

Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen Testfeld "Eching Ost" des Bundes

**Abschlussbericht 11. Testphase
November 2014 bis Oktober 2015**

Erstellt von
Technische Universität München
Lehrstuhl für Verkehrstechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch

Andrea Haug M.Sc.

Betreut durch
FGSV AK 3.2.1 „Umfelddatenerfassung in VBA“

München – 21.09.2016

Mitgewirkt haben:

Autobahndirektion Südbayern

München

Abteilung 3 „Betrieb, Verkehr“

Bundesanstalt für Straßenwesen

Bergisch Gladbach

Finanzielle Unterstützung

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

AK 3.2.1 Mitglieder

Dipl.-Ing. (FH) Steffen Meier, Erfurt (Leiter)

Dipl.-Ing. Horst Badelt, Bergisch Gladbach

Dipl.-Ing. Slavica Grošanić, Stuttgart

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Grötsch, München

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hannes, Stuttgart

Andrea Haug M.Sc., München

Dipl.-Ing. Marcus Höpfner, Hannover

Dipl.-Ing. (FH) Michael Kalisch, Leverkusen

Dipl.-Math. Gerhard Kappich, Aachen

TA Herbert Zankl, Nürnberg

Der Bericht darf nur als Ganzes an Dritte weitergegeben werden, eine auszugsweise Weitergabe ist nicht gestattet!

Inhalt

Änderungshistorie	6
Kurzfassung	8
1 Grundlagen.....	10
1.1 Motivation und Projektziele	10
1.2 Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen	11
1.2.1 Erfassung und Nutzung.....	11
1.2.2 Sichtweite	13
1.2.3 Niederschlagsintensität	15
1.2.4 Wasserfilmdicke	15
2 Projektbeschreibung.....	17
2.1 Beteiligte	17
2.2 Testfeld.....	19
2.2.1 Allgemeine Beschreibung.....	19
2.2.2 Kameras	21
2.3 1. Projektphase Dezember 2003 bis Juni 2005.....	22
2.4 2. und 3. Projektphase November 2005 bis Oktober 2007	22
2.5 4. bis 10. Projektphase November 2007 bis Oktober 2014.....	23
2.6 11. Projektphase November 2014 bis Oktober 2015	24
2.7 Messwerte	26
2.7.1 Datengewinnung	26
2.7.2 Datenverarbeitung.....	27
3 Auswertemethodik	28
3.1 Vorgehensweise	28
3.2 Ganglinienvergleich	29
3.3 Referenzmessungen und -beobachtungen.....	31
3.3.1 Problematik.....	31
3.3.2 Beobachtung vor Ort.....	32
3.3.3 Beobachtung mit Webcam	32
3.3.4 Vergleich der Tagesniederschlagssummen.....	36
3.4 Bewertungsschema	39
4 Ergebnisse	40

4.1	Allgemeines	40
4.2	Sichtweite	41
4.2.1	Definition	41
4.2.2	Allgemein	42
4.2.3	Beurteilung.....	45
4.2.4	Ergebnisse.....	66
4.3	Niederschlagsintensität.....	67
4.3.1	Definition.....	67
4.3.2	Beurteilung.....	67
4.3.3	Ergebnisse.....	103
4.4	Wasserfilmdicke.....	104
4.4.1	Definition.....	104
4.4.2	Beurteilung.....	104
4.4.3	Ergebnisse.....	122
4.5	Zustand der Fahrbahnoberfläche	123
4.5.1	Definition.....	123
4.5.2	Beurteilung.....	124
4.5.3	Ergebnisse.....	159
4.6	Niederschlagsart.....	161
4.6.1	Definition.....	161
4.6.2	Beurteilung.....	161
4.6.3	Ergebnisse.....	183
4.7	Lufttemperatur	184
4.7.1	Definition.....	184
4.7.2	Beurteilung / Ergebnisdarstellung.....	184
4.8	Relative Luftfeuchte	186
4.8.1	Definition.....	186
4.8.2	Beurteilung / Ergebnisdarstellung.....	186
4.9	Taupunkttemperatur.....	188
4.9.1	Definition.....	188
4.9.2	Beurteilung / Ergebnisdarstellung.....	189
4.10	Windrichtung.....	191

4.10.1	Definition	191
4.10.2	Beurteilung / Ergebnisdarstellung.....	191
4.11	Windgeschwindigkeit (Mittel).....	192
4.11.1	Definition	192
4.11.2	Beurteilung / Ergebnisdarstellung.....	192
4.12	Windgeschwindigkeit (Spitze)	194
4.12.1	Definition	194
4.12.2	Beurteilung / Ergebnisdarstellung.....	194
4.13	Fahrbahnoberflächentemperatur.....	195
4.13.1	Definition	195
4.13.2	Beurteilung / Ergebnisdarstellung.....	195
4.14	Gefriertemperatur.....	199
4.14.1	Definition	199
4.14.2	Beurteilung / Ergebnisdarstellung.....	199
4.15	Zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse.....	201
5	Zusammenstellung der Beurteilung der Sensoren in allen Testphasen.....	204
6	Fazit und Ausblick	211
7	Abkürzungsverzeichnis.....	213
8	Literatur	215
9	Anhang.....	217
A 1:	Sensoren im Testfeld	217
A 2:	Bilder des Testfelds.....	217
A 3:	Termine der Referenzmessungen im Testfeld.....	217
A 4:	Situationen mit Sichtweitenreduzierung aufgrund Nebel.....	217
A 5:	Situationen zur Überprüfung der Niederschlagsintensität	217
A 6:	Situationen zur Auswertung der Niederschlagsart.....	217
A 7:	Situationen zur Auswertung des Zustands der Fahrbahnoberfläche.....	217
A 8:	Wasserfilmdicke	217
A 9:	Relative Luftfeuchte.....	217
A 10:	Fahrbahnoberflächentemperatur	217
A 11:	Windgeschwindigkeit (Mittel)	217

Änderungshistorie

Der Aufbau des vorliegenden Dokumentes entspricht dem vorangegangenen Bericht mit den Ergebnissen der 10. Testphase (November 2013 bis Oktober 2014) im Testfeld „Eching Ost“ mit dem Titel „Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen – Testfeld 'Eching Ost' – Abschlussbericht 10. Testphase“ (Haug et al.; 2015).

Nachfolgend ist kurz dargestellt, welche relevanten strukturellen und inhaltlichen Unterschiede zwischen dem „Abschlussbericht der 10. Testphase“ und dem vorliegenden „Abschlussbericht der 11. Testphase“ bestehen.

Der Inhalt des ersten Kapitels „Grundlagen“ (Kapitel 1) und des 2. Kapitels „Projektbeschreibung“ wurde im Aufbau nicht verändert. Die Auswertemethodik als Grundlage für die Beurteilung hat sich im Wesentlichen zu den vorherigen Testphasen nicht verändert. In der 10. Testphase ist eine Auswertemethodik für Wasserfilmdicke hinzugefügt worden.

In Kapitel 4 mit den Beurteilungen der jeweiligen Umfeldgrößen wurden mehrere Ereignisse analysiert. Vor jeder Beurteilung der Sensoren ist eine kurze Zusammenstellung der Wartungstermine, Firmware-Versionen und der Datenausfälle während der 11. Testphase vorangestellt.

Kapitel 4.2: Bei der Umfeldgröße „Sichtweite“ wurden alle zur Beurteilung möglichen Situationen beurteilt. Des Weiteren wurde die Häufigkeit der einzelnen Sichtweitestufen ermittelt.

Kapitel 4.3: Für die Beurteilung der Größe „Niederschlagsintensität“ wurden 36 % aller möglichen Niederschlagsereignisse in dieser Testphase genauer betrachtet. Des Weiteren wurde eine Korrelation aller Tagesniederschlagssummen in der 11. Testphase mit den Werten der Referenz Ott Pluviometer dargestellt. Diese zeigen, dass die über die Testphase zufällig und gleichmäßig verteilten ausgewählten Ereignisse, der Bewertung der Gesamtmenge an Niederschlagsereignissen entsprechen. Es wurde ebenfalls die Häufigkeit der einzelnen NI-Stufen dargestellt.

Kapitel 4.4: Für die Umfeldgröße Wasserfilmdicke konnten 2 Tuchttests an einem Tag durchgeführt werden. Eine kurze Beschreibung der Tuchttests findet sich in Kapitel 3 sowie in der „Anleitung zur Ermittlung der Wasserfilmdicke auf der Fahrbahn mittels eines Tuchttests im Umfelddatentestfeld des Bundes“ (GROSANIC, GRÖTSCH, 2010). Des Weiteren wurden die Häufigkeiten der einzelnen WFD-Stufen dargestellt. Da ein direkter Zusammenhang zwischen der Wasserfilmdicke und der Niederschlagsintensität besteht sind für alle beurteilten Niederschlagsereignisse (aus Kapitel 4.3) auch Tagesdiagramme der Wasserfilmdicken im Anhang A 8 dargestellt.

Kapitel 4 „Ergebnisse“ und 6 „Fazit und Ausblick“ wurden für die Messwerte der 11. Testphase von November 2014 bis Oktober 2015 erstellt. Kapitel 5 „Beurteilung der Sensoren in den letzten Testphasen“ zeigt die Beurteilung der Sensoren in den bisherigen Testphasen. Zu beachten ist dabei, dass bei der Beurteilung der Sensoren z.T. unterschiedliche Firmware-Versionen zu Grunde liegen.

