



Rückschlüsse aus ARA-Betriebsdaten auf die Situation im Kanalnetz

Bericht zu einer Untersuchung an Kläranlagen im Kanton Solothurn



Verfasser:

Christian Eicher
Ingenieurbüro
Eisenbahnstrasse 1
4900 Langenthal

12/2008

Rückschlüsse aus ARA-Betriebsdaten auf die Situation im Kanalnetz

Bericht zu einer Untersuchung an Kläranlagen im Kanton Solothurn

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung und Auftrag	2
2. Fremdwasser-Problematik.....	2
3. Zusammenhänge Grundwasserspiegel / ARA-Zuflussdaten.....	3
3.1. Vergleich Tageswerte ARA-Zuflüsse verschiedener Kläranlagen unter sich	4
3.2. Zusammenhang Grundwasserspiegel und ARA-Zuflüsse.....	5
4. Gegenüberstellung Zuflussmengen-Dauerkurven	11
5. Analyse der Stoff-Zusammenhänge am Beispiel der ARA Emmenspitz	16
6. Einfluss der Niederschlagsverhältnisse	22
7. Korrelation der Zufluss-Konzentrationen verschiedener Kläranlagen	27
8. Verhältnis Zuflusskonzentrationen zu Zuflussmenge verschiedener ARAs.....	30
9. Aussage und Problematik der Leistungskennwerte des ÖWAV.....	34
10. Zusammenfassung und Fazit	39

Langenthal, 1. Dezember 2008

1. Aufgabenstellung und Auftrag

Auf den Schweizer Kläranlagen werden umfangreiche Betriebsdaten aufgezeichnet. Diese dienen heute in erster Linie dem ARA-Betreiber für die Optimierung seines Betriebs. Darüberhinaus werden sie von der Überwachungsbehörde genutzt für die Beurteilung der Reinigungsleistung der ARAs sowie für den Vergleich verschiedener Kläranlagen untereinander.

Diese ARA-Daten enthalten jedoch über diese bekannten Nutzungen hinaus ebenfalls wertvolle Informationen über die Funktion des Abwassernetzes und des ARA-Einzugsgebiets, welche bisher nur punktuell in dieser Hinsicht analysiert und genutzt wurden.

Die vorliegende Arbeit versucht, auf der Grundlage der ARA-Betriebsdaten verschiedene Aspekte des Zusammenwirkens von Kläranlage, Kanalnetz sowie den vorgeschalteten Entlastungen und Regenwasserbehandlungsanlagen zu untersuchen.

Die Untersuchung basiert auf einer Projektskizze des Kantonalen Amtes für Umwelt Solothurn vom Dezember 2004 und mündete in den entsprechenden Auftrag an das Ingenieurbüro Christian Eicher, Langenthal.

Neben den ARA-Daten wurden ebenfalls Niederschlags- und Grundwasser-Daten einbezogen. Diese Informationen dienen insbesondere der Analyse von Fremdwasser-Zusammenhängen.

2. Fremdwasser-Problematik

Die Reduktion der vorhandenen Fremdwasser-Probleme ist für viele Kläranlagen und Kanalnetz-Betreiber ein wesentliches Anliegen: Unverschmutztes Abwasser in seinen verschiedenen Erscheinungsformen kann zu bedeutenden Nachteilen im Betrieb der ARA und im Kanalnetz führen, welche bisher erst in Ansätzen wahrgenommen und verstanden werden.

Herkömmliche Fremdwasser-Untersuchungen auf der Basis einzelner nächtlicher Stichproben im Rahmen der GEP-Bearbeitungen identifizieren von der Natur der Sache her meist nur einen kleinen Ausschnitt des vorhandenen Problems.

Im besonderen fehlt vielen Fremdwasser-Untersuchungen auf kommunaler Basis die wichtige übergeordnete Optik:

- ▶ hat die regionale ARA ein Fremdwasserproblem?
- ▶ handelt es sich dabei um ein Grundband-Problem?
- ▶ oder weist der Fremdwasser-Anfall eine Dynamik auf?
- ▶ ist primär die Kläranlage vom Fremdwasserproblem betroffen, oder gehen dadurch bereits im Netz Abwasser und Inhaltsstoffe verloren?
- ▶ bestehen jahreszeitliche Probleme mit Fremdwasser, z.B. im Zusammenhang mit Schneeschmelze, Nässeperioden, hohen Gewässer-Wasserständen?

Auch Fremdwasser-Untersuchungen auf Gemeinde-GEP-Ebene sollten unbedingt vorab die Situation auf der Kläranlage einbeziehen und analysieren. Nur mit dieser wichtigen Grundlage ist sichergestellt, dass ein allfälliges Fremdwasser-Problem zum richtigen Zeitpunkt, über die nötige Dauer und mit den entsprechenden Mitteln untersucht und beurteilt wird.

Werden diese wichtigen Randbedingungen übersehen und nicht einbezogen, laufen Fremdwasser-Untersuchungen Gefahr, zu einer Alibi-Übung zu verkommen.

So werden zwar oft akribisch im ganzen Gemeindegebiet Laufbrunnen-Schüttungen erhoben, die echten grösseren Probleme bleiben jedoch unerkannt – mit „Pseudo-Ergebnissen“, welche nur einen begrenzten Nutzen aufweisen.

3. Zusammenhänge Grundwasserspiegel / ARA-Zuflussdaten

Auf der Grundlage vorhandener Jahresserien von ARA-Betriebsdaten sowie mit ergänzenden Aufzeichnungen von Grundwasserspiegeln und Niederschlagsmessungen wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, vermutete Zusammenhänge zu identifizieren, systematisch zu analysieren und zu interpretieren.

Die Zusammenhänge von ARA-Zufluss und Grundwasserständen wurden für alle grösseren Kläranlagen im Kantonsgebiet von Solothurn untersucht.

Ergänzend wurden ausgewählte Stofffracht-Zusammenhänge in Verbindung mit Grundwasser-Daten analysiert.

Diese Untersuchungen sollen als Grundlage dienen für ein besseres Verständnis, sowie als Anregung für die vertiefte Suche nach wesentlichen Abhängigkeiten und Zusammenhängen, welche in Generellen Entwässerungsplanungen in Gemeinden, sowie im speziellen auf Verbandsebene in Zukunft vertieft studiert und berücksichtigt werden sollen.

Diese gefundenen Erkenntnisse können weiter genutzt werden für eine Optimierung des Kläranlagenbetriebs in Verbindung mit den Einstellungen der Überlaufbauwerke im Kanalnetz, sowie hinsichtlich von Massnahmen zur Bewirtschaftung der Regenwasserbehandlungsanlagen.

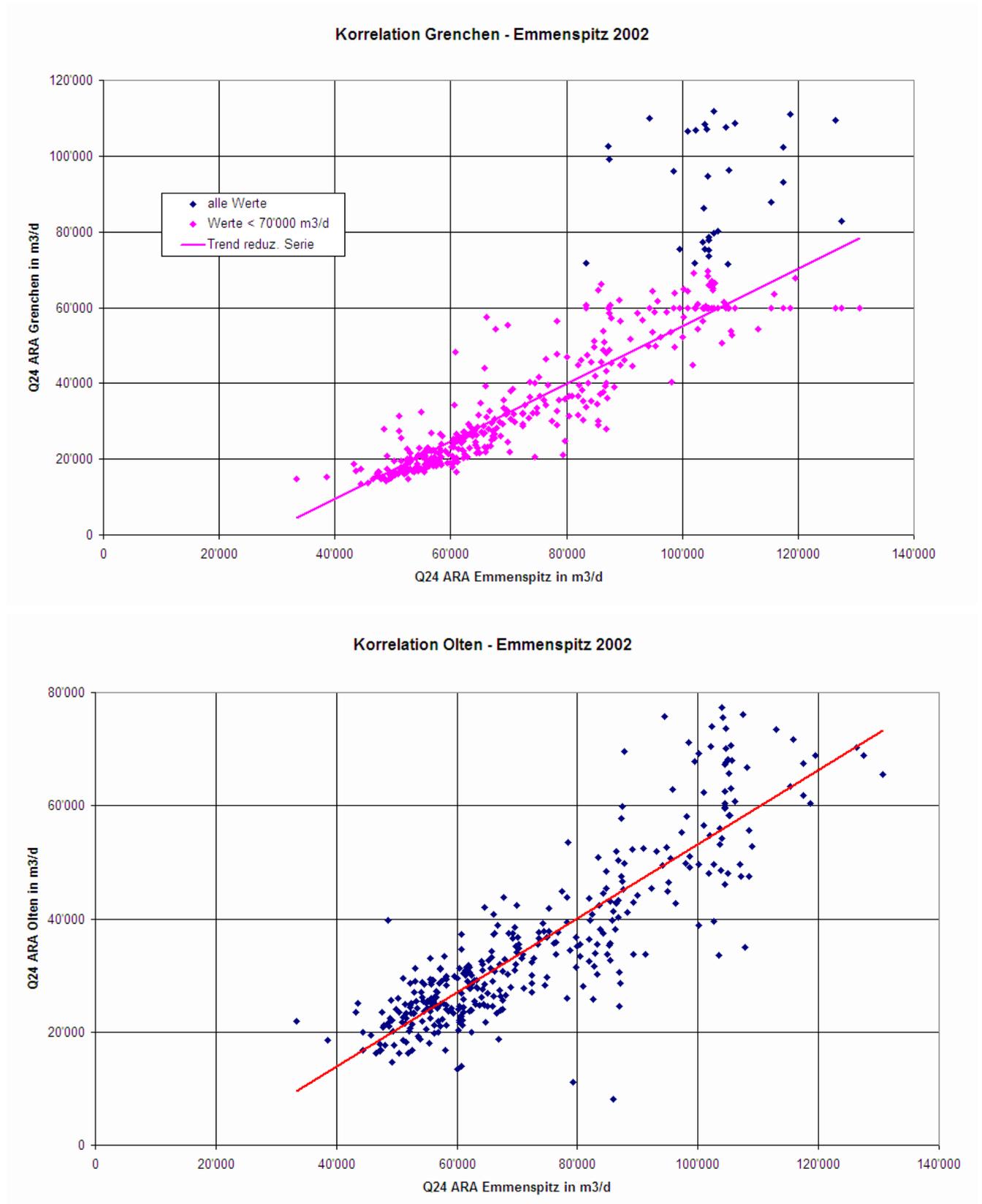
Die wichtigsten vorläufigen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- *Für die Solothurner Kläranlagen südlich des Juras mit Kanalnetzen in den wichtigen Grundwasser-Einzugsgebieten erklären die Grundwasserspiegel-Verhältnisse einen wesentlichen Teil des "dynamischen Fremdwasserzuflusses".*
- *Nicht beurteilbar ist dabei die Herkunft des grundwasser-beeinflussten Fremdwassers: dieses kann über undichte Gemeinde-Kanalisationen, lecke Grundstückentwässerungen, durch Gebäude-Sickerleitungen, sowie durch Fehllanschlüsse von Drainagen und Kleingewässern ins Abwassersystem gelangen.*
- *Bei Regenwetter- und fremdwasser-bedingten hohen ARA-Zuflüssen geht ein Teil der jährlichen Stofffracht bereits vor der Kläranlage über Entlastungsanlagen verloren. Diese Stoffverluste sind unterschiedlich bei Regenwetter und grundwasser-induziertem Fremdwasser:*
 - *Bei grossem Regenzufluss im Netz nehmen die vorwiegend partikulären Stoffe wie CSB und Phosphor tendenziell zu infolge Resuspension von Trockenwetter-Kanalablagerungen, währenddem der in gelöster Form vorhandene Ammonium-Stickstoff abnimmt.*
 - *Bei hohem Grundwasserspiegel und entsprechend grossem Fremdwasserzufluss nehmen alle Stoffwerte sichtbar ab. Dies ist eine Folge des fremdwasserbedingt reduzierten "Weiterleitfensters" an den Überlaufanlagen im Netz, und daraus resultierenden grösseren Entlastungsfrachten.*
- *Die Stoff-Verluste im Kanalnetz sind an der untersuchten ARA Emmenspitz mit den vorhandenen Entlastungsverhältnissen im Netz recht bedeutend, hängen aber von der jeweiligen System-Konstellation ab und müssen individuell beurteilt werden.*

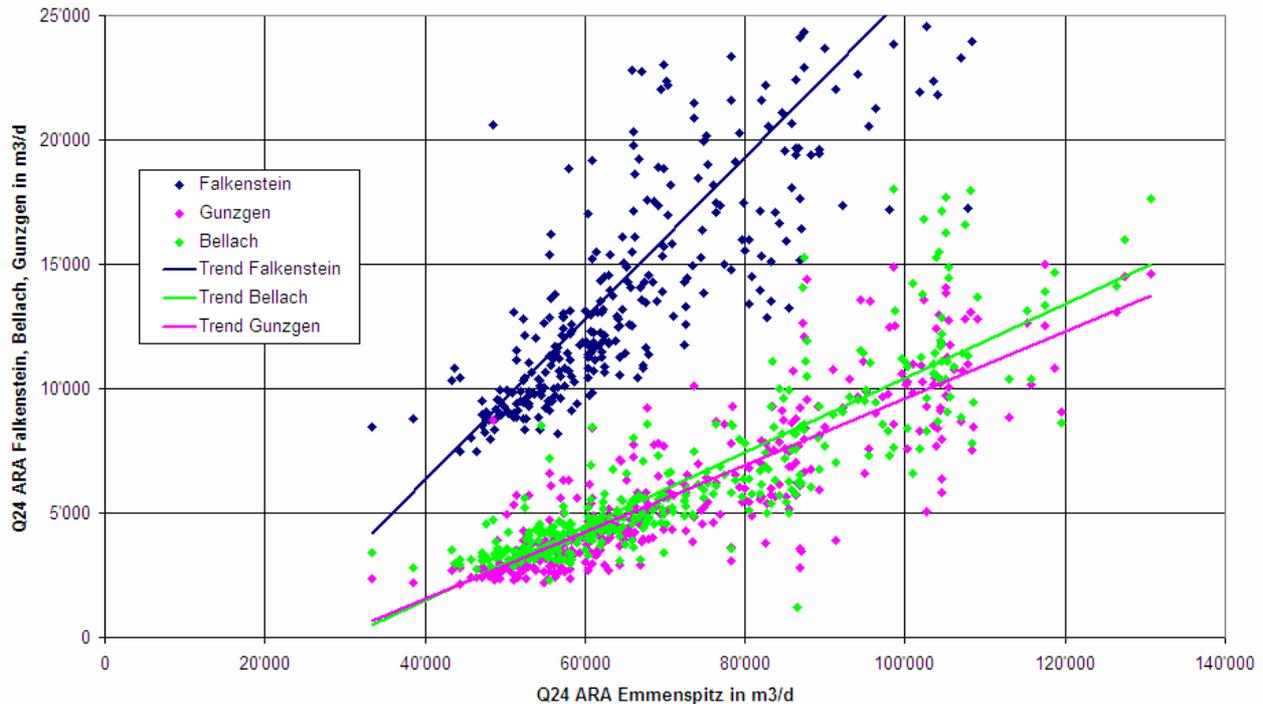
Die Auswertungen der Daten erfolgten vorwiegend mithilfe von grafischen Darstellungen. Eine Auswahl wesentlicher Feststellungen ist im vorliegenden Bericht dokumentiert und kommentiert.

3.1. Vergleich Tageswerte ARA-Zuflüsse verschiedener Kläranlagen unter sich

Die X-Y-Korrelation verschiedener ARA-Zuflussdatenserien für das Jahr 2002 ergibt Aufschlüsse über vorhandene spezifische Unterschiede in den Zuflussregimes. Wegen der ortsabhängigen Niederschläge sowie der unterschiedlichen Zufluss-Begrenzungen bei Regenwetter sind für diese Betrachtung vorwiegend die Trockenwetter-Werte von Interesse.



Korrelation Falkenstein, Gunzgen, Bellach mit Emmenspitz - 2002



Die vorliegenden Darstellungen zeigen im Grossen und Ganzen relativ gute Übereinstimmungen für die Trockenwetter-Zuflüsse.

Deutlich erkennbar ist aus diesen Korrelationen unter anderem, dass die ARA Emmenspitz im Vergleich zu den Kläranlagen von Grenchen, Olten und weiteren ein *zusätzliches* Fremdwasser-Grundband aufweist in der Grössenordnung von 20'000 bis 30'000 m³ pro Tag.

Diese Aussage über den vergleichsweise grossen zusätzlichen Fremdwasserzufluss zur ARA Emmenspitz stützt sich auf folgende Feststellungen:

- Die mehrheitlich gerade verlaufenden Trendlinien bestätigen den grundsätzlichen zeitlichen Zusammenhang kleiner und grosser ARA-Zuflüsse der verschiedenen Kläranlagen.
- Bei Übereinstimmung der Trockenwetter-Zuflussregimes müssten die Trendlinien durch die Datenwolken jedoch auf den Nullpunkt des Diagramms zeigen.
- Die Trendlinien der verschiedenen ARAs zeigen dagegen übereinstimmend auf einen Abszissenwert zwischen 20'000 und 30'000 m³ pro Tag.
- Dieser Wert entspricht dem ungefähren **zusätzlichen** Fremdwasser-Grundband der ARA Emmenspitz gegenüber den andern Kläranlagen, obwohl diese ebenfalls Fremdwasser-Anteile im Zufluss haben.

Die Übereinstimmung der Trockenwetter-Trends ist ansonsten in relativ weiten Bereichen gut, wobei spezielle Gegebenheiten (ARA-Umbauten, Messtechnikprobleme...) individuell zu berücksichtigen sind, siehe Daten von Grenchen in der ersten Abbildung.

3.2. Zusammenhang Grundwasserspiegel und ARA-Zuflüsse

Untersuchungen bei andern Kläranlagen zeigen, dass Grundwasserspiegel-Aufzeichnungen sowie weitere Gewässerdaten oft deutliche Korrelationen mit ARA-Zufluss-Zeitserien ergeben.

Für die Vergleiche mit den ARA-Aufzeichnungen im Kanton Solothurn wurden die GW-Spiegeldaten der nationalen NABESS-Station Obergerlafingen herangezogen, welche im Internet von der Landeshydrologie direkt verfügbar sind (Station BWG 6536, Stationskoordinaten 610'959 / 224'015).

Ein weiterer ebenfalls im Internet verfügbarer Pegel vom WEA des Kantons Bern im gleichen Grundwasserstrom der Emme in Wiler liefert weitgehend ähnliche Wasserspiegel-Verläufe.

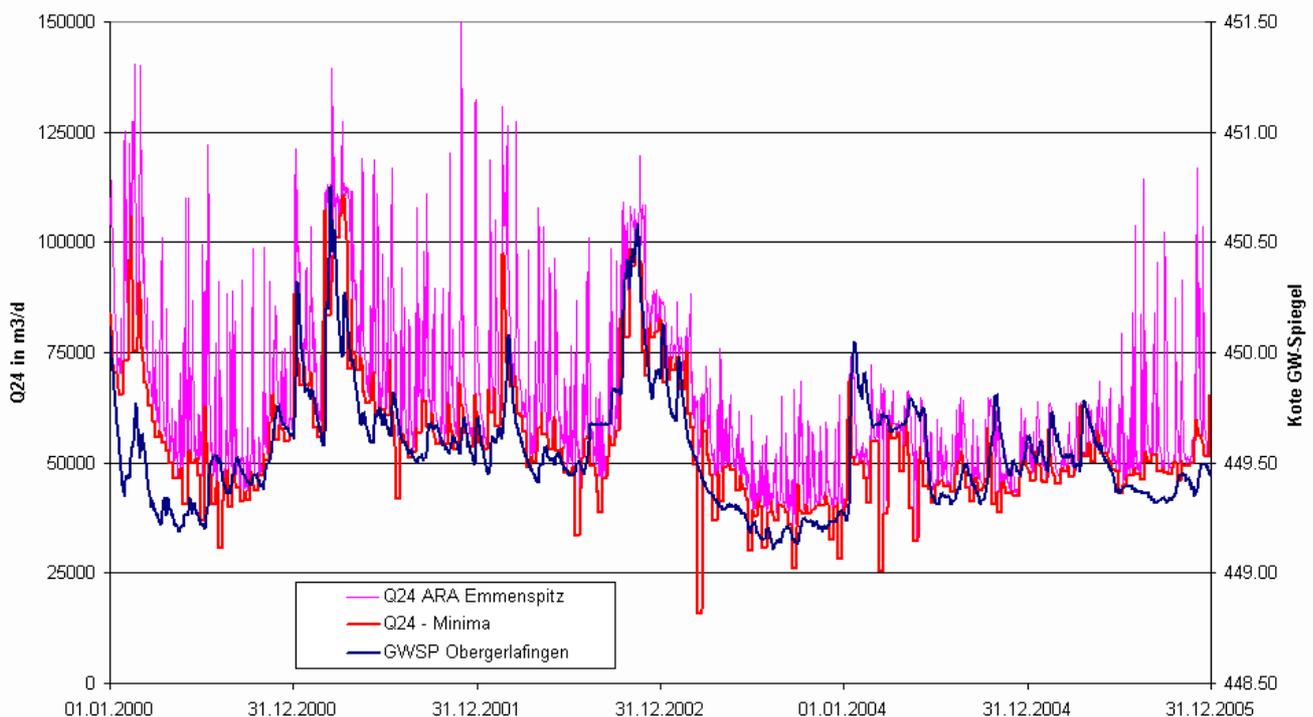
Die GW-Spiegel-Messdaten wurden als Zeitserien mit den ARA-Zufluss-Zeitserien in Beziehung gesetzt, wobei bemerkenswerterweise auch für weit weg in andern Grundwassergebieten liegende ARAs vergleichbar gute Übereinstimmungen des *Trockenwetter-Grundbands* gefunden wurden.

Diese gute Übereinstimmung ist dahingehend erklärbar, dass der Spiegelverlauf eines grossen zusammenhängenden Grundwassergebiete naturgemäss ein gutes Bild des *langfristigen Wasserhaushalts* wiedergibt, und damit auch der Niederschlagsverhältnisse über einen grösseren Zeitraum, welcher massgebend ist für den Nachlauf der fremdwasser-relevanten Zuflüsse zu einer ARA.

Die Grundwasser-Situation eignet sich für den Vergleich mit Kläranlagen-Zuflüssen wesentlich besser als die direkte Verwendung der Niederschlagsdaten, selbst wenn diese die lokale Regensituation an und für sich besser wiedergeben:

- *Der Grundwasserspeicher gibt, wenn er nicht durch Entnahmen und andere Sondereinflüsse gestört ist, ein Bild der kumulierten Niederschlagsituation über einen grösseren Zeitraum wieder, sowie von deren Auswirkung auf den Bodenwasser-Haushalt.*
- *Die direkte Verwendung von Tagesregenhöhen ohne Kumulations-Ansatz für Korrelationen ist demgegenüber schwierig, weil dabei einerseits die Vorregensituation fehlt, und andererseits die Auswirkungen auf die Folgetage kompliziert ist, siehe separate Auswertung.*
- *Die Grundband-Werte der untersuchten Kläranlagen-Zuflüsse im Kanton Solothurn reagieren in der Mehrheit deutlich auf den Bodenwasser-Haushalt im Einzugsgebiet.*

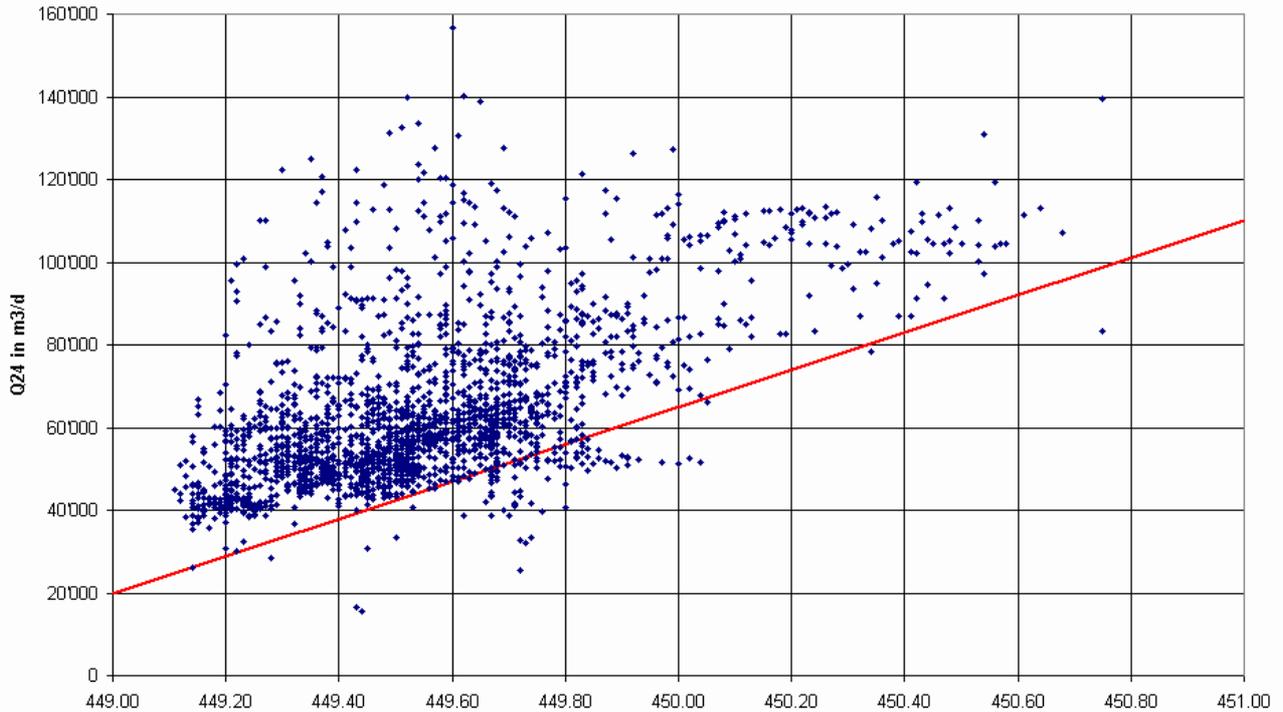
Q24 ARA Emmenspitz - GWSP Obergerlafingen



Wie in dieser Mehrjahres-Grafik für die ARA Emmenspitz ersichtlich korrespondiert das Zufluss-Grundband der Kläranlage sehr gut mit dem Verlauf des Grundwasserspiegels im direkten Einzugsgebiet des Wasseramts der ZASE-Teilregion "Emme".

