



Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences

**Ermittlung und Bewertung von ausgewählten
Gewässerparametern im Regenabfluss von Flugbetriebsflächen
am Beispiel des Flughafens Hamburg**

Bachelorarbeit

Im Studiengang Umwelttechnik

vorgelegt von

Malika Shambulova

Matrikelnummer: 2110574

06 März 2014, Hamburg

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINFÜHRUNG.....	8
2	ABSTRACT	9
3	GRUNDLAGEN.....	10
3.1	Rechtliche Grundlagen und Regelwerke	10
3.1.1	Luftverkehrsrecht	10
3.1.1.1	Internationale Vorschriften der ICAO	10
3.1.1.2	Luftverkehrsrecht der EU und der Bundesrepublik Deutschland.....	11
3.1.2	Wasserwirtschaftsrecht.....	11
3.1.2.1	EU-Recht	11
3.1.2.2	Recht des Bundesrepublik Deutschlands und Bundesländer.....	12
3.1.2.3	Recht der Freien und Hansestadt Hamburg	13
3.1.2.4	Regelwerke und Normen	13
3.1.2.5	Sonstige Regelwerke	18
3.2	Regenwasserhaushalt.....	18
3.2.1	Regenabfluss von versiegelten Flächen.....	19
3.2.1.1	Wasserbilanz	19
3.2.1.2	Phänomen des Spülstoßes.....	20
3.2.1.3	Verschmutzungen von Oberflächenwasser und ihre Einflussfaktoren	21
3.2.2	Stoffliche Belastung des Regenabflusses von Verkehrsflächen	22
3.2.3	Parameter zur Gewässergüte	23
3.2.3.1	Feststoffe	24
3.2.3.2	Sauerstoffzehrende Substanzen	25
3.2.3.3	Schwermetalle	26
3.2.3.4	Organische Schadstoffe	28
4	THEORETISCHER TEIL	30
4.1	Betrachtetes Bezugsgebiet.....	30
4.1.1	Beschreibung der Flugbetriebsflächen	31
4.1.2	Beschreibung des Vorfluters	35
4.1.3	Entwässerung der Flugbetriebsflächen.....	35
4.2	Einflüsse aus der Luft.....	39
4.2.1	Emissionsausbreitungsmodell LASPORT.....	41

4.2.2	Bestandsaufnahme der Emissionsquellen.....	43
4.2.2.1	Flugzeuge	43
4.2.2.1.1	Flugzeugtreibstoff.....	43
4.2.2.1.2	Emissionen	45
4.2.2.2	Bodenverkehr	46
4.2.3	Einschätzung der Belastung	47
4.3	Verschmutzung der Oberflächen.....	49
4.3.1	Ermittlung der verkehrlichen Belastung.....	49
4.3.1.1	Methodik zur Berechnung von DTV-Wert für Verkehrszählung.....	50
4.3.1.2	DTV-Wert am Flughafen Hamburg	51
4.3.1.2.1	Luftverkehrsaufkommen	52
4.3.1.2.2	Umrechnungsfaktoren	56
4.3.1.2.3	Berechnung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastung für einzelne Flächen	58
4.3.1.2.3.1	Start- und Landebahnen.....	59
4.3.1.2.3.2	Vorfelder.....	59
4.3.1.2.3.3	Rollwege.....	61
4.3.2	Belastung durch Abrieb.....	63
4.3.2.1	Fahrbahn- und Bremsbelagsabrieb	64
4.3.2.2	Reifenabrieb von Straßenfahrzeugen.....	65
4.3.2.3	Reifenabrieb von Luftfahrzeugen.....	67
4.3.2.4	Emissionen durch den Abrieb	70
4.3.3	Belastung durch Winterdienst	73
4.3.3.1	Beschreibung des Enteisungsverfahrens	73
4.3.3.2	Überwachungsmaßnahmen am Flughafen Hamburg	74
4.3.4	Unfallgefahr/Havariefall.....	75
4.3.5	Gesamtbewertung des Regenabflusses.....	76
5	PRAKTISCHER TEIL.....	77
5.1	Messergebnisse.....	77
6	DISKUSSION DER ERGEBNISSE.....	80
6.1	Ableich der Belastung gemäß DWA und DTV Berechnung.....	80
6.2	Auswertung der Beckenmessergebnisse.....	81
6.3	Zusammenhänge zwischen DTV- Werten und Schadstoffbelastungen im Oberflächenwasser – Forschungsstand	83
6.4	Zusammenhang zwischen DTV- Schadstoffgehalt in den Regenklärbecken: eigene Untersuchungen.....	84

6.5	Kritische Methodenreflexion.....	87
6.5.1	Ermittlung der DTV- Werte und der Belastung der Flächen.....	87
6.5.2	Zur Untersuchungen der Schadstoffkonzentration in den Regenklärbecken.....	88
7	FAZIT.....	90
8	LITERATURVERZEICHNIS	91
9	ANHÄNGE.....	I
9.1	Anhang 1	II
9.2	Anhang 2	III
9.3	Anhang 3	IV
9.4	Anhang 4	V
9.5	Anhang 5	VII
9.6	Anhang 6	VIII
9.7	Anhang 7	IX
9.8	Anhang 8	X

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Ausgewählte EU-Richtlinien zum Gewässerschutz. Quelle: Eigene Darstellung nach (Sommer, 2007 S. 5).....	12
Tabelle 2: Zusammenfassung der Faktoren. Quelle: eigene Darstellung nach (Kayhanian, et al., 2003)	21
Tabelle 3. Übersicht von verkehrsbedingten Schadstoffen. Quelle: eigene Darstellung nach (Kobringer, 1984) (Hillenbrand, et al., 2005),	23
Tabelle 4. Schadstoffgruppen und entsprechende Parameter. Quelle: (Leisse, 2008 in (Rempp, 2012 S. 13))	24
Tabelle 5. Auswahl der wichtigsten PAK-Verbindungen. Quelle: (Herpertz, et al., 2005, S. 85).....	28
Tabelle 6. Prozentuale Belegung der Vorfelder des Flughafens Hamburg. Quelle: FHG intern 2013 .	34
Tabelle 7. Zusammenstellung der Entwässerungsflächen. Quelle: FHG intern	38
Tabelle 8. Bezugsgebiete RKB. Quelle: Eigene Darstellung nach FHG intern.	39
Tabelle 9. Bewertung der Verkehrsflächen für Einflüsse aus der Luft (L). Quelle: (DWA, 2007)	40
Tabelle 10. LTO Phasen im LASPORT und gemäß ICAO. Quelle: (Janicke Consulting, 2014).....	42
Tabelle 11. Kategorisierung von Flugzeugen nach LASPORT. Quelle: (Janicke Consulting, 2014)...	42
Tabelle 12. Emissionsmengen Flugzeuge 2012. Gesamt siehe Anhang 4. Quelle: FHG intern	46
Tabelle 13. Bestandsaufnahme des Bodenverkehrs FHG. <i>Quelle: FHG intern</i>	47
Tabelle 14. Emissionsmengen von GPU 2012. Siehe Anhang 4. Quelle: FHG intern LASPORT Auswertung	47
Tabelle 15. Luftmesswerte des Hamburger Luftmessnetzes Stand Mai 2012. Quelle: FHG intern.....	49
Tabelle 16. Fahrzeugartenklassifizierung. Quelle: (Kathmann, et al., 2009 S. 16).....	51
Tabelle 17. Luftverkehrsdaten –Auswertung der verkehrlichen Belastung. Siehe Anhang 9.5. Quelle: Topsonic Lärmessprogramm 2013 FHG intern; eigene Darstellung.....	53
Tabelle 18. Häufigkeitsklassen für die Verteilung der Luftfahrzeuge nach Gewichtsklassen.	54
Tabelle 19. Luftverkehrsaufkommen nach S/L-Bahnen 2012. Darstellung s. Anhang 9.6.	55
Tabelle 20. Verkehrliche Belastung des Vorfeldes.	56
Tabelle 21. Umrechnung der Flugzeuge in Straßenfahrzeuge nach Gewichtsklassen. Quelle: eigene Darstellung nach (Winther, et al., 2010); (Janicke Consulting, 2009 S. 13,44)	57
Tabelle 22. Umrechnung Flugbewegungen nach Gewichtsklassen in Kfz/Tag.	57
Tabelle 23. Verkehrliche Belastung in DTV-Werte gemäß der Einleitung in Kapitel 4.3.1.....	59
Tabelle 24. Verkehrliche Belastung der Vorfelder.....	59
Tabelle 25. Nutzung der Rollbahnen nach Entwässerungsbezugsgebiete.....	62
Tabelle 26. verkehrliche Belastung der ausgewählten Rollbahnen	63
Tabelle 27. Abriebraten/Verschleißrate (wear rate) Straßenfahrzeuge bezogen auf die Fahrzeugkilometer (vkm) jeweiligen Fahrzeuges. Quelle: eigene Darstellung nach (Winther, et al., 2010 S. 38)	65
Tabelle 28. Mischungsbestandteile eines Reifens nach Anteil und Funktion. Quelle: eigene Darstellung nach (Continental Reifen, 2013).....	66
Tabelle 29. Zusammensetzung der Reifenlaufflächen. Quelle: (McCarty, et al., 1979 S. 2).....	67
Tabelle 30. Abschätzung der Schwermetallemissionen aus der Gesamtabriebmenge und den Mittelwerten der Konzentrationen der untersuchten Elemente. (Annahme: Gesamtabriebmenge 111420 t/a). Quelle: (Kocher, et al., 2010 S. 26).....	72
Tabelle 31. Schwermetallemissionsfaktoren [μg pro km] auf unterschiedlicher Straßentypen nach Fahrzeugkategorie. Quelle: Auszug aus (Winther, et al., 2010 S. 41)	73
Tabelle 32. Summarische verkehrliche Belastung in Regenklärbecken in Kfz/Tag.	76
Tabelle 33. Analyseergebnisse der Wasserproben aus den RKB	79
Tabelle 34. Messergebnisse der ausgewählten Parameter der RKB.	80
Tabelle 35. Abgleich der Messergebnisse mit den Grenzwerten der Gesetzgebung.....	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einstufung der Belastung von abflusswirksamen Flächen gemäß DWA- Arbeitsblatt A 138. Quelle: (Grotehusmann, et al., 2008 S. 22)	17
Abbildung 2. Qualitative Änderung der Wasserbilanz einer Siedlung bei zunehmender Bebauung. Quelle: (DWA, 2007 S. 9).....	20
Abbildung 3. Stoffströme und -senken im Straßenverkehr. Quelle: (Hillenbrand, et al., 2005 S. 74)..	22
Abbildung 4. Verteilung verschiedener Stoffparameter im Straßenabfluss. Quelle: (Stein, 2008).....	25
Abbildung 5. Berücksichtigte Schwermetallquellen, Transportpfade und Senken. Quelle: (Hillenbrand, et al., 2005 S. 32)RWBA: Regenwasserbehandlungsanlage, RÜB: Regenüberlaufbecken, RÜ: Regenüberlauf.	27
Abbildung 6. Zinkproduktion und -verwendung und qualitative Stoffströme in Verbindung mit Gewässereinträgen, Deutschland 2000. Quelle: (Hillenbrand, et al., 2005 S. 30)	27
Abbildung 7. Prozesse im System Luftverkehr. Quelle: (Mensen, 2007 S. VIII)	31
Abbildung 8. Generelle Struktur eines Flugplatzes. Quelle: (Mensen, 2007 S. 235).....	31
Abbildung 9. FHG Flugbetriebsflächen. Gesamtbild s. Anhang 1. Quelle: FHG intern.....	32
Abbildung 10. Abfertigungspositionen Vorfeld 1 und bezogene Rollbahnen. Siehe Anhang 2. Quelle: FHG intern.....	34
Abbildung 11. System der Regenrückhaltebecken mit Einzugsgebieten (Entwässerungsnetzen). Siehe Anhang 9.3. Quelle: FHG intern 2013	37
Abbildung 12. Prinzip eines Regenklärbeckens mit Dauerstau. Quelle: (Sommer, 2007 S. 57)	37
Abbildung 13. Der Standard LTO-Zyklus nach ICAO mit den beteiligten Betriebsarten des Flugzeuges, den Schubvorgängen und den Zeitdauern. Quelle: (Bräunling, 2009 S. 1014).....	41
Abbildung 14. Flughafenbezogene Emissionsquellen. Quelle: Eigene Darstellung nach (KB Inc., et al., 2013, S.28).	43
Abbildung 15. Eigenschaften ausgewählter Brennstoffe. Quelle: (Bräunling, 2009 S. 978)	44
Abbildung 16. Emissionen eines Triebwerks pro kg verbrauchtes Kerosin bei 25 kg Luftdurchsatz. Quelle: (Mensen, 2007 S. 870).....	45
Abbildung 17. Spuren des Reifenabriebs auf den Flugbetriebsflächen des Flughafens Hamburg. (Quelle: Google maps)	67
Abbildung 18. Abriebraten von verschiedenen Flugzeugreifen beim Bremsen und Kurvenfahrt, abhängig vom Schlupfverhältnis. Fahrbahnbelag: glatter Asphalt. Quelle: (McCarty, et al., 1979 S. 35).....	68
Abbildung 19. Abriebraten von freilaufenden Flugzeugreifen je nach dem Gierwinkel (yaw angle). Quelle: (McCarty, et al., 1979 S. 30)	69
Abbildung 20. Reifenoberflächentemperatur in verschiedenen Betriebsphasen und Slip ratio. Fahrbahn: glatter Asphalt. Quelle: (McCarty, et al., 1979 S. 37).....	70
Abbildung 21. Abschätzung der Reifenbestandteile, die mit dem Gesamtabrieb jährlich freigesetzt werden [t/a]. (Kocher, et al., 2010 S. 25)	71
Abbildung 22. Funktionsprinzip der Ableitung von enteisungsmittelbelasteten Wasser über die TOC-Anlage. Quelle: (Bradersen-Brenner, et al., 2010 S. 22).....	74
Abbildung 23. Schwermetallkonzentrationen in den Regenklärbecken in Bezug zur DTV	85
Abbildung 24. Gesamter Kohlenstoff TC und chemischer Sauerstoffbedarf CSB	85
Abbildung 25. PAK Summenparameter und Referenzsubstanzen	86

Abkürzungsverzeichnis

AFS	Abfiltrierbare Stoffe
AOX	Adsorbierbare organische Xalogenverbindungen
APU	Auxillary Power Unit
ASS	Absetzbare Stoffe
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
FHG	Flughafen Hamburg GmbH
GPU	Ground Power Unit
GSE	Ground Support Equipment
ICAO	International Civil Aviation Organization
Kfz	Kraftfahrzeug
Lfz	Luftfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
LTO	Landing and Take-Off Cycle
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MTOM (MTOW)	Maximum Take-Off Weight (Mass)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pkw	Personenkraftwagen
RKB	Regenklärbecken
S/L-Bahn	Start- und Landebahn
TKN	Total Kjedal Nitrogen
TOC	Total Organic Carbon

1 Einführung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Thematik der Einstufung von Verkehrsflächen des Flughafens Hamburg, um die durch den Flugbetrieb entstehende verkehrliche Belastung der Flächen im Hinblick auf deren Entwässerung quantifizieren und mit allgemein anerkannten Regeln abzugleichen. Hintergrund ist, dass anders als bei Straßen für die Oberflächenabflüsse von Flugplätzen bislang noch keine allgemeinen Regelwerke festgelegt wurden. Unterschiedliche abwassertechnische Rahmenbedingungen sind dabei durch ein spezielles, auf den jeweiligen Flugplatz abgestimmtes Entsorgungs- und Entwässerungskonzept individuell zu berücksichtigen.

Die für die Regenwasserbehandlung relevanten Stoffparameter werden dabei anhand unterschiedlicher Kriterien ermittelt. Die vorhandenen Bewertungskriterien zur Aufteilung des Regenabflusses nach seiner Herkunft beziehen sich primär auf die Straßenverkehrsflächen und Kraftfahrzeuge als Kenngrößen. Es gibt keine Grenzwerte, die den Belastungsgrad der Flugbetriebsflächen berücksichtigen und den betrieblichen Gegebenheiten von Flughäfen entsprechen. Regelwerke, die diese Thematik behandeln, liegen in erster Linie für den Straßenverkehr vor – zu nennen sind hier vor allem Merk- und Arbeitsblätter der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA). In der vorliegenden Arbeit soll der Versuch unternommen werden, die Vorgaben u.a. dieser Merkblätter vom Straßenverkehr auf den Flugbetrieb zu übertragen. Auf diesem Weg sollen stichhaltige Aussagen zur Einstufung und Belastung von Flughafenflächen vorgenommen werden. Ein Abgleich mit Untersuchungen zur Schadstoffbelastung von Oberflächenwasser aus dem Flughafen soll diese Aussagen unterstützen.

In den Grundlagen der Arbeit werden daher sowohl der Regenwasserhaushalt als auch bisher beobachtete Belastungen des Regenabflusses von Verkehrsflächen beschrieben. Ferner werden die verkehrsbedingten Schadstoffe und entsprechenden Abwasserparameter bestimmt. Das Kapitel 4.1 befasst sich mit der Beschreibung der Flugbetriebsflächen im Allgemeinen und dem Entwässerungssystem des Flughafens Hamburg. Im theoretischen Teil der Arbeit wird die Belastung des Regenabflusses von Flugbetriebsflächen einschließlich der dabei entscheidenden Einflussparameter (Luftbelastung, verkehrliche Belastung) gemäß dem in DWA Merkblatt 153 empfohlenem Verfahren ermittelt. Dabei wird für die abflusswirksamen Flächen die Größe DTV hergeleitet. Dabei wird auch die mögliche Vorbelastung des Niederschlages durch Luftdeposition berücksichtigt. Der praktische Teil

besteht in der Auswertung der Gewässerparameter der Regenklärbecken des Flughafens Hamburg. Dabei werden die ermittelten Konzentrationen der ausgewählten Schadstoffe mit den Messwerten des Regenabflusses unterschiedlich belasteter Verkehrsflächen verglichen. Abschließend werden die Ergebnisse diskutiert und der Bedarf nach weiterer Forschung festgestellt.

2 Abstract

Die hier vorliegende Arbeit befasst sich mit der Einstufung von Flugbetriebsflächen – Vorfelder einschließlich ihrer funktional unterschiedlichen Bereiche Rollkorridore und Flugzeugabstellflächen, Taxiwege sowie die Start- und Landebahnen – hinsichtlich ihrer verkehrlichen Belastung und der auf ihnen zu erwartenden Schadstofffrachten sowie mit den daraus entstehenden Anforderungen an den Gewässerschutz. Letzteres bezieht auch die Belastungen von Schadstoffen aus der Belastung der umgebenden Luft (nasse und trockene Deposition). Einschlägige dahingehende Regelwerke, insbesondere das Merkblatt M 153 der DWA, stufen derartige Flächen zwar ein, ohne jedoch sachliche Gründe dafür anzugeben. Insofern ist die Wahrscheinlichkeit einer falschen Einstufung vergleichsweise hoch. Konkret wurden diese Untersuchungen am Beispiel der Flughafen Hamburg GmbH (FHG) vorgenommen. In einem ersten Schritt wurde die durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung (DTV) der Flugbetriebsflächen der FHG errechnet. Dazu wurden die auf den Flächen verkehrenden Flächen hinsichtlich ihres maximalen Startgewichtes in Kfz unterschiedlicher Größen umgerechnet. Die dabei erlangten Zahlen repräsentierten die durchschnittliche verkehrliche Belastung der Flächen. Diese stimmte für Rollwege und die Start- und Landebahnen mit den Einstufungen des Merkblattes M 153 überein. Für Vorfeldflächen ergaben sich niedrigere Werte.

Zur Kontrolle dieser Werte wurde die Belastung mit Schadstoffen der Flugbetriebsflächen und der daran angeschlossenen Regenklärbecken untersucht. Diese Untersuchungen befassten sich mit den flughafenspezifischen Schadstoffquellen Abgase, Mineralölkohlenwasserstoffe, Reifenabrieb etc. Neben einer theoretischen Betrachtung der von diesen Quellen ausgehenden Schadstoffe – PAK, Schwermetalle, MKW, Sauerstoff zehrende Substanzen, Schweb- oder abfiltrierbare Stoffe – wurden Untersuchungen von Wasserproben aus den Regenklärbecken durchgeführt. Diese Untersuchungen ergaben eine insgesamt geringe Belastung des Oberflächenabflusses aus Flugbetriebsflächen, wobei u.a. bei den angetroffenen Zinkkonzentrationen Zusammenhänge zwischen Schadstoffkonzentrationen und DTV

angefunden wurden. Die hilfsweise herangezogenen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung und zweier Anhänge der Abwasserverordnung wurden unterschritten. Die Messergebnisse lieferten daher Anhaltspunkte für eine geringe Belastung der Flughafenbetriebsflächen, die im Fall der Vorfeldflächen die Einstufung im Merkblatt M 153 als zu streng erscheinen lassen. Es wird empfohlen, weitere Messprogramme durchzuführen, um die hier vorgestellten Ergebnisse unter allen Witterungs- und Betriebsbedingungen am Flughafen zu konkretisieren.

3 Grundlagen

3.1 Rechtliche Grundlagen und Regelwerke

Für die Beurteilung von Ablaufwässern von Flugbetriebsflächen existieren weder verbindliche Qualitätsanforderungen noch Grenzwerte oder Richtwerte durch entsprechende gesetzliche Vorgaben. Existierende Regenwasserbehandlungsanlagen dienen in der ersten Linie dem Ziel des vorbeugenden Gewässerschutzes. Außerdem sind weiterhin die luftfahrtbezogene Vorschriften zu beachten. Im Folgenden wird zusammenfassend auf die wichtigsten rechtlichen Grundlagen eingegangen.

3.1.1 Luftverkehrsrecht

Die folgenden Unterkapitel zu 3.1.1 beruhen im Wesentlichen auf Literatur von Mensen (Mensen, 2007 S. Teil II).

3.1.1.1 Internationale Vorschriften der ICAO

Eine der wichtigsten Regelwerke in der zivilen Luftfahrt ist das sogenannte Chicagoer Abkommen (Convention on International Aviation), das 1944 von 52 Staaten weltweit unterzeichnet wurde. Die internationale Zivilluftfahrtorganisation (International Civil Aviation Organisation, ICAO) beschäftigt sich mit der Entwicklung und Überarbeitung der Anhänge (Annexe) zum Chicagoer Abkommen. Zurzeit umfasst die ICAO 188 Mitgliedstaaten. (Mensen, 2007). Insgesamt enthält das ICAO-Abkommen 96 Artikeln und 18 Anhänge (Annexe). Der Annex 14 „Aerodromes“ (Flugplätze) besteht aus zwei Bänden und enthält die Grundlagen und Rahmenbedingungen für Anlage und Betrieb von Flugplätzen sowohl für Flugzeuge als auch für Hubschrauber. Diese Vorschriften enthalten die Hinweise und Empfehlungen, die die Mitgliedstaaten berücksichtigen müssen. Für die Sicherung von Flugzeugen und befestigten Flugbetriebsflächen wird auf die ICAO-Vorschriften hingewiesen. Bestimmte Themenbereiche werden in den sogenannten „Documents“

bearbeitet, die darüber hinaus weitere Ausführungsbestimmungen festlegen. Für das Themengebiet Flugplätze ist beispielsweise das ICAO „Aerodrome Design Manual“ mit Part 1 Runways (S/L-Bahnen), Part 2 Taxiways (Rollbahnen), Aprons (Vorfelder) usw. zu nennen.

3.1.1.2 Luftverkehrsrecht der EU und der Bundesrepublik Deutschland

Aus der Basis der ICAO- Dokumente, bzw. der Anhänge 1-18 leiten sich im Wesentlichen die europäischen und letztlich der deutschen nationalen Rahmenbedingungen ab. Das deutsche Luftverkehrsgesetz steht damit mit den europäischen und internationalen Vorschriften im Einklang und wird nicht ausführlich beschrieben. Zur Regelung des Luftverkehrs wurde 1922 das Luftverkehrsgesetz, LuftVG als Bundesgesetz übernommen und den internationalen Vorgaben entsprechend angepasst. Darüber hinaus wird die Luftfahrt neben dem LuftVG durch folgende Gesetze und Verordnungen reguliert:

- Gesetz über das Luftfahrt-Bundesamt (LBAG)
- Luftsicherheitsgesetz (LuftSiG)
- Gesetz über den Deutschen Wetterdienst (DWDG)
- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)
- Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO)
- Verordnung über Bodenabfertigungsdienste auf Flugplätzen (BADV)

3.1.2 Wasserwirtschaftsrecht

3.1.2.1 EU-Recht

Die zwischenstaatlichen Vereinbarungen zum Gewässerschutz beginnen auf der Ebene der europäischen Union. Über nationales Recht werden diese Vorgaben weiter ergänzt, so dass das bundesdeutsche Recht hier anpasst (Boller, 2005 S. 5). Die Europäische Union hat in den letzten 30 Jahren mehr als 20 Richtlinien erlassen, die den Gewässerschutz betreffen (s. auch Tabelle 1). Dabei werden sowohl emissionsorientierte Vorgaben als auch immissionsorientierte Qualitätsziele festgelegt.

Tabelle 1. Ausgewählte EU-Richtlinien zum Gewässerschutz. Quelle: Eigene Darstellung nach (Sommer, 2007 S. 5).

Nummer	Name	Jahr	Ansatz	
			Emission	Immission
80/778/EWG	Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch	1980		*
76/464/EWG	Richtlinie über gefährliche Stoffe	1976	*	*
80/68/EWG	Grundwasserrichtlinie	1980	*	
91/271/EWG	Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser	1991	*	
2000/60/EG	EU-Wasserrahmenrichtlinie	2000	*	

Weiterhin werden die auf Regenwasserbewirtschaftung bezogenen Richtlinien erläutert.

Die **Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG)** formuliert die Anforderungen an Stadtentwässerung, Ausrichtung der Kanalisation und Regenwasserbewirtschaftungsanlagen. Dabei sind das Sammeln, Behandeln und Einleiten sowohl von kommunalem als auch von Industrieabwasser einschließlich des Niederschlagswassers berührt.

Die **Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG WRRL)** bildet in der EU die Grundlage für im Prinzip alle vorhandenen Richtlinien zum Gewässerschutz. Diese Richtlinie schreibt vor, einen „guten ökologischen und chemischen Zustand“ aller Oberflächen und Grundwasserkörper zu erreichen. Außerdem ist eine „Emissionsbegrenzung auf der Grundlage der besten verfügbaren Technologie“ bei der Einleitung in Oberflächengewässer vorgeschrieben. Als weiteres Umweltziel ist die Fernhaltung prioritärer gefährlicher Stoffe aus den Gewässern aufgeführt.

Die Bundesrepublik überträgt in der Regel die Vorgaben der EU-Richtlinien auf die deutsche Gesetzgebung.

3.1.2.2 *Recht des Bundesrepublik Deutschlands und Bundesländer*

Das **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)** stellt die rechtliche Grundlage des Wasserrechts in der Bundesrepublik Deutschland dar (Sommer, 2007 S. 9). „Zweck des Gesetzes ist es, durch eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts, als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares

Gut zu schützen“ (§ 1 WHG). Gemäß der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist in §7a WHG die Anwendung der besten verfügbaren Technologie, bzw. des Standes der Technik vorgeschrieben. Das WHG beinhaltet Bestimmungen zur Reinhaltung und Nutzung verschiedener Gewässerarten (oberirdische Gewässer, Grundwasser usw.), was der Umsetzung der europäischen Richtlinien entspricht. Die abwasserbezogenen Regelungen werden unter Berücksichtigung der Gesamtemission der durch die Regenwasserentsorgung eingetragener Schadstofffrachten formuliert. Die Vorschriften des WHG sind daher für die ortsübergreifende Regenwasserbewirtschaftung von großer Bedeutung.

Das **Abwasserabgabengesetz (AbwAG)** regelt das Einleiten von Abwasser über die Abwasserabgabe, deren Höhe, je nach so genannter „Schadeinheiten“, bzw. Grad der Belastung unterschiedlich ausfällt. Das AbwAG betrifft die Einleitung von Niederschlagswasser nur dann, wenn dieses entweder über eine öffentliche Kanalisation erfolgt oder von befestigten gewerblichen Flächen über drei Hektar stammen (Sommer, 2007 S. 10).

Die **Abwasserverordnung AbwV** legt die Grundlagen zu emissionsbezogenen Anforderungen an in ein Gewässer einzuleitendes Abwasser fest. Durch diese Einleitungsstandards wird sichergestellt, dass die Schadstofffracht nach dem Stand der Technik entsprechend gering gehalten wird. Dadurch wird ein Beitrag zur Verwirklichung des Vorsorgeprinzips im Gewässerschutzrecht geleistet (UBA, 2014).

3.1.2.3 Recht der Freien und Hansestadt Hamburg

Das Hamburgische Landesrecht enthält zwei relevante Verordnungen, nämlich das **Hamburgische Wassergesetz (HWaG)** und das **Hamburgische Abwassergesetz (HmbAbwG)**. Das HWaG gilt für die in § 1 Absatz 1 des WHG genannten Gewässern. Das HmbAbwG enthält allgemeine Einleitungsbedingungen, Verordnung über Nachweise im Bereich der Abwasserbeseitigung sowie technische Betriebsbestimmungen zu den Entwässerungsanlagen und Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten und Fette.

3.1.2.4 Regelwerke und Normen

Das Deutsche Institut für Normung (DIN), die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) und andere Fachverbände geben technische Regelwerke und Normen betreffend der Problemstellungen in der Siedlungswasserwirtschaft heraus. Sie dienen dazu, Vorgaben festzulegen, deren Umsetzung sicher zu einer Einhaltung der

geltenden gesetzlichen Anforderungen führt. Daher werden qualitative Behandlungsziele nicht in diesen Dokumenten definiert (Sommer, 2007 S. 21).

DIN Normen

Einige für die Regenwasserbewirtschaftung relevante DIN Normen sind:

- DIN 1986 „Entwässerung von Gebäuden und Grundstücken“
- DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“
- DIN 1999 Abscheider für Leichtflüssigkeiten- Benzinabscheider, Heizölabscheider
- DIN 19580 Entwässerungsrinnen für Niederschlagswasser

Außerdem sind die Messverfahren verschiedener Gewässerparameter über DIN- Normen festgelegt, wie zum Beispiel DIN ISO 15705 (bzw. DEV H45) „Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs – Küvettentest“.

DWA-Regelwerk

Neben dem umfassenden Regelwerk zur Regenwasserbewirtschaftung erarbeitet DWA Merkblätter und Arbeitsberichte. Nach DWA-A 400, "Empfehlungen und Hilfen zur Lösung technischer und betrieblicher Probleme sowie zum Qualitätsmanagement“, ist die Aufgabe der Arbeitsblätter „insbesondere zur Umsetzung gesetzlicher Anforderungen technische Verfahren, Einrichtungen, Betriebsweisen und Maßnahmen zu beschreiben, die sich in ihrer praktischen Anwendung bewährt haben und nach sachverständiger Überzeugung der auf dem betreffenden Fachgebiet tätigen Personen als technisch einwandfreie und wirtschaftliche Lösungen gelten.“ Die Merkblätter stellen wiederum die Ergänzungen zu Arbeitsblätter dar, sowie beschreiben die die in Arbeitsblätter nicht anerkannte Maßnahmen, Verfahren, Einrichtungen und Betriebswesen im Allgemeinen. (DWA, 2008). Folgende sind für die Entwässerung und Behandlung von Regenwasserabflüssen von Bedeutung. (DWA, 2013)

DWA –A Arbeitsblätter

- A101 „Planung von Entwässerungsanlagen, Neubau-, Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen“
- A105 „Wahl des Entwässerungssystems“
- A110 „Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen“

- A111 „Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Regenwasser-Entlastungsanlagen in Abwasserkanälen und -leitungen“.
- A 112 „Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Sonderbauwerken in Abwasserleitungen und –kanälen“
- A118 „Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“
- A138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“
- A166 „Bauwerke zur zentralen Regenwasserbehandlung und –rückhaltung, Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung“

DWA –M Merkblätter

- M153 „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“
- M178 „Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung in Misch- und Trennsystemen“.