Im Anhang findet sich eine Auflistung der Wartungstermine der Hersteller. In einer weiteren Tabelle sind die während der 11. Testphase verwendeten Sensor-Firmware-Versionen zu-

sammengestellt. Eine weitere Tabelle zeigt die Änderungen der jeweiligen Firmware-Updates. Die im Testfeld eingesetzten Sensoren sind in A1 mit ihren technischen Details beschrieben. Die Zeiträume der Sensorausfälle sowie eine kurze Erläuterung dazu finden sich ebenfalls im Anhang A 1.

Kurzfassung

Die Umfelddatenerfassung ist ein wichtiges Element der Verkehrsbeeinflussung durch Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA). Auf Basis aktueller Messwerte für Umfelddaten werden Schaltungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit generiert. Die Wirksamkeit dieser Schaltungen hängt in hohem Maße von der Befolgung durch die Verkehrsteilnehmer ab. Am besten werden nachvollziehbare Anzeigen befolgt, wofür eine hohe Qualität der Verkehrs- und Umfelddaten zwingend erforderlich ist.

Um die Messqualität systematisch zu überprüfen und durch langfristige, wissenschaftliche Begleitung zu erhöhen, wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Stadtentwicklung (BMVI) im Dezember 2003 ein Testfeld für Umfelddatenerfassung eingerichtet. Hier wurden Systeme zur Umfelddatenerfassung unterschiedlicher Hersteller an der Strecke unter realen Bedingungen untersucht und verglichen. Das Testfeld wird durch das BMVBS finanziell und durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) organisatorisch und fachlich unterstützt. Der Betrieb des Testfelds wird durch den Arbeitskreis (AK) 3.2.1 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) betreut und durch die Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik (TUM-VT) wissenschaftlich begleitet. Für den Aufbau und die örtliche Betreuung des Testfeldes ist die Autobahndirektion Südbayern (ABDS) zuständig. Die Hersteller von Umfelddatenerfassungssystemen sind in den Testfeldbetrieb eingebunden, sie unterstützen die Aktivitäten des AK durch die Bereitstellung von Sensoren und Systemen. Durch die Teilnahme am Testfeldbetrieb ergibt sich für die Hersteller die Möglichkeit des Vergleiches der eigenen Systeme mit den Systemen anderer Hersteller, mit Referenzmessungen und Beobachtungen, die zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Sensorik verwendet werden können.

Im Testfeld werden von verschiedenen Herstellern Sensoren zur Erfassung der meteorologischen Größen Niederschlagsintensität, Niederschlagsart, Fahrbahnzustand, Wasserfilmdicke, Lufttemperatur, Taupunkttemperatur, Fahrbahntemperatur, Tiefentemperaturen, Gefriertemperatur, relative Luftfeuchte, Sichtweite, Windrichtung und Windgeschwindigkeiten eingesetzt. Mittels speziell für den Testfeldbetrieb entwickelten Datenbankanwendungen können die Messergebnisse der einzelnen Sensoren gezielt für bestimmte Zeiträume überprüft werden. Durch die Untersuchung der Verfügbarkeit, der Messgenauigkeit sowie der Reaktionszeit bis zum Erkennen von Umfeldereignissen konnten Aussagen zur Güte der geprüften Systeme getätigt werden.

Aufgrund der wissenschaftlichen Betreuung des Testfelds konnte für einige Messgrößen erkannt werden, dass die Messergebnisse unterschiedlicher Sensoren oftmals stark voneinander abweichen. Somit ist eine Erkenntnis des Testfeldes, dass die Messqualität einiger überprüfter Systeme Verbesserungspotenzial aufweist.

Die Sensoren der teilnehmenden Hersteller werden kontinuierlich seit Dezember 2003 im Testfeld untersucht. Die Ergebnisse der Bewertungen aus der 10. Testphase des Zeitraums November 2013 bis Oktober 2014 wurden veröffentlicht (HAUG, BUSCH, 2015). Die dort entwickelte Auswertemethodik wird im vorliegenden Abschlussbericht erneut eingesetzt und weitestgehend analog beschrieben.

Der Abschlussbericht der 11. Testphase beinhaltet die Erkenntnisse des Zeitraums November 2014 bis Oktober 2015. Die Bewertungen basieren auf den während der 11. Testphase im Testfeld erfassten Messwerten.

Bei der Beurteilung nach einem definierten Bewertungsschema wurde die Sensorqualität für den Einsatz in SBA als „geeignet“, „bedingt geeignet“ und „nicht geeignet“ beurteilt. Diese Erkenntnis ist für Sensorhersteller und Betreiber von SBA von wesentlicher Bedeutung.

Durch die Einrichtung und den Betrieb des Testfeldes wurden weitere Hersteller relevanter Sensoren aufmerksam und beteiligten sich am Testfeld. Das so entstandene vergleichsweise große Testfeld bietet beste Voraussetzungen für den Gewinn umfangreicher und gesicherter Erkenntnisse bzgl. der Qualität und des Langzeitverhaltens der Sensoren und forciert die Weiterentwicklung der Sensoren durch die Hersteller. Neben der Bewertung von Sensorsystemen wird nun die Nutzung der Messergebnisse in SBA vertieft untersucht.

1 Grundlagen

1.1 Motivation und Projektziele

Die im Rahmen von Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) auf Bundesfernstraßen ermittelten Umfelddaten stellen Eingangsgrößen für situationsabhängige Schaltvorschläge dar. Mittels dynamischen Warnhinweisen und Geschwindigkeitsbeschränkungen werden die Verkehrsteilnehmer vor potenziell gefährlichen Umfeldbedingungen gewarnt.

Die Schaltungen aufgrund kritischer Fahrbahnzustände, Niederschlag und Sichtweite sind Elemente des Automatikbetriebs von SBA. Auf die Verkehrssicherheit wirken sich Fahrbahn-nässe/-glätte und/oder Niederschlag in zweierlei Hinsicht negativ aus: zum einen wird durch die Nässe auf der Fahrbahn der Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn verringert, wodurch der Bremsweg erhöht und die aufnehmbaren Radialkräfte bei Kurvenfahrten reduziert werden. Zum anderen wird durch Niederschlag und Sprühfahnenbildung die Sicht des Kraftfahrers beeinträchtigt. Diesen negativen Einflüssen wird durch die Anzeige einer angepassten zulässigen Höchstgeschwindigkeit und ggf. von Warnhinweisen mittels Wechselverkehrszeichen (WVZ) begegnet.

Eingeschränkte Sicht ist für Verkehrsteilnehmer gefährlich, da Hindernisse bei zu hoher Geschwindigkeit nicht rechtzeitig erkannt werden können. Die Wahrnehmung möglicher Gefahrensituationen verzögert sich, woraus Auffahrunfälle resultieren können. Durch die Anzeige von Warnhinweisen und zulässigen Höchstgeschwindigkeiten soll der Anhalteweg eines Fahrzeuges an die vorhandene Sichtweite angepasst und so ein Auffahren auf verspätet erkannte Hindernisse vermieden werden.

Witterungsbedingte Schaltungen können nur dann einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit erzielen, wenn die Anzeigen der SBA durch die Verkehrsteilnehmer befolgt werden. Hierfür ist es wiederum erforderlich, dass die stationär erfassten Umfelddaten eine hohe Qualität aufweisen und die aktuellen Umfeldbedingungen zeitnah im System abgebildet werden. Nur so kann in Abhängigkeit der vorliegenden Verkehrs- und Umfeldsituationen eine sinnvolle und wirksame Beeinflussung des Verkehrsablaufs stattfinden. Die Qualität der Systeme zur Umfelddatenerfassung in SBA wurde vor dem Projekt „Testfeld für Umfelddatenerfassung“ nicht systematisch und vergleichend untersucht. Die Sensorqualität wurde bisher sporadisch, meist von SBA-Betreibern überprüft. Im täglichen Betrieb der Umfelddatenerfassung werden Fehler jedoch häufig nicht oder erst spät bzw. zufällig erkannt.

Aufgrund der Wichtigkeit der Umfelddatenerfassung und des für die Praxis zu erwartenden Nutzens wurde im Arbeitskreis (AK) 3.2.1 "Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen" der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) im Jahr 2003 die Notwendigkeit für den Aufbau eines Testfeldes für Systeme zur Erfassung der Umfeldsituation festgestellt und der Aufbau eines solchen Testfeldes beschlossen. Witterungsereignisse sind inhomogene und instationäre Ereignisse, deren genaue Ausprägung schwer überprüfbar ist. Um die Umfeldgrößen, bzw. die Sensoren zu deren Erfassung praxisnah und längerfristig zu untersuchen wird seit 2003 bei München ein Testfeld für Umfelddatenerfassung betrieben. In diesem Testfeld werden Umfelddatensensoren verschiedener Hersteller, mit zum Teil stark variierenden Messverfahren zur Bestimmung ein

und derselben Messgröße, unter gleichen Bedingungen untersucht und verglichen. Dadurch sollen die Erfassungssysteme bzgl. ihrer Eignung für den Einsatz in SBA eingestuft und gleichzeitig die Erfassungssysteme (Hardware und Software) verbessert werden. Diese Vorgehensweise erlaubt die Ableitung von Anforderungen für Ausschreibung, Abnahme und Betrieb von Umfoldsensoren.

Der Nutzen des Projekts liegt für die Betreiber von SBA in einer verbesserten, einheitlichen und wirtschaftlichen Erfassung von Umfelddaten. Für die Verkehrsteilnehmer ergeben sich hieraus nachvollziehbare und plausible Schaltungen, was durch entsprechende Akzeptanz zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit führt.

