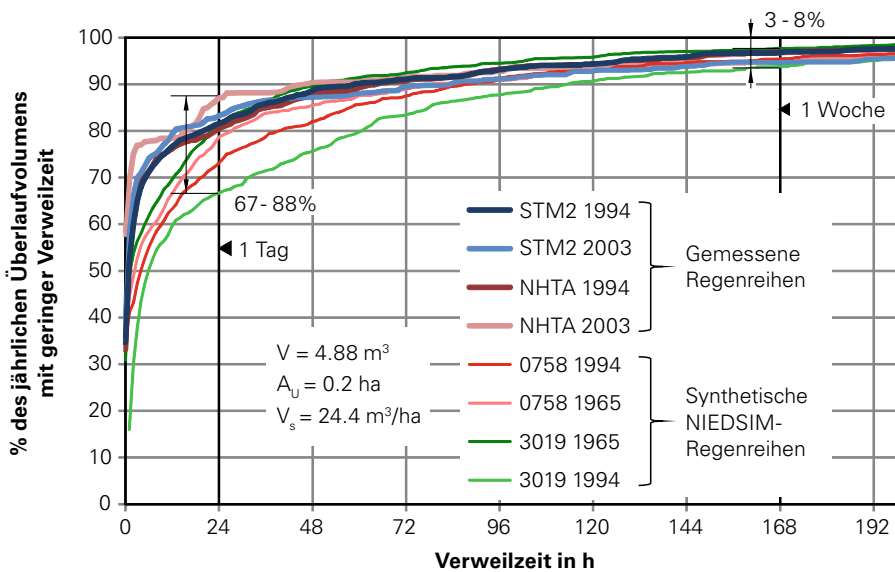


Abb. 3: Prozentualer Anteil des Überlaufvolumens als Funktion der Verweilzeit für einige 1-jährige Regenreihen

3 Merkmale des Rechenmodells

Das Modell koppelt die Volumensimulation eines kommerziellen Schmutzfrachtmodells mit Langzeitsimulation (z.B. KOSIM) mit einer externen Sedimentationsroutine zur Beschreibung verschiedener Reaktorgrößen und Betriebsweisen. Im langgestreckten, gedrunenen Sedimentationsreaktor der SediPipe wird eine parallele Pfropfenströmung (Verdrängungsströmung) simuliert, die bereits in mehreren Modell- und großtechnischen Versuchen nachgewiesen wurde (Abb. 2).

Eintretendes Wasser wird je nach Zufluss gleichmäßig „hindurchgeschoben“ (Abb. 4 und 5).

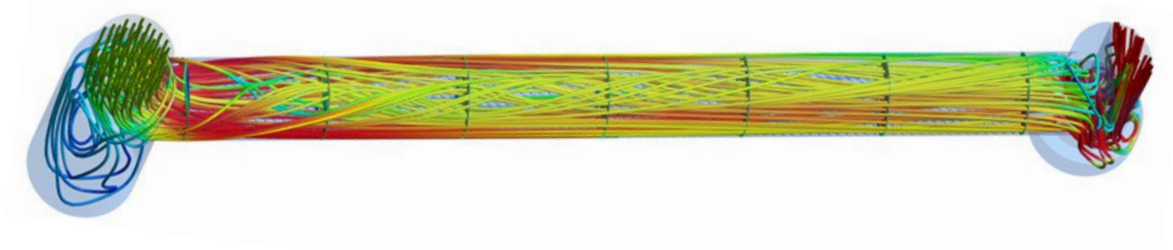


Abb. 4: Darstellung aus der CFD-Simulation

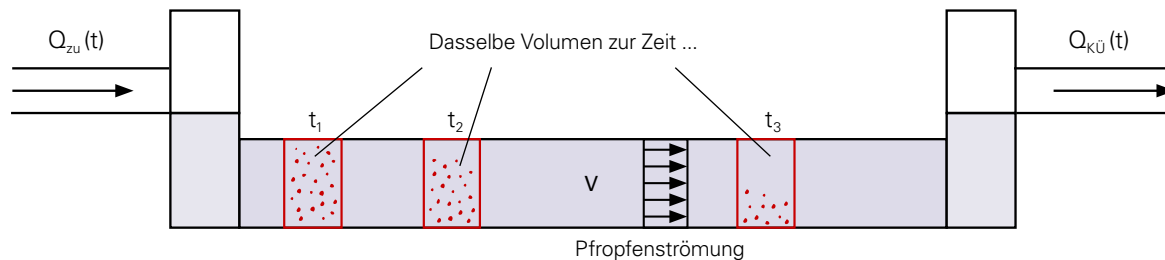


Abb. 5: Modellvorstellung einer Pfropfenströmung (Verdrängungsströmung) mit überlagertem Sedimentationsvorgang in einem langgestreckten, gedrunenen, dauergestauten Sedimentationsrohr

Die berechnete Verweilzeit $\tau(t)$ bezeichnet die Zeitdauer, die das zum Zeitpunkt t überlaufende Wasser im Sedimentationsrohr verbracht hat. Absetzbare Feststoffe (AFS) konnten während dieser Zeit sedimentieren. Die verwendete Sedimentationsroutine ist ein modifizierter Ansatz nach Fair-Geyer (1954), bei der statt der Oberflächenbeschickung die Verweilzeit eingeführt wurde, siehe Weiß und Schütz (2017).