Im DWA Arbeitsblatt 138 und im Merkblatt 153 wird die Bestimmung des Belastungsgrades von überwiegend verkehrlich genutzten abflusswirksamen Flächen in Abhängigkeit von ihrer Verkehrsdichte beschrieben. Diese Arbeit basiert auf den im DWA M 153 vorgeschlagenen Verfahren zur Beurteilung der Notwendigkeit einer Regenwasserbehandlung. Die Bewertung erfolgt nach einem Punktsystem. Ist die ermittelte Abflussbelastung größer als die Gewässerbelastbarkeit, sind die erforderlichen Behandlungsmaßnahmen zu treffen. Nach der Maßgabe des Merkblattes wird Regenabfluss hinsichtlich Niederschlagsdynamik im Betrachtungsgebiet, Nutzung der abflusswirksamen Flächen und Staubbelastung aus der Luft bewertet. Im Weiteren beinhaltet das Merkblatt die Grundlagen für die Bemessungen von Behandlungsanlagen, die jedoch für diese Arbeit von keiner Bedeutung sind.

Die Bestimmung der jeweils erforderlichen Abflussbehandlung erfolgt dabei in folgenden Schritten:

- Einstufung der Gewässer (Größe, Ordnung, gesetzlicher Schutz)
- Einflüsse aus der Luft
- Betrieblich bedingte Verschmutzung der zu entwässernden Oberfläche
- Ggf. Wirkung der vorhandenen Regenwasserbehandlung.

Das im DWA Merkblatt empfohlene Verfahren „*kann auf die Flugplätze übertragen werden, wenn das Verkehrsaufkommen der unterschiedlich genutzten Flächen sinngemäß einem Flächentyp des Merkblattes zugeordnet wird.*“ (DWA, 2007). Um das Verkehrsaufkommen zu ermitteln und daraus entstehende Belastung der Verkehrsflächen einzuschätzen, wird die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke DTV-Wert in Kraftfahrzeugen pro 24 Stunden [Kfz/Tag] berechnet (s. Abbildung 1). Um die Einordnung gemäß DWA Merkblatt 153 und Arbeitsblatt 138 vornehmen zu können, wird hierzu die verkehrliche Situation des Flughafens Hamburg in DTV-Werte umgerechnet. Zu beachten ist dabei allerdings, dass sich die beiden Tabellen in den genannten Merk- oder Arbeitsblättern unterscheiden. Auf der Basis dieser Berechnungen wird die Belastung des Regenabflusses von Verkehrsflächen mit entsprechender Verkehrsbelastung von Flugbetriebsflächen verglichen.

Flugbetriebsflächen wie Start- und Landebahnen wird gemäß diesem Merkblatt eine mittlere Belastung zugewiesen. Damit werden sie entsprechend Verkehrsflächen mit DTV-Wert von 300-15000 Kfz/Tag gleich eingeordnet. Die Flugdepositionsflächen (Abstellflächen der Vorfelder) werden danach den Park- und Abstellflächen von LKW gleichgesetzt und als stark belastet eingestuft. Die hier vorliegende Arbeit befasst sich in diesem Zusammenhang u.a. damit, ob diese Einstufung in Bezug auf Flughäfen den tatsächlichen Verhältnissen und vorliegenden Belastungen entspricht.

Beispiele		Belastung	Typ	Punkte
1	Gründächer; Wiesen- und Kulturland mit möglichem Regenabfluss in das Kanalnetz	gering	F 1a	3
2	Dachflächen ohne Verwendung von unbeschichteten Metallen (Kupfer, Zink und Blei); Terrassenflächen in Wohn- und vergleichbaren Gewerbegebieten		F 1b	5
3	Dachflächen mit üblichen Anteilen aus unbeschichteten Metallen (Kupfer, Zink und Blei)	mittel	F 2	10
4	Rad- und Gehwege in Wohngebieten; Rad- und Gehwege außerhalb des Spritz- und Sprühhahnenbereiches von Straßen; verkehrsberuhigte Bereiche		F 3	12
5	Hofflächen und Pkw-Parkplätze ohne häufigen Fahrzeugwechsel sowie wenig befahrene Verkehrsflächen (bis DTV 300 Kfz) in Wohn- und vergleichbaren Gewerbegebieten		F 4	19
6	Straßen mit DTV 300-5.000 Kfz, z. B. Anlieger-, Erschließungs- und Kreisstraßen		F 5	27
7	Start und Rollbahnen von Flugplätzen, Rollbahnen von Flughäfen		F 6	35
8	Dachflächen in Gewerbegebieten mit signifikanter Luftverschmutzung			
9	Straßen mit DTV 5.000 – 15.000 Kfz, z. B. Hauptverkehrsstraßen; Start- und Landebahnen von Flughäfen		F 7	45*)
10	Pkw-Parkplätze mit häufigen Fahrzeugwechsel z. B. von Einkaufszentren			
11	Straßen und Plätze mit starker Verschmutzung z. B. durch Landwirtschaft, Fuhrunternehmen, Reiterhöfe, Märkte		stark	45*)
12	Straßen mit DTV über 15.000 Kfz, z. B. Hauptverkehrsstraßen von überregionaler Bedeutung, Autobahnen			
13	Dachflächen mit unbeschichteten Eindeckungen aus Kupfer, Zink und Blei; Hofflächen und Straßen in Gewerbe- und Industriegebieten mit signifikanter Luftverschmutzung			
14	Sonderflächen z. B. LKW-Park- und Abstellflächen; Flugzeugdepositionsflächen von Flughäfen			

Abbildung 1: Einstufung der Belastung von abflusswirksamen Flächen gemäß DWA- Arbeitsblatt A 138. Quelle: (Grotehusmann, et al., 2008 S. 22)

RAS-Vorschriften

Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen regelt die Einrichtung von Regenwasserbehandlungsanlagen durch die Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS-Ew, Straßenentwässerung) und Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten (RiStWag).

Die **RAS-Ew** findet Anwendung bei Planung und Entwurf von Straßenentwässerungsanlagen für Autobahn oder Fernstraßen. Die Versickerungs- und Rückhaltemaßnahmen werden in gleicher Weise wie in den entsprechenden DWA-Merkblättern definiert.

Die **RiStWag** enthält die Hinweise zur Anordnung und Dimensionierung von Entwässerungsanlagen in Wasserschutzgebieten. Die nach dieser Richtlinie zu treffenden

Vorkehrungen bei Entwässerungsanlagen hängen dabei stark von der Lage des zu entwässernden Gebietes ab. (Rempp, 2012 S. 10)

3.1.2.5 Sonstige Regelwerke

Merkblatt für die Entwässerung von Flugplätzen

Dieses Merkblatt wurde vom Arbeitskreis „Entwässerung von Flugplätzen“ des Arbeitsausschusses „Flugplatzbefestigungen“ 1971 aufgestellt und 1998 neu veröffentlicht. Es beschäftigt sich mit planerischen Grundsätzen und allgemeinen Lösungsvorschlägen zur Entwässerung von Flugplätzen unter Berücksichtigung ihrer Nutzung und Betriebsbedingungen. Laut diesem Merkblatt sind die Flugbetriebsflächen, ausschließlich Abstellflächen, bzw. Vorfelder mit den Abfertigungsvorgängen, unbelastet und können ohne Behandlung abgeleitet werden. Als einer der Hauptgründe dafür wird die Anwesenheit einer Flughafenfeuerwehr genannt. Während der Winterperiode sind die enteisungsmittelbelasteten Abflüsse getrennt abzuleiten. Jedoch *„für jeden Einzelfall ist nach den vorliegenden örtlichen, hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnissen das Erfassen, Rückhalten, Behandeln und Ableiten dieser Oberflächenabflüsse in frühzeitiger Abstimmung mit den beteiligten Behörden zu untersuchen, zu planen und zu entscheiden“* (Ginsberg, 1998 S. 15). Dieses Merkblatt enthält wichtige Grundlagen zur Entwässerung von Flugbetriebsflächen.

3.2 Regenwasserhaushalt

Als Niederschlag werden alle Stoffe bezeichnet, die sowohl trocken als auch nass aus der Atmosphäre auf eine Oberfläche fallen. Regenwasser ist ein Teil des Niederschlags. (Gujer, 2007 S. 59). Die Regenabflüsse urbaner Gebieten sind ein Nebenprodukt der Interaktion zwischen Niederschlagsereignissen am Ort und den abflusswirksamen Flächen. Dem niederschlagsbedingten Stoffeintrag kommt eine besondere Bedeutung zu. Die bei einem Niederschlagsereignis produzierte Abflussmenge, Abflussrate, Fließgeschwindigkeit und von der Oberfläche abtragende Schmutzfrachten sind von mehreren Faktoren abhängig. Das sind vor allem Dauer, Intensität und Menge des Niederschlags und vorangegangene Trockenwetterperiode. Ausschlaggebend sind dabei Typ, Charakteristika, Umfang der Nutzung, Zustand und Beschaffenheit der abflusswirksamen Flächen. Alle diese Faktoren beeinflussen die Konzentration verschiedener Stofffrachten im Regenabfluss, und müssen

daher bei den Messungen und der Auswertung berücksichtigt werden. (Shaver, et al., 2007 S. Kap. 2)

Je nach seiner Herkunft haben Regenwasserabflüsse unterschiedliche Beschaffenheit und Belastungsgrad. Die Flächen sind wiederum vom Niederschlagswasser betroffen, in dem die Oberflächen bei jedem abflusswirksamen Ereignis ausgewaschen werden; die in der Atmosphäre enthaltene Schmutzfrachten werden gleichzeitig an der Oberflächen angelagert. (Shaver, et al., 2007 S. 16) .

3.2.1 Regenabfluss von versiegelten Flächen

3.2.1.1 Wasserbilanz

Die Flächenversiegelung in den urbanen Gebieten verursacht eine Verschiebung des Gleichgewichtes im natürlichen Wasserkreislauf durch wesentliche Veränderungen im Niederschlagswasserhaushalt. Befestigte Flächen werden durch einen großen und raschen Oberflächenabfluss charakterisiert. (Gantner, 2002 S. 72-73).

Vor allem ist ein Rückgang der Verdunstung und der Bodenspeicherung bis zu 67 % der Jahresniederschlagshöhe zu beobachten. In der Folge des erhöhten und beschleunigten Regenabflusses werden die Regenwasserbehandlungsanlagen hydraulisch belastet; bei den punktuellen direkten Einleitungen werden die als Vorflut genutzten Gewässer sowohl mengenmäßig/hydraulisch/quantitativ als auch qualitativ beeinträchtigt. Mit zunehmendem Versiegelungsgrad findet eine qualitative Änderung der Wasserbilanz statt: die Grundwasserneubildung geht zurück, der größere Anteil des Regenwassers gelangt in den Oberflächenabfluss (siehe auch Abbildung 2). Das stellt zusätzliche Anforderungen an die Entwässerungskonzepte und allgemeine Bewirtschaftung von insbesondere urbanen Regenabflüssen.

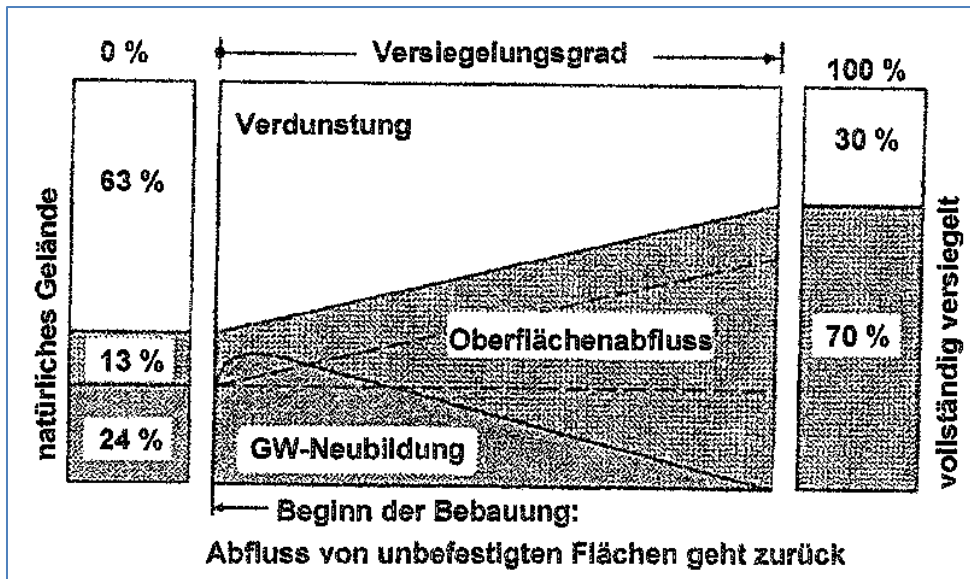


Abbildung 2. Qualitative Änderung der Wasserbilanz einer Siedlung bei zunehmender Bebauung. Quelle: (DWA, 2007 S. 9)

3.2.1.2 Phänomen des Spülstoßes

Niederschlagsbedingte Immissionen sind unregelmäßig und stoßartig, die Niederschlagsereignisse mit hohen Intensitätsspitzen können kritische Zustände der Behandlungsanlagen verursachen. (Dorfer, 2005 S. 3.1).

Unter dem Begriff "storm first flush", oder im deutschen Spülstoß versteht man eine signifikante Konzentrationsspitze zu Beginn eines Abflussereignisses. (FNDAE, 1988 in Dorfer, 2005, S.3.3). Dadurch entstehen aperiodische, nur bei Regenwetter auftretende Immissionen, aufgrund derer kann eine irreführend als dauerhaft eingestufte Gewässergüteverschlechterung festgestellt werden. (Gantner, 2002 S. 75). Die Verhältnisse zwischen Abflussvolumen und dabei transportierter Schmutzfracht werden mit circa 20/80-30/80 definiert. (Dorfer, 2005 S. 3.2.) . Dieses Verhältnis wird u.a. von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Das Niederschlagsverhalten des Einzugsgebietes
- Die Menge der Ablagerungen im Siedel
- Die ausgespülten Ablagerungen während eines Regenereignisses

Zum Spülstoßeffect gibt es jedoch sehr widersprüchliche Untersuchungsergebnisse. (Gantner, 2002 S. 89). (Dorfer, 2005 S. 3.1.). Der Effect des Spülstoßes kann unter Berücksichtigung

von kumulativer Niederschlagsmenge in der Saison bewertet werden. (Kayhanian, et al., 2003).

3.2.1.3 Verschmutzungen von Oberflächenwasser und ihre Einflussfaktoren

In der Tabelle 2 aufgelistete Faktoren beeinflussen die Messwerte, bzw. die Konzentrationen der Schadstoffe in Regenabfluss und anschließend im Regenrückhaltebecken. Deswegen müssen diese, insbesondere in Korrelation mit dem DTV-Wert, bei der Auswertung von Messergebnissen berücksichtigt werden.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Faktoren. Quelle: eigene Darstellung nach (Kayhanian, et al., 2003)

Faktor	Haupteffekt auf Schadstoffkonzentration	Ausnahmen		
		Positiv	Neutral	Negativ
Niederschlagsereignis	Konzentrationsrückgang mit steigender Niederschlagsmenge	Pb	Pb gesamt, Zn gelöst, CSB, Ammoniak	Cu gelöst und Zn, TSS, Härte
Ereignisintensität	Konzentrationserhöhung mit höherer Intensität			Cu und Zn gelöst, TSS
Vorgegangene Trockenperiode	Konzentrationserhöhung mit längerem vorangegangenen Trockenwetter		As gesamt, Cr gelöst, CSB, Ammoniak	pH
Kumulative saisonale Niederschlagsmenge	Konzentrationsrückgang mit steigende kumulative Niederschlagsmenge		Pb gelöst, Öle und Schmierfette, pH	
Versickerungsfläche	Konzentrationserhöhung bei größeren Flächen			As gelöst, Cu, Ni, Zn
DTV	Konzentrationserhöhung mit steigender Verkehrsdichte/stärke		As gelöst, Cd, Ni, CSB, Ammoniak	

3.2.2 Stoffliche Belastung des Regenabflusses von Verkehrsflächen

Die Verschmutzung des Regenabflusses hängt zunächst stark von der Nutzung der abflusswirksamen Flächen ab. Ein weiterer wichtiger Faktor zur Größenordnung der Verschmutzung des Regenabflusses besteht in aus der Luft stammenden Verschmutzungen. Aus der Oberfläche werden dort abgelagerte Verunreinigungen bei jedem Niederschlagsereignis ausgewaschen. Bei jedem Niederschlagsereignis werden somit auch die verkehrsbedingten Verunreinigungen in unterschiedlicher Maße ausgewaschen (siehe auch Abbildung 3). Luftverschmutzungen gelangen über zwei Wege auf die Flächen und in den Oberflächenabfluss.

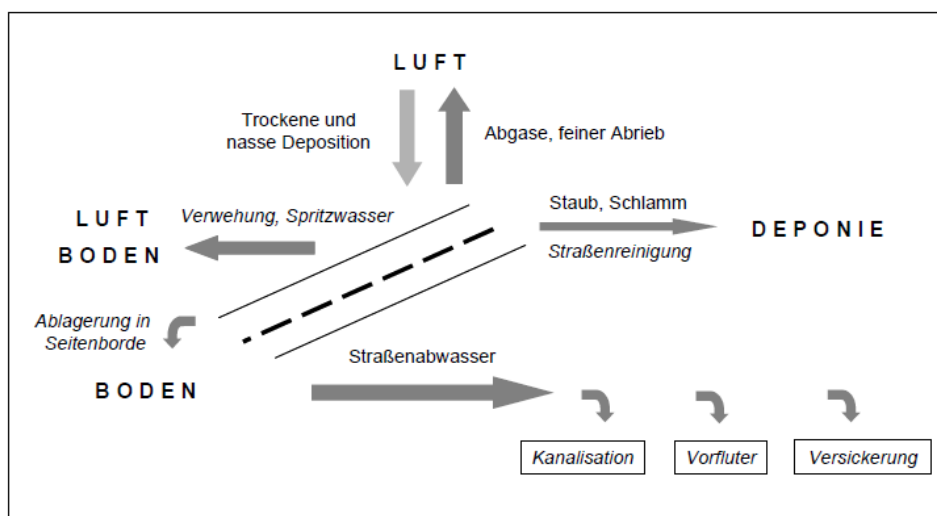


Abbildung 3. Stoffströme und -senken im Straßenverkehr. Quelle: (Hillenbrand, et al., 2005 S. 74)

Sich in der Luft befindende gas- oder partikelförmige Schadstoffe können von atmosphärischem Wasser (Luftfeuchtigkeit, Bewölkung) aufgenommen werden und in Form von Niederschlägen die befestigten Flächen belasten (nasse Deposition, primäre Belastung des Niederschlagwassers). Außerdem können Luftschadstoffe direkt auf die betrachteten Flächen sedimentieren (trockene Deposition, Staubniederschlag). Die Sekundärbelastung von Niederschlägen entsteht dann durch den Kontakt mit den versiegelten Flächen, die über trockene Depositionen (und verkehrlich bedingte Verschmutzungen) belastet sind. (Koppe, et al., 1999 S. 516-518).

Straßenabläufe sind Quellen für verschiedene Schadstoffe. Heutzutage sind die Abflüsse von Flugbetriebsflächen hinsichtlich der von ihnen in Gewässer eingetragenen Schadstofffrachten jedoch weder qualifizierbar noch quantifizierbar. Hauptsächlich hängen die Schmutzstoffmenge und –Zusammensetzung von zahlreichen Faktoren ab, nämlich von der

Lage, Nutzung und Beschaffenheit der Flächen. Sogar für die viel untersuchten Straßenverkehrsflächen ist die Belastung der Abflüssen nach Auffassung vielen Autoren nicht eindeutig und schwer beschreibbar. (Stein, 2008 S. 29-30). Im Abfluss von Verkehrsflächen können sowohl anorganische als auch organische Verunreinigungen gefunden werden.

Tabelle 3. Übersicht von verkehrsbedingten Schadstoffen. Quelle: eigene Darstellung nach (Kobringer, 1984) (Hillenbrand, et al., 2005),

Schadstoffgruppen	Quellen
Feststoffe, Ruß und Feinstaub	Fahrbahnabrieb und Auswaschungen, Sediment, Kraftstoffverbrennung
Öle und Schmierfette, PAK, MKW, organische Schadstoffe	Tropfverluste, Kraftstoffverbrennung, Fahrbahnabrieb, Reifenabrieb
Schwermetalle (Pb, Zn, Cd usw.)	Bleihaltige Kraftstoffe, Reifenabrieb, Schmieröle und -fette, Lagerverschleiß, Bremsbelagsabrieb, Metallbeschichtungen,

3.2.3 Parameter zur Gewässergüte

Zur Charakterisierung der Qualität von Wasser und Abwasser werden verschiedene Analysen und Methoden verwendet. Diejenigen einzelnen Stoffe, die eine chemisch definierte Eigenschaft haben, werden in Einzelstoffanalysen erfasst. Die Summenparameter erfassen Schadstoffe mit ähnlichen Eigenschaften, die in der Basis der Analysemethode festgelegt werden. (Gujer, 2007 S. 33). Die Tabelle 4 stellt eine Übersicht der für die Gewässerqualität relevanten Inhaltstoffe des Regenwasserabflusses dar.

Tabelle 4. Schadstoffgruppen und entsprechende Parameter. Quelle: (Leisse, 2008 in (Rempp, 2012 S. 13))

Stoffgruppen	Untergruppen	Relevante Parameter
Feststoffe		AFS, ASS
Sauerstoffzehrende Substanzen		BSB, CSB, DOC, TOC
Nährstoffe	Phosphorverbindungen	Pges
	Stickstoffverbindungen	NH ₄ -N, NO ₃ -N, TKN, Nges
Schadstoffe	Schwermetalle	Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Zn
	Organische Schadstoffe	KW, AOX, PAK

Für diese Arbeit sind dabei die Parameter, die eine positive, bzw. negative Korrelation zum DTV-Wert, bzw. zur Verkehrsbelastung der Flächen aufweisen, von Bedeutung. Die Größenordnung der umwelttoxikologischen Wirkung einzelnen Schadstoffen ist nur von zweiter Priorität. Wichtig ist, die Leitstoffe und entsprechende Indikatorparameter zu identifizieren, um eine sinnvolle Einstufung von Flugbetriebsflächen unter Hinzunahme der DWA- Merkblätter zu erreichen. Hierauf wird näher in der Diskussion eingegangen.

3.2.3.1 Feststoffe

Die partikulären, ungelösten oder suspendierten Stoffe werden als durch Filtration abtrennbare Stoffe bezeichnet. Diese Stoffe umfassen die im Wasser vorhandenen Schwimm-, Schweb- und absetzbaren Stoffe. (Gujer, 2007 S. 34). Ihr Größenbereich liegt zwischen 0,001-1mm. Straßenspezifische Schadstoffe werden überwiegend an Partikeln angelagert, ein geringer Teil kommt in gelöster Form vor. (Stein, 2008) (Rempp, 2012 S. 13). Daher kommt diesem Parameter große Bedeutung zu. Darüber hinaus besteht eine nachgewiesene Korrelation zwischen den AFS und PAK sowie Schwermetallen festgestellt worden. (Sommer, 2007). Da AFS eine Trägerfunktion für anthropogene Schadstoffe besitzen, werden sie als Leitparameter für die Begrenzung der stofflichen Belastung der Gewässer durch Regenwassereinleitungen verwendet. Maßgeblich für ihr Adsorptionspotential ist ihr Verhältnis zwischen Oberfläche und Masse/ Korngröße Aus der Abbildung geht hervor, dass

die verschiedenen Partikelgrößen unterschiedliche Adsorptionseigenschaften für unterschiedliche Substanzen und Stoffgruppen haben.

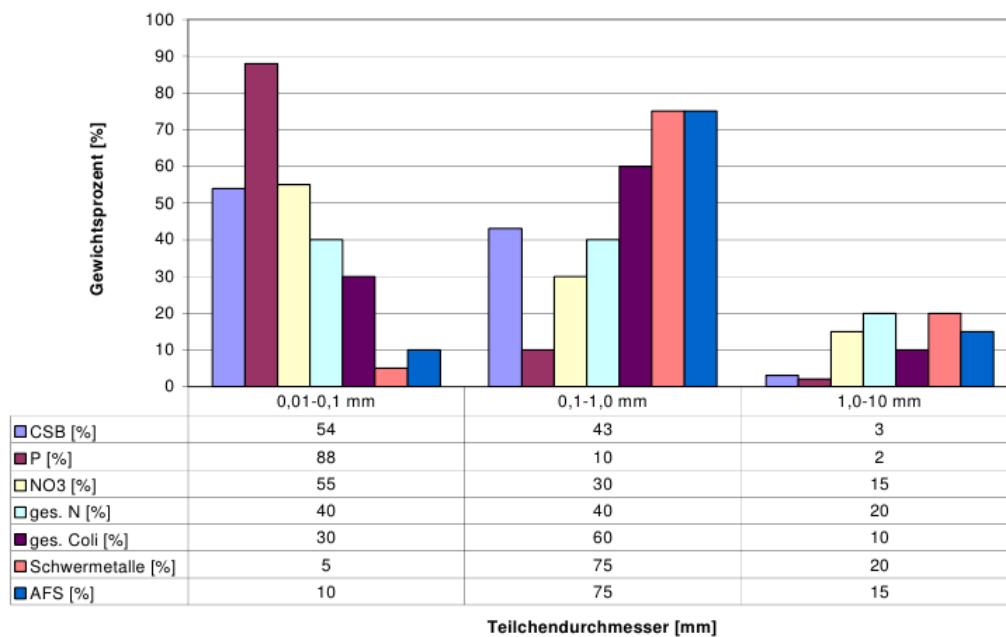


Abbildung 4. Verteilung verschiedener Stoffparameter im Straßenabfluss. Quelle: (Stein, 2008)

3.2.3.2 Sauerstoffzehrende Substanzen

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Unter dem Begriff chemischer Sauerstoffbedarf wird die Menge Sauerstoff verstanden, die erforderlich ist, um alle oxidierbaren Substanzen mittels starker Oxidationsmittel vollständig zu oxidieren. Dieser Parameter ist daher von Bedeutung, da er eine wichtige Aussage zum Sauerstoffgehalt von Gewässern, bzw. der Sauerstoffzehrung von im Gewässer vorhandenen Schadstoffen zulässt. (Förtsch, et al., 2014 S. 172).

TOC

Der TOC- Gehalt spiegelt direkt die Belastung an organischer Substanz in Abwasser wieder, da er ein Maß für die Konzentration organisch gebundenem Kohlenstoff ist. Häufig lässt sich ein konstantes Massenverhältnis zwischen dem TOC und dem CSB feststellen. Ein Vorteil ist seine relativ einfache Übernahme in ein kontinuierliches Messverfahren. Dieser Parameter ist für die Ermittlung der Belastung durch Enteisungsmittel relevant. Dieses wird im Kapitel 4.3.3 beschrieben. (Förtsch, et al., 2014 S. 175).

3.2.3.3 *Schwermetalle*

Zu den Einflussfaktoren für die Schwermetallbelastung von Straßen können Tropfverluste von Schmier- und Kraftstoffen sowie die Korrosion metallischer Oberflächen oder Lacke gezählt werden. Emissionen von Kupfer und Zink werden insbesondere durch den Abrieb von Reifen und Bremsbelägen verursacht. Außerdem werden als Quellen für Schwermetalle Auswuchtgewichte von Rädern, die Kohlebürsten von Elektromotoren sowie Fahrbahnabrieb genannt (Hillenbrand, et al., 2005 S. 60). Dieses erklärt eine enge Korrelation zwischen einigen Schwermetallen und der täglichen verkehrlichen Belastung. Denn eine hohe Verkehrsbelastung hängt mit einer hohen Abriebsrate zusammen. (Sommer, 2007 S. 213).

Hohe Bleikonzentrationen im Straßenabfluss entstehen i.d.R. durch Emissionen von bleihaltigen Kraftstoffen. (Hillenbrand, et al., 2005 S. 28). In Untersuchungen von Herrman et al. (1992) ist für die Elemente Blei, Kupfer, Cadmium und Nickel ein Einfluss der Verkehrsdichte zu erkennen. Der Abrieb von Reifen enthält als Bestandteile des Gummis die Schwermetalle Zink, Kupfer, Nickel, Blei und Chrom, die in unterschiedlichen Anteilen dem Kautschuk als Metalloxide beigegeben werden. Tropfverluste von Mineralöl aus Motoren, Getrieben oder Hydraulikaggregaten und der Abrieb von Kupplungen und Bremsen tragen ebenfalls zur Belastung der Fahrbahnoberfläche mit den genannten Schwermetallen bei (Gantner, 2002 S. 87-88) (Rempp, 2012 S. 14).

Die beiden nachfolgend aufgeführten Graphiken erläutern die Transportwege von Schwermetallen aus dem Verkehr (und anderen Quellen) in Oberflächengewässer und letztlich in den Boden.

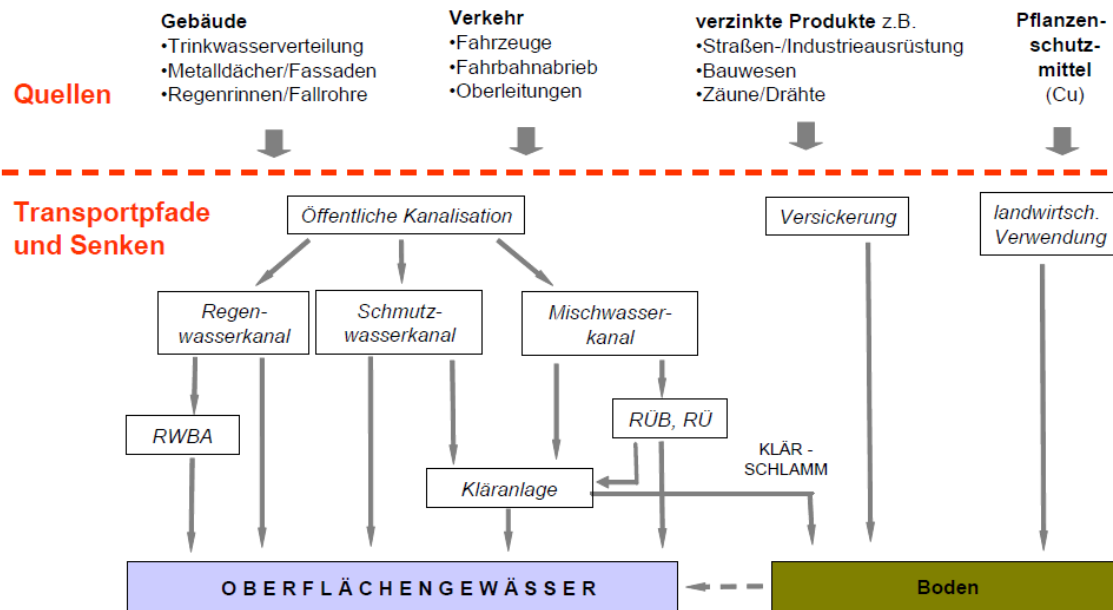


Abbildung 5. Berücksichtigte Schwermetallquellen, Transportpfade und Senken. Quelle: (Hillenbrand, et al., 2005 S. 32) RWBA: Regenwasserbehandlungsanlage, RÜB: Regenüberlaufbecken, RÜ: Regenüberlauf.

