

# Bauartzulassung von Pflanzenanlagen

im Auftrag des



Ministerium für  
**Umwelt und Naturschutz,**  
**Landwirtschaft und**  
**Verbraucherschutz**  
des Landes  
Nordrhein-Westfalen

Wissenschaftlicher Leiter: Prof. Dr.-Ing. M. Lohse

Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. St. Krummen  
Dipl.-Ing. Th. Böning

Fachhochschule Münster  
Fachbereich  
Bauingenieurwesen



Labor für  
**Abfallwirtschaft**  
**Siedlungswasserwirtschaft**  
**Umweltchemie**

Juni 2004

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Projektziel.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von Kleinkläranlagen.....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Vorgehensweise.....</b>	<b>10</b>
	4.1 Datenerhebung .....	10
	4.2 Vor-Ort-Untersuchungen.....	12
	4.2.1 Zustandprüfung und Aufnahme anlagenspezifischer Daten.....	12
	4.2.2 Analytik.....	13
	4.2.3 Bestimmung der Sickerleistung .....	13
<b>5</b>	<b>Pflanzenanlagenbestand in Nordrhein-Westfalen .....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der Vor-Ort-Untersuchungen und Diskussion .....</b>	<b>27</b>
	6.1 Zulaufwerte.....	27
	6.2 Reinigungsleistungen.....	31
	6.3 Abhängigkeit von Reinigungsleistung und Anlagenauslastung.....	34
	6.4 Einfluss des Bodenmaterials auf die Reinigungsleistung.....	39
	6.5 Einfluss des Anlagenalters auf die Reinigungsleistung .....	43
	6.6 Reinigungsleistung bei unterschiedlichen Anlagengrößen .....	46
	6.7 Einfluss des Längen/Breiten-Verhältnisses auf die Reinigungsleistung .....	47
	6.8 Auswirkungen des Einstaubetriebs auf die Reinigungsleistung .....	48
	6.9 Vergleich Reinigungsleistung bei Winter- und Sommerbetrieb .....	49
	6.10 Abhängigkeit der Reinigungsleistung vom Anlagenzustand .....	53
	6.11 Abhängigkeit der Reinigungsleistung von der Anlagenwartung .....	55
	6.12 Sickerleistung .....	57
	6.13 Kolmation.....	60
	6.13.1 Abhängigkeit der Kolmationen vom Anlagenalter.....	60
	6.13.2 Zusammenhang von Kolmationen und Reinigungsleistung.....	61
	6.13.3 Vergleich CSB-Zulaufwerte und Kolmation .....	64
	6.13.4 Vergleich Bodenkennwerte und Kolmation .....	64
	6.14 Spektraler Absorptionskoeffizient und Trübung.....	66
	6.15 Zweite Untersuchung .....	67
	6.15.1 Anlagen mit CSB-Grenzwertüberschreitung .....	67
	6.15.2 Anlagen mit Kolmationserscheinungen.....	69
	6.15.3 Anlagen mit einer Auslastung der Pflanzenstufe über 75 %.....	71

<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit.....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>80</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>82</b>

### Tabellenverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>Tab. 1: Reinigungsanforderungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfung.....</b>	<b>4</b>
<b>Tab. 2: Prüfpläne (DIN prEN 12566 Teil 3, Entwurf vom Oktober 2003).....</b>	<b>7</b>
<b>Tab. 3: Definition der Überlastzustände .....</b>	<b>7</b>
<b>Tab. 4: Entleerung bei Zuflussspitzenwerten .....</b>	<b>8</b>
<b>Tab. 5: Umfang der Datenaufnahme und -eingabe .....</b>	<b>11</b>
<b>Tab. 6: Untersuchungsparameter .....</b>	<b>13</b>
<b>Tab. 7: Ergebnis der Datenaufnahme .....</b>	<b>15</b>
<b>Tab. 8: Anzahl der untersuchten Pflanzenanlagen .....</b>	<b>27</b>
<b>Tab. 9: Abwassertemperaturen im Ablauf [°C].....</b>	<b>49</b>
<b>Tab. 10: Anlagen mit CSB-Grenzwertüberschreitungen bei der 1. Begehung .....</b>	<b>68</b>
<b>Tab. 11: Anlagen mit Kolmationserscheinungen .....</b>	<b>69</b>
<b>Tab. 12: Statistische Auswertung der Pflanzenanlagen mit einer Beetauslastung über 75 % und guten CSB-Ablaufwerten bei der ersten und zweiten Begehung .....</b>	<b>72</b>

## Abbildungsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>Abb. 1: Open-End-Test in Anlehnung an Sieker &amp; Harms (1987) .....</b>	<b>14</b>
<b>Abb. 2: Datenerfassung für Pflanzenanlagen in NRW .....</b>	<b>15</b>
<b>Abb. 3: Übersicht über Pflanzenanlagen in Nordrhein-Westfalen .....</b>	<b>16</b>
<b>Abb. 4: Pflanzenanlagentypen Verteilung .....</b>	<b>17</b>
<b>Abb. 5: Altersverteilung der Pflanzenanlagen in NRW (Stand 2003).....</b>	<b>17</b>
<b>Abb. 6: Einwohnerbezogene Auslegung der Pflanzenanlagen in NRW .....</b>	<b>18</b>
<b>Abb. 7: Auslastung der Pflanzenanlagen (Quotient aus angeschlossener Einwohnerzahl und ausgelegter Einwohnerzahl) .....</b>	<b>19</b>
<b>Abb. 8: Spezifische Beetfläche überwiegend horizontal durchströmter Pflanzenanlagen.....</b>	<b>19</b>
<b>Abb. 9: Spezifische Beetfläche vertikal durchströmter Pflanzenanlagen .....</b>	<b>20</b>
<b>Abb. 10: CSB-Ablaufwerte.....</b>	<b>21</b>
<b>Abb. 11: CSB-Ablaufwerte überwiegend horizontal durchströmter Pflanzenanlagen.....</b>	<b>21</b>
<b>Abb. 12: CSB-Ablaufwerte vertikal durchströmter Pflanzenanlagen .....</b>	<b>22</b>
<b>Abb. 13: CSB-Ablaufwerte überwiegend horizontal durchströmter Pflanzenanlagen in Abhängigkeit des Anlagenalters .....</b>	<b>22</b>
<b>Abb. 14: CSB-Ablaufwerte vertikal durchströmter Pflanzenanlagen in Abhängigkeit vom Anlagenalter .....</b>	<b>23</b>
<b>Abb. 15: Vorklärvolumen.....</b>	<b>23</b>
<b>Abb. 16: Einwohnerbezogene Auslegungsgröße der Vorklärung .....</b>	<b>24</b>
<b>Abb. 17: Einwohnerbezogenes Vorklärvolumen der angeschlossenen Einwohner .....</b>	<b>24</b>

<b>Abb. 18:</b>	<b>Spezifische Vorklärvolumina von Pflanzenanlagen bis 10 E .....</b>	<b>25</b>
<b>Abb. 19:</b>	<b>Spezifische Vorklärvolumina von Pflanzenanlagen (11 bis 50 E).....</b>	<b>25</b>
<b>Abb. 20:</b>	<b>CSB-Zulaufwerte .....</b>	<b>28</b>
<b>Abb. 21:</b>	<b>spezifische CSB-Zulauffrachten .....</b>	<b>28</b>
<b>Abb. 22:</b>	<b><math>N_{ges}</math> und <math>NH_4-N</math> Zulaufkonzentrationen.....</b>	<b>29</b>
<b>Abb. 23:</b>	<b><math>N_{ges}</math> und <math>NH_4-N</math> Zulauffrachten .....</b>	<b>29</b>
<b>Abb. 24:</b>	<b><math>P_{ges}</math>-Zulaufkonzentrationen .....</b>	<b>30</b>
<b>Abb. 25:</b>	<b><math>P_{ges}</math>-Zulauffrachten .....</b>	<b>30</b>
<b>Abb. 26:</b>	<b>CSB-Ablaufwerte.....</b>	<b>31</b>
<b>Abb. 27:</b>	<b>CSB-Ablaufwerte und CSB-Verminderung.....</b>	<b>32</b>
<b>Abb. 28:</b>	<b>Stickstoffablaufkonzentrationen (<math>N_{ges}</math>, <math>NH_4-N</math>, <math>NO_3-N</math>).....</b>	<b>33</b>
<b>Abb. 29:</b>	<b>Phosphorkonzentrationen im Ablauf.....</b>	<b>33</b>
<b>Abb. 30:</b>	<b>CSB-Ablaufwerte in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von horizontal durchströmten Pflanzenanlagen .....</b>	<b>34</b>
<b>Abb. 31:</b>	<b>CSB-Ablaufwerte in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von vertikal durchströmten Pflanzenanlagen.....</b>	<b>35</b>
<b>Abb. 32:</b>	<b><math>N_{ges}</math>-Ablaufkonzentrationen in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung bei horizontal durchströmten Pflanzenanlagen.....</b>	<b>35</b>
<b>Abb. 33:</b>	<b><math>N_{ges}</math>-Ablaufkonzentrationen in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von vertikal durchströmter Pflanzenanlagen .....</b>	<b>36</b>
<b>Abb. 34:</b>	<b><math>NH_4-N</math>-Ablaufkonzentrationen in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von horizontal durchströmten Pflanzenanlagen.....</b>	<b>36</b>

<b>Abb. 35:</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N-Ablaufkonzentrationen in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von vertikal durchströmten Pflanzenanlagen.....</b>	<b>37</b>
<b>Abb. 36:</b>	<b>P<sub>ges</sub>-Ablaufwert – einwohnerspezifische Beetauslastung, horizontal durchströmten Pflanzenanlagen.....</b>	<b>37</b>
<b>Abb. 37:</b>	<b>P<sub>ges</sub>-Ablaufwert – einwohnerspezifische Beetauslastung, vertikal durchströmten Pflanzenanlagen.....</b>	<b>38</b>
<b>Abb. 38:</b>	<b>Verteilung der Korngrößenfraktionen der untersuchten Pflanzenanlagen.....</b>	<b>39</b>
<b>Abb. 39:</b>	<b>Vergleich CSB-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße d<sub>10</sub> horizontal durchströmten Pflanzenanlagen.....</b>	<b>40</b>
<b>Abb. 40:</b>	<b>Vergleich CSB-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße d<sub>10</sub> bei vertikal durchströmten Pflanzenanlagen .....</b>	<b>40</b>
<b>Abb. 41:</b>	<b>Vergleich N<sub>ges</sub>-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße d<sub>10</sub>, horizontal durchströmter Pflanzenanlagen.....</b>	<b>41</b>
<b>Abb. 42:</b>	<b>Vergleich N<sub>ges</sub>-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße d<sub>10</sub>, vertikal durchströmter Pflanzenanlagen .....</b>	<b>41</b>
<b>Abb. 43:</b>	<b>Vergleich P<sub>ges</sub>-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße d<sub>10</sub>, horizontal durchströmter Pflanzenanlagen.....</b>	<b>41</b>
<b>Abb. 44:</b>	<b>Vergleich P<sub>ges</sub>-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße d<sub>10</sub>, vertikal durchströmter Pflanzenanlagen .....</b>	<b>42</b>
<b>Abb. 45:</b>	<b>Vergleich CSB-Ablaufwerte und Anlagenalter horizontal durchströmter Pflanzenanlagen .....</b>	<b>43</b>
<b>Abb. 46:</b>	<b>Vergleich CSB-Ablaufwerte und Anlagenalter vertikal durchströmter Pflanzenanlagen .....</b>	<b>43</b>
<b>Abb. 47:</b>	<b>Vergleich N<sub>ges</sub> und Anlagenalter horizontal durchströmter Pflanzenanlagen.....</b>	<b>44</b>
<b>Abb. 48:</b>	<b>Vergleich N<sub>ges</sub> und Anlagenalter vertikal durchströmter Pflanzenanlagen.....</b>	<b>45</b>

<b>Abb. 49:</b>	<b>Vergleich <math>P_{ges}</math> und Anlagenalter horizontal durchströmter Pflanzenanlagen.....</b>	<b>45</b>
<b>Abb. 50:</b>	<b>Vergleich <math>P_{ges}</math> und Anlagenalter vertikal durchströmter Pflanzenanlagen.....</b>	<b>45</b>
<b>Abb. 51:</b>	<b>Vergleich CSB-Ablaufwert und Anschlusswert .....</b>	<b>46</b>
<b>Abb. 52:</b>	<b>CSB-Ablaufwerte in Abhängigkeit vom Längen/Breiten-Verhältnis horizontal durchströmter Pflanzenstufen .....</b>	<b>47</b>
<b>Abb. 53:</b>	<b>CSB-Ablaufwerte von eingestaut und nicht eingestaut betriebenen Pflanzenanlagen.....</b>	<b>48</b>
<b>Abb. 54:</b>	<b>Jahreszeitliche Unterschiede der CSB-Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen.....</b>	<b>50</b>
<b>Abb. 55:</b>	<b>Jahreszeitliche Unterschiede der <math>N_{ges}</math>-Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen.....</b>	<b>51</b>
<b>Abb. 56:</b>	<b>Jahreszeitliche Unterschiede der <math>NH_4</math>-N-Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen.....</b>	<b>51</b>
<b>Abb. 57:</b>	<b>Jahreszeitliche Unterschiede der <math>P_{ges}</math>-Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen.....</b>	<b>52</b>
<b>Abb. 58:</b>	<b>Vergleich CSB-Ablaufwert und Anlagenzustand .....</b>	<b>53</b>
<b>Abb. 59:</b>	<b>Vergleich <math>N_{ges}</math> und Anlagenzustand .....</b>	<b>54</b>
<b>Abb. 60:</b>	<b>Vergleich <math>NH_4</math>-N und Anlagenzustand.....</b>	<b>54</b>
<b>Abb. 61:</b>	<b>Vergleich <math>P_{ges}</math> und Anlagenzustand.....</b>	<b>54</b>
<b>Abb. 62:</b>	<b>Vergleich CSB-Ablaufwert und Wartungsvertrag .....</b>	<b>55</b>
<b>Abb. 63:</b>	<b>Vergleich <math>N_{ges}</math> und Wartungsvertrag .....</b>	<b>55</b>
<b>Abb. 64:</b>	<b>Vergleich <math>NH_4</math>-N und Wartungsvertrag.....</b>	<b>56</b>
<b>Abb. 65:</b>	<b>Vergleich <math>P_{ges}</math> und Wartungszustand horizontal durchströmter Anlagen .....</b>	<b>56</b>

<b>Abb. 66:</b>	<b>Vergleich berechneter und gemessene Sickerraten horizontal durchströmter Anlagen .....</b>	<b>57</b>
<b>Abb. 67:</b>	<b>Vergleich berechneter und gemessene Sickerraten vertikal durchströmter Anlagen .....</b>	<b>58</b>
<b>Abb. 68:</b>	<b>Vergleich des Verhältnisses der gemessenen zur berechneten Sickerleistung nach HAZEN mit dem Anlagenalter vertikal durchströmter Pflanzenanlagen .....</b>	<b>59</b>
<b>Abb. 69:</b>	<b>Vergleich Kolmation und Anlagenalter.....</b>	<b>60</b>
<b>Abb. 70:</b>	<b>Vergleich Kolmation und Anlagenalter.....</b>	<b>61</b>
<b>Abb. 71:</b>	<b>Vergleich CSB-Ablaufwert und Kolmation .....</b>	<b>61</b>
<b>Abb. 72:</b>	<b>Vergleich Kolmation und AFS.....</b>	<b>62</b>
<b>Abb. 73:</b>	<b>Vergleich AFS und freies Wasservolumen in der Vorklärung .....</b>	<b>63</b>
<b>Abb. 74:</b>	<b>Vergleich AFS und einwohnerspezifisches Vorklärvolumen.....</b>	<b>63</b>
<b>Abb. 75:</b>	<b>Vergleich CSB-Zulaufwerte und Kolmation .....</b>	<b>64</b>
<b>Abb. 76:</b>	<b>Vergleich wirksame Korngröße <math>d_{10}</math> und Kolmation .....</b>	<b>65</b>
<b>Abb. 77:</b>	<b>Vergleich Unförmigkeitsgrad und Kolmation.....</b>	<b>65</b>
<b>Abb. 78:</b>	<b>Korrelation CSB-Ablaufwert und SAK.....</b>	<b>66</b>
<b>Abb. 79:</b>	<b>Korrelation CSB-Ablaufwert und Trübung .....</b>	<b>66</b>
<b>Abb. 80:</b>	<b>Vergleich CSB-Ablaufwerte mit &gt; 150 mg/l bei der 1. Untersuchung mit der 2. Untersuchung .....</b>	<b>67</b>
<b>Abb. 81:</b>	<b>Kolmationserscheinungen bei der zweiten Untersuchung kolmatierter Anlagen .....</b>	<b>69</b>
<b>Abb. 82:</b>	<b>Vergleich der CSB-Ablaufwerte von der ersten und der zweiten Begehung .....</b>	<b>72</b>

## 1 Veranlassung

Die naturnahe Abwasserreinigung in Pflanzenanlagen hat sich in den letzten Jahren stetig verbessert und reinigen häusliches Abwasser heute entsprechend dem Stand der Technik. Die Reinigungsleistung solcher Anlagen ist mit der Reinigungsleistung von technischen Systemen (DIN 4261 Teil 2) vergleichbar und teilweise besser. Die Mehrzahl der Anlagen wird seit Jahren störungsfrei mit hohen Reinigungsleistungen betrieben. Nach wie vor bestehen jedoch bei einem geringen Teil der Anlagen Betriebsprobleme. Dabei handelt es sich durchaus um Anlagen, die nach den Vorgaben des ATV-Arbeitsblattes 262 bzw. des LUA-Merkblattes 23 errichtet wurden und vorschriftsmäßig betrieben werden. Hinsichtlich einer ausreichenden Betriebssicherheit von Pflanzenanlagen bestehen nach wie vor gewisse Defizite.

Insbesondere die Hersteller und Lieferanten von Pflanzenanlagen, aber auch Aufsichtsbehörden und potentielle Betreiber, würden es begrüßen, wenn langfristig für Pflanzenanlagen die Möglichkeit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung wie für technische Systeme geschaffen würde. Voraussetzung ist dabei allerdings die Festlegung von Anforderungen an die Ausführung einer Anlage, die eine hohe Reinigungsleistung bei hoher Betriebssicherheit über einen weit über die Testphase von einem Jahr hinausgehenden Zeitraum, z. B. von zehn Jahren, sicherstellen. Aufgrund des noch unzureichenden Kenntnisstandes u. a. über die Kolmation bei Pflanzenanlagen können solche Anforderungen derzeit noch nicht mit hinreichender Sicherheit definiert werden. Aus diesen Gründen ist ein F+E-Projekt initiiert worden, in dem die Anforderungen an die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von Pflanzenanlagen definiert werden sollen.

Das Projekt wurde vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalens (MUNLV) gefördert und vom Labor für Abfallwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft und Umweltchemie (LASU) der Fachhochschule Münster, in Teilbereichen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Abfall- und Abwasserwirtschaft e. V. (INFA) in Ahlen, bearbeitet.

## 2 Projektziel

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die folgenden Ziele verfolgt:

- Erfassung sämtlicher Pflanzenanlagen in Nordrhein-Westfalen
- Erarbeitung von Anlagenmerkmalen, die auch langfristig einen stabilen Betrieb von Pflanzenanlagen bei hohen Reinigungsleistungen erwarten lassen
- Ableitung von Randbedingungen zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von Pflanzenanlagen
- Erstellung eines ergänzenden bzw. abgeänderten Anforderungsprofils für die Prüfung von Pflanzenanlagen in Abstimmung mit der DIN prEN 12566 Teil 3

Die Erfassung der aktuellen Situation des Pflanzenanlagenbestandes in Nordrhein-Westfalen diente als Grundlage für die Auswahl repräsentativer Pflanzenanlagen, an denen im zweiten Bearbeitungsschritt umfangreiche örtliche Untersuchungen erfolgten, wobei insbesondere solche Ausführungsmerkmale herausgearbeitet wurden, die bei ordnungsgemäßem Betrieb eine langfristige Betriebssicherheit sicherstellen. Des Weiteren sollten die Kolmationserscheinungen sowie der Einfluss der Vorreinigungsstufe (Bemessung, Betrieb) auf die Reinigungsleistung der Pflanzenstufe und die Betriebssicherheit untersucht werden. Auf der Grundlage der damit gewonnenen Erkenntnisse sollten abschließend Möglichkeiten und Randbedingungen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von Pflanzenanlagen mit einer einjährigen Testphase definiert werden.

### 3 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von Kleinkläranlagen

Der Einsatz von Kleinkläranlagen ist in Nordrhein-Westfalen nur möglich, wenn die Kommune nach § 53 Abs. 4 LWG ihre Abwasserbeseitigungspflicht ganz oder teilweise auf die Nutzungsberechtigten der Grundstücke überträgt. Die Übertragung der Abwasserbeseitigungspflicht ist nur möglich, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden (Mainz, 2003):

1. Das Wohl der Allgemeinheit steht der gesonderten Abwasserbeseitigung nicht entgegen.
2. Die Übernahme des Abwassers durch die Gemeinde ist wegen technischer Schwierigkeiten nicht möglich.
3. Wegen eines unverhältnismäßig hohen wirtschaftlichen Aufwandes ist die Übernahme des Abwassers durch die Gemeinde nicht angezeigt.
4. Der Nutzungsberechtigte eines Grundstückes betreibt eine Abwasserbehandlungsanlage (Kleinkläranlage), die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht (DIN 4261).

Nach § 1 der Wasserbauproduktverordnung NRW (WasBauPVO, 6. März 2000) sind für Kleinkläranlagen als serienmäßig hergestellte Bauprodukte oder als Bauarten hinsichtlich wasserrechtlicher Anforderungen Verwendbarkeits-, Anwendbarkeits- und Übereinstimmungsnachweise nach den §§ 21, 22 und 25 bis 27 BauO NRW in Verbindung mit § 20 Abs. 1 Satz 1, Abs. 2 und Abs. 3 Satz 1 Nrn. 1 und 2 und § 28 BauO NRW zu führen.

Der Verwendbarkeitsnachweis bzw. Anwendbarkeitsnachweis kann nur auf Basis von wasserrechtlichen Anforderungen, wie sie im Anhang 1 der Abwasserverordnung festgelegt sind, nach entsprechender Prüfung vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) erteilt werden (Mainz, 2003).

Kleinkläranlagen benötigen nach § 58 Abs. 2 LWG für den Bau und Betrieb eine Genehmigung durch die zuständige Behörde. Werden genehmigungspflichtige Abwasserbehandlungsanlagen serienmäßig hergestellt, können sie der Bauart nach zugelassen werden. Die Bauartzulassung (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung) kann inhaltlich beschränkt, befristet und mit Nebenbestimmungen verbunden werden. Für Anlagen mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung entfällt die Genehmigungspflicht. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Bauprodukte und Bauarten im Anwendungsbereich der Landesbauordnung werden durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) erteilt. Ohne eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung muss die zuständi-

ge Behörde aufwendig für jede zu genehmigende Kleinkläranlage Anforderungen an den Betrieb, die Wartung und die Eigenkontrollen festlegen.

Im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung wurden Kleinkläranlagen bisher nach den Vorgaben der DIN 4261 mit Angaben zur Dimensionierung, Betrieb und Wartung und den ergänzenden Zulassungsgrundsätzen des DIBt im Rahmen einer einjährigen praktischen Prüfung vor Ort unter Praxisbedingungen geprüft.

**Tab. 1:** Reinigungsanforderungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfung (DIBt, Mai 2001)

<b>Nur Kohlenstoffabbau</b>	
BSB <sub>5</sub> :	25 mg/ aus einer 24 h-Mischprobe 40 mg/l aus einer Stichprobe
CSB:	100 mg/ aus einer 24 h-Mischprobe 150 mg/l aus einer Stichprobe
AFS:	75 mg/l aus einer Stichprobe
<b>Kohlenstoffabbau und Nitrifikation / Denitrifikation</b>	
BSB <sub>5</sub> :	15 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe 20 mg/l aus einer Stichprobe
CSB:	75 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe 90 mg/l aus einer Stichprobe
AFS:	50 mg/l aus einer Stichprobe
NH <sub>4</sub> -N:	10 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe
N <sub>anorg.</sub> :	25 mg/l aus einer 24 h-Mischprobe

Die Werte galten auch als eingehalten, wenn von fünf aufeinander folgenden Untersuchungen drei Ergebnisse die festgelegten Werte nicht überstiegen, sowie ein Ergebnis den Wert um nicht mehr als 50 % und ein Ergebnis den Wert um nicht mehr als 100 % überschritten.

Zukünftig fallen mit Verabschiedung der DIN prEN 12566 Teil 3 vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser unter die EG-Bauproduktenrichtlinie und bedürfen, wenn sie nach den Anforderungen der DIN EN 12566 hergestellt werden, eine europäische technische Zulassung mit einen Konformitätsnachweis.

Konformitätsnachweisverfahren:

1. Erstprüfung des Bauprodukts durch den Hersteller,
2. Erstprüfung des Bauprodukts durch eine Prüfstelle,
3. Prüfungen von im Werk entnommenen Proben nach festgelegtem Prüfplan durch den Hersteller oder eine Prüfstelle,

4. Stichprobenprüfung von im Werk, im freien Verkehr oder auf der Baustelle entnommenen Proben durch den Hersteller oder eine Prüfstelle,
5. Prüfung von Proben aus einem zur Lieferung anstehenden oder gelieferten Los durch den Hersteller oder eine Prüfstelle,
6. ständige Eigenüberwachung der Produktion durch den Hersteller (werkseigene Produktionskontrolle),
7. Erstinspektion des Werkes und der werkseigenen Produktionskontrolle durch eine Überwachungsstelle oder
8. laufende Überwachung, Beurteilung und Auswertung der werkseigenen Produktionskontrolle durch eine Überwachungsstelle.

Anforderungen für werksmäßig hergestellte Vorklärbehälter werden schon heute in der DIN EN 12566 Teil 1 beschrieben. Hier werden entsprechend der Bauproduktenrichtlinie jedoch nur Anforderungen zur Standsicherheit, Wasserdichtheit und Dauerhaftigkeit festgelegt. Aus diesem Grund wurde die DIN EN 12566 Teil 1 um die neue DIN 4261 (2002) mit ergänzenden Vorgaben zur Dimensionierung, zum Betrieb und zur Wartung erweitert. D. h., für eine nach DIN EN 12566 Teil 1 werksmäßig hergestellte Vorklärung (z. B. Mehrkammergrube) ist erst ein Konformitätsnachweisverfahren zu durchlaufen. Anschließend ist noch eine Typenprüfung, die als Zeichnungsprüfung durchgeführt wird, nach DIN 4261 Teil 1 zu absolvieren.

Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser müssen demnächst den Anforderungen der DIN prEN 12566 Teil 3 entsprechen. Die DIN 4261 Teil 2 wird mit der Veröffentlichung der DIN prEN 12566 Teil 3 entfallen. Somit könnten zukünftig auch vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Pflanzenanlagen in Containerbauweise ein Konformitätsnachweisverfahren durchlaufen.

In der DIN prEN 12566 Teil 3 werden Vorgaben zur Standsicherheit, Wasserdichtheit und Angaben zur Prüfung der Reinigungsleistung festgelegt. Im Rahmen der Erstprüfung werden folgende Punkte geprüft:

- Maße
- Zulaufrohre, Ablaufrohre und Verbindungsleitungen
- Zugänglichkeit
- Schlamm Speichervolumen
- Wasserdichtheit
- Standsicherheit
- Reinigungsleistung

- Dauerhaftigkeit

Für die Prüfung der Reinigungsleistung gibt die DIN prEN 12566 Teil 3 (Oktober 2003) einen genauen Prüfplan vor. Die Prüfung der Reinigungsleistung muss auf einem Testfeld erfolgen. Die Größe der Anlage wird vom Prüfinstitut aus der vom Hersteller zur Zulassung vorgelegten Baureihe ausgewählt. Im Rahmen der Prüfung werden folgende Hauptparameter erfasst:

- biochemischer oder chemischer Sauerstoffbedarf
- suspendierte Stoffe
- Temperatur
- Stromverbrauch
- Tageszufluss

Auf Anforderung können des Weiteren auch

- pH-Wert
- Leitfähigkeit
- Kjeldahl-Stickstoff oder Ammonium-Stickstoff
- Nitrat-Stickstoff
- Gesamtphosphor
- Zufluss je Stunde
- Konzentration des gelösten Sauerstoffs
- Schlammfall

erfasst werden.

Des weiteren werden Angaben zu Zulaufkonzentrationen, Tagesganglinie des Zuflusses, Zeitplan der Prüfung, Belastungsprüfungen, Probenahme, Probeanalyse und dem Prüfbericht gemacht.

Während der gesamten Prüfdauer sind regelmäßig Messungen durchzuführen. Zunächst wird die Leistung im stationären Betrieb über eine Dauer von 10 + X Wochen zur Bestimmung der Reinigungsleistung im Routinebetrieb gemessen, bevor die Belastungsprüfung beginnt. Die Dauer der anschließenden Prüfung beträgt 38 Wochen. Die Reinigungsleistung und hydraulische Wirksamkeit der Kleinkläranlage werden bei verschiedenen organischen Nennschmutzfrachten und Nennzuflüssen gemäß eines festgelegten Prüfplanes geprüft.

**Tab. 2:** Prüfpläne (DIN prEN 12566 Teil 3, Entwurf vom Oktober 2003)

Nr.	Prüfung	Prüfdauer
1	Aufbau der Biomasse normaler Nenn-Tageszufluss keine Probenahme	X Wochen <sup>a</sup>
2	Routinebetrieb normaler Nenn-Tageszufluss 4-mal Probenahme	6 Wochen
3	Unterlastprüfung 50% Nenn-Tageszufluss 2-mal Probenahme	2 Wochen
4	Routinebetrieb mit Stromausfall <sup>b</sup> Nenn-Tageszufluss 5-mal Probenahme	6 Wochen
5	Unterlastprüfung unter Ferienbedingungen kein Nenn-Tageszufluss keine Probenahme	2 Wochen
6	Routinebetrieb Nenn-Tageszufluss 3-mal Probenahme	6 Wochen
7	Überlastungsprüfung <sup>c</sup> Nenn-Tageszufluss und Überlastzufluss (siehe Tab. 3) 2-mal Probenahme	2 Wochen
8	Routinebetrieb mit Stromausfall <sup>b</sup> Nenn-Tageszufluss 5-mal Probenahme	6 Wochen
9	Unterlastungsprüfung 50% Nenn-Tageszufluss 2-mal Probenahme	2 Wochen
10	Routinebetrieb Nenn-Tageszufluss 3-mal Probenahme	6 Wochen
<sup>a</sup>	X ist die Zeit, die erforderlich ist, um einen Routine-Betriebszustand zu erreichen	
<sup>b</sup>	die Stromausfalldauer beträgt 24 Stunden	
<sup>c</sup>	die Überlastungsprüfungsdauer beträgt 48 Stunden	

Über zwei Wochen ist eine Überlastprüfung nach den in Tabelle 3 angegebenen Bedingungen durchzuführen.

**Tab. 3:** Definition der Überlastzustände (DIN prEN 12566 Teil 3, Entwurf vom Oktober 2003)

Nenn-Zufluss	Belastung bei Überlast
≤ 1 200 l/Tag	150 %
> 1200 l/Tag	125 %

Während des „Normalbetriebes“ ist einmal in der Woche ein Spülstoß durchzuführen, um so auch das Verhalten bei Stoßbelastungen zu prüfen.

**Tab. 4:** Entleerung bei Zuflussspitzenwerten (DIN prEN 12566 Teil 3, Entwurf vom Oktober 2003)

Nenn-Zufluss	Entleerung bei Zuflussspitzenwerten
≤ 600 l/Tag	1
> 600 bis ≤ 1200 l/Tag	2
> 1200 bis ≤ 1800 l/Tag	3
> 1800 l/Tag	4

Die Reinigungsleistung der Kleinkläranlage wird in der DIN prEN 12566-3 derzeit noch nicht definiert. Der Anforderungen an die Reinigungsleistung können daher nur aus dem Wasserecht abgeleitet werden.

Nach § 7a WHG darf eine Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser nur dann erteilt werden, wenn die Schadstofffracht des Abwassers so gering gehalten wird, wie dies bei Einhaltung der von der Bundesregierung in einer Rechtsverordnung festgelegten Anforderungen erreichbar ist. Technischer Maßstab für die mögliche Verringerung der Schadstofffracht des Abwassers ist durchgängig der Stand der Technik. Die Anforderungen an den Stand der Technik werden durch die Abwasserverordnung bestimmt. Im Anhang 1 sind für häusliches Abwasser Überwachungswerte für das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer festgelegt. Kleinkläranlagen gehören zu Anlagen der Größenklasse 1 (kleiner als 600 kg/d BSB<sub>5</sub>). Für diese werden Anforderungen an den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB: 150 mg/l) und biochemischen Sauerstoffbedarf in fünf Tagen (BSB<sub>5</sub>: 40 mg/l) gestellt. Im Einzelfall können aus wasserwirtschaftlichen Gründen verschärfte Anforderungen gestellt werden. Gründe dafür können ein Gewässer mit geringer Wasserführung oder eine schlechte Güteklasse im aufnehmenden Gewässer sein. Maßgebend für die Prüfung der Reinigungsleistung im Rahmen einer europäischen technische Zulassung nach den Vorschriften des Bauproduktengesetzes sind daher die gesetzlichen Anforderungen der Abwasserverordnung.

Kleinkläranlagen, die vor Ort errichtet werden, wie Pflanzenanlagen und Teichanlagen, sind keine Bauprodukte. Deshalb können Sie keine europäische technische Zulassung mit einem Konformitätsnachweisverfahren durchlaufen. Nach § 58 LWG können jedoch serienmäßig hergestellte genehmigungspflichtige Abwasserbehandlungsanlagen der Bauart nach zugelassen werden. Nach § 2 (10) BauO NRW ist eine Bauart das Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen oder Teilen von baulichen Anlagen. Vor Ort errichtete Pflanzenanlagen mit Bauprodukten, wie z. B. vorgefertigte Mehrkammergruben, sind demnach eine Bauart und können, wenn sie serienmäßig errichtet werden, der Bauart nach zugelassen werden und somit eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erhalten. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes

wurden daher in Anlehnung an DIN prEN12566 Teil 3 Anforderungen und Möglichkeiten einer Bauartzulassung von vor Ort errichteten Pflanzenanlagen erarbeitet.