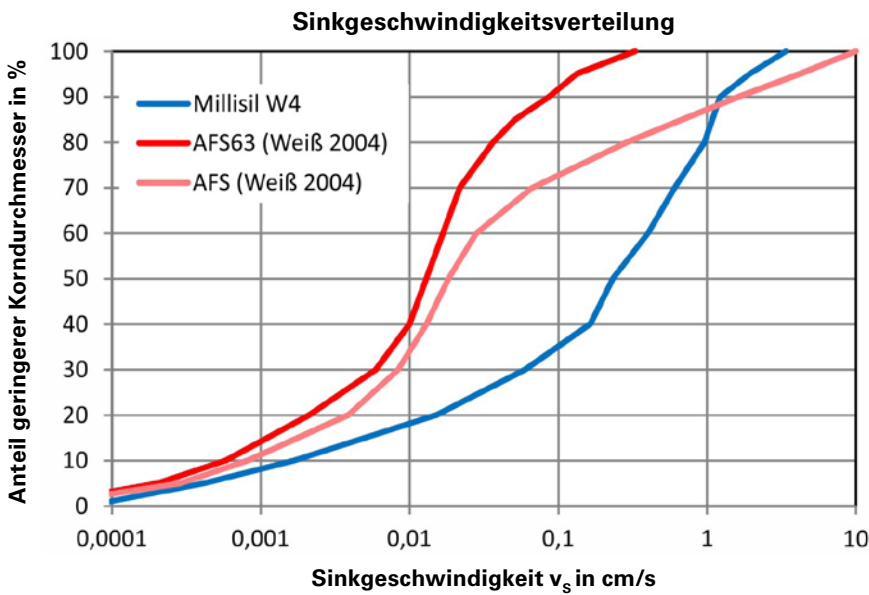
Schließlich liefert eine Integration über die Gesamtzeit die Entlastungsvolumina, den flächenspezifischen AFS63-Frachtaustrag in $\text{kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ und den Gesamtwirkungsgrad η_{ges} der betrachteten SediPipe.

Weiterhin wurde wie in Weiß (2014) eine Annahme über eine typische Sinkgeschwindigkeitsverteilung der Korngrößenfraktionen von AFS63 getroffen (Abb. 6).

Die AFS-Gesamt Kurve (pinke Linie) gründet sich auf mehrere Untersuchungen von absetzbaren Stoffen aus Trennsystemen aus der Literatur, die einschließlich der sehr feinen Fraktionen sehr geringe mittlere Sinkgeschwindigkeiten ergeben. Deutlich wird dies im direkten Vergleich mit der Sinkgeschwindigkeitskurve von Millisil W4 (blaue Linie).

Für die relevante AFS63 Kurve (rote Linie) werden von der AFS-Gesamt Kurve ausgehend die groben Fraktionen (> 63 µm) mit großen Sinkgeschwindigkeiten rechnerisch abgetrennt und die Kurve entsprechend umgerechnet.

Die sich ergebende AFS63 Kurve (sehr feine Fraktionierung) weist sehr geringe Sinkgeschwindigkeit auf. Reales Kanalsediment (Schlamm) besitzt über den AFS63-Anteil hinaus auch noch größere Anteile gröberer, leichter absetzbaren Materials auf, die in einer SediPipe leicht absetzbar sind.



Stützstellenwerte der Kurven			Fraktionierung		AFS63	AFS
	AFS	AFS63	Fraktion	Prozentualer Anteil	Mittlere Sinkgeschw.	Mittlere Sinkgeschw.
Vol.-%	v_s in cm/s	v_s in cm/s		a_i in %	v_s in cm/s	v_s in cm/s
100	10,00000	0,33000	95-100	5	0,23168	7,10848
95	4,21697	0,13335	90-95	5	0,10997	2,92407
90	1,63117	0,08660	80-90	10	0,06156	0,96062
85	0,68786	0,05158	70-80	10	0,02913	0,17845
80	0,29007	0,03652	60-70	10	0,01927	0,04751
70	0,06683	0,02175	50-60	10	0,01487	0,02324
60	0,02818	0,01679	40-50	10	0,01148	0,01563
50	0,01830	0,01296	30-40	10	0,00798	0,01069
40	0,01296	0,01000	20-30	10	0,00404	0,00614
30	0,00841	0,00596	10-20	10	0,00135	0,00234
20	0,00387	0,00211	5-10	5	0,00039	0,00055
10	0,00082	0,00058	0-5	5	0,00012	0,00016
5	0,00029	0,00021				
0	0,00003	0,00003				

Abb. 6: Verteilungskurven der Sinkgeschwindigkeiten der verwendeten Modellsedimente sowie Rechenkurven für AFS sowie AFS63 (Quelle: UFT-Wiki)

4 Validierung des Rechenmodells

Das Rechenmodell wurde anhand mehrerer modell- und großtechnischer sowie in-situ Untersuchungen mit konstantem wie auch mit zeitlich variablem Durchfluss validiert und plausibilisiert.