Anmerkung: Die Abbildungs-Massstäbe für Q24 und Grundwasserspiegel sind „von Auge“ eingepasst für die bestmögliche optische Übereinstimmung.

Q24 ARA Emmenspitz - GWSP Obergerlafingen - 2000 bis 2005

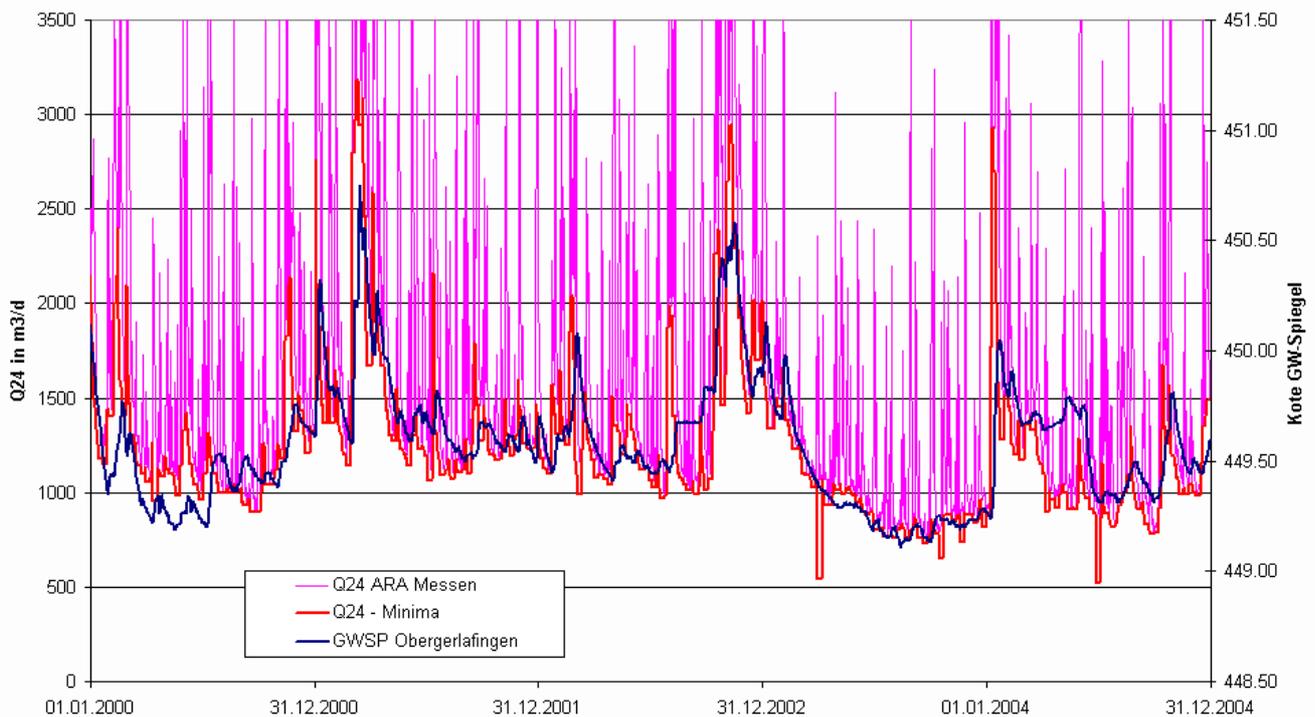


Die vorstehende Darstellung stellt in einer X-Y-Korrelation die Tageswerte von Zuflusswert Q24 und Grundwasserspiegel für die ARA Emmenspitz einander gegenüber.

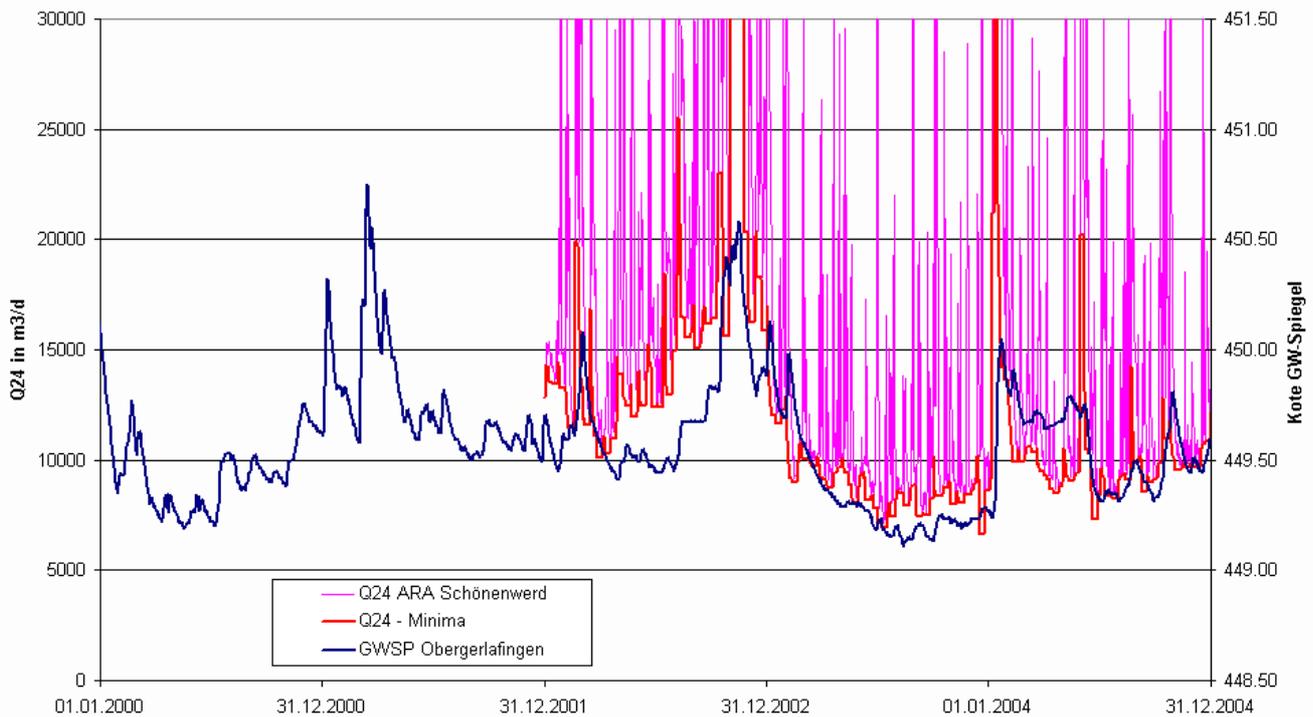
Die in der Grafik eingetragene Trendlinie ist nach Augenmass eingesetzt. Diese dokumentiert, dass das Grundband des Zuflusses für die ARA Emmenspitz-Zuchwil pro 45 cm GW-Spiegeländerung um 20'000 m³ pro Tag variiert.

Für die weiteren untersuchten Kläranlagen sind die Gegenüberstellungen ARA-Zufluss und Grundwasserspiegel in den folgenden Abbildungen wiedergegeben.

Q24 ARA Messen - GWSP Obergerlafingen



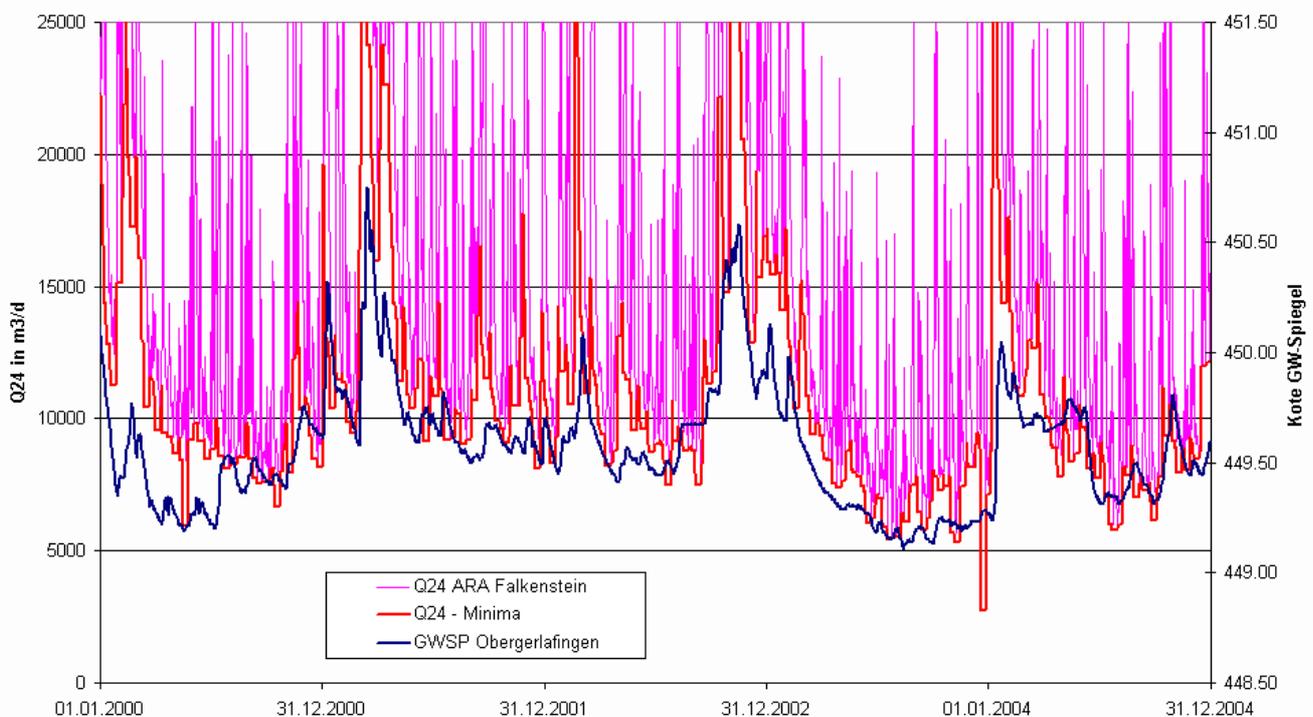
Q24 ARA Schönenwerd - GWSP Obergerlafingen



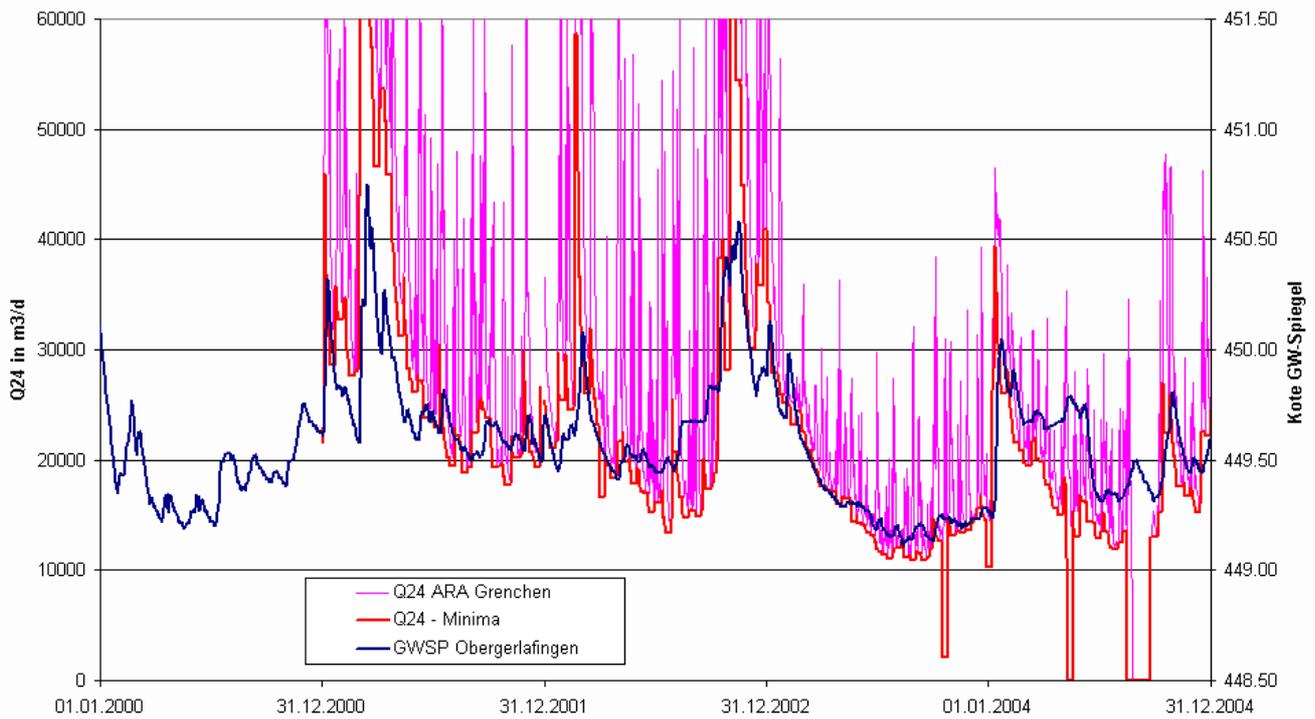
Die verfügbaren Zeitbereiche der ARA-Daten sind unterschiedlich. Der vorhandene Zusammenhang Q24 zu Grundwasserspiegel ist jedoch überall gut sichtbar.

Für die Hervorhebung des ARA-Zufluss-Grundbands wurde eine einfache Minimalwert-Funktion über mehrere Tage verwendet. Diese erhebt keinen Anspruch auf statistische Relevanz.

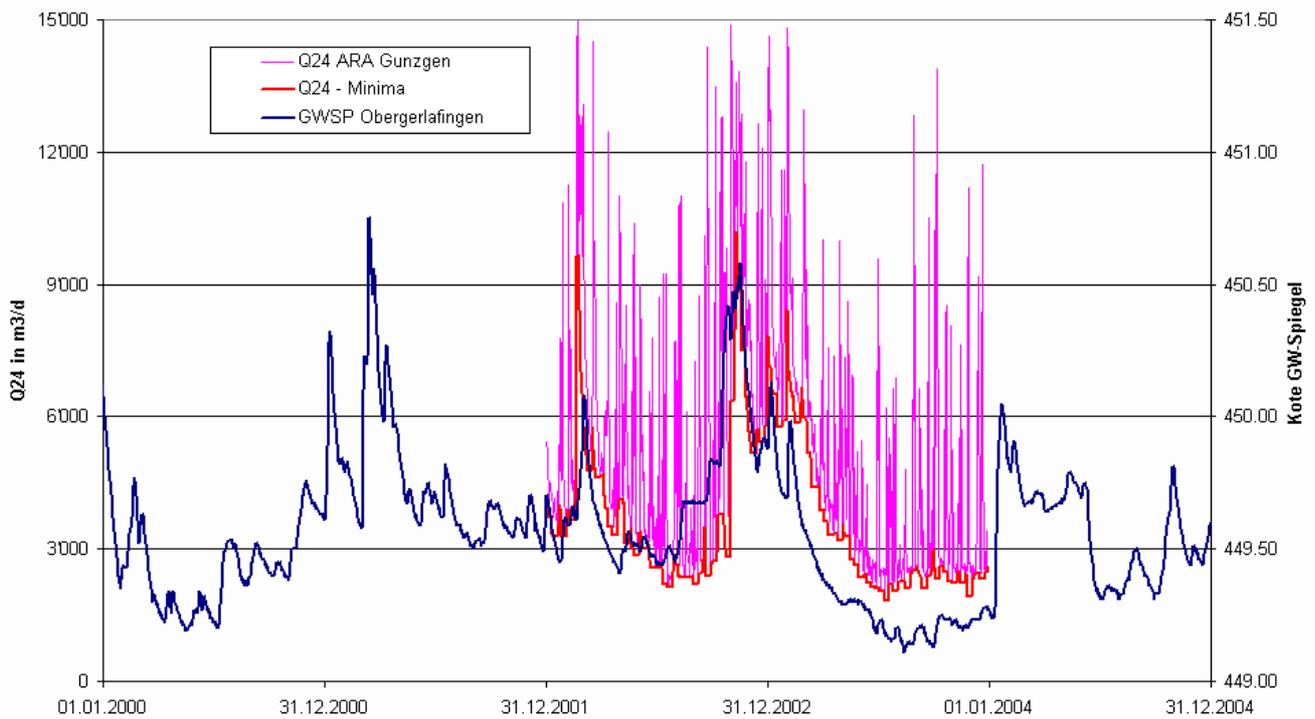
Q24 ARA Falkenstein - GWSP Obergerlafingen



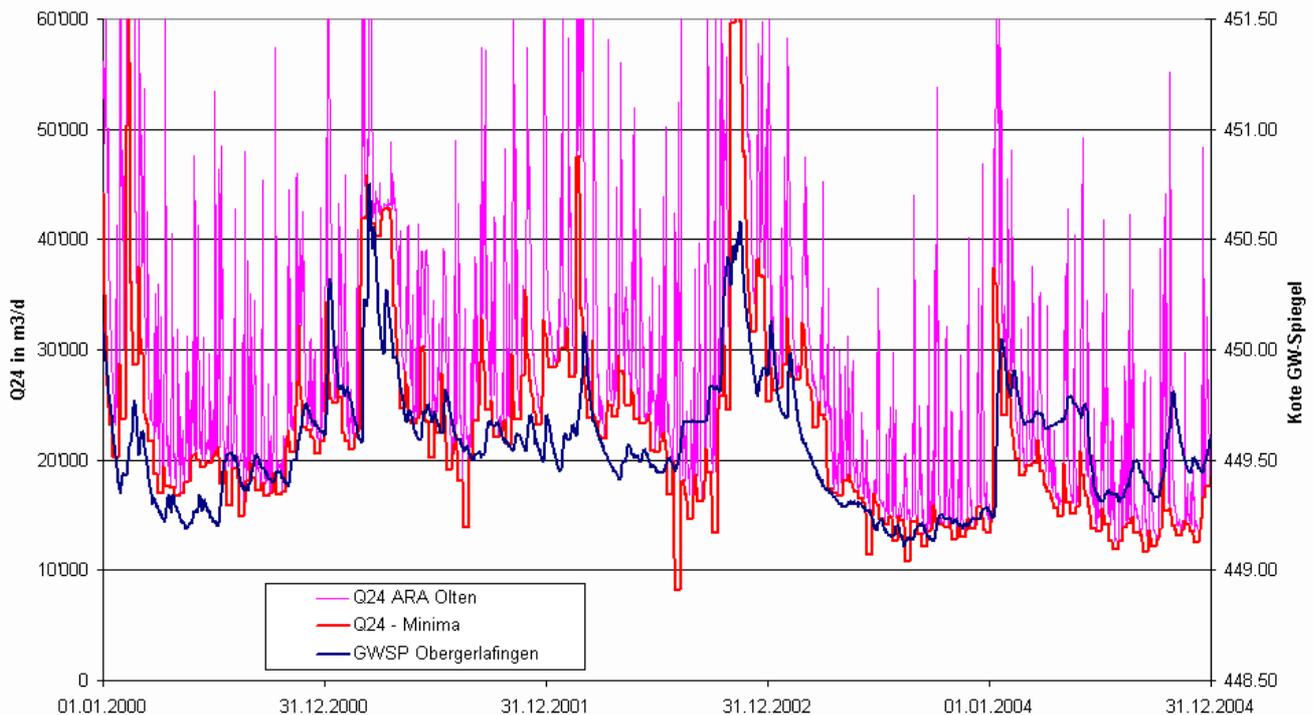
Q24 ARA Grenchen - GWSP Obergerlafingen



Q24 ARA Gunzgen - GWSP Obergerlafingen



Q24 ARA Olten - GWSP Obergerlafingen



Bemerkenswert ist wie bereits erwähnt, dass der Grundwasserspiegel des Emme-Grundwasserstroms in Obergerlafingen auch mit den ARA-Zuflussdaten anderer Kläranlagen im Kanton Solothurn südlich des Juras trendmässig eine passable Übereinstimmung ergibt, wie in der letzten Abbildung am Beispiel der ARA Olten sichtbar.

Die Darstellungen für die verschiedenen Kläranlagen dokumentieren, dass **alle** hier untersuchten Solothurner ARAs ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes **Nachlaufproblem** haben. Dabei beansprucht die Erholung des Zuflusses nach grösseren Niederschlägen auf normale „trockene“ Werte mehrere Tage oder sogar Wochen.

Die sichtbare bemerkenswerte Übereinstimmung dieser Rückbildungs-Verläufe mit dem Grundwasserspiegel legt folgende Feststellungen nahe:

- ▶ *Die erhöhten Grundbandzuflüsse zu den Kläranlagen sind nicht in erster Linie die direkte Auswirkung der Niederschläge über oberflächliche Zuflüsse, vernässte Böden und Hausdrainagen, welche primär die sichtbaren Zuflussspitzen hervorrufen.*
- ▶ *Vielmehr ist gemäss den vorgenommenen Vergleichen und Korrelationen ein wesentlicher Teil der Grundbandzuflüsse der ARAs auf grundwasser-induzierte Zuflüsse zurückzuführen, welche über undichte Leitungen sowie Liegenschafts-Entwässerungen im Grundwasser-Schwankungsbereich ins Kanalnetz gelangen.*
- ▶ *Kommunale und regionale Fremdwasser-Untersuchungen müssten somit zwingend lokale Grundwasserpegel-Aufzeichnungen mit einbeziehen und als Messkampagnen über längere Zeiträume angelegt werden.*
- ▶ *Auf der Grundlage kurzer Messperioden oder gar nur von Stichproben können die entscheidenden Zusammenhänge und Abhängigkeiten nicht erkannt werden.*

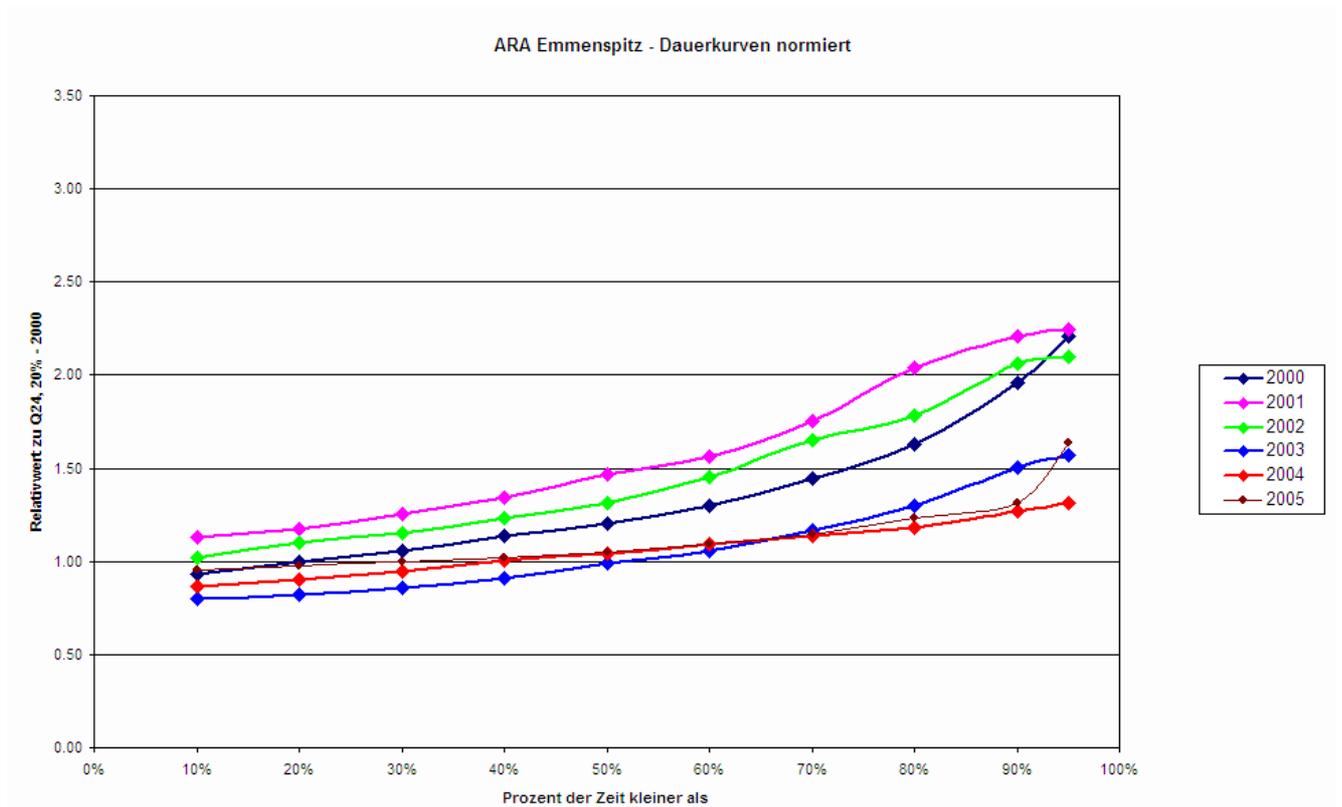
Diese Folgerungen werden untermauert durch die Korrelationen der $Q24_{ARA}$ mit den Grundwasser-Niveaux, mit guten Übereinstimmungen der Zufluss-Minima mit dem GWSP, unabhängig von der Jahreszeit und weiteren möglichen Einflussgrössen.