## 4 Vorgehensweise

Im Rahmen des Projektes wurde der aktuelle Pflanzenanlagenbestand in Nordrhein-Westfalen aufgenommen. Die Daten sollten zum einen dem MUNLV detaillierte Informationen über die in NRW betriebenen Pflanzenanlagen liefern, zum anderen erfolgte aus den aufgenommenen Datenbeständen eine Auswahl von für die weitere Bearbeitung geeigneten Anlagen. Anschließend wurden detaillierte Vor-Ort-Untersuchungen durchgeführt.

### 4.1 Datenerhebung

Als Grundlage für die Aktualisierung des Pflanzenanlagenbestandes in NRW diente eine beim Landesumweltamt NRW (LUA) vorliegende Datenbank. Vom Landesumweltamt NRW wurde 1996 eine Datenerfassung über die damals bestehenden Pflanzenanlagen in NRW durchgeführt; dabei sind 1.080 Anlagen aufgenommen worden, deren Daten als MS-ACCESS-Datei beim LUA vorliegen. Bekanntermaßen haben zwischenzeitlich vom Land NRW aufgelegte Fördermaßnahmen dazu geführt, dass zahlreiche desolate Kleinkläranlagen saniert und durch andere Anlagentypen ersetzt worden sind.

Die LUA Datenbank berücksichtigte nicht alle für die weitere Projektbearbeitung wichtigen Informationen über die einzelnen Pflanzenanlagen. Aus diesem Grund wurde für die Erhebung und Auswertung der Pflanzenanlagen in NRW eine neue MS-ACCESS-Datei entwickelt. Die Datenbank wurde so strukturiert, dass der vorhandene Datenbestand der LUA-Datenbank übernommen werden konnte.

Zur Aufnahme der Daten wurde ein Erfassungsbogen ausgearbeitet und dieser allen 54 Kreisen bzw. kreisfreien Städten in NRW zugeschickt. Einige Kreise und kreisfreie Städte sahen sich in der Lage, die gewünschten Daten dem vorhandenen KKA-Kataster zu entnehmen und in EDV-Form zur Verfügung zu stellen oder aber die Daten per Hand in den Erfassungsbogen einzutragen. Kreise, die die Daten nicht in EDV-Form zur Verfügung stellen konnten und die auf Grund eines hohen Pflanzenanlagenbestandes den Fragenbogen auch nicht für alle Pflanzenanlagen ausfüllen konnten, wurden von Mitarbeitern der Fachhochschule Münster und dem INFA bei der Dateneingabe unterstützt.

In der Tab. 5 sind die Angaben, die mit Hilfe des Erfassungsbogens aufgenommen wurden, dargestellt.

**Tab. 5:** Umfang der Datenaufnahme und -eingabe

Allgemeine Daten	spezifische Daten der Pflanzenanlagen
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Aktenzeichen</li> <li>◆ Standort, Postleitzahl</li> <li>◆ Betreiber</li> <li>◆ Telefonnummer</li> <li>◆ Abwasserherkunft</li> <li>◆ Auslegung und angeschlossene Einwohnerzahl</li> <li>◆ Art der Wasserversorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Art, Größe und Baujahr der Vorbehandlungsstufe</li> <li>◆ Anlagenbeschickung</li> <li>◆ Anlagensystem</li> <li>◆ Baujahr der Pflanzenstufe</li> <li>◆ Bodenmaterial (Korngröße und <math>k_f</math>-Wert)</li> <li>◆ Bepflanzung der Anlage</li> <li>◆ Fläche und Tiefe der Pflanzenstufe</li> <li>◆ Nachbehandlung</li> <li>◆ Einleitungsart</li> <li>◆ CSB-Ablaufwerte mit Probenahmedatum</li> <li>◆ Sonstige Anmerkungen</li> </ul>

Bei der Eingabe der Daten in die Datenbank wurden alle Angaben, sofern angegeben bzw. vorhanden, aus den Akten bzw. den Fragebögen der Kreise und kreisfreien Städte übernommen. Bei der Eingabe erfolgte eine permanente Kontrolle der Daten durch die eingebenden Mitarbeiter. Sobald Unstimmigkeiten auftraten, wurden die entsprechenden Daten direkt bzw. nach Rücksprache mit den Kreisen bzw. kreisfreien Städten korrigiert. Die Plausibilität der Datensätze wurde anhand von geeigneten Abfragen regelmäßig kontrolliert und festgestellte Fehler korrigiert.

## 4.2 Vor-Ort-Untersuchungen

Auf Grundlage der erfassten Pflanzenanlagen in Nordrhein-Westfalen erfolgte für die detaillierten Vorort-Untersuchungen eine Auswahl eines repräsentativen Querschnittes von 150 Pflanzenanlagen, wobei insbesondere die folgenden Kriterien der Auswahl zugrunde gelegt wurden:

- Verfahrensweise (vorwiegend horizontal oder vertikal durchströmt)
- Anlagenalter

An allen ausgewählten Pflanzenanlagen erfolgten Begehungen, Erfassung der örtlichen Verhältnisse und Beprobungen. An ausgewählten Anlagen erfolgte des Weiteren eine zweite Begehung (siehe Kapitel Zweituntersuchung).

Bei der Erst- und Zweibegehung wurden vor Ort aufgenommen:

- Auslegung und angeschlossene Einwohnerzahl
- Abmessung der Vorklärung
- Abmessung des Pflanzenbeetes
- Zustand der Vorklärung und des Pflanzenbeetes
- Ausführung des Verteilersystems
- hydraulische Belastung (soweit feststellbar)
- Abwasserprobennahme am Zu- und Ablauf
- Bodenprobennahme an einer Stelle des bepflanzten Beetkörpers
- Beprobung des Bodenwassers (soweit möglich)
- Durchlässigkeitsmessungen in situ an mehreren Stellen

### 4.2.1 Zustandprüfung und Aufnahme anlagenspezifischer Daten

Die Pflanzenanlagenüberprüfung und die Aufnahme anlagenspezifischer Daten erfolgten anhand eines normierten Überprüfungsprotokolls (siehe Anhang). Durch die Vereinheitlichung der Überprüfungsprotokolle wurde die größtmögliche Objektivität bei der Anlagenüberprüfung auch bei verschiedenen Prüfern sichergestellt.

Auf Grundlage der Überprüfungsergebnisse wurden die Kleinkläranlagen in die folgenden Kategorien eingestuft:

- Die Pflanzenanlage entspricht den a. a. R. d. T. und ist voll funktionsfähig.
- Die Pflanzenanlage entspricht den a. a. R. d. T., sie weist aber geringe Mängel auf.
- Die Pflanzenanlage entspricht den a. a. R. d. T., sie ist aufgrund wesentlicher Mängel sanierungsbedürftig.
- Die Pflanzenanlage entspricht nicht den a. a. R. d. T., sie ist baufällig.

Zur Ermittlung des Vorklärvolumen wurden der Durchmesser und die Tiefe ermittelt. Des Weiteren wurde in jeder Kammer der Vorklärung das Schlammvolumen zur Bestimmung des freien Wasservolumens ermittelt. Hinsichtlich der Beetgröße wurden bei überwiegend horizontal durchströmten Pflanzenanlagen neben dem eigentlichen Beetkörper auch die Größe der Einlauf- und Auslaufkulissee erfasst.

#### 4.2.2 Analytik

Zur Feststellung der Reinigungsleistung wurden der Zu- und Ablauf beprobt. Die Zulaufprobe wurde in der Regel aus dem Verteiler bzw. Pumpenschacht vor dem Beetkörper, die Ablaufprobe wurde aus dem Ablauf- bzw. Kontrollschacht entnommen. Bei den Abwasserproben handelte es sich ausschließlich um Stichproben. In der Tab. 6 sind die im Rahmen der Untersuchung durchgeführten chemischen, physikalischen, bodenkundlichen und organoleptischen Untersuchungsparameter aufgelistet.

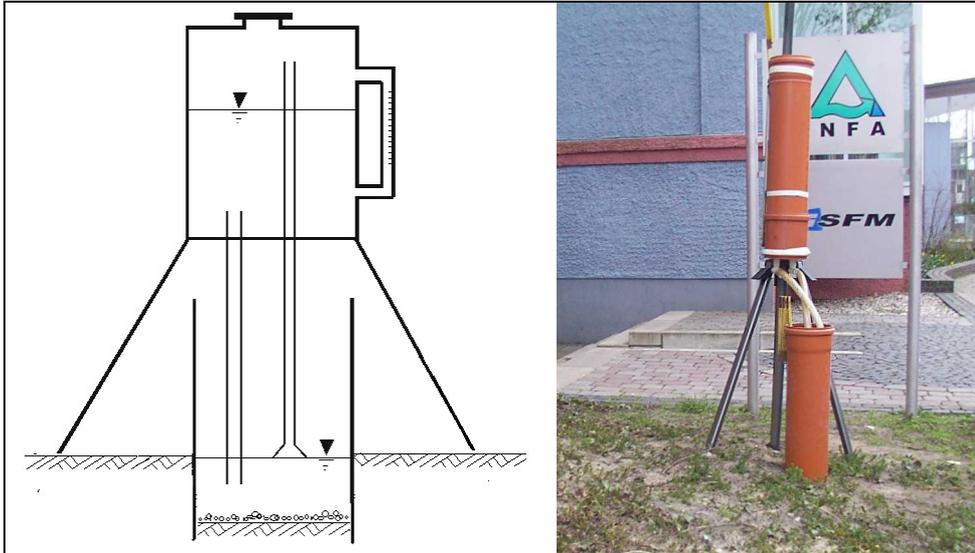
**Tab. 6:** Untersuchungsparameter

Parameter	Zulauf	Ablauf	Boden	Bodenwasser	Messung
Temperatur	X	X			vor Ort
pH-Wert	X	X		X	vor Ort
Leitfähigkeit	X	X			vor Ort
Redoxspannung	X	X			vor Ort
Sauerstoffgehalt	X	X		X	vor Ort
Säurekapazität ( $K_{S4,3}$ )				X	Labor
Sickerleistung			X		vor Ort
CSB	X	X			Labor
SAK	-	X			Labor
$N_{\text{gesamt}}$	X	X			Labor
$NH_4\text{-N}$	X	X			Labor
$NO_3\text{-N}$	X	X			Labor
$P_{\text{gesamt}}$	X	X			Labor
organische Säuren	X			X	Labor
Abfiltrierbare Stoffe	X	X			Labor
Glühverlust	X	X	X		Labor
Geruch		X			vor Ort
Farbe		X			vor Ort
Schlammspiegelmessung	X				vor Ort
Sieblinienbestimmungen			X		Labor

#### 4.2.3 Bestimmung der Sickerleistung

Die Sickerleistung wurde als Versickerungsgeschwindigkeit in Anlehnung an Sieker und Harms (1987) mittels eines Open-End-Testes des US Bureau of Reclamation ermittelt. Der Open-End-Test konnte nur an Beeten ohne Überstau durchgeführt werden; Anlagen mit starker Kolmation und oberflächlichem Abfluss konnten daher nicht untersucht werden. Da die Sickerrate nur punktuell ermittelt werden kann, erfolgte die Mes-

sung an verschiedenen Stellen auf der Beetoberfläche. So wurde bei überwiegend horizontal durchströmten Pflanzenanlagen die Sickerrate hinter dem Einlaufbereich und vor dem Ablaufbereich jeweils an zwei Stellen gemessen. Bei vertikal durchströmten Pflanzenanlagen erfolgte die Messung der Sickerrate in der Regel an zwei Stelle jeweils in zwei Tiefen. Dazu wurde das Bodenmaterial vorher entsprechend abgetragen. In Abb. 1 ist die Versuchsanordnung dargestellt.



**Abb. 1:** Open-End-Test in Anlehnung an Sieker & Harms (1987)

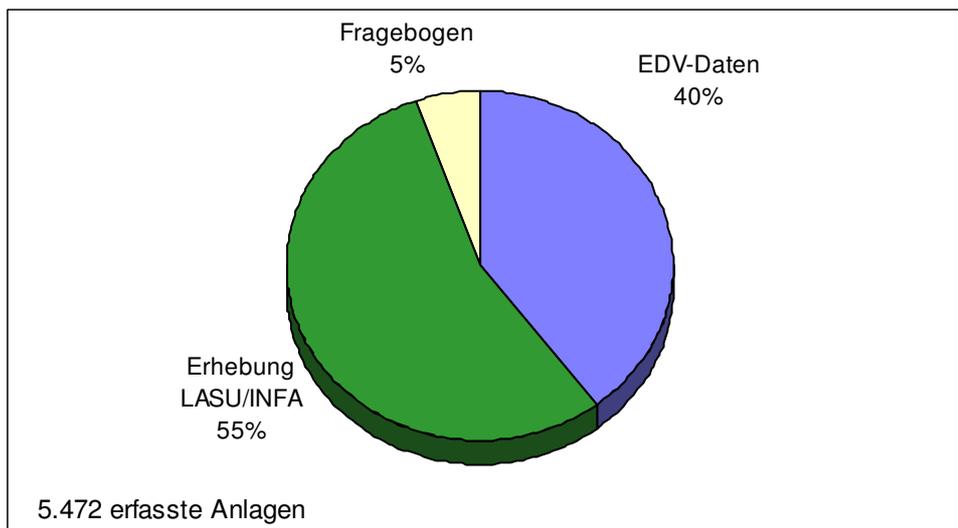
## 5 Pflanzenanlagenbestand in Nordrhein-Westfalen

Durch die Fragebogenaktion und die Vor-Ort-Datenaufnahme bei den Unteren Wasserbehörden in Nordrhein-Westfalen konnten insgesamt 5.472 Pflanzenanlagen (PFA) erfasst und in einer Datenbank archiviert werden. In Tab. 7 und Abb. 2 ist das Ergebnis der Datenaufnahme dargestellt.

**Tab. 7:** Ergebnis der Datenaufnahme

	Anzahl	Rücklauf Fragebogen		Rücklauf EDV-Daten		Datenaufnahme LASU	
		Anzahl PFA	Anzahl UWB	Anzahl PFA	Anzahl UWB	Anzahl PFA	Anzahl UWB
Kreise & kreisfr. St.	46	229	22	2.248	8	2.995	16
Kreise & kreisfreie Städte ohne Pflanzenanlagen: 2							
Kreise & kreisfreie Städte ohne Änderung des Pflanzenanlagen-Bestand: 1							
Kreise & kreisfreie Städte ohne Datenangabe 5							

Insgesamt haben 22 Kreise bzw. kreisfreie Städte den Fragebogen für alle in ihrem Zuständigkeitsgebiet existierenden Pflanzenanlagen ausgefüllt und anschließend an die Fachhochschule Münster zurückgesandt. 8 Kreise bzw. kreisfreie Städte haben die Daten, die bei ihnen vorliegenden Datenbankinformationen als Exceltabelle oder als Accessdatenbank zurück gesandt. Bei 16 Kreisen bzw. kreisfreien Städte wurden die Daten vor Ort durch Mitarbeiter der Fachhochschule Münster und des INFA aufgenommen.



**Abb. 2:** Datenerfassung für Pflanzenanlagen in NRW

In den nachfolgenden Abbildungen ist eine Übersicht über die erfassten Pflanzenanlagen, differenziert für die jeweiligen Kreise und kreisfreien Städte in NRW, dargestellt. Der Kreis Warendorf weist mit 904 Pflanzenanlagen, gefolgt vom den Kreisen Steinfurt, Coesfeld, Borken, Gütersloh, Soest und Mettmann, die größte Anlagenzahl auf. In allen

anderen Kreisen und kreisfreien Städten in Nordrhein-Westfalen befinden sich keine bzw. bis maximal 200 Pflanzenanlagen. Im Gegensatz zu den Anlagenzahlen der LUA-Datenbank von 1996 hat sich die Anlagenzahl insgesamt um den Faktor fünf auf über 5.500 Pflanzenanlagen erhöht.

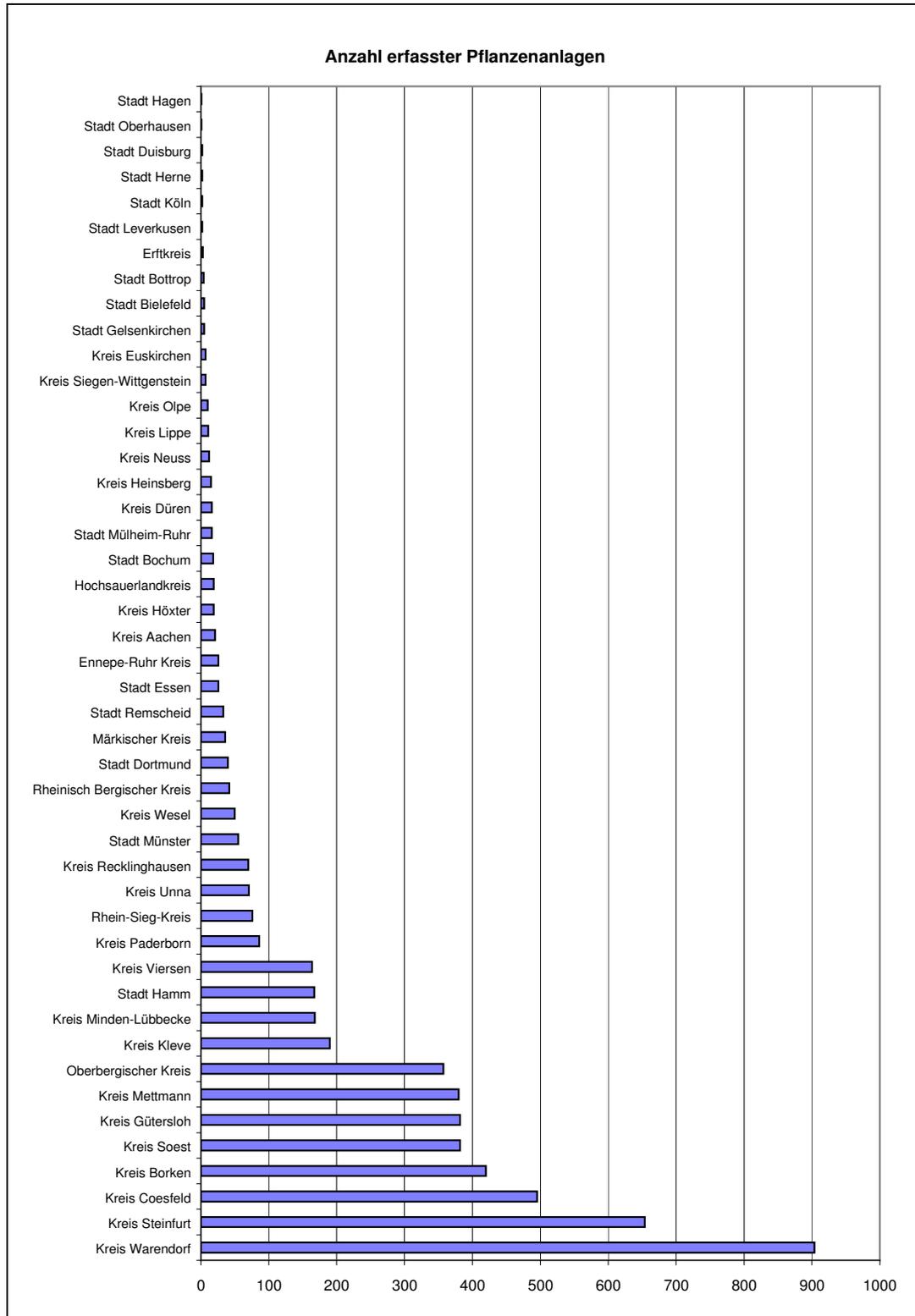
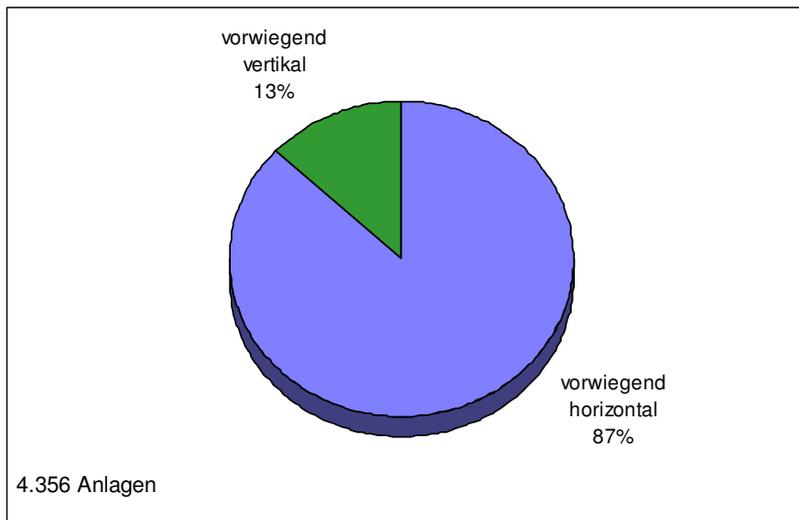


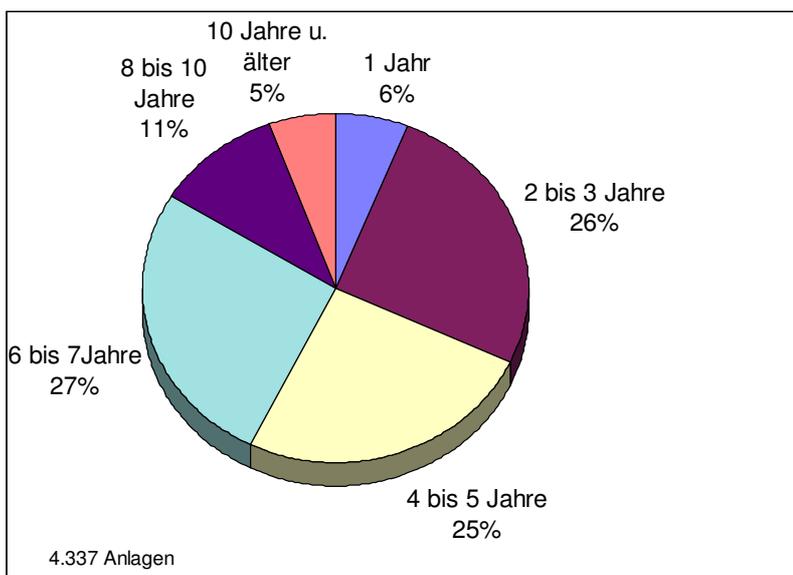
Abb. 3: Übersicht über Pflanzenanlagen in Nordrhein-Westfalen

Im Folgenden wird eine Auswertung der aufgenommenen und überlassenen Daten dargestellt. Von den ca. 5.500 Pflanzenanlagen sind bei 4.356 Anlagen Angaben zum Typ vorhanden. In Abb. 4 ist die Verteilung der Anlagentypen dargestellt. In der Darstellung wird zur besseren Übersicht nur zwischen vorwiegend vertikal und vorwiegend horizontal durchströmten Pflanzenanlagen unterschieden. Die Einordnung der Pflanzenanlagentypen erfolgte anhand der überwiegenden Strömungsrichtung. Wie in Abb. 4 dargestellt sind derzeit 87 % der Pflanzenanlagen vorwiegend horizontal durchströmte und 13 % vertikal durchströmte Pflanzenanlagen.



**Abb. 4:** Pflanzenanlagentypen-Verteilung

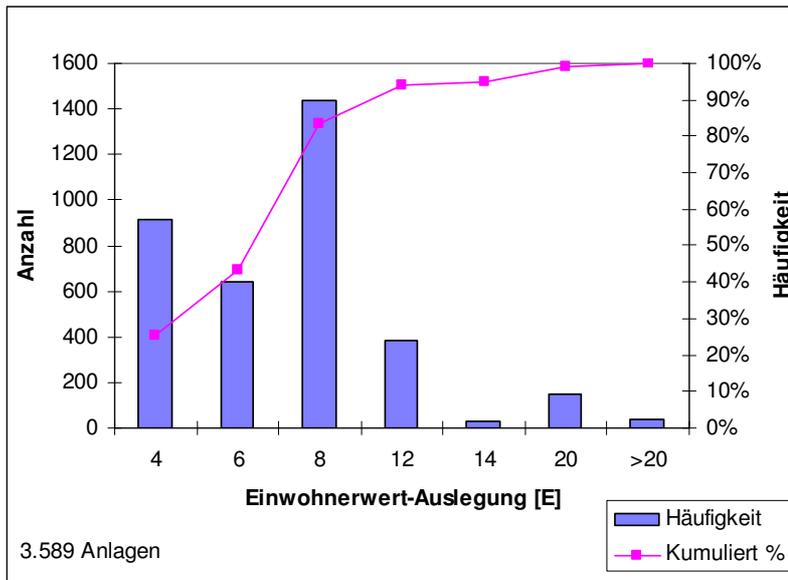
Die Altersstruktur der Pflanzenanlagen verteilt sich wie in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abb. 5:** Altersverteilung der Pflanzenanlagen in NRW (Stand 2003)

Derzeit weisen ein Viertel der Pflanzenanlagen ein Alter von zwei bis drei Jahren und ein Viertel ein Alter von 4 bis 5 Jahren sowie ein Viertel ein Alter von sechs bis sieben Jahren auf. Das restliche Viertel teilen sich die einjährigen Anlagen und Anlagen mit einem Alter über acht Jahren.

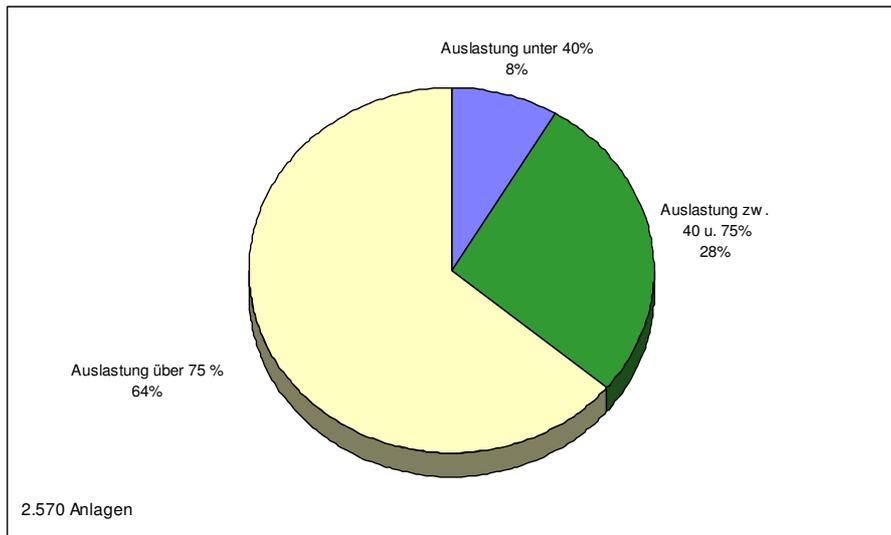
Die einwohnerbezogene Auslegungsgröße der Pflanzenanlagen ist in Abb. 6 dargestellt.



**Abb. 6:** Einwohnerbezogene Auslegung der Pflanzenanlagen in NRW

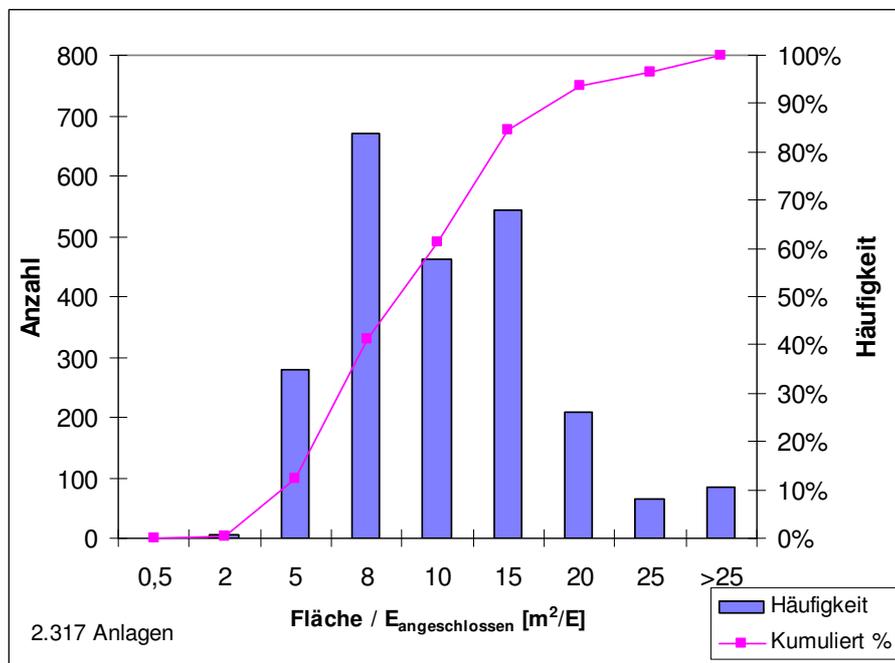
Wie in Abb. 7 dargestellt weisen Pflanzenanlagen überwiegend eine Auslegungsgröße von acht Einwohnern, gefolgt von vier und sechs Einwohnern, auf.

Die Auswertung der Auslastung (angeschlossene Einwohnerzahl im Vergleich zu Auslegungswert) zeigt, dass ca. 60 % der Pflanzenanlagen eine Auslastung über 75 %, ca. 10 % der Anlagen unter 40 % und ca. 30 % der Anlagen eine Auslastung zwischen 40 und 75 % aufweisen.



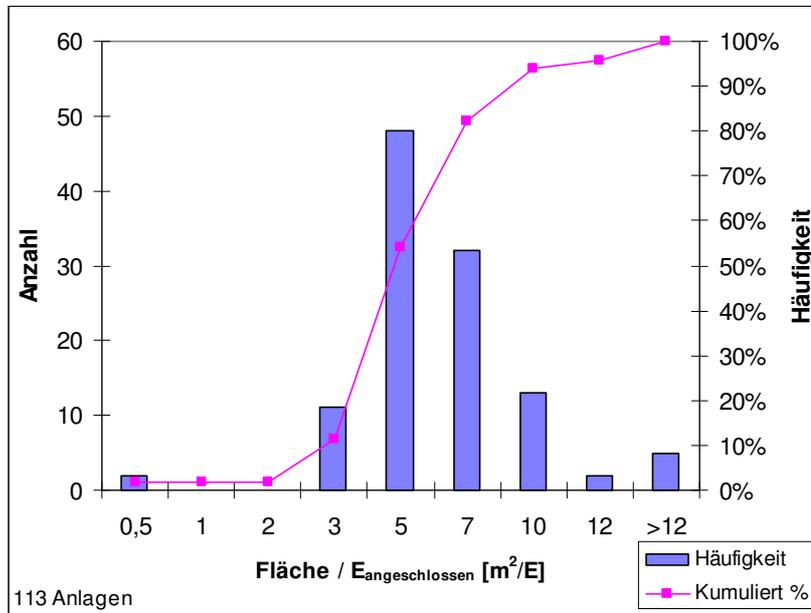
**Abb. 7:** Auslastung der Pflanzenanlagen (Quotient aus angeschlossener Einwohnerzahl und ausgelegter Einwohnerzahl)

Ein Vergleich der spezifischen Beetoberflächen der Pflanzenanlagentypen zeigt, dass fast 100 % der ausgewerteten überwiegend horizontal durchströmten Pflanzenanlagen in Nordrhein-Westfalen bzgl. der angeschlossenen Einwohnern der Empfehlung des LUA-Merkblattes 23 und des ATV Arbeitsblatts A 262 mit größer bzw. gleich 5 m<sup>2</sup>/E entsprechen (siehe Abb. 8).



**Abb. 8:** Spezifische Beetoberfläche überwiegend horizontal durchströmter Pflanzenanlagen

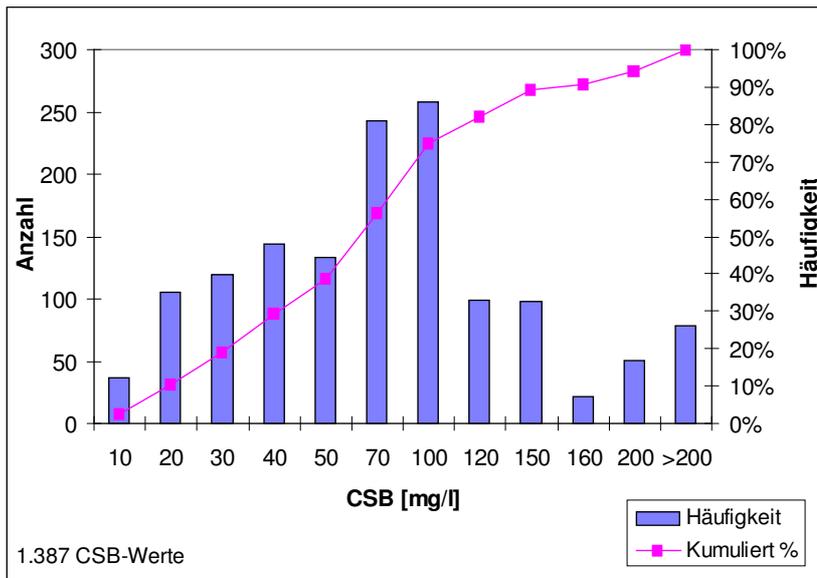
Auch die vertikal durchströmten Pflanzenanlagen weisen fast zu 100 % mit 3 m<sup>2</sup>/E eine der Empfehlung des LUA Merkblatts 23 entsprechende spezifische Beetfläche auf. Selbst die neuen Anforderungen nach ATV –Arbeitsblatt A 262 einer spezifischen Beetfläche für vertikal durchströmte Pflanzenanlagen von größer bzw. gleich 4 m<sup>2</sup>/E halten nach der Abb. 9 fast 90 % der Anlagen ein.