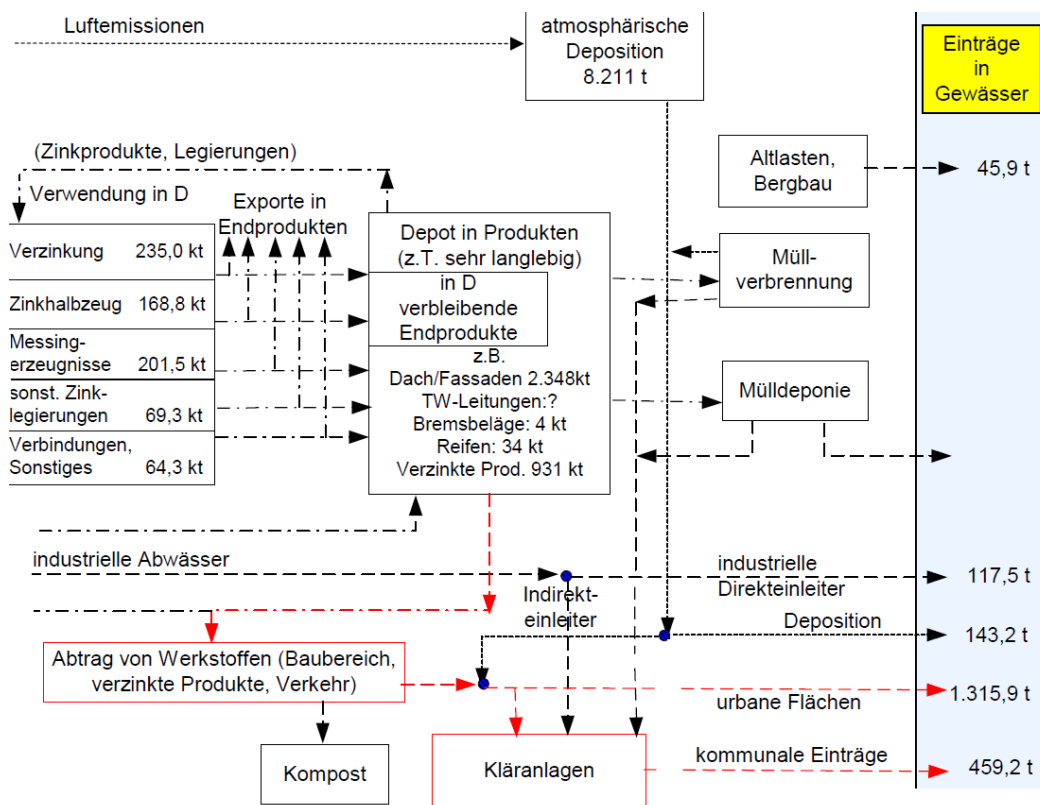


Abbildung 6. Zinkproduktion und -verwendung und qualitative Stoffströme in Verbindung mit Gewässereinträgen, Deutschland 2000. Quelle: (Hillenbrand, et al., 2005 S. 30)

3.2.3.4 Organische Schadstoffe

Durch unvollständige Verbrennungsprozesse und Tropfverluste von Benzin und anderen Erdölzerzeugnissen werden Kohlenwasserstoffe in verschiedenen Formen auf verkehrlich belastete Flächen eingetragen.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Dieses Unterkapitel wird beruht im Wesentlichen an der Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen (Herpertz, et al., 2005) wo die verkehrsbedingte PAK-Einträge Straßenumgebungsraum beurteilt werden.

Unter dem Parameter polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) versteht man die Gruppe der Kohlenwasserstoffverbindungen mit mehreren Kohlenstoffsechsringen, wobei in einigen Fällen ein Fünfering mitbeteiligt ist. (Koppe, et al., 1999 S. Kap. 7.2). Ursprünglich enthalten alle fossilen Brennstoffe polycyclische Aromaten, die während der chemischen Prozesse der Treibstoffherstellung, z.B. Pyrolyse, Raffination sowie Verbrennung, freigesetzt werden. (Koppe, et al., 1999).

Tabelle 5. Auswahl der wichtigsten PAK-Verbindungen. Quelle: (Herpertz, et al., 2005, S. 85)

PAK-Komponente	Abk.	PAK-Komponente	Abk.
Acenaphthylen	ACN	Cyclopenta[cd]pyren	CPP
Acenaphthen	ACP	Dibenz[ac/ah]anthracen	DB[ac/ah]A
Anthanten	ANT	Dibenzo[ae]pyren	DB[ae]P
Anthracen	ATC	Dibenzo[ah]pyren	DB[ah]P
Benz[a]anthracen	B[a]A	Dibenzo[ai]pyren	DB[ai]P
Benzo[a]pyren	B[a]P	Dibenzo[al]pyren	DB[al]P
Benzo[b/j/k]fluoranthen (3 Verbdgen)	B[b/j/k]F	Fluoranthen	FLU
Benzo[b]chrysen	B[b]C	Fluoren	FLR
Benzo[b]naphto(2,1-d)- thiophen	BNT	Indeno[1,2,3-cd]pyren	INP
Benzo[e]pyren	B[e]P	Naphthalin	NAP
Benzo[ghi]perylen	B[ghi]P	Perylen	PER
Chrysen/Triphenylen	CHR/TRI	Phenanthren	PHE
Coronen	COR	Pyren	PYR

Es sind insgesamt mehr als 150 verschiedene PAK- Komponenten (siehe Tabelle 5), bzw. Verbindungen bekannt, dennoch besitzen nicht alle Substanzen in gleichem Maße Wassergefährdungspotential. Gemäß der EU-Wasserrahmenrichtlinie wurden davon 6

Referenzsubstanzen, mit Benzo(a)pyren als Leitsubstanz ausgewählt. (Koppe, et al., 1999). Diese Substanz ist nicht nur der am häufigsten auftretende Luftschadstoff, sondern auch ein Endprodukt aus der Kondensation der höheren PAK- Homologen (z.B. Anthracen und Naphthalin werden zu einem Benzo(a)pyren kondensiert). (Herpertz, et al., 2005 S. 84). Hinsichtlich ihrer Wasserlöslichkeit können sich die verschiedenen PAK unterscheiden. Einige weisen nur eine geringe Wasserlöslichkeit auf und kommen überwiegend adsorbiert an Sedimenten und Feststoffen vor. (Koppe, et al., 1999). Andere sind wasserlöslicher. So besitzen die leichtflüchtigen niedrigmolekularen (Zwei- und Dreiring)Verbindungen Naphthalin, Phenanthren und Fluoren eine relativ hohe, im mg/l Bereich Wasserlöslichkeit. Die Wasserlöslichkeit der Vierringverbindungen, z.B. Fluoranthen, Pyren, liegt schon im µg/l-Bereich. Übrige hochmolekulare Substanzen sind fast unlöslich. (HLUG, 2014). Viele der unlöslichen PAK werden daher über Grobpartikel im Oberflächenabfluss verfrachtet und belasten den Niederschlag durch trockene Deposition. (Herpertz, et al., 2005 S. 87).

Der Straßenverkehr ist einer der Hauptverursacher der sowohl „heißen“ als auch „kalten“ Emissionen an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAK. Während der Verbrennungsprozesse mit Katalysatoren entstehende Emissionen werden als „heiße“ bezeichnet; die „kalten“ Emissionen sind auf Tropfverluste der Mineralölprodukte sowie Fahrbahn-, Reifenabrieb zurückzuführen. (Herpertz, et al., 2005 S. 83).

Über die Belastung der Luft mit PAK liegen nur wenige Angaben vor; Reaktions- oder Abbauprozesse in der Atmosphäre können hier zu relativ geringen durchschnittlichen PAK-Konzentrationen in der Luft führen. Abgase von Dieselmotoren sind eine der Hauptquellen für verkehrsbedingte PAK- Einträge in die Umwelt. PAK aus Abgasen von Kfz sind dabei überwiegend an kleinere, luftgetragene Partikel gebunden und werden so vor Abbau geschützt und über weitere Strecken transportiert. Der Autor weist darauf hin, dass der Einfluss des Verkehrs am gemessenen innerstädtischen PAK Gehalt als gering angesehen werden kann und die aufgefangene PAK zum größeren Teil aus Hausbrandanlagen kommen müssen. Über den Anteil von PAK aus Tropfverlusten liegen zurzeit keine Erkenntnisse vor. Bedarf für weiterführende Forschung wird in den folgenden Bereichen gesehen: Bestimmung von PAK-Emissionen infolge der Wechselwirkungen von Reifen mit den Fahrbahndeckschichten sowie der Partikelgrößen-Verteilung der Emissionen.

Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)

Unter MKW werden im Allgemeinen die unter Normalbedingungen flüssigen Verarbeitungsprodukte der Rohöle wie Ottokraftstoffe, Diesel, Heizöl und die Produkte der weiteren Verarbeitung wie Motorenöle zusammengefasst. Mineralöle sind eine komplexe Mischung aus überwiegend Aliphaten, d.h. unverzweigte und verzweigte, ein- oder mehrfach ungesättigte Kohlenwasserstoffe, sowie Cyclo-Paraffinen (Ringverbindungen mit mehr als fünf C-Atomen). (Hettwer, 2006 S. 16)

Der Summenparameter Mineralölkohlenwasserstoffe MKW erfasst sowohl die einkernigen (aus einem Ring bestehend) aromatischen Verbindungen wie Benzol, Toluol und Xylol als auch die offenkettigen KW (C6-C6-KW). (Moritz, et al., 2005 S. 109). Die wechselnden Anteile an monozyklischen Aromaten wie Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol werden als BTEX bezeichnet. (Hettwer, 2006 S. 16). Die leichtflüchtigen Verbindungen treten dabei meist als gasförmige Emissionen auf; die Treibstoffe enthalten überwiegend schwere, langkettige MKW mit geringerer Flüchtigkeit. Das sind vor allem die Verbindungen mit Kettenlängen von 6 bis 9 C-Atomen im Benzin und von 10 bis 16 C-Atomen im Diesel. Durch Deposition als unverbrannte Treibstoffanteile und Tropfverluste gelangen die MKW im unmittelbaren Straßenseitenraum, bzw. Abflusswasser und in begleitende Grünflächen. Aufgrund ihrer schlechten Wasserlöslichkeit und Flüchtigkeit verdrängen die MKW Wasser auch aus dem Boden. Die Untersuchung von Grasproben aus dem Pflegebereich von Autobahnen ergab MKW-Gehalt von > 3 g/kg Trockensubstanz. Der Vergleich der Messwerten und den zugehörigen Verkehrsdichten ergab keine linearen Abhängigkeiten. (Moritz, et al., 2005 S. 65-73). Zum Regenwasserabfluss sind jedoch keine solchen Erkenntnisse vorhanden.

4 Theoretischer Teil

4.1 Betrachtetes Bezugsgebiet

Die theoretischen Grundlagen zum Flugbetriebsflächen, bzw. Flugplätzen sind in der Anlehnung nach Mensen, 2007 Teil IV, zusammengefasst. In folgenden Unterkapiteln wird das betrachtete abflusswirksame Gebiet in Bezug auf seinen Funktionen und Prozesse beschrieben.

4.1.1 Beschreibung der Flugbetriebsflächen

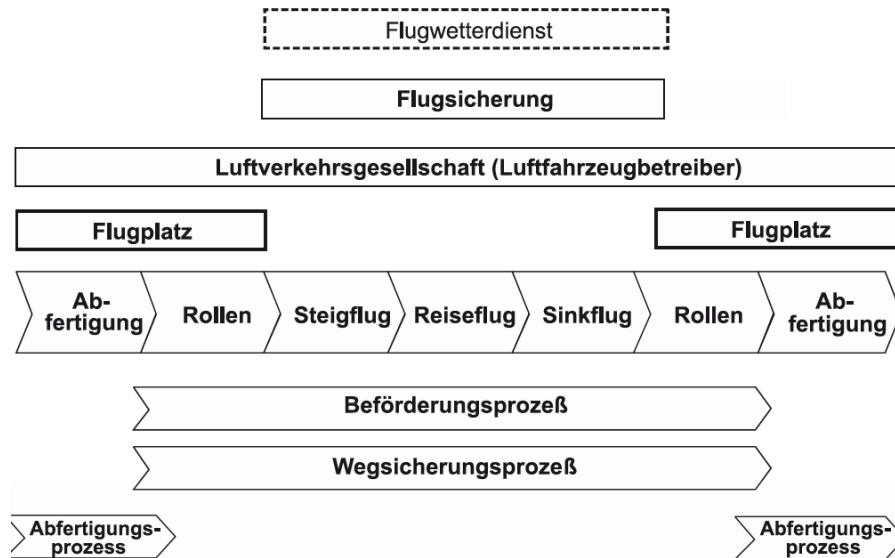


Abbildung 7. Prozesse im System Luftverkehr. Quelle: (Mensen, 2007 S. VIII)

Ein Flugplatz ist nach Mensen (2007 S. 87) „*ein definiertes Gebiet auf dem Lande oder auf dem Wasser, einschließlich der erforderlichen Gebäude, Anlagen und Ausrüstungen, die ganz oder teilweise für Flug- und Rollbewegungen von Luftfahrzeugen bestimmt sind.*“. Die nach Art und Umfang des vorgesehenen Flugbetriebs einer Sicherung durch einen Bauschutzbereich bedürftige Flugplätze werden als Flughäfen definiert. Verkehrsflughäfen werden als Flughäfen des allgemeinen Verkehrs genehmigt.

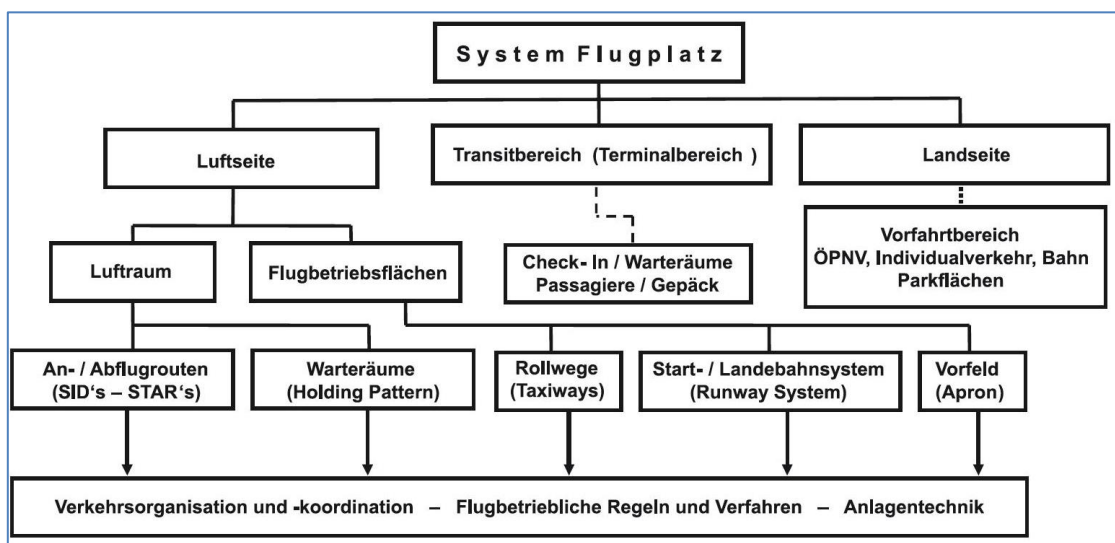


Abbildung 8. Generelle Struktur eines Flugplatzes. Quelle: (Mensen, 2007 S. 235)

Als Schnittstelle zwischen Land- und Luftverkehr verfügen Flughäfen generell über eine Landseite und eine Luftseite. Die Landseite umfasst bodengebundene Infrastruktur, Vorfahrt-, Halte-, und Parkflächen sowie die Verwaltungs- und Bürogebäude des Flugplatzes. Auf der Luftseite befinden sich die Flugbetriebsflächen mit den folgenden wichtigen Systemelementen:

- Das Vorfeld mit den Park- und Abfertigungspositionen für Luftfahrzeuge und den Rollgassen einschließlich der dort stattfindenden Betriebsprozesse;
- Das Rollfeld bestehend aus Start- und Landebahnsystem und Rollwegen;
- ggf. Betriebsanlagen wie Werften und Reparaturbetriebe;
- Vom Flughafen vorzuhaltende Serviceeinrichtungen wie Feuerwehr, Winterdienst usw.

Im Folgenden werden die integralen Bestandteile der Flugbetriebsflächen, auf denen die Luftverkehrsbetriebsvorgänge durchgeführt werden, beschrieben.



Abbildung 9. FHG Flugbetriebsflächen. Gesamtbild s. Anhang 1. Quelle: FHG intern

Rollwege/Rollbahnen (Taxiways)

Rollwege (Taxiways) stellen (über die Vorfelder) die Verbindung zwischen den Terminals, den Wartungshallen, Hangars und dem Start-/Landebahnssystem her. Hierbei unterscheidet man gewöhnliche „exit taxiways“, die in einem Winkel von 90 Grad von der Landebahn abzweigen sollen und Schnellabrollbahnen („rapid exit taxiway“), deren Winkel zur Landebahn 30 Grad beträgt. Auf diese Rollbahnen kann der Luftfahrzeugführer mit einer höheren Eigengeschwindigkeit des Luftfahrzeuges einrollen und somit die Landebahn früher verlassen, als dies über eine „normale“ Abrollbahn möglich ist. Zusätzlich fungieren einige Taxiwege als Aufrollwege für startende Flugzeuge. Im Weiteren werden die Rollwege des Flughafens Hamburg nach der Entwässerungsbezugsgebiet aufgelistet (siehe Abbildung 11).

Start- und Landebahn (Piste/Runways)

Die Start- und Landebahnen (S/L-Bahn) bestehen aus Stoppbahnen, Mittelteil und Aufsetzzonen. Eine Besonderheit des Flughafens Hamburg ist sein aus zwei gekreuzten Bahnen bestehendes Start- und Landebahnssystem. Bei den in verschiedene geographische Richtungen ausgerichteten (meist zwei) Start-/Landebahnen handelt es um einem Kreuzbahnsystem (Intersecting Runways).

Die S/L-Bahnen des Flughafens Hamburg werden nach ihrer jeweiligen azimutalen Ausrichtung bezeichnet:

– Start- und Landebahn I; Richtungen **05 / 23**; Länge: 3.250m Breite: 45,80m

– Start- und Landebahn II; Richtungen **15 / 33**; Länge: 3.666m Breite: 45,80m.

Die Bezeichnung bedeutet der jeweilige Azimut der Ausrichtung von Start- und Landebahnen. Zum Beispiel heißt Start- und Landebahn 15 / 33 jeweils 150° / 330° azimutalen Winkel der Lage.

Vorfelder (Aprons)

Zum Ein- und Aussteigen von Passagieren, das Ein- und Ausladen von Fracht oder Post sowie die Versorgung von Luftfahrzeugen stehen die Vorfelder zur Verfügung. Insofern sind Vorfelder auch Orte mit einem gewissen Fahrzeugverkehr (Versorgungs- und Servicefahrzeuge). Die Formen und Dimensionen der Vorfelder (Apron) hängen in hohem Maße von der Konzeption der Terminals (Passagier- und Frachtterminal) ab. (Mensen, 2007).

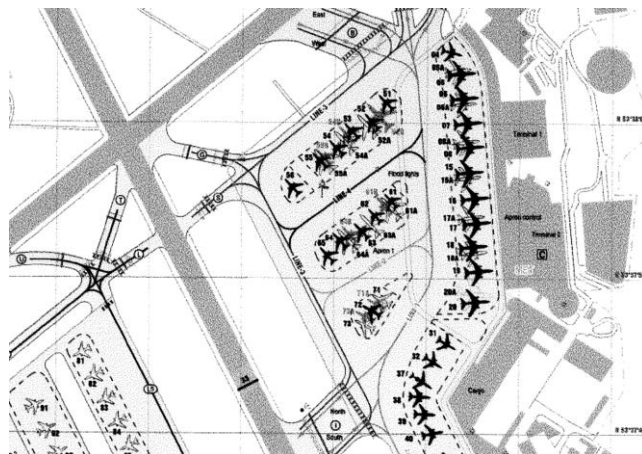


Abbildung 10. Abfertigungspositionen Vorfeld 1 und bezogene Rollbahnen. Siehe Anhang 2. Quelle: FHG intern.

Die Vorfelder können hinsichtlich der Entwässerung unterteilt werden in (Ginsberg, 1998):

- Flugzeugpositionsflächen, auf denen die Flugzeuge abgefertigt, versorgt, betankt und entsorgt sowie ggf. enteist werden,
- Rollkorridore und Abstellflächen ohne Abfertigung,
- Abstellflächen, auf denen die Vorfeldfahrzeuge abgestellt werden,
- Betriebsstraßen.

Der Flughafen Hamburg verfügt über 2 Hauptvorfelder, nämlich Apron 1 und Apron 2. Die Verkehrsstatistiken am Flughafen Hamburg geben an, dass 2012 94% Prozent aller Flugzeuge am Vorfeld 1 abgefertigt wurden. (s. Tabelle 7).

Tabelle 6. Prozentuale Belegung der Vorfelder des Flughafens Hamburg. Quelle: FHG intern 2013

Flugzeugkategorie	Vorfeld 1	Vorfeld 2 + Vorfeld Lufthansa + Vorfeld 4
Large	0	100%
Medium	95.7%	4.3%
Small	100%	0
Regional	96.4%	0.6%
Business und Turboprop	90%	10%
Piston	6.9%	93.1%
Gesamt	91.2%	8.8%

Vor diesem Hintergrund wird das Verkehrsaufkommen zur Vereinfachung der Berechnung auf Vorfeld 1 bezogen. Weitere Erläuterungen sind im Kapitel 4.3.1. zu finden.

4.1.2 Beschreibung des Vorfluters

Als Vorfluter für das einzuleitende Oberflächenwasser dient die Tarpenbek, ein Gewässer 2. Ordnung gemäß des Hamburgischen Wasserhaushaltsgesetzes. Es handelt sich dabei um einen Bach, der in weiten Bereichen entlang der westlichen Flughafengrenze entlangführt.

An der Westseite des Flughafengeländes führt der Flusslauf der Tarpenbek vorbei. Unter dem Flughafen werden die Tarpenbek und der in die Tarpenbek einleitende Raakmoorgraben in verrohrten Abschnitten hindurchgeführt. Der Luftwerftgraben ist die einzige Flughafeneinleitung in die Tarpenbek auf der Groß Borsteler Seite. Die Tarpenbek gehört mit ihren entspringenden Bächen zum Einzugsgebiet der Alster. Die Mündung des Flusses in die Alster befindet sich im Süden des Einzugsgebietes. Im Bereich des Flughafens handelt es sich vor allem um anthropogen beeinträchtigte Gewässerabschnitte, wobei die Beeinträchtigung nicht notwendigerweise ausschließlich aus dem Flughafenbetrieb stammt. Aufgrund der umliegenden Nutzungen wurde der Gewässerlauf der Tarpenbek räumlich verändert und stark eingeengt.

Durch die wasserrechtliche Erlaubnis des Bezirksamtes Hamburg-Nord wird die Einleitung aus dem Luftwerftgraben und anderen Einleitstellen in die Tarpenbek auf 500 l/s begrenzt.

4.1.3 Entwässerung der Flugbetriebsflächen

Durch die oben beschriebenen Flugzeugbewegungsflächen verfügen Flughäfen in der Regel über großflächige versiegelte Bereiche und damit über größere abflusswirksame Areale. Insofern kommt der Entwässerung von Flughafenanlagen eine große Bedeutung zu. Die entsprechenden Entwässerungssysteme müssen demnach in der Lage sein,

- Oberflächenwasser der auftretenden Menge nach zügig und schadlos abzuführen
- Oberflächenwasser bei ggf. auftretenden Verschmutzungen entweder zu behandeln oder (bei entsprechender Überwachung der Verschmutzung des Wassers) entsprechend abzuführen – entweder in einen Vorfluter oder in kommunale Abwasserbehandlungsanlagen
- Die Sauberkeit des Oberflächenwassers zu gewährleisten, das in dem Vorfluter abgeleitet wird

- Oberflächenwasser aus unterschiedlichen Bereichen der Flughafenflächen mit unterschiedlichen (potentiellen) Belastungen geeignet voneinander zu separieren („qualifiziertes Trennsystem“)

Die Abflüsse von Teileinzugsgebiete der Oberflächenentwässerungsanlagen der FHG sind vor dem Verlassen des Flughafens -mit Ausnahme des Westendes der Startbahn 1 über Ölauffangbecken, bzw. Regenklärbecken geführt. (FHG intern, 1996). Die Bezeichnung wird nach diesen Becken gewählt.

Als ein integraler Bestandteil der wasserwirtschaftlichen Anlagen des Flughafens Hamburg, soll das bestehende Entwässerungssystem ordnungsgemäß einen sicheren Flugbetrieb aufrechterhalten. Der Flughafen Hamburg weist umfangreiche abflusswirksame Fläche auf. Das zu entwässernde Gebiet der Flughafen Hamburg GmbH lässt sich wie folgt charakterisieren:

Die befestigten Flächen betragen mehr als ein Drittel der Gesamtflächen. Die größten zusammenhängenden Flächen stellen die Vorfelder zur Flugzeugabfertigung dar.

- In einem über insgesamt 60 km langes Rohrleitungssystem wird das Niederschlagswasser von den Vorfeldern, den Roll-, und Taxiwegen und den Start-, und Landebahnen gesammelt und weitergeleitet.
- Es gibt 9 Ölauffangbecken, bzw. Regenklärbecken, die für eine kontrollierte Weiterleitung des Niederschlagswassers sorgen
- Ein Teil des Oberflächenabflusses wird weiter über den Luftwerftgraben in die Vorflut Tarpenbek eingeleitet. In extremen Notfällen würde dieser zusätzliche Speicherreserven von Wasser bieten, die bis zum Greifen anderer Notfallmaßnahmen eine Einleitung von Schadstoffen in die Tarpenbek verhindern können.

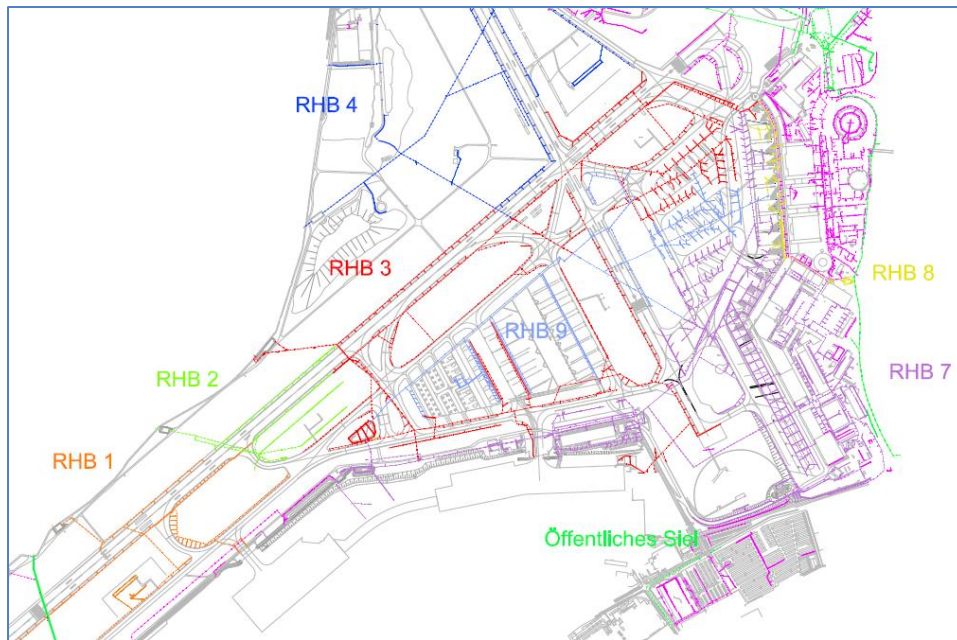


Abbildung 11. System der Regenrückhaltebecken mit Einzugsgebieten (Entwässerungsnetzen). Siehe Anhang 9.3.

Quelle: FHG intern 2013

Die Regenklärbecken sind die Behandlungseinrichtungen für Regenwasserabfluss, die der Reinigung von Niederschlagswasser und der gedrosselten Abgabe an den Vorfluter zur Vermeidung von hydraulischen Belastungen im Vorfluter dienen. (Ginsberg, 1998).

Das heißt, dass die Regenklärbecken unter Berücksichtigung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Vorflut, bzw. Tarpembek dimensioniert sind. Bei Unfällen erfüllen die vorgeschalteten Regenrückhaltebecken eine wichtige Funktion, nämlich die der Rückhaltung von austretenden wassergefährdenden Stoffen. Sie sind mit Sicherheitsabscheidern nach RiStWag (Richtlinien für bautechnische Maßnahmen in Wassergewinnungsgebieten) ausgerüstet.

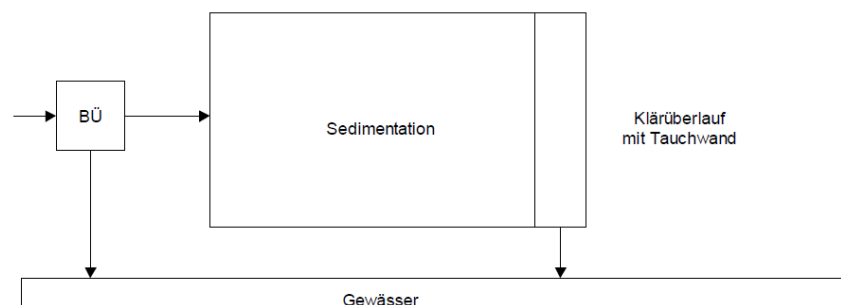


Abb. 13: Regenklärbecken mit Dauerstau

Abbildung 12. Prinzip eines Regenklärbeckens mit Dauerstau. Quelle: (Sommer, 2007 S. 57)

Das Prinzip eines Leichtstoffabscheiders ist der Rückhalt sowohl von mechanisch durch Sedimentation abscheidbaren Stoffen als auch von wassergefährdenden leichtflüssigen Substanzen, durch die Kombination von Schlammfang, Tauchwand und/oder Koaleszenzabscheider. Der Hauptanwendungsbereich liegt in der Behandlung des Abflusses von Flächen mit erhöhter Verschmutzungsgefährdung durch Treibstoff oder Mineralölprodukte (Straßen, Parkplätze. Zugleich werden Schwebstoffe, die sich als Schwimmstoffe im Oberflächenabfluss befinden, abgeschieden. (Sommer, 2007).

Weiterhin sorgt und eine TOC-Konzentrationsmessanlage dafür, dass kein verunreinigtes Wasser eingeleitet wird und bei der Einleitung in das öffentliche Schmutzwassersiel gesetzliche Grenzwerte („Allgemeine Einleitungsbestimmungen der Hansestadt Hamburg“) eingehalten werden.

Da auf den Vorfeldern betankt und im Winter auch enteist wird, ist eine ständige Kontrolle des Oberflächenwassers notwendig. Die Belastung durch Winterdienst und Behandlungsmaßnahmen sind im Kapitel 4.3.3. beschrieben. Die folgenden Tabellen (Tabelle 7, Tabelle 8) geben eine Übersicht über die Einleitstellen sowie über die Herkunft der in die Becken eingebrachten Oberflächenwässer.