4. Gegenüberstellung Zuflussmengen-Dauerkurven

Dauerkurven sind eine sehr einfach zu interpretierende Statistik für die Beurteilung von Messdaten-Zeitreihen. Diese ermöglichen eine rasche Beurteilung der Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Wert innerhalb des vorhandenen Datenspektrums erreicht, unter- beziehungsweise überschritten wird.

Dauerkurven der ARA-Zufluss-Tageswerte zum Beispiel lassen sich ebenfalls für verschiedene Jahre miteinander vergleichen; sowie, wenn diese auf einen bestimmten Bezugswert normiert werden, für verschiedene Anlagen einander gegenüberstellen.

Die normierte Dauerkurve des ARA-Zuflusses gibt ebenfalls Auskunft darüber, wie das Zuflussspektrum aussieht, was für ein Vielfaches des Trockenwetterzuflusses im Regenfall von der ARA verarbeitet werden muss, und ob z.B. Fremdwasser die relative Steigung der Dauerkurve beeinflusst.



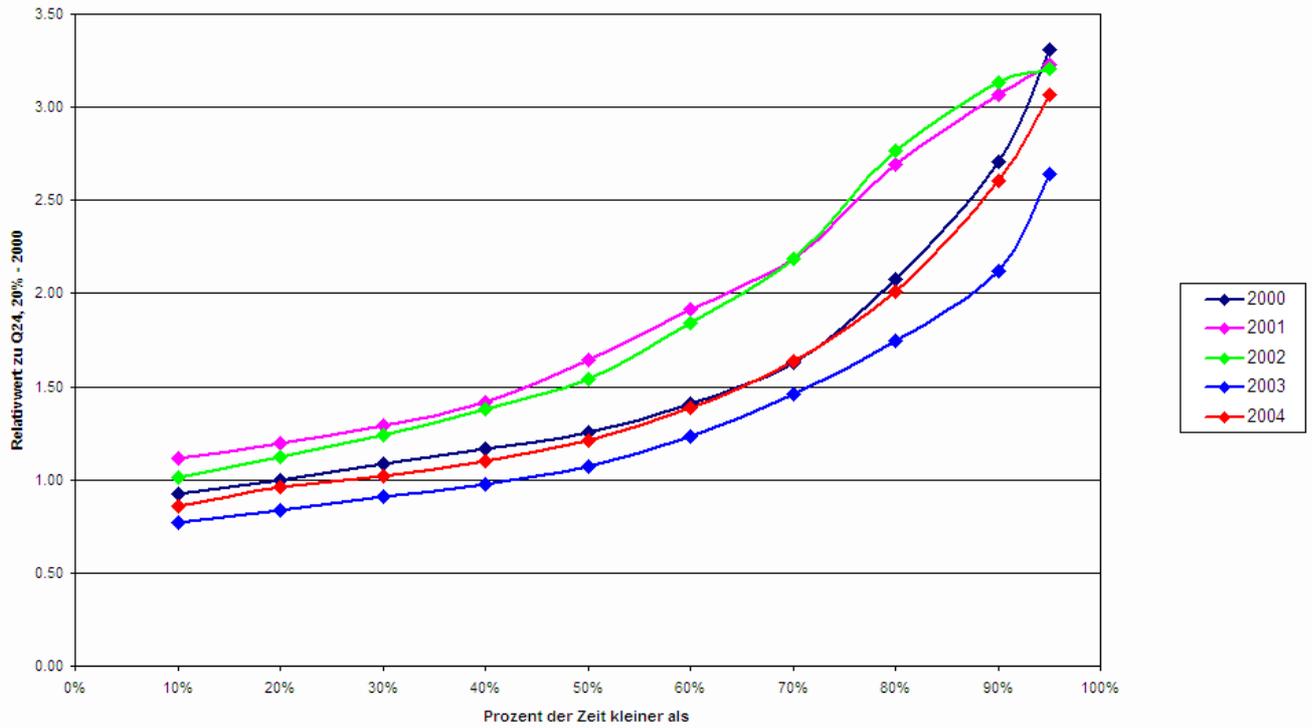
Die vorstehend wiedergegebenen Dauerkurven für die ARA Emmenspitz-Zuchwil wurden mittels Division durch den 20%-Wert für das Jahr 2000 normiert für den Vergleich der einzelnen Datenjahre.

Die „nassen Jahre“ 2001 und 2002 liegen deutlich über den Daten für 2003 und 2004, wovon insbesondere 2003 bekanntermassen als „trockenes Jahr“ beurteilt wird.

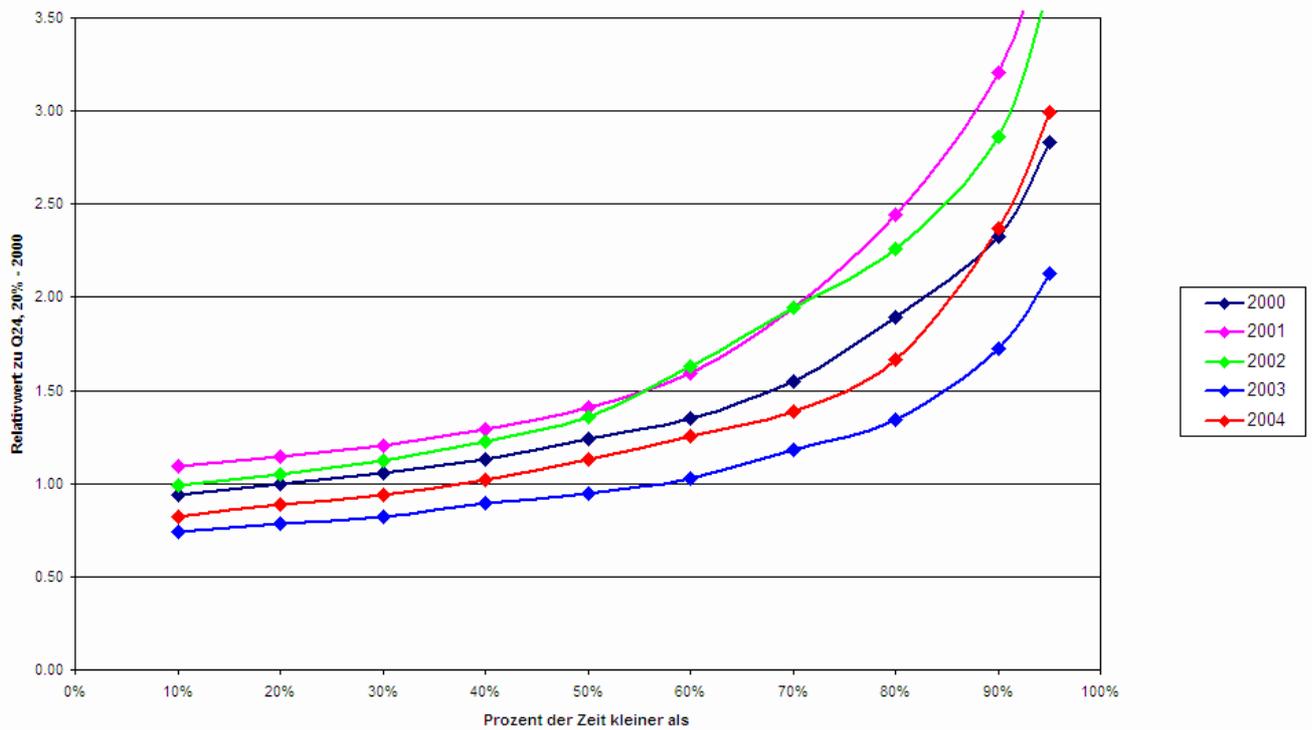
Im Vergleich zur ARA Falkenstein nachfolgend sind die Dauerkurven der ARA Emmenspitz in den Spitzenwerten gedrückt, d.h. dass der ARA-Zufluss bei Regenwetter stärker gedrosselt bzw. begrenzt wird:

Die Amplituden der maximalen Zuflüsse bei Regenwetter weisen bei der ARA Emmenspitz gegenüber dem 20%-Wert eine Amplitude von 1.5 bis 2 auf, bei der ARA Falkenstein dagegen von 3, ebenso in Messen, und in Olten von 2.5.

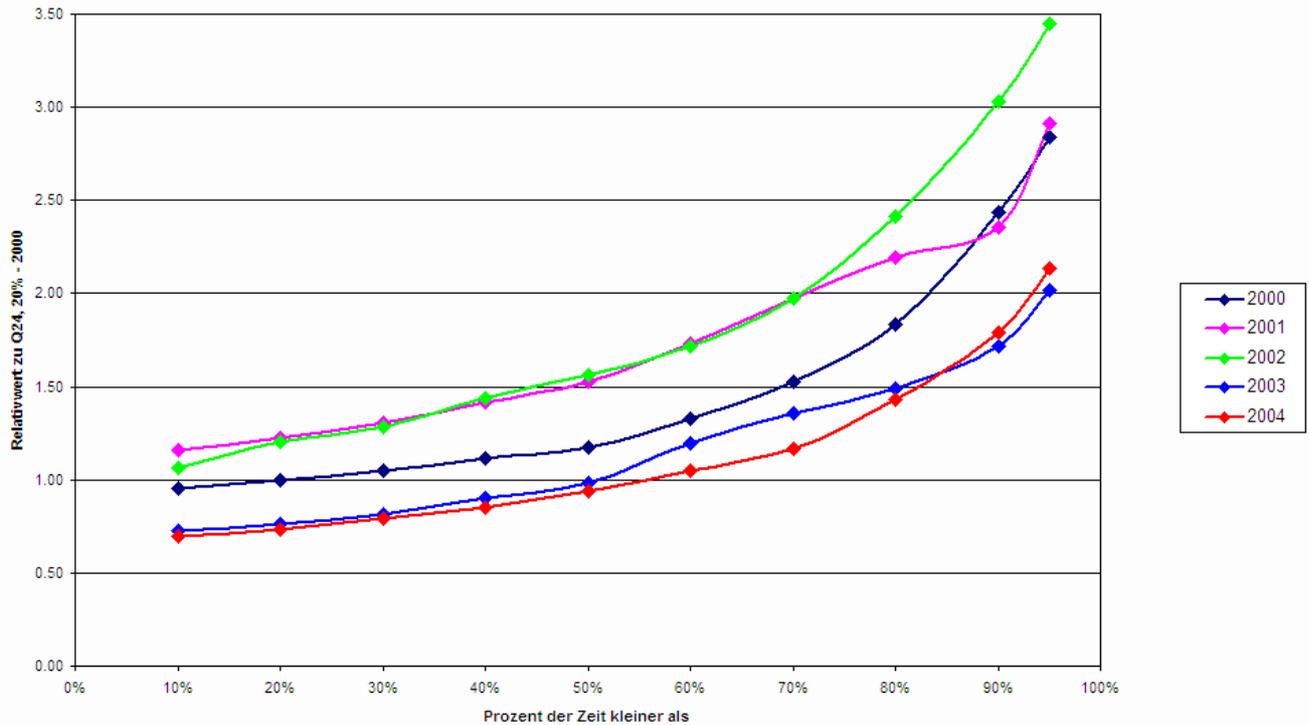
ARA Falkenstein - Dauerkurven normiert



ARA Messen - Dauerkurven normiert

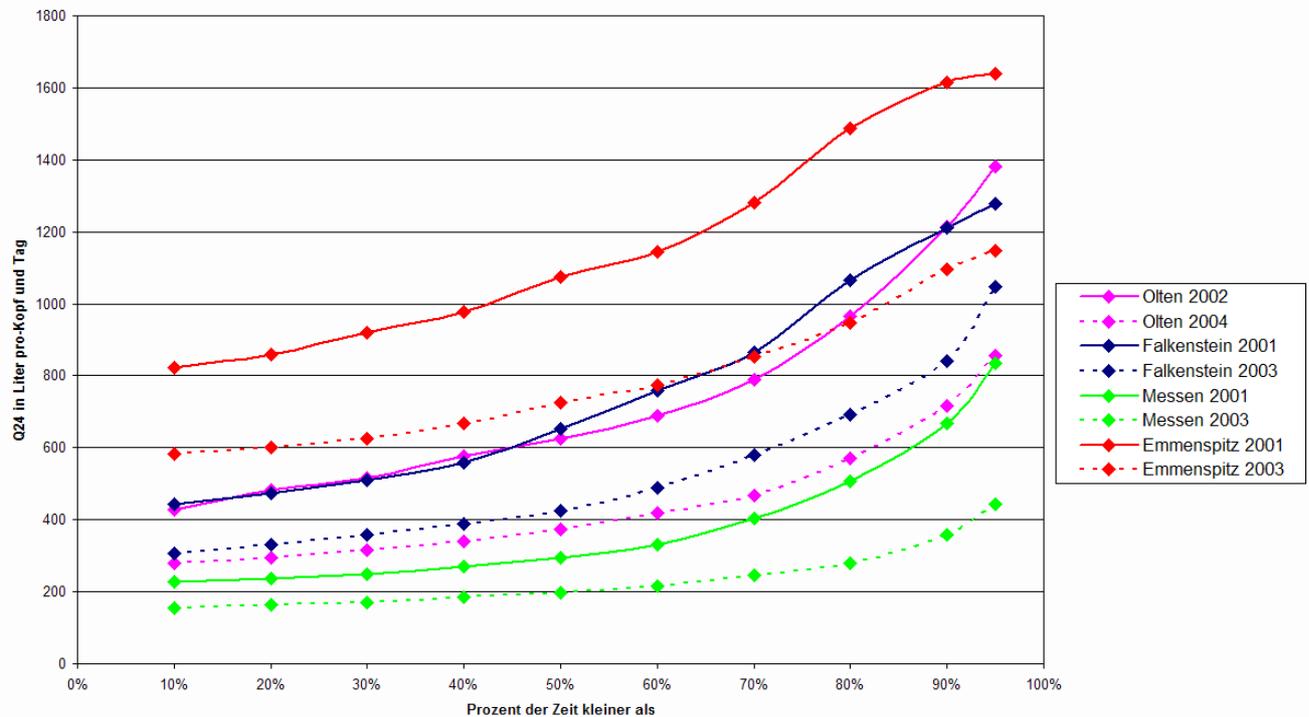


ARA Olten - Dauerkurven normiert



Werden die Dauerkurven der ARA-Zuflüsse Q24 umgesetzt auf Einwohnerwerte, auf der Basis der theoretischen Gleichwert-Zahlen der jährlichen ARA-Betriebsdaten-Auswertungen, dann ergibt sich die nachfolgende Darstellung:

Dauerkurven pro-Kopf-Werte nass / trocken bezogen auf Einwohnerwerte NH_4-N 2002



Als Bezugsgrösse wurden die Einwohnerwerte für 2002 verwendet, basierend auf den Gleichwerten für den NH_4-N gemäss Standard-Auswertung des Kantons Solothurn.

Anmerkung: In den ARA-Betriebsdaten-Auswertungen werden anhand der einwohnerbezogenen Basiswerte pro Kopf (für NH_4-N 7 mg/E.d, für Q24 170l/E.d) für die verschiedenen Stoffwerte aus den Jahresfrachten rückwärts Gleichwerte ermittelt und mit der Anlagen-Dimensionierungsgrösse verglichen. Aus diesen Daten wurden für die vorliegende Untersuchung die Werte für Ammonium-Stickstoff NH_4-N für das Jahr 2002 als Referenzwert zugrundegelegt, siehe nachstehende Tabelle:

Einwohnerwerte aus den Jahres-Auswertungen

ARA		aus Q24				
		2000	2001	2002	2003	2004
Emmenspitz	Rohwasser			65'755		
Olten	abgesetzt	58'127	57'171	54'272	42'856	43'400
Falkenstein	abgesetzt	27'717	25'103	24'231	21'915	22'207
Grenchen	abgesetzt			36'181		32'843
Messen	Rohwasser	7'250	7'847	7'440	6'101	6'580
Flumenthal				4'233	4'819	5'233
Beilach				6'007	6'138	7'152
Gunzgen				11'929	12'586	
Olten	abgesetzt	114%	112%	106%	84%	85%
Falkenstein	abgesetzt	114%	104%	100%	90%	92%
Messen	Rohwasser	103%	111%	106%	87%	93%

aus NH4-N					
	2000	2001	2002	2003	2004
			69'126		
	48'657	48'385	49'175	49'076	56'211
	26'735	26'109	23'480	26'350	25'003
			31'800		38'235
	5'374	5'048	5'322	5'900	6'620
			3'200	4'300	3'470
			6'700	5'870	6'876
			13'840	14'806	
	95%	95%	96%	96%	110%
	110%	108%	97%	109%	103%
	76%	72%	76%	84%	94%

Dargestellt in den Dauerkurven ist jeweils das „nasse Jahr“ 2001 (Ausnahme Olten: 2002) sowie das „trockene Jahr“ 2004 für die vier Anlagen Olten, Falkenstein, Messen und Emmenspitz-Zuchwil.

Die Grafik dokumentiert sehr deutlich die grossen Unterschiede bezüglich der spezifischen Abwassermengen zwischen den verschiedenen Anlagen mit ihren unterschiedlichen Voraussetzungen bezüglich Fremdwasser-Situation.

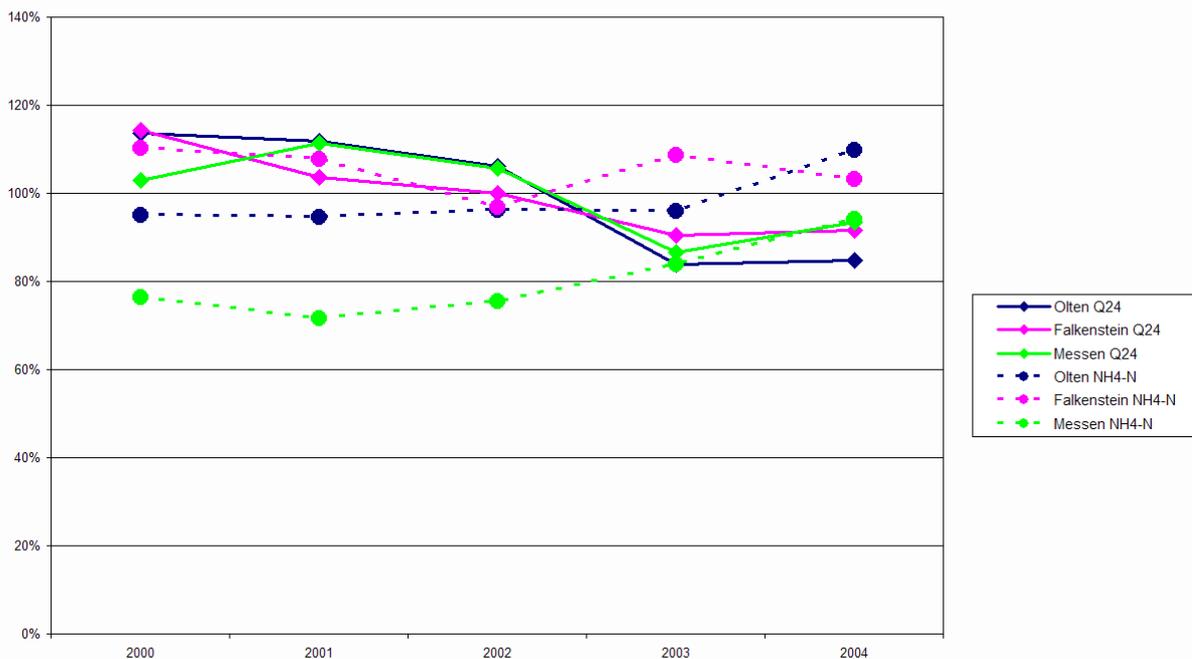
Ebenfalls augenfällig sind die grossen absoluten und relativen Unterschiede bei den verschiedenen ARAs bezüglich des Abwasseranfalls in „trockenen“ (gestrichelte Linien) und „nassen“ Jahren (ausgezogene Linien).

Diese Auswertung zeigt, dass das Fremdwasserproblem zwei verschiedene Dimensionen hat:

- ▶ einerseits liegt ein hohes Fremdwasser-Grundband vor, welches sich bereits am erhöhten „trockenen“ Trockenwetter-Zufluss manifestiert, und
- ▶ andererseits haben wir es mit einer dynamischen Fremdwasser-Situation zu tun, welche sich in der grösseren relativen Steilheit der Dauerkurven manifestiert, und darüberinaus in sogenannten nassen Jahren zusätzlich erhöhte Werte verursacht.

Zur Illustration der verwendeten Gleichwert-Annahmen sind die entsprechenden Zahlen aus der jährlichen Betriebsdaten-Auswertung in der nachstehenden Grafik gegenübergestellt für die drei Anlagen Olten, Falkenstein und Messen, jeweils für die fünf Jahreswerte 2000 bis 2004.

Einwohnerwerte Wasser und Stoff - relativ zum Mittelwert Q24



Bezugsgrösse = 100 % für das vorstehende Diagramm sind die Mittelwerte 2000 bis 2004 für die rückgerechneten Q24-Gleichwerte pro Anlage gemäss Betriebsdaten-Jahresauswertung.

Für den Wertverlauf der relativen Einwohnerwerte Q24 ist wiederum das zuvor festgestellte Muster nass – trocken von 2002 nach 2003 und 2004 feststellbar.

Die gleichen Q24-Einwohnerwert-Mittelwerte wurden ebenfalls auf die rückgerechneten Einwohnerwerte für den $\text{NH}_4\text{-N}$ angewendet. Dabei fällt auf, dass die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gleichwerte für die ARA Messen rund 20 % tiefer liegen als die Zahlen der andern beiden ARAs.

Der Wertverlauf der Einwohnerwerte auf der Basis des $\text{NH}_4\text{-N}$ ist ausgeglichener als beim ARA-Zufluss Q24 und unterliegt offensichtlich nicht dem nass-trocken-Muster wie die Jahres-Wassermengen.

Feststellungen aus der Dauerkurven-Auswertung:

- *Dauerkurven sind ein wertvolles Hilfsmittel zum Verstehen von Zusammenhängen und Unterschieden im Zufluss-Verhalten einer Kläranlage, sowie für den Quervergleich verschiedener ARAs und Einzugsgebiete untereinander.*
- *Die sichtbaren grossen Unterschiede zwischen einzelnen Datenjahren machen deutlich, dass nicht auf einzelne Jahresserien abgestellt werden darf, sondern dass der Bezugszeitraum für Auswertung und Interpretation ausreichend breit gesteckt werden muss.*

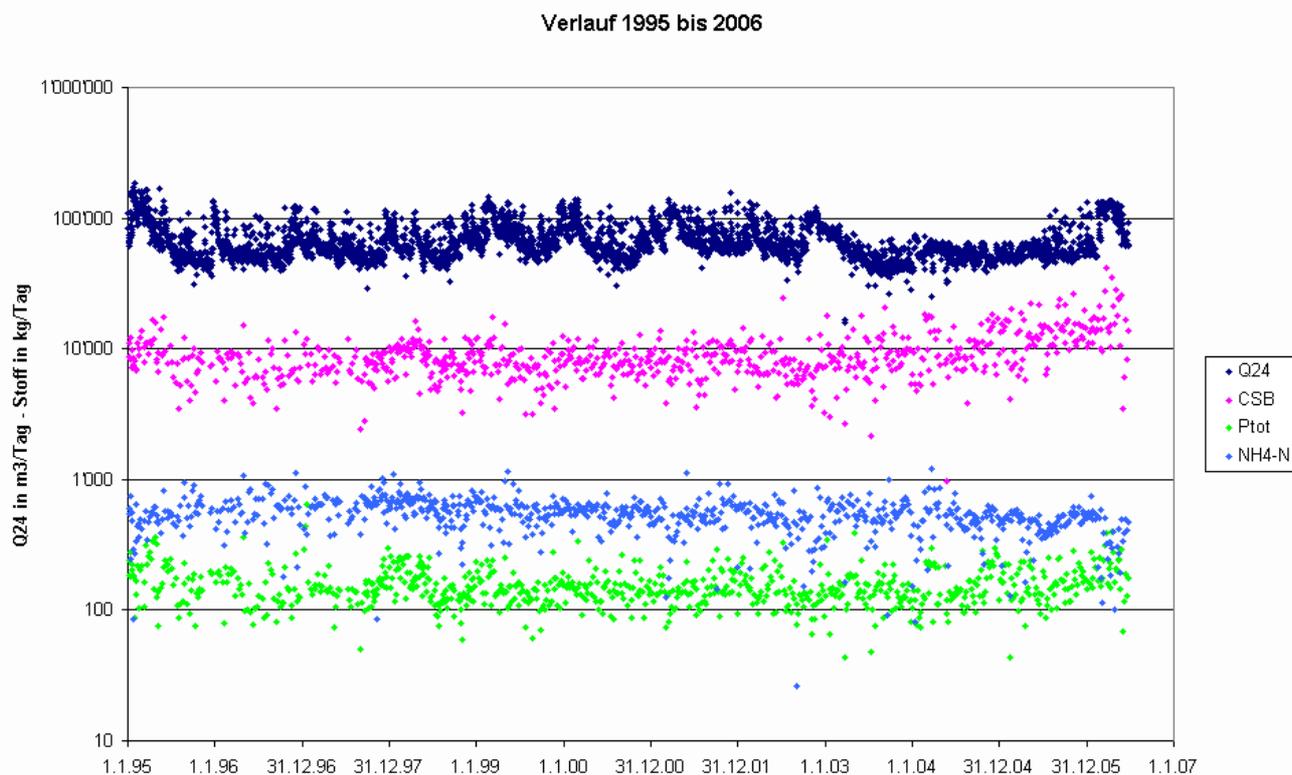
5. Analyse der Stoff-Zusammenhänge am Beispiel der ARA Emmenspitz

Für die Kläranlage Emmenspitz-Zuchwil konnten Aufzeichnungen der Betriebs- und Labordaten für die aussergewöhnlich lange Zeitperiode 1995 bis 2006 für die Auswertungen genutzt werden.