**Abb. 9:** Spezifische Beetfläche vertikal durchströmter Pflanzenanlagen

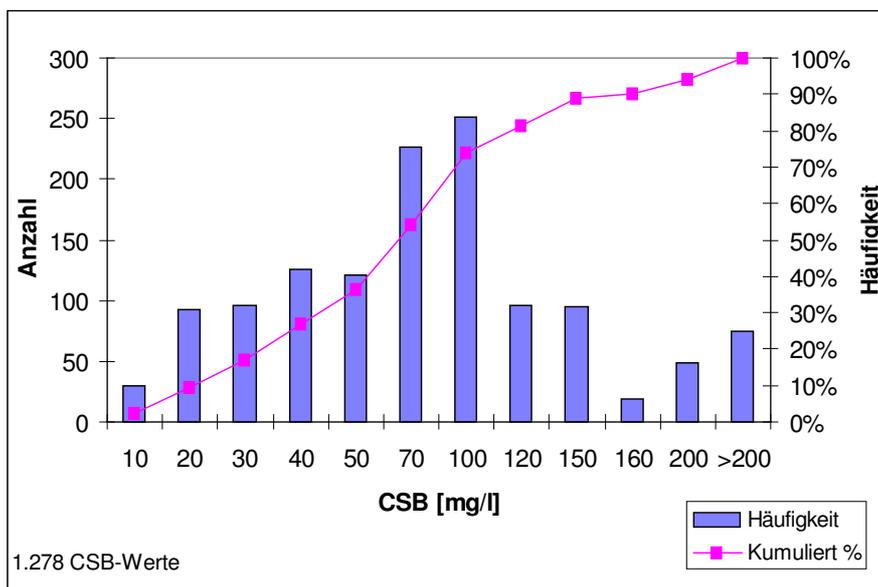
Die Ergebnisse in Abb. 8 und 9 stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen zur Auslastung in Abb.7, wonach die spezifischen Beetflächen deutlich kleiner sein müssten. Ein mögliche Ursache könnte sein, dass in Abb. 7 die Gesamtauslastung der Anlagen und in Abb. 8 und 9 nur die Auslastung der Beekörper dargestellt ist.

Die CSB-Ablaufwerte als Indikator für die Reinigungsleistung zeigen, dass ca. 90 % der Pflanzenanlagen den CSB-Grenzwert der Abwasserordnung nach Anhang 1 von 150 mg/l einhalten (siehe Abb. 10); ca. 80 % weisen sogar einen CSB-Ablaufwert von weniger als 100 mg/l auf.

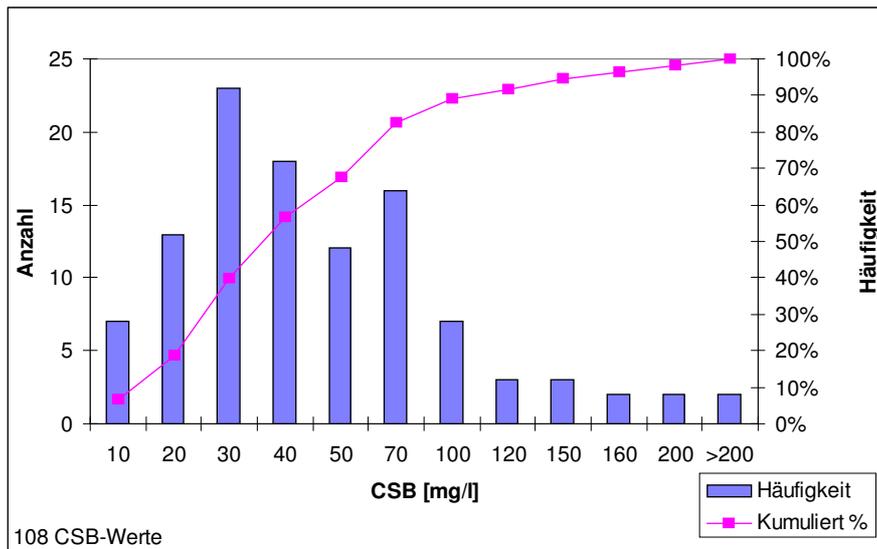


**Abb. 10:** CSB-Ablaufwerte

Ein Vergleich von horizontal und vertikal durchströmten Pflanzenanlagen ergibt eine erkennbar bessere Reinigungsleistung von vertikal durchströmten Pflanzenanlagen; so halten ca. 95 % den CSB-Grenzwert von 150 mg/l ein; etwa 90 % weisen sogar einen CSB-Ablaufwert unter 100 mg/l auf (siehe Abb. 11 und 12).

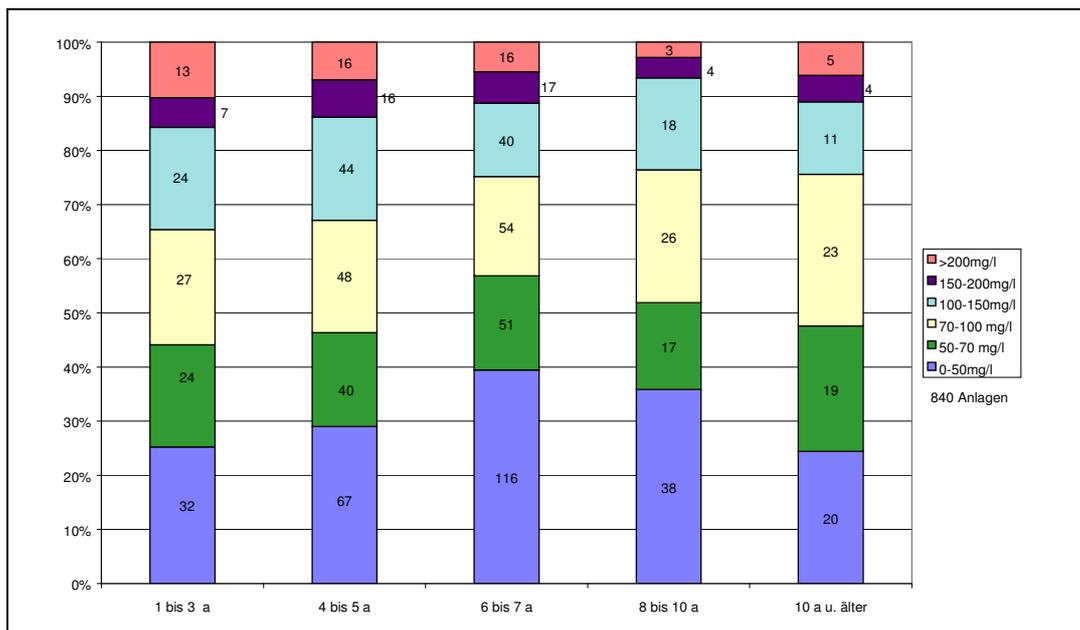


**Abb. 11:** CSB-Ablaufwerte überwiegend horizontal durchströmter Pflanzenanlagen



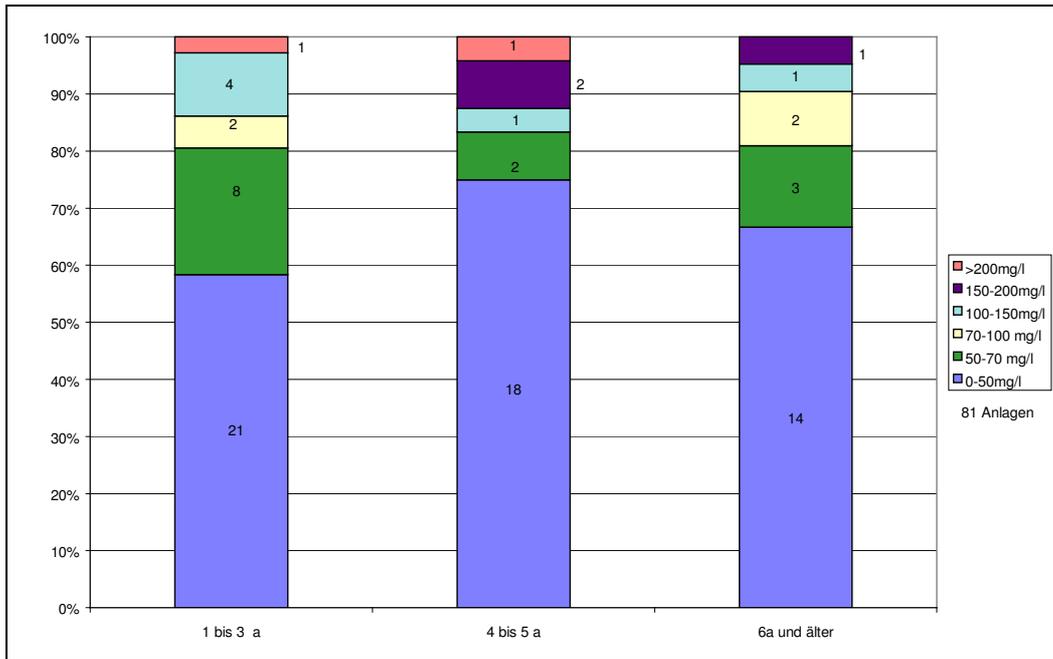
**Abb. 12:** CSB-Ablaufwerte vertikal durchströmter Pflanzenanlagen

Die Auswertung der Datenbank im Hinblick auf Reinigungsleistung und Altersstruktur zeigte, dass überwiegend horizontal durchströmte Pflanzenanlagen keine erkennbare Altersabhängigkeit aufweisen (siehe Abb. 13).



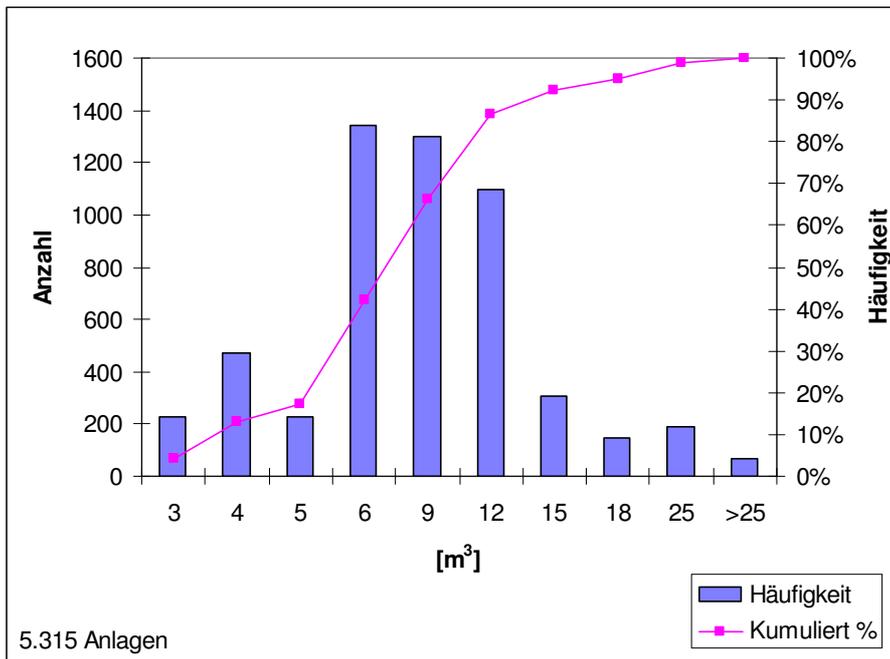
**Abb. 13:** CSB-Ablaufwerte überwiegend horizontal durchströmter Pflanzenanlagen in Abhängigkeit vom Anlagenalter

Auch vertikal durchströmte Pflanzenanlagen weisen keine erkennbare Altersabhängigkeit im Hinblick auf die Reinigungsleistung auf (siehe Abb. 14). CSB-Ablaufwerte unter 50 mg/l treten zwar bei Anlagen über sechs Jahren weniger auf, allerdings liegen die CSB-Ablaufwerte unter 100 mg/l bei allen Altersklassen zwischen ca. 85 und 90 %.



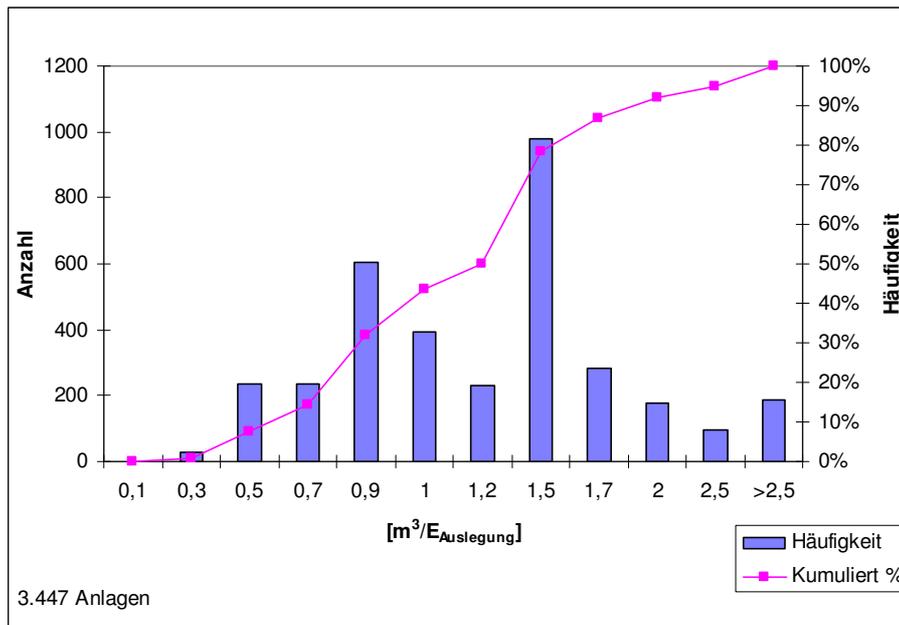
**Abb. 14:** CSB-Ablaufwerte vertikal durchströmter Pflanzenanlagen in Abhängigkeit vom Anlagenalter

Von ca. 5.500 Pflanzenanlagen haben ca. 20 % ein Vorklärvolumen unter 6 m<sup>3</sup>.



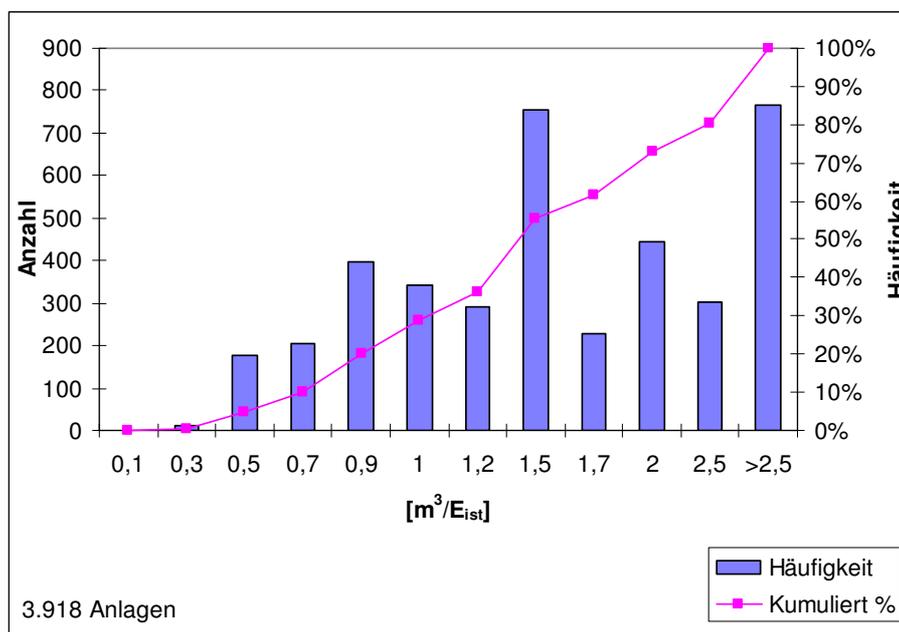
**Abb. 15:** Vorklärvolumen

Von 3.447 derzeit in Nordrhein-Westfalen betriebenen Pflanzenanlagen haben ca. 40 % eine einwohnerspezifische Auslegungsgröße der Vorklärung von weniger als 1 m<sup>3</sup>/E; ca. 80 % weisen eine Auslegungsgröße von kleiner oder gleich 1,5 m<sup>3</sup>/E auf.



**Abb. 16:** Einwohnerbezogene Auslegungsgröße der Vorklärung

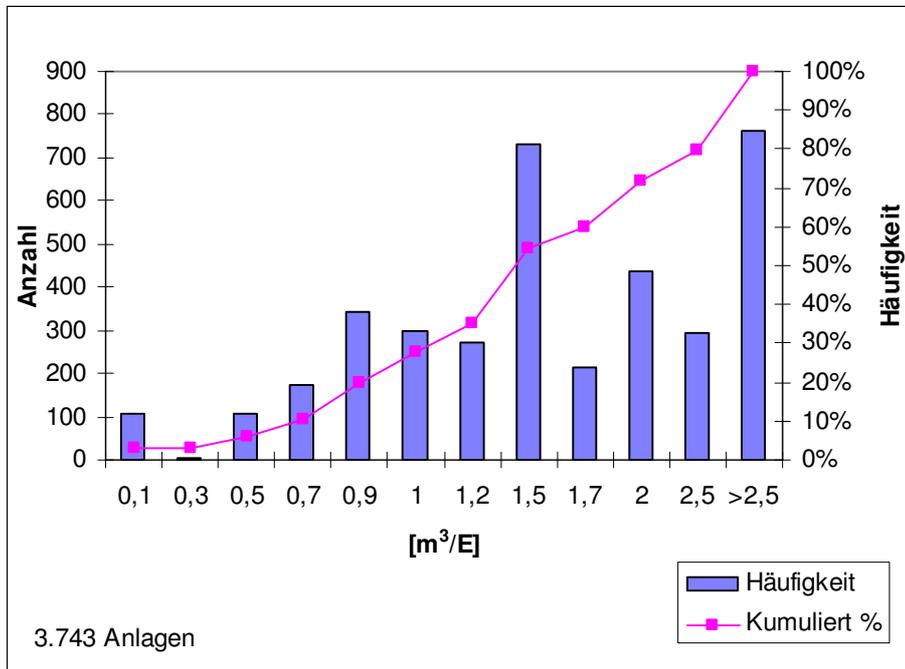
Dagegen weisen nur noch 60 % der Anlagen beim Vergleich der tatsächlich angeschlossenen Einwohner mit dem spezifischen Vorklärvolumen ein spezifisches Vorklärvolumen kleiner oder gleich 1,5 m³/E auf (siehe Abb. 17).



**Abb. 17:** Einwohnerbezogenes Vorklärvolumen der angeschlossenen Einwohner

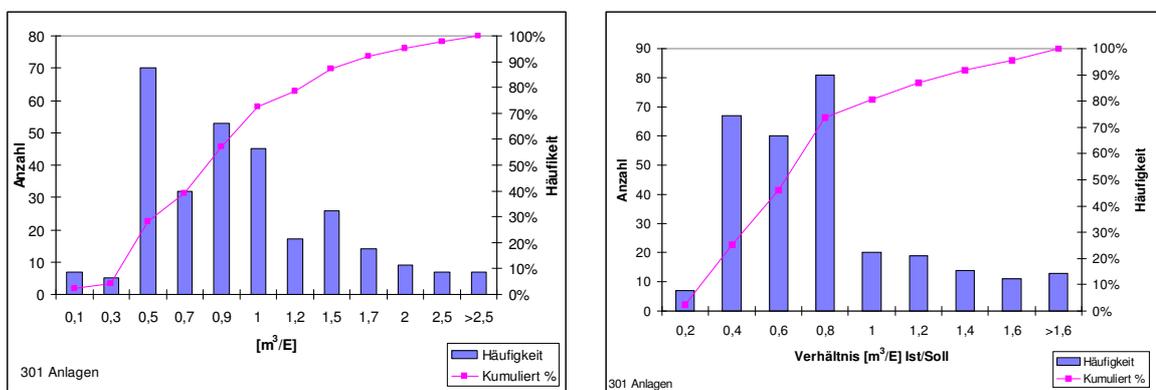
Im Entwurf des neuen ATV-Arbeitsblattes A 262 (Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers) wird für Pflanzenanlagen mit einer Größe bis zu 10 Einwohnern ein spezifisches Vorklärvolumen von 1,5 m³/E und für größere Pflanzenanlagen (größer 10 E) ein spezifisches Vorklärvolumen von 15 m³ plus 0,5 m³/E empfohlen. Ein Vergleich der Emp-

fehlung mit dem Datenbestand in Nordrhein-Westfalen zeigt, dass von den Pflanzenanlagen mit bis zu 10 angeschlossenen Einwohnern ca. 60 % ein Vorklärvolumen von mindestens 1,5 m<sup>3</sup>/E aufweisen (siehe Abb. 18).



**Abb. 18:** Spezifische Vorklär volumina von Pflanzenanlagen bis 10 E

Ca. 70 % der Pflanzenanlagen mit 11 bis 50 angeschlossenen Einwohnern weisen ein spezifisches Vorklärvolumen unter oder gleich 1 m<sup>3</sup>/E auf. Ein Vergleich des tatsächlichen spezifischen Vorklär volumens mit den Empfehlungen des neuen ATV A 262 zeigt, dass 80 % ein zu geringes spezifisches Vorklärvolumen haben. In Abb. 19 sind die tatsächlichen spezifischen Vorklär volumina sowie das Verhältnis der tatsächlichen spezifischen Vorklär volumina zu notwendigen spezifischen Vorklär volumina dargestellt. Werte ab 1,0 bedeuten, dass die Vorklärung den Empfehlungen des neuen ATV-A 262 entsprechen.



**Abb. 19:** Spezifische Vorklär volumina von Pflanzenanlagen (11 bis 50 E)

Zur der Datenbankauswertung können folgende Erkenntnisse zusammenfassend festgehalten werden:

- Derzeit befinden sich überwiegend horizontal durchströmte Pflanzenanlagen in Nordrhein-Westfalen im Einsatz.
- Die Pflanzenanlagen sind überwiegend für einen Anschluss zwischen 4 und 8 Einwohnern ausgelegt.
- Im Hinblick auf die spezifische Beetfläche halten Pflanzenanlagen in der Regel die Empfehlungen bzw. Anforderungen nach dem LUA Merkblatt 23 und dem ATV-Arbeitsblatt A 262 ein.
- Ca. 90 % der CSB-Ablaufwerte liegen unterhalb des CSB-Grenzwertes von 150 mg/l, d. h. selbst eine hohe Auslastung bei den Pflanzenanlagen führt selten zu CSB-Grenzwertüberschreitungen.
- Vertikal durchströmte Pflanzenanlagen weisen eine signifikant bessere Reinigungsleistung als überwiegend horizontal durchströmte Pflanzenanlagen auf.
- Eine Altersabhängigkeit der Reinigungsleistung ist weder bei überwiegend horizontal durchströmte Pflanzenanlagen noch bei vertikal durchströmten Pflanzenanlagen eindeutig erkennbar.
- Ca. 40 % der Pflanzenanlagen weisen ein spezifisches Vorklärvolumen von mindestens  $1,5 \text{ m}^3/\text{E}_{\text{angeschlossen}}$  auf.

## 6 Ergebnisse der Vor-Ort-Untersuchungen und Diskussion

Im Weiteren werden die Ergebnisse der Anlagenuntersuchungen und –beprobungen dargestellt und erläutert. Dabei wird schwerpunktmäßig auf die erreichten Reinigungsleistungen in Abhängigkeit von Anlagenalter, Anlagentyp, Zustand der Anlagen, eingebautem Bodenmaterial etc. sowie auf festgestellte Kolmationserscheinungen und mögliche Ursachen eingegangen. Zusätzlich erfolgen Betrachtungen zum Sommer- und Winterbetrieb sowie zum Einfluss der Vorreinigungsstufe auf die nachfolgende Pflanzenstufe.

Insgesamt wurden an 149 Pflanzenanlagen in den Kreisen und kreisfreien Städten

- Borken,
- Coesfeld,
- Ennepe-Ruhr,
- Hamm,
- Kleve,
- Mettmann,
- Minden Lübbecke,
- Münster,
- Recklinghausen,
- Remscheid,
- Soest,
- Steinfurt und
- Warendorf

Vor-Ort-Untersuchen und zusätzlich an 68 Anlagen eine Wiederholungsuntersuchung vorgenommen. Davon waren ca. 70 % überwiegend horizontal durchströmte Pflanzenanlagen und ca. 30 % vertikal durchströmte Pflanzenanlagen.

**Tab. 8:** Anzahl der untersuchten Pflanzenanlagen

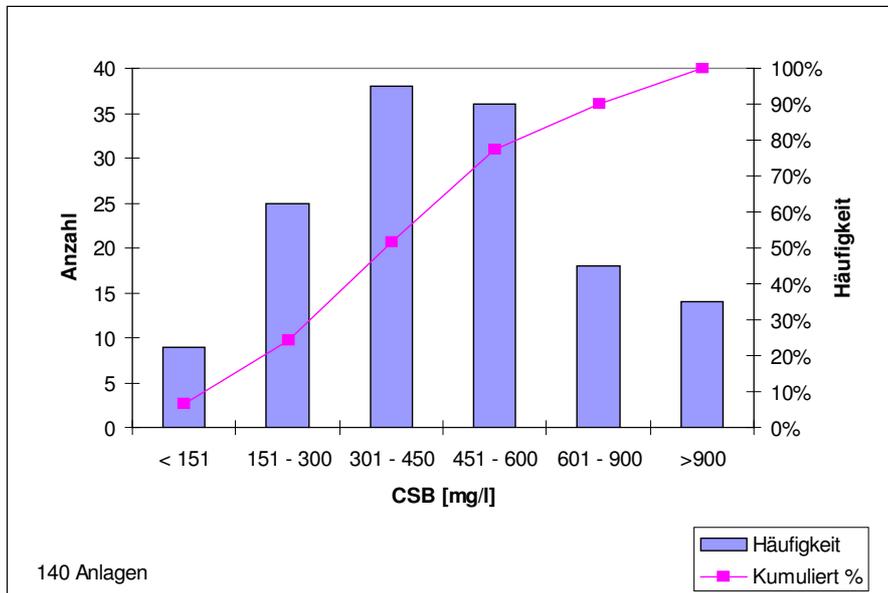
Anlagentyp	1. Untersuchung	2. Untersuchung	Summen
horizontal durchstr.	103	48	151
vertikal durchstr.	46	19	65
Gesamtergebnis	149	67	216

### 6.1 Zulaufwerte

Wie in Kapitel 4 bereits beschrieben, wurden im Rahmen der Anlagenuntersuchungen die Zuläufe der Pflanzenstufe (Ablauf der Vorreinigung) beprobt und bzgl. Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoff, Redoxspannung sowie CSB,  $N_{ges}$ ,  $NH_4-N$  und  $P_{ges}$  analysiert. Im Weiteren sind die CSB-Werte sowie die Nährstoffkonzentrationen dargestellt.

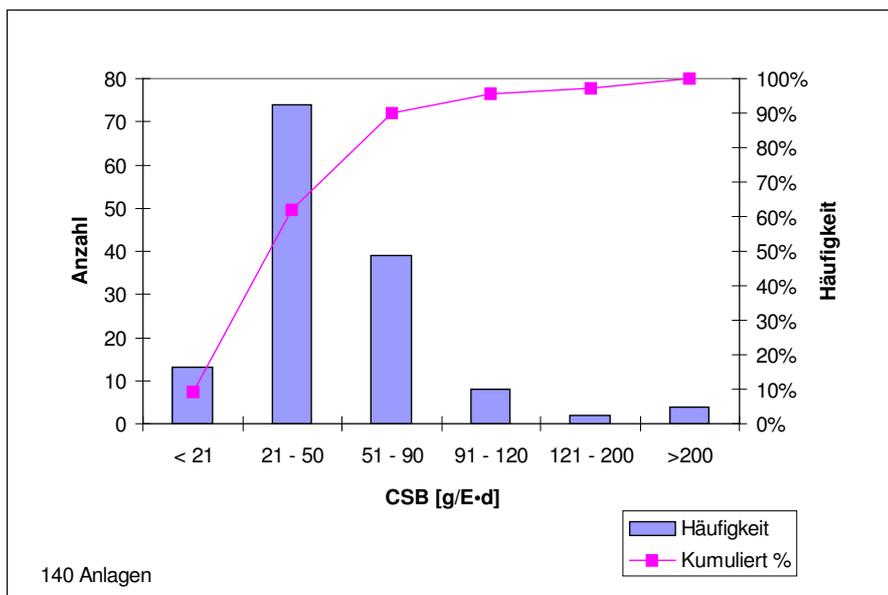
Die CSB-Werte im Zulauf der Pflanzenstufen lagen im Mittel bei ca. 450 mg/l (Median: 430 mg/l). Bei ca. 30 % der Anlagen wurden CSB-Werte unter 300 mg/l und bei ca. 20 % der Anlagen CSB-Werte über 600 mg/l gemessen. CSB-Werte über 900 mg/l (10 % der untersuchten Pflanzenanlagen) deuten auf eine unzureichende Vorklärung hin. Evtl. können auch sehr niedrige Wasserverbräuche Ursache für die hohen

Schmutzkonzentrationen sein. Da es sich bei KKA-Betreibern i. d. R. um Wassereigenversorger mit einem Brunnen handelt, konnten keine Wasserverbräuche ermittelt werden.



**Abb. 20:** CSB-Zulaufwerte

Bei ca. 50 % lag die spezifische CSB-Zulaufmenge bei 21 bis 50 g/(E•d) und bei ca. 10 % über 90 g/(E•d). Für die Berechnung wurde eine einwohnerspezifische Zulaufmenge von 100 l/(E•d) zu Grunde gelegt.



**Abb. 21:** spezifische CSB-Zulaufmengen

Die  $N_{ges}$ -Konzentrationen lagen im Mittel bei ca. 80 mg/l (Median: 95 mg/l). Konzentrationen über 100 mg/l hatten für den Parameter  $N_{ges}$  ca. 30% und für den Parameter  $NH_4-N$  ca. 20 % der Anlagen. Bei Anlagen mit  $N_{ges}$ -Konzentrationen über 150 mg/l im Ablauf der Vorreinigung muss von einer nicht funktionierenden Vorreinigungsstufe oder aber von der Zugabe von stickstoffreichen Abwässern, z. B. aus dem landwirtschaftlichen Bereich, ausgegangen werden.

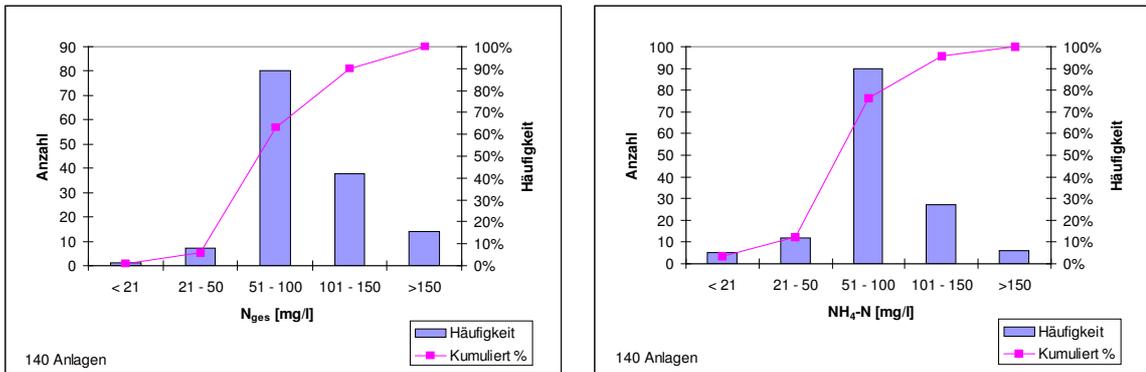


Abb. 22:  $N_{ges}$  und  $NH_4-N$ -Zulaufkonzentrationen

Eine  $N_{ges}$ -Zulaufkraft von 6 bis 11 g/(E•d) hatten ca. 75 % der Anlagen, während eine  $NH_4-N$ -Zulaufkraften von 6 bis 11 g/(E•d) ca. 85 % aufwiesen.

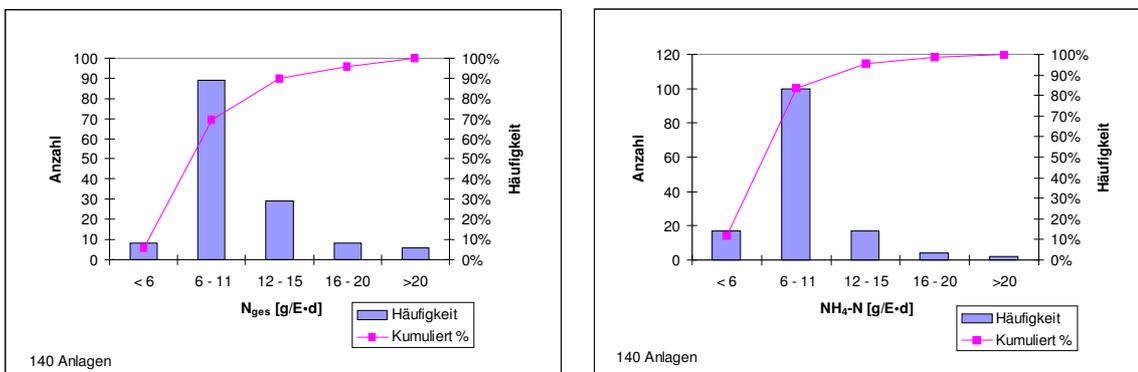


Abb. 23:  $N_{ges}$  und  $NH_4-N$ -Zulaufkraften

Wie bei den CSB- und Stickstoffwerten sind auch bzgl. Phosphor teilweise sehr hohe Konzentrationen im Ablauf der Vorreinigungs- und damit im Zulauf der Pflanzenstufe gemessen worden. Die mittlere P-Konzentration lag bei 13 mg/l (Median: 14 mg/l). Ca. 30 % der Anlagen hatten Konzentrationen oberhalb von 15 mg/l und ca. 25 % über 20 mg/l.