1.2 Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen

1.2.1 Erfassung und Nutzung

Die Erfassung und Nutzung der Umfelddaten im Rahmen der SBA ist in dem Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen – MARZ (BASt, 1999) und den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen – TLS (BASt, 2012) festgelegt. Neben verbindlichen Anforderungen an die Funktionen und Schnittstellen der Funktionsebenen wird folgende Architektur für SBA definiert:

- Verkehrsrechnerzentrale (VRZ),
- Unterzentrale (UZ) und
- Streckenstation (SSt) mit Steuermodulen (SM) und Eingabe-/Ausgabekonzentratoren (EAK) einschließlich Datenerfassungsgerät (DEG) und Datenausgabegerät (DAG).

Zwischen den Ebenen erfolgt die Kommunikation über eine Bus-Topologie.

Die Wetter- und Umfelddaten werden in der TLS der Funktionsgruppe (FG) 3 und den entsprechenden DE (Daten-Endgeräte-Kanal) –Typen zugeordnet, die erfassten Daten sind binär kodiert. Im Regelbetrieb erfolgt die Abfrage durch reines Polling (SSt → Detektor) mit einer Übertragung der Messwerte im 1-Minutenintervall.

In Tabelle 1 sind die in den TLS definierten Umfelddaten mit den gebräuchlichen und im vorliegenden Bericht verwendeten Abkürzungen, den DE-Typen und deren Nutzung in einer SBA zusammengefasst.

Messgröße	Abkürzung	DE-Typ	Nutzung in SBA
Lufttemperatur	LT	48	Zur Unterscheidung zwischen Sommer und Winter (unterschiedliche Steuerparameter), zur Bestimmung der Nachlaufzeit bei Nässeschaltungen, als Eingangsgröße für die Empfehlung einer Glätteschaltung
Temperatur der Fahrbahnoberfläche	FBT	49	Bei der Ermittlung von Fahrbahnglätte (Schaltvorschlag)
Restsalzgehalt	RS	52	Bei der Ermittlung von Fahrbahnglätte (Schaltvorschlag)
Niederschlagsintensität	NI	53	Über Schwellenwerte direkte Berücksichtigung in den Logiken für die automatische Steuerung von SBA
Relative Luftfeuchte	RLF	55	Zur Bestimmung der Nachlaufzeit bei Nässeschaltungen, zur Plausibilisierung von Sichtweiten- und Niederschlagsmessungen
Windrichtung	WR	56	Information, Windwarnanlagen Einschätzung von Schneeverwehungen
Windgeschwindigkeit (Mittel)	WGM	57	Information, Einschätzung von Schneeverwehungen
Schneehöhe	SH	58	(gemäß TLS optional zu messen, ohne Relevanz für die Steuerung. Wird nicht weiter betrachtet)
Sichtweite	SW	60	Direkte Berücksichtigung über Schwellenwerte in den Logiken für die automatische Steuerung von SBA
Helligkeit	HK	61	Steuerung der Helligkeit der WVZ
Windgeschwindigkeit (Spitze)	WGS	64	Information, Windwarnanlagen
Gefriertemperatur	GT	65	Bei der Ermittlung von Fahrbahnglätte (Schaltvorschlag)
Taupunkttemperatur	TPT	66	Erkennung von Reifglätte
Bodentemperatur in Tiefe 1	TT1	67	Bei der Prognose von Fahrbahnglätte (Schaltvorschlag)
Bodentemperatur in Tiefe 3	TT3	69	Bei der Prognose von Fahrbahnglätte (Schaltvorschlag)
Zustand der Fahrbahnoberfläche	FBZ	70	Bei der Ermittlung von Fahrbahnglätte (Schaltvorschlag)
Niederschlagsart	NS	71	Information und Plausibilisierung, Einschätzung der Glättegefahr
Wasserfilmdicke	WFD	72	Über Schwellenwerte direkte Berücksichtigung in den Logiken für die automatische Steuerung von SBA

Tabelle 1: Messgrößen gemäß TLS (BASt, 2012) und deren Nutzung in SBA

Die sog. Primärgrößen

- Niederschlagsintensität
- Wasserfilmdicke
- Sichtweite

und weitere Messgrößen (zur Plausibilisierung der Primärgrößen und als Stützgrößen für Prognosemodelle) werden im Wissenspapier „Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen“ des FGSV AK 3.2.1 (FGSV, 2010) beschrieben. In dem Dokument werden zudem die auf meteorologischen Zusammenhängen basierenden Plausibilitätsüberprüfungen der Messgrößen, die Ermittlung der Zustände „Nässe“, „Sichtweite“ und „Glätte“ sowie die Schaltalgorithmen dargestellt. Erste Anforderungen an Umfeldgrößen zur Nässeerfassung wurden im „Merkblatt für Nässeerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen“ (FGSV, 2002) definiert.

Nachfolgend werden die Primärgrößen und ihr Einfluss auf den Verkehr beschrieben. Die Sensoren werden anhand der Anforderungen, die sich für die Nutzung in Streckenbeeinflussungsanlagen ergeben bewertet. Spezielle Anforderungen für die Nutzung in Glättemeldeanlagen und für den Winterdienst werden hier nicht betrachtet.

1.2.2 Sichtweite

Einschränkungen der Sichtweite können durch unterschiedliche Ereignisse hervorgerufen werden:

Eingeschränkte Sicht aufgrund von Niederschlag

Niederschlag führt, insbesondere bei Nacht, zu einer zum Teil erheblichen Sichteinschränkung für den Kraftfahrer. Dies resultiert einerseits aus den Regentropfen in der Luft und andererseits aus dem Wasser auf der Windschutzscheibe, welches sich gegebenenfalls mit Schmutz, Öl oder ähnlichem vermischt. Für beide Fälle kommt es darüber hinaus zu einer verstärkten Blendung. Untersuchungen von MORRIS et al. (1977, aus SCHARSCHING, 1988) zufolge hängt die Beeinträchtigung der Sicht bei Regen weitgehend von der Niederschlagsintensität ab. Bei Nacht spielt die Tröpfchengröße eine noch bedeutendere Rolle als die Stärke des Regens. So bewirken besonders viele kleine Tröpfchen, z. B. bei Nieselregen mit Durchmesser kleiner als 0,5 mm, eine Verringerung des Kontrastes und der Strukturierung des Hintergrundes, wodurch es zu einer Sichtweitenbeschränkung auf bis unter 200 m kommen kann. Bei größeren Tröpfchendurchmessern liegt die Sichtweite hingegen kaum unter 3000 m. In stärkerem Ausmaß als bei Regen beeinträchtigen auch bei Schneefall mehrere kleine Flocken die Sicht bei gleicher Niederschlagsintensität stärker als eine geringere Anzahl großer Flocken. In Verbindung mit Wind (Schneetreiben) wird die Sicht noch weiter verschlechtert. Hierbei wird je nach Windstärke auch noch der am Boden liegende Schnee (falls vorhanden) mit aufgewirbelt, was bei Sturm und starkem Schneefall sogar zu Sichtweiten unter 10 m führen kann. Bei vorhandener Schneedecke ist überdies auch die Wahrnehmung der Umwelt verändert, da Konturen und Kontraste schwerer zu erkennen sind.

Eingeschränkte Sicht aufgrund von Fahrbahnnässe (Sprühfahnen)

Auf nasser Fahrbahn wird die Sicht durch Sprüh- und Spritzwasser vorausfahrender Fahrzeuge beeinträchtigt. Für die Bildung von Sprühwasser wird das Wasser zuerst vom Reifen aufgenommen und dann in die Luft gewirbelt (Sprühfahnen), bei Spritzwasser wird das Wasser aus der Kontaktzone zwischen Reifen und Fahrbahn verdrängt. Einfluss auf das Ausmaß der Bildung von Sprüh- und Spritzwasser haben Fahrgeschwindigkeit, Wasserfilmdicken, sowie Fahrbahn- und Reifenoberfläche. Für die Steuerung von SBA kann diese Art von Sichtweitenreduktion nicht direkt gemessen werden, gerade sie stellt jedoch ein großes Risiko für die Verkehrssicherheit dar. Die Sichteinschränkung durch Sprühfahnen wird i. d. R. durch die Nässeerfassung abgedeckt, so dass diese hier nicht gesondert betrachtet wird.

Eingeschränkte Sicht aufgrund von Nebel

Für den Verkehrsteilnehmer „plötzlich“ eintretende Sichtweitenreduktionen werden häufig durch Nebel hervorgerufen. Nebel wird meteorologisch als eine auf dem Boden aufliegende Wolke aus Wassertröpfchen mit Durchmessern von 0,1 µm bis 50 µm und teilweise schwarzem Kondensationskern bezeichnet. Es wird zwischen Advektionsnebel und Strahlungsnebel unterschieden:

Advektionsnebel besteht aus driftenden Nebelmassen, die entstehen, wenn warme Luft über kalten Boden streicht und es dabei zu einer Kondensation der Luftfeuchtigkeit kommt. Strahlungsnebel tritt am häufigsten auf und entsteht, wenn es bei hoher Luftfeuchtigkeit zu einer stärkeren Abkühlung des Bodens als der Luft kommt (z. B. nachts) und dadurch die Luftfeuchte kondensiert. Der entscheidende Unterschied ist, dass Advektionsnebel wandert, wohingegen Strahlungsnebel nur lokal begrenzt auftritt. Die Wirkung von Nebel auf die Sichtweite wird von MANGOLD et al. (1996) wie folgt beschrieben: viele kleine in der Luft befindliche Aerosole werfen einen Schatten oder decken Bereiche aus dem Sichtfeld des Verkehrsteilnehmers vollständig ab. Zusätzlich wird das Licht an diesen Wassertröpfchen reflektiert und gestreut. Dies verursacht die Einschränkung der Sicht für den Fahrer. Zudem kommt die subjektive Einschätzung der Sichtweite durch den Fahrer hinzu, was im Prinzip für alle Niederschlagsereignisse gültig ist. Für die streckenbezogene Erfassung von Nebel, wie sie für die Steuerung von SBA benötigt wird, besteht die Problematik, dass Nebel auch auf nur kurzen Abschnitten, jedoch mit sehr starker Sichtweitereinschränkung auftreten kann und deshalb von Messgeräten, die in zu großem Abstand positioniert sind, eventuell überhaupt nicht erfasst wird.