Tabelle 7. Zusammenstellung der Entwässerungsflächen. Quelle: FHG intern

Einzugsgebiet	Vorfluter	Größe
SW-Ende Bahn 1	Tarpenbek, Einleitung im Bereich der Verrohrung	1,7 ha
Becken 1	Tarpenbek, Niendorfer Seite	9,7 ha
Becken 2		5,4 ha
Becken 3		48,9 ha
Becken 4		7,0 ha
Raakmoorgraben	Raakmoorgraben, Niendorfer Seite	8,0 ha
Becken 5	Tarpenbek, Niendorfer Seite	6,8 ha
Becken 6		11,5 ha
Becken 7	Luftwerftgraben/Tarpenbek	32,5 ha
FHG –Anlagen insgesamt		131,5 ha

Tabelle 8. Bezugsgebiete RKB. Quelle: Eigene Darstellung nach FHG intern.

Beschreibung	Fläche, ha	RKB 1	RKB 2	RKB 3	RKB 4	RKB 5	RKB 6	RKB 7/9
S/L Bahn I 05/23	20,2	35%	15%	50%				
S/L Bahn II 15/33	23,0			30%	15%	25%	30%	
Rollbahn B	0,2			100%				
Rollbahn C	1,0				100%			
Rollbahn D	8,4				25%	35%	40%	
Rollbahn E	0,8					50%	50%	
Rollbahn S	0,4							100%
Rollbahn I	1,7							100%
Rollbahn L	8,2	45%		55%				
Rollbahn M	0,5	100%						
Rollbahn N	0,8		100%					
Rollbahn K	4,8			100%				
Vorfeld 1	32,0			10%				90%
Vorfeld 2	16,8			40%				60%

Die prozentualen Angaben zeigen den Flächenanteil, deren Entwässerung in jeweiligen Becken stattfindet. Zum Beispiel wird in Becken 3 die Hälfte des S/L Bahn I, Rollbahn B komplett und ein Drittel des S/L-Bahn II entwässert. Die graphische Darstellung dieser Tabelle befindet sich im Anhang (Karte „Einzugsgebiete der Becken“).

Eine weitere Entwässerungsfläche stellt die Lufthansa-Werft dar, deren Niederschlagswasserabfluss ebenfalls über den Luftwerftgraben abgeleitet wird. Die Niederschlagswasserverbringung der anderen Flächen, vor allem der Dachflächen erfolgt getrennt über offene und geschlossene Systeme (Rigolen, Sickerschächte, städtisches Mischwassersiel) und ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

4.2 Einflüsse aus der Luft

Bei trockenem Wetter liegen Schmutz und Schadstoffe aus den verschiedenen Quellen in gasförmiger und partikulärer Form in der Luft vor. Gase und kleinere Partikel (Aerosole)

werden in unterschiedlichem Maß durch den Wind verfrachtet und können so unterschiedlich weit von den Quellorten verdriftet werden oder in unmittelbarer Nähe des Quellortes verbleiben. Grundsätzlich können Schadstoffe in gasförmigen Zustand oder als Aerosole auf den Boden sedimentieren oder durch Niederschläge auf Oberflächen verbracht werden. Diese Vorgänge machen die nasse und trockene Deposition von Schadstoffen am Standort aus. Im Fall der nassen Deposition entsteht hier die Primärbelastung des Wassers mit Schadstoffen. Die auf die Oberflächen fallenden Niederschläge können diese Verunreinigungen binden, und werden dadurch vorbelastet. Die atmosphärische Vorbelastung des Niederschlags aus dem Verkehrsbetrieb ist in mehreren Studien (u.a. (Gantner, 2002); (Kasting, 2002); (Sommer, 2007)) nachgewiesen. Aufgrund der Verlust- und Zersetzungsmöglichkeiten sind nur die qualitativen Abschätzungen zum Einfluss des Verkehrs auf den Fremdstoffgehalt der Luft möglich. (Herpertz, et al., 2005 S. 89).

Gemäß dem Merkblatt DWA-M 153 ist eine pauschale Zuordnung von Bewertungspunkten genügend. Außerdem ist es möglich Zwischenwerte festzulegen (Siehe Tabelle 9).

Da die Flughäfen einen spezifischen Fall darstellen, muss man zusätzliche Überlegungen zur Belastung der Luft machen. Dafür werden sowohl Emissionsquellen als auch auftretende Schadstoffe beschrieben.

Tabelle 9. Bewertung der Verkehrsflächen für Einflüsse aus der Luft (L). Quelle: (DWA, 2007)

Einflüsse aus der Luft			
Luftverschmutzung	Beispiele	Typ	Punkte
Gering	Siedlungsbereiche mit geringem Verkehrsaufkommen (DTV unter 5000Kfz/24h)	L1	1
	Straßen außerhalb von Siedlungen		
Mittel	Siedlungsbereiche mit mittlerem Verkehrsaufkommen (DTV 5000-15000 Kfz/24h)	L2	2
Stark	Siedlungsbereiche mit starkem Verkehrsaufkommen (DTV über 15000 Kfz/24h)	L3	4
	Siedlungsbereiche mit regelmäßigem Hausbrand		
	Im Einflussbereich von Gewerbe und Industrie mit Staubemission durch Produktion, Bearbeitung, Lagerung und Transport	L4	8

4.2.1 Emissionsausbreitungsmodell LASPORT

Um die relevanten flugbetriebsbedingten Emissionen und deren flughafenbezogene Quellen für einen vorgegebenen Untersuchungsraum zu erfassen, wurden verschiedene Rechenmodelle entwickelt. (Mensen, 2007 S. 920). Eine davon ist das Ausbreitungsmodell LASAT (**L**agrange-**S**imulation von **A**erosol-**T**ransport, auf dieser Basis deren wurde das Programmsystem LASPORT (*LASAT for Airports*) entwickelt.

LASPORT wird an Flughäfen in Deutschland und in der Schweiz angewendet. Mit Hilfe dieses Programm werden alle flughafenrelevanten routinemäßigen Emissions- und Ausbreitungsrechnungen durchgeführt. (Janicke Consulting, 2014). Es wird angenommen, dass die Flugzeuge den größten Teil aller Luftemissionen verursachen, daher wurde LASPORT primär entwickelt, LFZ- gebundene Schadstoffemissionen und deren Ausbreitung möglichst exakt zu berechnen. Als Referenz für Zertifizierung von Flugzeugen wird der sogenannter Start-/Landezyklus LTO (**L**anding and **T**ake-**O**ff cycle) definiert (Abbildung 13). Die im ICAO Annex 16 beschriebenen Messmethoden der Abgasemissionen werden in Bezug auf den LTO Zyklus angegeben. (Bräunling, 2009 S. 1014).

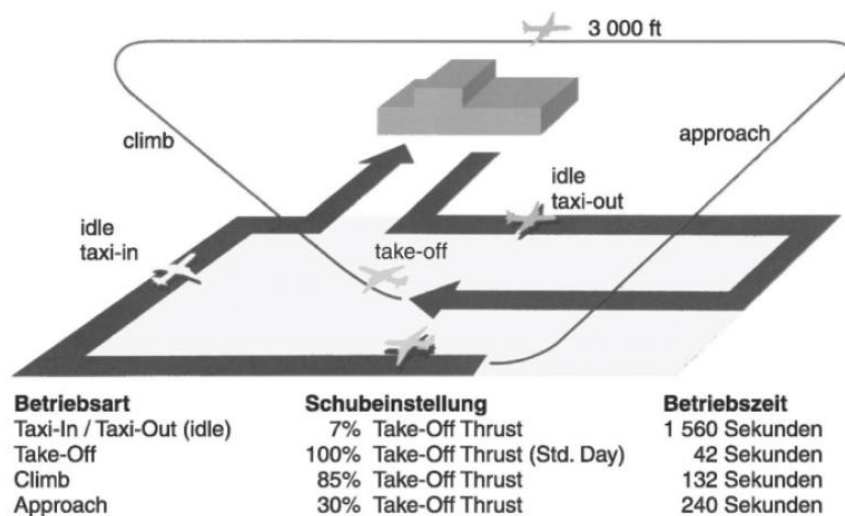


Abbildung 13. Der Standard LTO-Zyklus nach ICAO mit den beteiligten Betriebsarten des Flugzeuges, den Schubvorgängen und den Zeitdauern. Quelle: (Bräunling, 2009 S. 1014)

Normalerweise enthält der LTO-Zyklus nur 4 Betriebsphasen, nämlich Approach (Anflug), Idle (Leerlauf- Schub während Rollbewegungen), Take-off (Start)und Climb-Out (Steigflug), in LASPORT wird eine Verfeinerung bis 6 Phasen vorgenommen (Siehe Tabelle 10).

Tabelle 10. LTO Phasen im LASPORT und gemäß ICAO. Quelle: (Janicke Consulting, 2014)

Abkürzung	LTO Phasen nach LASPORT	LTO Phasen nach ICAO
AF	Approach final	Approach
AG	Approach ground	
ID	Idle	Idle
TG	Take-off ground	Takeoff
CI	Climb initial	Climbout
CF	Climb final	

Die Ausbreitung der Emissionen (Immissionen) eines Luftfahrzeuges ist durch die Lage der S/L -Bahnen, Taxiwege, Positionen auf dem Vorfeld, Anflug- und Abflugverhältnisse und der Abflugroute festgelegt. Die Emissionsstärke ist von Flugzeugtyp, Triebwerktyp, Triebwerkanzahl und Betriebsphasen nach LTO-Zyklus abhängig. Die Informationen werden nicht nach einzelnen Flugzeugtypen sondern nach gewichtsbezogenen Flugzeuggruppen erfasst (MTOM = **M**aximum **T**ake **o**ff **M**ass, maximales Startgewicht). Es wird folgende Aufteilung vorgenommen (Tabelle 11):

Tabelle 11. Kategorisierung von Flugzeugen nach LASPORT. Quelle: (Janicke Consulting, 2014)

Kategorie	MTOM, t	Beispiel
Large	>300	Boeing B747
Medium	120-300	Airbus A330, Boeing B763
Small	50-120	Airbus A300, Boeing B738
Regional	34-50	BA146
Business	<34	F900
Turboprop	>5,7	SB20
Piston	<2, 2-5,7	PA28

Die Datenbank des Programms enthält mehr als 5000 Flugzeugmodelle und wird bei der Emissionsberechnung automatisch zur jeweiligen Gruppe angewendet. (Janicke Consulting,

2014) Diese Aufteilung nach MTOW wird auch in der vorliegenden Arbeit für die Berechnungen der verkehrlichen Belastung vorgenommen.

4.2.2 Bestandsaufnahme der Emissionsquellen

Die Hauptquellen für flughafenbezogenen Emissionen werden gemäß dem Programm folgend aufgeteilt (Abbildung 14):

- Flugbewegungen
- APU, GPU und GSE auf den Pierpositionen
- Straßenverkehr: Passagiertransport in der Umgebung
- Andere Quellen: ggf. Kraftwerke, Treibstoffverdunstung, grenzübergreifende Quellen.

		
<p>Flugzeuge</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbrennungsprodukte aus der Triebwerke • Der größte Quelle für Luftemissionen • Erzeugt während des LTO Zyklus 	<p>Ground Support Equipment (GSE)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbrennungsprodukte aus "onboard" Motoren • Hängt von Brennstofftyp, Motorgröße und Laufzeit • Ersatz durch alternative Antriebe 	<p>Auxillary Power Units (APUs)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Versorgung parkender flugzeuge mit Strom, Luft und Kühlung • Verbrennungsprodukte aus "onboard" Motor • Überwiegend gewerbliche Flugzeuge • Ersatz durch GPU und stationäre am Gate

Abbildung 14. Flughafenbezogene Emissionsquellen. Quelle: Eigene Darstellung nach (KB Inc., et al., 2013, S.28).

4.2.2.1 Flugzeuge

4.2.2.1.1 Flugzeugtreibstoff

Das Flugbenzin wird als Aviation Gasoline AVGAS bezeichnet und wird von Kolbenflugzeugen verwendet. In militärischen Bereich wird Jet Petroleum JP5 oder JP8

eingesetzt. Hinsichtlich der Zusammensetzung und Eigenschaften kommt dieser Treibstoff dem Dieselkraftstoff sehr nahe, unterschiedlich sind ihr Flammpunkt und Dampfdruck. (Bräunling, 2009 S. 977). Die im gewerblichen Luftverkehr meist eingesetzte Strahltriebwerke werden mit dem Flugkerosin mit der Bezeichnung Jet A/A1 betrieben (Mensen, 2007 S. 869). Auf dem Flughafen Hamburg wird überwiegend Jet A 1 eingesetzt. Die Abbildung 15 stellt die Übersicht von ausgewählten Brennstoffen zusammen.

Name							
	Kfz Benzin	Flug Benzin	Triebwerksbrennstoffe				Kfz Diesel
	MOGAS	AVGAS	Jet B	Jet A	Jet A-1	JP 5	Diesel
Sorte	Super	Gasolin	Wide Cut	Kerosin	Kerosin	Kerosin	–
Engl. Bez.	–	Derd 2485	Derd 2486	Derd 2482	Derd 2494	Derd 2498	–
US-Bez.	–	MIL-G-5572	JP 4	JP 1	JP 1A	JP 5	–
Verwendung	Kfz	Luftfahrt	Militär (Zivil)	Zivil (Militär)	Zivil (Militär)	Militär (Marine)	Kfz
Siedebereich [° C]	30–210	40–150	50–260	180–260	180–260	180–260	180–320
Dampfdruck [bar]	0.75	0.50	0.20	0.01	0.01	< 0.01	< 0.01
Flammpunkt [° C]	–48	–40	–20	+38	+38	+65	+70–80
Gefrierpunkt [° C]	< –60	< –60	–60	–40	–47	–48	–20
Zündtemperatur [° C]	≈ 220	≈ 450	≈ 250	≈ 250	≈ 250	≈ 245	≈ 220

Abbildung 15. Eigenschaften ausgewählter Brennstoffe. Quelle: (Bräunling, 2009 S. 978)

Kerosin wird entweder aus Mineralöl oder aus schwerem Heizöl gewonnen und mit verschiedenen Additiven, wie Vereisungsschutzmittel, Korrosionsschutzmittel, Antioxidanten, Antistatikmittel usw., angereichert. (Exxon Mobil, 2005). Zur Vermeidung von Heißgaskorrosion an den Turbinenmaterialien wird ferner der Schwefelanteil auf bis 0,1% verringert. Nach der Verbrennung entstehen Wasserdampf (H₂O), Kohlendioxid (CO₂) und Komponenten wie Schwefeldioxyde (SO_x), Stickoxide (NO_x), Kohlenmonoxid (CO), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (CH) und reiner Kohlenstoff (Ruß) in verschiedenen Anteilen. (Mensen, 2007 S. Kap. 3.1.). Da Flugkerosin fast keine Blei- und

Halogenverbindungen enthält (der maximale Bleigehalt liegt unter 3 ppm), enthalten Emissionen weder Schwermetalle noch Dioxine. (Bräunling, 2009 S. 1009-1010).

4.2.2.1.2 Emissionen

Folgende Abbildung stellt eine typische Zusammensetzung der Triebwerkemissionen eines Flugzeuges pro kg verbrauchtem Kerosin dar.

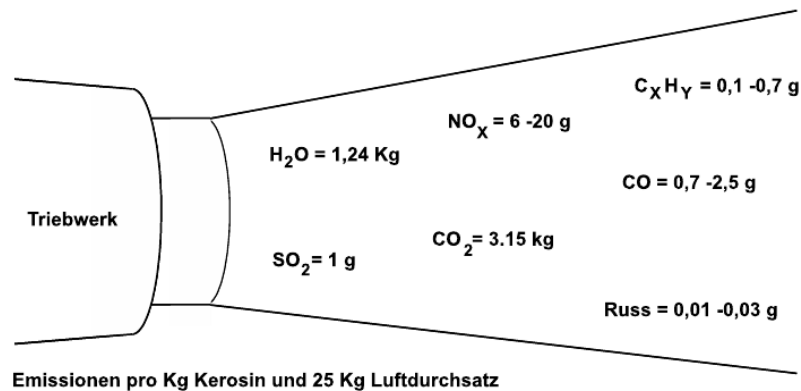


Abbildung 16. Emissionen eines Triebwerks pro kg verbrauchtes Kerosin bei 25 kg Luftdurchsatz. Quelle: (Mensen, 2007 S. 870)

Da die LTO-Betriebsphasen mit unterschiedlicher Triebwerkleistung betrieben werden, ist der spezifische Treibstoffverbrauch entsprechend der Leistungseinstellung zu berechnen. Gemäß folgender Formel werden die Emissionsanteile i pro LTO-Zyklus und Flugzeug j berechnet.

$$E_{ij} = \sum_k (TIM_{jk}) \times (FF_{jk}/1000) \times (EI_{ijk}) \times (NE_j)$$

Formel 1. Berechnungsformel für die Emissionen eines Flugzeuges. Quelle: (Mensen, 2007, S. 874).

Dabei gilt:

E_{ij} Emissionen des Schadstoffs i in t für das Flugzeug pro LTO-Zyklus

TIM_{jk} Zeit für Betriebsphase k in min für das Flugzeug j

FF_{jk} Treibstoffverbrauch in kg/min in der Betriebsphase k in min für ein Triebwerk des Flugzeugs j

EI_{ijk} Emissionsindex für den Schadstoff i in der Betriebsphase k für ein Triebwerk des Flugzeugs j

NE_j Zahl der Flugzeugtriebwerke des Flugzeugs j .

Die 2012 am Flughafen Hamburg erzeugten Emissionen nach LTO-Phasen und Flugzeugkategorien werden folgend dargestellt.

Tabelle 12. Emissionsmengen Flugzeuge 2012. Gesamt siehe Anhang 4. Quelle: FHG intern

Emissionen Landung [t]							
Name	FB	NOX	HC	CO	PM10	BNZ	CO2
Large	215272.00	1041.17	778.79	5633.79	21.73	15.58	679182.00
Medium	1515410.00	6472.38	6401.43	40052.80	124.18	128.03	4781120.00
Small	37513000.00	143583.00	121972.00	1191520.00	3650.34	2439.43	118353000.00
Regional	6621720.00	24650.90	23482.60	216461.00	628.55	469.65	20891500.00
Business	4652.34	13.70	142.11	354.92	1.19	2.84	14678.10
Turboprop	1334110.00	6762.93	8322.37	37437.30	7.25	166.45	4209110.00
Piston	37137.30	56.78	1680.25	37307.40	2.61	33.61	117168.00
TOTAL	47241300.00	182581.00	162779.00	1528760.00	4435.87	3255.58	149046000.00
Emissionen Rollen [t]							
Name	FB	NOX	HC	CO	PM10	BNZ	CO2
Large	5323450.00	25747.10	19258.80	139318.00	537.40	385.18	16795500.00
Medium	32363200.00	138224.00	136709.00	855369.00	2652.08	2734.18	102106000.00
Small	676640000.00	2589870.00	2200060.00	21492000.00	65842.90	44001.20	2134800000.00
Regional	112111000.00	417360.00	397579.00	3664850.00	10641.90	7951.61	353710000.00
Business	74823.90	220.38	2285.63	5708.22	19.22	45.71	236069.00
Turboprop	20864800.00	105769.00	130158.00	585503.00	113.42	2603.16	65828500.00
Piston	499983.00	764.40	22621.40	502273.00	35.18	452.43	1577450.00
TOTAL	847877000.00	3277960.00	2908670.00	27245000.00	79842.10	58173.50	2675050000.00

4.2.2.2 Bodenverkehr

Die Bodenabfertigung „umfasst alle Dienstleistungen am Flugplatz zur Abfertigung und Beförderung von Passagieren, Gepäck, Fracht und Post, die Abfertigung des Flugzeugs einschließlich Reinigung, Bordverpflegung, Betankung und eventuell Enteisung, den Transport der Besatzung sowie alle Sicherheitsdienstleistungen“ (Schegel, 2010 S. 47). Die Bodenverkehrsfahrzeuge werden überwiegend mit Diesel betrieben und sind mit den Straßenfahrzeugen soweit vergleichbar. Am Flughafen Hamburg werden seit einigen Jahren auch mit Erdgas betriebene Fahrzeuge eingesetzt, was einen wesentlichen Beitrag zur Emissionsreduzierung leistet.

Tabelle 13. Bestandsaufnahme des Bodenverkehrs FHG. Quelle: FHG intern

Fahrzeug	Antrieb	Fahrzeuggruppe
Bus	Diesel	LKW
Bus	Erdgas	LKW
Cargofahrzeuge (verschiedene)	Diesel	Spezial
Cateringfahrzeug	Diesel	LKW
Crew Bus	Diesel	Kleintransporter
Follow Me-Fahrzeug	Diesel	PKW
Gepäckschlepper	Erdgas	Spezial
GPU	Diesel	Spezial
Kleinlaster/ Kleintransporter (verschiedene)	Diesel	Kleintransporter
Flugzeugschlepper-/“Pushback“- fahrzeug	Diesel	Spezial
Tanklaster	Diesel	LKW
Feuerwehrfahrzeug	-	LKW
Toiletten-/Frischwasserfahrzeug	-	LKW
Enteisungsfahrzeug	-	LKW

Tabelle 14. Emissionsmengen von GPU 2012. Siehe Anhang 4. Quelle: FHG intern LASPORT Auswertung

Name	Emissionen GPU [t]							
	FB	NOX	HC	CO	PM10	BNZ	CO2	SOX
Large	21392.20	504.43	164.08	85.57	42.78	3.28	67492.30	17.11
Medium	10149.10	239.32	77.84	40.60	20.30	1.56	32020.30	8.12
Small	2431260.00	57329.00	18647.70	9725.02	4862.51	372.96	7670610.00	1945.00
Regional	4319640.00	101857.00	33131.70	17278.60	8639.28	662.63	13628500.00	3455.71
Business	7101.22	167.45	54.47	28.40	14.20	1.09	22404.40	5.68
Turboprop	1872510.00	44153.80	14362.20	7490.05	3745.02	287.24	5907780.00	1498.01
Piston	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	8662050.00	204251.00	66437.90	34648.20	17324.10	1328.76	27328800.00	6929.64

4.2.3 Einschätzung der Belastung

Die Akkumulation von Schadstoffen im Straßenbereich ist aufgrund der Verwehung durch Windbewegung und Luftwirbel sehr begrenzt. (Kasting, 2002 S. 6). Die Erkenntnisse verschiedener Studien zeigen, dass die Abgase meist nicht in Straßennähe deponiert, sondern über weitere Entfernungen transportiert werden. (Herpertz, et al., 2005 S. 90). Bei der

Abschätzung der Wirkung flugzeugbedingter Belastungen der Flächen ist auch zu berücksichtigen, dass durch die höhere Lage der Flugtriebwerkdüsen und der Abgasaustrittstemperaturen im Bereich von ca. 800-1200 K (Bräunling, 2009 S. 344) eine ganz anderes Transportverhalten der Emissionen entsteht. Nach derzeitigem Stand der Forschung haben die Emissionen von Flugzeugtriebwerken nur geringe Auswirkungen auf das globale Klima und auf die Luftqualität im Flughafennahbereich. In der Regel überdecken in der Flughafenumgebung die Emissionen des bodengebundenen Straßenverkehrs die Flugverkehrsemissionen. Nichtsdestotrotz ist kaum ein anderes Triebwerksbauteil so unmittelbar mit der Bezifferung des Schadstoffausstoßes gekoppelt, wie die Brennkammer. In den vergangenen 30 Jahren konnte deren Brennstoffverbrauch und damit auch der CO₂ Ausstoß um rund 40% reduziert werden. (Bräunling, 2009, Kap. 11.5.1)

Die in den 80er Jahren von Umweltbehörde Hamburg durchgeführten Untersuchungen aus den Hauptbeschwerdegebieten haben gezeigt, dass die festgestellten Luftbelastungen sich kaum von der lufthygienischen Situation im Flughafenumfeld unterscheiden. Das Belastungsniveau für Kohlenwasserstoffe (u.a. Benzol) liegt in Grundbelastung für den Stadtrandbereich.

Weiterhin werden Untersuchungen zur Luftqualität seit den 1970er Jahren an mehreren deutschen Flughäfen durchgeführt. Die Luftmessstationen geben ausführliche Informationen zur lufthygienischen Situation im Flugplatznahbereich. Auch eine am Flughafen Hamburg installierte Messstation gibt kontinuierlich Auskunft über die Luftqualität am Flughafen. Neben den Luftmessparametern Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid werden weitere Spurengase und Partikel erfasst. Die Messstelle ist Teil des Luftmessnetzes Hamburg, das das gesamte Stadtgebiet umfasst. Im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Messstellen, insbesondere aus dem Stadtzentrum ist die Vorbelastung der Luft am Flughafen als eher gering einzuschätzen.

Tabelle 15. Luftmesswerte des Hamburger Luftmessnetzes Stand Mai 2012. Quelle: FHG intern

Luftschadstoff, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂	NO	SO ₂	PM10	PM2,5	O ₃	Toluol
Altona-Elbhang	26	7	4	16	-	-	-
Bramfeld	12	2	-	-	-	66	-
Blankenese	14	3	-	-	-	68	-
Finkenwerder Airbus	17	4	-	16	-	-	-
Flughafen Nord	18	4	-	18	-	66	0,7
Neugraben	16	3	-	-	-	67	-
Sternschanze	23	5	3	19	12	63	-
Veddel	35	12	8	21	10	64	-
Wilhelmsburg	24	4	5	24	12	-	1,0

Die Messwerte zeigen, dass negative Auswirkungen des Flugbetriebes auf die Luftqualität erheblich überschätzt werden. Die Resultate aller bisher durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die auf den Flughäfen ermittelten Luftschadstoffkonzentrationen der lufthygienischen Situation im Umgebungsland entsprechen und die Belastungen in benachbarten Stadtgebieten deutlich unterschreiten. (Mensen, 2007 S. 920). Diese Überschätzung kann auch die Einstufung gemäß DWA beeinflussen und ist daher auch Gegenstand der Betrachtungen in der hier vorliegenden Arbeit.

4.3 Verschmutzung der Oberflächen

4.3.1 Ermittlung der verkehrlichen Belastung

Die Intensität der Verschmutzungsfaktoren, die auf die Fläche wirken, hängt im Wesentlichen vom Umfang und Grad der Nutzung ab. Bei den Verkehrsflächen und Flugbetriebsflächen ist dabei über Verkehrsaufkommen, bzw. über Verkehrsdichte zu sprechen. Um die Belastung von Verkehrsflächen zu charakterisieren wird die entsprechende durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke DTV [Kfz/Tag] ermittelt. Die Kategorisierung der Flächen im Merkblatt DWA-M 153 orientiert sich an dieser Kenngröße.

Zur Übertragung des im Merkblatt DWA-M 153 vorgeschlagenen Bewertungsverfahrens auf Flugbetriebsflächen ist eine sinngemäße Zuordnung des Verkehrsaufkommens der genutzten Flächen erforderlich. In diesem Kapitel wird daher die verkehrliche Belastung der

Flugbetriebsflächen des Flughafens Hamburg ermittelt. Dafür wird der DTV-Wert für die Flugbetriebsflächen des Flughafens Hamburg eingeschätzt. Zuerst wird die Standardmethodik zur Berechnung von DTV-Werten beschrieben. Eigentlich wird dieser Wert grundsätzlich nur für den Straßenverkehr berechnet, auf der Basis dieser Kenngröße werden u.a. „Lärberechnungen“ durchgeführt, oder Anforderungen an die Entwässerung der untersuchten verkehrlich belasteten Flächen formuliert. Dabei macht der DTV-Wert keine ausdrücklichen Aussagen zu Emissionsmengen von Schadstoffen in die Luft oder in umliegende Gewässer Aufgrund der Ableitung einer Belastung von Gewässer über fast ausschließlich aus dem Straßenverkehr stammenden Erfahrungs- und Beobachtungswerten lässt sich die DTV- Methode nicht ohne Anpassungen der Berechnungsbedingungen (Rahmenbedingungen) auf Flughäfen zur Darstellung der Belastungswirkung einsetzen, die von Flugzeugbewegungsflächen ausgehen. Unterschiedlich belastete Flugbetriebsflächen werden nach ihrer Funktionalität, bzw. ihrem Nutzungsumfang aufgeteilt und nach entsprechenden Verfahren bewertet. Die dazu vorgenommenen Anpassungen werden im weiteren Verlauf dargelegt.

4.3.1.1 Methodik zur Berechnung von DTV-Wert für Verkehrszählung

Vor diesem Hintergrund wird hier die Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik zur Ermittlung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) beschrieben. Weiterführende Erläuterungen zum Berechnungsverfahren sowie ausführliche Beispielrechnungen liegen im Bericht vom Bundesamt für Straßenwesen „Straßenverkehrszählung 2005: Methodik“ vor.

Grundsätzlich basieren die für die Berechnung der Verkehrsstärke erforderlichen Zählungen auf einer räumlichen Totalerhebung mit zeitlichen Stichproben. Die dazu erforderlichen Zählstellen befinden sich an Autobahnen, Bundesstraßen, Land- und Stadtstraßen, sowie Kreisstraßen. Die Zählabschnittslänge unterscheidet sich nach Straßentyp und beträgt 4 bis 5 km. Für Mehrstreifenstraßen wird das Überschreiten eines Grenzwertes von 2.000 Kfz/h geprüft. Hinsichtlich der unterschiedlichen Fahrzeuge, die auf den untersuchten Straßen fahren wird bei der Berechnung der DTV zwischen 7 Fahrzeugarten differenziert: Fahrräder, motorisierte Zweiräder, Personenkraftwagen, Kraftomnibusse, Lastkraftwagen $\leq 3,5$ t, Lastkraftwagen, $>3,5$ t ohne Anhänger und Lastzüge mit Anhänger. Außerdem werden die relativen Fahrzeugverhältnisse, bzw. die Anteilswerte der Fahrzeugarten pro Zählstelle zum Pkw-Leitwert ermittelt. (Kathmann, et al., 2009 S. 13-16). Die Methodik zur Straßenverkehrszählung sieht die folgenden Fahrzeugartengruppen vor. Die angenommene

Aufteilung nach Gewichtsklassen umfasst sowohl Schwerverkehrsfahrzeuge als auch leichtere Nutzfahrzeuge, Pkw usw.

Tabelle 16. Fahrzeugartenklassifizierung. Quelle: (Kathmann, et al., 2009 S. 16)

Straßenverkehr	Fahrzeugartengruppen				
Lkw < 3,5 t	Lieferwagen	Lieferwagen	Pkw Gesamt	Pkw-ähnliche Kfz	Kfz
Kräder	Krad	PuZ			
Pkw	Pkw		Nutzfahrzeuge	Nutzfahrzeuge	
	Nutzfahrzeuge	Nutzfahrzeuge			
Lastzüge	Pkw+Anhänger	Pkw+Anhänger	Pkw+Anhänger	Lkw-ähnliche Kfz	
	Lkw+Anhänger	Lastzüge	Lastzüge		
	Sattelzüge				
Lkw ohne Anhänger	Lkw	Lkw	Lkw		
Busse	Bus	Bus	Bus		

4.3.1.2 DTV-Wert am Flughafen Hamburg

Hinsichtlich der Methodik der Verkehrszählungen und den darauf aufbauenden Hochrechnungen ist die DTV- Methodik nur eingeschränkt auf Flughäfen übertragbar. So ist z.B. die Einrichtung von Zählstreifen gemäß DTV insbesondere auf den Vorfeldflächen nicht umsetzbar. Andererseits liegen mit dem Flugplan genaue Daten über Flugzeugbewegungen – u.a. auch an Spitzentagen oder Spitzenstunden - vor. Die Fahrzeugbewegungen auf den Vorfeldern sind recht eng mit der Anzahl der Flugzeuge verknüpft, so dass sich auch diese recht einfach und genau erschließen lassen. Vor diesem Hintergrund ist eine Hochrechnung von Fahrzeugbewegungen auf den betrachteten Flächen mit den Erfordernissen der DTV genügenden Exaktheit mit den am Flughafen vorliegenden Daten ohne weiteres möglich.