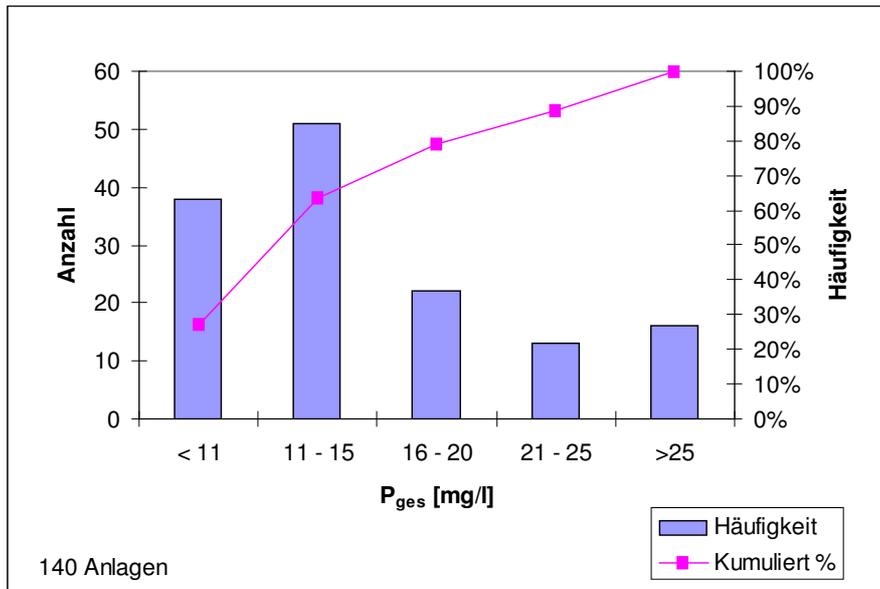


Abb. 24:  $P_{ges}$ -Zulaufkonzentrationen

Bei der  $P_{ges}$ -Zulaufkraft wiesen ca. 80 % eine Kraft bis 1,8 g/(E·d) auf.

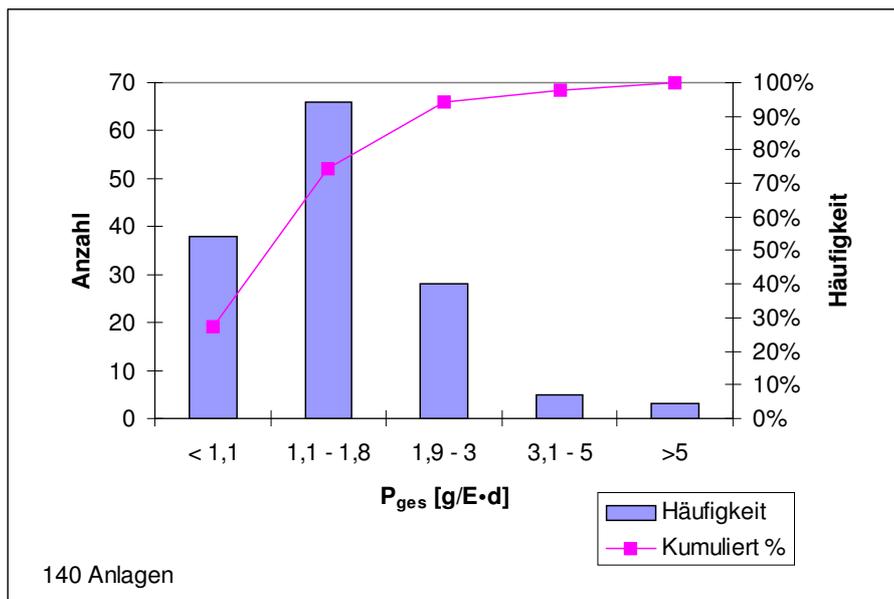
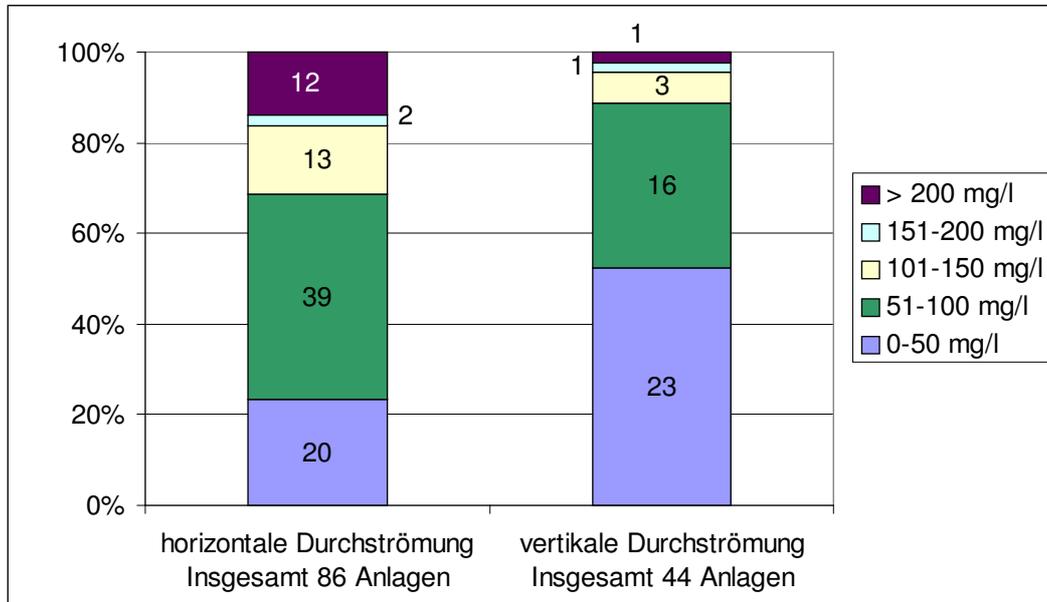


Abb. 25:  $P_{ges}$ -Zulaufkräften

## 6.2 Reinigungsleistungen

Ein Vergleich der Reinigungsleistung der untersuchten Pflanzenanlagen anhand des CSB-Ablaufwertes zeigt, dass 16 % der überwiegend horizontal durchströmten Pflanzenanlagen und 5 % der vertikal durchströmten Pflanzenanlagen den CSB-Grenzwert von 150 mg/l nicht eingehalten haben (siehe Abb. 26).



**Abb. 26:** CSB-Ablaufwerte

Von den vertikal durchströmten Pflanzenanlagen wiesen ca. 50 % einen CSB-Ablaufwert unter 50 mg/l auf. Ca. 47 % hatten einen Ablaufwert von 50 bis 100 mg/l. Bei den horizontalen Pflanzenanlagen wiesen dagegen nur ca. 23 % einen Ablaufwert unter 50 mg/l und ca. 45 % einen Ablaufwert von 50 bis 100 mg/l auf.

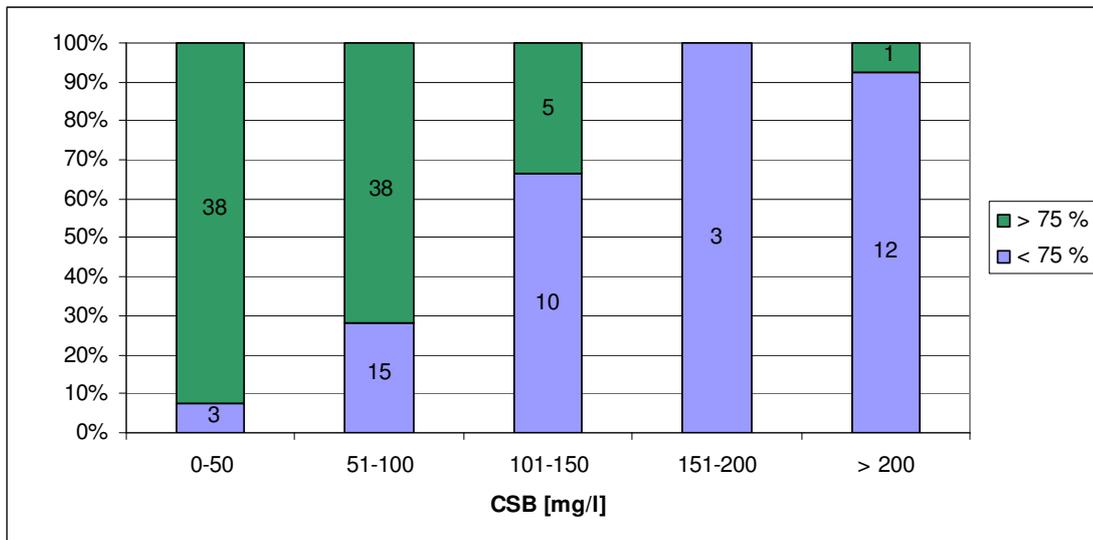
Von insgesamt 16 überwiegend horizontal durchflossenen Pflanzenanlagen, bei denen eine CSB-Grenzwertüberschreitung von 150 mg/l festgestellt wurde, entsprachen zwei Anlagen nicht den a. a. R. d. T. Eine der beiden Anlage war baufällig und bei der anderen Anlage handelte es sich um eine hydrobotanische Anlage ohne Ablaufschacht. Beide Anlagen wurden bei den weiteren Betrachtungen nicht mehr berücksichtigt.

Damit entsprachen von den 16 horizontal durchflossenen Anlagen mit Grenzwertüberschreitungen 14 weitgehend den a. a. R. d. T. Es ist jedoch festzuhalten, dass bei drei Anlagen Mutterboden als Deckschicht und bei zwei Anlagen teilweise bindiger Boden eingebaut war.

Die zwei vertikalen Anlagen mit CSB-Grenzwertüberschreitung von 150 mg/l entsprachen ebenfalls den a. a. R. d. T. Bei beiden Anlagen handelte es sich um neue Anlagen (Betriebszeit: ca. 6 Monate), die noch eingestaut betrieben wurden.

Ein Vergleich der CSB-Verminderung mit den CSB-Ablaufwerten zeigt, dass niedrige CSB-Ablaufwerte durch hohe Reinigungsleistungen und nicht durch niedrige Zulauf-

werte hervorgerufen wurden. Wie in Abb. 27 dargestellt, traten hohe CSB-Ablaufwerte vor allem bei einer CSB-Verminderung von unter 75 % auf.

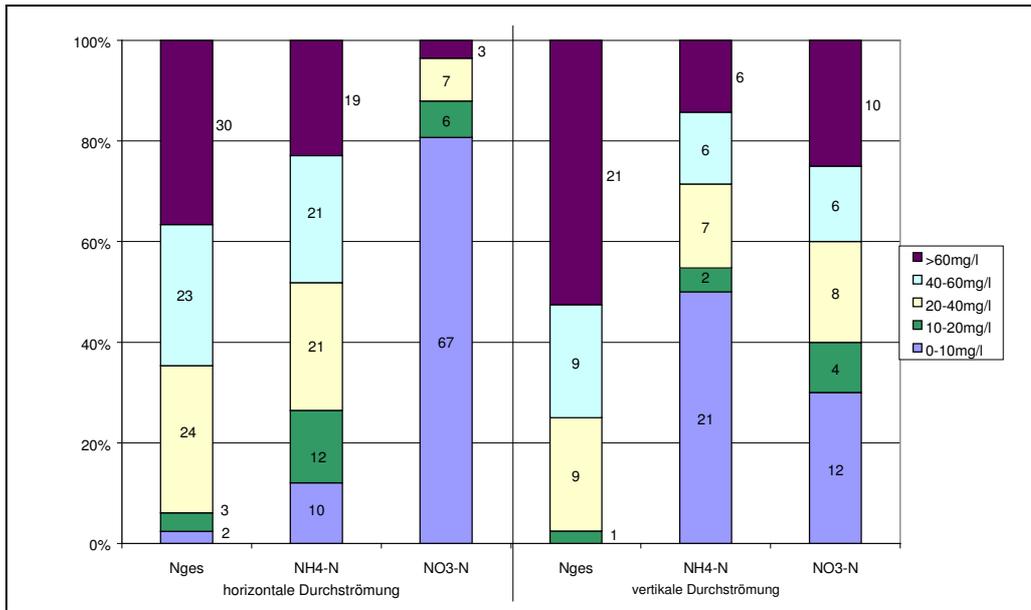


**Abb. 27:** CSB-Ablaufwerte und CSB-Verminderung

So wiesen die Pflanzenanlagen mit einer CSB-Grenzwertüberschreitung eine CSB-Verminderung unter 75 % auf. Die CSB-Zulaufwerte lagen im Bereich von 300 bis 2.700 mg/l (4 Anlagen mit einem CSB-Wert von über 900 mg/l).

Grundsätzlich zeigt sich, dass vertikale Pflanzenanlagen bezüglich organischer Inhaltsstoffe i. d. R. eine bessere Reinigungsleistung als überwiegend horizontal durchströmte Anlagen aufweisen.

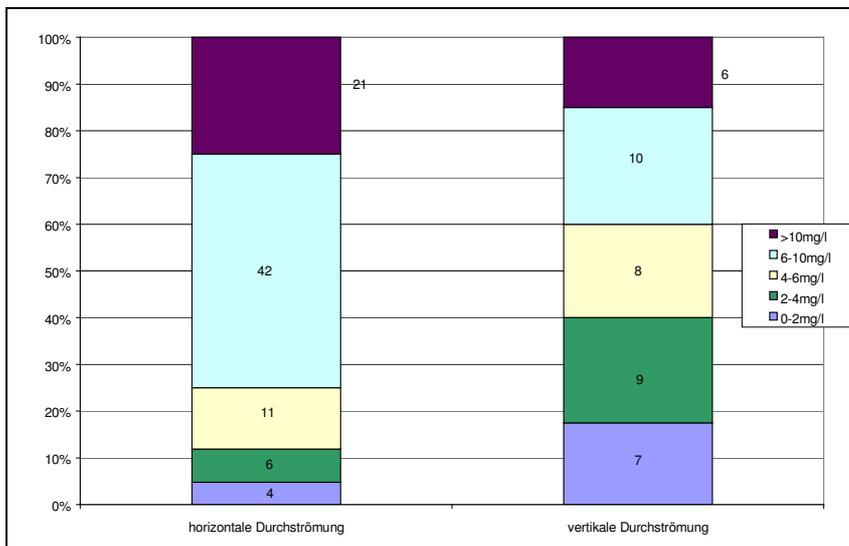
In Abb. 28 sind die Stickstoffkonzentrationen im Ablauf der beprobten Pflanzenanlagen dargestellt. Vergleicht man die  $N_{ges}$ -Konzentrationen, so haben die horizontal durchströmten Anlagen eine höhere Reinigungsleistung. Wie auch im Rahmen anderer Untersuchungen bereits festgestellt wurde, liegt jedoch die Nitrifikationsleistung von vertikal durchströmten Stufen über der Leistung von horizontal durchströmten Anlagen. Im Gegensatz dazu erfolgt in horizontal durchströmten Anlage eine bessere Denitrifikation.



**Abb. 28:** Stickstoffablaufkonzentrationen ( $N_{ges}$ ,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$ )

Grundsätzlich kann zur Stickstoffelimination festgehalten werden, dass nur wenige Anlagen eine  $N_{ges}$ -Konzentration von 20 mg/l unterschreiten. Weitergehende Reinigungsanforderungen werden somit von „normal“ dimensionierten Pflanzenanlagen nicht erreicht.

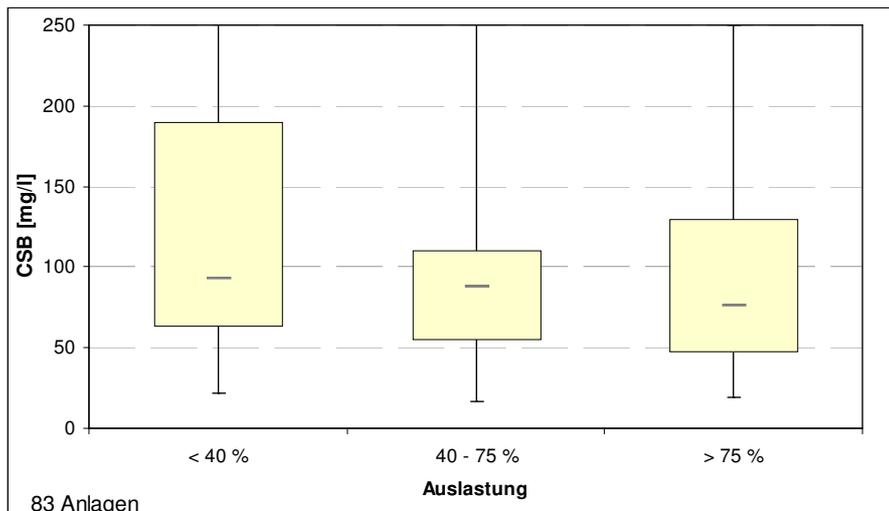
Die im Ablauf der Anlagen gemessenen  $P_{ges}$ -Konzentrationen ergeben für die vertikal durchströmten Anlagen geringfügig höhere Reinigungsleistungen im Vergleich zu den horizontal durchströmten Stufen. Grundsätzlich werden auch bei den P-Konzentrationen keine weitergehenden Reinigungsanforderungen erfüllt. So lag die  $P_{ges}$ -Konzentrationen nur bei ca. 20 % der Anlagen unter 2 mg/l, hingegen bei ebenfalls ca. 20 % der Anlagen über 10 mg/l.



**Abb. 29:** Phosphorkonzentrationen im Ablauf

### 6.3 Abhängigkeit von Reinigungsleistung und Anlagenauslastung

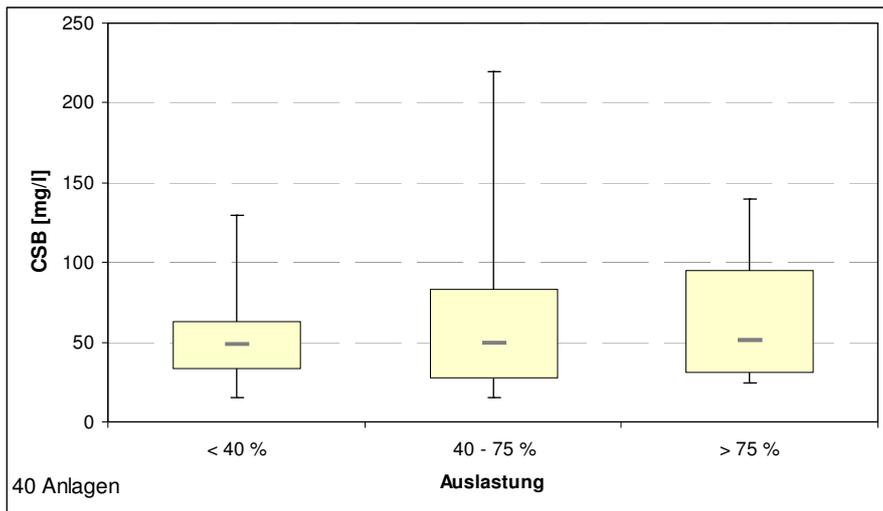
Für die Darstellung der Abhängigkeit der CSB-Ablaufwerte von der Auslastung wurde die einwohnerspezifische Beetgröße nach dem LUA-Merkblatt 23 (2000) herangezogen. Demnach sind für horizontale Pflanzenanlagen eine spezifische Grundfläche von mindestens 5,0 m<sup>2</sup>/E und für vertikale von mindestens 3,0 m<sup>2</sup>/E anzusetzen. Da nur wenige Anlagen eine 100 %-ige Auslastung aufwiesen, wird im Folgenden zwischen einer Auslastung < 40 % , 40 – 75 % und > 75 % unterschieden.



**Abb. 30:** CSB-Ablaufwerte in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von horizontal durchströmten Pflanzenanlagen

Horizontale Pflanzenanlagen wiesen unabhängig von der Auslastung etwa die gleiche Reinigungsleistung auf. So liegen die Mediane der CSB-Ablaufwerte bei den gewählten Auslastungsklassen nahezu gleich bei ca. 70 bis 80 mg/l. Allerdings sind die 50 % Vertrauensbereiche bei Anlagen mit einer Auslastung > 75 % und < 40 % geringfügig größer.

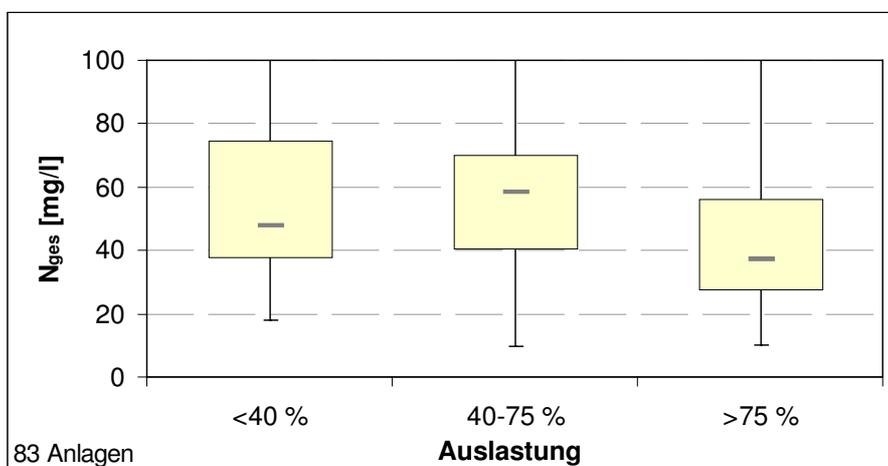
Wie in Abb. 31 dargestellt, wiesen vertikale Pflanzenanlagen bei einer Auslastung über 75 % eine geringfügig schlechtere Reinigungsleistung auf als geringer belastete Anlagen, wobei die Unterschiede ebenfalls sehr gering waren. So wurde der CSB-Grenzwert von 150 mg/l auch bei Anlagen mit einer Auslastung über 75% deutlich unterschritten.



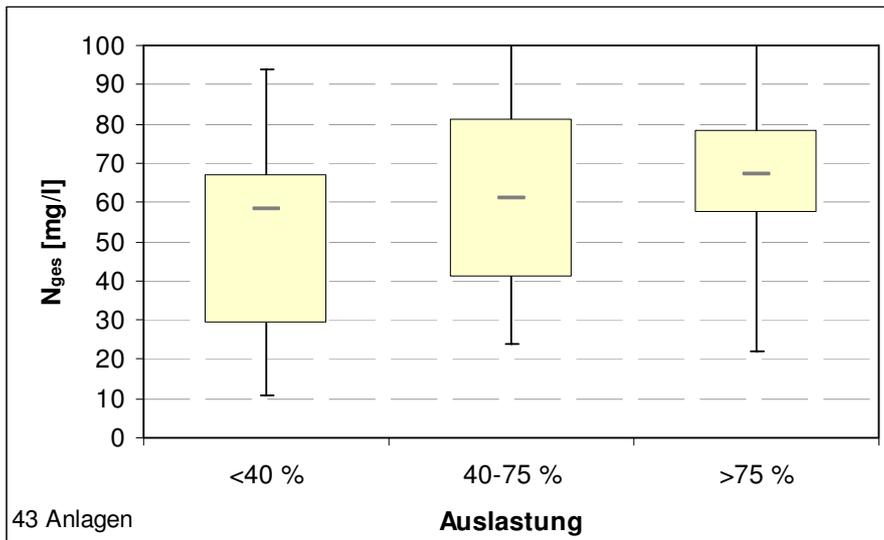
**Abb. 31:** CSB-Ablaufwerte in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von vertikal durchströmten Pflanzenanlagen

Es kann festgehalten werden, dass sowohl bei den horizontal als auch bei den vertikal durchflossenen Anlagen keine wesentliche Verminderung der Reinigungsleistung bei höheren Anlagenbelastungen gemessen wurde. Die bei einzelnen Anlagen deutlich höheren CSB-Ablaufwerte traten unabhängig von der Anlagenbelastung auf.

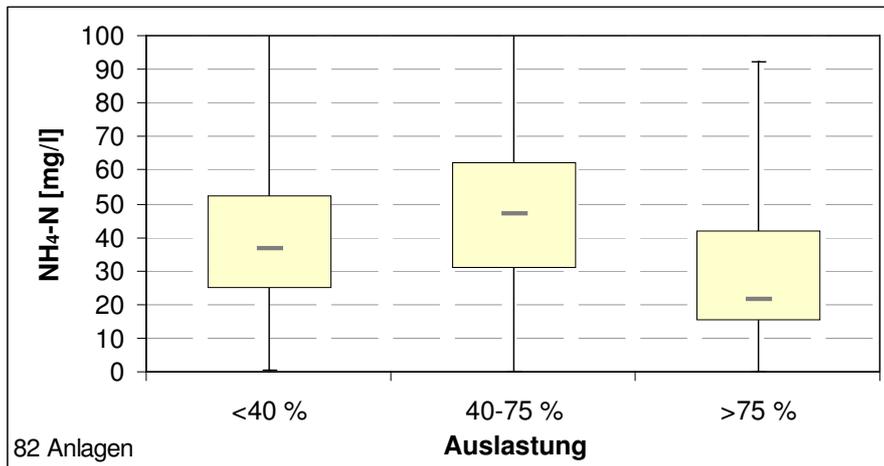
Hinsichtlich der im Ablauf gemessenen Stickstoffkonzentrationen ( $N_{ges}$ ,  $NH_4-N$ ) ist bei vertikal durchströmten Anlagen eine deutliche Abhängigkeit von der Anlagenauslastung zu erkennen. Während bei horizontal durchströmten Anlagen keine Abhängigkeit festzustellen ist, nimmt die  $N_{ges}$ -Konzentration (Median) bei vertikalen Pflanzenstufen von ca. 58 mg/l bei 40 % Auslastung auf ca. 65 mg/l bei Anlagen mit über 75 %-Auslastung zu. Diese Zunahme ist im Wesentlichen auf eine geringere Nitrifikation zurückzuführen (siehe Abb. 33).



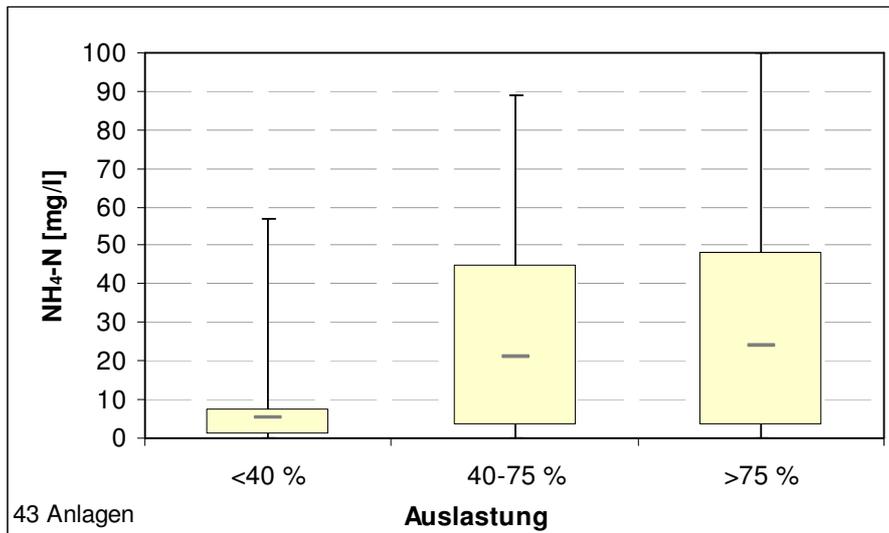
**Abb. 32:**  $N_{ges}$ -Ablaufkonzentrationen in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung bei horizontal durchströmten Pflanzenanlagen



**Abb. 33:** N<sub>ges</sub>-Ablaufkonzentrationen in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von vertikal durchströmten Pflanzenanlagen

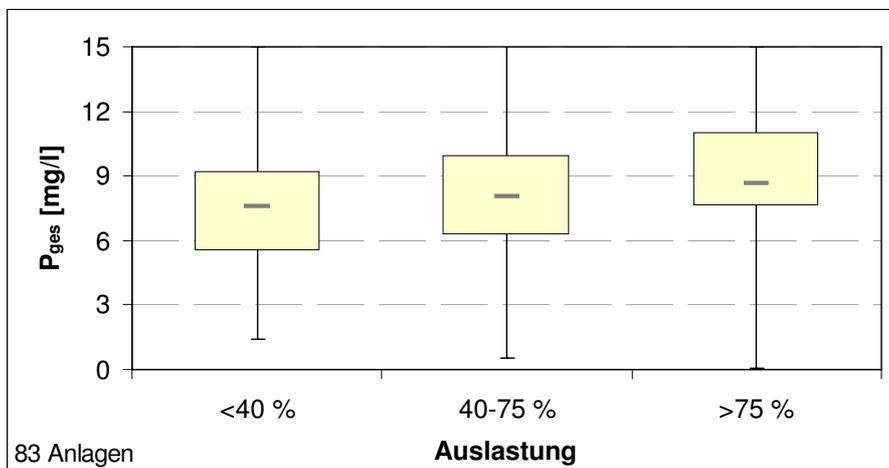


**Abb. 34:** NH<sub>4</sub>-N-Ablaufkonzentrationen in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von horizontal durchströmten Pflanzenanlagen

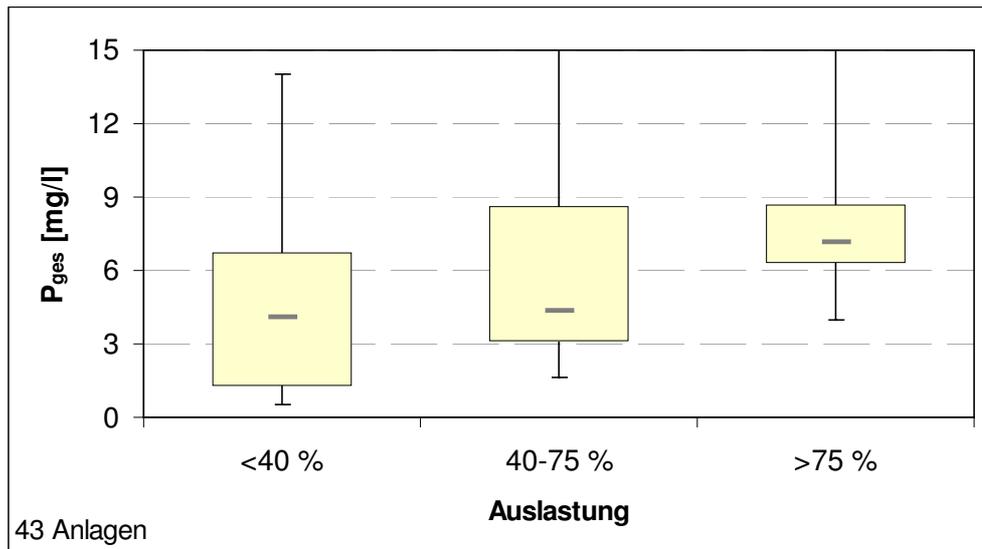


**Abb. 35:** NH<sub>4</sub>-N-Ablaufkonzentrationen in Abhängigkeit der einwohnerspezifischen Beetauslastung von vertikal durchströmten Pflanzenanlagen

Wesentlich deutlicher ist die Abhängigkeit der Reinigungsleistung von der Anlagenauslastung bei den P-Konzentrationen. Bei den horizontal durchströmten Anlagen steigen die gemessenen Ablaufwerte von ca. 8 mg/l (Median) bei Anlagen unter 40 %-Auslastung auf ca. 10 mg/l bei ausgelasteten Anlagen. Bei Anlagen mit vertikal durchströmten Pflanzenstufen ist diese Abhängigkeit noch stärker ausgeprägt.



**Abb. 36:** P<sub>ges</sub>-Ablaufwert – einwohnerspezifische Beetauslastung, horizontal durchströmter Pflanzenanlagen



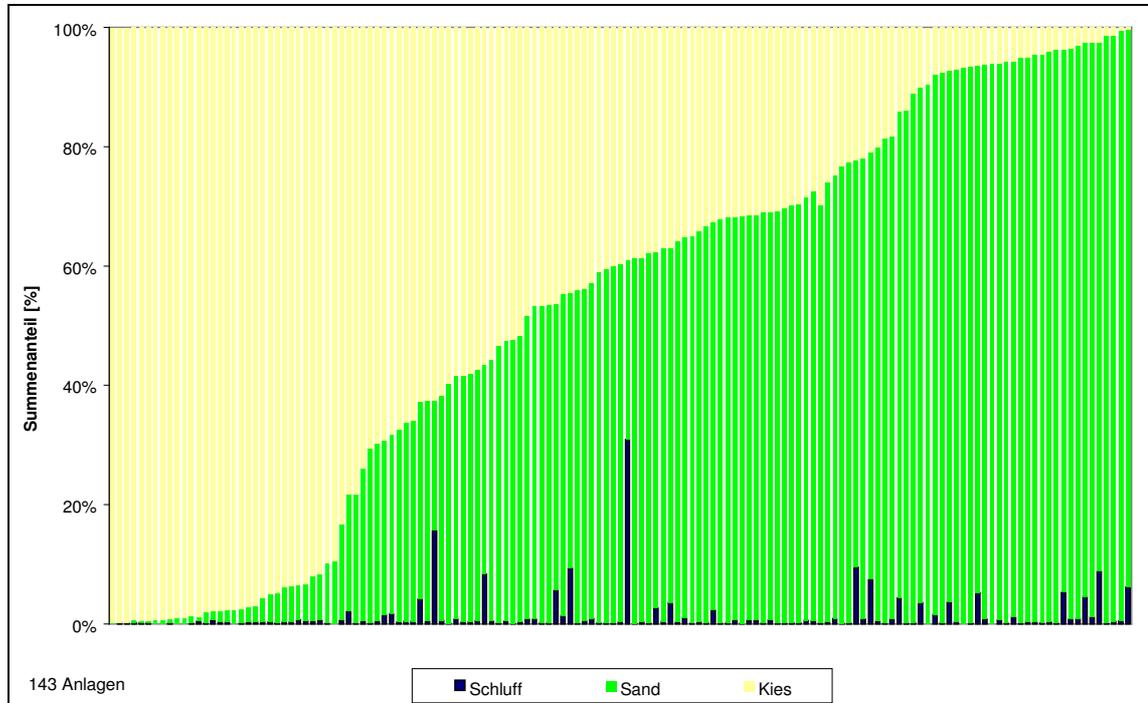
**Abb. 37:**  $P_{\text{ges}}$ -Ablaufwert – einwohnerspezifische Beetauslastung, vertikal durchströmten Pflanzenanlagen

Zur Auswirkung der Auslastung der Pflanzenstufe auf die Reinigungsleistung, ausgedrückt über die gemessenen Ablaufwerte, kann festgehalten werden, dass bzgl. der CSB-Werte kein Einfluss auf die Abbauleistung festzustellen war, bei den anorganischen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen insbesondere bei vertikal durchströmten Anlagen jedoch eine Abhängigkeit besteht.