Die Sichtweite wird im Hinweispapier für die Erfassung von Umfelddaten (FGSV, 2010) hysteresebasiert in (mindestens) 6 Sichtweistestufen klassifiziert, als Grundversorgung werden folgende Werte vorgeschlagen:

Sichtweitenstufe	SW-Stufe (ein)	SW-Stufe (aus)
SW 0	> 400 m	-
SW 1	≤ 400 m	> 500 m
SW 2	≤ 250 m	> 300 m
SW 3	≤ 120 m	> 150 m
SW 4	≤ 80 m	> 100 m
SW 5	≤ 50 m	> 60 m

Tabelle 2: Sichtweitenstufen nach Hinweispapier für die Erfassung von Umfelddaten (FGSV, 2010)

Basierend auf den gemessenen Sichtweiten ist jeweils eine dieser Stufen als gültig zu ermitteln.

1.2.3 Niederschlagsintensität

Die Niederschlagsintensität ist ein wesentlicher Parameter bei der Warnung der Kraftfahrer vor Nässe. Gemäß den Hinweisen zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in SBA (FGSV, 2010) bzw. dem Merkblatt "Nässeerfassung in SBA" ist die Messgröße Niederschlagsintensität bei der Steuerung zu berücksichtigen. Auf Grundlage der gemessenen Intensitäten werden durch Schwellenwerte Niederschlagsstufen festgelegt.

Im Hinweispapier für Umfelddaten (FGSV, 2010) werden Hysterese basierte Grenzwerte zur Klassifizierung der NI-Stufen vorgeschlagen. In bestehenden Anlagen sind teilweise andere, an örtliche Begebenheiten und Anlagenspezifika angepasste Werte, versorgt.

Niederschlagsstufe	NI-Stufe (ein)	NI-Stufe (aus)
NI 0	≥ 0,0 mm/h	
NI 1	≥ 0,3 mm/h	< 0,2 mm/h
NI 2	≥ 1,2 mm/h	< 1,0 mm/h
NI 3	≥ 5,0 mm/h	< 4,0 mm/h
NI 4	≥ 12,0 mm/h	< 10,0 mm/h

Tabelle 3: Niederschlagsstufen nach Hinweispapier für die Erfassung von Umfelddaten (FGSV, 2010)

1.2.4 Wasserfilmdicke

Die Wasserfilmdicke wird durch drei wesentliche Merkmale bestimmt (PETRACZEK, 1975):

- Witterungsverhältnisse (Niederschlagsintensität, Niederschlagsdauer, Temperatur, Wind und Luftfeuchtigkeit);
- Fahrbahneigenschaften (Neigung, Oberflächentextur und Unebenheiten);
- Verkehrseinflüsse (Reibungswärme, Luftbewegung, Versprühen des Wassers).

Für den Einfluss der beiden erstgenannten Merkmale gibt es eine Vielzahl mathematischer Ansätze zur Bestimmung der Wasserfilmdicke.

Für verkehrstechnische Untersuchungen ist neben der Wasserfilmdicke auch die Dauer der Fahrbahnnässe von Bedeutung. Da die Dauer der Abtrocknungsphase der Fahrbahnoberfläche von weiteren Einflüssen abhängt, sind neben der Niederschlagsdauer und -intensität

zudem die relative Luftfeuchte, die Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit und die Verkehrsbelastung relevant. Nach LANG (1991, bei KLOTZ 2002) ist Nässe auf der Fahrbahn häufig doppelt so lange wie das eigentliche Niederschlagsereignis vorhanden.

Das Hinweispapier für die Erfassung von Umfelddaten (FGSV, 2010) sowie das Merkblatt zur Nässeerfassung beinhalten Vorschläge für hysteresebasierte Schwellenwerte zur Klassifizierung von WFD-Stufen.

Wasserfilmdickenstufe	WFD-Stufe (ein)	WFD-Stufe (aus)
WFD 0	$\geq 0,0$ mm/h	
WFD 1	$\geq 0,2$ mm/h	$< 0,1$ mm/h
WFD 2	$\geq 0,5$ mm/h	$< 0,4$ mm/h
WFD 3	$\geq 1,2$ mm/h	$< 1,0$ mm/h

Tabelle 4: Wasserfilmdickenstufen nach Hinweispapier für die Erfassung von Umfelddaten (FGSV, 2010)

Nach den "Hinweisen für die Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen" (FGSV 2010) wird aus der Niederschlagsintensitätsstufe und der Wasserfilmdickenstufe eine Matrix gebildet, aus der die entsprechende Nässeschaltung der SBA abgeleitet wird.

2 Projektbeschreibung

2.1 Beteiligte

Die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) ermöglichte den Aufbau und Betrieb des Testfeldes. Aufgrund des bundesweiten Interesses und der Bedeutsamkeit der Thematik wurde im Auftrag des BMVI der AK 3.2.1 der FGSV mit dem Aufbau und der Organisation eines Testfeldes für Umfeld-datenerfassung betraut. Der AK 3.2.1 bzw. seine Mitglieder übernehmen dabei die Rolle eines beratenden Organs und bringen die Ergebnisse in das entstehende Hinweispapier ein. Der reibungslose Betrieb des Testfeldes wurde nur durch die enge Zusammenarbeit folgender Beteiligter ermöglicht:

- Hersteller für Umfeld-Sensorik
 - Adolf Thies GmbH & Co. KG, Göttingen
 - Boschung mecatronic GmbH, Heppenheim
 - Lambrecht meteo GmbH, Göttingen
 - G. Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH, Fellbach
 - Ott Hydromet GmbH, Kempten
 - Sick AG, Analysen- und Prozessmesstechnik, Reute
 - Ingenieurbüro Spies GbR, Hohenwart
 - Vaisala GmbH, Hamburg
- FGSV AK 3.2.1 „Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen“
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
- Autobahndirektion Südbayern (ABDS)
- Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik (TUM-VT).

Grundlage des Testfeldes bilden die Sensoren zur Erfassung der Umfelddaten, die von den Herstellern zur Untersuchung bereitgestellt wurden. Im vorliegenden Bericht werden Vertriebsfirmen, Systemintegratoren und Sensorhersteller allgemein als „Hersteller“ bezeichnet. Sie stellten ihre Systeme für das Testfeld zur Verfügung und schlossen diese an die Rechner an. Bei Bedarf führten die Hersteller Arbeiten vor Ort, wie Behebung von Problemen mit der Sensorik und Einspielen und Testen notwendiger Software-Updates durch. Die Termine dazu sind im Anhang vermerkt.

Durch die Mitgliedschaft im AK 3.2.1 ist das Projekt durch die BASt betreut. Die BASt ist ein technisch-wissenschaftliches Institut und bzgl. Straßenwesen ein fachliches Organ des BMVI. Die BASt arbeitet eng mit der FGSV zusammen. Dies ist ein gemeinnütziger technisch-wissenschaftlicher Verein zur Weiterentwicklung der technischen Erkenntnisse im gesamten Straßen- und Verkehrswesen. Die FGSV gliedert sich in Lenkungsausschüsse und Fachgremien (Arbeitsausschüsse AA und Arbeitskreise AK). Ziel ist die Bearbeitung aktueller und wichtiger Themen aus dem Bereich des Verkehrswesens und das Erarbeiten und Veröffentlichen entsprechender Merkblätter und Regelwerke.

Der AK „Nässeerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen“ erhielt einen neuen Arbeitsauftrag und wurde in AK "Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen" umbenannt. Zusätzlich zur Nässeerfassung werden nun weitere Umfelddaten, insbesondere Sichtweite und Glätte behandelt. Ziel ist die Erarbeitung eines Hinweispapieres zur Unterstützung der Planung und des Betriebs von SBA im Hinblick auf die Umfelddatenerfassung. Dabei sollen sowohl Anforderungen an die Erfassung (Qualität und Anordnung der Sensoren) als auch die algorithmische Weiterverarbeitung auf der Ebene der Unterzentrale erstellt werden.

Aus den im folgenden Abschnitt genannten Gründen wurde für die Errichtung des Testfeldes der Großraum München im Zuständigkeitsbereich der ABDS gewählt. Die Fläche des Testfeldes und die Infrastruktur wurden durch die ABDS zur Verfügung gestellt. Weitere Zuständigkeitsbereiche der ABDS sind der Betrieb des Testfeldes, die Organisation der Tiefbauarbeiten, die Energieversorgung und die Anbindung der Sensoren an die Behausung.

TUM-VT betreut das Testfeld verkehrswissenschaftlich und ist zudem mit der Datenübernahme, -aufzeichnung und -auswertung, Beobachtungen vor Ort und der Kommunikation mit den Herstellern betraut.

Die Zuständigkeiten der Hersteller, der ABDS und TUM-VT wurden vor Projektbeginn im Rahmen einer Aufgabenteilung vereinbart.

2.2 Testfeld

2.2.1 Allgemeine Beschreibung

Ausschlaggebend bei der Wahl des Testfeldstandortes waren einerseits die Wetterverhältnisse, da sämtliche relevanten Umfeldereignisse die zu Schaltungen führen können in allen Ausprägungen untersucht werden sollten. Zusätzlich sollte zudem die Möglichkeit gegeben sein, den Aufbau und den Betrieb durch vorhandene Infrastruktur (Energie- und Datenanbindung) und Verknüpfungen mit der Umfelddatenerfassung in bestehenden SBA möglichst optimal abzuwickeln.