Zur Anwendung der DTV- Methodik müssen Flugbetriebsflächen in Straßen vergleichbarer Strukturen umdefiniert werden. Um einen Vergleich zu ermöglichen, werden die Flugbetriebsflächen als fiktive Straßen betrachtet. Dabei werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Rollkorridore der Vorfelder werden anhand ihrer Grundflächen in eine Straße mit der genannten Breite und entsprechender Länge umgerechnet. Die Breite einer 2-streifigen fiktiven Straße beträgt dabei durchschnittlich 6,5 m;
- Taxiwege/Rollbahnen und die Start- und Landebahnen werden unabhängig von ihrer Breite als eigenständige Straßen angesehen.

4.3.1.2.1 Luftverkehrsaufkommen

Als Kriterien zum Vergleich von Straßenfahrzeugen und Flugzeugen kommen die Emissionsmengen aus dem Triebwerk, bzw. Verbrennungsmotor, und die Maße des Fahrzeuges in die Betrachtung. Der Einfluss der Luftvorbelastung wird im Kapitel 4.2 beschrieben. Da es um die Oberflächenbelastung geht, wird hier das Gewicht des Fahrzeuges in der Betrachtung einbezogen. Im Folgenden wird eine Umrechnung der Flugzeugen und Straßenfahrzeugen nach Gewicht dargestellt.

Zunächst wird das durchschnittliche tägliche Luftverkehrsaufkommen ermittelt, dafür werden die statistischen Daten zur Benutzung einzelnen Start- und Landebahnen analysiert. Die am Flughafen Hamburg verkehrenden Flugzeuge werden zahlgenau mit Hilfe der Lärmmessstationen registriert. Dabei wird jedes startende oder landende Flugzeug unter anderem nach Flugnummer und Flugzeugtyp erfasst. Die anschließende Überprüfung der Daten nach Fehlern, wie zum Beispiel falsche Typeinordnung wird durchgeführt. Die Flugbewegungsverteilung wird mit Hilfe des Lärmmessprogramm TOPSONIC registriert. In der Tabelle X. ist ein Auszug aus der Verkehrsdaten dargestellt. Die ganze Datei befindet sich im Anhang.

Tabelle 17. Luftverkehrsdaten –Auswertung der verkehrlichen Belastung. Siehe Anhang 9.5. Quelle: Topsonic Lärmmessprogramm 2013 FHG intern; eigene Darstellung.

ATD/ATA	Piste	Flugnummer	Ziel/ Herkunftsflughafen	Typ	MTOW[kg]
01.01.2012 06:06:24	23	KL 1776	Amsterdam	E190	45.700
01.01.2012 06:08:23	23	TP 567	Lissabon	A3191	68.000
01.01.2012 06:27:10	23	AB 9756	Palma de Mallorca	A3202	74.999
01.01.2012 06:29:14	23	DE 7978	Las Palmas	B7573	122.500
01.01.2012 06:44:27	23	LH 003	Frankfurt	A3212	89.000
01.01.2012 06:46:49	23	GHY 723	Sharm El Sheik	B7378	79.010
01.01.2012 07:57:26	23	LH 007	Frankfurt	A3191	68.000
01.01.2012 08:03:37	23	AB 6745	Düsseldorf	B7377	68.000
01.01.2012 08:33:30	23	AB 3578	Las Palmas	A3202	74.999
01.01.2012 08:38:44	23	LH 009	Frankfurt	A3191	68.000
01.01.2012 09:48:05	23	LX 1051	Zürich	A3202	73.500
01.01.2012 09:56:53	23	XQ 171	Antalya	B7378	73.700
01.01.2012 10:13:55	23	AF 1411	Paris/Ch.de Gaulle	A3181	63.000
01.01.2012 10:19:24	23	DE 7226	Teneriffa-Süd	B7573	122.500
01.01.2012 10:31:00	23	LH 2707	Düsseldorf	CRJ9	39.800
01.01.2012 10:42:37	23	AB 8818	Innsbruck	B7377	63.999
01.01.2012 10:45:14	23	AB 3428	Hurghada	A3202	77.000
01.01.2012 10:47:13	23	LH 013	Frankfurt	A3212	89.000
01.01.2012 10:51:21	23	AB 6655	Stuttgart	A3202	74.999
01.01.2012 10:54:50	23	X3 2192	Arrecife	B7378	75.000

Diese Daten werden statistisch ausgewertet: Die 2012 täglich verkehrende Flugzeuge werden nach MTOW in entsprechenden Größenklassen kategorisiert und zwischen einzelnen S/L-Bahnen aufgeteilt. Dafür wird die Funktion „Häufigkeit“ in Excel verwendet. Die Buchstaben L-P stehen für die jeweilige Kategorie nach LASPORT, bzw. Large, Piston usw. (s. Tabelle 10).

Verteilung = HÄUFIGKEIT [Daten MTOW (Lfz); Häufigkeitsklassen(L, S, R, B, T, P)]

Formel 2. Verteilung der Luftfahrzeuge nach Gewichtsklassen.

Tabelle 18. Häufigkeitsklassen für die Verteilung der Luftfahrzeuge nach Gewichtsklassen.

Häufigkeitsklassen	MTOW [kg] kleiner als
Large	500.000
Medium	300.000
Small	120.000
Regional	50.000
Business und turboprop	34.000
Piston	5.700

Tabelle 19. Luftverkehrsaufkommen nach S/L-Bahnen 2012. Darstellung s. Anhang 9.6.

Flugzeugkategorie	Richtung 05	Richtung 23	Richtung 15	Richtung 33	Gesamt 2012	
Starts						
Large	38	167	21	331	557	0,75%
Medium	108	498	80	912	1598	2,14%
Small	3253	14810	2146	28092	48301	64,69%
Regional	687	3191	464	5813	10155	13,60%
Business und Turboprop	643	2753	381	5176	8953	11,99%
Piston	399	1628	213	2903	5143	6,89%
Summe	5128	23047	3305	43227	74707	100%
Landungen						
Large	81	267	168	47	563	0,75%
Medium	229	762	499	107	1597	2,14%
Small	6841	22827	14962	3666	48296	64,70%
Regional	1459	4834	3125	725	10143	13,59%
Business und Turboprop	1275	4350	2671	658	8954	12,00%
Piston	928	2326	1374	460	5088	6,82%
Summe	10813	35366	22799	5663	74641	100%
Gesamt	15941	58413	26104	48890	149348	

Anhang dieser Daten wird die verkehrliche Belastung der Vorfelder ermittelt. Die prozentuale Belegung der Vorfelder ist aus Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 20. Verkehrliche Belastung des Vorfeldes.

Flugzeugkategorie	Anzahl der Flugbewegungen 2012	Vorfeld 1	Vorfeld 2 + Vorfeld Lufthansa + Vorfeld 4
Large	1120	0	1120
Medium	3195	3058	137
Small	96597	96597	0
Regional	20298	19567	731
Business und Turboprop	17907	16116	1791
Piston	10231	706	9525
Gesamt	149348	136044	13304

4.3.1.2.2 Umrechnungsfaktoren

Die Aufteilung der Straßenfahrzeuge wird nach zulässigem Gesamtgewicht in Anlehnung an Studie von Winther & Slentø, 2010 durchgeführt. Analog dazu werden die am Flughafen Hamburg verkehrenden Flugzeuge in Gewichtsklassen aufgeteilt, und entsprechend den Gewichtsklassen des Straßenverkehrs in Kraftfahrzeuge umgerechnet. Die Kategorisierung der Flugzeuge nach Gewichtsklassen werden aus dem LASPORT Programm (Kap.4.2.1) entnommen. Es wird ferner eine Umrechnung in Kraftfahrzeuge nach Gewichtsklassen durchgeführt.

Tabelle 21. Umrechnung der Flugzeuge in Straßenfahrzeuge nach Gewichtsklassen. Quelle: eigene Darstellung nach (Winther, et al., 2010); (Janicke Consulting, 2009 S. 13,44)

Flugzeugtypen nach LASPORT	MTOW, t	Fahrzeuge nach Gewichtsklassen, t	Zulässige Gesamtmasse zGM, t	Kfz- Äquivalent nach entsprechenden Gewichtsklassen, $N_{j,Kfz}$
Large	>300	Lastzüge	>32	16
Medium	>120	Lastkraftwagen LKW		8
Small	50-120	Lkw schwer	16-32	6
Regional	34-50	Lkw mittelschwer	7,5-16	5
Business	5,7-34	Lkw leicht	3,5-7,5	6
Turboprop				
Piston	2-5,7	Personenkraftwagen Pkw	2,8	2

Die Kfz- Äquivalenten werden einfach durch die Teilung von Mittelwerte in den bestimmten Flugzeug- Gewichtsklassen ermittelt. Die ermittelten für ein Jahr geltenden Werte werden durch 365 Tage aufgeteilt, um die DTV Kfz/Tag zu bekommen.

Unter Anwendung dieser Vorgehensweise ergeben sich für den Flughafen Hamburg die folgenden auf den Flugzeugbewegungen am Boden basierenden DTV- Werte.

Tabelle 22. Umrechnung Flugbewegungen nach Gewichtsklassen in Kfz/Tag.

Flugzeugtypen nach LASPORT	Anzahl der Flugbewegungen 2012, M_{Lfz}	DTV nach Klassen, Kfz/Tag
Large	1120	50
Medium	3195	70
Small	96597	1588
Regional	20298	278
Business und Turboprop	17907	294
Piston	10231	56
Gesamt	149348	2336

Flugbetriebsflächen werden hinsichtlich der Art der verkehrlichen Belastung in drei Funktionalbereiche aufgeteilt:

- Vorfelder einschließlich Rollgassen und Abstellpositionen für Flugzeuge
- Rollbahnen/Taxi Wege
- Start- und Landebahnen/Runways.

Das Vorfeld 1 hat am Flughafen Hamburg eine prioritäre Bedeutung, deswegen werden in der vorliegenden Arbeit alle Flugbewegungen auf dieses Vorfeld bezogen. Das Vorfeld 2 wird überwiegend für Notfälle, z.B. Nachtlandung, oder für dauerhafte Aufenthalte der Flugzeuge sowie für Kleinflieger der allgemeinen Luftfahrt benutzt. Aus diesen Gründen, werden die Schnellrollbahnen zum Vorfeld 2 in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Das bedeutet andererseits eine Überschätzung der Belastung sowohl des Vorfeldes 1, als auch den darauf bezogene Standart- und Schnellabrollbahnen. Aufgrund der geringen Nutzungsanteile des Vorfeldes 2 ist diese Überschätzung jedoch gering und im Sinne eines „Worst- Case“-Scenarios akzeptabel.

4.3.1.2.3 Berechnung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastung für einzelne Flächen

Die Berechnungen werden laut folgender Formeln durchgeführt:

$$DTV_{Kfz}^{\frac{\text{Tag}}{\text{Tag}}} = \frac{M_{i,Lfz} \times N_{j,Kfz}}{365}$$

Formel 3. Ermittlung des DTV-Wertes

Dabei gilt:

i Luftfahrzeuge

j Kraftfahrzeuge

$M_{i,Lfz}$ Anzahl der Luftfahrzeuge in Lfz

$N_{j,Kfz}$ Anzahl der Kraftfahrzeuge in der entsprechende Gewichtskategorie

Damit aussagekräftige Angaben zur DTV der einzelnen Flugbetriebsflächen durch Flugzeuge vorgenommen werden können, müssen diese jeweils in eine entsprechende Anzahl an Kfz „umgerechnet“ werden.

4.3.1.2.3.1 Start- und Landebahnen

Die Aufteilung der Flugbewegungen nach einzelnen S/L-Bahnen ist in Tabelle 19 dargestellt. Die Umrechnung auf Kraftfahrzeuge ergibt folgende DTV Werte.

Tabelle 23. Verkehrliche Belastung in DTV-Werte gemäß der Einleitung in Kapitel 4.3.1.

DTV	Start - und Landebahn I		Start - und Landebahn II		Summe
	Runway 05	Runway 23	Runway 15	Runway 33	
Kfz/Tag	247	914	410	765	2336
	1161		1175		

Zur Entwässerung der Start- und Landebahnen und den das von ihnen stammende Oberflächenwasser siehe auch Tabelle 8.

4.3.1.2.3.2 Vorfelder

Für die Ermittlung der verkehrlichen Belastung der Vorfelder können grundsätzlich zwei Verfahren angewendet werden. Die **Flugdepositionsflächen**, bzw. die Abstellpositionen der Flugzeuge sind analog zu Parkplätzen im Straßenverkehr genauso hoch wie die Straßen mit entsprechendem DTV-Wert belastet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Unterschied zu normalen Parkplätzen eventuelle Kraftstoffaustritte an Abfertigungspositionen von der Flughafenfeuerwehr sofort aufgenommen werden. Damit ergibt sich eine summarische Belastung 2336 Kfz/Tag.

Tabelle 24. Verkehrliche Belastung der Vorfelder.

	Lfz gesamt	Kfz/Tag
Vorfeld 1	136044	2192
Vorfeld 2 + Vorfeld Lufthansa + Vorfeld 4	13304	144

Die Rollkorridore sind aber deutlich geringer als die Abstellpositionen belastet. Um die Belastung einzuschätzen wird das im Zentralbereich Umwelt des Flughafens Hamburg entwickelte Verfahren angewendet. Um die Belastung einzuschätzen wird das im Zentralbereich Umwelt des Flughafens Hamburg entwickelte Verfahren angewendet. Das Ziel besteht hierbei darin, die Rollkorridore des Vorfeldes mit den Rollwegen vergleichbar zu machen, die eine ähnliche Funktion erfüllen wie die Rollkorridore. Es wird angenommen, dass die Flugzeuge und die Abfertigungsfahrzeuge nur eine unterstellte Weglänge von 500 m auf dem Vorfeld fahren. Jedes Flugzeug braucht maximal 7 Fahrzeuge für die Abfertigung (s. Kapitel 4.2.2.2), dabei fahren die Fahrzeuge hin und zurück, d.h. 1000 m. Eine Flugzeugrollbewegung wird anhand der oben beschriebenen Methoden mit unterschiedliche Umrechnungsfaktoren Aus Basis dieser Annahmen wird insgesamt täglich zurückgelegte Fahrstrecke auf dem Vorfeld berechnet. Die Umrechnung ist folgend dargestellt.

Diese Umrechnung ist unabhängig von dieser Arbeit durchgeführt und wird nicht für die weiteren Die Betrachtung der Vorfelder als Flugdepositionsflächen hat eine insofern ein hohe Bedeutung, da dort die Flugzeugbewegungen zusammengeführt werden. Außerdem lässt es sich funktional in Rollkorridore (entsprechen hier eher den Taxiwegen) sowie in Abstellbereiche für Flugzeuge (Positionen) aufgliedern. Außerdem findet auf den Vorfeldflächen auch Fahrzeugverkehr durch die Fahrzeuge der Bodenverkehrsdienste statt. Um neben den Flugzeugbewegungen diese Fahrzeugbewegungen in den DTV- Werten des Vorfeldes zu berücksichtigen, es sich bei dem Vorfeld jedoch nicht um eine Straße, sondern eine Fläche handelt, wurde das folgende Verfahren angewandt.

Fahrzeugbewegungen und zurückgelegte Fahrstrecken pro Tag (Fahrzeuge der Bodenabfertigungsdienste):

$$2.333 \text{ Kfz/Tag} * 500\text{m} = 1.668 \text{ km}$$

Flugzeugbewegungen und deren zurückgelegten Fahrstrecken:

$$149.348 \text{ Kfz./365} * 1 \text{ km} * 7 \text{ Fahrzeuge} = 2.865 \text{ km}$$

In Summe bedeutet dieses eine Fahrleistung von 4533 km, die täglich auf dem Vorfeld zurückgelegt werden.

Die Vorfeldfläche wird mit 30 ha, bzw. 300.000 m² zugrunde gelegt. Bei einer angenommenen Straßenbreite von 6,5 m entspräche das Vorfeld so einer Straße mit einer Länge von 46.154 m Metern oder 46,15 km. auf der eine Fahrstrecke von 4533 km

zurückgelegt wird. Dies würde dann einer verkehrlichen Belastung von rund 100 Fahrzeugen pro Tag auf dieser fiktiven Straße entsprechen. Somit ist hier von einer eher geringen verkehrlichen Belastung der Vorfeldfläche auszugehen, da der Flächentyp F4 für Straßen bis zu DTV-Werten von 5.000 Kfz/24h geht. Mit Hilfe dieser überschlägigen Annahmen wurde aufgezeigt, dass das Vorfeld 1 des Flughafens im Hinblick auf seine verkehrliche Belastung dem Flächentyp für Straßen bis 5.000 Kraftfahrzeuge pro Tag entspricht. Es ist darüber hinaus anzumerken, dass selbst bei einer erheblichen Verkehrsmengensteigerung keine Größenordnungen erreicht werden, die in die Nähe der „Flächentypengrenze“ von mehr als 5.000 Fahrzeugen pro Tag gelangen. Zur Entwässerung der Vorfelder siehe auch Tabelle 8.

4.3.1.2.3.3 Rollwege

Der Großteil aller Flugzeuge, die den Flughafen Hamburg nutzen, wird auf dem Vorfeld 1 abgefertigt. Aus diesem Grund wird in den folgenden Betrachtungen das Vorfeld 2 vernachlässigt und alle Flugbewegungen auf das Vorfeld 1 bezogen. Dementsprechend werden auch die zum Vorfeld 2 führenden Taxiwege in dieser Ermittlung nicht berücksichtigt. Das führt zu einer vertretbar geringen Überschätzung der Verkehre auf den zum Vorfeld 1 führenden Taxiwegen. Daher werden in der folgenden Tabelle nur diejenigen Rollbahnen aufgelistet, die die Pisten mit dem Vorfeld 1 verbinden. Um die verkehrliche Belastung dieser Flächen zu ermitteln, wird zuerst der Nutzungsgrad der einzelnen Rollwege bestimmt.

Die Bewegungen der Flugzeuge vor dem Start und nach der Landung, bzw. alle Operationen am Boden, werden in der Abteilung Zentrale Vorfeldkontrolle (FA-FB) koordiniert. Die Benutzung der jeweiligen Rollwege unterliegt dabei grundsätzlich Einzelfallentscheidung und hängt von momentanen zeitlichen und örtlichen Gegebenheiten, u.a. der Verkehrsdichte auf dem Vorfeld, der Lage der anzufahrenden Abstell- oder Startposition sowie dem Flugplan ab. Daher ist es schwierig, einzelne Bewegungen exakt auf einzelne Rollwege zu beziehen. Allerdings ist es möglich, die hauptsächlich genutzten Taxiwege zu bestimmen, um die Berechnung der verkehrlichen Belastung den tatsächlichen Verhältnissen anzunähern. Die in der Tabelle 19 verwendete Bezeichnung „Szenario 1“ bedeutet, dass alle entsprechenden Starts und/oder Landung mitgerechnet werden. Im anderen Fall, also Szenario 2, werden nur 50% der Bewegungen (entweder Starts oder Landungen) berücksichtigt. Außerdem werden die Entwässerungsgebiete aufgelistet. Dies ermöglicht, später die Belastung der Regenklärbecken zu beurteilen.

Tabelle 25. Nutzung der Rollbahnen nach Entwässerungsbezugsgebiete.

Operation			
	Rollweg	RKB	Szenario
Start 15	B	3	1
	D	6	1
	D	5	1
	D	4	1
Landung 15	B	3	1
	C	4	1
	D	4	1
Start 33	I	7	2
	R	7	2
Landung 33	B	3	2
	D	5	1
	D	4	2
	E	6	1
Start 05	S	9	2
	L	3	2
	L	1	1
	I	7	2
Landung 05	U	3	1
	L	3	1
	S	9	1
	G	3	2
Start 23	B	3	2
	D	4	2
Landung 23	S	9	2
	L	1	2
	M	1	1
	N	2	1
	I	7	2

Die summarische Belastung der betrachteten Rollbahnen wird in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 26. verkehrliche Belastung der ausgewählten Rollbahnen

Rollweg	Bezugsbecken	DTV Kfz/Tag
B	3	634
C	4	358
D	6	52
D	5	140
D	4	634
E	6	88
S	9	484
L	3	484
L	1	357
M	1	277
N	2	277
K	3	484
I	7	822
R	7	338

Es ist zu sehen, dass die nach DTV- Werten umgerechnete Belastung der Rollwege mit einer wenig Straße vergleichbar ist. Es ist zu überprüfen, ob diese berechnete Belastung den Messwerten des Regenabfluss von Verkehrsflächen mit entsprechender verkehrlichen Belastung entspricht. In der Diskussion werden die Überlegungen dazu gemacht.

4.3.2 Belastung durch Abrieb

Als eine der mengenmäßig größten Quellen für Kontamination des Regenabflusses von Verkehrsflächen geben mehrere Autoren, wie Kocher, et al., 2010, Gebbe, et al., 1997, Winther & Slentø, 2010 und andere, den Fahrbahn-, Reifen und Bremsbelagsabrieb an. In diesem Kapitel wird untersucht, ob die luftverkehrsbedingte Abriebmenge ein im Vergleich zum straßenverkehrsbedingten Abrieb ein anderes Gefährdungspotential aufweist. Dazu wird sowohl die Entstehung des Abriebes als auch die dabei emittierte Schadstoffmenge im Vergleich zwischen Straßenverkehr und Luftverkehr beschrieben. Da nur wenige Informationen zum Flugzeugreifenabrieb vorhanden sind, werden zum Teil die Daten zum Reifenabrieb des Straßenverkehrs als Basis herangezogen und beurteilt. Dabei wird auch auf die Korrelation zwischen DTV-Wert und den entsprechenden Abriebraten hingewiesen.

4.3.2.1 *Fahrbahn- und Bremsbelagsabrieb*

Die in Flugzeugen verbauten Radbremsen sollten (abhängig von der Fluggesellschaft) nur unter Vermeidung von übermäßigem Verschleiß an Reifen und Bremsen eingesetzt werden. Demzufolge sind die Flugzeuge mit verschiedenen Bremshilfen ausgerüstet, wobei der Umkehrschub der Triebwerke (engl. reverse thrust) die wichtigste Bremshilfe darstellt. (Mensen, 2007). Heutzutage sind fast alle Triebwerke der Transportflugzeuge mit einer Schubumkehr ausgestattet, die überwiegend für Bremsvorgänge auf den Rollbahnen zusätzlich zu Radbremsen genutzt werden. Als integraler Bestandteil der Triebwerke haben Schubumkehrer folgende Aufgaben (Bräunling, 2009, S. 220-221):

- Schonung des Landevorganges durch Unterstützung beim Bremsvorgängen
- Erhaltung optimaler Leistungsfähigkeit der Bremsen durch Begrenzung der Temperatur bei Kurzstreckenflügen
- In Fall eines Startabbruchs oder einer Notlandung, bzw. schlechten Wetterbedingungen, Erhöhung der Bremswirkung des Flugzeuges.

Darüber hinaus werden durch den Einsatz von Umkehrschub die Wartungskosten reduziert und die Lebensdauer von Flugzeugradbremsen und –reifen wesentlich verlängert.

Allerdings werden in der Praxis ca. 80% (normaler Betrieb) der für das Flugzeug erforderlichen Bremskraft von Radbremsen des Hauptfahrwerks erzeugt. (Bräunling, 2009 S. 222). Die mechanische und thermische Belastung führt zum Abrieb der Bremsscheibens. Dennoch werden in der Luftfahrt immer mehr sogenannte Carbon- und Keramikbremsen eingesetzt. (Quelle: FHG intern, H. Hörsch, mündliche Mitteilung).

Die auf carbonfaserverstärktem Kohlenstoff (CFC) basierten Materialien erhöhen Temperaturbeständigkeit (über 1000°C) und Verschleißfestigkeit der Bremsscheiben. Demzufolge wird auch deren Abriebverhalten verändert. (SGL Group, 2014). Hier besteht jedoch noch größerer Forschungs- und Untersuchungsbedarf.

Die oben beschriebenen Carbonbremsen werden aufgrund ihres geringeren Gewichts zunehmend in Flugzeugen verbaut. Der durch sie erzeugte Abrieb ist dabei im Gegensatz zu Bremsscheibenabrieb auf der Straße frei von Schwermetallen. Daher werden in der vorliegenden Arbeit sowohl Fahrbahn- als auch Bremsabrieb nicht als Belastungsfaktoren berücksichtigt.

4.3.2.2 Reifenabrieb von Straßenfahrzeugen

Folgende Faktoren beeinflussen (unabhängig von ihrer Quelle) die Abriebraten: Fahrzeugtyp, Reifentyp, Kraftverteilung auf die Reifen, Lenkung, Achsgeometrie, Reifenfülldruck und Profiltiefe, Umgebungstemperatur, Nässeverhältnisse des Fahrbahnbelags, Fahrbahnoberfläche, Streckenführung, Fahrgeschwindigkeit und andere Einflussgrößen. (Kocher, et al., 2010 S. 7). Grundsätzlich steigen die Reifenabriebraten mit der Motorleistung, sowie in Abhängigkeit von dem zulässigen Gesamtgewicht der Fahrzeuge. (Gebbe, et al., 1997 in Kocher, et al., 2010, S.7). Da die Abriebraten eines Straßenfahrzeuges pro gefahrene Kilometer schwer einschätzbar sind, wird als Bezugsgröße die gesamte Fahrleistung genommen. Die folgende Tabelle stellt die Gesamtabriebraten von Straßenfahrzeuge abhängig vom Gewicht und Typ der befahrenen Straßen bezogen auf die Fahrzeugkilometer dar. Dabei gilt folgende Definition: „Die Fahrleistung ist eine statistische Maßzahl zur Ermittlung der tatsächlich zurückgelegten Entfernung eines Fahrzeuges unabhängig von seiner tatsächlichen Auslastung (Größe: Fahrzeugkilometer/Fzkm oder engl. Vehicle Kilometer vkm). Die Fahrleistung gibt Auskunft über die Nutzungsintensität von Verkehrswegen und den Umfang der produzierten Verkehrsdienstleistungen“. (Ammoser, et al., 2006 S. 2).

Tabelle 27. Abriebraten/Verschleißrate (wear rate) Straßenfahrzeuge bezogen auf die Fahrzeugkilometer (vkm) jeweiligen Fahrzeuges. Quelle: eigene Darstellung nach (Winther, et al., 2010 S. 38)

Straßentyp	Parameter	PKW	LKW, leicht	LKW, mittel	LKW, schwer	Lastzüge
Stadt	Geschwindigkeit [km/h]	40-56	35-40	35-40	35-40	35-40
	Abriebrate [mg/vkm]	155	388	583	847	1016
Autobahn	Geschwindigkeit [km/h]	90-100	80	80	80	80
	Abriebrate [mg/vkm]	101	280	419	610	732

In städtischen Gebieten liegen danach höhere Abriebraten vor, die sich sowohl mit häufigeren Bremsvorgängen als auch mit häufigeren Geschwindigkeitsschwankungen erklären lassen. Die mit dem Abrieb freigesetzten Schadstoffe unterscheiden sich je nach dem Reifentyp. Die genauere Rezeptur unterscheidet sich je nach dem Hersteller, die Hauptbestandteile sind jedoch gleich. Folgende Tabelle stellt eine typische Rezeptur der Lauffläche eines Autoreifens dar.

Tabelle 28. Mischungsbestandteile eines Reifens nach Anteil und Funktion. Quelle: eigene Darstellung nach (Continental Reifen, 2013)

Komponenten	Anteil an Gesamtgewicht %	Anteil an Gewicht der Lauffläche %	Beschreibung
NR (Natural Rubber)	40-60	50	Naturkautschuk-polymere
(S)BR ((Styrene) Butadiene-Rubber)			Synthesekautschuk-polymere
Ruß	22-35	25	Füllstoff zur Abriebfestigkeit
Silica			Füllstoff zur Formbeständigkeit
Mineralöl	15-20	20	Weichmacher, Additive zur Rutschbeständigkeit und Temperaturresistenz
Rapsöl			
Schwefel, ZnS	1-2	1	Additive zur Vulkanisation, Weichmacher
Katalysator	0,5	0,5	Verkürzt Vulkanisationsprozesse
Aktivator	1,5-5	1,5	Verkürzt Vulkanisationsprozesse
Zinkoxid			Vulkanisationshilfsmittel
Stearinsäure	0,7	0,7	Weichmacher, Vulkanisationshilfsmittel
Lichtschutzwachs	1-3	1-2	Hitze-, Ozon-, Antioxidationsschutzmittel, Stabilisatoren
Alterungsschutzmittel			
Sonstige Additive	≤1	≤1	
Stahlbestandteile	10	0	Gerüstbestandteile

4.3.2.3 Reifenabrieb von Luftfahrzeugen

Auf dem folgenden Bild sind die beim Aufsetzen von Flugzeugen oder bei Rollbewegungen durch den Abrieb entstehenden schwarzen Gummistreifen auf der Landebahn und einigen Taxiwegen deutlich zu sehen. Die Umweltrelevanz dieses Abriebs wird in folgendem Kapitel beschrieben.



Abbildung 17. Spuren des Reifenabriebs auf den Flugbetriebsflächen des Flughafens Hamburg. (Quelle: Google maps)

In geringerem Umfang tragen auch Fahrzeugbewegungen auf den Flughafenflächen zu Belägen von Reifenabrieb auf den befestigten Flächen bei. Im Wesentlichen treffen die straßenverkehrsbezogene Annahmen auch auf Flugzeugreifen zu. Allerdings sind die Reifen eines Flugzeuges im Vergleich zu den Autoreifen 5-20 Mal intensiver belastet. (Michelin, 2013). Diese unterliegen nicht nur bei Start und Landung sehr hohen Belastungen, wobei der größte Abrieb und Verschleiß beim Aufsetzen während der Landung auftritt, sondern auch beim Rollen auf dem Vorfeld zu den Abfertigungspositionen. (McCarty, et al., 1979 S. 3). In einer Studie von McCarty, et al., 1979, werden Flugzeugreifen während des Bremsvorgangs (engl. Braking) und Kurvenfahrt (engl. Cornering) untersucht. Die Bezeichnungen A, B, C und D stehen für den jeweiligen Typ des Laufflächenmaterials untersuchter Flugzeugreifen.

Tabelle 29. Zusammensetzung der Reifenlaufflächen. Quelle: (McCarty, et al., 1979 S. 2).

Laufflächenmaterial		
Elastomer A	100 % Naturkautschuk	-
Elastomer B	75 % Mischkautschuk	25% Polybutadiene
Elastomer C	75% Naturkautschuk	25% Vynilbutadiene
Elastomer D	75% Naturkautschuk	25% Polypentenemer

Da diese Studie von 1979 stammt, sind die absoluten Zahlangaben nicht mehr aktuell, jedoch werden die Maßstäbe der Reifenbelastung klar zur Vorstellung gebracht. Sowohl die Betriebsbedingungen als auch die Fahrweise unterscheiden sich wesentlich vom Straßenverkehr. Obwohl die Flugzeugreifen meist in der Luft sind, haben sie wegen der höheren Belastungen eine kürzere Lebensdauer.

Die Abriebraten variieren in Abhängigkeit von den einzelnen Vorgängen bei den Flugzeugbewegungen am Boden: Beim Bremsen drehen die Reifen langsamer als das Fahrzeug selbst; die pro Reifenumdrehung zurückgelegte Strecke entspricht nicht mehr dem Reifenumfang.. Das Verhältnis zwischen Geschwindigkeit der Fahrzeuges und Geschwindigkeit eines Reifens wird durch das Schlupfverhältnis (engl. Slip ratio) bezeichnet. (Continental Reifen, 2013). Je höher dieses Verhältnis ist, desto größer sind die Abriebraten. Dies gilt auch für den Bremsvorgang eines Flugzeuges während der Landung.