Da der Auslastungsgrad sich auf die Reinigungsleistung auswirkt, auch wenn bei den CSB-Werten dieser Einfluss kaum festzustellen war, sollte auch bei Pflanzenanlagen die in der DIN prEN 12566 Teil 3 bereits vorgesehene Prüfung der Anlage bei Über- und Unterlast erfolgen.

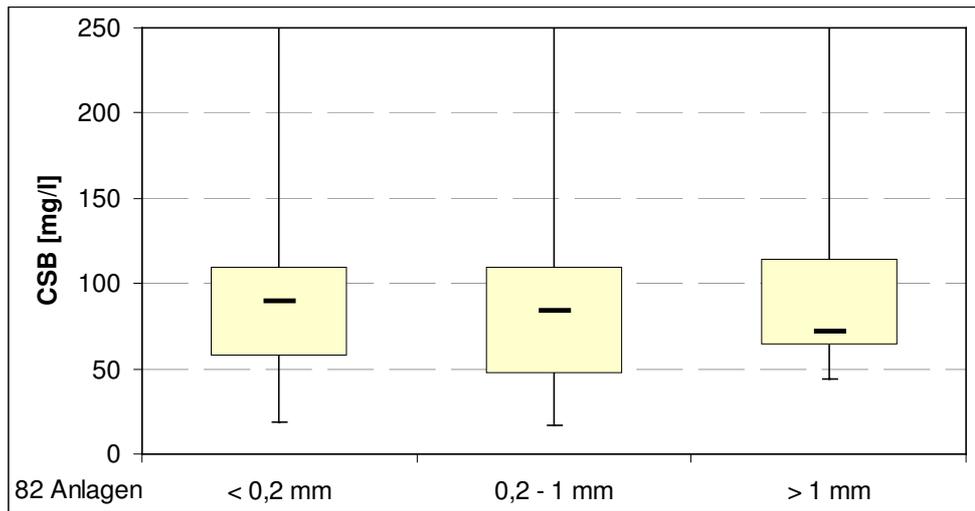
## 6.4 Einfluss des Bodenmaterials auf die Reinigungsleistung

Bei den untersuchten Pflanzenanlagen zeigte sich kein einheitliches Kornspektrum für den Beetkörper.

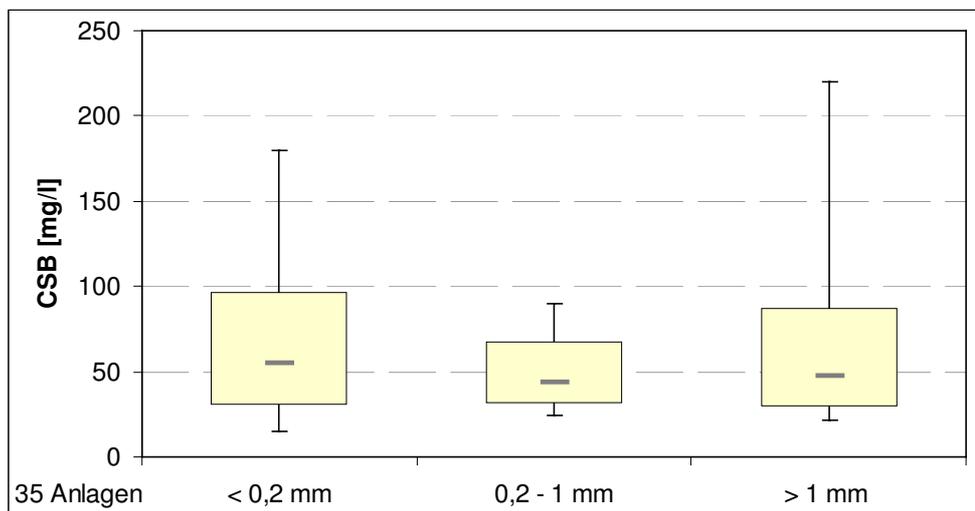


**Abb. 38:** Verteilung der Korngrößenfraktionen der untersuchten Pflanzenanlagen

Ein Vergleich der wirksamen Korngröße  $d_{10}$  mit den CSB-Ablaufwerten zeigt, dass der wirksame Korndurchmesser auf die CSB-Ablaufwerte sowohl bei den horizontalen als auch bei den vertikalen Pflanzenanlagen keinen erkennbaren Einfluss hat (siehe Abb. 39 und 40); die Unterschiede sind so gering, dass sie im Bereich der Messtoleranzen liegen. Vertikal durchströmte Pflanzenstufen mit einem Bodenmaterial mit einem  $d_{10}$  im Bereich von 0,2 bis 1 mm erreichen nach den Untersuchungsergebnissen bzgl. der organischen Parameter (CSB) geringfügig bessere Reinigungsleistungen als Anlagen mit feineren oder gröberen Bodenmaterialien. Dies korreliert mit dem derzeitigen Entwurf des neuen ATV-DVWK-Arbeitsblattes A 262, in welchem ein Material mit einem  $d_{10}$  im Bereich von 0,2 bis 0,4 mm empfohlen wird.

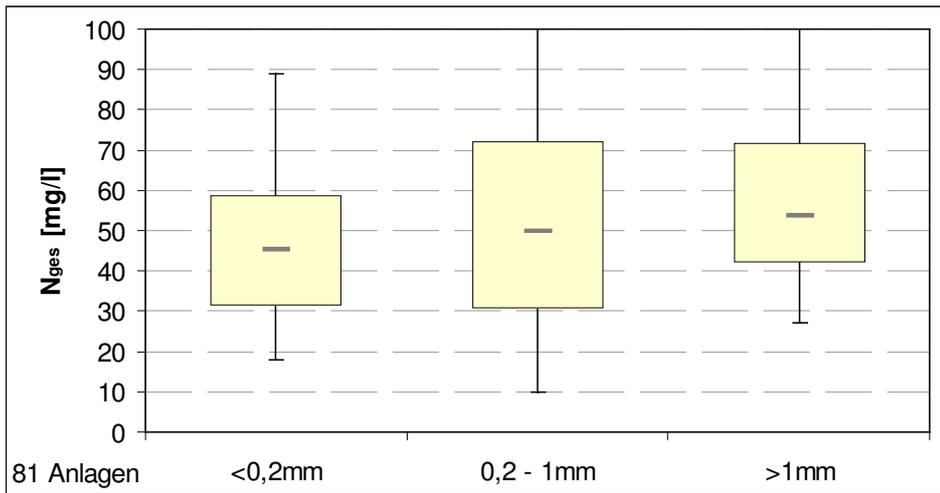


**Abb. 39:** Vergleich CSB-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße  $d_{10}$  horizontal durchströmten Pflanzenanlagen

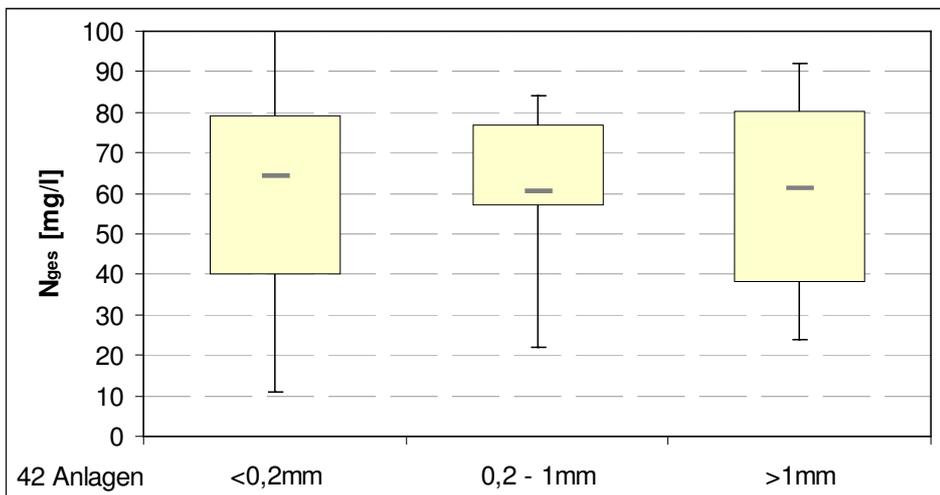


**Abb. 40:** Vergleich CSB-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße  $d_{10}$  bei vertikal durchströmten Pflanzenanlagen

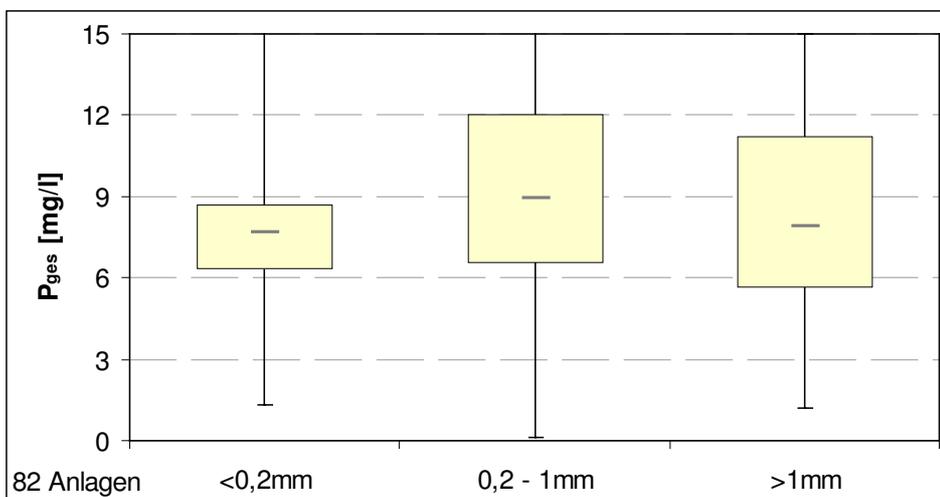
Bei den Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen ist ebenfalls kein Zusammenhang zwischen der Korngröße des Bodenmaterials und den Ablaufkonzentrationen gegeben. Die gemessenen Ablaufwerte sind bei den Anlagen unabhängig vom Bodenmaterial nahezu gleich. Ein Einfluss des wirksamen Korndurchmessers auf die Nährstoffelimination in Pflanzenstufen war nicht zu erkennen.



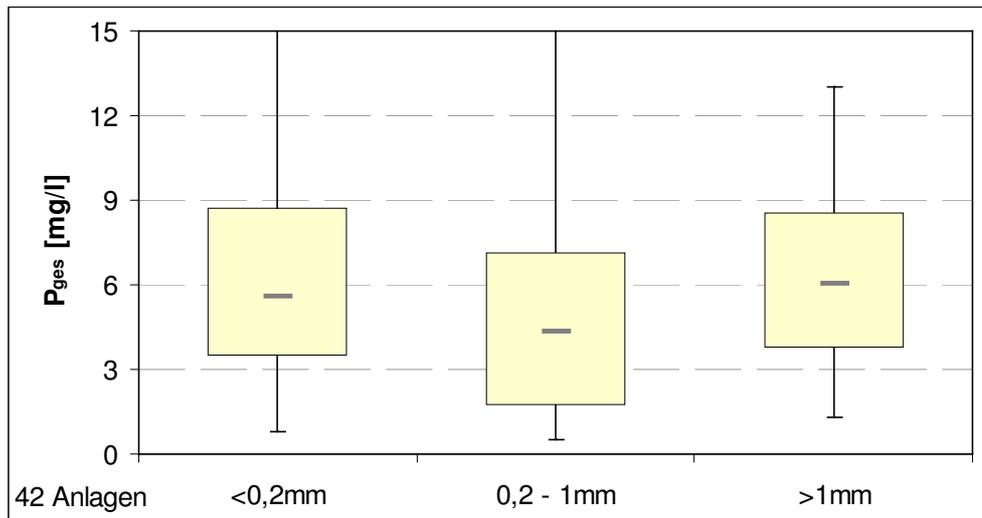
**Abb. 41:** Vergleich N<sub>ges</sub>-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße d<sub>10</sub>, horizontal durchströmter Pflanzenanlagen



**Abb. 42:** Vergleich N<sub>ges</sub>-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße d<sub>10</sub>, vertikal durchströmter Pflanzenanlagen



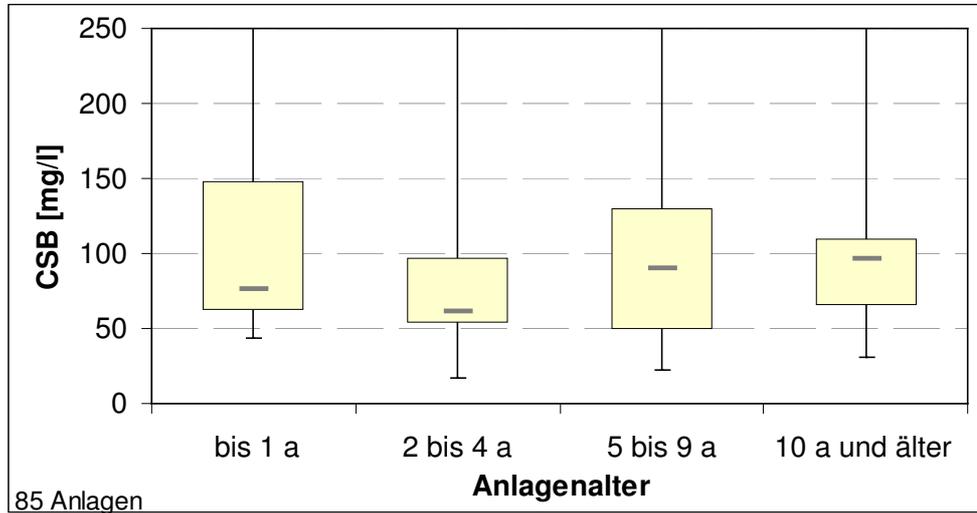
**Abb. 43:** Vergleich P<sub>ges</sub>-Reinigungsleistung und wirksame Korngröße d<sub>10</sub>, horizontal durchströmter Pflanzenanlagen



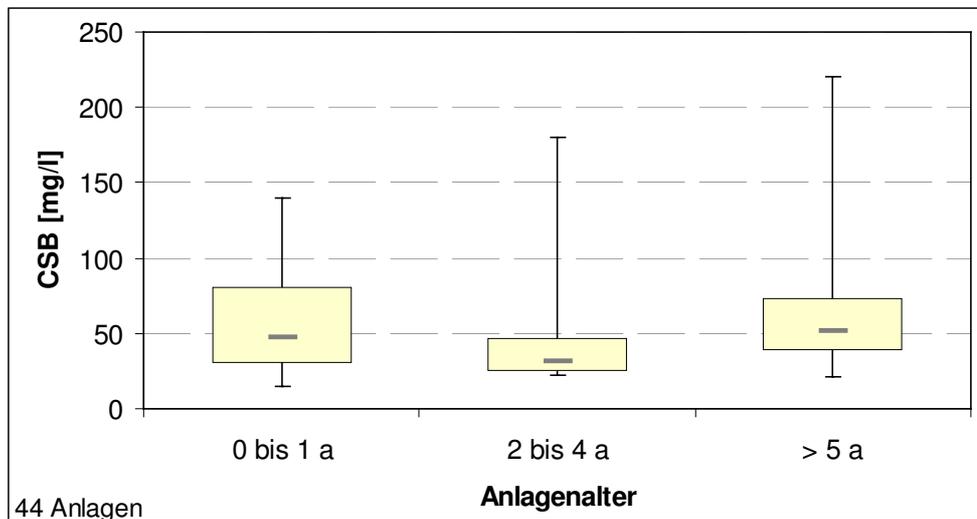
**Abb. 44:** Vergleich  $P_{ges}$ -Reinigungsleistung und wirksame Korngröße  $d_{10}$ , vertikal durchströmter Pflanzenanlagen

### 6.5 Einfluss des Anlagenalters auf die Reinigungsleistung

Zur Abschätzung, ob und in welchem Umfang eine Abnahme der Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen im Laufe der Betriebszeit zu erwarten ist, werden in den folgenden Abbildungen die Ablaufwerte von Anlagen unterschiedlichen Alters verglichen.



**Abb. 45:** Vergleich CSB-Ablaufwerte und Anlagenalter horizontal durchströmter Pflanzenanlagen

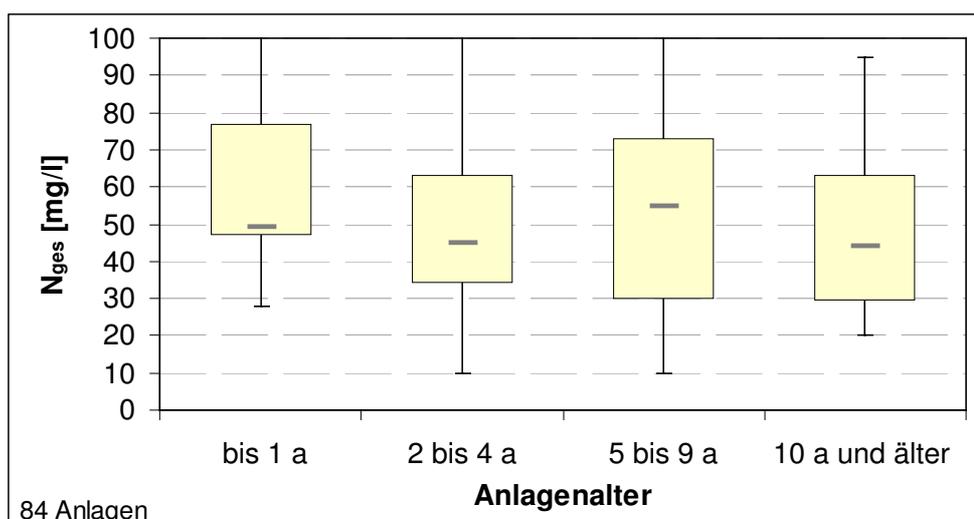


**Abb. 46:** Vergleich CSB-Ablaufwerte und Anlagenalter vertikal durchströmter Pflanzenanlagen

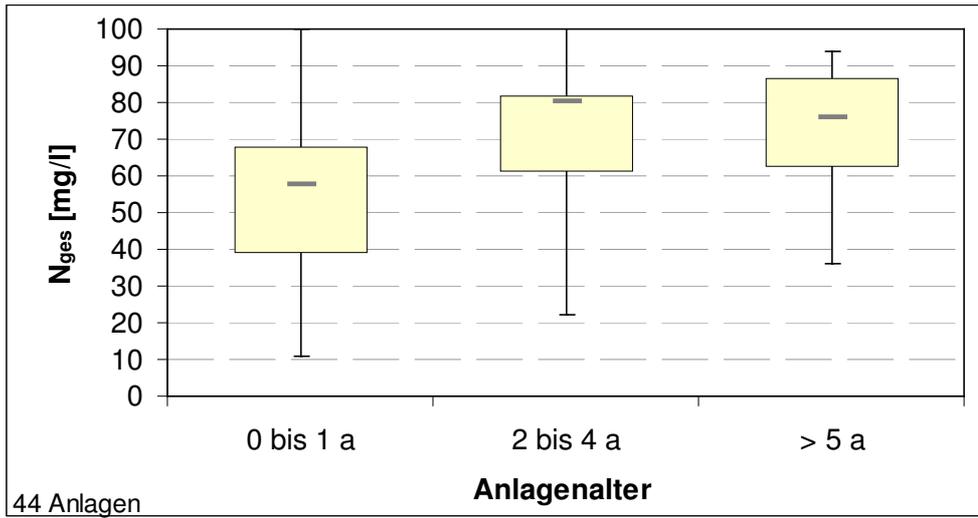
Sowohl bei horizontalen als auch bei vertikal durchströmten Pflanzenanlagen war trendmäßig eine Abnahme der Reinigungsleistung, d. h. eine Erhöhung der CSB-Ablaufwerte, mit zunehmendem Alter festzustellen. Bei horizontal durchströmten Pflanzenanlagen war diese Abhängigkeit etwas ausgeprägter als bei vertikalen Anlagen. Die niedrigsten CSB-Ablaufwerte wurden bei Anlagen mit einer Betriebszeit von 2 bis 4 Jahren gemessen. Die etwas höheren Werte während des ersten Betriebsjahres sind auf eine verminderte Reinigungsleistung in der Einfahrphase zurückzuführen.

Horizontale Anlagen scheinen eine ausreichende Reinigungsleistung für mindestens 10 Jahre sicher zu gewährleisten. Der Median der CSB-Ablaufwerte liegt jedoch bei Anlagen mit einer Betriebszeit von 6 bis 9 Jahren bereits bei 90 mg/l (Medianwert von eingefahrenen Neuanlagen: ca. 60 mg/l). Vertikal durchströmte Pflanzenanlagen scheinen dagegen auch bei älteren Anlagen eine stabile Reinigungsleistung zu gewährleisten. Der Median der CSB-Ablaufwerte liegt auch bei Anlagen mit einer Betriebsdauer von über 5 Jahren bei ca. 50 mg/l. Allerdings liegen von vertikal durchflossenen Anlagen mit einer Betriebszeit von mehr als 8 Jahren bisher nur sehr wenige Werte vor.

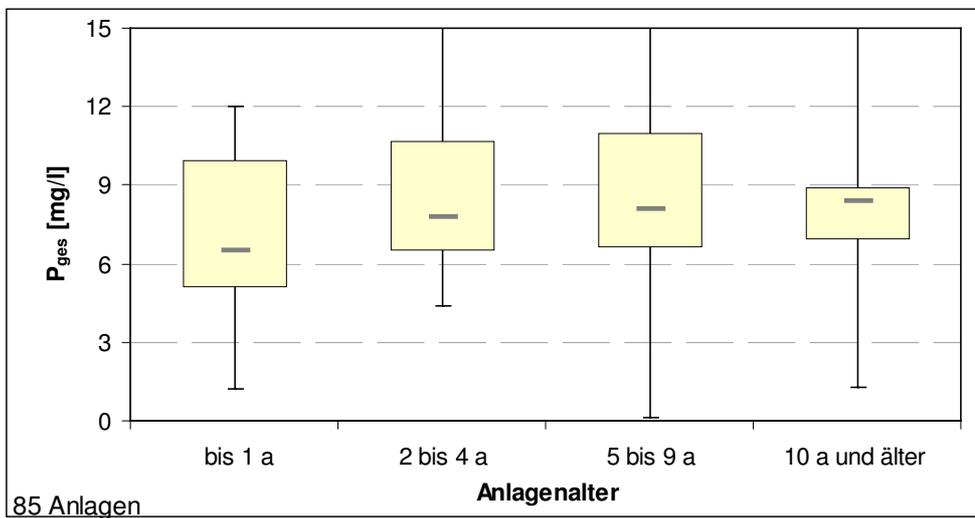
Bzgl. der Nährstoffkonzentrationen ist bei horizontal durchströmten Anlagen keine Ab- oder Zunahme der Reinigungsleistung in Abhängigkeit vom Alter festzustellen. Die  $N_{\text{ges}}$ -Ablaufkonzentrationen liegen im Bereich von 45 bis 55 mg/l (Medianwerte) und die  $P_{\text{ges}}$ -Ablaufkonzentrationen im Bereich von 6 bis 8 mg/l. Bei den vertikal durchströmten Pflanzenstufen sind die Nährstoffkonzentrationen im Ablauf im ersten Betriebsjahr deutlich niedriger, bleiben ab dem zweiten Betriebsjahr jedoch auf einem weitgehend konstantem Niveau.



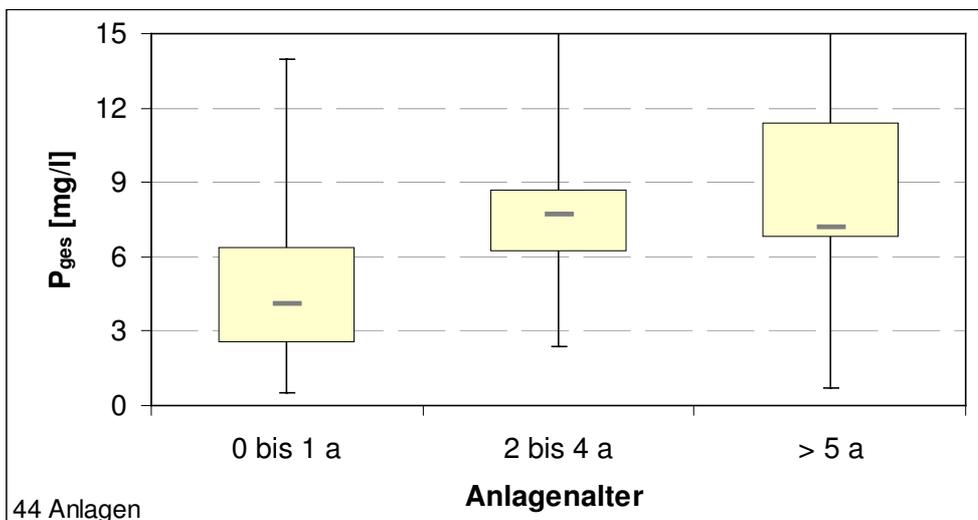
**Abb. 47:** Vergleich  $N_{\text{ges}}$  und Anlagenalter horizontal durchströmter Pflanzenanlagen



**Abb. 48:** Vergleich  $N_{ges}$  und Anlagenalter vertikal durchströmter Pflanzenanlagen



**Abb. 49:** Vergleich  $P_{ges}$  und Anlagenalter horizontal durchströmter Pflanzenanlagen

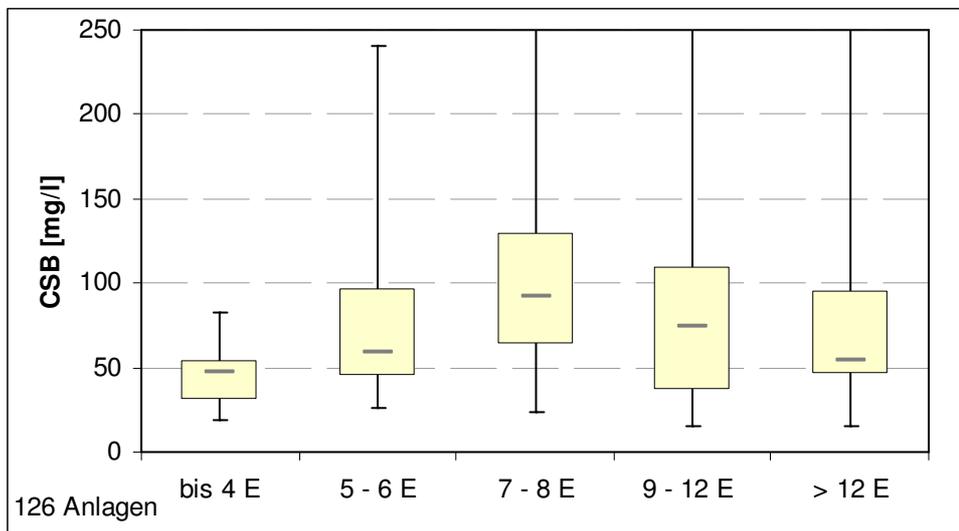


**Abb. 50:** Vergleich  $P_{ges}$  und Anlagenalter vertikal durchströmter Pflanzenanlagen

### 6.6 Reinigungsleistung bei unterschiedlichen Anlagengrößen

In Abb. 51 sind die CSB-Ablaufwerte unterteilt nach Anlagengrößen aufgetragen. Die geringsten CSB-Werte wurden bei Anlagen mit einem Anschlusswert von 4 Einwohnern gemessen. Insbesondere traten bei Anlagen dieser Größe keine CSB-Grenzwertüberschreitungen auf. Bei größeren Anlagen wurden dagegen teilweise deutliche Überschreitungen des CSB-Grenzwertes festgestellt.

Für eine Prüfung im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bedeutet dies, dass bei der Auswahl der zu prüfenden Anlagengröße Anlagen ab einer Auslegungsgröße von 8 E geeignet erscheinen. Vor dem Hintergrund, dass Anlagen mit einer Auslegungsgröße von 8 E mit ca. 40 % aller Pflanzenanlagen den größten Anteil stellen, sollten Anlagen dieser Größe bei Prüfungen zur Bauartzulassung bevorzugt zum Einsatz kommen.

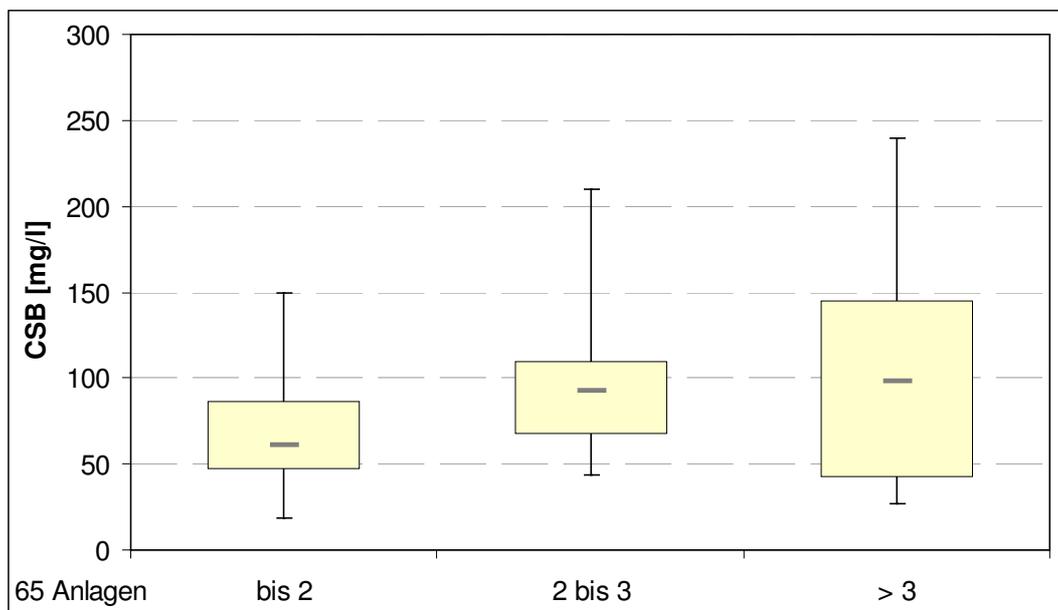


**Abb. 51:** Vergleich CSB-Ablaufwert und Anschlusswert

## 6.7 Einfluss des Längen/Breiten-Verhältnisses auf die Reinigungsleistung

Gemäß Abb. 52 wird die Reinigungsleistung von horizontal durchströmten Pflanzenstufen durch das Längen/Breiten-Verhältnis beeinflusst. Von den im Rahmen der Untersuchungen beprobten Anlagen wurden die geringsten CSB-Ablaufwerte bei Anlagen mit einem Längen/Breiten-Verhältnis zwischen 1 und 2 gemessen. So traten bei diesen Anlagen keine CSB-Grenzwertüberschreitungen auf. Bei Anlagen mit einem Längen/Breiten-Verhältnis über 2 hingegen wurden teilweise deutlich höhere CSB-Werte festgestellt.

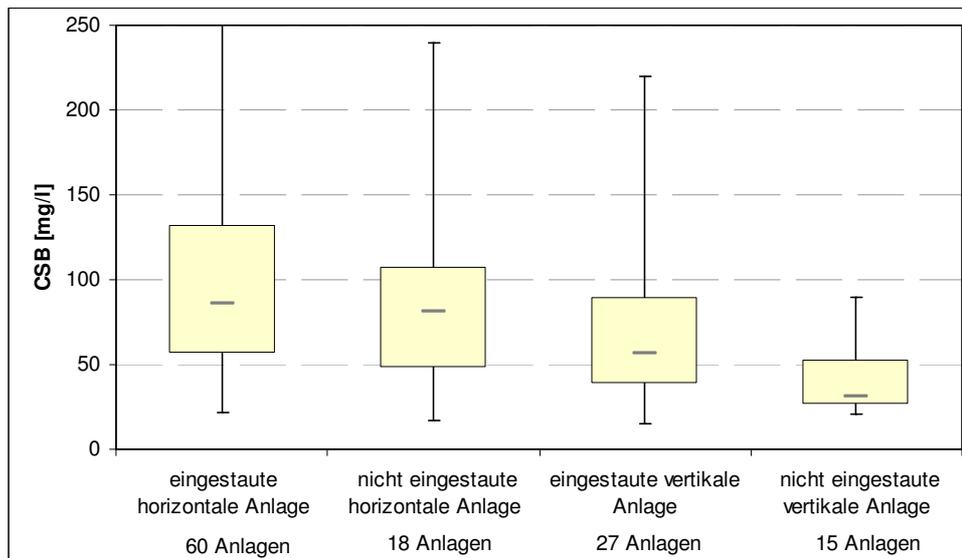
Für eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung bedeutet dies, dass das Längen/Breiten-Verhältnis als ein wesentlicher Parameter im Prüfbescheid definiert werden sollte.



**Abb. 52:** CSB-Ablaufwerte in Abhängigkeit vom Längen/Breiten-Verhältnis horizontal durchströmter Pflanzenstufen

## 6.8 Auswirkungen des Einstaubetriebs auf die Reinigungsleistung

Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass ca. 60 % der Anlagen eingestaut betrieben wurden. Zur Prüfung eines Zusammenhanges zwischen den CSB-Ablaufwerten und dem Einstau einer Pflanzenanlage werden im Folgenden die CSB-Ablaufwerte der eingestauten mit den Ablaufwerten der nicht eingestauten Pflanzenanlagen verglichen (siehe Abb. 53).