Das Testfeld für Umfelddatenerfassung befindet sich seit September 2004 bei Km 15,650 an der BAB A 92 (siehe Abbildung 1). Hier beträgt die Längsneigung der Betonfahrbahn $-0,1\%$, die Querneigung beläuft sich auf $-2,4\%$. Für die PCs zur Datenaufzeichnung steht am Querschnitt eine Behausung zur Verfügung.

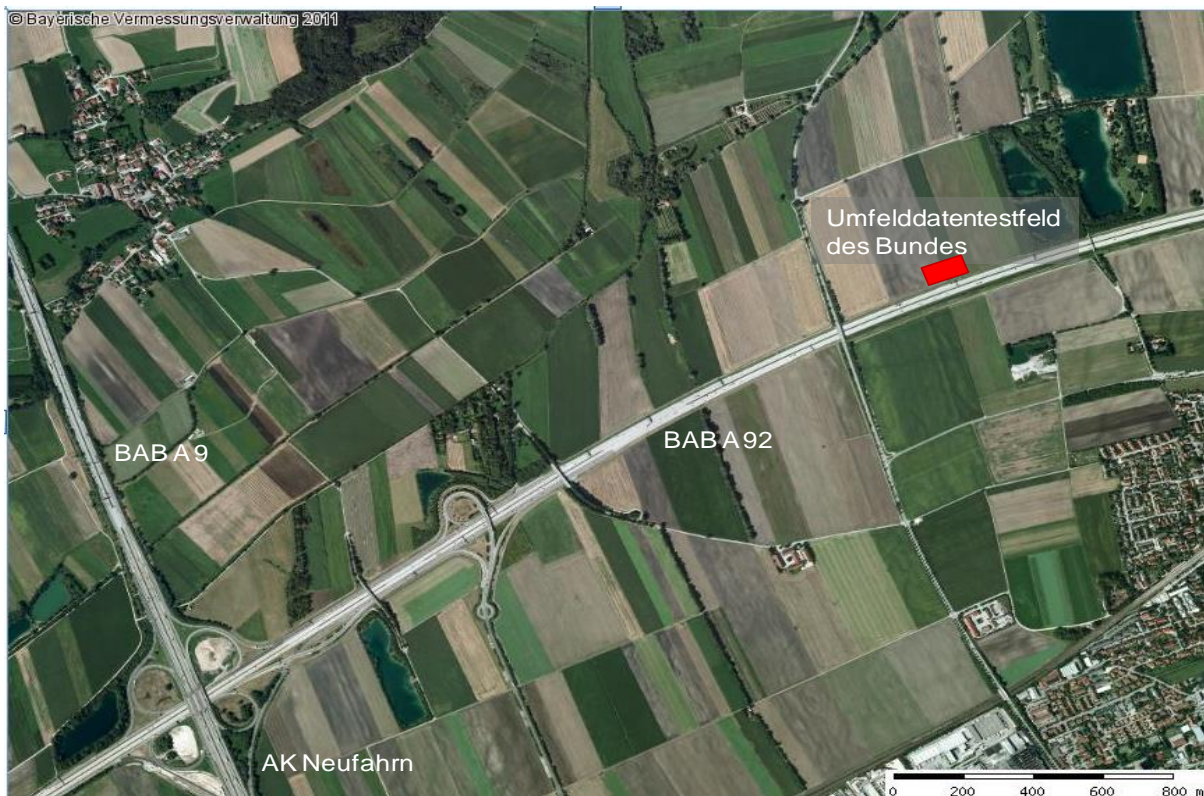


Abbildung 1: Lage des Testfeldes "Eching Ost" (Quelle: <http://www.geodaten.bayern.de/BayernViewer2.0>)

Die geprüften Sensoren befinden sich neben, in und über der Fahrbahn in Richtung des Autobahnkreuzes Neufahrn/München in unmittelbarer Nähe des Anzeigequerschnitts (AQ) 92.580.

Die folgende Abbildung stellt eine Schemaübersicht des Testfeldes für Umfelddatenerfassung „Eching Ost“ dar.

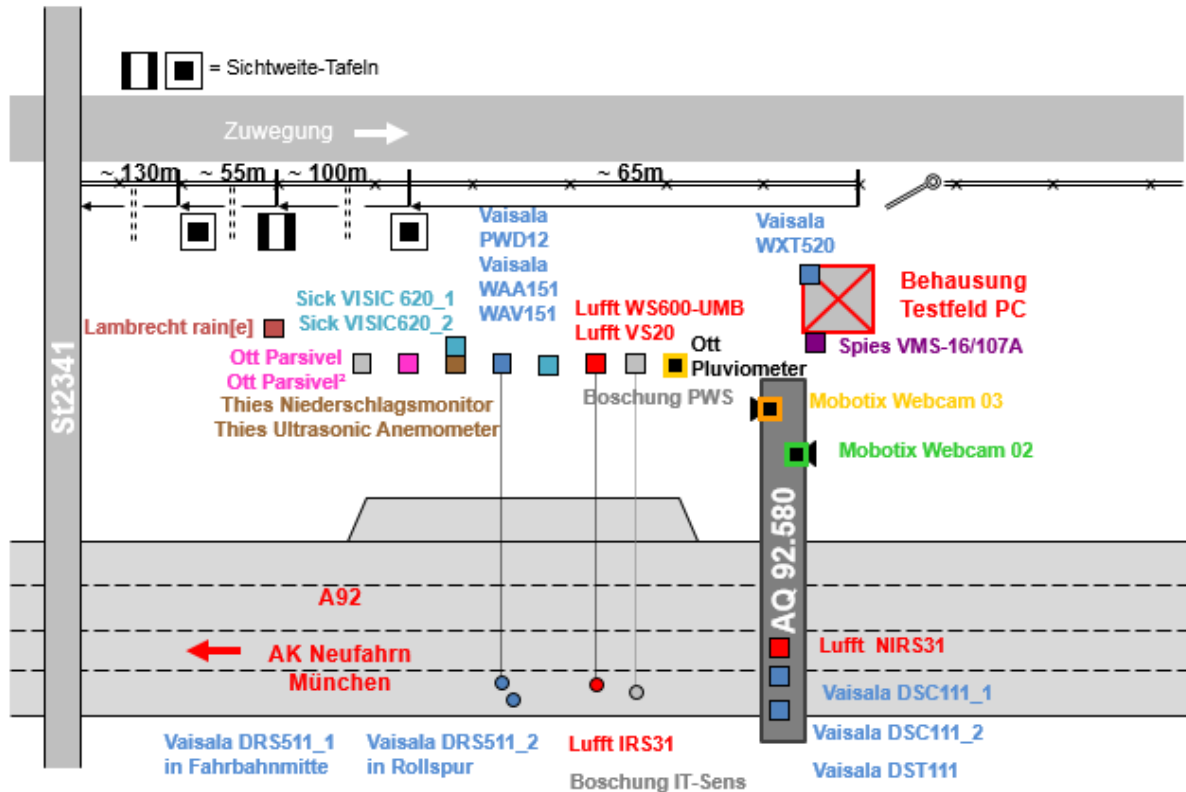


Bild nicht maßstabsgetreu.

Abbildung 2: Schemaübersicht des Testfeldes "Eching Ost"

Die genaue Position der Messflächen der Sensoren zur Bestimmung der Fahrbahntemperatur, des Fahrbahnzustands sowie der Wasserfilmdicke sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

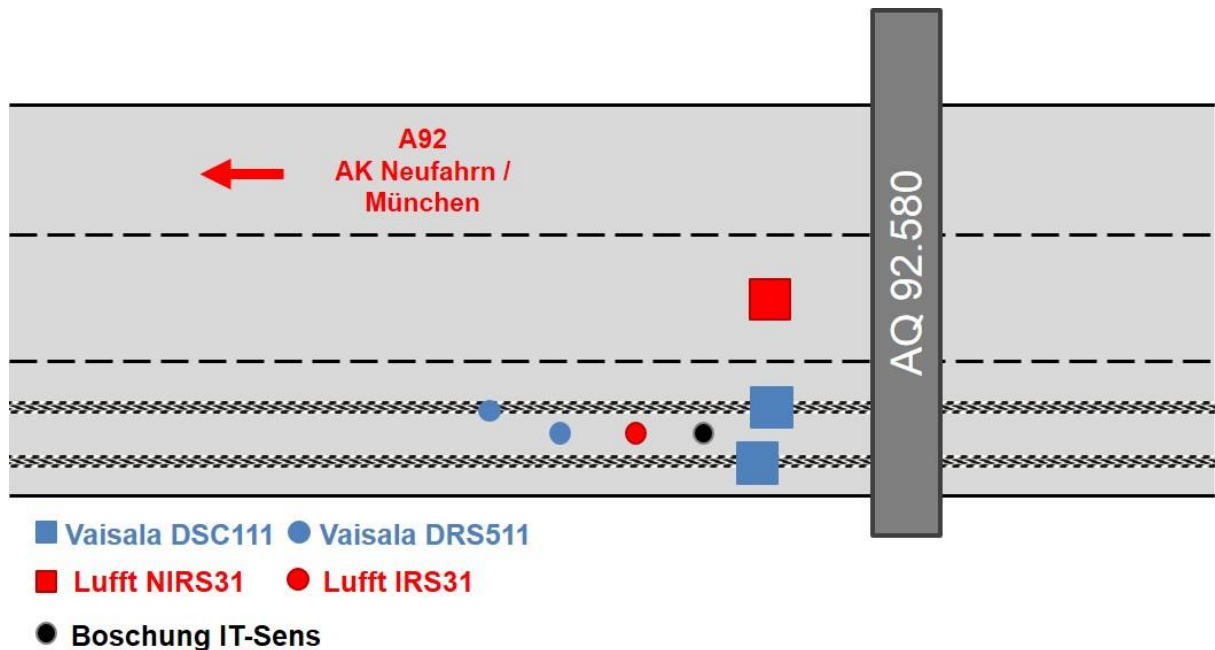


Abbildung 3: Schemaübersicht der Messflächen für Fahrbahngrößen im Testfeld

Abbildung 4 zeigt einen Blick von der Schilderbrücke des AQ auf das Testfeld, weitere Fotos sind Anhang A 1 zu entnehmen.