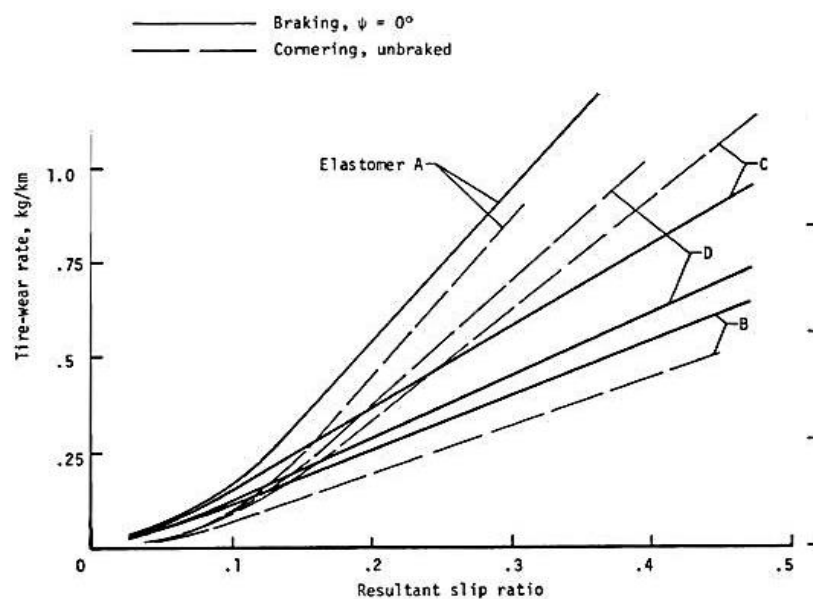


Abbildung 18. Abriebraten von verschiedenen Flugzeugreifen beim Bremsen und Kurvenfahrt, abhängig vom Schlupfverhältnis. Fahrbahnbelag: glatter Asphalt. Quelle: (McCarty, et al., 1979 S. 35)

Bei Kurvenfahrten auf dem Vorfeld müssen die Haupträder eines Flugzeuges sowohl radiale als auch axiale Kräfte aufnehmen. (Lufthansa Technik AG, 2013). Ein wichtiger Einflussfaktor dabei ist der Gierwinkel. Der Gierwinkel (engl. Yaw angle) oder auch Azimut oder Steuerkurs (engl. Heading HDG), bezeichnet den Winkel zwischen Längsachse des Flugzeuges und einer Referenzrichtung; in anderen Wörtern die Auslenkung der Flugzeugnase in der Horizontalebene. (Klußmann, et al., 2012 S. 264). Folgende Graphik stellt die Abriebrate der Flugzeugreifen abhängig vom Gierwinkel dar. Das heißt, dass die Reifen auch beim Rollen abgerieben werden.

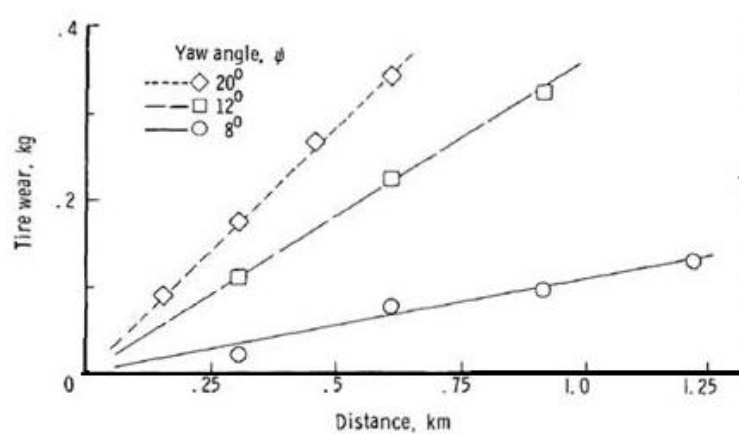


Abbildung 19. Abriebraten von freilaufenden Flugzeugreifen je nach dem Gierwinkel (yaw angle). Quelle: (McCarty, et al., 1979 S. 30)

Im Vergleich zu Straßenverkehrsflächen, bestehen bei Flugbetriebsflächen besondere Anforderungen an Fahrbahnbelagsmaterialien. Bei der Planung werden die Grundsätze der ICAO Annex 14 berücksichtigt, die Festigkeit des Betons/Asphalts muss durch entsprechende Prüfungen nachgewiesen werden (Bilgeri, u.a., 2009). Die Oberfläche der Start- und Landebahnen besteht in der Regel aus einem besonders festen, glatt gewalzten Beton. Das führt sowohl zum kleineren Schlupfverhältnis als auch zur Verminderung des Abriebes zwischen Reifen und Fahrbahn.

Flugzeugreifen unterliegen außerdem großen Temperaturschwankungen während des Betriebes: der Temperaturbereich liegt zwischen -50°C (je nach Reise Flughöhe) und $+60^{\circ}\text{C}$ bei Rollbewegungen. (Michelin, 2013). Dabei spielt der vergleichsweise rasche Wechsel zwischen den unterschiedlichen Temperaturniveaus eine große Rolle. In Abb. 4 wird die Abhängigkeit zwischen Reifenoberflächentemperatur und Schlupfverhältnis/Raddrehzahl und damit dem Abrieb gezeigt.

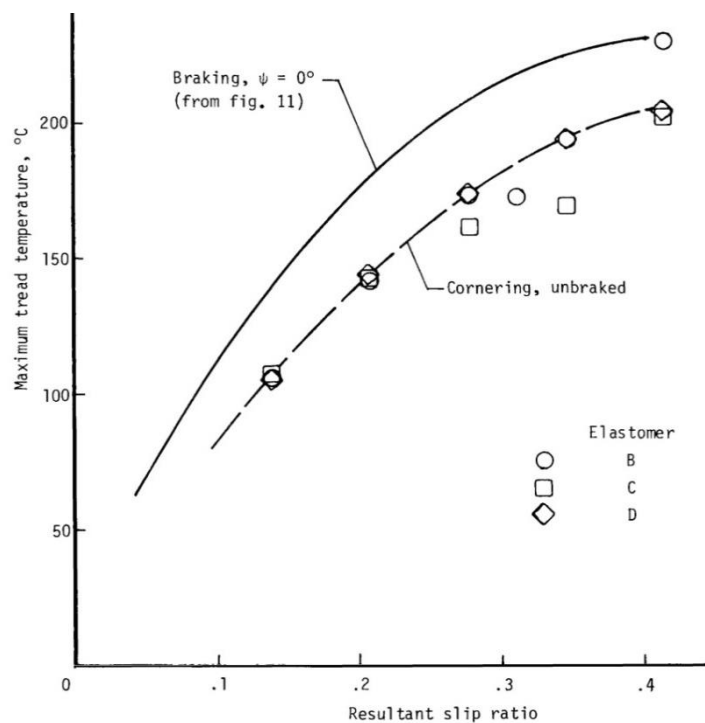


Abbildung 20. Reifenoberflächentemperatur in verschiedenen Betriebsphasen und Slip ratio. Fahrbahn: glatter Asphalt. Quelle: (McCarty, et al., 1979 S. 37)

Bei der Beschleunigung oder beim Bremsen eines Flugzeuges werden in Folge von auftretender Reibung und von Fliehkräften innerhalb einiger Sekunden hohe Temperaturen (bis zu 200 °C je nach Beschaffenheit der Rollbahnoberfläche, S. Abb. 8) erzeugt, was aber auch zum Abschmelzen der Lauffläche und zu Rutschbränden der Reifen führen kann. Im Wesentlichen trägt dazu das Phänomen des sogenannten Aqua- oder Hydroplaning bei. Das als „rubber reversion“ bezeichnete Hydroplaning wird optisch falsch als Gummiwolken bezeichnet. Tatsächlich entsteht unter gebremsten Reifen hohe Reibungswärme, durch die ein eventuell vorliegender Wasserfilm auf der Fahrbahn verdampfen kann; das Gummi von den Reifen schmilzt dabei teilweise ab. (Mensen, 2007 S. 80). Dieser Vorgang ist auch im Merkblatt für die Entwässerung von Flugplätzen erwähnt (Ginsberg, 1998). Es wird davon ausgegangen, dass auf der S/L-Bahn entstehender Reifenabrieb durch den Abschmelzungsprozess fest an die Oberfläche gebunden ist und insofern keine Gummiteilchen in den Regenwasserabfluss gelangen können.

4.3.2.4 Emissionen durch den Abrieb

Flugzeugreifen bestehen wie die Autoreifen hauptsächlich aus einem Gemisch von Natur- und Synthetikgummi in verschiedenen Anteilen (S. Tab.14). Allerdings werden hier bei der Herstellung der Flugzeugreifen paraffinhaltige Chemikalien zum Schutz gegen

Ozon, Benzin und Lösemittel sowie spezifische Zusätze zur Erhöhung ihrer Verschleißfestigkeit zugesetzt. (Michelin , 2013). Die genaue Rezeptur unterscheidet sich dabei je nach Hersteller.

Reifen- oder Gummiabrieb kommt als Quelle für organische Schadstoffe, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe PAK, in Frage. Die Abbildung 5 stellt den Anteil organischer Bestandteile aus Reifenabriebemissionen auf der Straße dar.

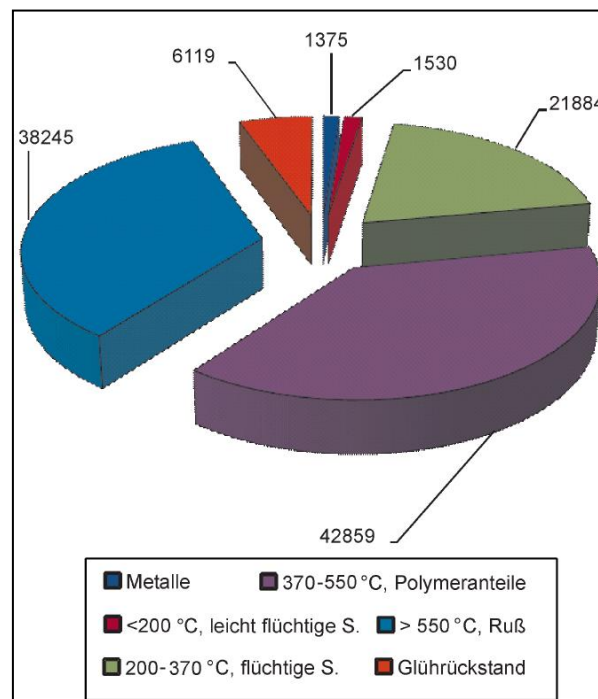


Abbildung 21. Abschätzung der Reifenbestandteile, die mit dem Gesamtabrieb jährlich freigesetzt werden [t/a].
(Kocher, et al., 2010 S. 25)

Mit der Abriebrate steigt auch der Gehalt an absetzbaren Partikeln, an die Schwermetalle und organische Schadstoffe zum größten Teil gebunden sind (Gebbe, et al., 1997 in Kocher, et al., 2010 S. 8). Dieser sedimentierbare Anteil des Abriebes gelangt u.a. in Böden und zum Teil auch in den Regenwasserabfluss. Analysen von Klärschlamm aus Straßenabwasserbehandlungsanlagen ergaben, dass ihr Schwermetallinhalt aus innerörtlichen Entwässerungseinrichtungen eingetragen wird. (Kocher, et al., 2010 S. 27).

Tabelle 30. Abschätzung der Schwermetallemissionen aus der Gesamtabriebmenge und den Mittelwerten der Konzentrationen der untersuchten Elemente. (Annahme: Gesamtabriebmenge 111420 t/a). Quelle: (Kocher, et al., 2010 S. 26)

Parameter	Fracht in Gesamtabrieb (t/a)	Fracht in sedimentierbarer Staub (t/a)
Al	37,5	36
As	0,22	0,21
Cd	0,19	0,18
Fe	21,1	20,2
Ni	0,97	0,93
Pb	2,03	1,94
Zn	1,255	1,205

Im Fall von Zink und Kadmium trägt der Reifenabrieb u.a. zu deren Anreicherung in der Umgebung bei, daher besitzt er hier eine besonders hohe Umweltrelevanz. In vergleichsweise hohen Konzentrationen wird Zinkoxid¹ eingesetzt, die Elemente Cd und Pb treten in Emissionen als natürliche Bestandteile des Zinkerzes in geringem Anteil auf. Die Auswertung hat jedoch gezeigt, dass die Verhältnisse Cd/Zn und Pb/Zn sehr niedrig sind. Für das Vorkommen der Elemente wie Antimon, Arsen, Molybdän und Vanadium im Oberflächenabfluss kommt Reifenabrieb nicht als Ursache in Frage, da deren Konzentrationen bei kaum einer Messung über die Bestimmungsgrenzen liegen. (Kocher, et al., 2010 S. 14) . In der Studie von Winther, et al., 2010 werden Schwermetallemissionen von Reifenabrieb untersucht, und mit Angaben verschiedener Literaturquellen verglichen. Je nach Fahrzeugtypen (u.a. PKWs, LKWs, Busse) unterscheiden sich die Anteile an Schwermetallen im Reifenabrieb.

¹ <http://www.initiative-zink.de/presse/presseinformationen/artikel/article/mit-zinkoxid-im-reifen-sicher-auf-der-ueberholspur.html>

Tabelle 31. Schwermetallemissionsfaktoren [$\mu\text{g pro km}$] auf unterschiedlicher Straßentypen nach Fahrzeugkategorie.

Quelle: Auszug aus (Winther, et al., 2010 S. 41)

Parameter	PKW		LKW 3,5-7,8 t.		LKW >32 t.	
	Schnellstraße	Stadtgebiet	Schnellstraße	Stadtgebiet	Schnellstraße	Stadtgebiet
As	0,007	0,010	0,019	0,026	0,049	0,068
Cd	0,022	0,034	0,061	0,084	0,159	0,220
Ni	0,214	0,330	0,594	0,825	1,555	2,160
Pb	0,676	1,042	1,876	2,605	4,909	6,819
Zn	67,426	103,935	339,904	472,089	889,595	1235,549

Die Schwermetalle, vor allem Kadmium, Nickel und Zink, können als Indikatorparameter ausgewählt werden. Die größten Unterschiede zwischen Zusammensetzung der Autoreifen und Flugzeugreifen sind jedoch nicht die Gummibestandteile. Daher ist nur begrenzter Vergleich der freigesetzten Emissionen mit den Autoreifen möglich.

Es liegen keine Erkenntnisse zur Zusammensetzung und Emissionen des Abriebs von Flugzeugreifen. Die Flugzeugreifenhersteller veröffentlichen keine Angaben zur Rezeptur ihrer Reifen. Jedoch wurde von „Michelin Aircraft Tires“ eine Rückmeldung auf die Frage des Flughafens Hamburg bekommen. Heutzutage verpflichtet sich Reifenhersteller, bestimmte von der EU verbotene Substanzen in Reifen einzusetzen, wie im Brief von Michelin Aircraft Tires (Anhang 9.7) erklärt wurde.

4.3.3 Belastung durch Winterdienst

4.3.3.1 Beschreibung des Enteisungsverfahrens

Bei bestimmten Wetterlagen ist eine Behandlung der Luftfahrzeuge sowie der S/L-Bahnen mit chemischen Enteisungsmitteln erforderlich. (Mensen, 2007 S. 578). Folgende Beschreibung des Enteisungsverfahrens ist in der Anlehnung nach (Klußmann, et al., 2012 S. 70-71). Der Bedarf nach Enteisung ergibt sich aus folgenden Gründen. Einerseits wird das Gewicht der Flugzeuge erhöht, andererseits kann die Eisbildung auf dem Tragwerk zum Verlust von Auftrieb führen. Während De-icing ist das Entfernen von Schnee und Eis im engeren Sinne, bezeichnet man das Anti-icing das Vorbeugen gegen erneute Vereisung. Das gesamte Verfahren und zugehörige Prozesse, u.a. eingesetzte Enteisungsmittel sind durch ICAO und IATA standardisiert. Als Enteisungsmittel (engl. AntiDeicing Fluid ADF) wird in der Regel warme (60°C - 85°C) Glykol-Wassermischung mit Zusatzstoffen, wie zum Beispiel

Verdicker, verwendet. Das ADF ist weitgehend ungiftig und biologisch vollständig abbaubar. Üblicherweise erfolgt das Aussprühen von ADF unter Hochdruck, durch die mit Auslegern ausgerüsteten Fahrzeuge, sogenannte „Elefanten“ auf den sogenannten Enteisungsflächen. Heutzutage werden 3 Typen von ADF eingesetzt:

- ADF I, enthält 80% Glykol und wird nur für De-icing bei guten Wetterbedingungen ohne Niederschlag verwendet;
- ADF II, enthält 50% Glykol, zum De-icing und Anti-icing bei Temperaturen um Gefrierpunkt;²
- ADF IV, wie Typ II mit einem frostbeständigen Verdicker, für sehr niedrige Außentemperaturen (-30°C).

4.3.3.2 Überwachungsmaßnahmen am Flughafen Hamburg

Am Flughafen Hamburg findet die Enteisung der Flugzeuge wo, durch die mobilen Geräte im Sprühverfahren. Das eingesetzte Enteisungsmittel ist ADF I/II. Wenn zur Schnee- und Eisfreihaltung der Flächen und Flugzeugen diese Substanzen aufgebracht werden müssen, weist der Regenabfluss Belastungen auf, die beim Abbau einen entsprechenden Sauerstoffbedarf bewirken. (Mensen, 2007). Das führt zur ungewünschten Senkung des Sauerstoffgehaltes im Vorfluter. Deswegen wird am Flughafen Hamburg ein System zur Überwachung und Kontrolle des Parameter TOC (Gesamter organischer Kohlenstoff, s. Kap. 3.2.3.2) aufgebaut. Folgende Abbildung stellt das Prinzip des Systems dar.

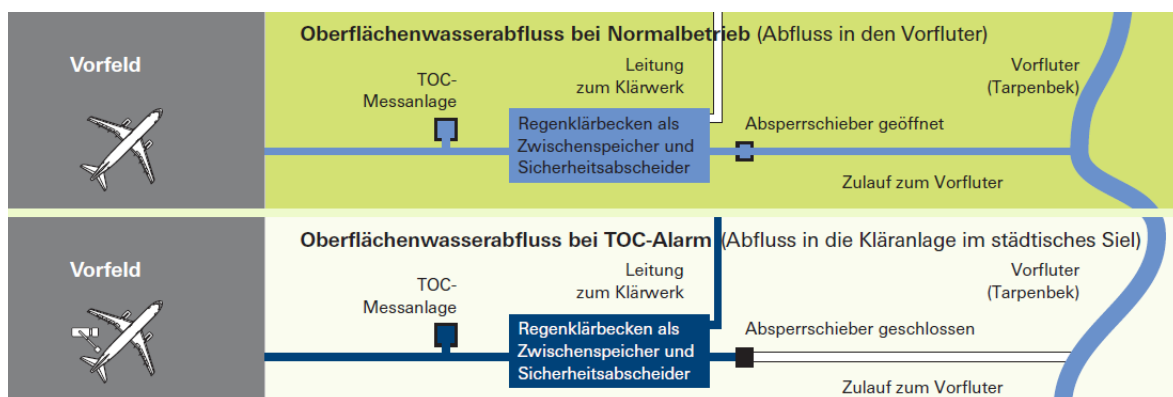


Abbildung 22. Funktionsprinzip der Ableitung von enteismittelbelasteten Wasser über die TOC- Anlage. Quelle: (Bradersen-Brenner, et al., 2010 S. 22)

² ADF III wird heutzutage nicht eingesetzt.

In der Winterperiode wird der Abfluss von enteisten Flächen auf das Überschreiten von TOC-Konzentration durch die TOC-Konzentrationsmessanlage geprüft. Wenn eine der Messungen eine TOC-Konzentration von über 50 mg/l ergibt, wird der Zulauf zum Vorfluter automatisch mit Schieber geschlossen. (Bradersen-Brenner, et al., 2010) . Das behandlungsbedürftige Niederschlagswasser wird separat im Sielnetz der Städtentwässerung zur weitergehenden Reinigung zugeführt. Der Niederschlagsabfluss von unverschmutzten Flächen wird in den Vorfluter eingeleitet.

4.3.4 Unfallgefahr/Havariefall

An den Flughäfen ist insbesondere Umgang mit wassergefährdeten Stoffe (im Sinne des WHG §7), wie Öl- und Benzinerzeugnisse zu beachten. Es können sowohl bei der Abfertigung als auch bei der Betankung der Flugzeuge die Treibstoffversickerungen auftreten. Hier werden die Überlegungen zum möglichen Havariefall am Flughafen Hamburg, Vorbeugemaßnahmen und eventuell erforderliche Behandlung des kontaminierten Wasser dargelegt.

Zu vorhandenen Sicherheitsmaßnahmen auf den Weg des kontaminierten Regenabflusses von der Unfallstelle gehören die Regenklärbecken mit Leichtstoffabscheidern sowie die motorbetriebener Schieber im Ein- und Auslauf des Beckens.

Die Regenrückhaltebecken sind im Kapitel 4.1.3. beschrieben. Die Dimensionierung der Rückhaltebecken wurde gemäß dem Stand der Technik (nach RiStWag) so berechnet, dass im Havariefall wird die Stauraum auch für große Mengen an Leichtstoffen ausreichend sein. Die weiteren Absperrmöglichkeiten werden von folgenden Einrichtungen vorgelegt:

- Motorbetriebener Schieber im Einlauf zum Becken 7
- Handbetriebener Schieber im Auslauf des Beckens 7
- Motorbetriebener Schieber im Auslauf des Regenrückhaltebeckens 7b
- Handbetriebener Schieber am Ende des Luftwerftgrabens vor dem Einlauf in die Tarpenbek.

Für den Fall einer Havarie mit wassergefährdeten Stoffen wurde ein Alarmplan entwickelt. Flughafenfeuerwehr greift jederzeit innerhalb kurzer Zeit zur Schadensbeseitigung ein. Dies gewährleistet eine sichere Abarbeitung und garantiert einer sehr hohen Sicherheitsstandart.

4.3.5 Gesamtbewertung des Regenabflusses

Die oben durchgeführten Berechnungen haben deutlich gezeigt, dass die Belastung der Flugbetriebsflächen innerhalb der im DWA 153 vorgeschlagenen Kategorien liegt. Die ermittelten DTV-Werte lassen die Flugbetriebsflächen hinsichtlich in der Kategorie „mittlere Belastung“ einzuordnen, dieses betrifft sowohl die Start- und Landebahnen als auch die Taxiwege und die Vorfelder (Rollkorridore, Abstellpositionen). Anhand der Tabelle 9 wird die summarische verkehrliche Belastung von Flugbetriebsflächen für jedes Regenklärbecken eingeschätzt. Die DTV-Werte für die S/L-Bahnen und Rollbahnen werden summiert, für die Vorfelder werden die entsprechenden Anteile der in diesen Becken entwässerte Flächenanteil berücksichtigt.

Die Ermittlung der summarischen Belastung von RKB dient für einen plausiblen Vergleich und Bewertung der Messergebnisse von Regenwasserabfluss unterschiedlich benutzten Flugbetriebsflächen.

Tabelle 32. Summarische verkehrliche Belastung in Regenklärbecken in Kfz/Tag.

	RKB 1	RKB 2	RKB 3	RKB 4	RKB 5	RKB 6	RKB 7/9
S/L Bahn I 05/23	1161						
S/L Bahn II 15/33			1175				
Rollbahn B			634				
Rollbahn C				358			
Rollbahn D				634	140	52	
Rollbahn E						88	
Rollbahn S							484
Rollbahn I							822
Rollbahn L	357		484				
Rollbahn M	277						
Rollbahn N		277					
Rollbahn K			484				
Vorfeld 1			219				1973
Vorfeld 2			58				86
DTV, Kfz/tag	1795	1438	4215	2167	1315	1315	3365

Anhand der hier vorgestellten DTV- Werte wäre eine höhere Belastung mit Schadstoffen in den Becken RKB 3 und RKB 7 zu erwarten. Daher ist zu überprüfen, ob RKB 3 und RKB 7 mit MKW und PAK wesentlich belastet sind, da die Vorfelder dort entwässert werden, die im Vergleich hohe DTV- Werte aufweisen.

5 Praktischer Teil

5.1 Messergebnisse

Aus jedem RKB wurde eine Wasserprobe entnommen und im Hinblick auf deren Schadstoffgehalt untersucht. Die Probemenge betrug 2,1 l für RKB1-6, bzw. 1 L für RKB 7. Diese 7 Proben wurden nach ausgewählte Substanzen, nämlich Schwermetalle (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni), Mineralkohlenwasserstoffe und 16 Referenzsubstanzen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) untersucht. Im Anhang befindet sich der Originalbericht zu den Untersuchungen, in der Tabelle 15 werden die Messergebnisse zusammengefasst. Die Analyse wurde von der Gesellschaft für Bioanalytik MbH durchgeführt.. Die Parameter CSB und TC wurden im Labor des Flughafens Hamburg ermittelt. Diese Parameter und ausgewählte Parameter aus der Tabelle 15 werden in der Tabelle 16 zusammengefasst.

Die Ergebnisse zeigen u.a., dass die Proben keine Bleigehalte aufwiesen. Die Bleikonzentration im Straßenablauf ist meist von bleihaltigen Kraftstoffen verursacht. Da Flugzeugtreibstoffe jedoch kein Blei enthalten, ist dieses Ergebnis schlüssig.

Die in den Proben angetroffenen Kupferkonzentrationen sind in allen 7 Becken im Vergleich zu entsprechenden Ergebnissen für Verkehrsstraßen niedrig. Dieses kann u.a. daran liegen, dass Flugzeugbremsen überwiegend mit Karbonbremsen ausgerüstet sind, die kein Kupfer enthalten. (s. Kapitel 4.3.2).

Die angetroffenen Zinkkonzentrationen sind in den Becken 1, 2 und 5 deutlich höher als in den übrigen Becken. Interessant ist, dass die den Aufsetzflächen folgenden S/L-Bahnabschnitte in diese Becken entwässert werden. Demgegenüber wiesen die Proben aus allem Becken keine nachweisbaren Konzentrationen an Cadmium auf.

Die Konzentrationen an organischen Schadstoffen waren in den einzelnen Becken recht unterschiedlich. So wurden nur im Becken 3 nachweisbare Mengen und Mineralölkohlenwasserstoffen angefundenes. PAK wurden demgegenüber insbesondere im

Becken 7b angefundene, wohingegen der PAK- Gehalt des Beckens 3 sowie der RKB 5 und 6 nur etwa halb so hoch war wie im Becken 7b. Dabei befanden sich die wasserlöslichen PAK Naphthalin, Phenanthren, Fluoranthren und Pyren oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Die Parameter CSB und TC sind in RKB 4 und RKB 6 auffällig. Die anderen Becken sind gleich belastet.

Tabelle 33. Analyseergebnisse der Wasserproben aus den RKB

Analyseergebnisse	Bestimmungsgrenze	Einheit	RKB 1	RKB 2	RKB 3	RKB 4	RKB 5	RKB 6	RKB 7
Absetzbare Stoffe (0,5h)	0,1	mL/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Blei	0,001	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	n.a. ³
Cadmium	0,0003	mg/L	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	n.a.
Chrom ges.	0,001	mg/L	0,001	0,001	0,0013	0,0013	0,0013	0,0014	n.a.
Kupfer	0,001	mg/L	0,0023	0,0035	0,0042	0,0043	0,0036	0,0057	n.a.
Kohlenwasserstoffe	0,1	mg/L	<0,10	<0,10	0,12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Nickel	0,001	mg/L	<0,0010	0,0013	<0,0010	0,0011	<0,0010	0,0014	n.a.
Zink	0,005	mg/L	0,0093	0,0097	0,028	0,012	0,0087	0,01	n.a.
Summe PAK (EPA)	berechnet	µg/l	n.n. ⁴	n.n.	0,062	n.n.	0,075	0,058	0,156
Naphthalin	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	0,011	<0,010	0,0026	0,0016	0,029
Acenaphthylen	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Acenaphthen	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,011	<0,010	<0,010
Fluoren	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,012
Phenanthren	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	0,017	<0,010	0,018	0,014	0,034
Anthracen	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Fluoranthren	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	0,02	<0,010	<0,010	0,016	0,041
Pyren	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	0,014	<0,010	<0,010	0,012	0,028
Benzo[a]anthracen	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Chrysen	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,012
Benzo[b]fluoranthren	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo[a]pyren	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Indeno[1,2,3-c,d]pyren	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Dibenz[a,h]anthracen	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo[g,h,i]perylene	0,01	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010

³ Nicht analysiert⁴ Nicht nachgewiesen

Tabelle 34. Messergebnisse der ausgewählten Parameter der RKB.

Parameter	Einheit	RKB 1	RKB 2	RKB 3	RKB 4	RKB 5	RKB 6	RKB 7
Cr	mg/l	0,001	0,001	0,0013	0,0013	0,0013	0,0014	
Cu	mg/l	0,0023	0,0035	0,0042	0,0043	0,0036	0,0057	
Ni	mg/l		0,0013		0,0011		0,0014	
Zn	mg/l	0,0093	0,0097	0,028	0,012	0,0087	0,01	
PAK (EPA)	µg/l			0,062		0,075	0,058	0,156
Naphthalin	µg/l			0,011		0,026	0,016	0,029
Fluoren	µg/l							0,012
Phenanthren	µg/l			0,017		0,018	0,014	0,034
Fluoranthren	µg/l			0,02		0,01	0,016	0,041
Pyren	µg/l			0,014			0,012	0,028
CSB	mg/l	81,1	84	89,9	101	82,5	107	84,8
TC	mg/l	32,9	52	22,5	45,7	28,1	49,9	29

6 Diskussion der Ergebnisse

6.1 Abgleich der Belastung gemäß DWA und DTV Berechnung

Aus den in Tabelle 2 aufgezeigten DTV- Werten, wird ersichtlich, dass die Flugbetriebsflächen, mit der Ausnahme von Vorfeldern, hinsichtlich ihrer verkehrlichen Belastung der Kategorie „mittlere Belastung“ zugeordnet werden können. Zur gleichen Kategorie gehören Verkehrsflächen (des Straßenverkehrs) mit einem DTV-Wert sowohl bis 15000 Kfz/Tag als auch über (wie z.B. Autobahnen und Hauptstraßen) und die Pkw-Parkplätze mit häufigem Verkehrswechsel. Die in Kapitel 4.3.1 durchgeführten Berechnungen bestätigen die im Merkblatt aufgeführten Einstufungen zur verkehrlichen Belastung von Taxiwegen, Start- und Landebahnen etc.. Der maximale DTV-Wert beträgt jeweils 1161Kfz/Tag, bzw. 1175 Kfz/Tag für die S/L-Bahnen I und II. Der am stärksten benutzte Rollweg I ist mit 822 Kfz/Tag belastet.

Die Vorfelder werden dagegen mit LKW- Park- und Abstellflächen verglichen und in die Kategorie „stark belastet“ eingeordnet. Dazu gehören auch u.a. Industriegebiete mit signifikant hoher Luftverschmutzung. Die Bewertung der lufthygienischen Situation am Flughafen Hamburg zeigt jedoch eine nachweislich geringere Belastung durch die

Luftemissionen. Die DTV-Werte betragen 2192 Kfz/Tag für das Vorfeld 1 und 144 Kfz/Tag für die anderen Vorfelder (insbesondere Vorfeld 2).