In Anlehnung an sinngemässe Untersuchungen für andere ARA-Regionen wurde versucht, die Stofffrachten im ARA-Zufluss bezüglich deren Abhängigkeit von der Zuflussmenge zu beurteilen, um daraus die Grössenordnung des Stoff-Verlusts über die Entlastungsanlagen im Kanalnetz bei Regenwetter-Zuflüssen abschätzen zu können.

In Verbindung mit den Grundwasserspiegel-Daten wurden die gleichen Stoffwerte ebenfalls auf mögliche Zusammenhänge mit dem Grundwasserstand untersucht.

Die nachfolgenden kommentierten Grafiken geben einen Eindruck über die in der aktuellen Untersuchung gefundenen Erkenntnisse.



Diese Abbildung zeigt den trendmässigen Verlauf Q24 und Stofffrachten im ARA-Zufluss über die untersuchten zwölf Daten-Jahre; die Wertskala ist logarithmisch.

Anmerkung: Der sichtbare Anstieg des CSB ab ca. 2003 ist teilweise systematisch bzw. labortechnisch bedingt, siehe auch nächste Grafiken: Aus nicht ersichtlichen Gründen wurden die Analysenwerte für den CSB bis ins Jahr 2002 auf 180 mg/l "maximiert", was einen auffallenden Trend der entsprechenden Punkteschar in der Korrelation Stofffracht – Zufluss ergibt.

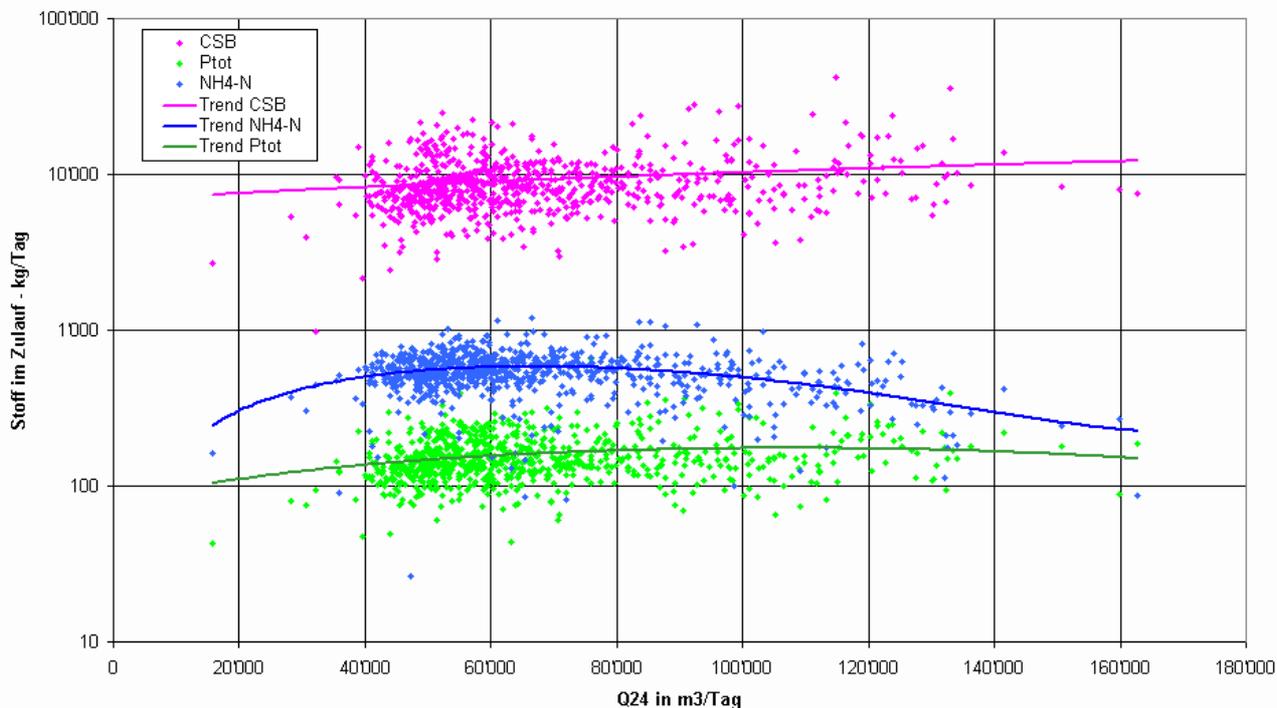
Ab 2003 sind beim CSB höhere Konzentrationswerte bis zur doppelten Grösse zu finden, was aus dem Diagramm mit den Konzentrations-Werten in mg/l ersichtlich ist (siehe übernächste Seite).

Durch diese laborbedingte "Spezialität" ergeben sich ab 2003 teilweise höhere CSB-Frachten als in den Jahren zuvor.

Die Korrelation der Stoffwerte als Frachten in kg pro Tag mit den Zuflussmengen Q24 in den beiden folgenden Diagrammen -logarithmisch und linear- zeigt, dass CSB und Phosphor mit wesentlichen partikulären und damit absetzbaren Fracht-Anteilen mit wachsender Zuflussmenge tendenziell schwach bis deutlich zunehmen infolge Resuspension von Trockenwetter-Ablagerungen im Kanalnetz.

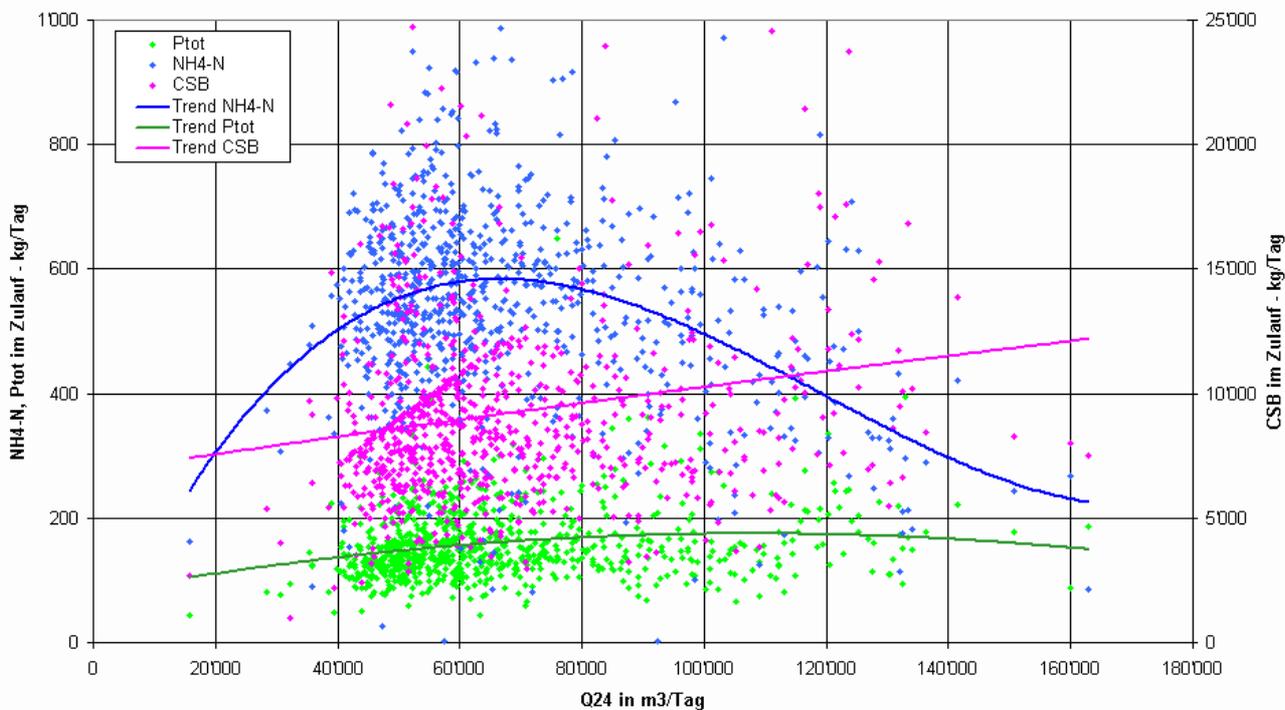
Im Gegensatz dazu nimmt der Ammonium-Stickstoff $\text{NH}_4\text{-N}$, welcher nur in gelöster Form vorhanden ist, deutlich ab. Dies lässt darauf schliessen, dass ein Teil dieser Stofffracht bei hohen Zuflüssen vor der ARA mit dem Überlaufwasser über Entlastungsanlagen im Kanalnetz verlorengeht.

Korrelation Frachten Zulauf über Q24 - 1995 bis 2006



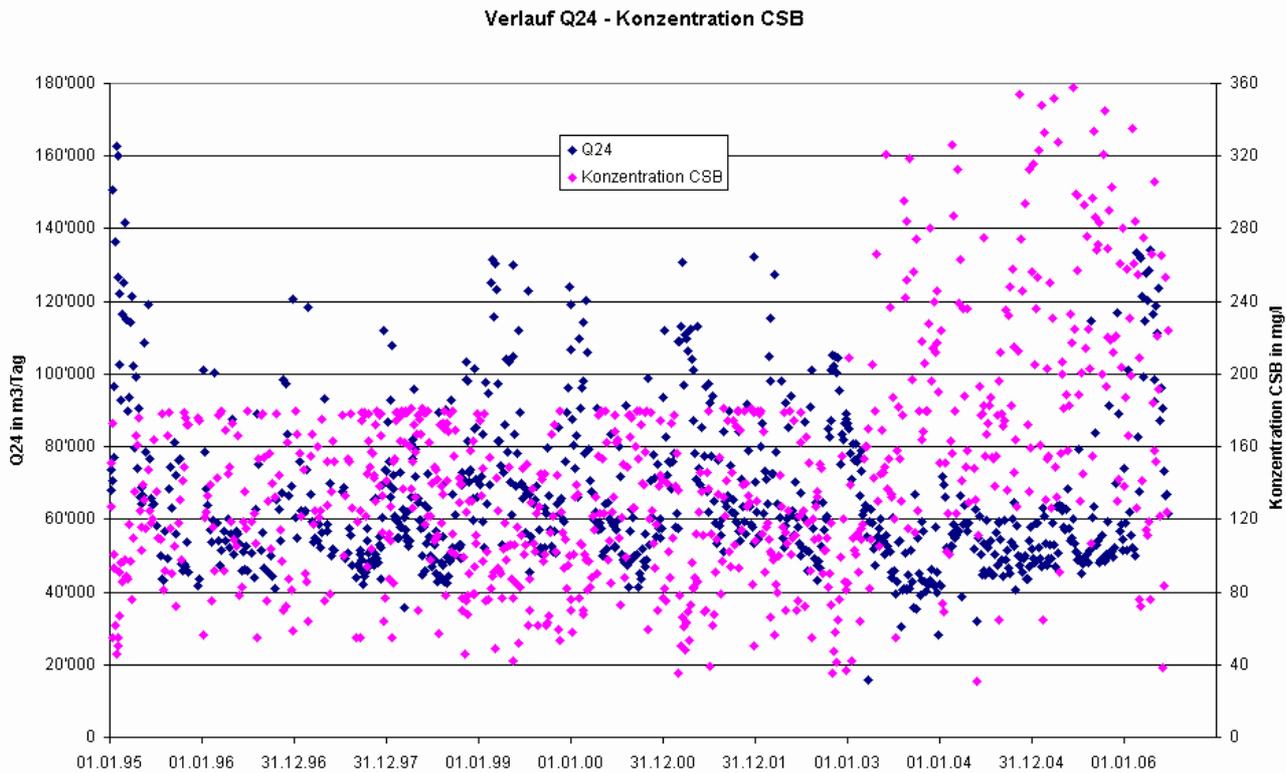
Dieser Stoff-Verlust ist insbesondere in der nachfolgenden linearen Darstellung sehr deutlich sichtbar.

Korrelation Frachten Zulauf über Q24 - 1995 bis 2006

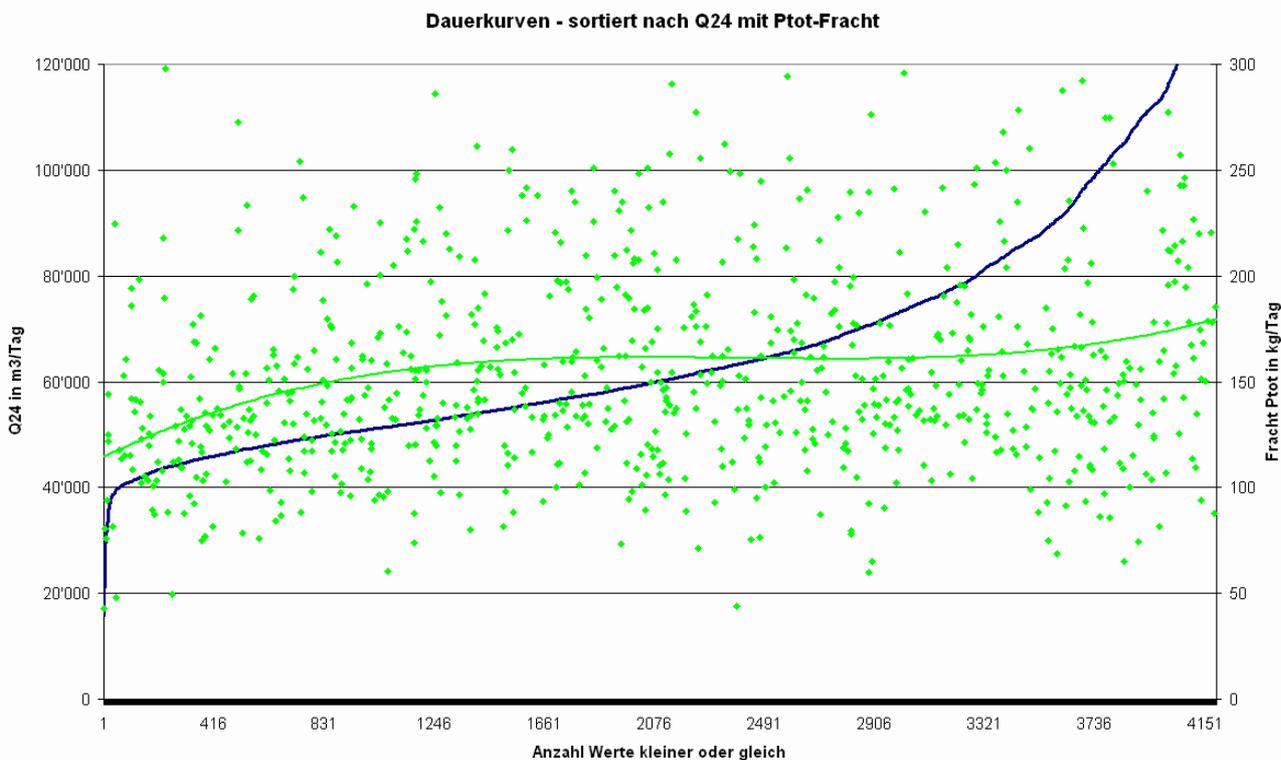


Aus diesem unterschiedlichen Verhalten der gelösten gegenüber den partikulären Stoffanteilen kann vermutet werden, dass der *Stoffverlust durch Regenüberläufe* zwar *bei allen Stoffen* vorhanden ist, dass aber bei den vorwiegend partikulären Stoffen eine teilweise Kompensation des Verlusts erfolgt

durch die Resuspension von Trockenwetter-Kanalablagerungen im Netz bei erhöhter Schleppkraft infolge Regenwetterzufluss.



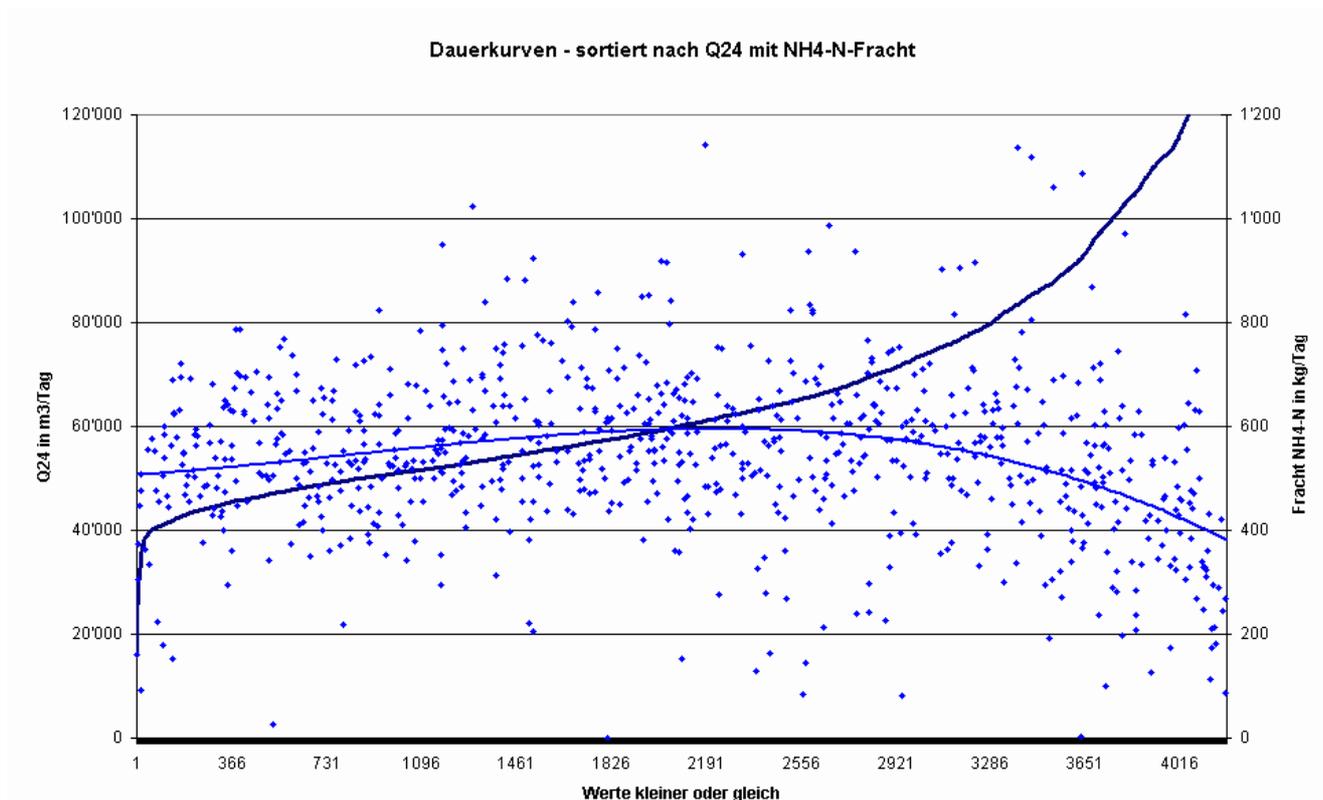
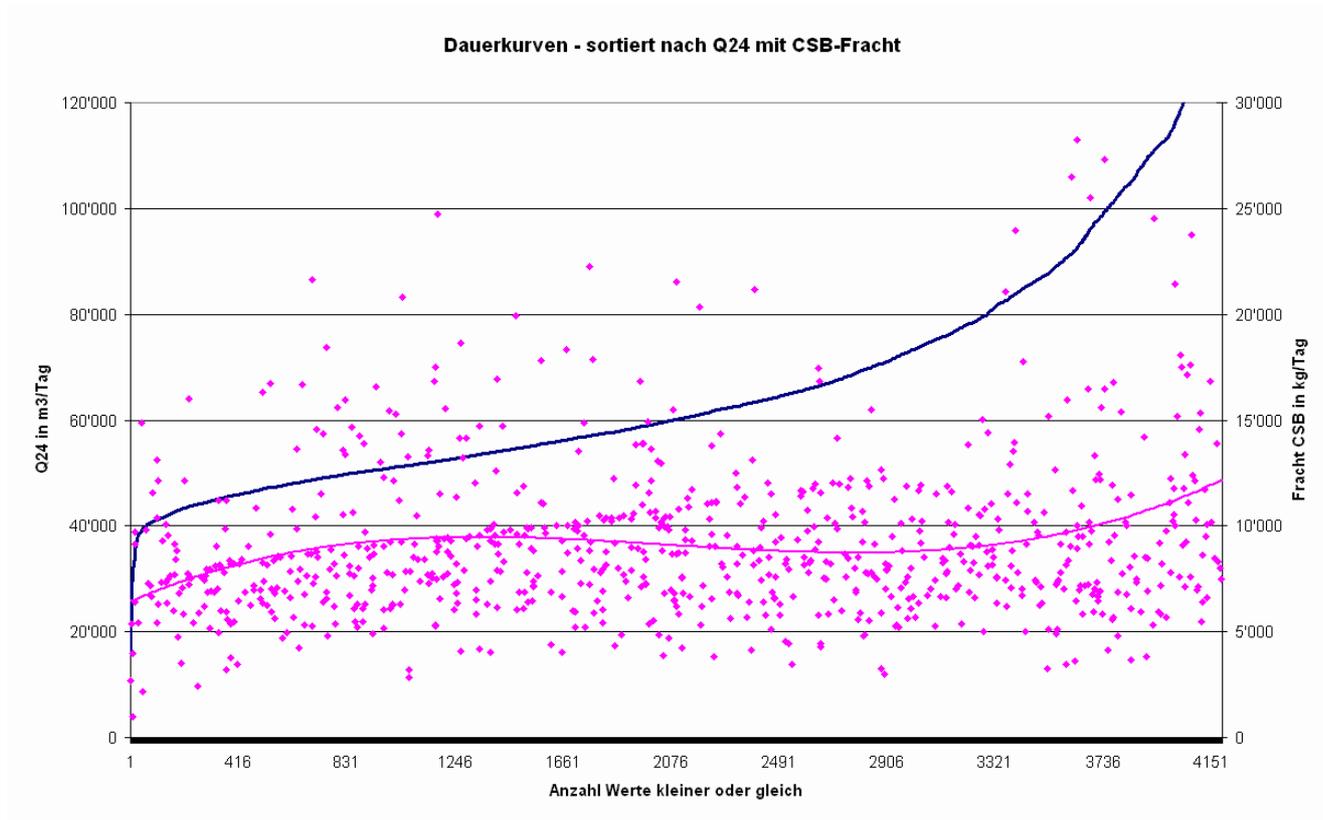
Die Darstellung der aus den zur Verfügung gestellten Frachtwerten rückgerechneten CSB-Konzentrationen über die Zeit dokumentiert die vorgenommene Maximierung der Analysenwerte auf 180 mg/l bis Ende 2002. Eine Begründung für diese Praxis ist nicht verfügbar.



Die Abhängigkeit der Stoffwerte von der Grösse der Zuflussmenge in Relation zur Auftretens-Häufigkeit lässt sich dokumentieren, wenn die **ARA-Zuflüsse als Dauerkurve** dargestellt werden, und zu diesen rangierten Tageswerten Q_{24} die entsprechenden Stofffrachten für die Analysen-Tage aufgetragen werden.

Die Darstellung als Dauerkurve der Q_{24} ermöglicht eine Abschätzung der anteiligen Frachten über das Gesamtspektrum der Zuflüsse, beziehungsweise über die betrachtete Dauer der Zeitreihen.

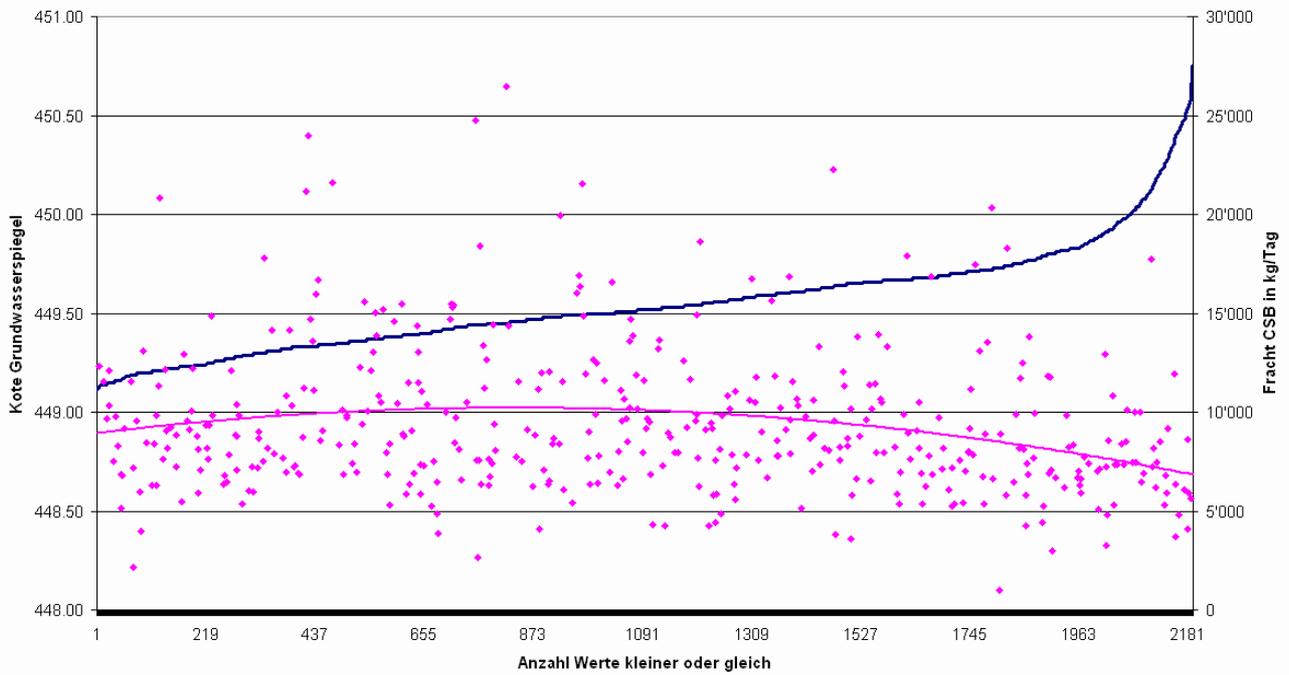
Auch hier ist an der Häufung einzelner Datenpunkte in der CSB-Grafik der Einfluss der zuvor erwähnten 180-mg-Grenze gut sichtbar.