Abbildung 7 zeigt das Beispiel eines aufgezeichneten Regenereignisses (durchgezogene Linien) an einer Sedi-Pipe-Anlage in Münster (Leutnant et al. 2018) und maßgebliche vom Rechenmodell generierte Abfluss- und Konzentrationsganglinien (gestrichelt).

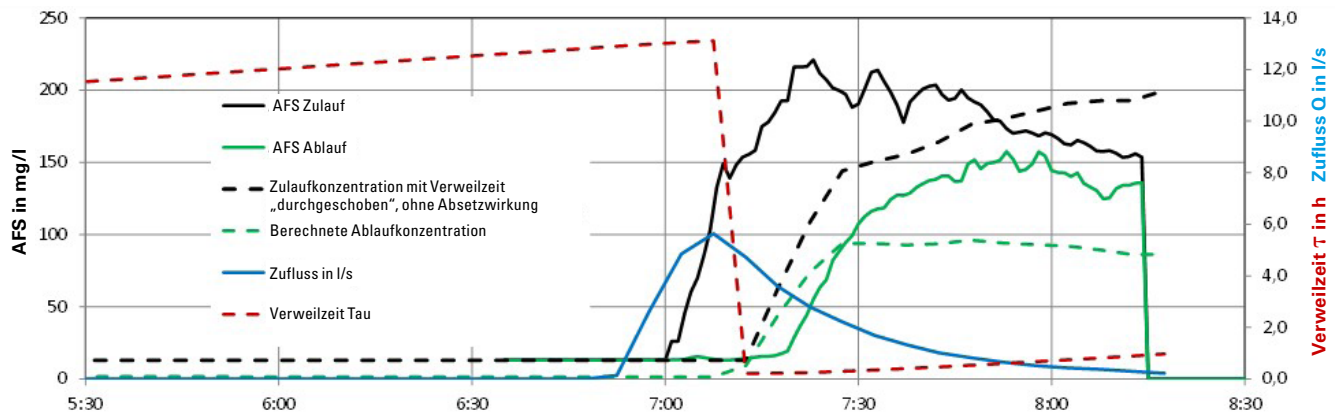


Abb. 7: Qualitative Plausibilisierung des Rechenmodells anhand aufgezeichneter Abfluss- und Konzentrationsganglinien.

Folgende Ergebnisse sind zu erkennen:

- Qualitativ richtige Wiedergabe der Verweilzeit (rot gestrichelt) und der Zulaufkonzentration, die mit der Verweilzeit verzögert am Ablauf ankommt (schwarz gestrichelt)
- Qualitativ richtige Wiedergabe der Sedimentation in der Anlage abhängig von der Verweilzeit (grün gestrichelte Linie), Vergleich mit gemessener Konzentration am Ablauf (grün)

Die kontinuierliche Optimierung des beschriebenen Rechenmodells (Langzeitsimulation) wird auch zukünftig anhand von Ergebnissen fortlaufender in-situ Prüfungen erfolgen. Die Interpretation der Ergebnisse wird durch die Expertise externer Fachkompetenzen unterstützt.

5 Bemessungsverfahren

Als Basis für das Bemessungsverfahren der Sedimentationsanlagen vom Typ SediPipe wird mithilfe des Rechenmodells durch zahlreiche Simulationsläufe die Abhängigkeit des flächenspezifischen Frachtaus- trags von verschiedenen Eingangsparametern (angeschlossene Fläche, Vorhandensein eines Beckenüber- laufs etc.) bestimmt. Das Ergebnis sind entsprechende Diagramme für die einzelnen SediPipe Anlagentypen (Abb. 8-11). Aus diesen lässt sich unter Einhaltung der Kriterien nach DWA-A 102-2/BWK-A 3-2 die maximal anschließbare, befestigte Fläche $A_{b,a}$ in Abhängigkeit des flächenspezifischen Stoffab- trags AFS63 des betrachteten Gebietes $b_{R,a,AFS63}$ entnehmen.

Zur Erstellung der Bemessungsdiagramme wurde eine Regenreihe angesetzt, die für alle Standorte als allgemein gültig angenommen wird. Dabei handelt es sich um die 46-jährige Regenreihe (01.01.1961 – 31.12.2006) der Station Mühldorf am Inn. Dies ist dieselbe Station, aus der auch die Regenabflussspen- den für das DIBt-Prüfverfahren für dezentrale Regenwasserbehandlungsanlagen abgeleitet wurden (Schmitt et al. 2010).