**Abb. 53:** CSB-Ablaufwerte von eingestaut und nicht eingestaut betriebenen Pflanzenanlagen

Sowohl bei horizontal als auch bei vertikal durchströmten Pflanzenanlagen war die Reinigungsleistung von eingestaut betriebenen Anlagen geringer. Der Median eingestauter horizontaler Anlagen lag bei 88 mg/l und der Median nicht eingestauter Anlagen bei 80 mg/l. Vertikale Pflanzenanlagen reagierten auf den Einstaubetrieb mit einer deutlich größeren Abnahme der Reinigungsleistung. So lag der Median eingestauter Anlagen bei 60 mg/l und nicht eingestauter bei 30 mg/l.

Auf Grundlage der Ergebnisse bleibt festzuhalten, dass der Einstau einer Pflanzenanlage einen gewissen Einfluss auf die Reinigungsleistung hat. Durch die verminderte Belüftung über die Drainrohre bewirkt der permanente Einstau bei vertikal durchströmten Pflanzenanlagen eine deutliche Verschlechterung der Reinigungsleistung im Vergleich zu horizontal durchströmten Anlagen.

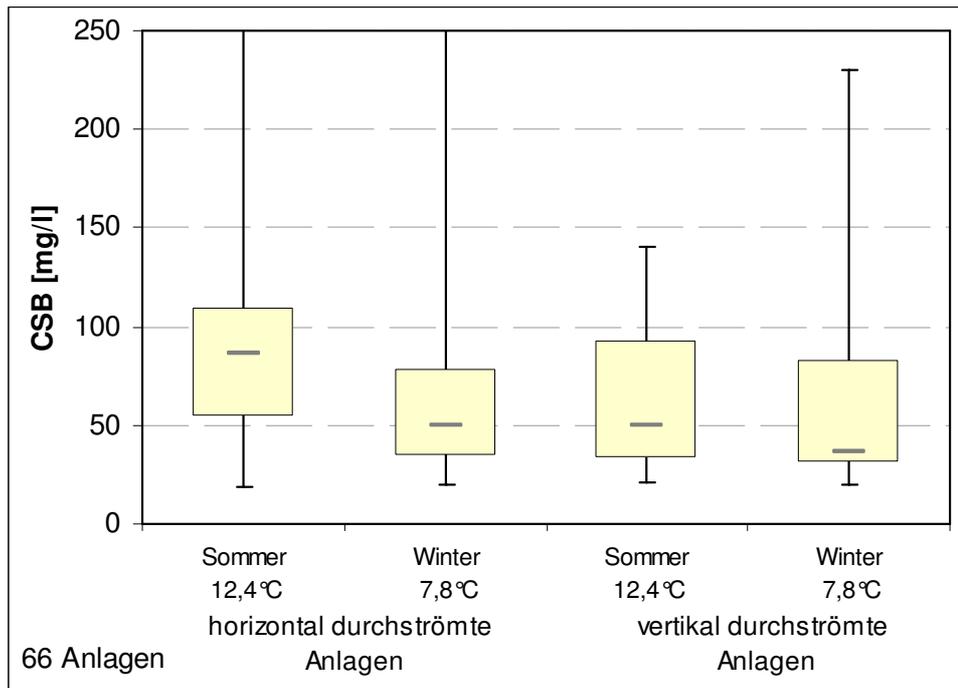
## 6.9 Vergleich Reinigungsleistung bei Winter- und Sommerbetrieb

Die jahreszeitliche Einteilung erfolgte für den Sommerbetrieb von März bis Oktober und für den Winterbetrieb von November bis Februar. Für den Vergleich wurden nur Anlagen herangezogen, die sowohl im Sommer als auch im Winter beprobt wurden.

Ein Vergleich der CSB-Ablaufwerte von Beprobungen bei unterschiedlichen Jahreszeiten zeigt, dass der jahreszeitliche Einfluss im Hinblick auf die Reinigungsleistung nur gering war (Abb. 54). Die Ergebnisse decken sich mit den Daten von Börner (1992), wonach es keine Leistungseinbußen im Hinblick auf den Parameter CSB gibt. So lagen die Medianwerte bei den vertikal durchströmten Pflanzenanlagen im Sommer- und Winterbetrieb dicht bei einander. Allerdings traten im Winter bei zwei Anlagen CSB-Grenzwertüberschreitungen auf. Horizontal durchströmte Anlagen hatten im Winterbetrieb sogar eine bessere Reinigungsleistung als im Sommer; so lag der Median der CSB-Ablaufwerte im Sommer bei ca. 85 mg/l und im Winter bei 50 mg/l. Die teilweise höheren CSB-Ablaufwerte während der Sommermonate sind vermutlich auf eine hohe Verdunstung in den sehr heißen Sommermonaten des Jahres 2003 zurückzuführen. Durch die hohe Verdunstung kam es zu sehr hohen Aufenthaltszeiten des Wassers im Pflanzenbeet und damit eventuell zu Faulungsprozessen sowie zu einer Aufkonzentrierung der Abwasserinhaltsstoffe.

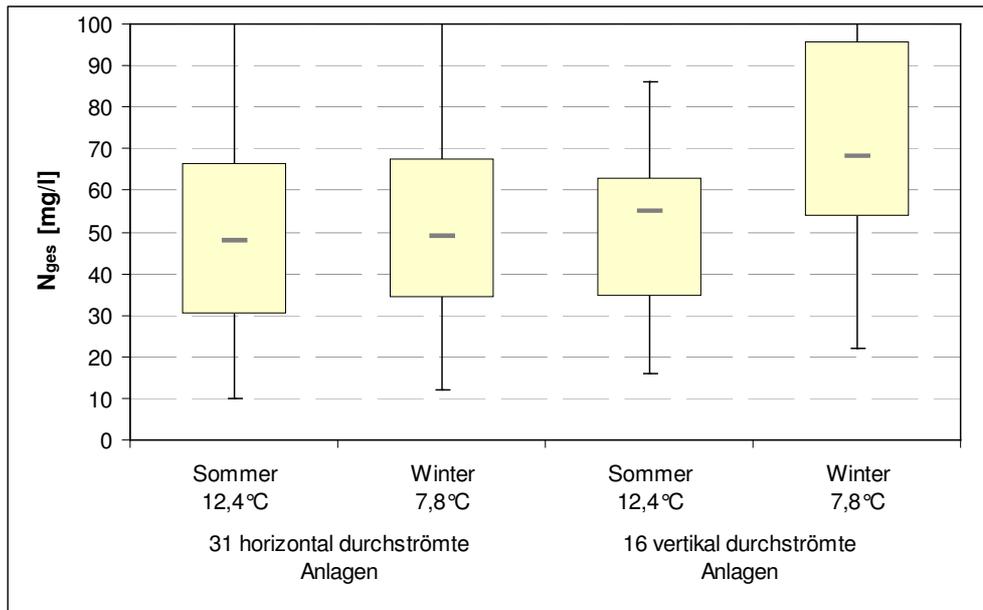
**Tab. 9:** Abwassertemperaturen im Ablauf [°C]

	Winterbeprobung	Sommerbeprobung
Min.	3,1	4,0
Max.	11,3	19,0
Mittelwert	7,8	12,4
Median	8,2	12,9

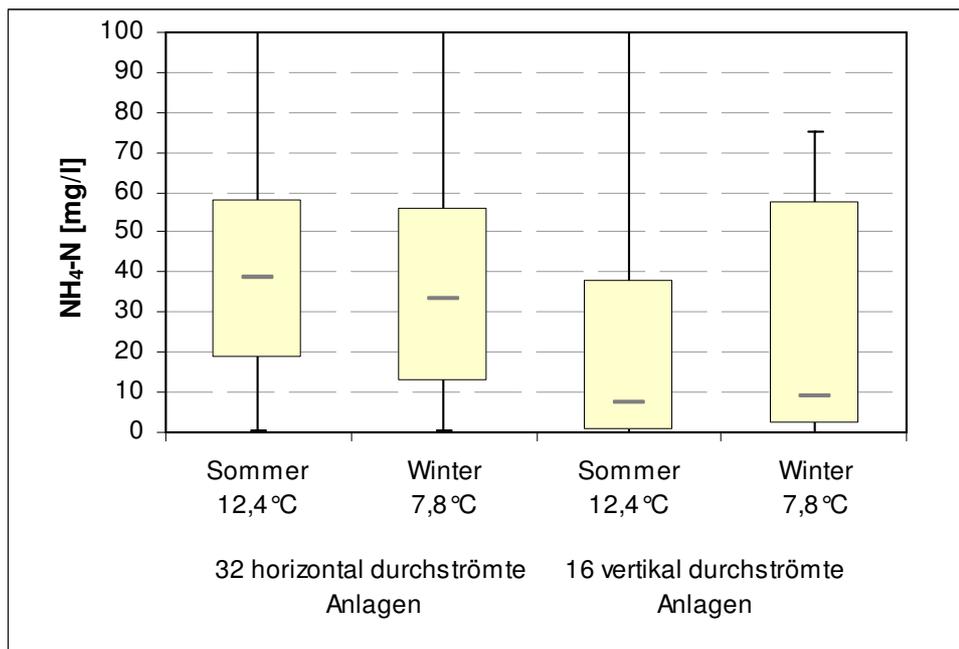


**Abb. 54:** Jahreszeitliche Unterschiede der CSB-Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen

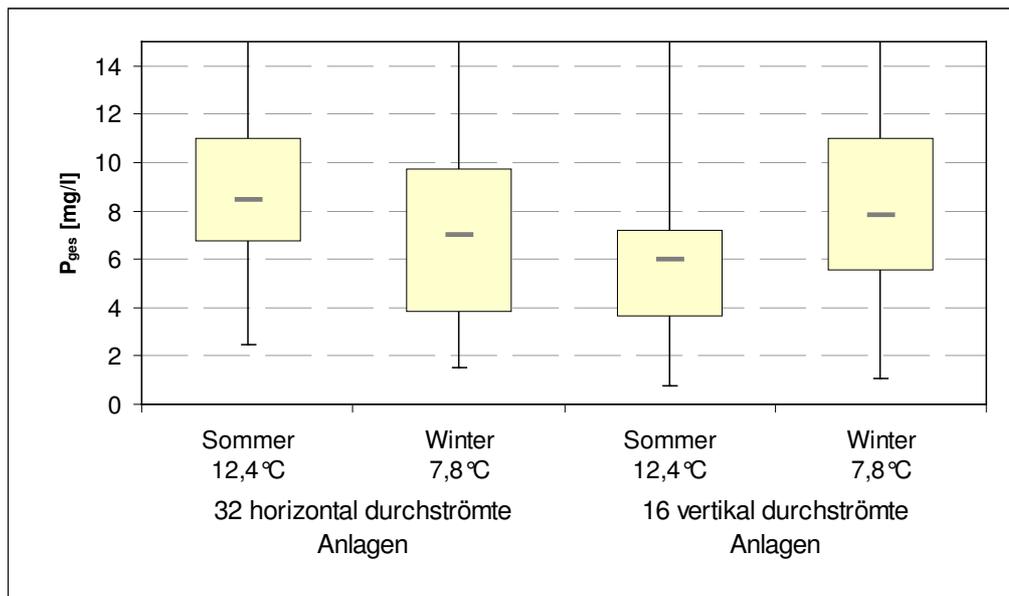
Bei den Nährstoffkonzentrationen war bei vertikal durchströmten Pflanzenstufen ein Rückgang der Reinigungsleistung während der Wintermonate festzustellen. So lagen die während der Sommermonate gemessenen  $N_{ges}$ -Konzentrationen bei ca. 55 mg/l und während der Wintermonate bei ca. 65 mg/l (Medianwerte). Die geringere Stickstoffelimination während der Wintermonate ist im Wesentlichen auf eine verminderte Nitrifikation zurückzuführen. Die P-Elimination war bei vertikal durchströmten Pflanzenstufen während der Wintermonate ebenfalls verringert. Der Median-Wert der  $P_{ges}$ -Konzentration im Ablauf stieg von ca. 6 mg/l während der Sommermonate auf ca. 8 mg/l während der Wintermonate an.



**Abb. 55:** Jahreszeitliche Unterschiede der  $N_{ges}$ -Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen



**Abb. 56:** Jahreszeitliche Unterschiede der  $NH_4-N$ -Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen



**Abb. 57:** Jahreszeitliche Unterschiede der  $P_{\text{ges}}$ -Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen

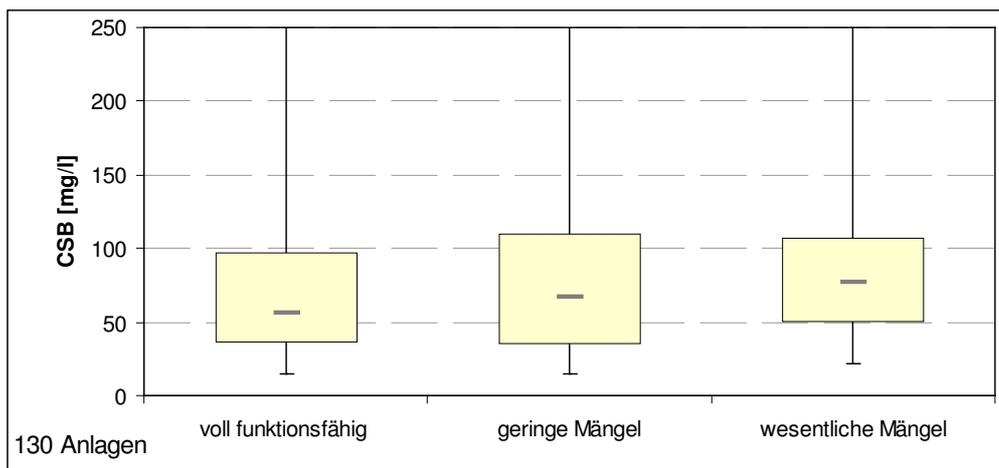
Grundsätzlich kann zur jahreszeitlichen Schwankung der Reinigungsleistung festgehalten werden, dass bei den organischen Parametern keine signifikanten Unterschiede von Sommer- und Winterbetrieb bestehen. Insbesondere während sehr warmer Sommerperioden kann es aufgrund der hohen Wasserverdunstung zu höheren Ablaufwerten kommen. Hinsichtlich der Nährstoffe ist bei vertikal durchströmten Pflanzenstufen ein gewisser jahreszeitlicher Einfluss auf die Reinigungsleistung gegeben.

## 6.10 Abhängigkeit der Reinigungsleistung vom Anlagenzustand

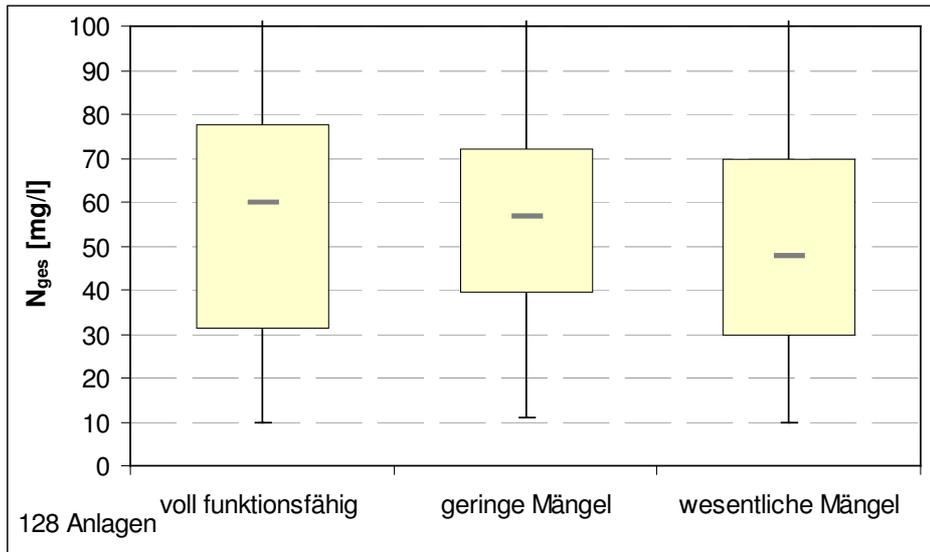
Im Rahmen der Anlagenbegehung erfolgte eine Bewertung des Anlagenzustandes und eine Einteilung in drei Klassen, wobei baufällige Anlagen vorab ausgesondert wurden. Von den in die Auswertung eingegangenen Anlagen wurden 27 als mängelfrei eingestuft, 61 hatten geringe Mängel und 42 wesentliche Mängel.

Die in den Abbildungen 58 bis 61 dargestellte Abhängigkeit der Ablaufwerte vom Anlagenzustand zeigt, dass Anlagen, welche sich in einem schlechten Zustand befinden, auch eine geringere Reinigungsleistung erbringen. So lag der Median der CSB-Ablaufwerte mängelfreier Anlagen bei ca. 60 mg/l und von Anlagen mit wesentlichen Mängeln bei ca. 80 mg/l. Wie bei den CSB-Werten war auch bei den Nährstoffkonzentrationen (insbesondere bei Phosphor) eine Abhängigkeit festzustellen.

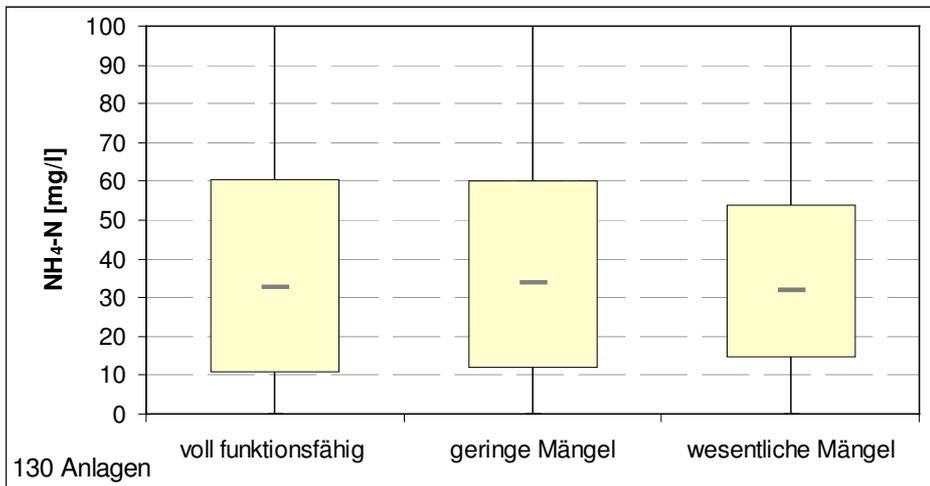
Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass auch Anlagen, welche sich in einem ungenügenden Zustand befinden, i. d. R. noch vergleichsweise gute Reinigungsleistungen erreichen können.



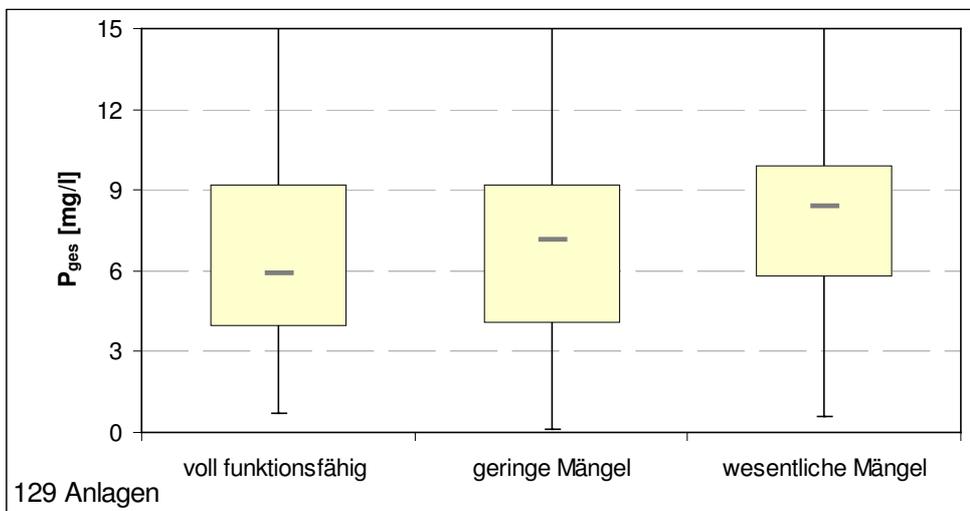
**Abb. 58:** Vergleich CSB-Ablaufwert und Anlagenzustand



**Abb. 59:** Vergleich  $N_{ges}$  und Anlagenzustand



**Abb. 60:** Vergleich  $NH_4-N$  und Anlagenzustand



**Abb. 61:** Vergleich  $P_{ges}$  und Anlagenzustand

### 6.11 Abhängigkeit der Reinigungsleistung von der Anlagenwartung

Im Rahmen der Vor-Ort-Untersuchungen wurden die Anlagenbetreiber befragt, ob sie einen Wartungsvertrag mit einem Fachunternehmen abgeschlossen haben. Insgesamt hatten von 90 Betreibern 83 % einen Wartungsvertrag. In den anschließenden Abb. 62 bis 65 sind Ablaufwerte von Pflanzenanlagen mit und ohne Wartungsvertrag gegenübergestellt.

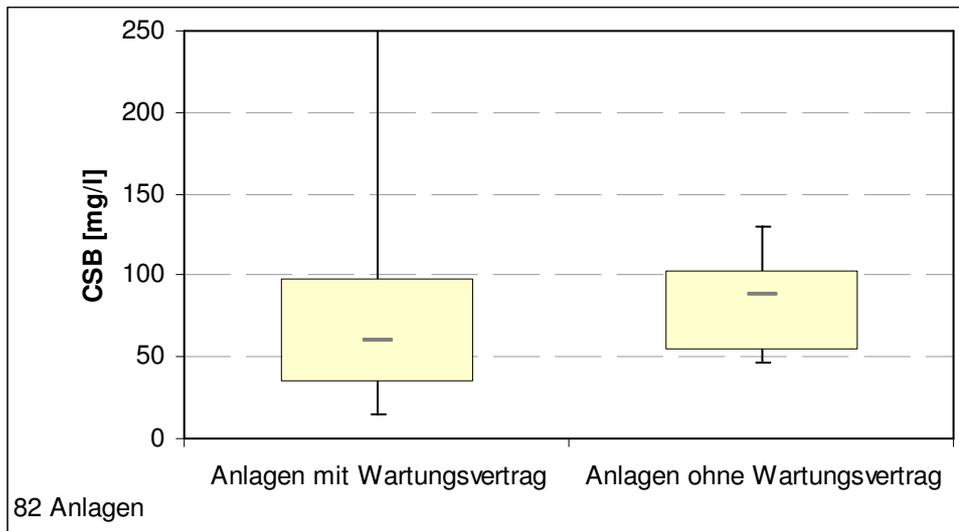


Abb. 62: Vergleich CSB-Ablaufwert und Wartungsvertrag

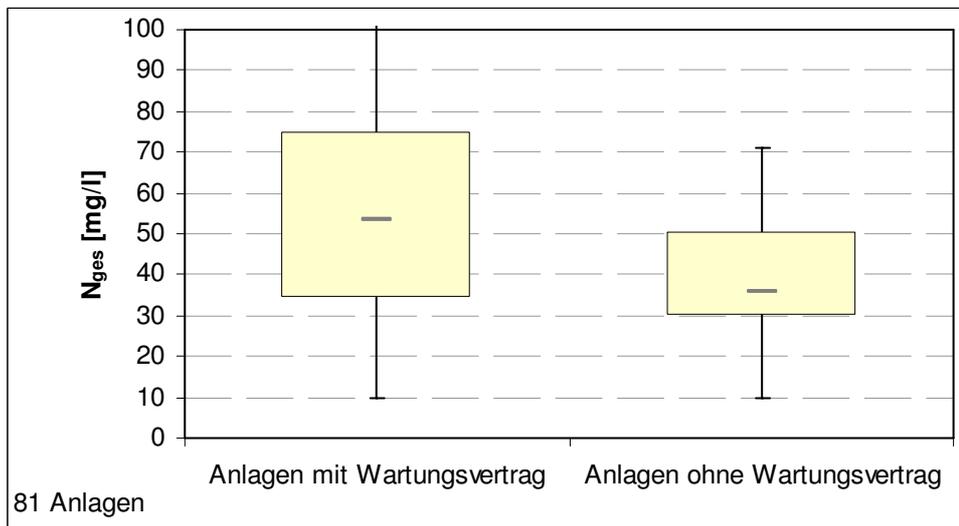
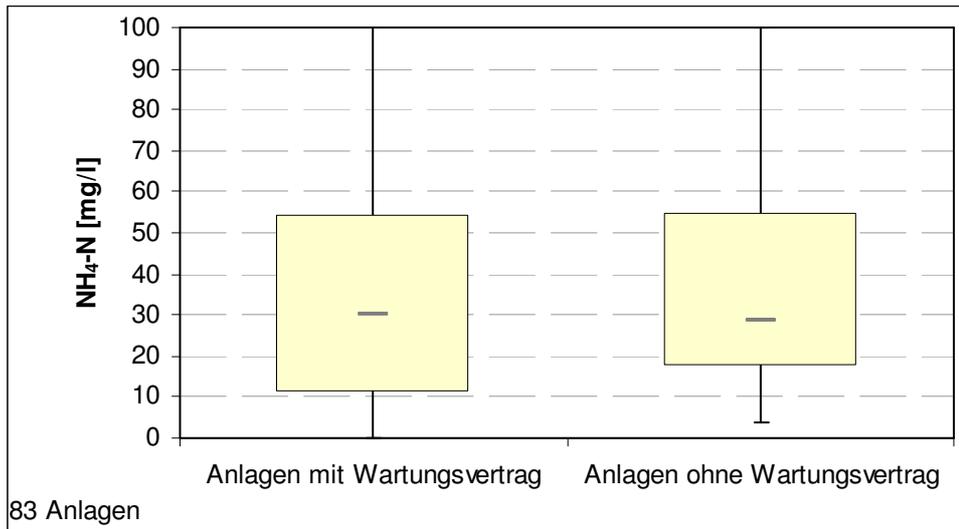
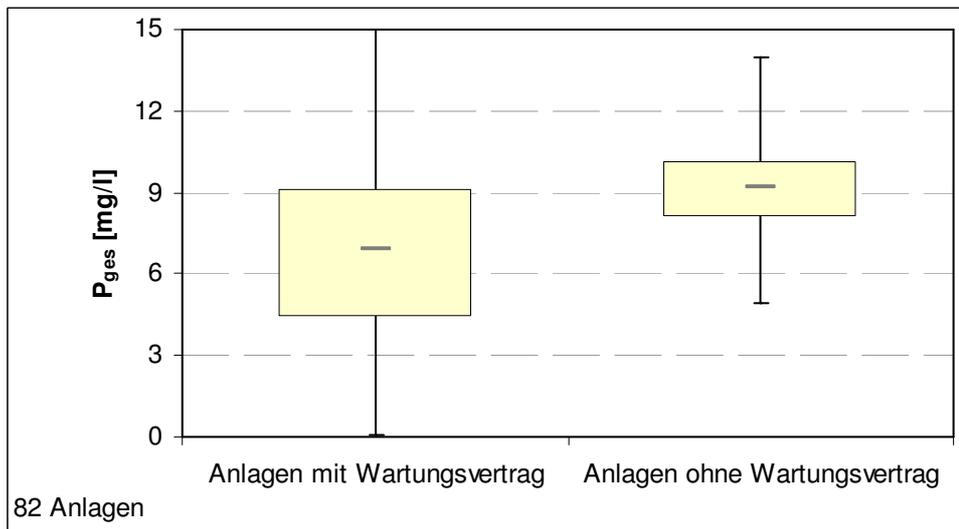


Abb. 63: Vergleich N<sub>ges</sub> und Wartungsvertrag



**Abb. 64:** Vergleich  $\text{NH}_4\text{-N}$  und Wartungsvertrag



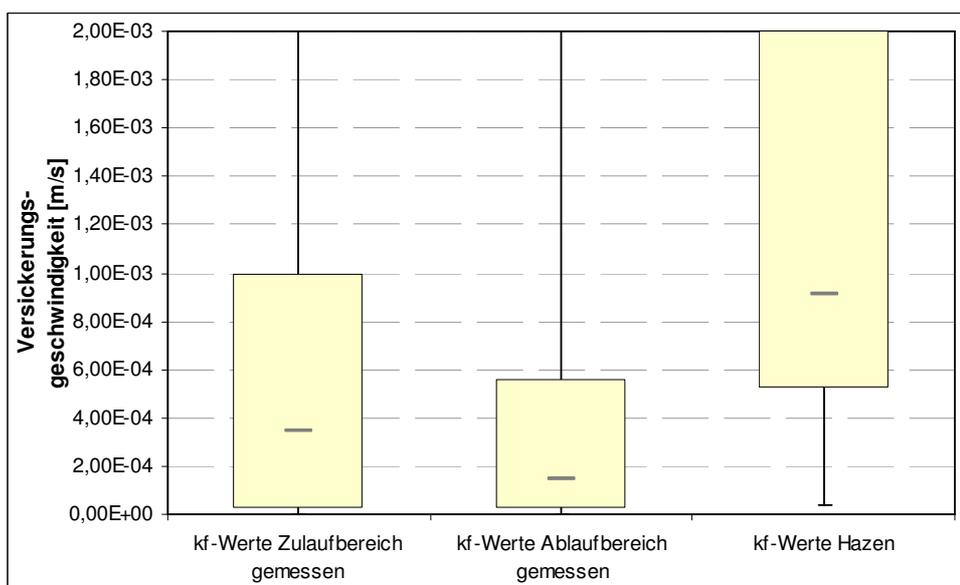
**Abb. 65:** Vergleich  $P_{\text{ges}}$  und Wartungszustand horizontal durchströmter Anlagen

Mit Ausnahme der  $N_{\text{ges}}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen hatten Anlagen, die im Rahmen eines Wartungsvertrages gewartet wurden, bessere Reinigungsleistungen als Anlagen, für die kein Wartungsvertrag bestand.

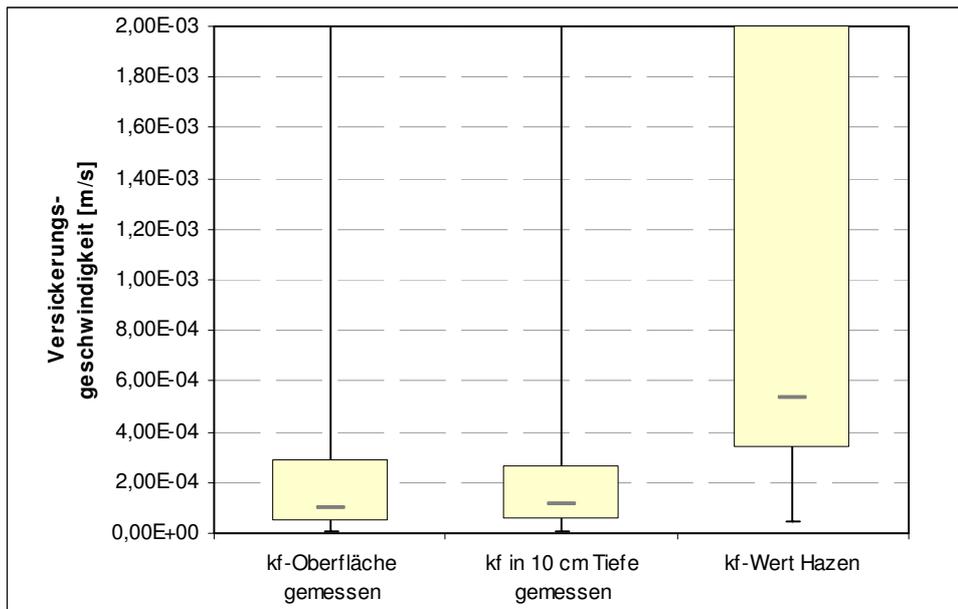
## 6.12 Sickerleistung

Bei den untersuchten Anlagen erfolgte, soweit möglich, an mindestens einer Stelle eine Messung der Sickerleistung mittels eines modifizierten Open-End-Tests (siehe Kap. 4). Die Sickerleistung bei horizontalen Pflanzenanlagen wurde im vorderen und im hinteren Bereich gemessen. Bei vertikalen Anlagen wurde die Sickerleistung an der Oberfläche des eigentlichen Bodenkörpers und in 10 cm Tiefe gemessen; eventuell vorhandene Deckschichten wurden vorher entfernt.

Ein Vergleich der gemessenen Sickergeschwindigkeit von horizontalen und vertikal durchströmten Pflanzenanlagen mit den nach HAZEN berechneten  $k_f$ -Werten zeigt, dass bei den vertikal durchströmten Anlagen die mit dem Open-End-Test ermittelten Sickerraten um ca. eine Zehnerpotenz niedriger als die nach HAZEN berechneten  $k_f$ -Werte liegen (Abb. 67). Bei den horizontal durchströmten Anlagen ist der Unterschied sogar etwa größer (Abb. 66).



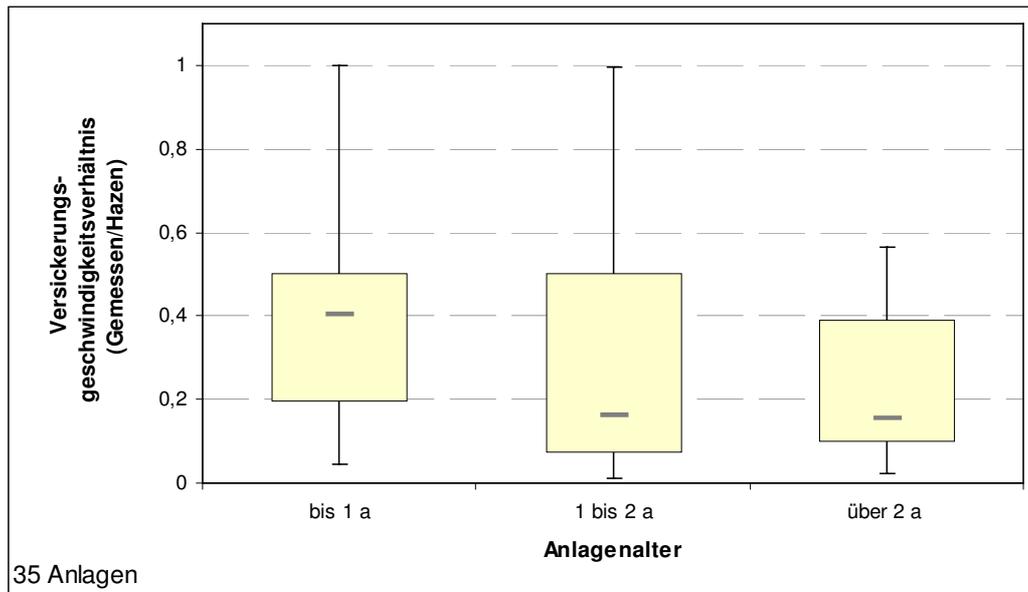
**Abb. 66:** Vergleich berechneter und gemessene Sickerraten horizontal durchströmter Anlagen



**Abb. 67:** Vergleich berechneter und gemessene Sickerraten vertikal durchströmter Anlagen

Die Ergebnisse bestätigen die Angaben von Sieker und Harms (1987). Sie stellten in Feldversuchen bei Fein- und Mittelsanden ebenfalls einen um eine Zehnerpotenz geringeren Wert gegenüber dem berechneten Wert fest.