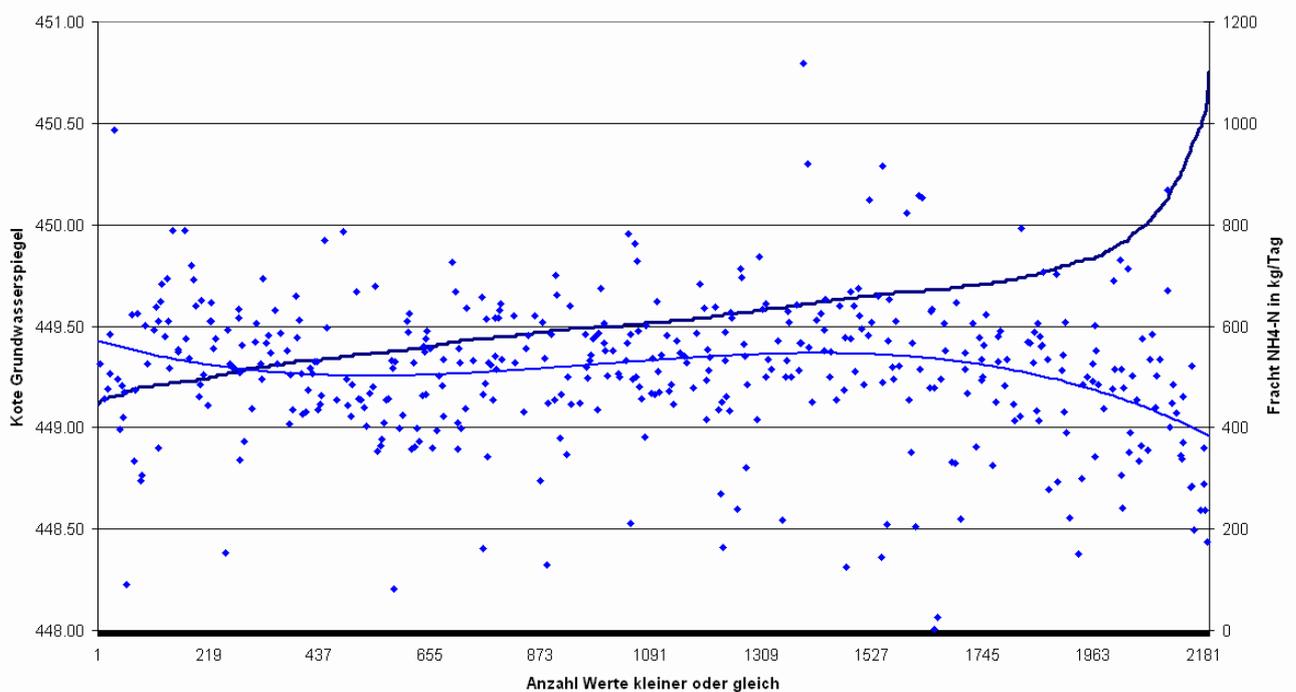
Beim Trend für den Ammonium-Stickstoff über das Spektrum der Werte Q_{24} ist in dieser Darstellung der zunehmende Fracht-Verlust sehr deutlich sichtbar: Bei den grössten Zuflusswerten fehlt auf der ARA Emmenspitz rund ein Drittel der NH_4 -N-Stofffracht infolge der Überläufe im Kanalnetz.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurde nachfolgend versucht, die Stofffrachten ebenfalls mit den **Grundwasserspiegel-Zahlen** in Beziehung zu setzen, ergänzend zu den Zuflussmengen.

Korrelation Fracht CSB über Grundwasserspiegel Obergerlafingen
2000 bis 2005



Korrelation Fracht NH_4 -N über Grundwasserspiegel Obergerlafingen
2000 bis 2005



In der oberen der beiden Grafiken zeigt sich nun ein anderes Bild als zuvor: Bei hohen Grundwasserspiegeln ist nämlich ebenfalls beim CSB mit partikulärem Anteil eine deutliche Abnahme erkennbar.

Aus dem hier sichtbaren Zusammenhang ist zu schliessen, dass nicht nur Regenzuflüsse, sondern ebenfalls erhöhte Fremdwasserzuflüsse infolge hohem Grundwasserspiegel zu Stoffverlusten an Entlastungsanlagen im Netz führen: Das infolge Fremdwasser reduzierte „Weiterleitfenster“ führt dazu, dass diese früher, häufiger und länger überlaufen sowie dementsprechend grössere Mischwassermengen in die Gewässer abschlagen.

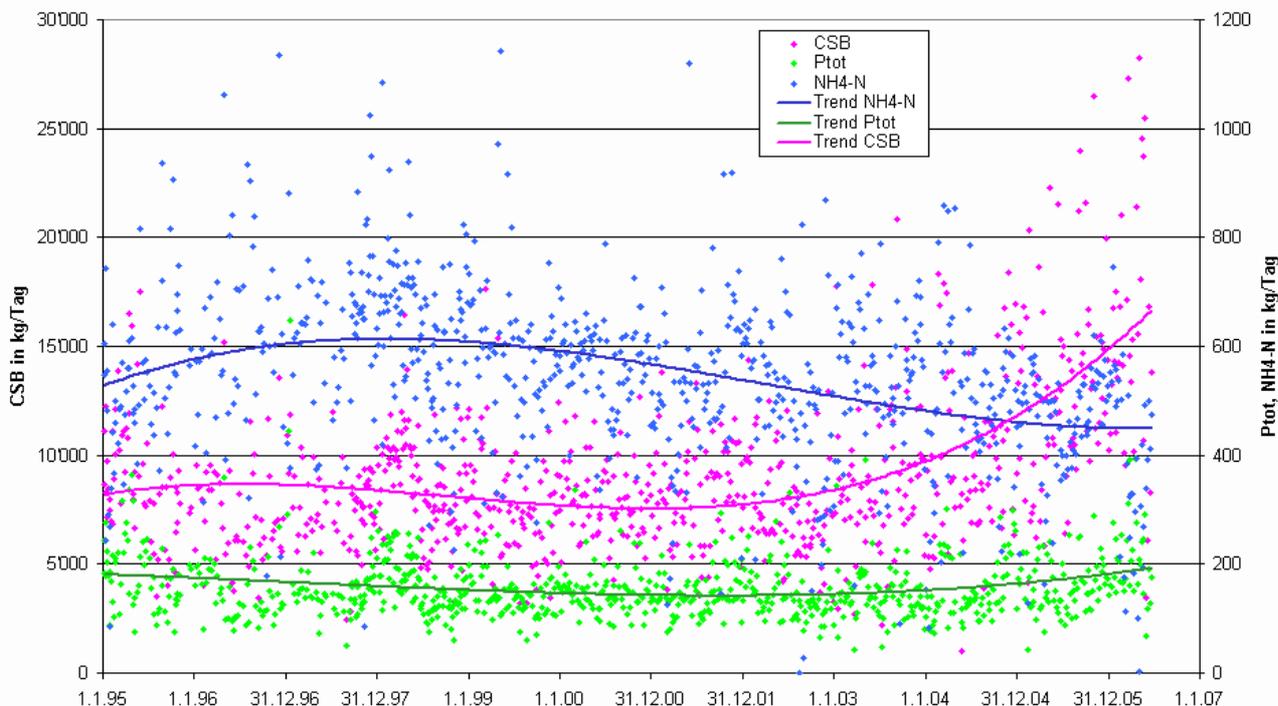
Der hier sichtbare Effekt darf ohne weitergehende Untersuchungen *nicht verallgemeinert* werden, denn dieser ist abhängig von der jeweiligen Abfluss-Dynamik sowie von der Grössenordnung der Fremdwasserzuflüsse, und weiter von der verfügbaren spezifischen Weiterleitmenge r_{ab} der massgebenden Entlastungsanlagen in Relation zum vorhandenen Fremdwasser-Spektrum.

Wie in einer früheren Untersuchung an der *Pilotanlage Schwingbremse auf dem ZASE-Kanal "Emme"* im Derendinger Schachen festgestellt, ist auf diesem Hauptkanal das Fremdwasser-Spektrum ausserordentlich gross, was die spezifischen Verhältnisse der ARA Emmenspitz erklären kann.

Anmerkungen:

1. Die mittleren Stofffrachten in den beiden Untersuchungen Basis ARA-Zuflussmenge Q24 – 1995 bis 2006 sowie Basis Grundwasserspiegel – 2000 bis 2005 sind nicht identisch, weil die untersuchten Zeitbereiche differieren.
2. Die ermittelten Stoff-Verluste für die ARA Emmenspitz werden teilweise überlagert durch Schwankungen der Stoffmengen über die untersuchten Jahre, siehe nachstehende Grafik des zeitlichen Verlaufs der Stofffrachten.
3. Eine Beschränkung der Untersuchung auf die fünf Arbeitstage ohne Wochenend-Werte ergibt für die ARA Emmenspitz nur eine unbedeutende Veränderung der gefundenen Erkenntnisse.

Verlauf 1995 bis 2006



6. Einfluss der Niederschlagsverhältnisse

Unter Verwendung der lokalen Daten des Kantonalen Niederschlags-Messnetzes Solothurn wurde versucht, den Charakter verschiedener ARA-Zuflüsse ebenfalls anhand der Regendaten weitergehend zu analysieren.

Verwendet wurden die Daten folgender Regenmessstationen:

<i>ARA Emmenspitz-Zuchwil</i>	<i>Regenmesser PW Oekingen</i>
<i>ARA Messen</i>	<i>Regenmesser ARA Messen</i>
<i>ARAs Olten und Falkenstein</i>	<i>Regenmesser Olten</i>

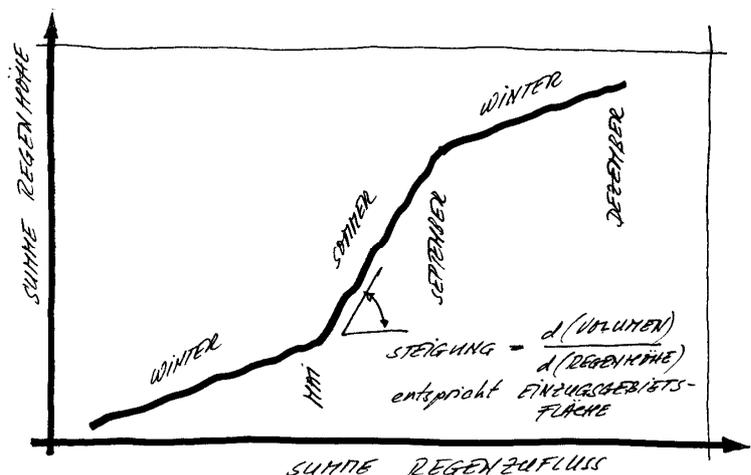
Dieses Vorhaben wird durch verschiedene Hindernisse kompliziert:

- ▶ Die Auswirkung der Regendaten bemisst sich einerseits durch das *Regenvolumen bzw. die Regenhöhe* in mm, und andererseits durch die *Regenintensität* in mm pro Zeiteinheit.
- ▶ Die ARA-Zuflüsse liegen in der Regel nur als Tagessummen vor, zudem sind sie durch Einlaufhebwerke sowie vorgeschaltete Entlastungen begrenzt.
- ▶ Die Zeitkonstanten (Anlaufzeit, Fließzeiten, Entleerzeiten von Speicheranlagen und Pumpensämpfen, etc.) können in grossen Verbandsnetzen erheblich sein.
- ▶ Gleiches gilt für die Füllungs-, Entleer- und Nachlaufzeiten von natürlichen Reservoirs in Form der Bodenspeicher.
- ▶ Ein ausreichend starker „Niederschlags-Impuls“ selbst von begrenzter Dauer, z.B. drei bis sechs Stunden, kann mit diesen trägen Reaktionen Auswirkungen haben, welche sich über mehrere Tage nach dem Ereignis noch manifestieren.
- ▶ Kurze und heftige Gewitter mit hohen Regenintensitäten auf trockenen Boden werden demgegenüber zum grösseren Teil über Hochwasserentlastungen abgeschlagen und wirken sich daher auf der ARA nur geringfügig aus. Zusätzlich ist deren räumliche Ausdehnung meistens begrenzt, was deren Auswirkung auf die ARA weiter reduziert.
- ▶ Bei ausserordentlichen Extremereignissen können weitere Sondereinflüsse eine wesentliche Rolle spielen, wie Überläufe und Rückflüsse aus Gewässern ins Kanalnetz, Ableitung von Regenwasser aus überfluteten Gebäudeteilen, oder Nachlaufen von Sickerwasser aus Strassenböschungen in Schlammsammler.
- ▶ Die Abhängigkeit der Konzentrations-Werte für den gelösten Parameter NH₄-N unterliegen neben dem direkten Niederschlagseinfluss weiteren teilweise komplexen Zusammenhängen.

Durch diese verschiedenen Aspekte ist der *direkte* Regen-Einfluss auf die ARA-Zuflussmengen sowie auf die Stoffkonzentrationen und -frachten mehr oder weniger stark verzerrt; simple direkte Korrelationen sind deshalb schwierig und nicht zielführend.

Aus diesen Gründen wurde für die Beurteilung der Regenwasser-Zuflüsse zu den Kläranlagen ein vereinfachender Alternativ-Ansatz versucht über doppelt-kumulierte Werte:

1. Die um die Trockenwetter-Werte reduzierten „Regenwasser“-Zuflussmengen werden jahreweise aufkumuliert und mit den ebenfalls summierten Regenhöhen in Beziehung gesetzt.
2. Als Trockenwetter-Menge wird dabei vereinfachend für jedes Jahr der jeweilige 20%-Wert aus der Dauerkurve eingesetzt.
3. Ein Abzug für den Anfangsverlust am Regenbeginn wurde bei der Regen-Summierung vorerst nicht



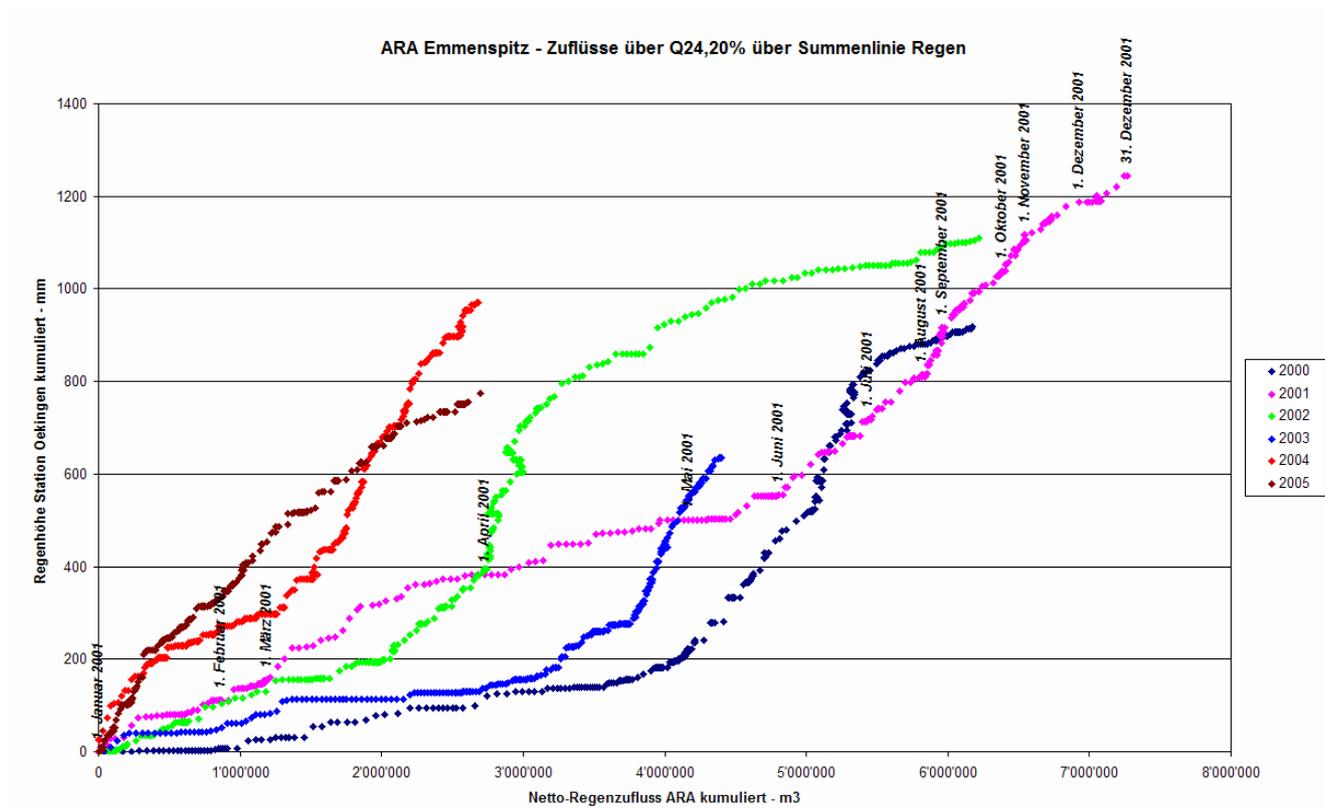
einbezogen; dieser würde die Oberflächen-Benetzung und den Muldenrückhalt berücksichtigen.

4. Die so ermittelten „nassen“ Netto-Zuflüsse enthalten neben dem direkten Regenzufluss ebenfalls einen Teil des zeitlich verzögerten Nachlaufs in Form von „dynamischem Fremdwasser“.
5. Demgegenüber ist das Grundband-Fremdwasser im 20-%-Wert bereits enthalten.
6. Die dargestellten Punktverläufe der Regenzuflüsse für die einzelnen Jahre unterscheiden sich je nach Kläranlagen-Einzugsgebiet. Jeweils für das Jahr 2001 sind auf der Summenlinie die Monats-Ersten markiert zum besseren Verständnis.
7. Die Ableitung = *Steigung der Beziehung Regenzufluss [m³] / Regenhöhe [m]* repräsentiert das massgebende, auf der Kläranlage *abflusswirksame Einzugsgebiet [m²]* in den entsprechenden Einheiten.
8. Die verschiedenen Steigungen im Sommer und Winter widerspiegeln das unterschiedliche Verhalten der Böden als Wasserspeicher: rascheres Abtrocknen im Sommer durch grössere Evapotranspiration, stärkere Vernässung im Winter.
9. Die gleiche Auswirkung spürt auch der Grundwasserhaushalt, mit tiefen Werten im Sommer und Maxima im Winter.

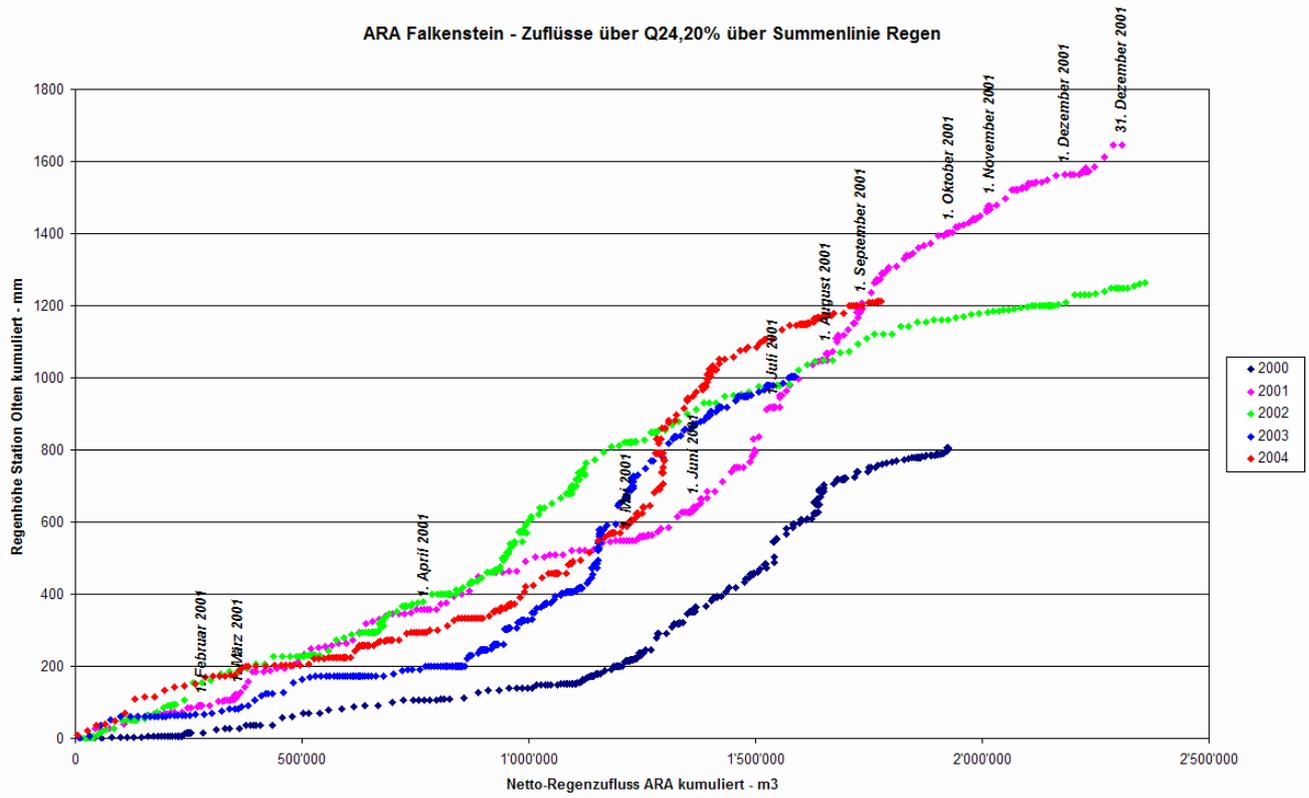
Nachfolgend sind vier ausgewählte Grafiken zum Zusammenhang kumulierter Niederschlag – kumulierter ARA-Regenzufluss wiedergegeben und kommentiert.

Die Unterschiede der jahrezeitlichen sind in den verschiedenen Jahren und für die verschiedenen Kläranlagen-Einzugsgebiete sehr individuell ausgeprägt.

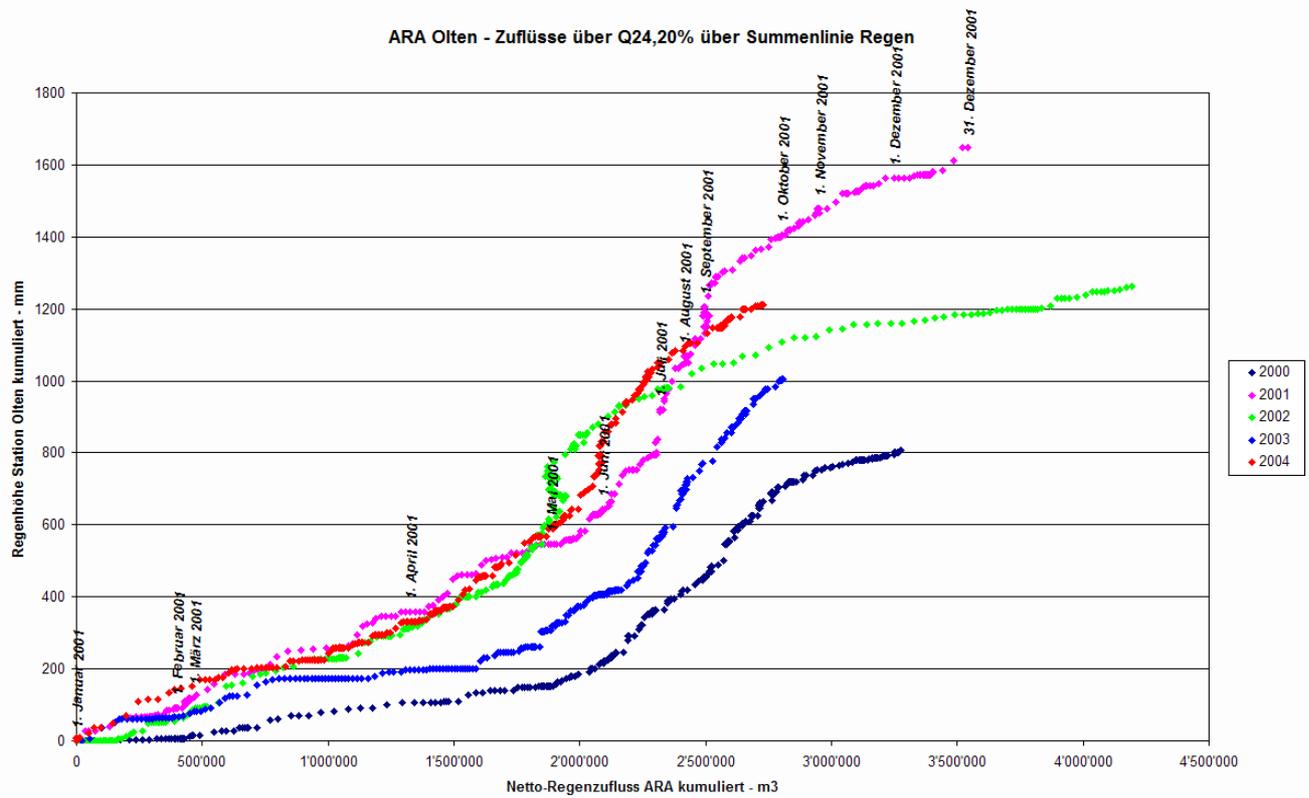
„Negative“ anstatt stetiger Kurvenverläufe deuten darauf hin, dass der „Trockenwetter-Abzug“ entsprechend dem 20-%-Wert der Q24-Dauerkurve zur Ermittlung des Netto-Regenabflusses für die trockenen Sommermonate teilweise zu gross war.