Auf Flugbetriebsflächen liegen außerdem hohe Sicherheitsstandards vor, insbesondere im Vergleich zu als KW- Abstellflächen benutzte Flächen in Straßenverkehr. Ölverluste werden so in kurzer Zeit detektiert, wodurch einer Belastung der Flächen und damit des Regenabflusses nahezu vollständig entgegengewirkt werden kann. Die Abfertigungspositionen und die darauf erfolgenden Arbeitsprozesse werden vom Personal des Flughafens (Vorfelddienste, Security etc.) sehr engmaschig überwacht, eventuelle Treibstoffverluste werden so sofort detektiert und gemäß Alarmplan umgehend von der Flughafenfeuerwehr aufgenommen. Anders stellt sich die Situation auf LKW- Parkflächen dar. Signifikante Schadstoffbelastung von Park- und Abstellflächen entstehen hier u.a. durch Treibstoffverluste, bzw. Öl- und Kraftstoffabtropfungen, die aufgrund einer sehr viel grobmaschigeren Kontrolle mit höherer Wahrscheinlichkeit in den Oberflächenabfluss gelangen können. Einen entsprechenden größeren Schutz des Grund – oder Bodenwassers liefert außerdem die im Vergleich zu LKW- Parkplätzen wesentlich dickere und damit gegenüber Flüssigkeiten dichtere Vorfeldfläche. . Darüber hinaus lagern sich auf Flächen mit hoher Parkdauer vergleichsweise mehr Feststoffe ab, da die Windverfrachtung behindert ist.

6.2 Auswertung der Beckenmessergebnisse

Die Ergebnisse der Probenahme ergaben eine niedrige Belastung aller Becken mit Schadstoffen. Dieses betraf sowohl die Belastungen die durch anorganische Stoffe (Schwermetalle) als auch die Konzentrationen organischer Schadstoffe. So befanden sich in mehreren Proben mehrere der ermittelten Parameter unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Allerdings handelte es sich bei der im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Beprobung der Regenklärbecken um einen einmaligen Vorgang. Insofern besitzen die ermittelten Ergebnisse nur eine begrenzte allgemein gültige Aussagekraft und müssten urch wiederholte Messungen der selben Parameter aus den gleichen Probenahmeorten bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen (insbesondere Trockenzeiten, Niederschläge usw.), Verkehrsverhältnissen am Flughafen, Flugzeugtypenkonfiguration etc. ergänzt werden. Dieses würde jedoch den Rahmen der vorliegenden Arbeit deutlich erhöhen.

Allerdings können die hier vorliegenden Ergebnisse gewisse erste Anhaltspunkte zur tatsächlichen Belastung der Verkehrsflächen des Flughafens und damit zu den Anforderungen an die Schutzmaßnahmen im Entwässerungssystem liefern. Eine darauf basierende

abwassertechnische Einstufung kann insofern vorgenommen werden, dass die vorliegenden Untersuchungsergebnisse mit den Grenzwerten sowohl der Trinkwasserverordnung als auch mit denen der Abwasserordnung verglichen werden. Da die Abwasserordnung jedoch keine Grenzwerte für Oberflächenwasser aus Luftverkehrsflächen vorsieht, wird hier auf die für andere Industriezweige geltenden Anhänge und den darin enthaltenen Grenzwerten verwiesen. Gewählt wurden für diesen Vergleich der Anhang 32 (Herstellung von Gummierzeugnissen, wie u.a. Reifen) sowie der Anhang 49 (Mineralöle, Schmierstoffe etc.). Mit der Auswahl dieser beiden Anhänge sollte den wichtigsten auf den Flugbetriebsflächen entstehenden Schadstoffe und Prozesse entsprochen werden – so sollte der Abrieb von Reifen über den Anhang 32 abgedeckt werden, die Entstehung von Verunreinigungen durch Treib- oder Schmierstoffe durch den Anhang 49. Die folgende Tabelle zeigt die Werte aus der, die oberhalb der Nachweis-, bzw. Bestimmungsgrenze liegen, und setzt sie in Beziehung zu den entsprechenden Grenzwerten der genannten Verordnungen.

Tabelle 35. Abgleich der Messergebnisse mit den Grenzwerten der Gesetzgebung.

Parameter	Einheit	RKB 1	RKB 2	RKB 3	RKB 4	RKB 5	RKB 6	RKB 7	GW Trinkw VO	GW AbwVO; Anhang 49	GW AbwVO; Anhang 32
Cr	$\mu\text{g/l}$	1	1	1,3	1,3	1,3	1,4		50		
Cu	$\mu\text{g/l}$	2,3	3,5	4,2	4,3	3,6	5,7		2000		
Ni	$\mu\text{g/l}$		1,3		1,1		1,4		20		
Zn	$\mu\text{g/l}$	9,3	9,7	28	12	8,7	10				2 (mg/l)
CSB	mg/l	81,1	84	89,9	101	82,5	107	84,8	-	150	150

Wie aus der vorangegangenen Tabelle ersichtlich wird, liegen die angetroffenen Messergebnisse für die Becken unter den Grenzwerten der gewählt Anhänge für die Abwasserverordnung. Außerdem befinden sich die Messergebnisse ebenfalls unterhalb der Grenzwerte für die Trinkwasserverordnung. Insofern lässt sich das Oberflächenwasser des Flughafens Hamburg als eher gering belastet einstufen. Dieses würde eine Einstufung der Verkehrsflächen als höchstens durch eine „mittleren Belastung“ charakterisiert unterstützen. Dabei würde eine derartige Einstufung sowohl die Taxiwege als auch die Vorfelder (einschließlich der Rollkorridore und Abfertigungspositionen) einbeziehen.

Die Ergebnisse der Messungen werden außerdem in den folgenden Abschnitten der Diskussion näher betrachtet, um ihren Zusammenhang mit der ermittelten verkehrlichen Belastung näher zu erörtern.

6.3 Zusammenhänge zwischen DTV- Werten und Schadstoffbelastungen im Oberflächenwasser – Forschungsstand

Belastbare Aussagen zu Belastung des Oberflächenabflusses mit Schadstoffen im Hinblick auf die verkehrliche Belastung der entwässerten Flächen können gemacht werden, indem die Zusammenhänge zwischen ermittelten DTV- Werten und der Konzentration von Schadstoffen im Oberflächenabfluss näher betrachtet werden. Nach dem aktuellen Stand der Forschung gibt es Hinweise auf einen Zusammenhang dieser beiden Parameter. Diese Zusammenhänge können u.a. nach Kayhanian (2013) wie folgt zusammengefasst werden:

- Statistisch positive Korrelationen zwischen dem DTV- Werten und der Schadstoffbelastung können auftreten. So zeigt die Erhöhung der DTV meistens auch erhöhte Schadstoffkonzentrationen im Regenabfluss.
- Hauptsächlich sind die Regenabflüsse von hochbelasteten Straßen (DTV 30000) 2-10-fach mehr belastet, als die von mittelbelasteten Straßen (DTV 30000). Allerdings sind die mittleren Konzentrationen einiger Parameter bei hochbelasteten Straßen, vor allem CSB, TSS und TDS, niedriger als bei mittelbelasteten Straßen. Dies kann bedeuten, dass diese Schadstoffe nicht unbedingt verkehrsverursacht sind. Die Fahrweise ist hier von Bedeutung, da u.a. Beschleunigungs- bzw. Bremsvorgänge zu einer Erhöhung beispielsweise von Schwermetallkonzentrationen führen können.
- Sofern Korrelationen zwischen EMC (event mean concentration) und der DTV beobachtet wurden, waren diese nicht einfach oder linear, dies gilt auch für Schadstoffe, wie Blei, Kupfer, Zink, Öle und Schmierstoffe.

Die DTV ist nur ein Faktor der die Akkumulation und das Auswaschen von Schadstoffen aus Verkehrsflächen beeinflusst. Andere Faktoren mit signifikanten Einfluss sind vorangegangene Trockenwetterperioden, die saisonale kumulative Niederschlagsmenge, Gesamtniederschlagsereignisse, maximale Niederschlagsintensität usw. Wenn diese Faktoren berücksichtigt werden, besitzt die DTV einen wesentlichen Einfluss auf die Schadstoffkonzentrationen im Regenabfluss von Verkehrsflächen.

Untersuchungen von Pavitra, 2006 zeigen, dass die Schadstoffkonzentration zwar von der DTV abhängt, wobei diese Abhängigkeit jedoch gering ist. Allerdings können von Fahrzeugen verursachte Turbulenzen zu einem Transport von Schadstoffe weg von der Straßenoberfläche führen.

So scheint die Abhängigkeit der Konzentration an Schwebstoffen und absetzbaren Partikeln ebenfalls nur in geringen Maß von der DTV abhängen (Pavitra, 2006).

Andere Untersuchungen, u.a. von Kayhanian et al. (2003) fanden eine deutliche Korrelation zwischen der jährlichen DTV und Verschmutzungen des Wassers (in Zusammenhang mit vorangegangenen Trockenperioden) an Autobahnen. In anderen Untersuchungen wurde eine hohe Korrelation zwischen DTV und Öl, bzw. Schmierstoffen angefundenes. Weiterhin wurde hier auch ein deutliches Spülstoßphänomen festgestellt. Der chemische Sauerstoffbedarf korreliert mit der DTV bei Trockenperioden, wohingegen der biochemische Sauerstoffbedarf Korrelationen mit der DTV bei trockenen Perioden und bei Niederschlägen aufweist (HEC, 2007).

Eine statistisch relevante positive Korrelation ist ein Indikator dafür, dass höhere DTV Werte meist zu höheren Schadstoffkonzentrationen im Regenabfluss führen. In 73% der untersuchten Modelle haben die kumulative saisonale Niederschlagsmenge und vorgegangene Trockenwetterperiode einen signifikanten Einfluss auf die Schadstoffkonzentrationen. (Kayhanian, et al., 2003). Bei den Schwermetallen ist lediglich für den Parameter Blei andeutungsweise ein Zusammenhang zur DTV vorhanden. Insofern ist die Einteilung der Verkehrsflächen in Belastungsklassen in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte, wie sie im ATV-Arbeitsbericht „Regenwasserbehandlung“ (1996), im ATV-DVWK Arbeitsblatt A 138 und im ATV-Merkblatt M 153 vorgenommen wird, zumindest im Hinblick auf die Schwermetallbelastung als kritisch anzusehen. Für die PAK lässt sich dagegen eine deutliche positive Korrelation zur Verkehrsdichte herstellen.

6.4 Zusammenhang zwischen DTV- Schadstoffgehalt in den Regenklärbecken: eigene Untersuchungen

Die folgenden Diagramme basieren u.a. auf den in Tabelle 34 gezeigten Ergebnissen. Die Graphiken sollen die Art des in der vorliegenden Arbeit angefundenes Zusammenhanges zwischen den errechneten DTV- Werten für die Flugbetriebsflächen und den in den an diese einzelnen Flächen angeschlossenen RKB angetroffenen Schadstoffbelastungen aufzeigen. Im Anschluss wird ein Abgleich mit den im vorangegangenen Kapitel dargelegten Ergebnissen der aktuellen Fachliteratur vorgenommen.

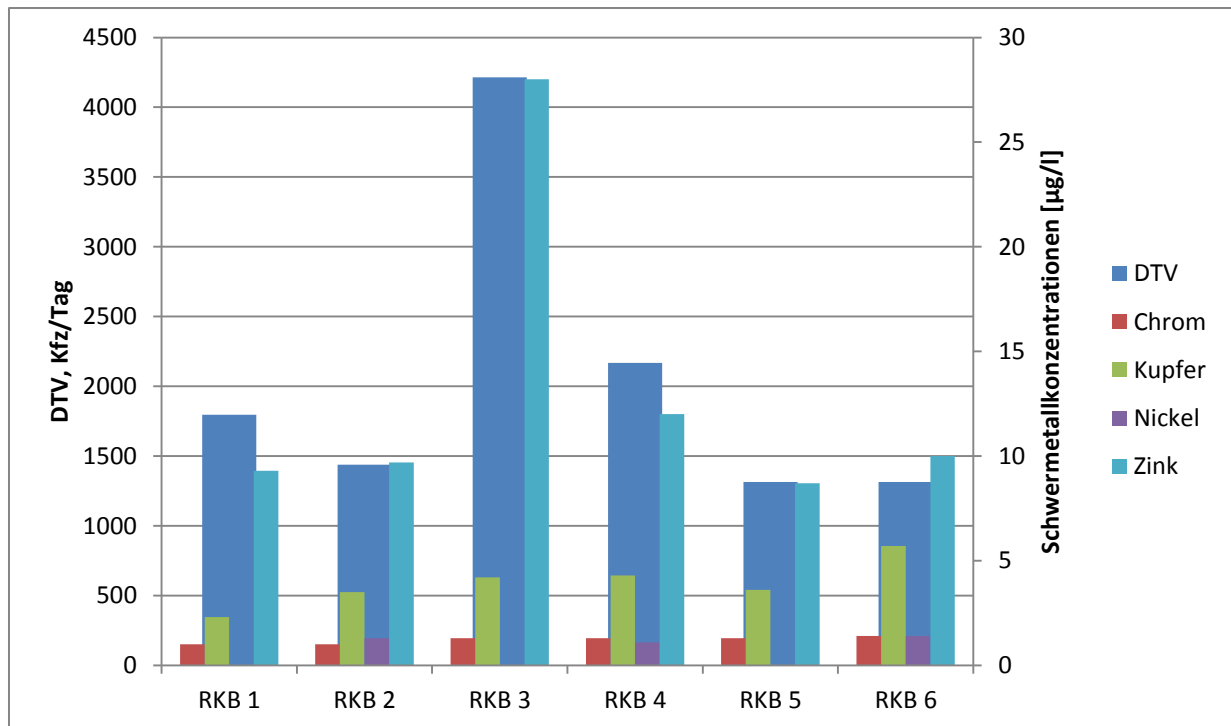


Abbildung 23. Schwermetallkonzentrationen in den Regenklärbecken in Bezug zur DTV

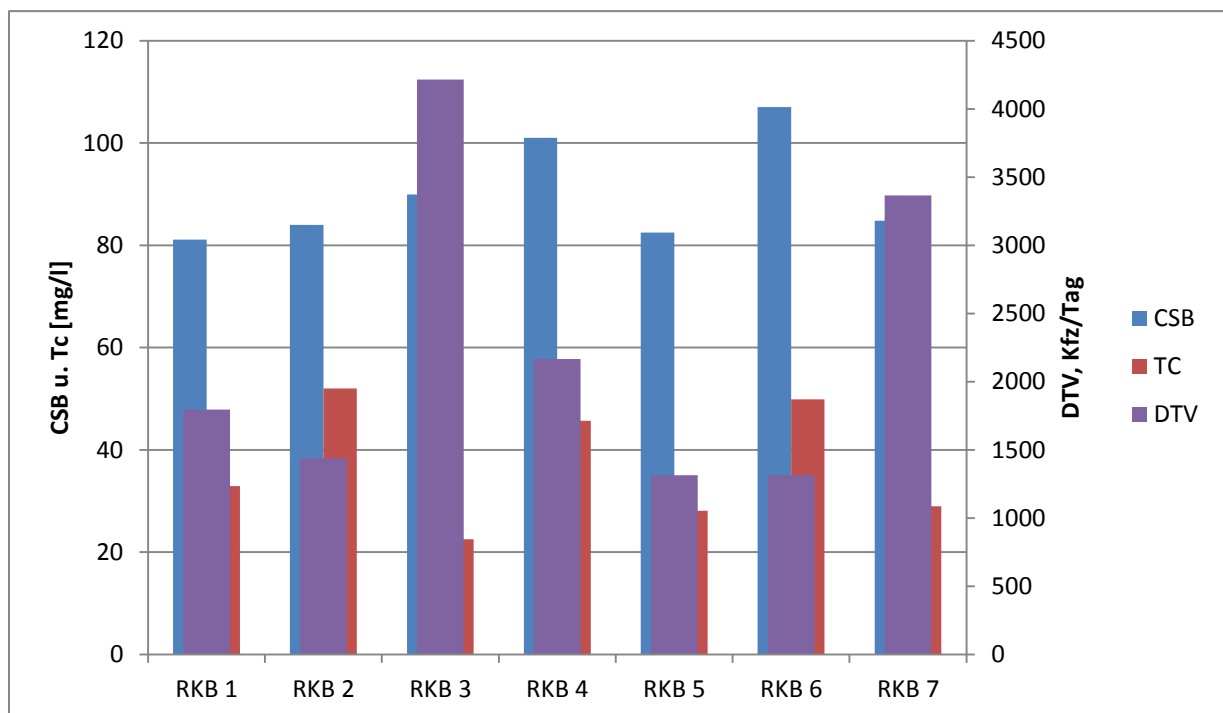


Abbildung 24. Gesamter Kohlenstoff TC und chemischer Sauerstoffbedarf CSB

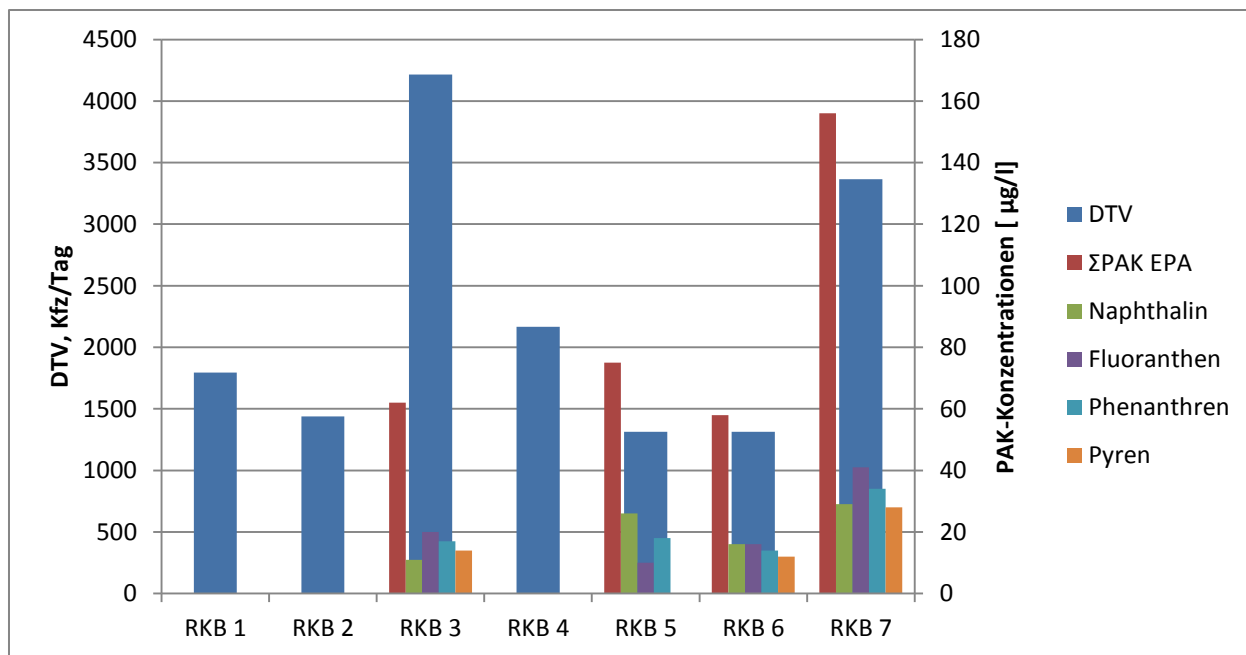


Abbildung 25. PAK Summenparameter und Referenzsubstanzen

Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen zeigen auch, dass in bestimmten Fällen eine gewisse Korrelation von Verkehrsbelastung und Schadstoffkonzentration vorliegen kann. Dieses würde mit den oben genannten Studien, beispielsweise von Kayhanian (2013) übereinstimmen. Gemäß der Ergebnisse in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. gibt es beispielsweise Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen den in der RKB angetroffenen Zinkkonzentrationen und den entsprechenden verkehrlichen Belastungen der an diese Becken angeschlossenen Flächen. Ähnliche Zusammenhänge scheinen auch für das Becken 7, bzw. der verkehrlichen Belastung der daran angeschlossenen Flächen und den im Beckenwasser angefundene PAK-Konzentrationen zu bestehen. Demgegenüber weisen die Ergebnisse für die anderen untersuchten Schwermetalle nicht auf einen derartigen Zusammenhang hin.

Die für die RKB ermittelten Parameter CSB und TC scheinen demgegenüber keine nennenswerte Korrelation zur DTV aufzuweisen, soweit der Umfang der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messungen eine derartige Aussage zulässt. Eine der Ursachen dafür könnte in der Betriebspraktik des Flughafens liegen. So entstehen höhere (organische) Kohlenstoffkonzentrationen und damit verbundene höhere CSB- Werte in erster Linie aufgrund des Einsatzes von Enteisungsmitteln (Flächen und Flugzeuge) auf. Damit hängen diese Werte erstens eher von der Witterung als von der verkehrlichen Belastung ab und zweitens sind hohe entsprechende Konzentrationen nicht auf alle Becken gleichmäßig verteilt, sondern treten dort verstärkt auf, wo der Flughafen entsprechende Kontrollmechanismen

gerade für diese Fälle eingerichtet hat. Im konkreten Fall ist dieses das Becken 7. Dies wurde bereits durch zahlreiche Eigenkontrollen durch den Flughafen unter Winterbedingungen belegt. Die DTV der untersuchten Verkehrsflächen spielt insofern hier eine untergeordnete Rolle. Die hier vorgelegten Ergebnisse scheinen dieses – bei aller Notwendigkeit, dass diese durch weitere Messungen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen ergänzt werden müssen – zu unterstützen.

Die (ebenfalls niedrigen) Konzentrationen der in den Becken angetroffenen PAK als Summenparameter lassen keinen linearen Zusammenhang mit den DTV- Wert erkennen. Lediglich die PAK Konzentration im Becken 7 scheint einen Zusammenhang mit dem für diesen Bereich ermittelten DTV-Wert aufzuweisen. Der aktuelle Forschungsstand (siehe vorangegangenes Kapitel) scheint diesen Sachverhalt zu unterstützen. Im vorliegenden Fall können auch die niedrigen PAK- Konzentrationen im Wasser der Regenklärbecken dazu führen, dass kein Zusammenhang zwischen einer verkehrlichen Belastung der Flächen und den vorliegenden PAK- Gehalten herzustellen ist.

6.5 Kritische Methodenreflexion

6.5.1 Ermittlung der DTV- Werte und der Belastung der Flächen

Die im Merkblatt M 153 festgelegte Methodik zur Ermittlung der durchschnittlichen verkehrlichen Belastung mit einer daraus resultierenden Bestimmung der gewässerschutztechnischen Anforderungen basiert u.a. auf den langjährigen Erfahrungen im Straßenverkehr. Dieses bezieht unterschiedliche Faktoren wie die Häufigkeit von Kontrollen oder Überwachungen von Straßensystemen, Unfallhäufigkeiten, durchschnittliches Alter der Fahrzeuge, Fahrzeugtechnik etc. Insofern stellt die Ermittlung der DTV Werte, die auf einer gewichtsbezogenen Umrechnung von Flugzeugen auf Fahrzeuge lediglich einen begrenzten Vergleich zwischen Kraftfahrzeugen und Luftfahrzeugen dar. Es kommt in der Frage inwieweit ist eigentlich solcher Vergleich möglich ist. Es geht nicht um die Größe und Gewicht, sondern Verbrennungstechnik (Temperatur und Bedingungen, Kraftstoff und Abgase), verwendete Materialien und deren Zusammensetzung (Gehalt an Schwermetalle und andere umweltrelevanten Substanzen, unterschiedliche Emissionsaustritt und demzufolge andere Schadstoffverhalten und Transport. Wie oben gezeigt wurde (Pavitra, 2006), können von Fahrzeugen verursachte Turbulenzen zu einer Verfrachtung von Luftschadstoffen führen, die die Belastung der daran angeschlossenen Gewässer verringern kann. Abgase von Flugzeugen können – aufgrund der technischen Eigenheiten von Triebwerken – in einem viel

größeren Maß und wesentlich schneller vom Emissionsort über den Luftweg verbracht werden. Insofern führt der Bodenverkehr von Flugzeugen grundsätzlich zu einer geringeren Belastung von Flächen als dieses im Straßenverkehr der Fall ist. Dieses muss ebenfalls bei der Festlegung der Belastung einer Flugzeugbewegungsfläche einbezogen werden.

Die Korrelation zwischen Gewicht des Fahrzeuges und Schadstoffemissionen sollte insofern zukünftig genauer untersucht werden. Im Mittelpunkt sollte hierbei stehen, inwieweit eine Größenzunahme des Fahrzeuggewichts alleine zu einer Zunahme der (Schadstoff-) Belastung der betroffenen Fläche führt. Des Weiteren sollte der Einfluss folgender Faktoren auf die Belastung von Straßen etc. ermittelt werden, um sinnvolle Sicherheitsmechanismen im Gewässerschutz festlegen zu können:

- Havariehäufigkeiten und Unfallhäufigkeiten
- Grad der Kontrollen von Flächen (Anwesenheiten, Begehungen, Meldewesen usw.)
- Wirksamkeit vorliegender Sicherheitskonzepte (Alarmpläne etc.)
- Technischer Stand und durchschnittliches Alter der Verkehrsmittel auf den Flächen

Dieses könnte u.a. Gegenstand zukünftiger wissenschaftlicher Arbeiten sein.

Hinsichtlich der angewandten Methodik der Verkehrszählungen zeigte die vorliegende Arbeit deutliche Unterschiede zwischen der Zählung von Fahrzeugen (gemäß vorgeschriebener Merkblätter) und der Erfassung von Flugzeugbewegungen auf dem Flughafengelände. So basiert die Ermittlung der DTV von Straßen auf Zählungen, die nur Ausschnitte der betrachteten Straßen (sowohl örtlich als auch zeitlich). Flugzeugbewegungen werden in Gänze erfasst. Der Einfluss dieser unterschiedlichen Zählweisen auf die Ermittlung der jeweiligen Belastung wird als gering betrachtet, könnte jedoch zukünftig näher untersucht werden.

6.5.2 Zur Untersuchungen der Schadstoffkonzentration in den Regenklärbecken

Die in dieser Arbeit gemachten Aussagen zur Schadstoffbelastung der Verkehrsflächen des Flughafens Hamburg und der an ihnen angeschlossenen Regenklärbecken basieren auf sehr wenigen Messungen. Insofern sollten die hier erreichten Ergebnisse durch zukünftige weitere Messungen ergänzt werden. Derartige Messungen können dann wichtige Einflussfaktoren berücksichtigen, u.a. betreffen dieses:

- Witterungsverhältnisse, insbesondere der Einfluss von Perioden mit langer Trockenheit oder solcher mit höheren oder länger anhaltenden Niederschlägen
- Unterschiede zwischen Sommer- und Winterbetrieb (Enteisungen)
- Flugzeugverkehr, auch im Hinblick auf die Größe der am Flughafen eingesetzten Flugzeugtypen
- Einfluss von Havariefällen
- Betriebliche Bedingungen

Derartige Messungen können helfen, Ergebnisse mit einer höheren Allgemeingültigkeit zu erhalten. Und sie können dazu beitragen, die Einstufung von Flugverkehrsflächen hinsichtlich ihrer Belastung auf einer objektiveren Basis vorzunehmen. Diese könnte auch dazu beitragen, dass zukünftig für die Beurteilung von Luftverkehrsflächen eigene Kriterien entworfen werden.

7 Fazit

Die vorliegende Arbeit kann die im Folgenden zusammengefassten Schlussfolgerungen erlauben. Zunächst konnte festgestellt werden, dass der für die Ermittlung der DTV im Straßenverkehr angewandte Methodik bei ihrer Anwendung für Flugbetriebsflächen unter Zuhilfenahme begleitender Faktor wie u.a. Schadstoffkonzentrationen eingesetzt werden sollte.

Außerdem können die verkehrlichen Belastungen von Betriebsflächen des Flughafens Hamburg als gering bis von mittlerer Größenordnung beschrieben werden. Dieses ergibt sich zum einen aus der errechneten Häufigkeit von Flugzeugbewegungen am Boden auf diesen Flächen.

Unterstützt werden diese Aussagen durch die lokale Luftqualität am Standort des Flughafens, die im Vergleich zum Stadtgebiet Hamburgs gering ist. Insofern sind auch die über eine nasse oder trockene Deposition zu erwartenden Schadstoffeinträge gering. Berechnete Emissionen und gemessene Immissionskonzentrationen belegen dieses. Außerdem können die auf dem Flughafen greifenden Sicherungsmaßnahmen, die ständige Beobachtung aller Betriebsprozesse und der Einsatz von (modernem) Fluggerät das Freiwerden von Schadstoffen wirksam verhindern. Auch dieses trägt zu einer geringen Belastung des Oberflächenabflusses bei.

Die Bestimmung von Schadstoffen im Oberflächenabfluss aller Regenklärbecken zeigte teilweise einen Zusammenhang zur berechneten DTV der angeschlossenen Flächen. Diese Zusammenhänge deckten sich weitgehend mit den Befunden der Literatur zum Oberflächenabfluss in Straßen.

Die Schadstoffgehalte (Schadstoffe zur Charakterisierung von Verkehrsflächen) in den Regenklärbecken sind darüber hinaus insgesamt niedrig und erfüllen die für andere Industriesektoren vorgeschriebenen Grenzwerte in Bezug auf Inhaltsstoffe im Abwasser. Insofern erscheint eine Einstufung von Flugbetriebsflächen als „hoch belastet“ nicht gerechtfertigt. Auf Basis dieser Ergebnisse und darauf aufbauenden weiteren Studien kann eine Neueinstufung der Belastung insbesondere von Vorfeldflächen (derzeit als hoch belastet eingestuft) erforderlich werden.

8 Literaturverzeichnis

Ammoser, Hendrik und Hoppe, Mirko. 2006. *GLOSSAR VERKEHRSWESSEN UND VERKEHRSWISSENSCHAFTEN*. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, TU Dresden. Dresden : INSTITUTS FÜR WIRTSCHAFT UND VERKEHR, 2006. S. 56, DISKUSSIONSBEITRÄGE. 2/2006.

Boller, Reinhard. 2005. *Untersuchung zur Verbesserung der Stickstoffumsatzraten bei Einrichtung einer vorgeschalteten Denitrifikation in Pflanzenkläranlagen durch einfache Nachrüstung bei vertikal durchflossenen Pflanzenkläranlagen*. Rostock : Eigenverlag, 2005.

Bradersen-Brenner, Udo und Quartisch, Matthias. 2010. *Umwelterklärung 2011-2014*. Hamburg : Flughafen HAMBURG GmbH, 2010.

Bräunling, Willy J.G. 2009. *Flugzeugtriebwerke : Grundlagen, Aero-Thermodynamik, ideale und reale Kreisprozesse, Thermische Turbomaschinen, Komponenten, Emissionen und Systeme*. 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. S. 1647.

Continental Reifen. 2013. Continental Reifen Deutschland. *Technische Fragen: Reifentest*. [Online] 2013. [Zitat vom: 23. 12 2013.] http://www.continental-reifen.de/www/reifen_de_de/themen/reifentipps/reifentest/08_haben_hersteller_einfluss/05_schlupf_de.html.

Dorfer, Christian. 2005. *Transportvorgänge in Mischwasserkanälen auf Basis von Online-Messungen*. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz. Graz : Eigenverlag, 2005. Diplomarbeit.

DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. 2007. *DWA-M153 "Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser"*. DWA-Regelwerk. Hennef : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2007. Merkblatt DWA-M 153.

DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. 2013. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. *Gesamtübersicht der*

Publikationen . [Online] 2013. [Zitat vom: 20. 12 2013.]

http://de.dwa.de/Alle_Publikationen.html.

—. **2008.** *Grundsätze für die Erarbeitung des DWA-Regelwerkes*. Hennef : DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2008.

Exxon Mobil. 2005. Exxon Aviation Global . *Jet fuel Specifications*. [Online] 2005. [Zitat vom: 04. 01 2014.]