Abbildung 4: Testfeld (Ansicht von AQ, 08.12.2011)

2.2.2 Kameras

Ein wesentlicher Bestandteil des Testfeldes sind zwei Webcams zur kontinuierlichen Beobachtung des Testfeldes. Dabei handelt es sich um digitale Kameras des Herstellers Mobotix, die im 1-Minuten-Intervall per FTP (File Transfer Protocol) Bilder auf einen Webserver übertragen. Anhand der Bilder können sowohl Auswertungen (siehe Abschnitt 3.3) durchgeführt werden, als auch die Vorgänge im Testfeld lückenlos dokumentiert werden.

Die Übertragung der Videobilder und die Ansteuerung der Kameras erfolgt über eine eigens zur Verfügung gestellte Datenleitung mit Netzwerkinterface.

Technische Eigenschaften der Kameras sind:

- VGA-Auflösung (640 x 480 Bildpunkte).
- Bildspeicherung via FTP direkt auf einen Server des Lehrstuhls für Verkehrstechnik der Technischen Universität München.
- Pro Minute Speicherung eines Bildes je Kamera (analog der Datenerfassung der Umfeldsensorik).
- Online-Abgleich der Systemzeit der Kameras mit einem Zeitserver.

Die aktuellen Bilder werden auf der TUM-VT Homepage angezeigt¹. Der Zeitstempel der beiden Webcams (im Dateinamen und im Bild eingeblendet) wird von den Kameras selbst vergeben. Bei den durchgeführten Messungen vor Ort wird ebenfalls eine Funkuhr als Referenz genutzt, so dass auch hier eine minutengenaue Zuordnung möglich ist.

Basierend auf den Erfahrungen der ersten Testphase wurde für beide Webcams die Blickrichtung AK Neufahrn / München gewählt, da sich zeigte, dass die Kameras mit Blick über

¹ Link: <http://www.vt.bgu.tum.de/umfelddaten/>

das Testfeld besser als Referenz geeignet sind. Alle Webcams überblicken das Testfeld aus Höhe des Geländers des AQ 92.580 (ca. 6,5 m über der Fahrbahnoberfläche).

2.3 1. Projektphase Dezember 2003 bis Juni 2005

In der ursprünglichen Planung war für das Projekt "Umfelddatentestfeld" eine Laufzeit von Dezember 2003 bis Juni 2005 vorgesehen, wobei die Messungen von Januar 2004 bis April 2005 laufen sollten. Projektziel war die Beurteilung der von den Herstellern bereitgestellten Sensoren hinsichtlich Plausibilität, Reaktionsgeschwindigkeit und Langzeitverhalten. Es wurde vereinbart, die Projektergebnisse nicht zu veröffentlichen. Die Hersteller konnten die gewonnenen Erkenntnisse zur Optimierung ihrer Systeme nutzen.

Als Standort für das Testfeld wurde aufgrund der Umfeldcharakteristika, der vorhandenen Infrastruktur und der guten Zugänglichkeit an der A 9 Richtung München nahe der Anschlussstelle (AS) "Garching Süd" bei km 521,000 gewählt. Eine weitere Anpassung des Projektplans wurde im Zuge des achtstreifigen Ausbaus (4 Fahrstreifen je Richtung) der BAB A 9 erforderlich.

Das Testfeld wurde als "offenes Testfeld" betrieben, d. h. die Hersteller hatten in Absprache und im Beisein von TUM-VT die Möglichkeit, an ihren Systemen Änderungen vorzunehmen.

Im Juli und August 2004 wurde aufgrund des o. g. Ausbaus vom AK 3.2.1 der Umzug des Testfeldes beschlossen. Als neues Testfeld wurde der Standort an der AS Eching Ost der BAB A 92 Richtung München gewählt. Das neue Testfeld bietet ähnliche Umfeldcharakteristika, insbesondere ebenso häufig auftauchende (Früh-)Nebel wie in Garching Süd. Die vor Ort schon vorhandene Infrastruktur in Form von Energieversorgung, Datenleitungen, Schilderbrücke und Behausung für das Equipment sowie eine Zuwegung zum Testfeld erlaubte einen ähnlichen Aufbau der Geräte sowie eine Fortführung der Auswertungen in derselben Art wie am Standort Garching Süd. Von Vorteil ist, dass der Autobahnabschnitt weniger stark befahren ist, so dass die für Installation der Bodensonden und Sprühkastentests/Tuchtests notwendigen Sperrungen den Verkehrsablauf weniger stark beeinträchtigen als in Garching Süd.

Zu Beginn waren 7 Hersteller mit Sensoren für 11 unterschiedliche Messgrößen am Testfeld beteiligt, diese Zahlen erhöhten sich zum Ende auf 10 Hersteller mit Sensoren für 19 Parameter. Somit stieg die Gesamtzahl der Sensoren im Laufe der Testphase von 59 auf 74. Bemerkenswert ist insbesondere, dass teilweise Technologien und Systeme aus anderen Disziplinen (Agrarmeteorologie, Flugzeugtechnik) integriert wurden. Insgesamt wird so das Spektrum der Technologien und der potenziellen Systemlieferanten größer.

Um sämtliche Systeme für einen angemessenen Zeitraum prüfen zu können, war die Verlängerung um eine zweite Testphase nötig.

2.4 2. und 3. Projektphase November 2005 bis Oktober 2007

Im Anschluss an die 1. Testphase wurden folgende Änderungen im Projektablauf festgelegt: TUM-VT stellte den Herstellern innerhalb des Folgemonats die Bilder der Webcams, die jeweiligen Messwerte und anonymisierte Diagramme zur Verfügung. Bei den Diagrammen

handelte es sich i. d. R. um tageweise Darstellungen der Messwertverläufe für jede Messgröße, wobei die Sensoren anonymisiert bezeichnet wurden und jedem Hersteller nur die Darstellung seiner eigenen Systeme bekannt war. Durch diese Vorgehensweise konnte jeder Hersteller die Messwertgüte seiner Systeme zeitnah mit den übrigen Sensoren vergleichen und ggf. Anpassungen vornehmen. Erfolgte von Seiten des Herstellers keine Rückmeldung zu den Auswertungen, ging TUM-VT davon aus, dass die Sensoren aus Sicht des Herstellers kein Verbesserungspotenzial aufweisen.

Detaillierte Auswertungen werden jedem Hersteller als Zwischenergebnisse in den sog. Quartalsauswertungen zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich um sensorspezifische Auswertungen der Messwertgüte jeweils über den Zeitraum von drei Monaten, die für jeden Hersteller erstellt und ggf. mit diesen diskutiert werden.

Diese Vorgehensweise wurde vorab zwischen allen Beteiligten vereinbart.

Im Laufe der Projektphase wurden folgende Anpassungen vorgenommen:

- Die tageweisen Auswertungen der Messgröße NI wurden um die sog. NI-Details ergänzt. Dabei handelt es sich um Darstellungen einzelner Niederschlagsereignisse, so dass der zeitliche Verlauf der Messgrößen unterschiedlicher Sensoren besser erkennbar ist.
- Die Auswertungen der SW wurden bei auffälligen Situationen, bzw. vereinzelt Messwertausreißern um dazugehörige Bilder der Webcams ergänzt.

Die Ergebnisse der 2. und 3. Testphase wurden unter Nennung der Herstellernamen und Sensorbezeichnungen veröffentlicht (DINKEL et al., 2007; DINKEL et al., 2008).

2.5 4. bis 10. Projektphase November 2007 bis Oktober 2014

Um die kontinuierliche Beobachtung der Systeme im Dauerbetrieb fortzuführen, zur Berücksichtigung von Neuentwicklungen im Testfeld und gemeinsam mit den Herstellern die Messqualität zu verbessern, war die Verlängerung um eine vierte Testphase erforderlich. Dabei wurde das Projekt analog zur 3. Testphase durchgeführt und vorab zwischen allen Beteiligten abgestimmt.

Im Unterschied zu den vorherigen Testphasen wurden in den monatlichen Auswertungen der Sensoren die Hersteller nicht mehr anonymisiert dargestellt. Des Weiteren wurden die monatlichen Auswertungen der Sichtweiten um detaillierte Darstellungen der Sichtweitereignisse erweitert. Diese SW-Details erfolgen analog den NI-Details sowie repräsentative Webcam Bilder. Die Ergebnisse der 4., 5., 6. 7. und 8. Projektphase sind in (DINKEL et al., 2009; GROSANIC, BUSCH, 2010; GROSANIC, BUSCH, 2011; GROSANIC, BUSCH, 2012; GROSANIC, BUSCH, 2013) sowie die 9. und 10. Projektphase (RASCHER et al., 2013, HAUG et al., 2015) dargestellt und veröffentlicht.²

² <http://www.vt.bgu.tum.de/abschlussbericht/>

2.6 11. Projektphase November 2014 bis Oktober 2015

Neben der Erfassung der Umfelddaten wird in der Fortführung des Testfelds die Nutzung der Umfelddaten in SBA behandelt. Eine langfristige Untersuchung der Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen Umfeldbedingungen und Verkehrsablauf wird angestrebt.