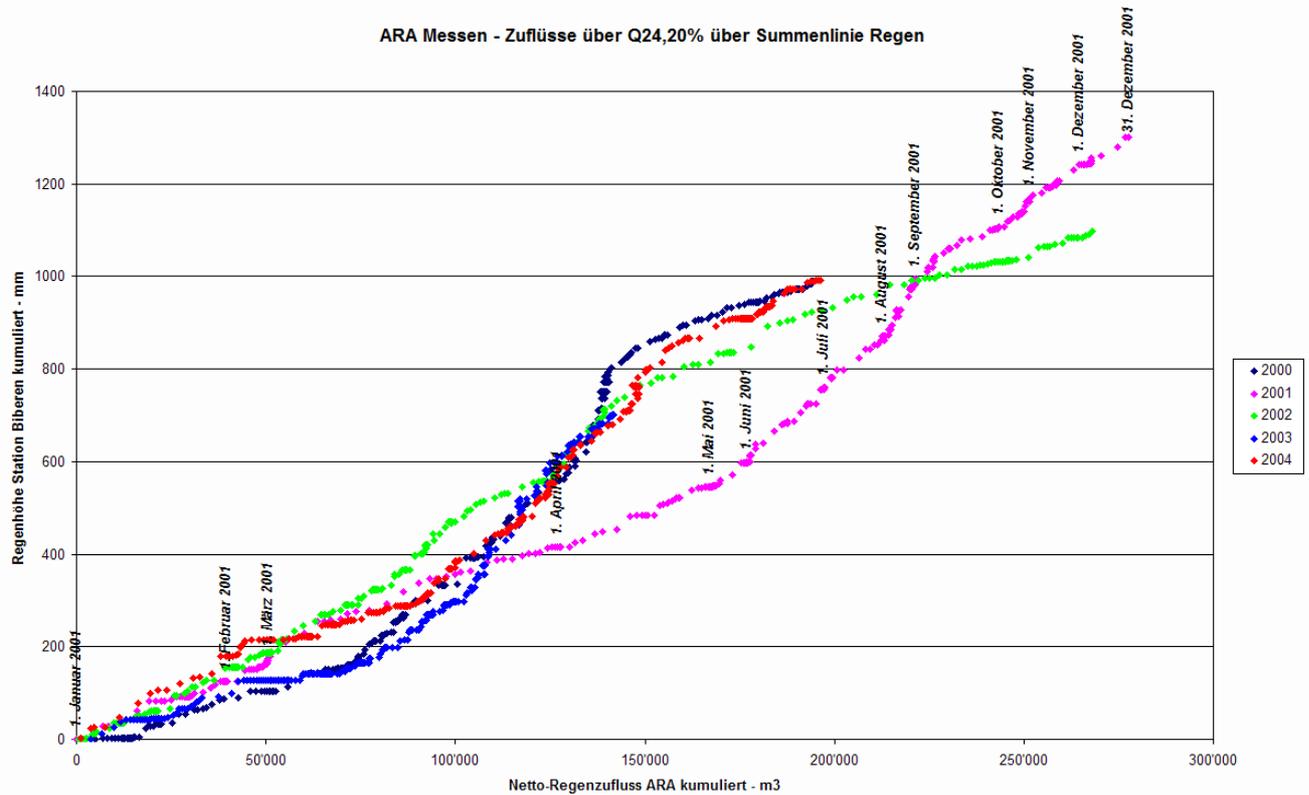
ARA Emmenspitz-Zuchwil: Die Datenjahre 2003, 2004 und 2005 weisen offensichtlich unterdurchschnittliche Regenzuflüsse zur ARA auf, vermutlich infolge umbaubedingter Zufluss-Begrenzungen



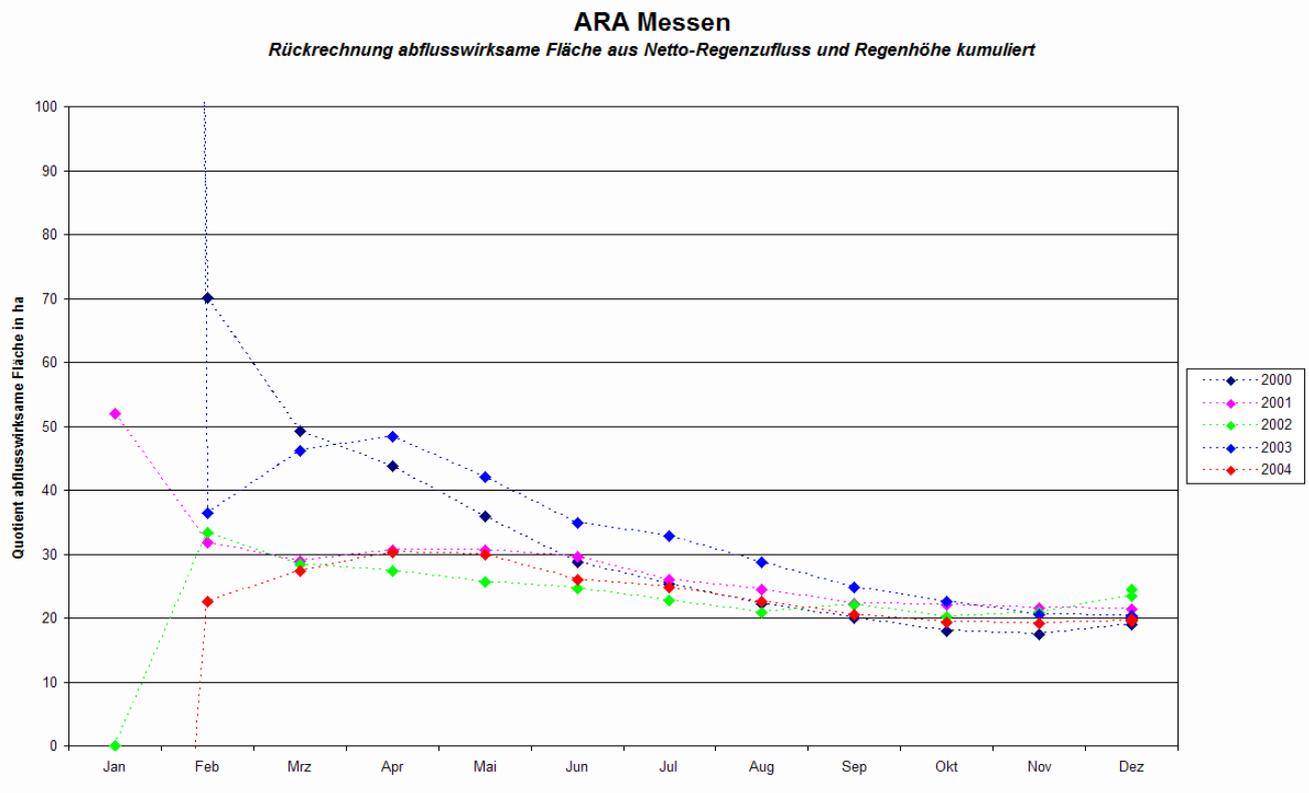
ARA Falkenstein: Diese Jahresreihen der Daten-Relationen weisen eine vergleichsweise gute Übereinstimmung auf.



ARA Otten: Gute bis sehr gute Affinität der Datenreihen mehrerer Jahre



ARA Messen: Unterschiedlich ausgeprägte S-Kurvenverläufe der Relationen Regenhöhe / Netto-Regenzufluss zur Kläranlage, mit guter Übereinstimmung der Sommer-/Winter-Steigungen



Diese Grafik zeigt den Versuch, für die ARA Messen aus den Steigungen $d(\text{Vol_Regen}) / d(h_Regen)$ der Summenlinien approximative abflusswirksame Einzugsgebietsflächen zurückzurechnen.

Die grossen Wert-Abweichungen bei den einzelnen Jahren sowie zwischen den verschiedenen Anlagen in den vorhergehenden Grafiken dokumentieren den starken Einfluss des vereinfachend gewählten Trockenwetter-Grenzwerts für die Ermittlung der Netto-Regen-Zuflüsse, sowie das Fehlen eines Abstraktionsmodells für die Anfangsverluste am Regenbeginn.

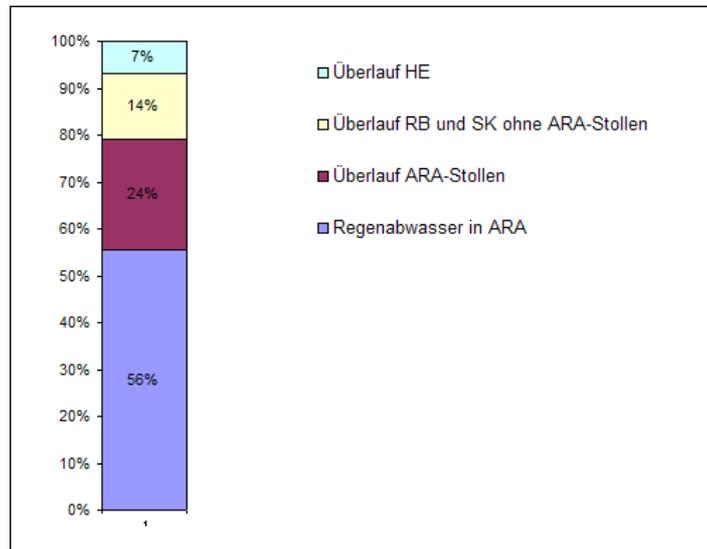
Demgegenüber liegen die Werte gegen Jahres-Ende am Beispiel der ARA Messen bemerkenswert nahe beieinander. Dies ist bei andern Datenreihen nicht im gleichen Mass der Fall.

Diese grafischen Auswertungen lassen folgende groben Feststellungen und Folgerungen zu:

- ▶ Die verschiedenen kumulierten Jahres-Verläufe der Netto-Regenzuflüsse für die ARAs Olten, Falkenstein und Messen weisen in der Tendenz Ähnlichkeiten auf, für die ARA Emmenspitz-Zuchwil sind die Unterschiede jedoch gross. Dies kann z.B. mit umbaubedingten Zuflussbegrenzungen zusammenhängen.
- ▶ Die Steilheit der Summen-Kurven ist hierbei ein Mass für das Einzugsgebiet, welches die für die ARA im Jahresmittel abflusswirksam ist – ausgedrückt in m^3 Regenzufluss / mm Regenvolumen, wobei 1 mm Regenhöhe $10 m^3$ Abflussvolumen pro Hektare entspricht.
- ▶ Die Jahresverläufe weisen in der Mehrheit einen S-förmigen Verlauf auf. Die unterschiedlichen Steilheiten der Kurven dokumentieren somit unterschiedlich grosse abflusswirksame Einzugsgebiete in den verschiedenen Jahreszeiten:
 - steilere Kurvenverläufe während Sommer und Herbst repräsentieren kleinere massgebende Einzugsflächen während der Hauptvegetationszeit, und
 - flachere Kurvenverläufe während Winter und Frühling entsprechen grösseren abflusswirksamen Einzugsgebieten, als Folge vermehrter Zuflüsse aus sogenannt durchlässigen Flächen mit teilweiser Sättigung
- ▶ Ein Versuch, aus den doppelt-kumulierten Werten ARA-Regenzufluss und Niederschlag entsprechende abflusswirksame Einzugsgebietsflächen zu ermitteln, ergibt ein durchzogenes Bild:
 - verlässliche Werte sind erst ab etwa April bis Jahresmitte nutzbar
 - die einzelnen Datenjahre weichen zum Teil erheblich ab, wobei für alle vier untersuchten ARA-Einzugsgebiete jeweils mindestens zwei bis drei Jahre „gut zusammenpassen“
 - die Sommer- / Winter-Unterschiede der abflusswirksamen Einzugsgebiete sind markant – typische Werte:

Einzugsgebiet	Sommer	Winter	Verhältnswert
ARA Olten	220 ha	400 ha	1.8
ARA Falkenstein	150 ha	230 ha	1.5
ARA Emmenspitz	ca. 600 ha	ca 900 ha	1.5
ARA Messen	20 ha	30 ha	1.5

- ▶ Die hohen und tiefen Werte im Winter und Sommer gehen andererseits auch mit hohen und tiefen Grundwasserständen einher – die beiden Einflussgrössen abflusswirksame Fläche und Grundwasser-Niveaux lassen sich nicht einfach und sauber voneinander trennen!
- ▶ Die auf der vorgenannten Basis ermittelten abflusswirksamen Einzugsgebiete sind nicht exakte Zahlen und basieren nur der Ableitung aus den doppelt-kumulierten Werten.
- ▶ Diese „Einzugsgebiete“ gelten zudem nur bei Schwachregen; wesentliche Abflussanteile werden ja über die Regenentlastungen im Kanalnetz abgeschlagen – deren Grössenordnungen sind hier jedoch nicht bekannt; einen Anhaltspunkt mögen hierzu die Werte aus der Region Bern geben (Simulationsergebnisse – Mittelwerte aus 23 Jahren):



Anmerkung zur vorstehenden Grafik: Der ARA-Zuleitungstollen hat in Bern die Funktion eines Regenbeckens vor der Kläranlage. Die Ermittlung der Anteile basiert auf einer Kontinuum-Simulation mit einem vereinfachten Modell der Gesamtregion Bern, mit insgesamt rund 140 Entlastungsanlagen..

7. Korrelation der Zufluss-Konzentrationen verschiedener Kläranlagen

Ausgehend von der Voraussetzung, dass das Stoffangebot bezogen auf die Einwohnerwerte in erster Näherung konstant ist über grössere Zeiträume, müssten sich die Zufluss-Konzentrationen für wechselnde Abwassermengen in einer Bandbreite bewegen, welche bestimmten Gesetzmässigkeiten folgt.

Dementsprechend sollten sich die Konzentrationswerte für übereinstimmende Labor-Untersuchungstage von verschiedenen Kläranlagen vergleichen lassen, sodass daraus spezifische Feststellungen herausgeschält werden können.

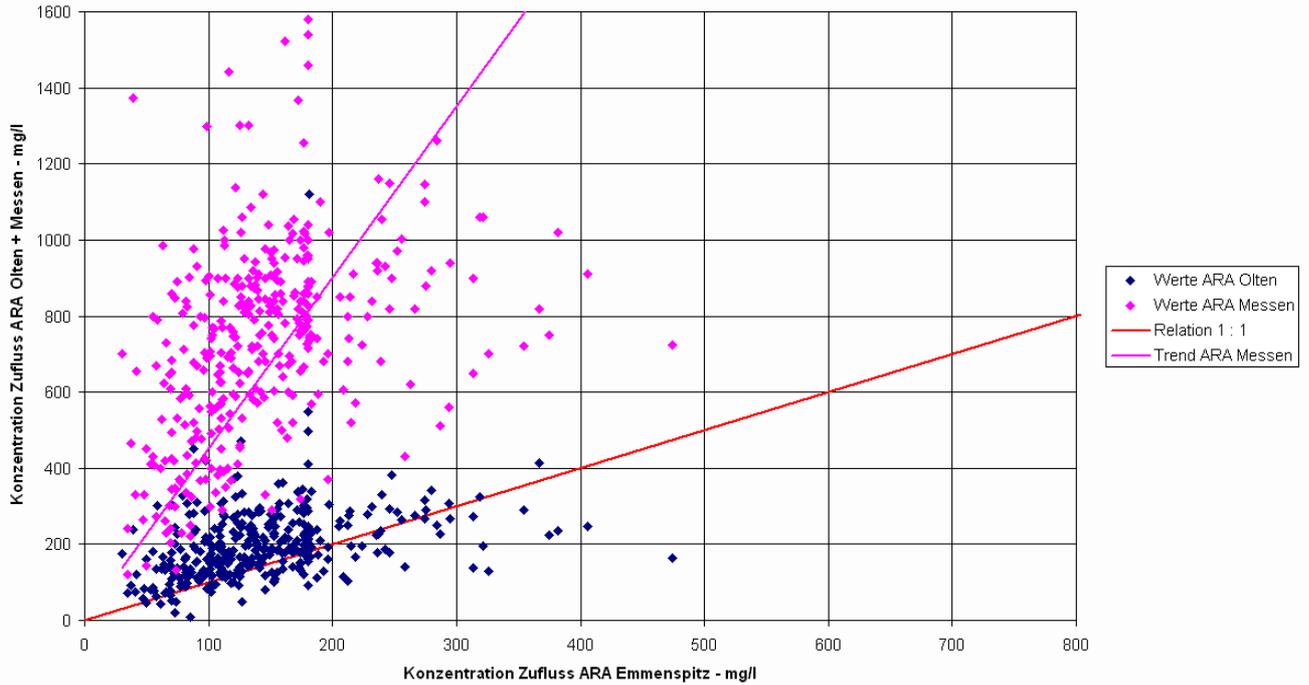
Diesbezügliche Untersuchungen wurden mit den Daten mehrerer Solothurner Kläranlagen vorgenommen – nutzen liessen sich für diese direkte Gegenüberstellung allerdings nur die Daten der drei Kläranlagen Emmenspitz, Olten und Messen, weil für die andern die Kalendertage der Labor-Untersuchungen nicht übereinstimmen.

Für die Gegenüberstellung der Zufluss-Konzentrationen wurden die Labordaten der ARAs Olten und Messen jeweils mit denjenigen für die ARA Emmenspitz-Zuchwil in Beziehung gesetzt, und zwar für CSB, NH₄-N sowie Gesamt-Phosphor.

In die entsprechenden Grafiken sind als Referenz ebenfalls die 1:1-Beziehungen eingetragen, wie sie sich für identische Verdünnungsverhältnisse einstellen müssten.

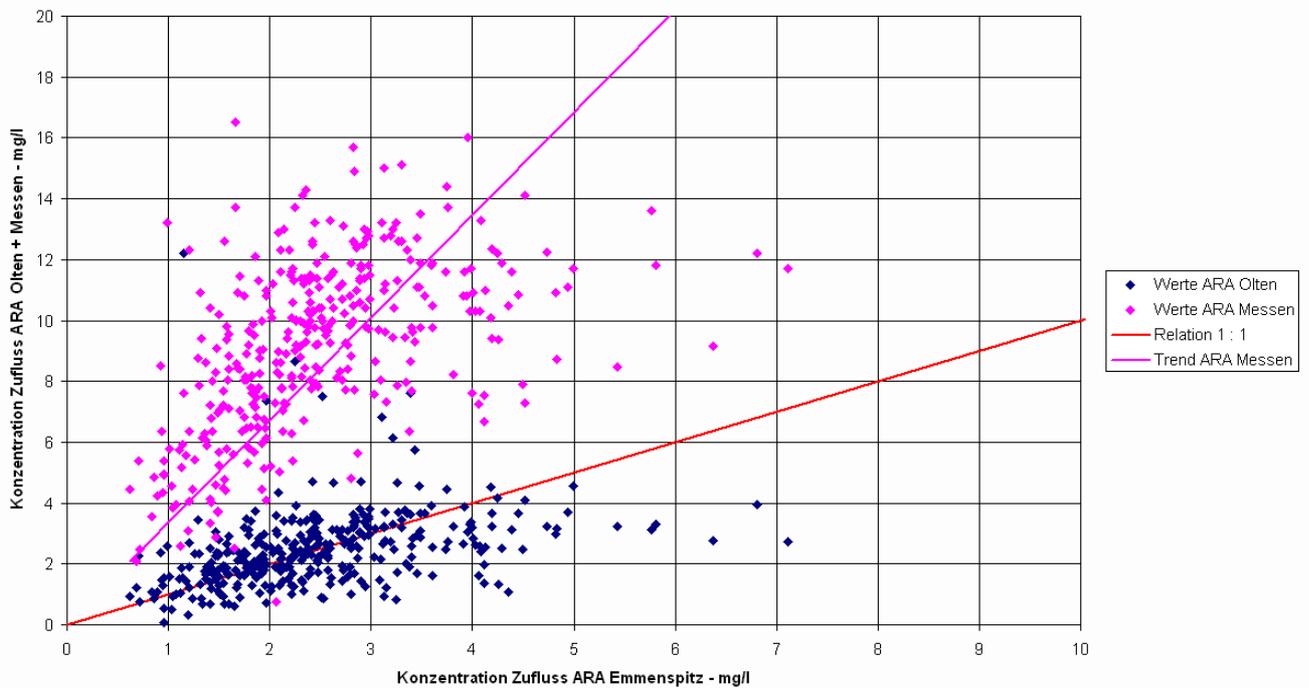
Bemerkenswert an den Ergebnissen -und mit den verfügbaren Daten nicht erklärbar- sind die unterschiedlichen Verhältniswerte der Stoffkonzentrationen für die verschiedenen Parameter.

**Korrelation Stoffkonzentrationen - CSB
identische Probenahme 2000 bis 2004**



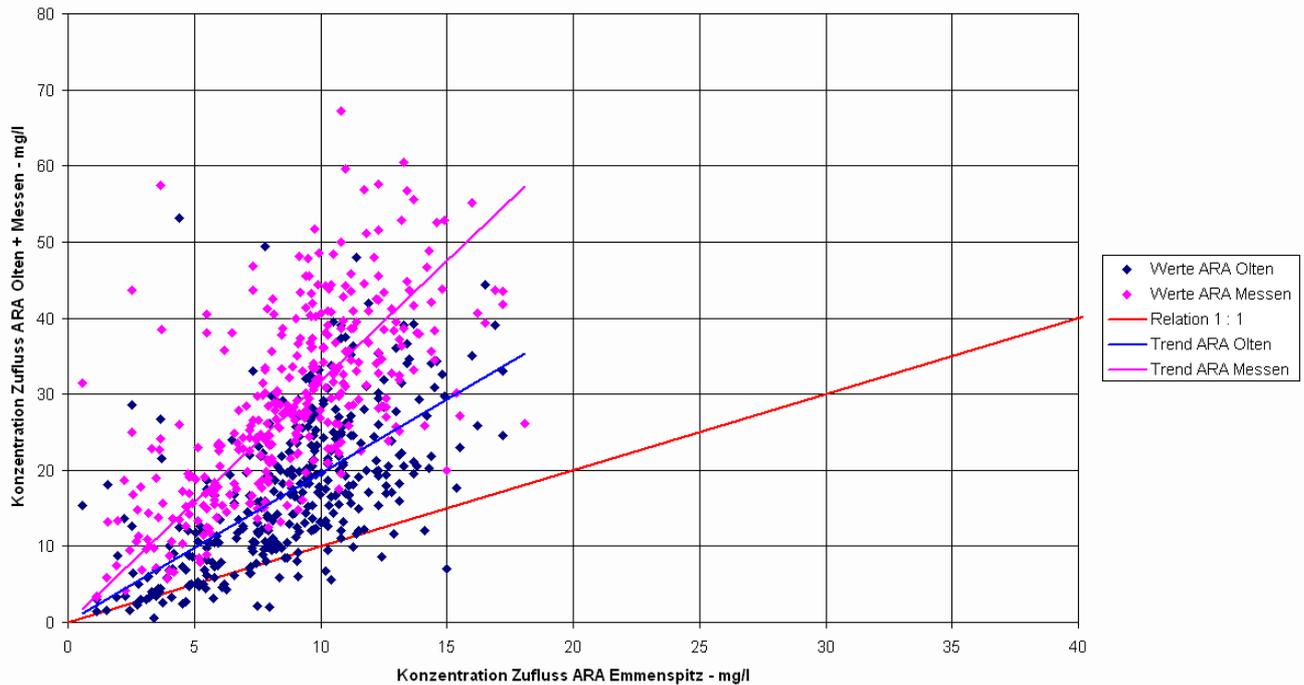
Die CSB-Konzentrationen für die ARA Olten liegen in ähnlicher Grössenordnung wie für die ARA Emmenspitz. Für die ARA Messen sind sie knapp 5 x höher.

**Korrelation Stoffkonzentrationen - Ptot
identische Probenahme 2000 bis 2004**



Für den Gesamt-Phosphor sind die Konzentrationen für die ARA Olten wiederum ähnlich wie die ARA Emmenspitz; für die ARA Messen sind die Werte rund 3.5 x höher.