Somit entstand ein allgemein gültiges Bemessungsverfahren auf Grundlage des Nachweisverfahrens als Langzeitsimulation nach Abschnitt 8 DWA-A 102-2/BWK-A 3-2. Dieses validierte und plausibilisierte Simu- lationsmodell, das bereits in Fachkreisen publiziert und anerkannt ist, kann zudem alternativ verwendet werden, um eine projektspezifische Simulation mit einer langjährigen lokalen Regenreihe durchzuführen.

Dabei ist es auch möglich, die Wirksamkeit mehrerer SediPipe Sedimentationsanlagen im Zusammen- hang mit dem bestehenden Entwässerungssystem zu simulieren (Kaskadierung, Hintereinanderschaltung von Anlagen). Somit können bei Bedarf auch spezifische, lokale Gegebenheiten berücksichtigt werden.

Die Daten des zuvor beschriebenen Bemessungsverfahrens sind Grundlage eines speziell entwickelten Berechnungstools von FRÄNKISCHE (RigoPlan-Bem. Modul DWA-A102-2/-BWK-A 3-2 Version 1.0), das eine einfache und intuitive Bemessung von Niederschlagswasserbehandlungsanlagen vom Typ SediPipe abhängig von den objektspezifischen Eingangsdaten nach DWA-A 102-2/BWK-A 3-2 (Flächengrößen $A_{b,a,i}$, Flächenkategorien etc.) ermöglicht.