<http://www.exxonmobil.com/AviationGlobal/Files/WorldJetFuelSpecifications2005.pdf>.

FHG intern. 1996. *Planfeststellungsverfahren Vorfeld 2*. Hamburg : Eigenverlag, 1996. Band 10, Kapitel 10.

Förtsch, Gabi und Meinholz, Heinz. 2014. *Handbuch Betrieblicher Gewässerschutz*. Springer Fachmedien Wiesbaden : Springer Spektrum, 2014.

Gantner, Kathrin. 2002. *Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbewirtschaftungsmethoden*. Siedlungswasserwirtschaft, Technischen Universität Berlin. Berlin : Eigenverlag, 2002. Dissertation.

Ginsberg, Köln. 1998. *Merkblatt für die Entwässerung von Flugplätzen*. Arbeitsausschuß: Flugplatzbefestigungen; Arbeitskreis: Entwässerung von Flugplätzen, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswese. Köln : FSGV-Verlag, 1998. Band 912.

Grotehusmann, Dieter und Harms, Richard. 2008. *DWA-A138 "Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser"*. Hannover : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V, 2008.

Gujer, Willi. 2007. *Siedlungswasserwirtschaft*. 3., bearbeitete Auflage. Berlin Heidelberg : Springer, 2007.

Herpertz, Stefan und Tegethof, Udo. 2005. *Verkehrsbedingte Quellen und Eintrag von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) auf Nutz- und Seitenflächen an Bundesfernstraßen*. Verkehrstechnik , Bundesanstalt für Straßenwesen. Bremerhaven : Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 2005. Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum Band 4. Bericht zum Projekt 99 659. Band 4.

Hettwer, Klaudia. 2006. *Beurteilung der natürlichen Abbau- und Rückhalteprozesse der Schadstoffgruppen MKW und BTEX in der wasserungesättigten Bodenzone.* Chemie und Biologie, Universität Bremen. Bremen : s.n., 2006. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades. Ergebnisse aus Untersuchungen im Labor-, Technikums- und Feldmaßstab.

Hillenbrand, Thomas, Toussaint, Dominik und Böhm, Eberhard. 2005. *Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden.* Dessau : Umweltbundesamt, 2005.

HLUG. 2014. Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie. *Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie.* [Online] 2014. [Zitat vom: 04. 01 2014.] http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/wasser/fliessgewaesser/gewaesserbelastung/orientierende_messungen/6.07PAK.pdf.

Janicke Consulting. 2014. Ingenieurbüro Janicke. [Online] 2014-01-07, Ing.-Büro Janicke, 2014. [Zitat vom: 4. 1 2014.] <http://www.janicke.de/de/lasat.html>.

—. **2009.** *LASPORT 2.0 Manual.* Environmental Physics. Überlingen : Janicke Consulting, 2009.

Kasting, Ulrich. 2002. *Zentrale Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen.* s.l. : TU Kaiserslautern, 2002.

Kathmann, Thorsten, Ziegler, Hartmut und Thomas, Bernd. 2009. *Straßenverkehrszählung 2005: Methodik.* Verkehrstechnik , Bundesanstalt für Straßenwesen. Aachen : Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 2009. Bericht zum Forschungsprojekt FE 83.002/2003, Heft V 179. DTV-Verkehrsconsult GmbH.

Kayhanian, Masoud, et al. 2003. Impact of Annual Average Daily Traffic on Highway Runoff Pollutant Concentrations. *Journal of Environmental Engineering, Vol. 129, No. 11.* 1. November 2003, Bd. 129, 11.

Klußmann, Niels und Malik, Arnim. 2012. *Lexikon der Luftfahrt.* 3., aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer, 2012.

Kobringer, N.P. 1984. *Sources and Migration of Highway Runoff Pollutants- Executive Summary. Vol. I.* EnviroEnergy Technology Center. Milwaukee : Federal Highway Administration, 1984.

Kocher, Birgit, et al. 2010. *Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb.* Verkehrstechnik, Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach : Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 2010. Berichte der BAST. Verkehrstechnik Heft V 188. 093339.

Koppe, Paul und Stozek, Alfred. 1999. *Kommunales Abwasser : seine Inhaltsstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktionen im Reinigungsprozeß einschließlich Klärschlämme.* 4 Auflage. Essen : Vulkan-Verlag GmbH, 1999. S. 567.

Lufthansa Technik AG. 2013. Lufthansa Offizielle Website. *Komponenten und Systeme: Flugzeugreifen.* [Online] Lufthansa Technik AG, 2013. [Zitat vom: 20. 12 2013.] [http://www.lufthansa-technik.com/de/aircraft-tires.](http://www.lufthansa-technik.com/de/aircraft-tires)

McCarty, John L. und J. Yager, Thomas. 1979. *Wear, Friction, and Temperature Characteristics of an Aircraft Tire Undergoing Braking and Cornering.* NASA. Washington, D.C. : NASA, 1979. NASA Technical Paper. 1569.

Mensen, Heinrich. 2007. *Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen : mit 102 Tabellen.* Berlin Heidelberg : Springer, 2007. S. 1004.

—. **2007.** *Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen : mit 102 Tabellen.* Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2007.

Michelin . 2013. Michelin Aircraft tires Europe. *Michelin Aircraft Tire Care & Maintenance Manual.* [Online] 2013. [Zitat vom: 28. 11 2013.] [http://www.airmichelin.com/generalcontent.aspx?id=219.](http://www.airmichelin.com/generalcontent.aspx?id=219)

Michelin. 2013. AirMichelin Aircraft Tires. *Aircraft Tire Certification Levels.* [Online] -. - 2013. [Zitat vom: 28. 11 2013.] <https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.airmichelin.com%2FuploadedFiles%2FMichelinAirDev%2FSt>

andardContent%2FResource%2Fcertification_level_2.pdf&ei=OXqcUuyZO8zIswbHmYDIC
A&usg=AFQjCNF0ooHfOLANIQPZy.

Moritz, Karl und Wirtz, Herrmann. 2005. *Methodenvergleich zur Beurteilung der Gehalte an Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) im Aufwuchs des Intensivpflegebereiches an Bundesautobahnen.* Verkehrstechnik, Bundesanstalt für Straßenwesen. Bremerhaven : Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 2005. Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum Band 3. Bericht zum Projekt 99 658.

Pavitra, Rammonah. 2006. *PERFORMANCE OF VEGETATED ROADSIDES IN REMOVING STORMWATER POLLUTANTS.* Civil Engineering. Texas : Texas A&M University, 2006.

Rempp, Julia Ch. 2012. *NATURNAHE BEHANDLUNG VON STRASSENABFLÜSSEN BEST PRACTICE - VERFAHREN & BEDEUTUNG DER VEGETATION.* Architektur und Bauingenieurwesen UmweltManagement und Stadtplanung in Ballungsräumen, Hochschule RheinMain. Wiesbaden : Eigenverlag, 2012. S. 120, INTERDISZIPLINÄRES PROJEKT „Management of Stormwater on Highways“.

Schegel, Andreas. 2010. *Bodenabfertigungsprozesse im Luftverkehr.* Wiesbaden : Gabler Verlag, 2010. Bd. 1.

SGL Group. 2014. SGL Group The Carbon Company. *CFC-Flugzeugbrems scheiben.* [Online] 2014. [Zitat vom: 15. 01 2014.]
[http://www.sglgroup.com/cms/international/products/product-groups/bd/aircraft-brake-disks-made-of-c-c/index.html?__locale=de.](http://www.sglgroup.com/cms/international/products/product-groups/bd/aircraft-brake-disks-made-of-c-c/index.html?__locale=de)

Shaver, Earl, et al. 2007. *Fundamentals of Urban Runoff Management: Technical and Institutional Issues.* Madison WI, USA : North American Lake Management Society, 2007. 2nd Edition, eigene Übersetzung.

Sommer, Harald. 2007. *Anlagen zur Behandlung und Filtration von Straßenabflüssen in Gebieten mit Trennsystemen: Neuentwicklungen und Untersuchungen.* Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Hannover : Eigenverlag, 2007. genehmigte Dissertation.

Stein, Robert. 2008. *Auswirkungen optimierter Straßenabläufe auf Feststoffeinträge in Kanalisationen.* Fakultät für Bauingenieurwesen, Technische Hochschule Aachen. Berlin : Eigenverlag, 2008. Dissertation.

UBA, Umweltbundesamt. 2014. Offizielle Webseite des Umweltbundesamtes. [Online] Januar 2014. [Zitat vom: 04. 01 2014.]
[http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserrecht/abwasserrecht.](http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserrecht/abwasserrecht)

Winther, Morten und Slentø, Eiril. 2010. *Heavy Metal Emissions for Danish Road Transport.* Aarhus University, Denmark. Denmark : National Environmental Research Institute, 2010. S. 99, NERI Technical Report no. 780.

9 Anhänge

9.1 Anhang 1

Übersichtsplan der Flughafen Hamburg GmbH

9.2 Anhang 2

Layout der Vorfelder des Flughafens Hamburg.

9.3 Anhang 3

Übersicht über das Regenklärbeckensystem

9.4 Anhang 4

Emissionsmengen der FHG aus LASPORT berechnet.

Emissionen Endanflug [t]							
Name	FB	NOX	HC	CO	PM10	BNZ	CO2
Large	5189500,00	58675,60	192,80	6877,17	388,52	3,86	16372900,00
Medium	41518600,00	528615,00	6168,96	72504,80	2645,91	123,38	130991000,00
Small	795278000,00	6118730,00	1472030,00	9398040,00	143738,00	29440,60	2509100000,00
Regional	124358000,00	956222,00	35214,90	583225,00	16731,10	704,30	392349000,00
Business	89339,70	538,93	317,07	2106,60	23,38	6,34	281867,00
Turboprop	20433400,00	185344,00	8336,87	153019,00	316,62	166,74	64467400,00
Piston	1093260,00	3440,71	21324,30	1224740,00	294,10	426,49	3449240,00
TOTAL	987960000,00	7851570,00	1543580,00	11440500,00	164137,00	30871,70	3117010000,00
Emissionen Landung [t]							
Name	FB	NOX	HC	CO	PM10	BNZ	CO2
Large	215272,00	1041,17	778,79	5633,79	21,73	15,58	679182,00
Medium	1515410,00	6472,38	6401,43	40052,80	124,18	128,03	4781120,00
Small	37513000,00	143583,00	121972,00	1191520,00	3650,34	2439,43	118353000,00
Regional	6621720,00	24650,90	23482,60	216461,00	628,55	469,65	20891500,00
Business	4652,34	13,70	142,11	354,92	1,19	2,84	14678,10
Turboprop	1334110,00	6762,93	8322,37	37437,30	7,25	166,45	4209110,00
Piston	37137,30	56,78	1680,25	37307,40	2,61	33,61	117168,00
TOTAL	47241300,00	182581,00	162779,00	1528760,00	4435,87	3255,58	149046000,00
Emissionen Rollen [t]							
Name	FB	NOX	HC	CO	PM10	BNZ	CO2
Large	5323450,00	25747,10	19258,80	139318,00	537,40	385,18	16795500,00
Medium	32363200,00	138224,00	136709,00	855369,00	2652,08	2734,18	102106000,00
Small	676640000,00	2589870,00	2200060,00	21492000,00	65842,90	44001,20	2134800000,00
Regional	112111000,00	417360,00	397579,00	3664850,00	10641,90	7951,61	353710000,00
Business	74823,90	220,38	2285,63	5708,22	19,22	45,71	236069,00
Turboprop	20864800,00	105769,00	130158,00	585503,00	113,42	2603,16	65828500,00
Piston	499983,00	764,40	22621,40	502273,00	35,18	452,43	1577450,00
TOTAL	847877000,00	3277960,00	2908670,00	27245000,00	79842,10	58173,50	2675050000,00
Emissionen Startrollen [t]							
Name	FB	NOX	HC	CO	PM10	BNZ	CO2
Large	4265230,00	169284,00	59,05	2442,56	1242,33	1,18	13456800,00
Medium	25736200,00	970851,00	1268,98	14424,80	1930,98	25,38	81197600,00
Small	483144000,00	10275900,00	52343,90	412371,00	53170,00	1046,88	1524320000,00
Regional	46649300,00	711901,00	7185,53	22417,20	7981,09	143,71	147179000,00
Business	29681,70	424,30	1,74	44,30	3,40	0,03	93645,70
Turboprop	3564770,00	55946,50	261,04	13784,50	57,52	5,22	11246800,00
Piston	114677,00	288,10	1703,51	131146,00	11,47	34,07	361804,00
TOTAL	563504000,00	12184600,00	62823,70	596631,00	64396,80	1256,47	1777860000,00

Emissionen APU [t]							
Name	FB	NOX	HC	CO	PM10	BNZ	CO2
Large	588076,00	6486,42	288,93	1661,43	65,97	5,78	1855380,00
Medium	5936970,00	55967,30	4523,60	17334,90	2520,43	90,47	18731100,00
Small	161734000,00	1145220,00	985347,00	2049530,00	208679,00	19706,90	510269000,00
Regional	42379100,00	228282,00	31944,60	436896,00	11743,60	638,90	133706000,00
Business	64736,10	326,31	49,76	695,06	30,34	1,00	204242,00
Turboprop	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Piston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	210702000,00	1436280,00	1022150,00	2506110,00	223039,00	20443,10	664766000,00
Emissionen GPU [t]							
Name	FB	NOX	HC	CO	PM10	BNZ	CO2
Large	21392,20	504,43	164,08	85,57	42,78	3,28	67492,30
Medium	10149,10	239,32	77,84	40,60	20,30	1,56	32020,30
Small	2431260,00	57329,00	18647,70	9725,02	4862,51	372,96	7670610,00
Regional	4319640,00	101857,00	33131,70	17278,60	8639,28	662,63	13628500,00
Business	7101,22	167,45	54,47	28,40	14,20	1,09	22404,40
Turboprop	1872510,00	44153,80	14362,20	7490,05	3745,02	287,24	5907780,00
Piston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	8662050,00	204251,00	66437,90	34648,20	17324,10	1328,76	27328800,00

9.5 Anhang 5

Tabellen zu den Flugzeugbewegungen 2012 am Flughafen Hamburg

Aufgrund ihres Umfanges können diese Tabellen nicht in der gedruckten Version dieser Arbeit dargestellt werden. Sie befinden sich in elektronischer Form auf der beigefügten CD

9.6 Anhang 6

Auswertung der Topsonic- Daten zu den Flugbewegungen 2012

Flugzeugkategorie	MTOW, kg	Flugbewegungen, Lfz		DTV, Kfz/Tag	
		Landungen	Starts	Landungen	Starts
S/L-Bahn I, Richtung 05					
Large	500,000	81	38	2	1
Medium	300,000	229	108	4	2
Small	120,000	6841	3253	112	53
Regional	50,000	1459	687	20	9
Business und Turboprop	34,000	1275	643	14	7
Piston	5,700	928	399	5	2
Summe		10813	5128	157	75
S/L-Bahn I, Richtung 23					
Large	500,000	267	167	7	5
Medium	300,000	762	498	13	8
Small	120,000	22827	14810	375	243
Regional	50,000	4834	3191	66	44
Business und Turboprop	34,000	4350	2753	48	30
Piston	5,700	2326	1628	13	9
Summe		35366	23047	522	339
S/L-Bahn II, Richtung 15					
Large	500,000	168	21	5	1
Medium	300,000	499	80	8	1
Small	120,000	14962	2146	246	35
Regional	50,000	3125	464	43	6
Business und Turboprop	34,000	2671	381	29	4
Piston	5,700	1374	213	8	1
Summe		22799	3305	338	49
S/L-Bahn II, Richtung 33					
Large	500,000	47	331	1	9
Medium	300,000	107	912	2	15
Small	120,000	3666	28092	60	462
Regional	50,000	725	5813	10	80
Business und Turboprop	34,000	658	5176	7	57
Piston	5,700	460	2903	3	16
Summe		5663	43227	83	638

9.7 Anhang 7

Schreiben (E-Mail) der Firma Michelin



Bruce Jones
Customer Support Engineer
Michelin Aircraft Tires
Clermont-Ferrand, France

Malika Shambulova
Dept. of Environmental Protection and Management
Hamburg Airport GmbH

Date: 30 January 2014

Subject: Your request for information concerning the content of heavy metals, organic pollutants, and other toxic substances in Michelin aircraft tires

We point out that the European REACH regulation (EC) N°1907/2006 concerning chemical substances, that came into effect on June 1, 2007, aims to evaluate the risks related to the use of chemical substances covered by REACH and placed on the European market, and aims to guarantee the application of all measures limiting these risks.

On 16 December 2013, the European Agency of Chemical Products (ECHA) published, on its Internet site, an updated "Candidate List of Substances of Very High Concern for Authorization". This list can be consulted at:

<http://echa.europa.eu/candidate-list-table>

Michelin hereby confirms that none of the substances listed in the "Candidate List" mentioned above is contained in the tires and tubes offered by Michelin for the aircraft tire market.

We commit to reviewing all future evolutions of the Candidate List and to complying with all necessary communication required by the REACH regulation.

Best regards

Bruce Jones
Michelin Aircraft Tires

Manufacture Française
des Pneumatiques Michelin

Place des Carmes - Déchaux
63040 CLERMONT-FERRAND
CEDEX 9

Téléphone: (33)4 73 32 20
00
Télécopie : (33)4 73 32 22
02
Internet :
<http://www.michelin.com>

Société en commandite par actions
au capital de 304 000 000 d'Euros.
855 200 507 R.C.S. Clermont-Ferrand
N° identification TVA FR 33855200507
Code APE : 2211Z

9.8 Anhang 8

Prüfbericht des Labors GBA, Pinneberg

GBA LABORGRUPPE – WISSEN WAS DRIN IST...



GBA GESELLSCHAFT FÜR BIOANALYTIK MBH
Flansburger Straße 15 • 25421 Pinneberg



Hamburg Airport
Flughafen Hamburg GmbH

Flughafenstr. 1-3
22335 Hamburg

Prüfbericht-Nr.: 2014P502079 / 1

Auftraggeber	Hamburg Airport Flughafen Hamburg GmbH
Eingangsdatum	siehe Tabelle
Projekt	Allg. Auftragsproben
Material	Wasser
Kennzeichnung	siehe Tabelle
Auftrag	AR 52 45234554
Verpackung	Glas- und PE-Flaschen
Probenmenge	siehe Tabelle
Auftragsnummer	14500482
Probenahme	durch den Auftraggeber
Probentransport	Auftraggeber
Labor	GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH
Analysenbeginn / -ende	17.01.2014 - 03.02.2014
Methoden	siehe letzte Seite
Unteraufträge	keine
Bemerkung	
Probenaufbewahrung	Wenn nicht anders vereinbart, werden Feststoffproben drei Monate und Wasserproben bis zwei Wochen nach Prüfberichtserstellung aufbewahrt.

Pinneberg, 04.02.2014

i. A. Marie-Luise Röschel
Projektbearbeitung

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die genannten Prüfgegenstände. Ohne schriftliche Genehmigung der GBA darf der Prüfbericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

Seite 1 von 4 zu Prüfbericht-Nr.: 2014P502079 / 1

Standort: Pinneberg
Telefon: +49 4101 79 46-0
Fax: +49 4101 79 46-26
E-Mail: pinneberg@gba-laborgruppe.de
Homepage: gba-laborgruppe.de

Commerzbank Hamburg
BLZ: 200 400 00
Konto: 449 655 000
IBAN: DE 17 2004 0000 0449 6550 00
BIC: COBADE33XXX

USt-Ident-Nr.: DE 118 554 138
St.-Nr.: 41/723/00196
Sitz der Gesellschaft: Hamburg
Handelsregister:
Hamburg HRB 42774

Geschäftsführer:
Manfred Glöselocke
Ralf Muzen
Dr. Roland Bomerath
Carsten Schallors
Dr. Horwig Dörfeld



Prüfbericht-Nr.: 2014P502079 / 1

Allg. Auftragsproben

Auftrag		14500482	14500482	14500482	14500482	14500482	14500482
Probe-Nr.		001	002	003	004	005	006
Material		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
Probenbezeichnung		Becken 1	Becken 2	Becken 3	Becken 4	Becken 5	Becken 6
Probemenge		ca. 2,1 l	ca. 2,1 l	ca. 2,1 l	ca. 2,1 l	ca. 2,1 l	ca. 2,1 l
Probeneingang		17.01.2014	17.01.2014	17.01.2014	17.01.2014	17.01.2014	17.01.2014
Analysenergebnisse	Einheit						
Absetzbare Stoffe (0,5 h)	ml/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	<0,10
Blei	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Cadmium	mg/L	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030
Chrom ges.	mg/L	0,0010	0,0010	0,0013	0,0013	0,0013	0,0014
Kupfer	mg/L	0,0023	0,0035	0,0042	0,0043	0,0036	0,0057
Kohlenwasserstoffe	mg/L	<0,10	<0,10	0,12	<0,10	<0,10	<0,10
Nickel	mg/L	<0,0010	0,0013	<0,0010	0,0011	<0,0010	0,0014
Zink	mg/L	0,0093	0,0097	0,028	0,012	0,0087	0,010
Summe PAK (EPA)	µg/L	n.n.	n.n.	0,0620	n.n.	0,0750	0,0580
Naphthalin	µg/L	<0,010	<0,010	0,011	<0,010	0,026	0,016
Acenaphthylen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Acenaphthen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,011	<0,010
Fluoren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,010	<0,010
Phenanthren	µg/L	<0,010	<0,010	0,017	<0,010	0,018	0,014
Anthracen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010	0,020	<0,010	0,010	0,016
Pyren	µg/L	<0,010	<0,010	0,014	<0,010	<0,010	0,012
Benz(a)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Chrysen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(b)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(k)fluoranthren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(a)pyren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Dibenz(ah)anthracen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Benzo(g,h,i)perylene	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010

Prüfbericht-Nr.: 2014P502079 / 1

Allg. Auftragsproben

Auftrag		14500482
Probe-Nr.		007
Material		Wasser
Probenbezeichnung		Becken 7
Probemenge		ca. 1 l
Probeneingang		29.01.2014
Analysenergebnisse	Einheit	
Absetzbare Stoffe (0,5 h)	mL/L	<0,10
Blei	mg/L	n.a.
Cadmium	mg/L	n.a.
Chrom ges.	mg/L	n.a.
Kupfer	mg/L	n.a.
Kohlenwasserstoffe	mg/L	<0,10
Nickel	mg/L	n.a.
Zink	mg/L	n.a.
Summe PAK (EPA)	µg/L	0,156
Naphthalin	µg/L	0,029
Acenaphthylen	µg/L	<0,010
Acenaphthen	µg/L	<0,010
Fluoren	µg/L	0,012
Phenanthren	µg/L	0,034
Anthracen	µg/L	<0,010
Fluoranthren	µg/L	0,041
Pyren	µg/L	0,028
Benz(a)anthracen	µg/L	<0,010
Chrysen	µg/L	0,012
Benzo(b)fluoranthren	µg/L	<0,010
Benzo(k)fluoranthren	µg/L	<0,010
Benzo(a)pyren	µg/L	<0,010
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/L	<0,010
Dibenz(ah)anthracen	µg/L	<0,010
Benzo(g,h,i)perylene	µg/L	<0,010

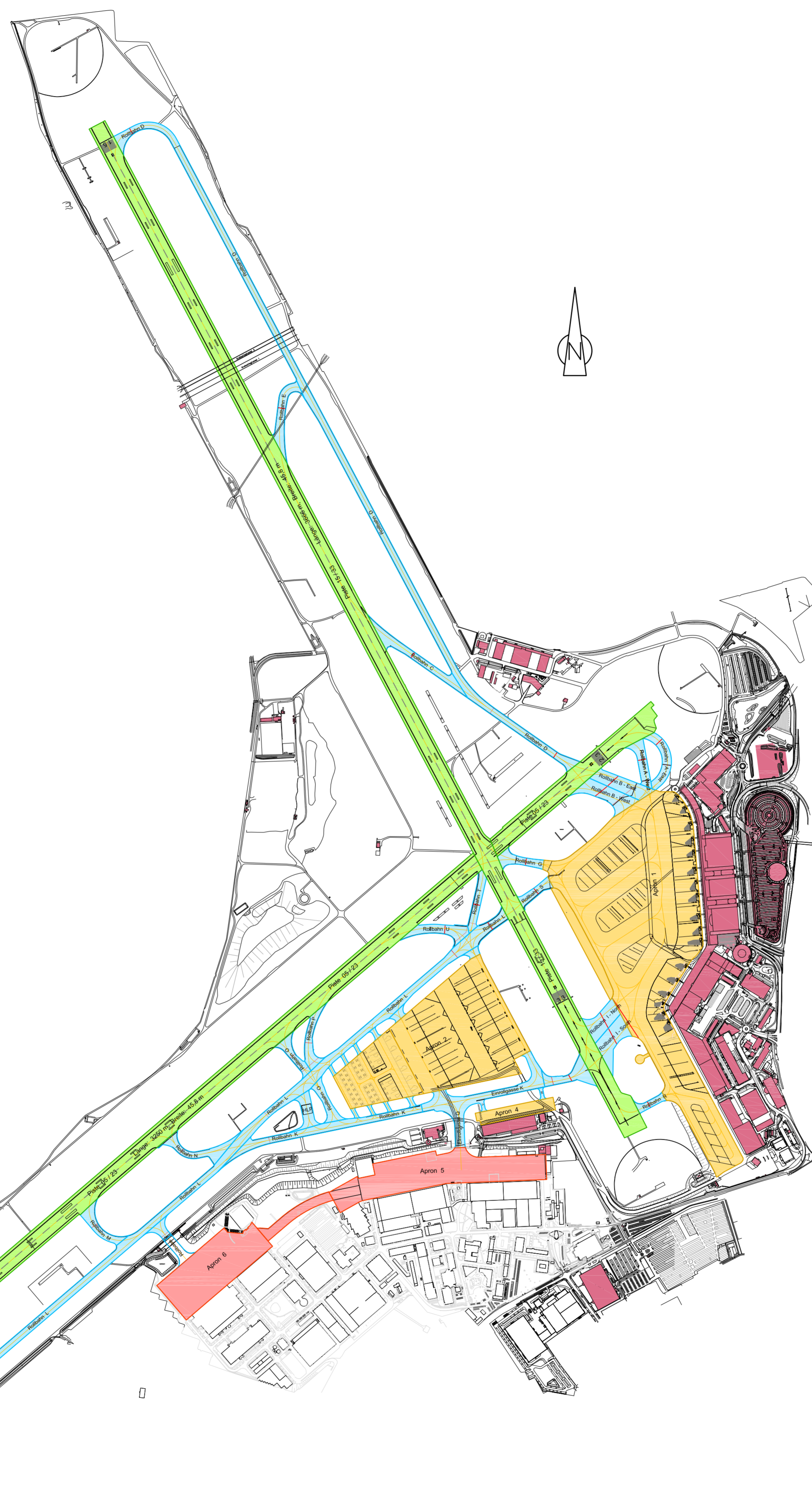
Prüfbericht-Nr.: 2014P502079 / 1

Allg. Auftragsproben

Angewandte Verfahren und Bestimmungsgrenzen

Parameter	Bestimmungs- grenze	Einheit	Methode
Absetzbare Stoffe (0,5 h)	0,10	mL/L	DIN 38409-9 (H9)*
Blei	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29)*
Cadmium	0,00030	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29)*
Chrom ges.	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29)*
Kupfer	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29)*
Kohlenwasserstoffe	0,10	mg/L	DIN EN ISO 9377-2 (H53)*
Nickel	0,0010	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29)*
Zink	0,0050	mg/L	DIN EN ISO 17294-2 (E29)*
Summe PAK (EPA)		µg/L	berechnet
Naphthalin	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Acenaphthylen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Acenaphthen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Fluoren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Phenanthren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Anthracen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Fluoranthren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Pyren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Benz(a)anthracen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Chrysen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Benzo(b)fluoranthren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Benzo(k)fluoranthren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Benzo(a)pyren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Dibenz(ah)anthracen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*
Benzo(g,h,i)perylen	0,010	µg/L	DIN 38407-F39 (2008)*

Die mit * gekennzeichneten Verfahren sind akkreditierte Verfahren. Die Bestimmungsgrenzen können matrixbedingt variieren.



Vorfelder, Pisten u. Rollbahnen			
Beschreibung			
Piste 15 / 33		=	230.259,54 qm
Piste 05 / 23	157.500,64 qm		
	+ 44.351,74 qm	=	201.852,38 qm

Rollbahn A	east	6.475,83 qm	
	west	+ 5.295,65 qm	= 11.771,48 qm
Rollbahn B	east	8.822,68 qm	
	west	+ 9.637,12 qm	= 18.459,80 qm
Rollbahn C			= 10.010,18 qm
Rollbahn D			= 64.443,14 qm
Rollbahn E			= 7.735,93 qm
Rollbahn G			= 4.944,46 qm
Rollbahn S			= 3.861,75 qm
Rollbahn I	north	7.715,21 qm	
	south	+ 9.058,76 qm	= 16.773,97 qm
Rollbahn R			= 2.576,17 qm
Rollbahn L			= 81.572,98 qm
Rollbahn M			= 5.396,64 qm
Rollbahn N			= 7.598,25 qm
Rollbahn O		4.652,65 qm	
	+ 4.901,44 qm	=	9.554,09 qm
Rollbahn P			= 6.025,03 qm
Rollbahn U			= 7.127,26 qm
Rollbahn T			= 5.176,99 qm
Rollbahn K		16.369,71 qm	
Einrollgasse K + Q + V			
und 2 Einrollgassen Vorfeld 2		+ 22.210,66 qm	
Rest Einrollgasse K zu Piste 15/33		+ 6.992,89 qm	
4 Rollgassen Vorfeld 2 Süd / Kleinflieger	445,74 qm		
	471,42 qm		
	472,30 qm		
	651,56 qm	+ 2.041,02 qm	= 47.614,28 qm
Rollbahn Hubschrauberlandeplatz			= 4.895,18 qm
Rollbahn Y			= 2.482,02 qm
4 Rollgassen Vorfeld 2 Nord / Kleinflieger	419,62 qm		
	444,26 qm		
	441,05 qm		
	649,49 qm	1.954,42 qm	
2 Rollgassen Vorfeld 2 Nord / Großflieger	1.327,25 qm		
	1.137,93 qm	+ 2.465,18 qm	= 4.419,60 qm
Einrollgasse W			= 502,90 qm

Vorfeld 1		307.579,89 qm	
Vorfeld 1		+ 11.435,53 qm	
Vorfeld 1, Hubschrauberlandeplatz		+ 936,01 qm	= 319.951,43 qm
Vorfeld 2	Großflieger	124.594,84 qm	
	Kleinflieger	+ 43.161,89 qm	= 167.756,73 qm
Vorfeld 4			= 10.822,23 qm
		Gesamt	= 1.253.584,41 qm

Bereich LHT			
Vorfeld 5			= 67.321,85 qm
Verbindungsrollbahn Vorfeld 5 + 6			= 8.427,68 qm
Vorfeld 6			= 52.597,20 qm
Rollbahn Y (Bereich LHT)			= 3.380,26 qm
		Gesamt	= 131.726,99 qm

A	-	18.06.12	Lü.
Index	Änderung	Datum	Name
 Flughafen Hamburg GmbH Real Estate Management / Daten und Dienste			
Planart	: Lageplan		
Darstellung	: Übersicht		
Planinhalt	: Berechnung Flächen Vorfelder, Pisten und Rollbahnen		
Gebäude / Ebene	: -		
Ort / Lage	: FHG - Gelände		
Zeichn.-Nr.	: BEF - U - 03 - Q 001A		Maßstab
erstellt	Stand	geprüft	Blattformat:
18.06.12 / Lü.	18.06.2012		60 / 60