Die nachfolgend genannten Gründe erforderten einen verlängerten Betrieb des Testfeldes:

- Innerhalb der ersten Projektphasen hatte sich gezeigt, dass einige Hersteller durch Anpassungen der Hard- bzw. Software in der Lage waren, die Erfassung der Umfeldzustände zu verbessern. Der Weiterbetrieb des Testfeldes ermöglicht einen kontinuierlichen Prozess, in dem eine laufende Überprüfung und Optimierung der Systeme und Sensoren realisiert werden kann. Vorteile sind die praxisnahen und z. T. extremen auftretenden Umfeldbedingungen und die Steigerung der Aussagekraft der Ergebnisse.
- Systeme zur Umfelddatenerfassung werden in SBA in langen Zeitbereichen (i.d.R. etwa 15 Jahre) unter anspruchsvollen Bedingungen betrieben. Dies erfordert eine Robustheit der Systeme, die beispielsweise durch Wartung, Reinigung und Neuinstallation die laufenden Betriebskosten maßgeblich beeinflussen. Im Testfeld „Eching Ost“ herrschen dieselben Bedingungen wie in realen SBA. Durch eine intensive und koordinierte Beobachtung der Leistungsfähigkeit über längere Zeit können mögliche negative Langzeitauswirkungen (z. B. ein langsames Abdriften der Messwertgüte, mangelhafte Dauerfestigkeit) aufgedeckt werden.

Der zeitliche Ablauf der 11. Projektphase ist nachfolgend dargestellt.

Arbeitspaket (AP)	2014		2015												
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
AP 1 Betreuung vor Ort															
AP 2 Laufende Auswertung der Daten															
AP 3 Verkehrstechnische Untersuchung															
AP 4 Kommunikation, Zwischenberichtswesen															
AP 5 Schlussbericht															
AP 6 Dissemination von Ergebnissen															

Abbildung 5: Ablauf 11. Projektphase

Tabelle 5 zeigt die Anzahl der Sensoren je Messgröße und Hersteller für die 11. Testphase, deren Messwerte nahezu lückenlos aufgezeichnet und ausgewertet werden konnten.

Hersteller	Messgröße														
	NI	NS	FBZ	WFD	LT	TPT ¹	FBT	TT1	GT	RLF	SW	WR	WGS	WGM	RS
Boschung	1	1	1	1	-	-	1	1	1	-	1	-	-	-	-
Lambrecht	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lufft	1	1	2	2	1	1	2	-	2	1	1	1	1	1	-
Ott	2	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1 ²	-	-	-	-
Spies	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-

Hersteller	Messgröße														
	NI	NS	FBZ	WFD	LT	TPT ¹	FBT	TT1	GT	RLF	SW	WR	WGS	WGM	RS
Sick	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
Thies	1	1	-	-	1	-	-	-	-	1	1 ²	1	1	1	-
Vaisala	1	1	4	4	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2
SUMME	7	5	7	7	6	3	6	3	5	5	9	4	4	4	2

¹kann aus RLF und LT berechnet werden

²Es handelt sich um die Messgröße "Sichtweite im Niederschlag"

Tabelle 5: Sensorik (11. Testphase)

Die im Testfeld eingesetzten Sensortypen werden in Tabelle 6 benannt.

Hersteller	Sensortyp
Boschung	PWS, IT-Sens
Lambrecht	rain[e]
Lufft	IRS31, NIRS31, WS600-UMB, VS20
Ott	Pluviometer (als Referenz), Parsivel, Parsivel ²
Spies	VMS-16/107A
Sick	VISIC 620
Thies	Laser Niederschlagsmonitor, Ultrasonic Anemometer, Hygro Thermogeber
Vaisala	DRS511, DSC111, DST111, HMP155 S/N H4540001, WAA151, WAV151, PWD12, WXT520

Tabelle 6: Sensortypen

Die jeweiligen Testzeiträume, in denen die Sensoren im Testfeld Messwerte lieferten und die als Bewertungsgrundlage zur Beurteilung zur Verfügung stehen, sind in Anhang A 1 aufgeführt sowie am Anfang der jeweiligen Umfeldgröße vermerkt. Die Ausfallzeiten bei der Datenerfassung sind meist nicht durch die Sensoren bedingt, sondern sind auf Ausfälle des Aufzeichnungsmediums zurückzuführen. Die Daten der Sensoren Ott Parsivel und Vaisala WXT520 konnten aufgrund von fehlenden Schnittstellen zu den Aufzeichnungs-PCs nicht aufgezeichnet werden. Durch die Umstellung aller Sensoren auf ein einheitliches TLS konformes Protokoll waren Umbaumaßnahmen am Testfeld erforderlich, durch die es zu Engpässen bei den Aufzeichnungs-PCs kam.

Die sensorspezifischen Ergebnisse der Auswertungen sind in Kapitel 4 dargestellt.

2.7 Messwerte

2.7.1 Datengewinnung

Die Erfassung und die Übertragung der Messdaten erfolgt in dieser Testphase noch nicht vollständig mit einem TLS Protokoll (vgl. Abschnitt 1.2), so dass von TUM-VT je Sensor Prozeduren zum Dateneinlesen und -verarbeiten erstellt wurden.

Der Fluss der Umfelddaten ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Daten werden mittels der Sensoren erfasst und von dort über eine Schnittstelle an den Rechner in der Behausung übertragen. Die Systeme sind größtenteils über serielle Schnittstellen (RS232/RS422/RS485), zum Teil auch über Ethernet an eine LSA+ Leiste in der Testfeldbehauung angeschlossen. Von dort werden sie, teilweise über EAK und eine SST (Siemens SST4), an einen der drei Testfeldrechner zum Speichern übertragen.

Der Datenaustausch erfolgt mit Terminal-Programmen oder spezieller Erfassungsssoftware der Hersteller. Die Daten werden in ASCII-Textdateien (*.txt, *.dat, *.log, *.csv, o. ä.) geschrieben und wöchentlich von den Testfeldrechnern kopiert und am Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München gespeichert. Hier erfolgt der Import der Daten in eine Datenbank. Der Datensatz ist dabei eindeutig zeilenweise über Datum und Uhrzeit (z. B. 2009-08-21 16:00) und genau spaltenweise über die jeweilige Messgröße (z. B. HerstellerXY_SW) zugeordnet. Für jedes zu überprüfende System wurde eine separate Datenbank angelegt, so dass die gemessene Größe (z. B. Sichtweite [m] am 21.08.2012 um 16:00 Uhr) eindeutig einem Sensor zugeordnet werden kann.

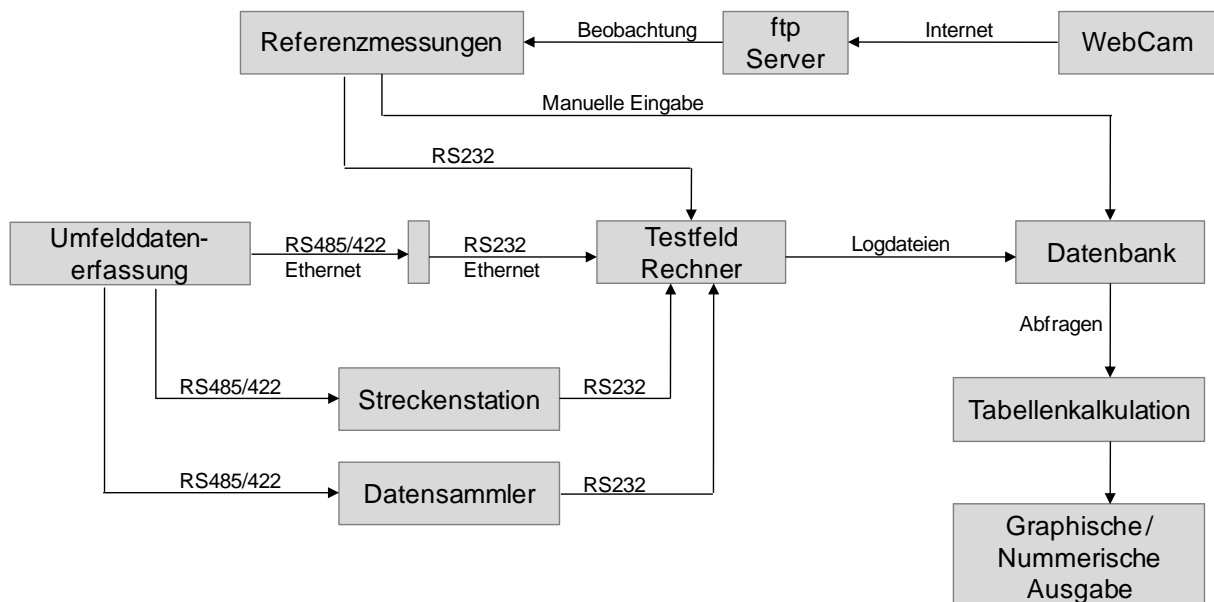


Abbildung 6: Umfelddaten im Testfeld: von der Erfassung zur Auswertung

Zur Auswertung der Daten müssen diese einander zugeordnet und strukturiert werden. Die Daten werden als gleich-lokal angesehen, d. h. die Zuordnung geschieht alleine über den Zeitstempel. Die Daten werden dazu mittels Abfragen strukturiert abgerufen (z. B. alle Niederschlagsintensitäten zwischen dem 01.12.2013 und dem 01.01.2014) und anschließend in ein beliebiges, zur Auswertung benötigtes Format exportiert (*.zip, *.xls, *.txt). Um eine Syn-

chronität zwischen den Testfeldrechnern, sowie den Zeitstempeln der Mobotix Kameras sicher zu stellen, sind die Rechner mit einem Programm ausgestattet, dass die Rechner-Systemzeit regelmäßig synchronisiert.