Ein Vergleich des Verhältnisses der gemessenen Sickerraten zu den aus den Siebanalysen nach HAZEN berechneten Werten der vertikalen Pflanzenanlagen zeigt, dass bei den Anlagen innerhalb des ersten Betriebsjahres die Sickerleistung erkennbar abnimmt, sich aber anschließend nicht weiter verschlechtert (Abb. 68). Aufgrund der Raumfiltration ist für horizontal durchströmten Pflanzenanlagen ein Vergleich der gemessenen Sickerraten mit den entsprechend berechneten nach HAZEN nur bedingt möglich und wird daher nicht dargestellt.



**Abb. 68:** Vergleich des Verhältnisses der gemessenen zur berechneten Sickerleistung nach HAZEN mit dem Anlagenalter vertikal durchströmter Pflanzenanlagen

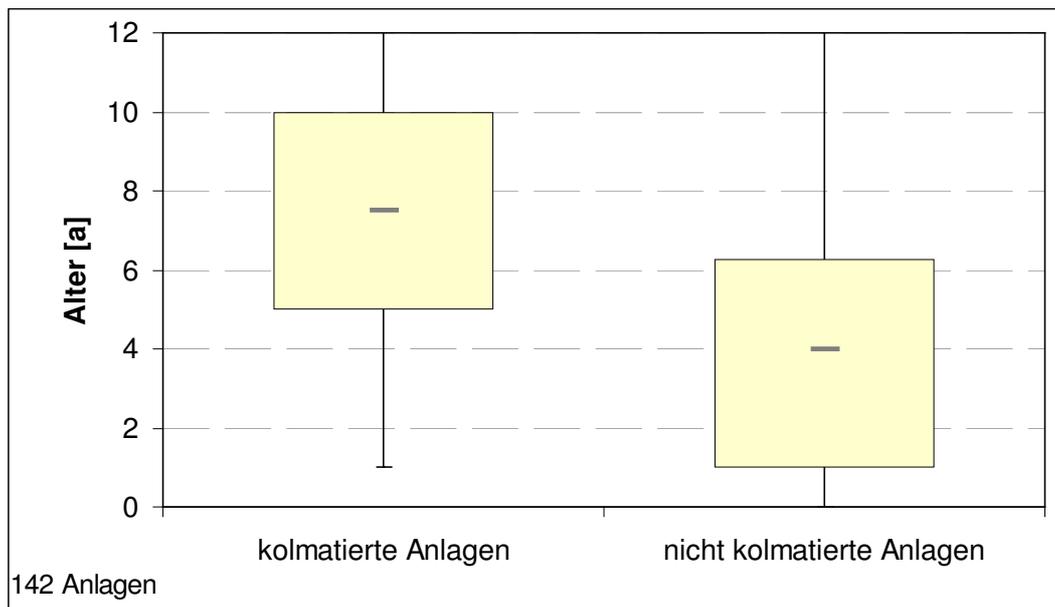
Als wesentliches Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Sickerleistung innerhalb des ersten Jahres deutlich abnahm, danach aber keine weitere Abnahme erfolgte.

## 6.13 Kolmation

Kolmationserscheinungen wurden durch Inaugenscheinnahme der Beetoberfläche erfasst. Kolmationserscheinungen waren Pfützen, oberflächiger Abfluss, etc. und traten i. d. R. nur in Teilbereichen auf.

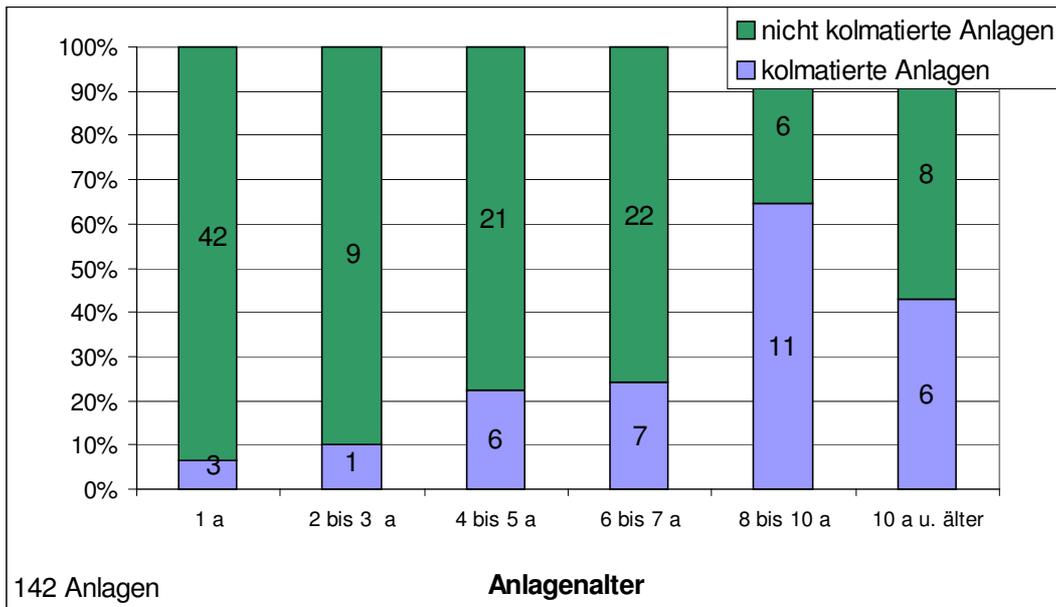
### 6.13.1 Abhängigkeit der Kolmationen vom Anlagenalter

Kolmationserscheinungen traten vermehrt bei älteren Anlagen auf (Abb. 69 und 70). So lag der Median des Anlagenalters der nicht kolmatierten bei 4 und bei kolmatierten Anlagen bei ca. 8 Jahren (Abb. 69).



**Abb. 69:** Vergleich Kolmation und Anlagenalter

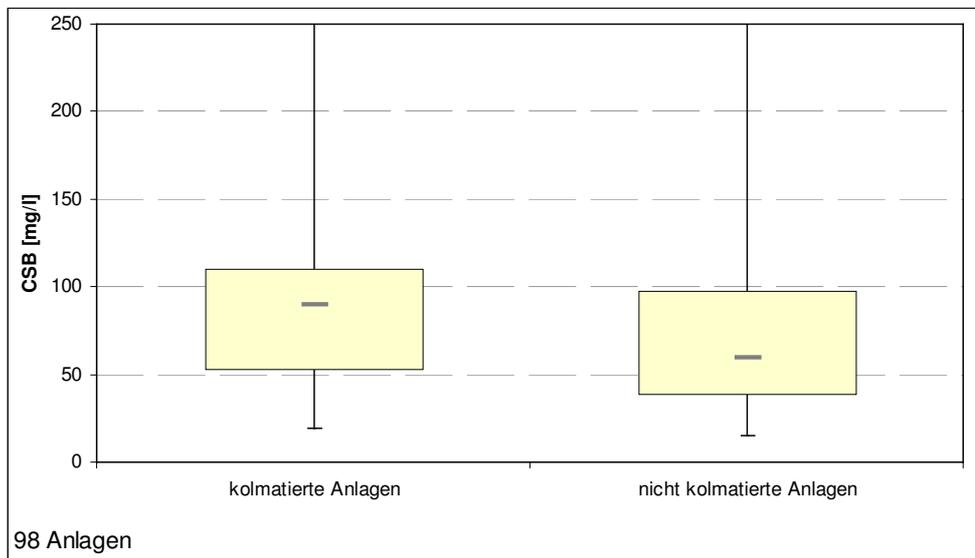
Bei Kolmationen bestand eine eindeutige Altersabhängigkeit. Wie in Abb. 70 dargestellt, traten in den ersten 3 Jahren bei maximal 10 % der untersuchten Anlagen Kolmationserscheinungen auf. Bei älteren Anlagen lag der Anteil dagegen bei ca. 35 %.



**Abb. 70:** Vergleich Kolmation und Anlagenalter

### 6.13.2 Zusammenhang von Kolmationen und Reinigungsleistung

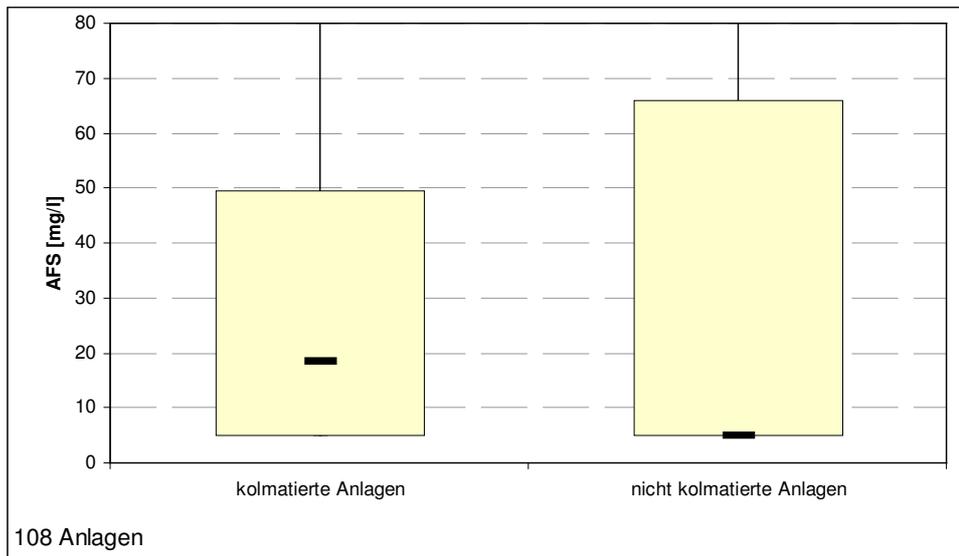
Ein Vergleich der Reinigungsleistung von Anlagen mit und ohne Kolmationserscheinungen zeigt, dass kolmatisierte Anlagen eine etwas schlechtere Reinigungsleistung aufwiesen. Der Median der CSB-Ablaufwerte lag bei den nicht kolmatisierten bei 65 mg/l und bei den kolmatisierten Anlagen bei 89 mg/l.



**Abb. 71:** Vergleich CSB-Ablaufwert und Kolmation

Die Ergebnisse zeigen, dass bei älteren Anlagen zwar vermehrt Kolmationserscheinungen auftraten, diese aber nur relativ geringe Auswirkungen auf die Reinigungsleistung hatten.

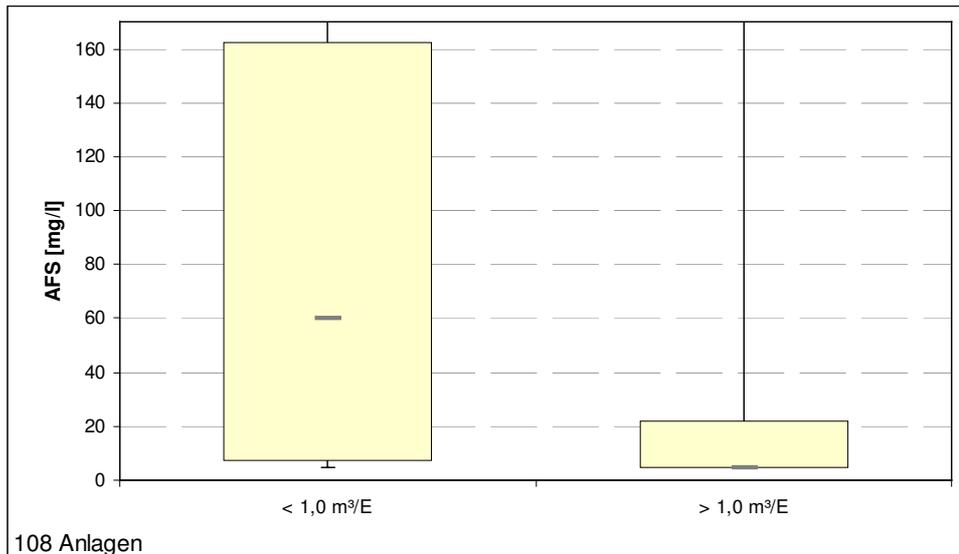
Kolmationen werden in starkem Maße durch einen hohen Schwebestoffgehalt des Abwassers begünstigt bzw. mit verursacht. Bei den im Rahmen des Forschungsprojektes untersuchten Anlagen wiesen diejenigen mit Kolmationserscheinungen i. d. R. eine höhere Schwebestoffkonzentration im Zulauf zum Beetkörper auf (Abb. 72). Der Median für abfiltrierbare Stoffe (AFS) der Anlagen, die zur Kolmation neigten, lag bei 18 mg/l, der Median der nicht kolmatierten bei 5 mg/l.



**Abb. 72:** Vergleich Kolmation und AFS

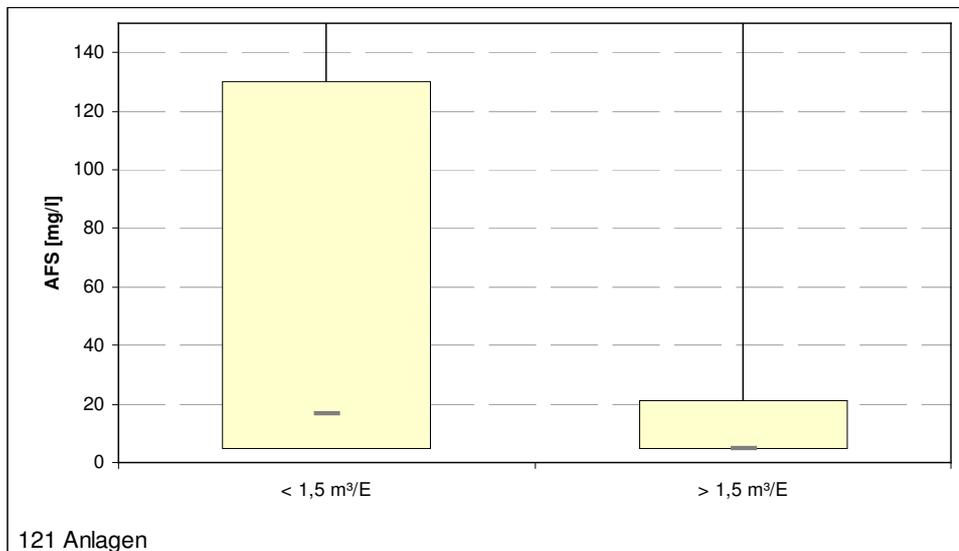
Die Ergebnisse zeigen wie bei Goetz und Winter (2003), dass erhöhte Schwebestoffkonzentrationen im Zulauf zum Beetkörper die Kolmationsneigung von Pflanzenanlagen erhöhen und somit einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Reinigungsleistung und den langfristigen gesicherten Betrieb einer Pflanzenanlage nehmen.

Da der Schwebestoffanteil im Zulauf zum Beetkörper im Wesentlichen durch die Vorklärung beeinflusst wird, wird im Folgenden der Zusammenhang zwischen der Vorklärung und der AFS-Konzentration zum Beetkörper untersucht. Dabei zeigte sich, dass ein geringes freies Wasservolumen in der Vorklärung eine erhöhte Konzentration an AFS im Zulaufbereich zum Beetkörper verursacht. Wie in Abb. 73 dargestellt, liegen die Mediane bei einem freien Wasservolumen unterhalb und oberhalb 1 m<sup>3</sup> in der Vorklärung nur geringfügig auseinander. Allerdings ist der 50 %-Vertrauensbereich von ca. 10 bis 60 mg/l AFS bei einem freien Wasservolumen unter 1 m<sup>3</sup> in der Vorklärung um ein Vielfaches größer als bei einem freien Wasservolumen über 1 m<sup>3</sup>.



**Abb. 73:** Vergleich AFS und freies Wasservolumen in der Vorklärung

Der Vergleich AFS mit dem gesamten einwohnerspezifischen Vorklärvolumen bestätigt die Abhängigkeit zwischen Vorklärvolumen und AFS-Konzentration im Zulaufbereich des Beekörpers.

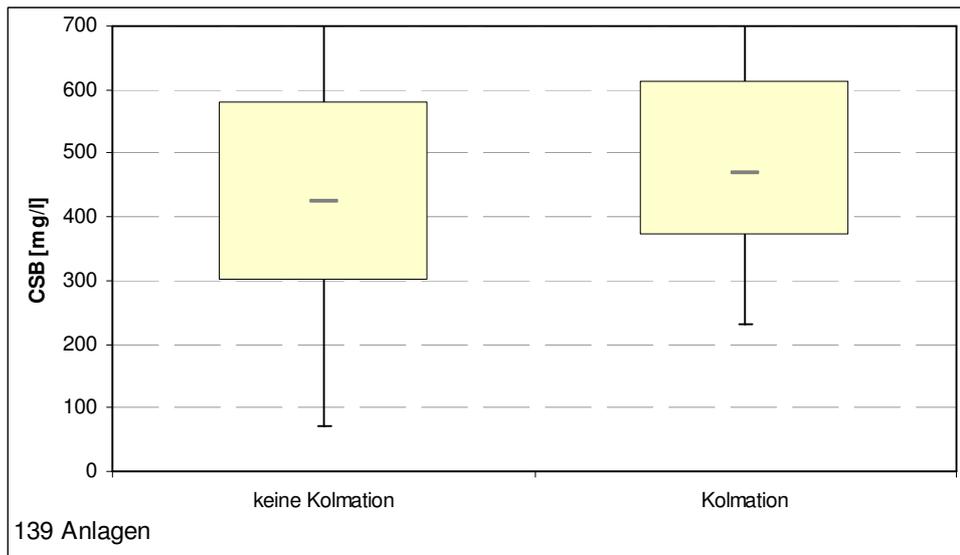


**Abb. 74:** Vergleich AFS und einwohnerspezifisches Vorklärvolumen

Nach den Ergebnissen besteht ein Zusammenhang zwischen Füllgrad der Vorklärung und der Konzentration an AFS sowie der Kolmationsneigung. Eine regelmäßige Entleerung der Vorklärung ist für eine gute gesicherte Reinigungsleistung unabdingbar. Aus diesem Grund sollte der Schlammstand in der Vorklärung im Rahmen von Wartungen gemessen werden.

### 6.13.3 Vergleich CSB-Zulaufwerte und Kolmation

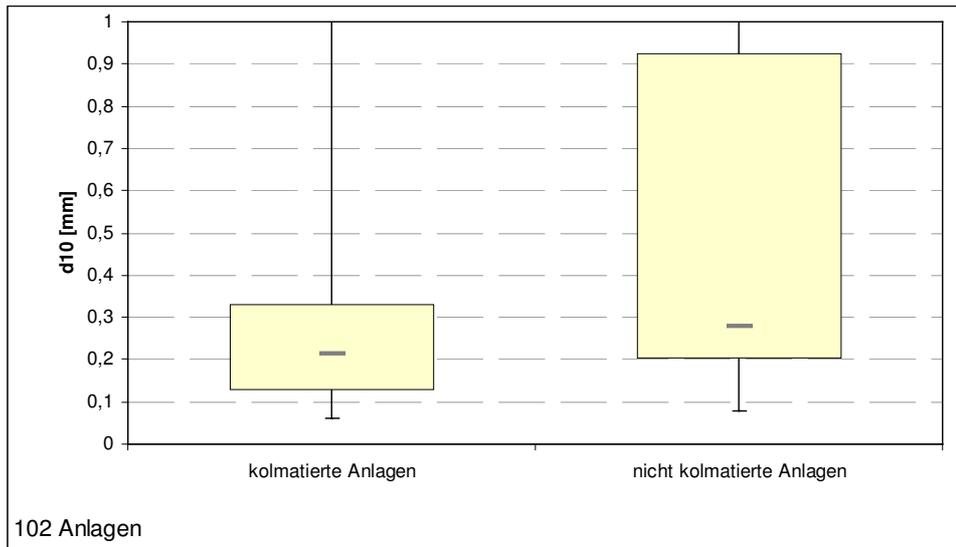
Die Messungen der organischen Belastung, ausgedrückt als CSB, zum Beetkörper zeigten, dass kolmatisierte Anlagen erhöhte Werte aufwiesen. Die Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen von Goetz und Winter (2003); hier lagen die CSB-Werte bei kolmatisierten Anlagen im 50 %-Vertrauensbereich von 400 bis 650 mg/l. Die CSB-Werte von nicht kolmatisierten Anlagen lagen bei Goetz und Winter (2003) dagegen deutlich geringer als die in Abb. 75 dargestellten Werte.



**Abb. 75:** Vergleich CSB-Zulaufwerte und Kolmation

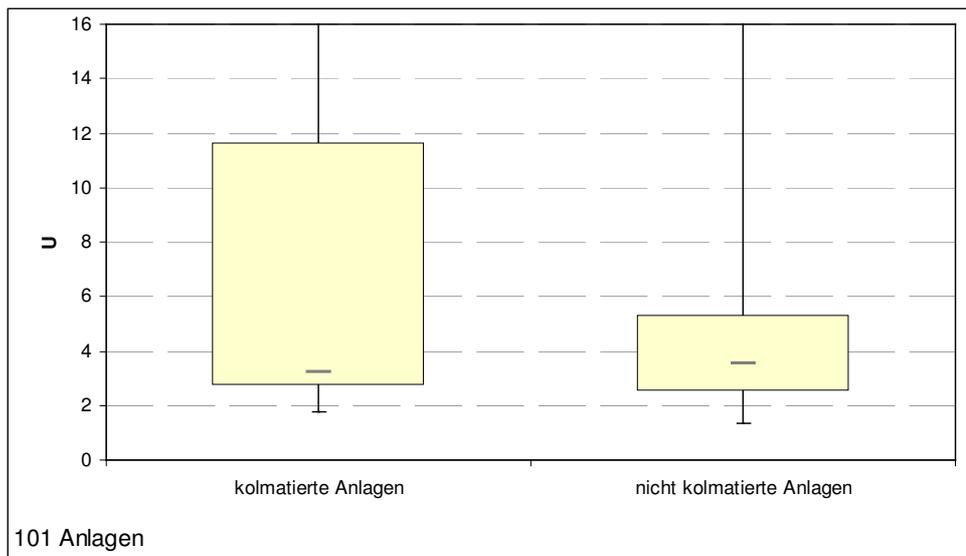
### 6.13.4 Vergleich Bodenkennwerte und Kolmation

Der Vergleich wirksame Korngröße  $d_{10}$  und Kolmation zeigt eine geringe Abhängigkeit (siehe Abb. 76). So haben nicht kolmatisierte Anlagen in der Regel eine wirksame Korngröße über 0,2 mm.



**Abb. 76:** Vergleich wirksame Korngröße  $d_{10}$  und Kolmation

Der Vergleich Unförmigkeit und Kolmation zeigt, dass die Kolmationsneigung mit der Unförmigkeit des Bodenmaterials der Anlage steigt (Abb. 77).

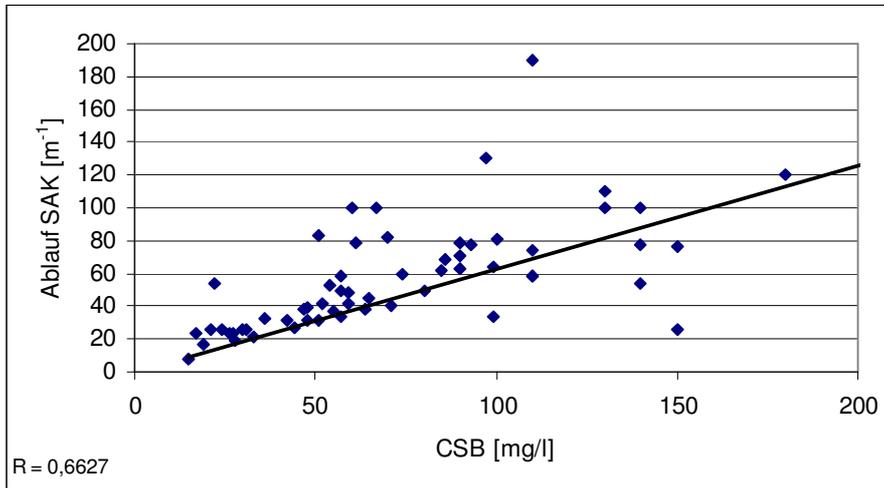


**Abb. 77:** Vergleich Unförmigkeitsgrad und Kolmation

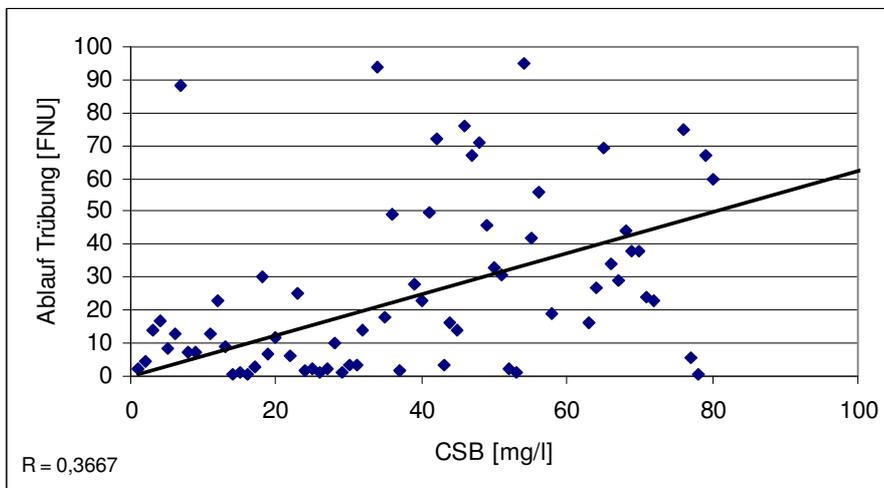
Nach den Ergebnissen lassen sowohl die wirksame Korngröße  $d_{10}$  als auch der Unförmigkeitsgrad geringe Rückschlüsse auf Kolmationsneigungen zu. Bodenmaterial mit einem Unförmigkeitsgrad über 5 und  $d_{10}$  unter 0,2 mm sollte daher zur Vermeidung von Kolmation nicht eingesetzt werden.

### 6.14 Spektraler Absorptionskoeffizient und Trübung

Im Rahmen des Projektes erfolgten zusätzlich Untersuchungen zur Korrelation des CSB-Ablaufwertes von Pflanzenanlagen mit dem Spektralen Absorptionskoeffizienten (SAK) sowie der Abwassertrübung. Eine weitgehende Korrelation könnte den analytischen Aufwand für die Abwasseruntersuchungen vermindern.



**Abb. 78:** Korrelation zwischen CSB-Ablaufwert und SAK



**Abb. 79:** Korrelation zwischen CSB-Ablaufwert und Trübung

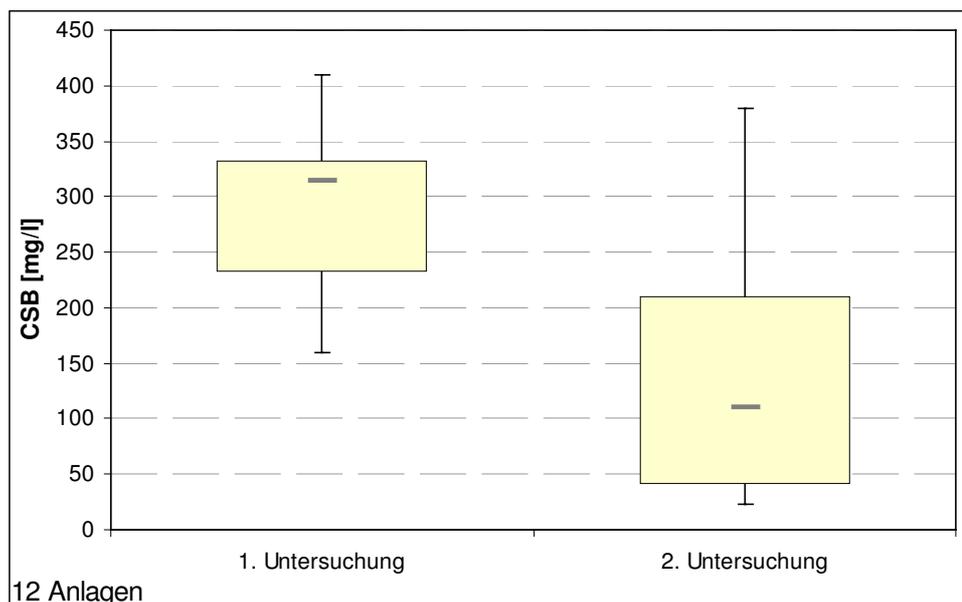
Gemäß Abb. 78 ist beim SAK eine Korrelation zu den CSB-Werten im Ablauf von Pflanzenstufen gegeben. Der SAK kann bereits gute Hinweise bzgl. ggf. auftretender CSB-Überschreitungen liefern. Im Gegensatz dazu besteht zwischen Trübung und CSB-Wert keine hinreichend genaue Korrelation (siehe Abb 79).

## 6.15 Zweite Untersuchung

Zur Verifikation der Untersuchungsergebnisse wurden alle Pflanzenanlagen mit CSB-Grenzwertüberschreitung und Kolmationserscheinungen, soweit möglich, ein zweites Mal untersucht. Dabei wurde versucht, die Gründe der schlechten Reinigungsleistungen, der Kolmationserscheinungen und jahreszeitlichen Unterschiede zu ermitteln. Des Weiteren wurden Pflanzenanlagen mit einer einwohnerbezogenen Beetauslastung über 75 % ein zweites Mal begangen und beprobt. Hintergrund der Auswahl war die Untersuchung der i. d. R. guten Reinigungsleistung bzw. Funktionsweise dieser Anlagen, um Aussagen zur langfristige Betriebsicherheit von Pflanzenanlagen ableiten zu können.

### 6.15.1 Anlagen mit CSB-Grenzwertüberschreitung

Von 16 Pflanzenanlagen mit CSB-Grenzwertüberschreitungen konnten im Rahmen des Forschungsprojektes 12 Anlagen ein zweites Mal untersucht werden. Die Ergebnisse der zweiten Untersuchung zeigten, dass CSB-Grenzwertüberschreitungen nur noch bei ca. 30 % der Pflanzenanlagen auftraten.



**Abb. 80:** Vergleich CSB-Ablaufwerte mit > 150 mg/l bei der 1. Untersuchung mit der 2. Untersuchung

Mögliche Ursachen für die schlechten Ablaufwerte sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

**Tab. 10:** Anlagen mit CSB-Grenzwertüberschreitungen bei der 1. Begehung

Nr.	1. Begehung	2. Begehung
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>starker Frost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine CSB-Überschreitung</li> </ul>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlage befand sich noch im Einfahrbetrieb, Baujahr der Anlage war Ende 2002</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine CSB-Überschreitung</li> </ul>
18	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alter: 4 Jahre</li> <li>Bodenmaterial: <math>d_{10} = 0,06</math> mm, <math>U = 250</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überschreitung bestätigt, siehe 1. Begehung</li> </ul>
21	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlage befand sich noch im Einfahrbetrieb, Baujahr Ende 2002</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine CSB-Überschreitung</li> </ul>
35	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlage befand sich noch im Einfahrbetrieb, Baujahr Ende 2002</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine CSB-Überschreitung</li> </ul>
46	<ul style="list-style-type: none"> <li>fehlerhafte Probenahme aufgrund geringer Wassermengen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine CSB-Überschreitung</li> </ul>
47	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alter: 11 Jahre</li> <li>Anlage ist in einem schlechten Zustand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überschreitung bestätigt, siehe 1. Begehung</li> </ul>
51	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alter 10 Jahre</li> <li>Kolmation</li> <li>98 % Auslastung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überschreitung bestätigt, siehe 1. Begehung</li> </ul>
56	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alter: 4 Jahre</li> <li>wesentliche Mängel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überschreitung bestätigt, siehe 1. Begehung</li> </ul>
58	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alter: 11 Jahre</li> <li>Kolmation</li> <li>Bodenmaterial: <math>U = 31,3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine CSB-Überschreitung</li> <li>Kies erneuert, keine Kolmation mehr</li> </ul>
63	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alter 7 Jahre</li> <li>kein Grund feststellbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine CSB-Überschreitung</li> </ul>
71	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alter 7 Jahre</li> <li>kein Grund feststellbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine CSB-Überschreitung</li> </ul>

Die Gründe für die schlechten Ablaufwerte bzw. schlechten Reinigungsleistungen lagen bei den Anlagen, bei denen sich die CSB-Wert-Überschreitung nicht bestätigte, in der Regel im Einfahrbetrieb der Pflanzenanlagen begründet.