Bemessungsdiagramm SediPipe 400

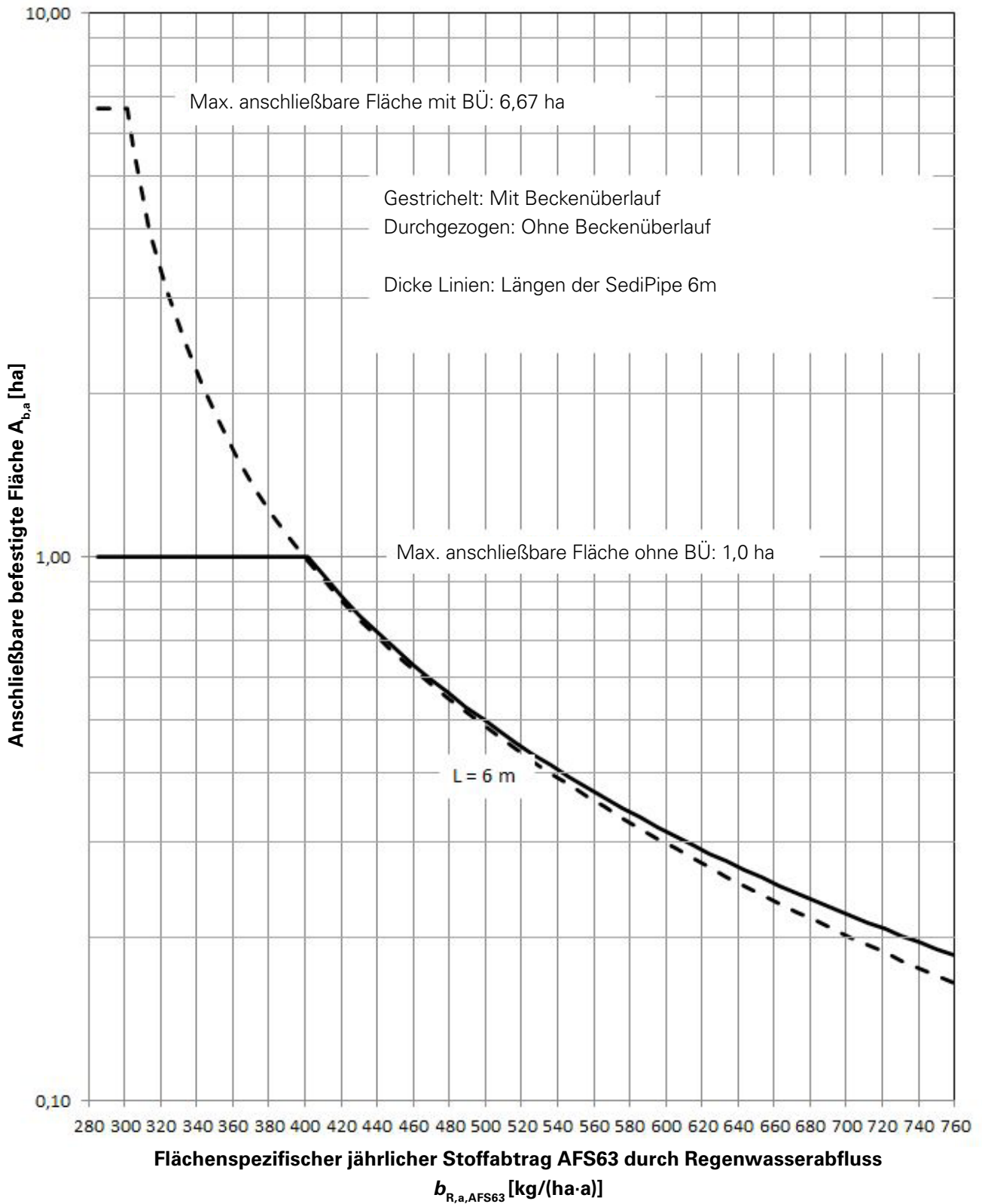


Abb. 8: Bemessungsdiagramm für SediPipe 400

Bemessungsdiagramm SediPipe 500

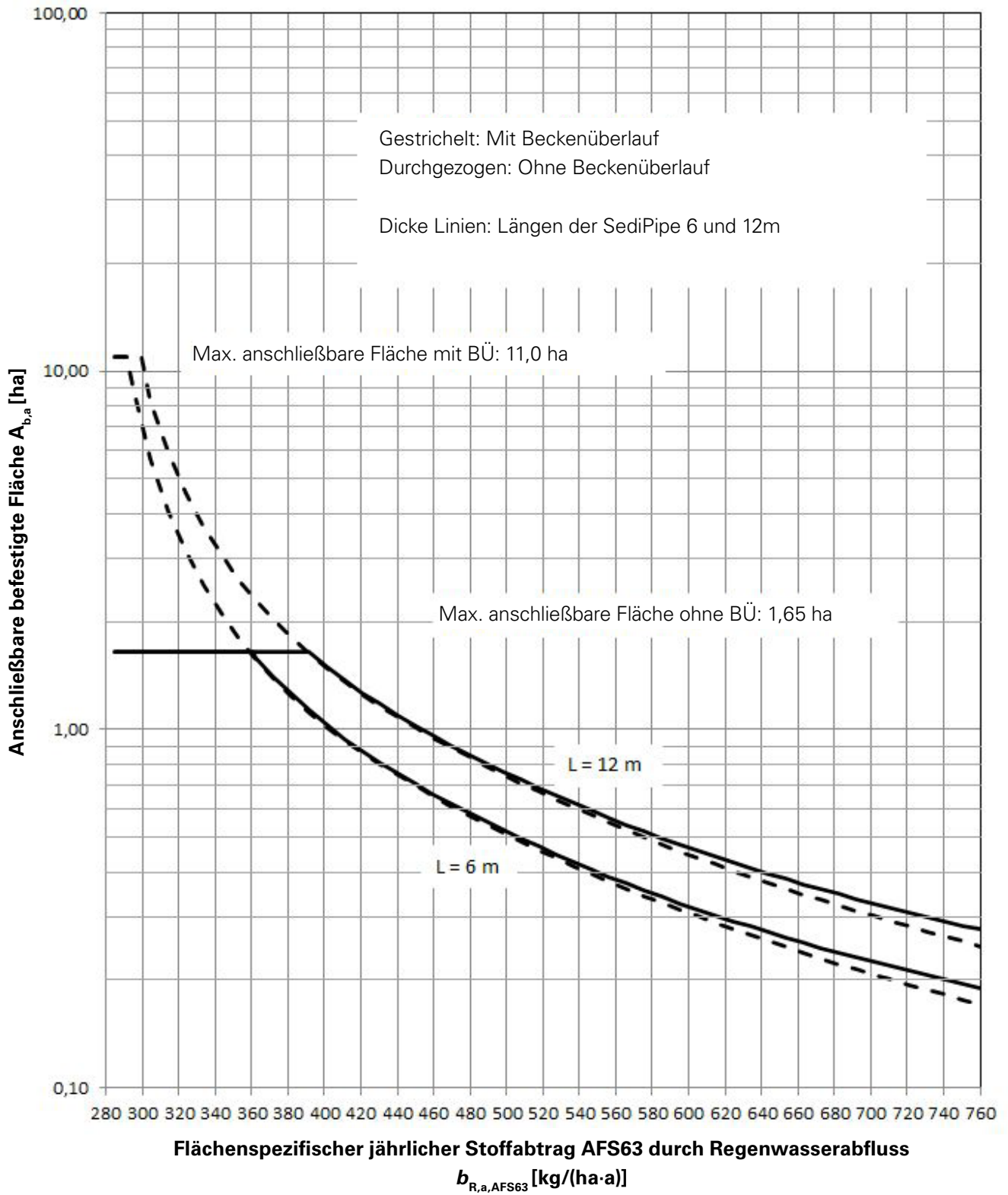


Abb. 9: Bemessungsdiagramm für SediPipe 500

Bemessungsdiagramm SediPipe 600

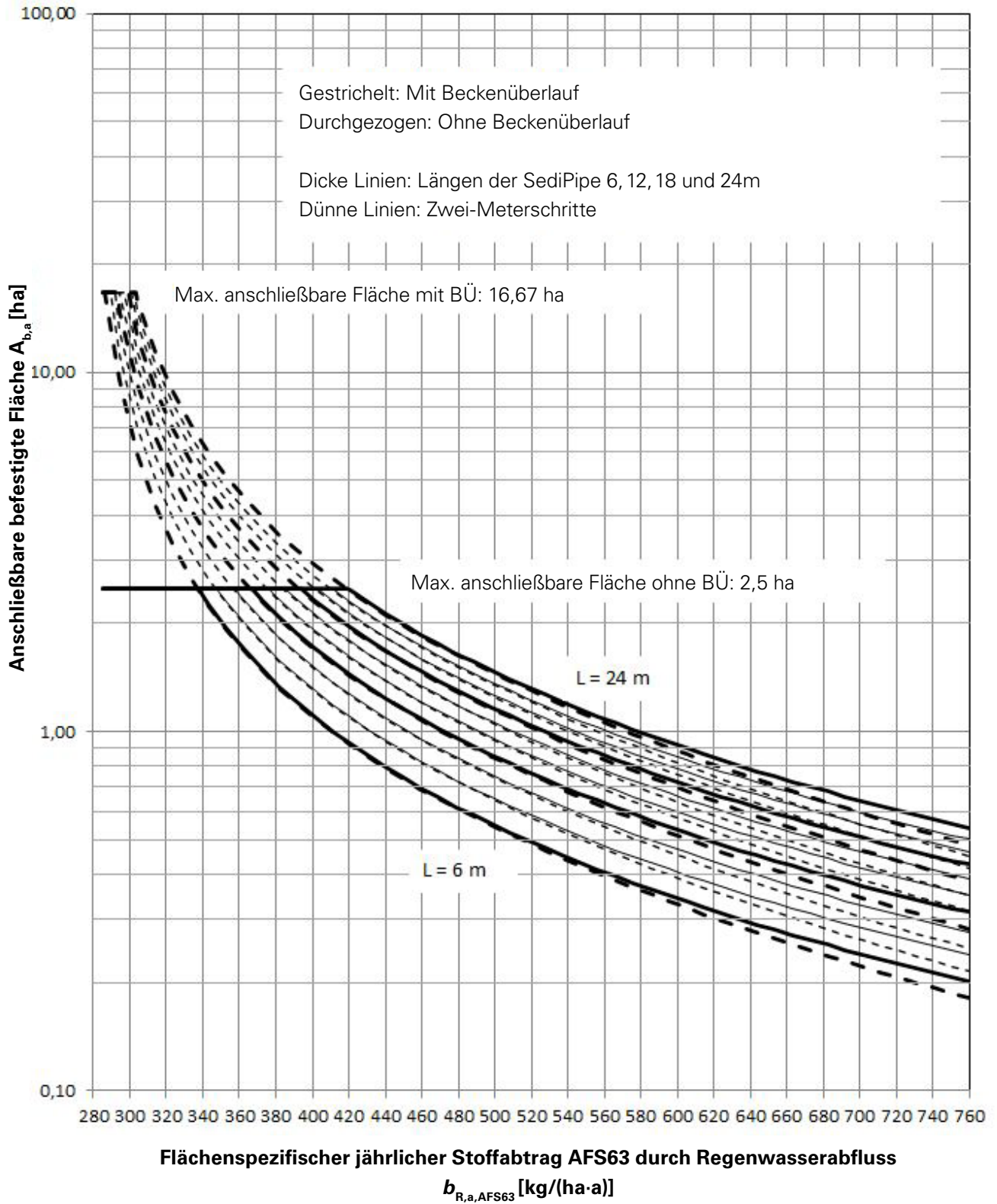


Abb. 10: Bemessungsdiagramm für SediPipe 600

Beispiel: Bei 530 kg/(ha·a) AFS63-Flächenabtrag kann an eine 6 m lange SediPipe ohne Beckenüberlauf etwa 0,45 ha versiegelte Fläche angeschlossen werden, ohne dass der nach DWA-A 102-2 zulässige Frachtaustrag von 280 kg/(ha·a) überschritten wird.