**Korrelation Stoffkonzentrationen - NH₄-N
identische Probenahme 2000 bis 2004**



Die NH₄-N-Konzentrationen für die ARAs Olten und Messen liegen noch 2 x bzw. 3 x höher gegenüber der ARA Emmenspitz

Bemerkenswert an diesen Gegenüberstellungen sind folgende Beobachtungen:

- Die Trends für die Konzentrationswerte auf der ARA Olten für die Stoffe CSB und Ptot stimmen ungefähr mit denjenigen der ARA Emmenspitz überein, trotz kleinerem Fremdwasseranteil.
- Die NH₄-N-Konzentrationen der ARA Olten folgen demgegenüber diesem Trend nicht, sondern diese sind um Faktor 2 höher. Dies entspricht den Erwartungen wesentlich besser, siehe auch nächstes Kapitel.
- Alle drei Stoffwerte zeigen auf der ARA Messen gegenüber der ARA Emmenspitz drei- bis fünfmal höhere Konzentrationen, entsprechend dem wesentlich geringeren Fremdwasseranteil bei der ARA Messen.
- Auffallend ist, dass im Vergleich der Anlagen die CSB-Konzentration mit Faktor 5 bei abnehmender Verdünnung deutlich grösser ist als die NH₄-N-Konzentration mit Faktor 3.
- Sämtliche Punkt-Wolken der Konzentrationswerte weisen erhebliche Streuungen auf.
- Ohne Korrektur der Trendfunktionen der Konzentrationswerte von CSB und Ptot für die ARA Messen auf Durchgang durch den Ursprung liegen diese Trendlinien deutlich darüber. Die Ursache dieser Feststellung kann nicht erklärt werden.

8. Verhältnis Zuflusskonzentrationen zu Zuflussmenge verschiedener ARAs

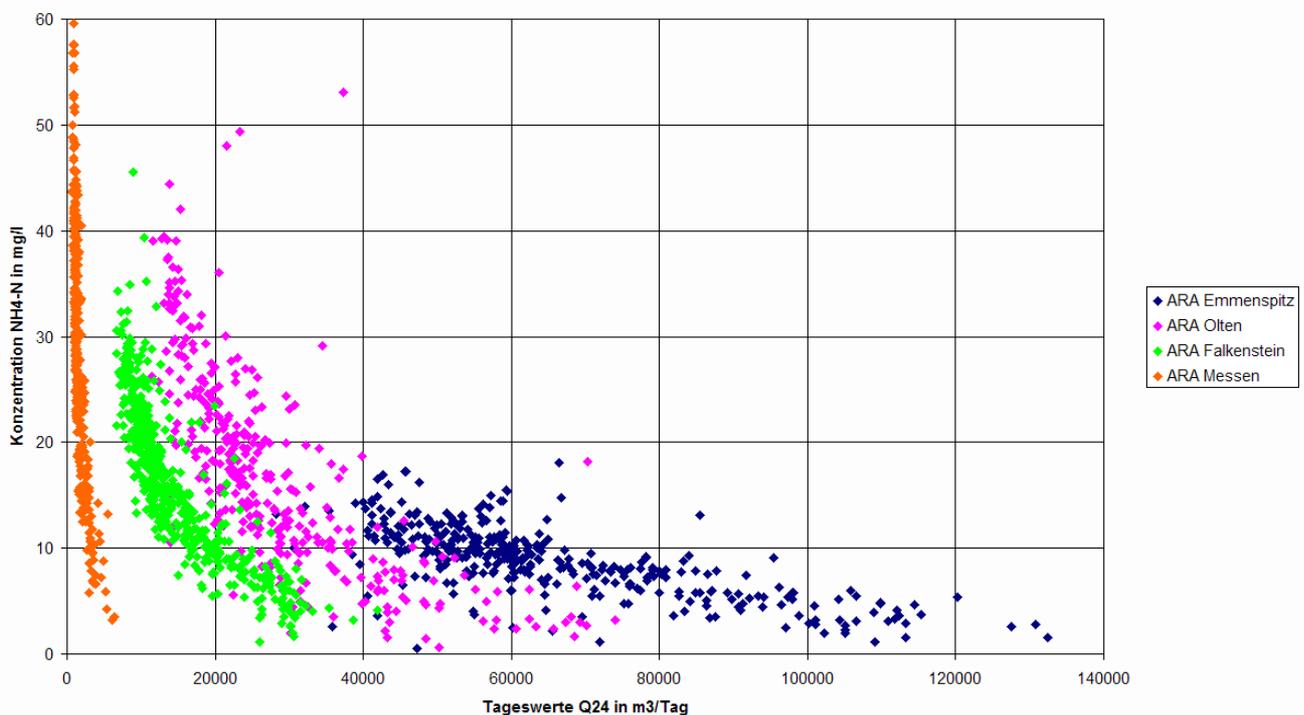
Ausgehend von einer konstanten Stofffracht aus dem Einzugsgebiet müssten die Stoffkonzentrationen eine reziproke Funktion der jeweiligen Wassermenge sein.

Diese Annahme wird durch die Untersuchungen mit den vorhandenen Daten mehrerer Jahre in erster Näherung bestätigt, wobei sich bei den verschiedenen Kläranlagen bemerkenswerte Abweichungen zeigen.

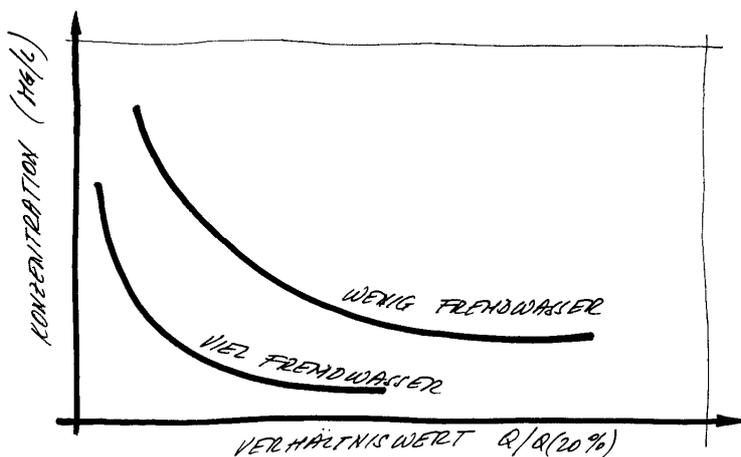
Einzelne Punktquellen für wesentliche Stofffrachten sowie Trockenwetter-Ablagerungen im Kanalnetz können diese Verhältnisse erheblich beeinflussen. Ablagerungen haben dabei nur auf die partikulären Stoffe direkte Auswirkungen.

Für die hier präsentierte Auswertung wurden deshalb nur die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen genutzt, weil dieser Stoff durch Kanal-Ablagerungen nicht beeinflusst wird, im Unterschied zum CSB und P.

Korrelation Zufluss-Konzentration $\text{NH}_4\text{-N}$ zu Q24



Die vorstehende Darstellung der Zulauf-Konzentrationen, aufgetragen über den ARA-Zuflussmengen verschiedener Solothurner Kläranlagen zeigt die Bandbreiten der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen in Funktion der fremdwasserbedingten Verdünnungssituation.



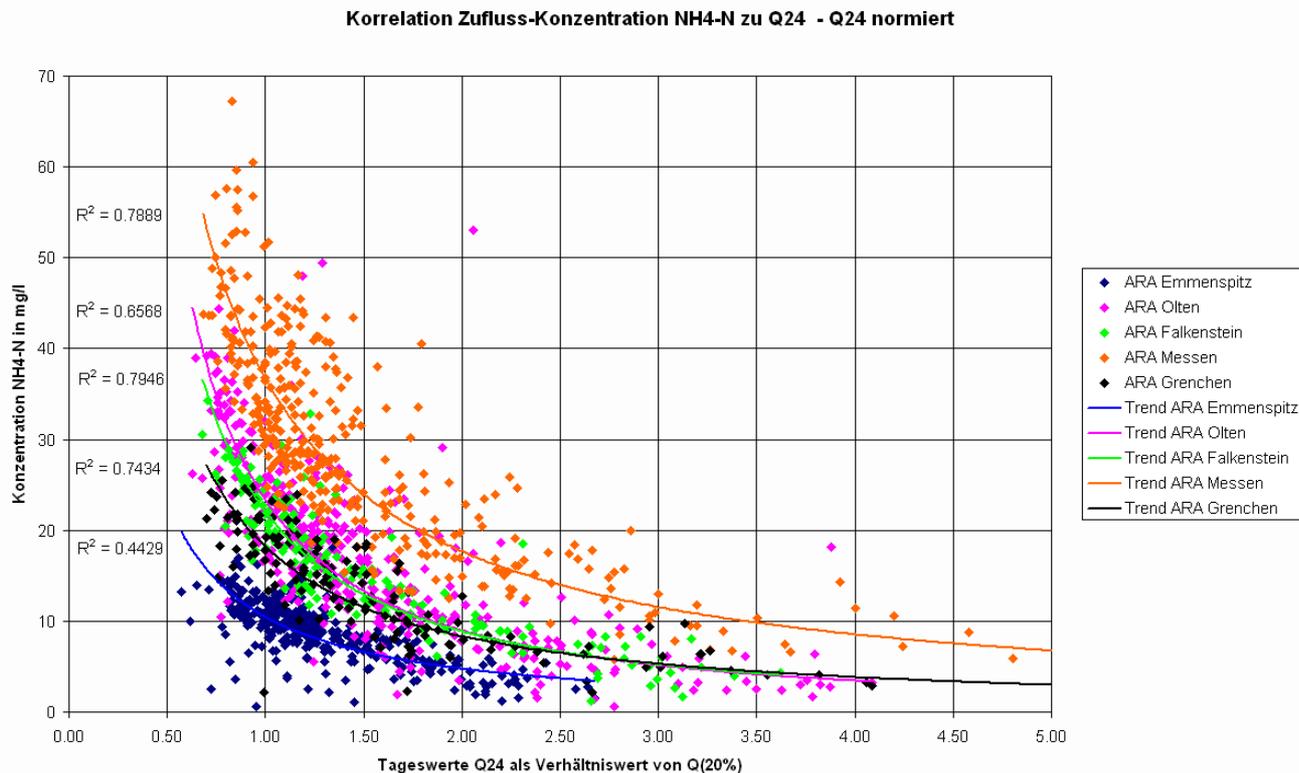
Werden zur besseren Veranschaulichung die Konzentrationen aufgetragen als Funktion des Verhältnisses der Q24-Werte zum jeweiligen 20%-Quantilwert der Dauerkurve, dann lassen sich aus den Trendlinien Kennwerte für die verschiedenen ARAs herauschälen. Auf dieser Basis können die resultierenden Kennwerte untereinander verglichen werden.

Entsprechend dem Verdünnungsprinzip folgen die **Konzentrationswerte y** dabei einer Exponential-Funktion:

$$y = a * \left(Q / Q_{24,20\%} \right)^{\text{Exponent}}$$

Hierbei entspricht der **Basiswert a** der Konzentration für $Q / Q_{24,20\%} = 1.0$, und der **Exponent** sollte entsprechend der **Reziprok-Funktion** im Normalfall theoretisch -1 betragen.

Die Darstellung der entsprechenden Konzentrationswerte zu den jeweiligen Zuflusswerten in normierter Form bezogen auf $Q / Q_{24,20\%}$ präsentiert sich für die fünf Kläranlagen wie folgt:

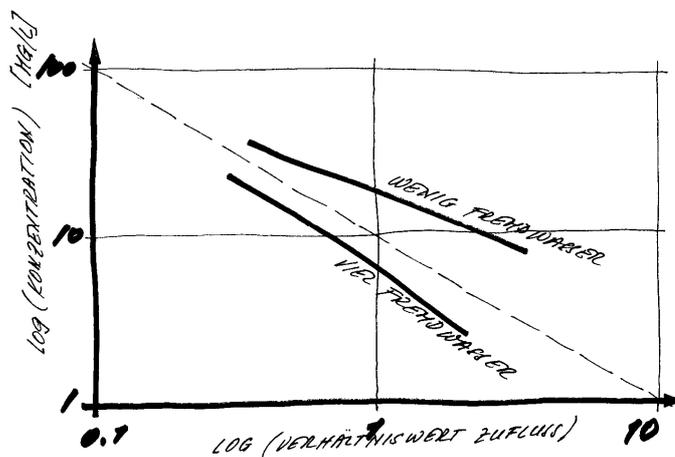


In doppelt-logarithmischer Darstellung resultieren für diese Exponentialfunktion aus den Trends gerade Linien.

Im Fall einer „idealen“ Verdünnungsfunktion haben diese Trendlinien die Steigung -1, wie in nebenstehender Schemaskizze gezeigt.

Höhere Konzentrationswerte für den normierten Zufluss $Q / Q_{24,20\%} = 1.0$ stehen für ARAs mit kleinen Fremdwasser-Anteilen; tiefere Werte deuten auf viel Fremdwasser und entsprechende Verdünnung hin.

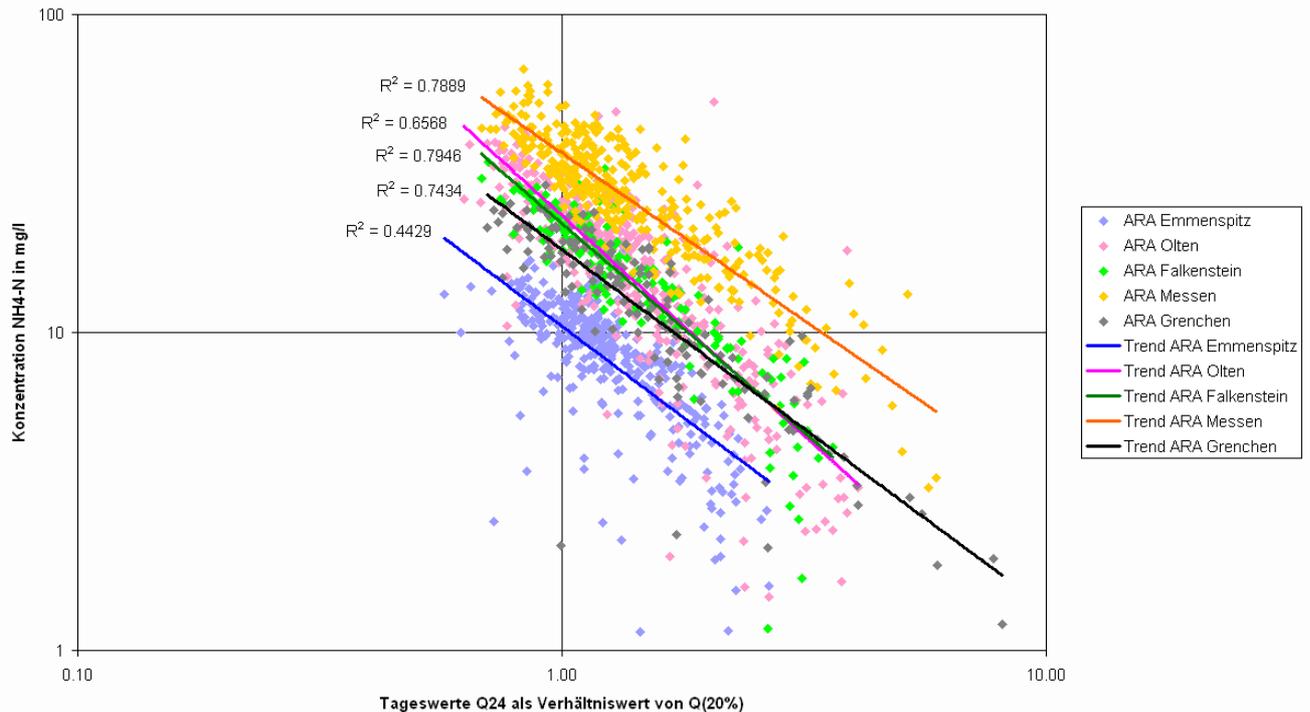
Vom Wert -1 abweichende Neigungen der Trendlinien stehen für abnehmende bzw. zunehmende Konzentrationen in Funktion der Zuflussmengen.



Eine steilere Neigung, gleichbedeutend mit einer Abnahme der Stofffracht bei grösseren Zuflussmengen, deutet hin auf Stoffverluste vor der ARA bei höheren Zuflüssen infolge Regen oder Fremdwasser.

Die logarithmische Darstellung der gleichen Datenpopulation wie zuvor auf der nächsten Seite verdeutlicht die unterschiedliche Ausprägung der Reziprokfunktion infolge Verdünnung und Stofffracht-Verluste.

Korrelation Zufluss-Konzentration NH₄-N zu Q₂₄ - Q₂₄ normiert



Die entsprechenden Parameter-Werte für die Trendlinien sind folgende:

Kläranlage	R ²	a	Exponent
Emmenspitz-Zuchwil	0.443	10.46	-1.142
Olten	0.657	23.38	-1.384
Falkenstein	0.795	22.05	-1.314
Grenchen	0.743	18.21	-1.126
Messen	0.789	36.68	-1.052

Anmerkungen:

- Die Werte basieren auf der Zulauf-Konzentration NH₄-N
- Der Basiswert a entspricht der Konzentration bei einem Zufluss Q₂₄ = Q_{24,20%}
- Der Exponent ist ein Mass für die negative Steigung in Funktion von Q₂₄ (Reziprokwert 1/x entsprechend der Verdünnung)
- Werte für den Exponenten kleiner als -1 deuten auf Frachtverluste im Netz bei grösseren Q₂₄

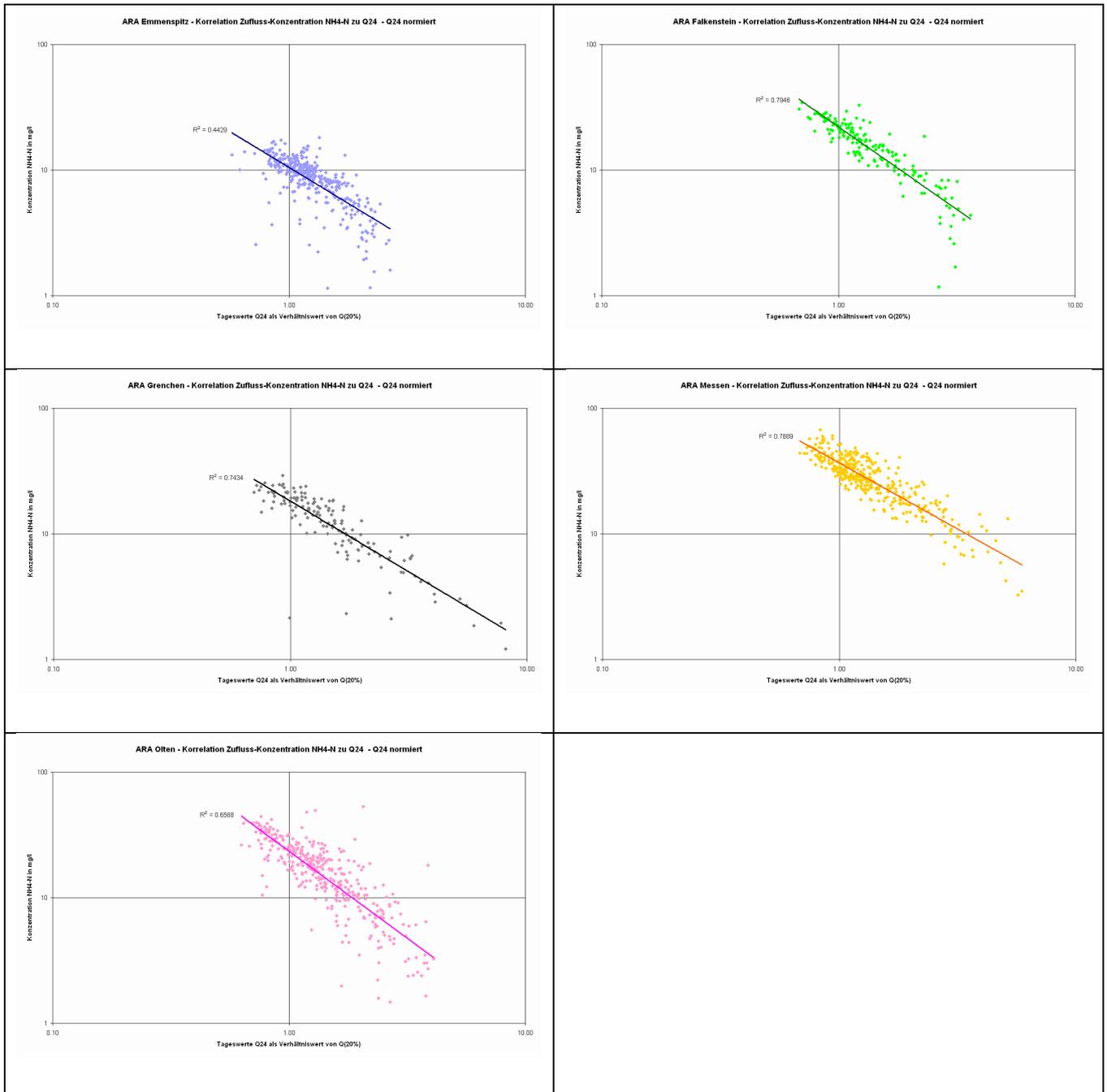
Wie ersichtlich unterscheiden sich die **Bestimmtheitsmasse R²** der Korrelationen stark: Für die ARA Emmenspitz sowie -etwas weniger ausgeprägt- für die ARA Olten sind die Korrelationen der Werte Zufluss und Stoffkonzentration deutlich schlechter als für die drei anderen Kläranlagen.

Grund für diese grösseren Streuungen können z.B. lokale Stoffquellen oder Analysen-Probleme sein, ebenso Stoff-Verluste im Netz bei Regenzufluss über Hochwasserentlastungen – letzteres ist jedoch bei der ARA Emmenspitz am Exponent der Trendlinie gerade nicht ablesbar.

Feststellungen:

- Die Ammonium-Stickstoff-Konzentrationen bei einer Bezugs-Zuflussmenge Q_{24,20%} variieren zwischen der ARA Emmenspitz mit viel Fremdwasser und der ARA Messen mit wenig Fremdwasser um den Faktor 3.5. Dieser Verhältniswert deckt sich mit der zuvor ermittelten Relation aus der Korrelation der Laborwerte identischer Probenmenge verschiedener ARAs.

- Die beiden Kläranlagen Olten und Falkenstein scheinen bei Regenzuflüssen am deutlichsten Stoff zu verlieren im Netz, entsprechend der Neigung der Trendlinien; die ARAs Emmenspitz, Grenchen und Messen weisen dagegen einen geringeren Ammonium-Verlust auf bei grösseren Zuflüssen.
- Aus den Diagrammen ist ebenfalls ersichtlich, dass die ARA Grenchen die grösste Bandbreite an Zuflussmenge aufweist über $Q_{24,20\%}$ im Vergleich der verschiedenen Anlagen; die ARA Emmenspitz hat die kleinste Amplitude, bedingt u.a. durch das vorhandene hohe Fremdwasser-Grundband.
- Die unterschiedlich grossen Streuungen der Korrelationen sind an den nachfolgend wiedergegebenen Einzel-Darstellungen der fünf untersuchten Anlagen besser sichtbar.



9. Aussage und Problematik der Leistungskennwerte des ÖWAV

Das Amt für Umwelt Solothurn hat im Jahr 2006 auf der Basis der ARA-Betriebsdaten 2003 Kennzahlen der Abwasserentsorgung ermittelt (Bericht FB06-04, 12/2006).

Für die Gegenüberstellung der ARA-Leistungskennzahlen wurden die „Kennzahlen für Abwasserreinigungsanlagen“ gemäss *Arbeitsbehelf Nr. 9 des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes ÖWAV* verwendet.

Der Leistungskennwert LW berechnet sich aus den Einzel-Kennwerten für die vier Stoffparameter CSB, NH₄-N, NO₃-N sowie Gesamt-P, indem die **Jahresmittelwerte der Abflusskonzentrationen** mit dem jeweiligen Bewertungsfaktor multipliziert werden.

Parameter	Bewertungsfaktor	Bezugs-Grenzwert
CSB	0.01	100 mg/l
NH ₄ -N	0.20	5 mg/l
NO ₃ -N	0.06	16.7 mg/l
Gesamt-P	1.00	1 mg/l

Die Bewertungsfaktoren entsprechen den Reziprokwerten der Standard-Grenzwerte der maximalen Ablaufkonzentrationen gemäss der Emissionsverordnung in Österreich; die entsprechenden Werte sind für die Beurteilung nach ARA-Grösse abgestuft.

Gemäss ÖWAV-Arbeitsbehelf kann für die Kennzahlenermittlung anstelle des CSB der TOC mit einem Faktor 3 verwendet werden.

Der **Leistungskennwert LW** ist die Summe der ermittelten vier Einzelwerte; die einzelnen Wertgrössen geben eine qualitative Aussage über die relativen Anteile der vier Parameter.

Kleinere Werte bedeuten dementsprechend eine bessere Abbauleistung der ARA, bzw. geringere Ablaufkonzentrationen für den entsprechenden Stoff.

Für die Beurteilung der Funktion und Leistung einer ARA ist ergänzend ebenfalls der Fremdwasseranteil im Zulauf eine wichtige Grösse. Aus diesem Grund wird nach dem ÖWAV-Arbeitsbehelf zusätzlich ein **Verdünnungsfaktor a** ermittelt, zur Berücksichtigung der Fremdwassersituation.

Dieser **Verdünnungsfaktor** wird aus dem **Jahresmittelwert der Zulaufkonzentration des CSB** bestimmt, in Relation zu einer Nenn-Konzentration von 600 mg/l CSB.

Werte grösser 1 stehen dabei für grössere Fremdwasseranteile: ein Verdünnungsfaktor a von 1.5 (entsprechend 400 mg/l CSB im ARA-Zulauf im Jahresmittel) entspricht damit einem Fremdwasseranteil von einem Drittel am gesamten Abwasseranfall, gemäss üblicher Definition.