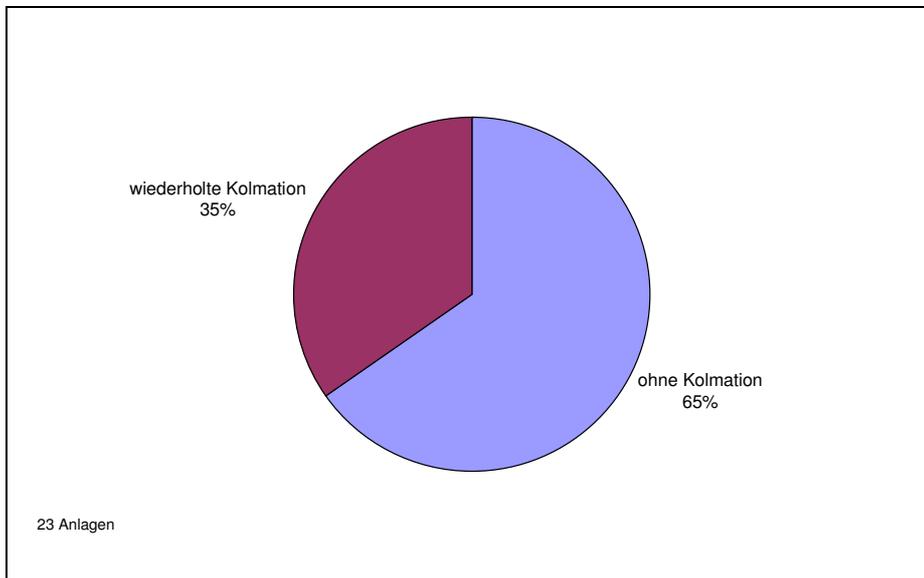
Bei den Anlagen mit wiederholter CSB-Wert-Überschreitung können als Gründe

- ein Bodenmaterial mit einem  $d_{10} < 0,1$  mm und einem  $U > 5$ ,
- Mängel der Pflanzenanlagen in Verbindung mit einem hohen Anlagenalter genannt werden.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass ordnungsgemäß errichtete und betriebene Anlagen i. d. R. keine CSB-Grenzwertüberschreitungen verursachen.

### 6.15.2 Anlagen mit Kolmationserscheinungen

Bei der zweiten Begehungen traten nur noch bei ca. 65 % der untersuchten Pflanzenanlagen Kolmationserscheinungen auf.



**Abb. 81:** Kolmationserscheinungen bei der zweiten Untersuchung kolmatierter Anlagen

Die möglichen Ursachen der Kolmationserscheinungen sind in der Tab. 11 aufgelistet.

**Tab. 11:** Anlagen mit Kolmationserscheinungen

Nr.	1. Begehung	2. Begehung
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alter: 4 Jahre</li> <li>Vorklärung: Volumen = 0,5 m<sup>3</sup>/E, freies Wasservolumen = 0,35 m<sup>3</sup>/E</li> <li>AFS-Ablauf VK: 60 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kolmationen bestätigt</li> <li>Vorklärung: freies Wasservolumen = 0,4 m<sup>3</sup>/E</li> <li>AFS-Ablauf VK: 29 mg/l</li> </ul>
24	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei der Anlage handelt es sich um eine 1 Jahr alte vertikal durchstr. Pflanzenanlagen, die teilweise Pfützenbildungen aufwies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es wurden keine Kolmationserscheinungen mehr festgestellt</li> </ul>
27	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlage wies im Einlaufbereich einige Pfützen auf.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es wurden keine Kolmationserscheinungen mehr festgestellt.</li> </ul>
32	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei der Anlage handelt es sich um eine 5 Jahre alte vertikal durchstr. Pflanzenanlagen, die teilweise Pfützenbildungen aufwies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es wurden keine Kolmationserscheinungen mehr festgestellt</li> </ul>
33	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alter 12 Jahre</li> <li>Anlage ist komplett eingestaut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kolmationen bestätigt</li> <li>Vorklärung: freies Wasservolumen = 0,9 m<sup>3</sup>/E</li> <li>Anlage ist immer noch eingestaut</li> </ul>
41	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlage wies im Einlaufbereich einige Pfützen auf.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es wurden keine Kolmationserscheinungen mehr festgestellt.</li> </ul>

Nr.	1. Begehung	2. Begehung
44	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 8 Jahre</li> <li>• Bodenmaterial: <math>d_{10} = 0,15</math> mm, <math>U = 66</math></li> <li>• AFS-Ablauf VK: 260 mg/l</li> <li>• Sickerrate: <math>10^{-7}</math> m/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt</li> <li>• AFS-Ablauf VK: &lt; 5 mg/l</li> </ul>
45	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 10 Jahre</li> <li>• Bodenmaterial: <math>U = 39</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt, siehe 1. Begehung</li> </ul>
46	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 3 Jahre</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 20 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 67 mg/l</li> </ul>
49	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 6 Jahre</li> <li>• Bodenmaterial: <math>d_{10} = 0,06</math> mm, <math>U = 58</math></li> <li>• AFS-Ablauf VK: 17 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es wurden keine Kolmationserscheinungen mehr festgestellt.</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 7 mg/l</li> </ul>
50	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 9 Jahre</li> <li>• Bodenmaterial: <math>d_{10} = 0,14</math> mm, <math>U = 18,9</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt, siehe 1. Begehung</li> </ul>
51	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter 10 Jahre</li> <li>• Vorklärung: Tauchwand defekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 51 mg/l</li> </ul>
53	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 6 Jahre</li> <li>• Bodenmaterial: <math>d_{10} = 0,07</math> mm, <math>U = 3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt</li> <li>• Vorklärung: freies Wasservolumen = <math>0,9</math> m<sup>3</sup>/E</li> </ul>
55	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 11 Jahre</li> <li>• Vorklärung: Volumen = 866 l/E, freies Wasservolumen = <math>0,55</math> m<sup>2</sup>/E</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt</li> <li>• Vorklärung: freies Wasservolumen = <math>0,6</math> m<sup>2</sup>/E</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 57 mg/l</li> </ul>
57	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 9 Jahre</li> <li>• Vorklärung: Volumen = 875 l/E, freies Wasservolumen = <math>0,6</math> m<sup>2</sup>/E</li> <li>• Bodenmaterial: <math>U = 83</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund eines Bodenaustausches waren keine Kolmationserscheinungen mehr feststellbar.</li> </ul>
58	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 11 Jahre</li> <li>• Bodenmaterial: <math>U = 31</math>, Glühverlust = 25%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund eines Bodenaustausches waren keine Kolmationserscheinungen mehr feststellbar.</li> </ul>
64	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter 8 Jahre</li> <li>• Bodenmaterial: <math>d_{10} = 0,08</math> mm, <math>U = 4,8</math></li> <li>• AFS-Ablauf VK: 87 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt, siehe 1. Begehung</li> </ul>
70	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 8 Jahre</li> <li>• Bodenmaterial: <math>U = 11,8</math></li> <li>• Sickerrate: <math>10^{-7}</math> m/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt, siehe 1. Begehung</li> </ul>
85	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter 10 Jahre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es wurden keine Kolmationserscheinungen mehr festgestellt.</li> </ul>
94	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 7 Jahre</li> <li>• Bodenmaterial: <math>U = 19,5</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt, siehe 1. Begehung</li> </ul>
100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 4 Jahre</li> <li>• Vorklärung: Volumen = <math>0,73</math> m<sup>3</sup>/E, freies Wasservolumen = <math>0,6</math> m<sup>3</sup>/E</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 1040 mg/l</li> <li>• Bodenmaterial: <math>d_{10} = 0,075</math> mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt</li> <li>• Vorklärung: freies Wasservolumen = <math>0,45</math> m<sup>3</sup>/E</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 80 mg/l</li> </ul>
117	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 5 Jahre</li> <li>• Vorklärung: Volumen = <math>0,88</math> m<sup>3</sup>/E,</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 170 mg/l</li> <li>• Bodenmaterial: Glühverlust = 5 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 9 mg/l</li> </ul>
120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter: 1 Jahr, vertikal</li> <li>• Vorklärung: Volumen = <math>1</math> m<sup>3</sup>/E, freies Wasservolumen = <math>0,88</math> m<sup>3</sup>/E</li> <li>• AFS-Ablauf VK: 46 mg/l</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmationen bestätigt</li> <li>• Vorklärung: freies Wasservolumen = <math>0,7</math> m<sup>3</sup>/E</li> </ul>

Die Auflistung zeigt, dass vor allem Anlagen mit

- einem ungünstigem Bodenmaterial ( $d_{10} < 0,1$  mm,  $U > 5$ )
- mit einem hohen Alter

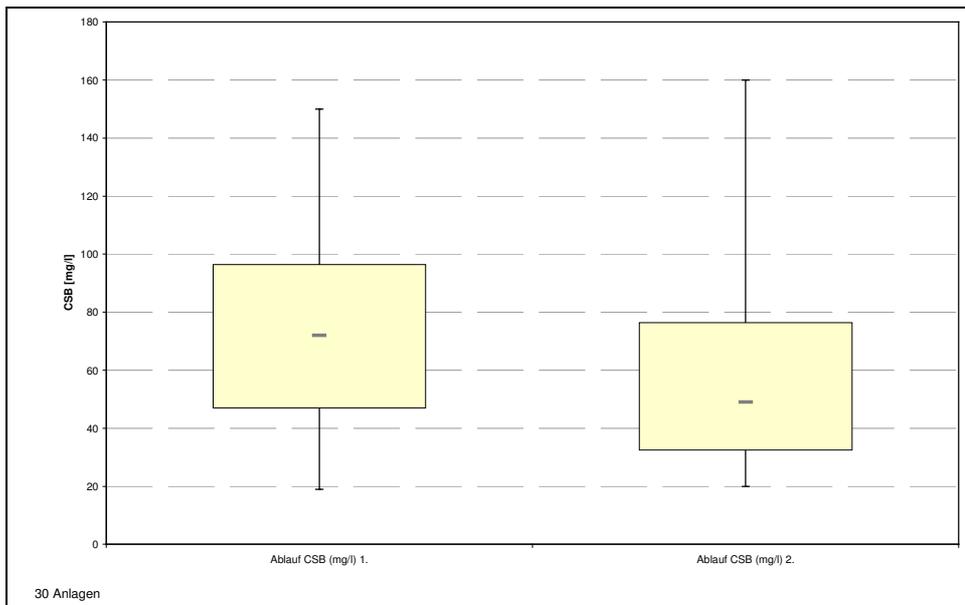
verstärkt zu Kolmationserscheinungen neigen. Bei einigen Anlagen kann auch ein zu geringes Vorklärvolumen (freies Wasservolumen: 0,5 bis 0,8 m<sup>3</sup>/E) die Kolmationsneigung verstärken.

Für die einjährige Prüfung zur Bauartzulassung sollten daher Anlagen mit einem ungünstigen Bodenmaterial ( $U > 5$ ,  $d_{10} < 0,1$  mm) und einem spezifischen Vorklärvolumen unter 1,5 m<sup>3</sup>/E nicht zugelassen werden, da bei diesen Anlagen langfristig eine erhöhte Kolmationsgefahr besteht und eine einjährige Prüfung damit keine sicheren Aussage zum Langzeitbetrieb zulässt.

### 6.15.3 Anlagen mit einer Auslastung der Pflanzenstufe über 75 %

Eine bedeutender Untersuchungsschwerpunkt der Zweituntersuchung war die Betrachtung von Pflanzenanlagen mit einer hohen Auslastung und guter Reinigungsleistung. Ziel der Untersuchung war die Herausarbeitung von Auslegungsparametern und Ausführungsmerkmalen, die eine hohe Reinigungsleistung und einen sicheren Betrieb auch bei hoher Anlagenbelastung über einen langen Betriebszeitraum erwarten lassen.

Ein Vergleich der untersuchten horizontal und vertikal durchströmten Pflanzenanlagen mit einer Auslastung über 75 % und einem CSB-Ablaufwert unter 150 mg/l zeigt, dass die Anlagen auch bei der zweiten Untersuchung trotz hoher Auslastung eine gute Reinigungsleistung aufweisen. Lediglich je eine horizontal und eine vertikal durchströmte Pflanzenanlage hatten bei der zweiten Untersuchung einen erhöhten CSB-Ablaufwert. Die Ursache der CSB-Grenzwertüberschreitung lag bei der horizontal durchströmten Anlage wahrscheinlich in einer sanierungsbedürftigen Vorklärung und bei der vertikal durchströmten Pflanzenanlage in einer sehr kleinen Vorklärung und ungünstigem Bodenmaterial ( $d_{10} = 0,17$  mm,  $U = 15,3$ ) begründet. Wie in Abb. 82 dargestellt lag der Median der CSB-Ablaufwerte bei der Zweituntersuchung mit 50 mg/l unterhalb des Medianwertes der Erstuntersuchung mit 75 mg/l.



**Abb. 82:** Vergleich der CSB-Ablaufwerte von der ersten und der zweiten Begehung

Die Auswertung der anlagenspezifischen Faktoren bestätigt die zuvor eruierten Einflussfaktoren auf die Reinigungsleistung von Pflanzenanlagen.

**Tab. 12:** Statistische Auswertung der Pflanzenanlagen mit einer Beetauslastung über 75 % und guten CSB-Ablaufwerten bei der ersten und zweiten Begehung

	Einheit	Minimum	Unteres Quartil	Median	Mittelwert	Oberes Quartil	Maximum
Alter	[a]	0	4	5	6	8	20
VK-Volumen	[m <sup>3</sup> ]	3	6	9	10	13	22
VK-Volumen	[m <sup>3</sup> /E]	0,51	1,0	1,5	1,8	2,2	4,6
freies Wasservolumen	[m <sup>3</sup> /E]	0,45	0,9	1,2	1,5	2,2	3,2
d <sub>10</sub>	[mm]	0,06	0,17	0,28	1,24	0,86	8,10
U	-	1,6	2,7	3,6	10,2	6,1	82,6

Von den 16 horizontal durchströmten Pflanzenanlagen mit einer Beetauslastung über 75 % und guten CSB-Ablaufwerten wiesen 14 Anlagen ein Bodenmaterial mit einem d<sub>10</sub> über 0,2 mm und einem Unförmigkeitsgrad unter 5 auf. Von den 6 vertikal durchströmten Pflanzenanlagen mit guten CSB-Ablaufwerten hatte nur eine Anlage ein nicht dem LUA-Merkblatt entsprechendes Bodenmaterial mit einem d<sub>10</sub> von 0,16 mm. Der Unförmigkeitsgrad lag bei allen Anlagen unter 5. Das spezifische freie Abwasservolumen lag bei den betrachteten Anlagen in der Regel über 1 m<sup>3</sup>/E.

Es zeigte sich, dass Pflanzenanlagen mit einem geeigneten Bodenmaterial (d<sub>10</sub> > 0,2 mm, U < 5) und einer funktionstüchtigen Vorklärung mit einem spezifischen freien Wasservolumen über 1,0 m<sup>3</sup>/E in der Regel auch bei einer hohen Auslastung und langer Betriebsdauer eine ausreichend gute Reinigungsleistung gewährleisten.

Als Fazit aus den Ergebnissen der Zweituntersuchung kann festgehalten werden, dass von Pflanzenanlagen mit folgenden Merkmalen bei regelmäßiger Wartung auch langfristig hohe Reinigungsleistungen zu erwarten sind:

- 1. Anlagen mit einem spezifischen freien Wasservolumen in der Vorklärung von mindestens  $1,0 \text{ m}^3/\text{E}$ . Unter der Annahme eines maximalen Füllgrades von ca. 66 % ergibt sich daraus ein spezifisches Vorklärvolumen von  $1,5 \text{ m}^3/\text{E}$**
- 2. Anlagen mit einem Bodenmaterial mit einer wirksamen Korngröße  $d_{10}$  von mindestens 0,2 mm und einem Unförmigkeitsgrad U unter 5**

Im Hinblick auf die Pflanzenanlagentypen zeigte sich auch bei der zweiten Beprobung, dass vertikal durchströmte Anlagen in der Regel eine etwas bessere Reinigungsleistung aufweisen und Kolmationserscheinungen weniger problematisch für diesen Anlagentyp sind.

## 7 Zusammenfassung und Fazit

Die naturnahe Abwasserreinigung in Pflanzenanlagen hat sich in den letzten Jahren stetig verbessert und entspricht heute dem Stand der Technik. Die Reinigungsleistung solcher Anlagen ist mit der Reinigungsleistung von technischen Systemen vergleichbar und teilweise besser. Die Mehrzahl der Anlagen wird seit Jahren störungsfrei mit hohen Reinigungsleistungen betrieben. Trotzdem können Pflanzenanlagen derzeit nur aufwendig mittels „Einzelzulassung“ errichtet werden. Insbesondere die Hersteller und Lieferanten von Pflanzenanlagen, aber auch Aufsichtsbehörden und potentielle Betreiber, würden es begrüßen, wenn langfristig für Pflanzenanlagen die Möglichkeit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sowie für technische Systeme geschaffen würde. Aus diesen Gründen wurde das vorliegende F+E-Projekt initiiert, in dem die Anforderungen an die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von Pflanzenanlagen definiert werden sollen.

### Vorteile einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Pflanzenanlagen

Hersteller:	- Anerkennung der Pflanzenanlagen als allgemein anerkanntes Abwasserbehandlungsverfahren - Verbesserung der Marktposition
Betreiber:	- einfache Genehmigung der Pflanzenanlagen - geringere Kosten für Genehmigung - Rechtssicherheit für Betrieb und Reinigungsanforderungen
Aufsichtsbehörde:	- einfache Genehmigung der Pflanzenanlagen - geringerer Aufwand bei der Abnahme und Überprüfung der Pflanzenanlagen

### Nachteile einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Pflanzenanlagen

Hersteller:	- Kosten für die Prüfung zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung - Zeitverzögerung
Betreiber:	- keine
Aufsichtsbehörde:	- keine

Mit dem Projekt wurden folgende Ziele verfolgt:

- Erfassung sämtlicher Pflanzenanlagen in Nordrhein-Westfalen
- Erarbeitung von Anlagenmerkmalen, die auch langfristig einen stabilen Betrieb von Pflanzenanlagen bei hohen Reinigungsleistungen erwarten lassen
- Ableitung von Randbedingungen zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von Pflanzenanlagen
- Erstellung eines ergänzenden bzw. abgeänderten Anforderungsprofils in Abstimmung mit der DIN EN 12566 Teil 3

Im Folgendem werden die Ergebnisse der Anlagenerfassung, der Untersuchungen und anschließend die Schlussfolgerungen sowie Randbedingungen und Anforderungen an eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung dargestellt.

Die Erfassung der Pflanzenanlagen ergab einen aktuellen Bestand von ca. 5.500 Anlagen im Vergleich zu ca. 1.000 Anlagen 1995 in Nordrhein-Westfalen. Davon sind ca. 87 % überwiegend horizontal durchströmte und 13 % vertikal durchströmte Pflanzenanlagen. Ca. 95 % der Pflanzenanlagen haben ein Alter zwischen einem und zehn Jahren; 5 % sind älter als zehn Jahre. Auf Grundlage der bei den Behörden vorliegenden Daten hielten ca. 90 % der Pflanzenanlagen den CSB-Ablaufgrenzwert von 150 mg/l ein, wobei vertikal durchströmte Anlagen deutlich geringere Ablaufwerte aufweisen. Insgesamt sind nachstehende Auswertungen der erfassten Pflanzenanlagen erfolgt:

Auswertung der erfassten Pflanzenanlagen:

- Anlagentypenverteilung
- Verteilung des Anlagenalters
- Auslastung der Anlagen
- spezifische Beetauslastung nach Anlagentyp
- spezifisches Vorklärvolumen
- CSB-Ablaufwerte nach Anlagentyp

Die erfassten Pflanzenanlagen dienten als Grundlage für die Auswahl repräsentativer Anlagen, an denen umfangreiche Untersuchungen zur Frage der Bauartzulassung erfolgten. Dabei wurden insbesondere solche Ausführungsmerkmale herausgearbeitet, die bei ordnungsgemäßem Betrieb eine langfristig hohe Reinigungsleistung erwarten lassen. Des Weiteren sollten Kolmationserscheinungen, mögliche Ursachen sowie Auswirkungen auf eine langfristige Betriebssicherheit der Pflanzenstufen untersucht werden. Auf der Grundlage der damit gewonnenen Erkenntnisse wurden abschließend

Möglichkeiten und Randbedingungen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von Pflanzenanlagen mit einer einjährigen Testphase definiert.

Als wesentliche Ergebnisse der Untersuchungen können festgehalten werden:

#### Pflanzenanlagen (unabhängig vom Typ)

- Die Auslastung und die wirksame Korngröße  $d_{10}$  des Beetkörpers der Pflanzenanlagen haben keinen wesentlichen Einfluss auf die CSB-Reinigungsleistung.
- Sowohl bei den horizontal als auch bei den vertikal durchströmten Anlagen ist eine Erhöhung der CSB-Ablaufwerte mit zunehmendem Alter feststellbar.
- Im Hinblick auf den jahreszeitlichen Einfluss kann festgehalten werden, dass bei der Kohlenstoffbelastung, ausgedrückt als chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), keine signifikanten Unterschiede von Sommer- und Winterbetrieb bestehen. Allerdings kann es während sehr warmer Sommerperioden aufgrund der hohen Wasserverdunstung zu höheren Ablaufwerten kommen.
- Die Durchlässigkeit des Bodenkörpers liegt in der Regel etwa eine Zehnerpotenz unterhalb des über die Siebanalyse berechneten Durchlässigkeitsbeiwertes.
- Kolmationserscheinungen treten vermehrt bei Anlagen mit einem Betriebsalter über 7 Jahren auf. Die Kolmationserscheinungen führen vermehrt zu geringfügig höheren CSB-Ablaufwerten.
- Eine Ursache für Kolmation sind erhöhte Feststoffkonzentrationen im Zulauf zur Pflanzenstufe.
- Hohe Feststoffkonzentrationen treten vor allem bei Anlagen mit einem spezifischen freien Abwasservolumen in der Vorklärung von weniger als  $1 \text{ m}^3/\text{E}$  auf.
- Bei Bodenmaterial mit einer wirksamen Korngröße  $d_{10}$  unter  $0,2 \text{ mm}$  und einem Unförmigkeitsgrad über 5 treten in der Regel vermehrt Kolmationen auf.

#### Horizontal durchströmte Pflanzenanlagen

- Horizontal durchströmte Anlagen scheinen im Hinblick auf eine einjährige Bauartzulassung eine ausreichende Reinigungsleistung für max. 10 Jahre zu gewährleisten.
- Bei überwiegend horizontal durchströmten Pflanzenanlagen besteht eine Korrelation von Reinigungsleistung und L/B-Verhältnis. Die Reinigungsleistung nimmt mit steigendem Verhältnis ab.

#### Vertikal durchströmte Pflanzenanlagen

- Vertikale Pflanzenanlagen weisen im Vergleich zu horizontal durchströmten Pflanzenanlagen deutlich niedrigere CSB-Ablaufwerte auf.

- Bei den anorganischen Stickstoff- und den Phosphorkonzentrationen besteht für vertikal durchströmte Anlagen eine Abhängigkeit hinsichtlich der Auslastung.
- Gesicherte Aussage zur Betriebsdauer für vertikal durchströmte Anlagen sind aufgrund einer zu geringen Anlagenzahl mit mehr als acht Jahren Betriebsdauer derzeit noch nicht möglich.
- Bzgl. der anorganischen Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) ist bei vertikal durchströmten Pflanzenanlagen eine geringe Abnahme der Reinigungsleistung während der Wintermonate feststellbar.
- Die Sickerleistung nimmt innerhalb des ersten Jahres deutlich ab (im Median um eine Zehnerpotenz), danach erfolgt aber keine weitere Abnahme.

Auf Grundlage der Ergebnisse lassen sich folgende Merkmale für vor Ort errichtete Pflanzenanlagen ableiten. Für diese Anlagen wird bei ordnungsgemäßen Betrieb auch langfristig eine hohe Reinigungsleistung erwartet, bei:

- einem spezifisches Mindestvorklärvolumen von  $1,5 \text{ m}^3/\text{E}$  zur Gewährleistung eines spezifischen freien Wasservolumens von mindesten  $1 \text{ m}^3/\text{E}$
- einer spezifischen Grundfläche für horizontal durchströmte Anlagen von  $5,0 \text{ m}^2/\text{E}$  und für vertikal durchströmte von  $3,0 \text{ m}^2/\text{E}$  nach dem LUA Merkblatt 23
- einem Bodenmaterial mit einer wirksamen Korngröße  $d_{10}$  über  $0,2 \text{ mm}$  und einem Unförmigkeitsgrad  $U$  unter 5
- vertikal durchströmten Pflanzenanlagen, die im Normalbetrieb nicht eingestaut betrieben werden, da durch den verminderten Sauerstoffeintrag im eingestauten Betrieb die Reinigungsleistung ab- und die Kolmationsneigung zunimmt

Die Merkmale für die Vorklärung weichen von den Empfehlungen des LUA-Merkblatt 23 mit mind.  $0,35 \text{ m}^3/\text{E}$  bei mind. zweimal jährlicher Schlammabfuhr und mind.  $0,5 \text{ m}^3/\text{E}$  bei mind. einmal jährlicher Schlammabfuhr ab. Die Ergebnisse zeigen aber, dass ein größeres spezifisches Vorklärvolumen langfristig die Kolmationsgefahr verringert und damit eine höhere Reinigungsleistung erwarten lässt. Daher sollten Pflanzenanlagen nur in Verbindung mit einem entsprechenden spezifischen Vorklärvolumen errichtet werden. Die Ergebnisse entsprechen auch den Anforderungen im neuem ATV-DVWK Arbeitsblatt A 262.

Auf Grundlage der Ergebnisse werden die folgenden Empfehlungen für eine Prüfung zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für vor Ort errichtete Pflanzenanlagen gegeben:

1. Die Prüfung sollte wie bei der DIN prEN 12566 Teil 3 auf einem Prüffeld durchgeführt werden.
2. Die Prüfdauer sollte mindestens ein Jahr betragen, um so jahreszeitliche Einflüsse zu berücksichtigen.
3. Der Prüfplan sollte entsprechend der DIN prEN 12566 Teil 3 aufgestellt werden.
4. Bei der Auswahl der zu prüfenden Anlagengröße erscheinen Anlagen ab einer Auslegungsgröße von 8 E besonders geeignet zu sein, weil Anlagen mit einer Auslegungsgröße von 8 E mit ca. 41 % aller Pflanzenanlagen den größten Anteil stellen und bei Anlagen dieser Anlagengröße vermehrt erhöhte CSB-Ablaufwerte festgestellt wurden.
5. Die Kunststoffdichtungsbahn bzw. die mineralische Dichtung ( $k_f \leq 10^{-8}$  m/s) sollte in Anlehnung an das neue ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 262 auf Wasserdichtheit durch Wasserbefüllung und Sichtkontrolle insbesondere an den Anschlussstellen geprüft werden. Bei mineralischer Dichtung ist der Durchlässigkeitsbeiwert vor dem Befüllen an mindestens drei Stellen nach DIN 18130-1 zu bestimmen.
6. Das Bodenmaterial sollte mittels Siebanalyse geprüft werden. Die wirksame Korngröße  $d_{10}$  sollte über 0,2 mm und der Unförmigkeitsgrad unter 5 liegen, da bei diesem Material auch langfristig eine stabile Reinigungsleistung zu erwarten ist.
7. Die Sickerleistung des Bodenmaterials sollte zu Beginn und Ende der Prüfung gemessen werden. Die Abnahme der Sickerleistung sollte nicht oberhalb einer Zehnerpotenz liegen.
8. Da sich der Auslastungsgrad auf die Reinigungsleistung auswirkt, auch wenn bei den CSB-Werten dieser Einfluss kaum festzustellen war, sollten auch bei Pflanzenanlagen die in der DIN prEN 12566 Teil 3 bereits vorgesehene Prüfung der Anlage bei Über- und Unterlast erfolgen.
9. Im Rahmen der Prüfung sollten Abwesenheitszeiten der Einwohner simuliert werden. Das Beet sollte für mindestens zwei Wochen keinen Zufluss bekommen und zum Schutz der Pflanzen künstlich eingestaut werden. Nach Ende dieser Prüfung sollte die Anlagen innerhalb von 24 Stunden wieder einen CSB-Ablaufwert entsprechend der Abwasserverordnung aufweisen.
10. Aufgrund der altersbedingten Abnahme der Reinigungsleistung sollten ausreichende Sicherheiten beim CSB-Ablaufwert (z. B. CSB-Ablaufwert unter 100 mg/l) berücksichtigt werden.

Im Bescheid zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sollten folgende Punkte geprüft werden:

- Eigenschaften und Anforderungen für die Bauart, insbesondere
  - die wirksame Korngröße  $d_{10}$  und der Unförmigkeitsgrad  $U$  des Bodenmaterials
  - die spezifische Beetfläche,
  - das Längen-/Breiten-Verhältnis bei horizontal durchströmten Pflanzenanlagen,
  - Beschickungssystem und Beschickungsintervall,
  - das spezifische Vorklärvolumen,
- Einbauanleitung
- Anforderungen an die Errichtung, z. B. Wasserdichtheitsprüfung des Beetkörpers und Siebanalyse
- Wartungs- und Betriebsanforderungen

Im Rahmen der behördlichen Abnahmen sollten die folgenden Punkte geprüft werden:

- spezifische Beetfläche
- spezifisches Vorklärvolumen
- Beschickungssystem und -intervall
- Längen-/Breiten-Verhältnis bei horizontal durchströmten Pflanzenanlagen
- Nachweis von wirksamer Korngröße  $d_{10}$  und Unförmigkeit  $U$
- Ergebnis der Wasserdichtheitsprüfung

## 8 Literatur

ABWASSERVERORDNUNG (2002):

Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer. BGBl. I Nr. 85 vom 19.12.2002 S. 4550.

ATV-DVWK-AREITSBLATT A 262 (2004):

Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers, Entwurf vom Februar 2004.

BAUPRODUKTENGESETZ (2004)

Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte und anderer Rechtsakte der Europäischen Gemeinschaften. BGBl. I Nr. 1 vom 09.01.2004 S. 2.

BÖRNER (1992):

Einflußfaktoren für die Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen. WAR Band 48. Darmstadt 1992.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (DBit) (2001):

Zulassungsgrundsätze für Kleinkläranlagen. Deutsches Institut für Bautechnik, Mai 2001

DIN 4261 Teil 1 (2002)

Kleinkläranlagen, Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung. Beuth-Verlag: Dezember 2002

DIN 4261 Teil 2 (1984)

Kleinkläranlagen; Anlagen mit Abwasserbelüftung; Anwendung, Bemessung, Ausführung und Prüfung. Beuth-Verlag: Juni 1984.

DIN EN 12566 Teil 1(2002):

Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW - Teil 1: Werkmäßig hergestellte Faulgruben. Beuth-Verlag: September 2000.

DIN EN 12566 Teil 1/prA1 (2002):

Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW - Teil 1: Werkmäßig hergestellte Faulgruben; Änderung A1. Beuth-Verlag: Januar 2002

DIN prEN 12566 Teil 3 (2003):

Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW, Teil 3: Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser. Oktober 2003

GEOTZ, D.; WINTER, K.-J. (2003):

Bodenkundliche Untersuchungen der Kolmation. In: Bewachsene Bodenfilter als Verfahren der Biotechnologie. Berlin: Umweltbundesamt, Februar 2003

LANDESBAUORDNUNG (2003)

Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen. GV.NW. Nr. 57 vom 23.12.2003, S. 766.

LANDESWASSERGESETZ (2001)

Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen. GV.NW. Nr. 59 vom 31.12.2003, S. 808.

LUA MERKBLATT 23 (2000):

Abwasserbehandlung in Pflanzenanlagen, Essen: 2000

MAINZ, Chr. (2003):

Anforderungen an die dezentrale Abwasserbehandlung. Vortrag beim BEW: Bau und Betrieb von Kleinkläranlagen. Essen: Juli 2003

SIEKER und HARMS (1987):

Kriterien für Betrieb und Bemessung von Anlagen zur gezielten Versickerung des Niederschlagsabflusses. Abschlußbericht Teil 2. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover: Februar 1987.

WASSERPRÜFBAUVERORDNUNG (2000)

Verordnung zur Feststellung der wasserrechtlichen Eignung von Bauprodukten und Bauarten durch Nachweise nach der Landesbauordnung. GV.NW. Nr. 17 vom 10.04.2000, S. 251.

# Anhang

## Stammdaten

Standort-PLZ Ort: \_\_\_\_\_

Standort-Straße: \_\_\_\_\_

Ansprechpartner: \_\_\_\_\_

Standort-Telefon: \_\_\_\_\_

## Abwasserherkunft

### Auslegung EW

häuslicher Bereich \_\_\_\_\_ E gewerblicher Bereich \_\_\_\_\_ E  
(Haushalte, Büros etc) (Hotel, Landwirtschaft etc)

### Angeschlossene EW

häuslicher Bereich \_\_\_\_\_ E gewerblicher Bereich \_\_\_\_\_ E  
(Haushalte, Büros etc) (Hotel, Landwirtschaft etc)

## Wasserversorgung

- Zentrale Wasserversorgung  
 Eigenversorgung  mit Wasserzähler

## Vorbehandlungsstufe

1. Mehrkammer-Absetzgrube \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup> Anzahl Kammern \_\_\_\_\_ Baujahr: \_\_\_\_\_

2. Mehrkammer-Absetzgrube \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup> Anzahl Kammern \_\_\_\_\_ Baujahr: \_\_\_\_\_  
z.B. bei Parallelbeschickung durch Nachbaranlage

1. Mehrkammer-Ausfallgrube \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup> Anzahl Kammern \_\_\_\_\_ Baujahr: \_\_\_\_\_

2. Mehrkammer-Ausfallgrube \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup> Anzahl Kammern \_\_\_\_\_ Baujahr: \_\_\_\_\_  
z.B. bei Parallelbeschickung durch Nachbaranlage

Sonstige Vorbehandlung \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup> Baujahr: \_\_\_\_\_  
Fettabscheider, 1-Kammergruben, Rechen, Kiesfilter, Tropfkörper

## Anlagenbeschickung

- Freigefälle ohne Stoßbeschickung  Pumpe  
 hydraulischer Heber  Kipprinne

## Anlagen-System

- vorwiegend horizontales System  vertikales System

Sonstige Systeme oder Anlagentyp (z.B. PURE-Anlage, Phytofilt) \_\_\_\_\_

Baujahr der Pflanzenstufe \_\_\_\_\_