Bemessungsdiagramm SediPipe 800

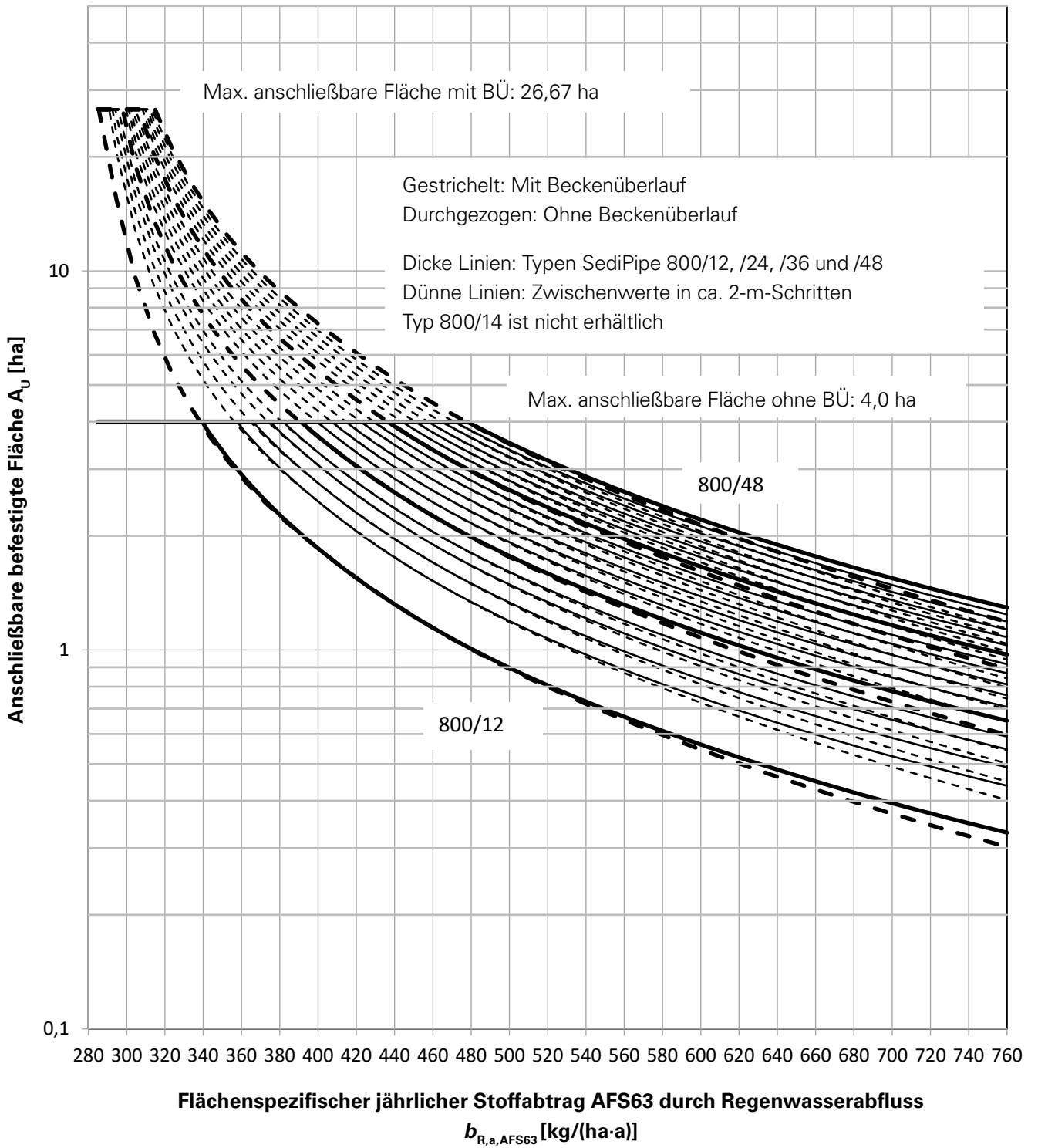


Abb. 11: Bemessungsdiagramm für SediPipe 800

6 Zusammenfassung

Die Modellierung des Absetzprozesses in rohrförmigen, langgestreckten, gedrunenen Sedimentationsanlagen vom Typ SediPipe mittels der Verweilzeit vermeidet Unzulänglichkeiten herkömmlicher Ansätze auf Basis der Oberflächenbeschickung.

Es kann nachweislich aufgezeigt werden, dass bei dauergestauten Anlagen dieses Typs, die zudem nur ein kleines flächenspezifisches Volumen besitzen, nur geringe Anteile des daraus jährlich ins Gewässer entweichenden Wassers lange Verweilzeiten haben.

Hierdurch können in Verbindung mit der stets gleichmäßigen Verdrängungsströmung maßgebende Stoßbelastungen der Gewässer aus langzeitlichen Rücklöseprozessen oder Chlorid-Einschichtungen ausgeschlossen werden.

Auf Basis des Rechenmodells wurden DWA-A 102-2/BWK-A 3-2 -konforme Bemessungsdiagramme für verschiedene Größen und Betriebsweisen der SediPipe Sedimentationsanlagen erstellt.

7 Literatur

DWA-A 102-2/BWK-A 3-2 (2020): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen

Fair, G.M., and Geyer, J.C. (1954): Water supply and waste-water disposal. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Leutnant, D., Kleckers, J., Haberkamp, J., Uhl, M. (2018): In-Situ-Monitoring großer dezentraler Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Regenwasser in urbanen Räumen – aqua urbanica trifft Regenwasser Tage. Landau, 18.-19.06.2018.

Schmitt, Th., Welker, A., Dierschke, M., Uhl, M., Maus, Ch., Remmler, F. (2010): Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren. <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-26840.pdf>, heruntergeladen am 15.02.2017.