Diese konzentrations-basierte Verdünnungs-Kennzahl ist naturgemäss stark von der Stofffracht lokaler Einzel-Einleiter abhängig. Der ÖWAV-Arbeitsbehelf empfiehlt, für die Beurteilung zusätzlich auch den Verdünnungsfaktor für den Gesamt-Stickstoff heranzuziehen.

In der Auswertung zum Bericht „**Kennzahlen Abwasserentsorgung des Kantons Solothurn 2003**“ werden die beiden Werte **LW** und **a** für den abschliessenden Vergleich der Anlagen ungewichtet multipliziert und in dieser Form als **Vergleichswert** genutzt.

Demgegenüber weist der ÖWAV-Arbeitsbehelf darauf hin, dass ein direkter Leistungsvergleich von Kläranlagen allein auf der Basis der beiden Werte LW und a nicht oder nur mit Einschränkungen möglich ist wegen des grossen Einflusses der Rohwasser-Zusammensetzung.

Zur Überprüfung des gewählten Vergleichs-Ansatzes wurden anhand der verfügbaren Betriebs- und Stoffdaten ausgewählter Solothurner Kläranlagen die beiden Grössen **Leistungskennwert LW** sowie **Verdünnungsfaktor a** für mehrere Jahresserien ermittelt und bezüglich Aussage und Verwendbarkeit im Leistungsvergleich einander gegenübergestellt.

Dabei zeigt sich erwartungsgemäss, dass die Ermittlung dieser summarischen Kennwerte bereits im Jahresvergleich verschiedenen Einflüssen unterliegt, und deshalb der effektive Nutzen als eher eingeschränkt zu taxieren ist.

Variation des Verdünnungsfaktors a

Dieser Wert gemäss ÖWAV-Arbeitsbehelf dient wie erwähnt zur Beurteilung und Gewichtung des Fremdwasseranteils am ARA-Zufluss.

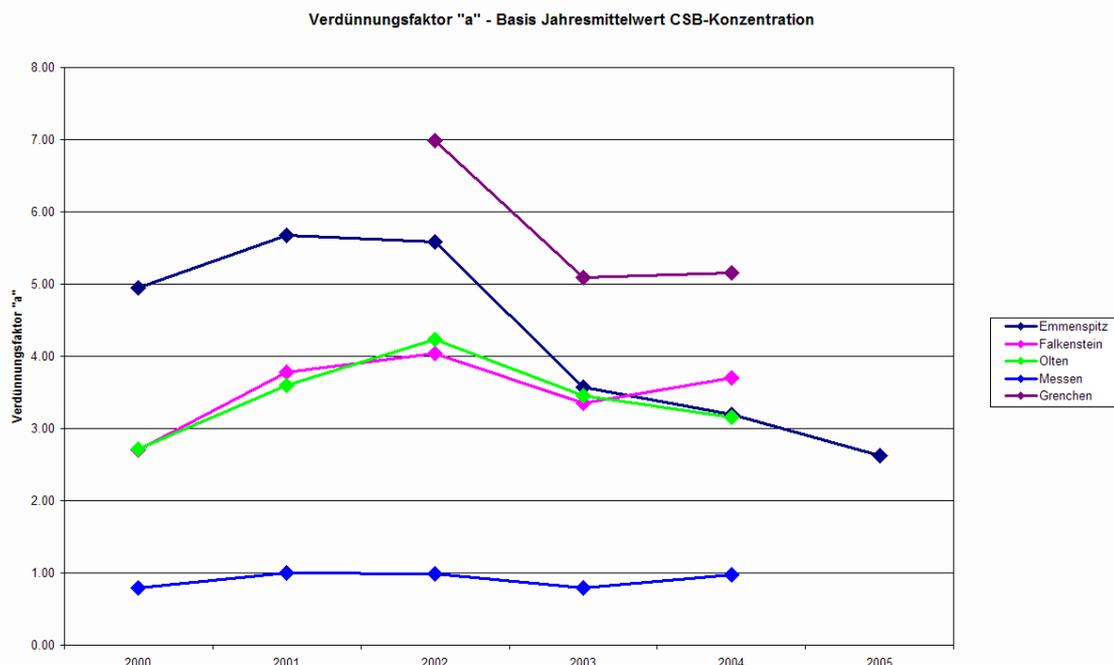
Grosse Fremdwasser-Anteile können bekanntlich den Kläranlagenbetrieb nachteilig beeinflussen, unter anderem durch kürzere Aufenthaltszeiten sowie durch kälteres Abwasser, weiter durch die Vergrösserung der Ablauffrachten für Stoffe mit Grenzkonzentrationen. Demgegenüber resultieren scheinbare „Vorteile“ durch reduzierte Zulauffrachten infolge von Stoffverlusten im Netz sowie grössere Ablaufverdünnungen.

Die Ermittlung eines einzigen Verdünnungsfaktors a aus dem Jahres-Mittelwert der CSB-Konzentration stellt naturgemäss eine sehr starke Vereinfachung dar. Dies gilt umso mehr, als der einfache Bezug zu einer theoretischen CSB-Konzentration von 600 mg/l situationspezifische Stofffrachten aus massgebenden industriell-gewerblichen Einleitern nicht oder kaum berücksichtigen kann.

Zusätzliche Stoffanteile CSB erhöhen demnach die mittlere jährliche Konzentration und resultieren in scheinbar kleineren Verdünnungsfaktoren. Diese Situation ist hinlänglich bekannt und gut dokumentiert anhand der unterschiedlichen Fremdwasser- und Gleichwert-Berechnungen aus den standardisierten ARA-Betriebsdaten-Auswertungen.

Anmerkung: Die ARA-Betriebsdaten-Auswertungen im Kanton Solothurn basieren für die Gleichwert-Berechnung auf einem Standardwert für den Rohwasser-CSB von 700 mg/l, gegenüber 600 mg/l gemäss ÖWAV-Arbeitsbehelf. Die resultierenden Fremdwasser-Anteile bzw. Verdünnungsfaktoren gemäss normalen Auswertungen sind deshalb nicht direkt vergleichbar.

Die Berechnung der Verdünnungsfaktoren für mehrere Einzeljahre und deren Variation dokumentiert die Problematik, welche einem solchen summarischen Parameter innewohnt:



Der Verdünnungsfaktor a weist für etliche Anlagen über die verschiedenen Daten-Jahre einen erheblichen Schwankungsbereich auf, mit ins Gewicht fallenden Zufälligkeiten und Abweichungen. Dies schränkt den Aussagewert dieses Parameters deutlich ein.

Andererseits dokumentieren und bestätigen die Werte um 1.0 für die ARA Messen den für diese Anlage sehr geringen Fremdwasserzufluss. Die Werte kleiner 1.0 kommen zustande, weil der spezifische Abwasseranfall in der ländlich geprägten ARA-Region geringer ist als in den städtischen Gebieten.

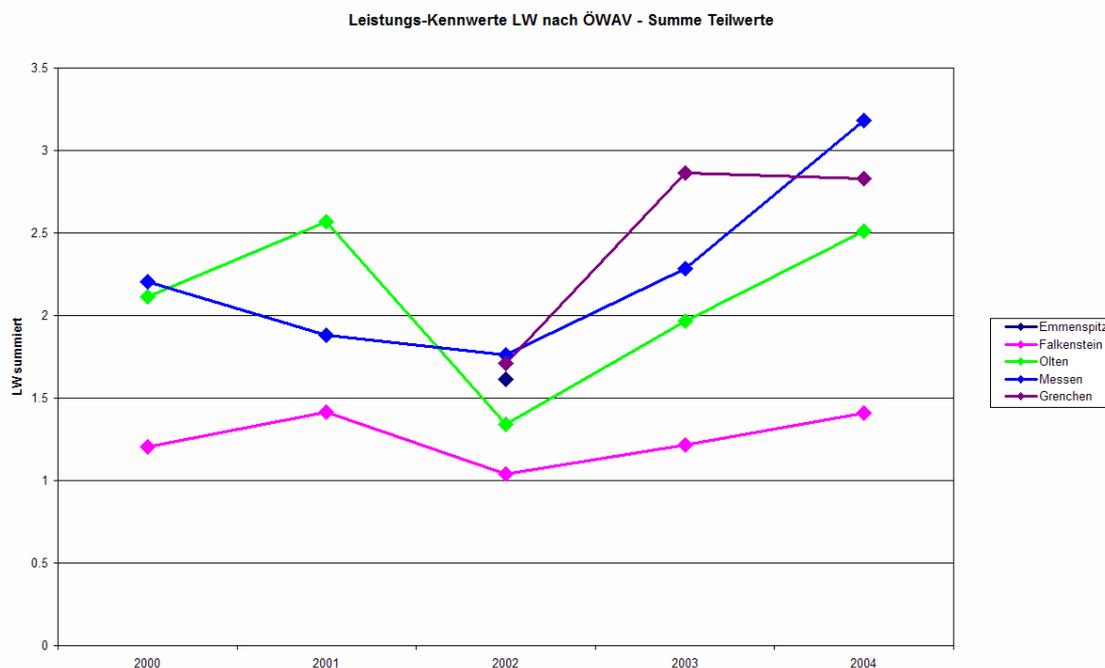
Demgegenüber bestätigen die grossen Verdünnungswerte für die ARA Emmenspitz sowie die ARA Grenchen die bekannten grossen Fremdwasserprobleme dieser Anlagen.

Variation der Leistungskennwerte LW

Diese stoffbezogenen Kennwerte wurden anhand der verfügbaren Betriebsdaten ebenfalls für mehrere Datenjahre für die verschiedenen Anlagen ermittelt und einander gegenübergestellt.

Je nach Inhalt und Art der Darstellung ergeben sich dabei unterschiedliche Erkenntnisse und Folgerungen:

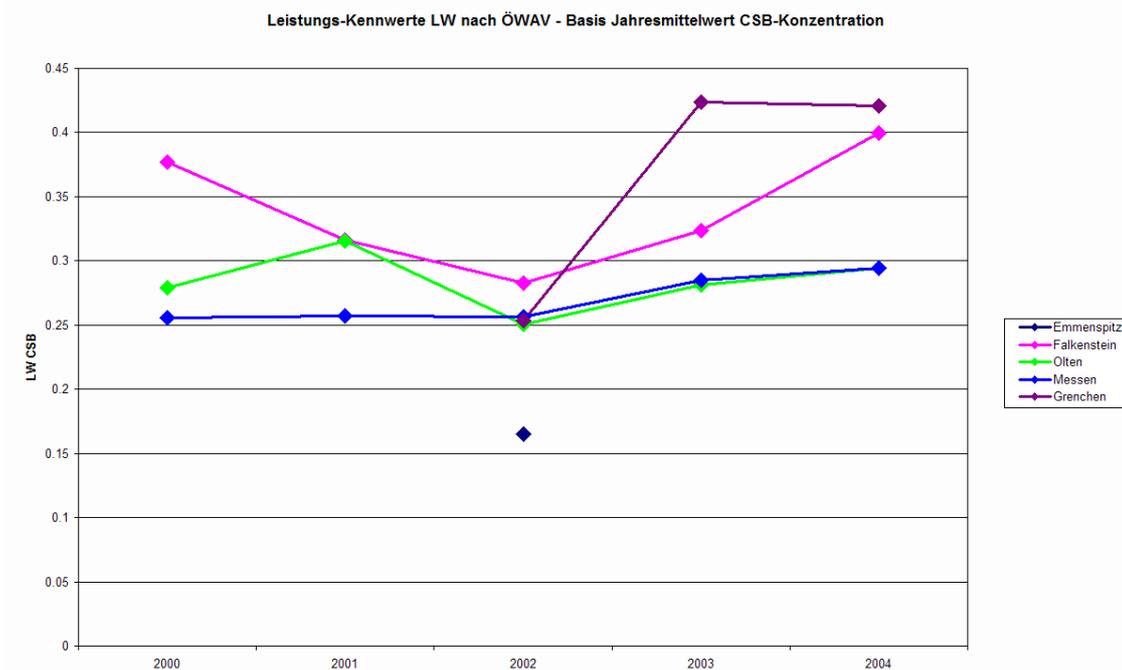
- ▶ Die LW können nach Stoff, nach Anlage und nach Zeit geordnet dargestellt werden.
- ▶ Die Darstellung der Leistungskennwerte und Kennwert-Summen der verschiedenen Anlagen zeigt über die fünf Datenjahre 2000 bis 2004 grosse Schwankungen.
- ▶ Gleiches gilt für die verschiedenen Jahres-Werte einzelner Stoffkomponenten für alle untersuchten Anlagen, wobei insbesondere die Stickstoff-Verbindungen herausragen, bedingt durch die jeweiligen betrieblichen Randbedingungen bezüglich Nitrifikation-Denitrifikation.
- ▶ Die Aufteilung nach den einzelnen Stoffkomponenten CSB, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ sowie Gesamt-P pro Anlage ergibt ebenfalls grosse, in der Mehrzahl nicht begründbare Abweichungen. Die Stickstoff-Verbindungen $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ weisen hierbei erwartungsgemäss die grössten relativen Anteile auf sowie die grössten Wert-Bandbreiten.



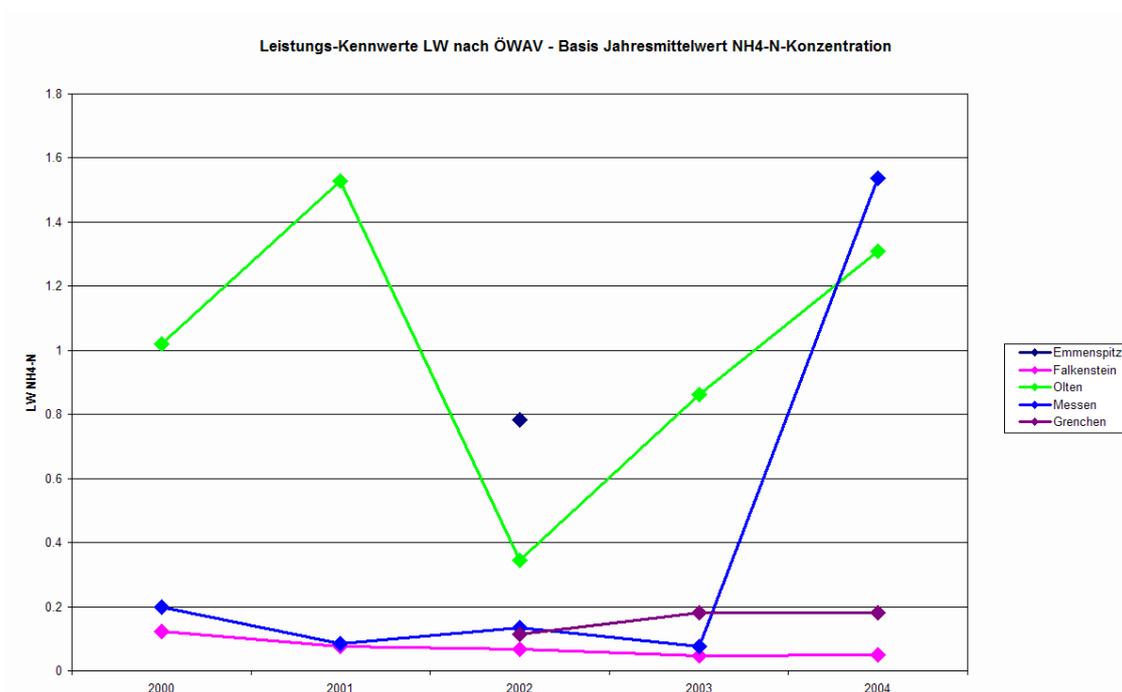
Leistungskennwerte LW summiert über alle vier Stoff-Komponenten, dargestellt über die fünf Datenjahre 2000 bis 2004 (ARA Emmenspitz nur ein Wert verfügbar für 2002).

Alle Werte liegen grössenordnungsmässig in der Nähe des „Zielwerts“ von 2.0 gemäss ÖWAV-Arbeitsbehelf. Kleine Werte sind besser als Grosse.

Die folgenden beiden Diagramme zeigen die Variationen der Leistungs-Kennwerte für die beiden Stoff-Komponenten CSB und $\text{NH}_4\text{-N}$, mit sowohl vergleichsweise geringen wie auch grossen Schwankungen und Anteilen am Summenwert.



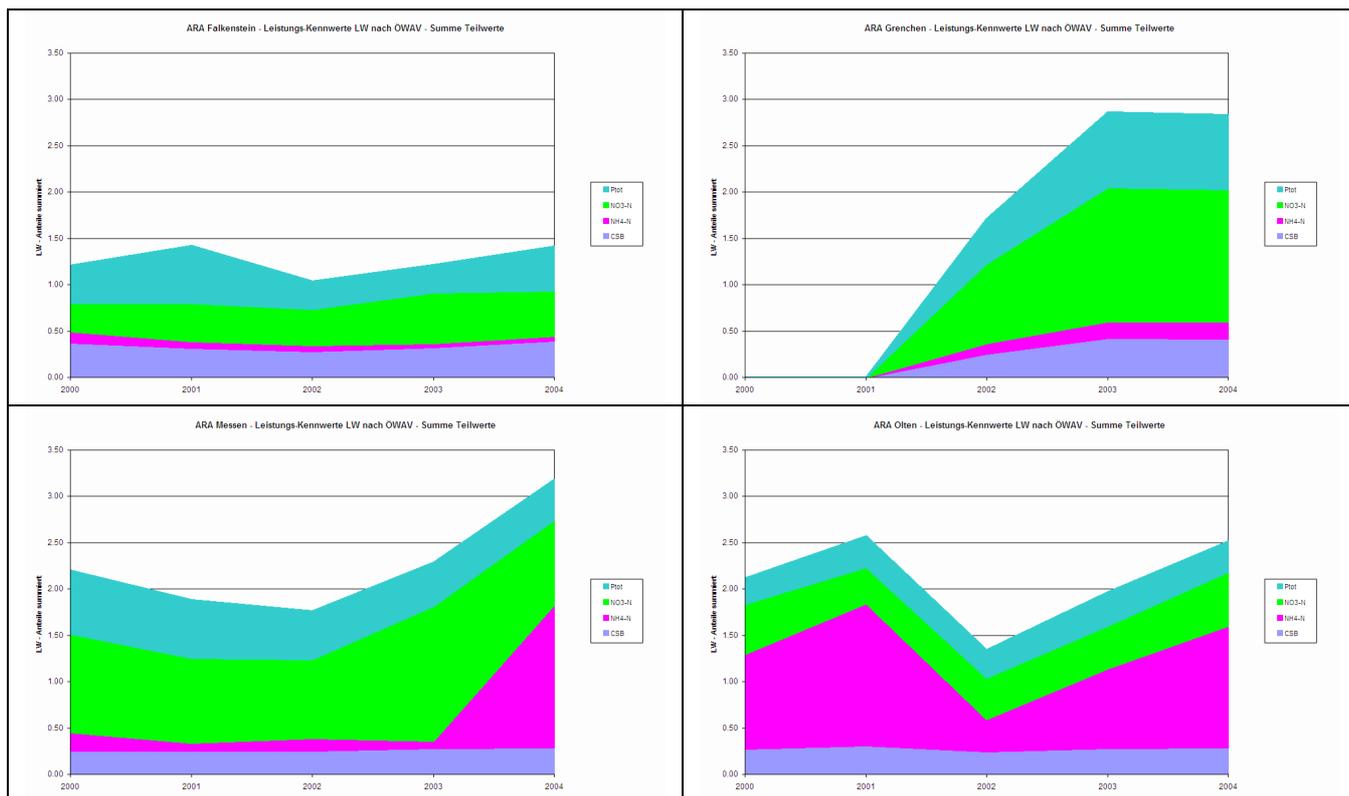
Die Werte für den Anteil CSB liegen relativ nahe beieinander. Die Variationen über die verschiedenen Datenjahre sind teilweise erheblich.



Für den Anteil $\text{NH}_4\text{-N}$ sind die Wert-Bandbreiten sowohl absolut als auch über die Zeit teilweise sehr gross, und damit dominant für den Gesamtwert LW.

Die **summierten Jahreswerte LW für vier verschiedene Kläranlagen** sind nachfolgend dargestellt, jeweils mit den einzelnen Anteilen der vier massgebenden Komponenten der Leistungs-Kennwert-Summe.

Die Summendarstellungen zeigen, dass die Stickstoff-Behandlung grosse Unterschiede aufweist, was auf den Leitungs-Kennwert LW einen massgeblichen Einfluss hat.



Vorläufige Wertung des Leistungskennwerts als Beurteilungsgrösse:

- Die Beurteilung einer ARA sowie von deren Zuflusssystem mit einem einzigen Wert auf Gesamtjahresbasis erscheint nach den übrigen vorgenommenen Auswertungen von Zusammenhängen und Abhängigkeiten zu pauschal und zu vereinfachend.
- Jahres-Werte sind nach gegenwärtigem Eindruck nicht geeignet, die unterschiedlichen Situationen um Niederschläge, Grundwasser-Einfluss, Fremdwasser, etc., über das ganze Jahr ausreichend repräsentativ zu beschreiben.
- Sinngemäss ist es ein Unding, die Fremdwasser-Situation mit einem Verdünnungsfaktor oder einem Prozentwert auf Jahresbasis erfassen zu wollen – dieser Wert gibt nicht einmal in Ansätzen eine Hilfestellung für die Interpretation und Wertung der Leistungskennwerte.
- Bezeichnenderweise korrelieren für die verschiedenen Daten-Jahre der Leistungskennwert LW und der Verdünnungsfaktor a nicht oder nur ansatzweise – dies verwundert nicht, weil im Jahres-Mittelwert die wesentlicheren weiteren Einflussgrössen innerhalb des Jahresverlaufs nicht mehr ausreichend zum Tragen kommen.

10. Zusammenfassung und Fazit

Ausgelöst von eher „zufälligen“ Erkenntnissen über Grössenordnungen sowie über weitergehende Zusammenhänge um die Fremdwasser-Situation verschiedener Entwässerungssysteme und Kläranlagen wurden in der Folge die Betriebsdaten mehrerer Solothurner ARAs am südlichen Jurafluss diesbezüglich systematisch untersucht.

Die Erkenntnis, dass das Fremdwasserproblem in den verschiedenen Generellen Entwässerungsplanungen auf Gemeinde- und Verbandsebene immer noch eher eine stiefmütterliche Bearbeitung erfährt, wurde mit der vorliegenden Arbeit versucht, das Verständnis für den Wert einer vertieften Nutzung vorhandener Datenquellen zu schärfen.

Die wesentliche Bedeutung der ARA-Betriebsdaten als zwingende Grundlage für GEP-Bearbeitungen wird durch die vorgenommenen Untersuchungen klar dokumentiert.

Die im vorliegenden Bericht dokumentierten Untersuchungen zeigen den ausserordentlich grossen Informationsgehalt und Wert der auf praktisch allen Kläranlagen verfügbaren Betriebsdaten.

Die systematische Gegenüberstellung von Zuflussmengen- und Stoff-Daten verschiedener Kläranlagen eröffnet interessante Einsichten in die spezifischen Verhältnisse der ARA-Einzugsgebiete.

Bemerkenswerte Ergebnisse liefern die Untersuchungen im besonderen über die Grössenordnungen der Verluste an Stofffracht im Kläranlagen-Zufluss in Funktion der Entlastungsanlagen im Netz und vor der ARA. Diese Stoff-Verluste sind nicht nur eine Folge der Niederschläge, sondern ebenso der erhöhten Fremdwassermengen als Funktion z.B. hoher Grundwasserspiegel, weil dadurch das Weiterleit-Fenster an den Überlaufanlagen reduziert und damit mehr Wasser und Stoff entlastet wird.

Gefunden wurden sowohl bemerkenswerte Übereinstimmungen als auch teilweise deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Kläranlagen. Die letzteren zeigen, dass verallgemeinernde Aussagen z.B. über Fremdwasser-Einflüsse und -Auswirkungen nicht zulässig sind.

Die vorliegenden Untersuchungen unter Einbezug ergänzender Daten über Grundwasser-Niveaux sowie Niederschlagsdaten demonstrieren die Notwendigkeit, für die Interpretation und das Verständnis von ARA-Betriebsdaten-Auswertungen diese ergänzenden Randbedingungen einzubeziehen. Gegebenenfalls müssen auch Schneeschmelz-Vorgänge, Gewässerspiegel und weitere Einflüsse berücksichtigt werden.

Die verschiedenen Auswertungen zeigen auf, dass für einigermaßen repräsentative Untersuchungen nicht auf nur einzelne Daten-Jahre abgestellt werden sollte, weil die Unterschiede recht bedeutend sein können, z.B. infolge trockener und nasser Jahre.

Die hier präsentierten Ergebnisse sind naturgemäss durch die spezifischen Grundwasser- und Fremdwasser-Verhältnisse am Solothurner Jurasüdfuss geprägt. Sie können in andern Regionen der Schweiz wesentlich anders aussehen.

CHRISTIAN EICHER INGENIEURBÜRO
EISENBAHNSTRASSE 1 4900 LANGENTHAL
T 062 923 85 30 F 062 923 85 31
chebelp@bgb.ch

1. DEZEMBER 2008

Impressum

Herausgeber, Bezugsquelle

Amt für Umwelt
des Kantons Solothurn
Greibenhof
Werkhofstrasse 5
4509 Solothurn
Telefon 032 627 24 47
Telefax 032 627 76 93
afu@bd.so.ch
www.afu.so.ch

Projektleitung

Bernhard Glanzmann, Amt für Umwelt

Bearbeitung

Christian Eicher, Ingenieurbüro, Langenthal

© by

Amt für Umwelt 2008