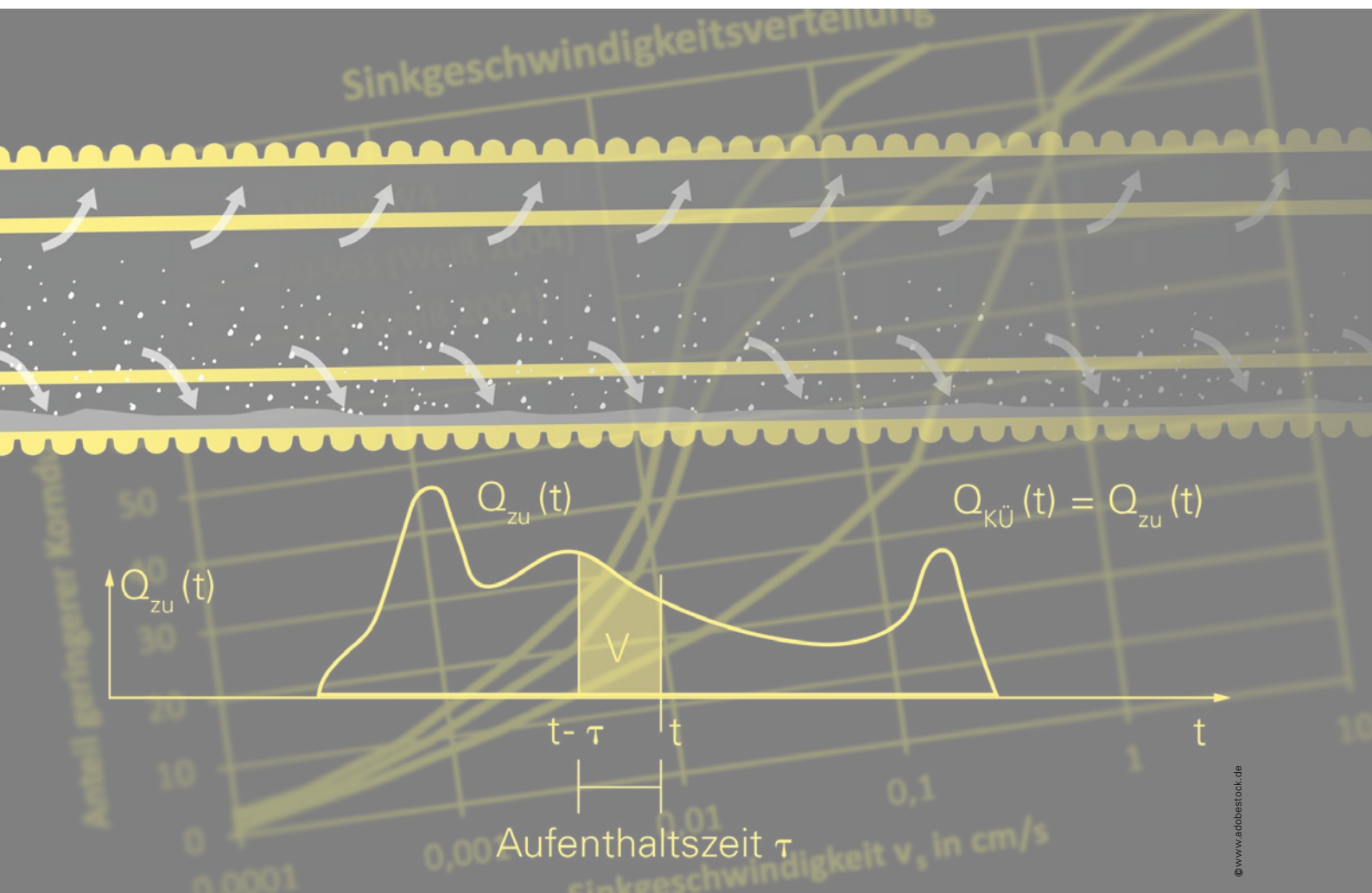
Weiß, G. (2014): Ansätze zur Simulation von Sedimentationsanlagen zur zentralen Regenwasserbehandlung im Trennsystem. Aqua Urbanica, Innsbruck, 23.-24.10.2014

Weiß, G., Schütz, M. (2017): Modelling of long-term efficiency of a sedimentation basin using a hydrograph of residence time. International Conference on Urban Drainage (ICUD) 2017, Prag, 11.-15.09.2017

Weiß, G., Schütz, M. (2019): A 102-konformes Bemessungsverfahren für rohrförmige Sedimentationsanlagen unter Ansatz der Verweilzeit. Regenwasser weiterdenken – Bemessen trifft Gestalten, Aqua Urbanica 9.-10. September 2019, Rigi Kaltbad (Schweiz)

Weiß, G. (2020): Simulation des Verhaltens einer Sedimentationsanlage SediPipe - Erstellung von Bemessungsdiagrammen - Hydraulisch-hydrologische Untersuchung

UFT-Wiki: <https://www.uft.eu/uft-wiki/eintrag/abfiltrierbare-feste-stoffe-63-um-afs63/>



© www.adbistock.de



FRÄNKISCHE

FRÄNKISCHE Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG | Hellinger Str. 1 | 97486 Königsberg/Bayern
 Telefon +49 9525 88-2200 | Fax +49 9525 88-92200 | marketing@fraenkische.de | www.fraenkische.com

DE.90092/3.04.22 | Änderungen vorbehalten | Art.-Nr. 5000-1750-00 | 04/2022