Seit Januar 2013 erfolgt die Umstellung aller im Testfeld „Eching Ost“ integrierten Sensoren auf eine TLS-konforme Schnittstelle. Die Sensoren können dabei über drei Schnittstellen an die TLS-Streckenstation angeschlossen werden. Der AK 3.2.1 empfiehlt die Sensoren über den Feldbus anzuschließen. Die Umstellung der Schnittstelle wird vom Arbeitskreis unterstützt und durch die Firma Siemens AG betreut. Die Hersteller haben vorab die Möglichkeit die Schnittstelle im Labor zu testen.

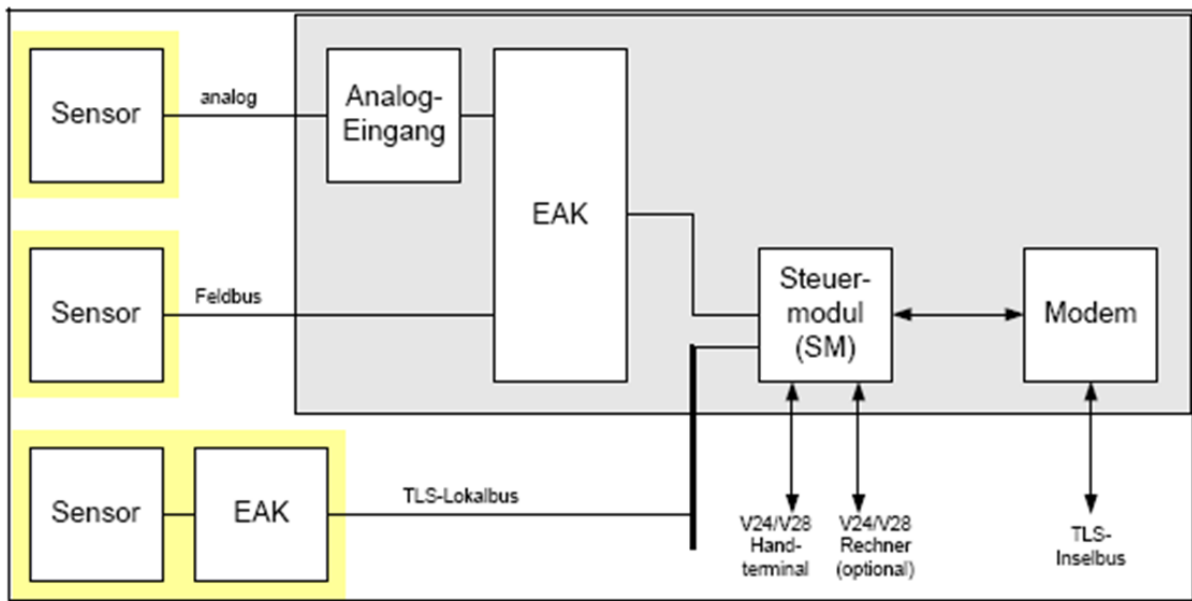


Abbildung aus TLS, 2002 mit Ergänzung der Schnittstellen (FGSV, AK 3.2.1, 2011)

Abbildung 7: mögliche Sensor-Schnittstellen im Testfeld „Eching Ost“ (FGSV, AK 3.2.1, 2011)

2.7.2 Datenverarbeitung

Um den gesamten Prozess vom Importieren der in stark variierenden Formaten vorliegenden Daten bis zum strukturierten Abfragen und Exportieren bei den vorliegenden großen Datenmengen effizient und möglichst wenig fehleranfällig zu gestalten, wurde im Rahmen des Projektes die Datenbankanwendung "Umfelddatenbank" entwickelt. Die Anwendung der Datenbank ist menügeführt, sie ist in DINKEL et al. (2007) dargestellt.

Zur monatlichen Auswertung der Messwerte und Darstellung in Diagrammen wurden die Daten exportiert, ggf. aufbereitet (z. B. Bildung des gleitenden Mittelwerts) und in Diagrammen dargestellt. Die Diagramme werden den Herstellern im Format *.gif (Graphics Interchange Format) zur Verfügung gestellt, jede Grafik ist mit „Messgröße_Datum.gif“ eindeutig bezeichnet. Je Messgröße sind die Legenden jeweils gleich aufgebaut, alle vorhandenen Sensoren sind aufgeführt, auch wenn für Zeitbereiche keine Daten einzelner Systeme vorliegen sollten.

3 Auswertemethodik

3.1 Vorgehensweise

Im Laufe des Testfeldbetriebs wurde ersichtlich, dass eine formale Statistik-orientierte Vorgehensweise nicht durchgängig anwendbar und auch nicht zweckmäßig ist. Gründe dafür sind:

- Die Heterogenität der Ergebnisse
Beim Vergleich der Zeitreihen der verschiedenen Sensoren zeigte sich häufig eine heterogene Verteilung der Messwerte unterschiedlicher Sensoren, so dass eine statistische Auswertung mit der Ermittlung von Abweichmaßen nicht zielführend ist.
- Fehlende bzw. zu wenige Referenzmessungen und -beobachtungen
Für viele der Messgrößen standen keine (TT1, TT3, WGM, WGS, WR) bzw. statistisch nicht aussagekräftige (FBT, WFD) oder "ungleiche" (NS: große Stichprobe für Schnee durch Video, praktisch keine für Regen) Referenzmessungen zur Verfügung. Somit konnten keine bzw. statistisch nicht aussagekräftige Angaben zu Abweichungen von der "Realität" getroffen werden.

Unter Berücksichtigung der o. g. Erkenntnisse kann eine Bewertung der zu prüfenden Systeme eher qualitativ durchgeführt werden, die Messwerte der verschiedenen Sensoren werden inhaltlich und funktional/technisch untersucht.

Die Bewertung der Messwerte hinsichtlich inhaltlicher Kriterien umfasst folgende Auswertungen

- Abweichung von Referenzmessungen
- Abweichung von Beobachtungen vor Ort
- Plausibilität im Vergleich zu anderen Sensoren.

Hierfür werden zum einen "qualitative" Ganglinienvergleiche durchgeführt, zum anderen werden, so vorhanden, die Messwerte der Sensoren mit Referenzwerten (z. B. Pluviometer, Tuchtest) bzw. -beobachtungen (Videoauswertung der Sichtweite) verglichen und Rückschlüsse aus Abweichungen gezogen.

Zudem werden Messwerte gleicher Messgrößen aber unterschiedlicher Sensoren korreliert und der Korrelationskoeffizient als dimensionsloses Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs berechnet.

Es erfolgt zudem die Überprüfung der Steigung der Regressionsgeraden. Diese sollte bei 1,0 liegen, da sonst Über- bzw. Unterschätzungen vorliegen.

Eine Übersicht der eingesetzten Auswertungsmethoden ist in Tabelle 7 zusammengefasst, die Beschreibung der einzelnen Methoden erfolgt in den folgenden Abschnitten.

Messgröße	Bewertungsmethoden
Sichtweite (SW)	Kamera, Ganglinienvergleich
Wasserfilmdicke (WFD)	Ganglinienvergleich, Tuchtest
Niederschlagsintensität (NI)	Pluviometer, Ganglinienvergleich
Niederschlagsart (NS)	Kamera, Vergleich mit Beobachtung vor Ort
Fahrbahnzustand (FBZ)	Kamera, Vergleich mit Beobachtung vor Ort
Lufttemperatur (LT)	Ganglinienvergleich
Relative Luftfeuchte (RLF)	Ganglinienvergleich
Taupunkttemperatur (TPT)	Ganglinienvergleich
Fahrbahntemperatur (FBT)	Ganglinienvergleich
Gefriertemperatur (GT)	Ganglinienvergleich
Bodentemperatur in Tiefe 1 (TT1)	Ganglinienvergleich
Windrichtung (WR)	Vergleich der Häufigkeiten
Windgeschwindigkeiten (WGM / WGS)	Ganglinienvergleich

Tabelle 7: Übersicht der inhaltlichen Bewertungsmethoden je Messgröße

Die funktionale / technische Bewertung umfasst die Untersuchung der Datenverfügbarkeit. Hierunter wird die zeitliche Verfügbarkeit der Daten im Testfeld verstanden. Dieses Kriterium wird bei der Bewertung nicht berücksichtigt, da aufgrund der Datenübertragung im Testfeld Datenausfälle nicht immer eindeutig den Sensoren zugeordnet werden können. Ursachen für längerfristige Ausfälle werden ggf. erläutert. Im Anhang (A 1) wird zu jedem Sensorsystem angegeben, für welche Zeitdauer der jeweilige Sensor im Testfeld Messwerte lieferte.

3.2 Ganglinienvergleich

Die in Diagrammen dargestellten Ganglinien unterschiedlicher Sensoren werden hinsichtlich vorhandener Ähnlichkeiten oder Abweichungen untersucht und daraus Rückschlüsse auf die Plausibilität der einzelnen Messwerte gezogen.

Dem Ganglinienvergleich liegt die Annahme zugrunde, dass ein über längere Zeit identischer Verlauf der Ganglinien verschiedener Sensoren (Werte und Form) oder auch ein ähnlicher Verlauf (Form) ein Indiz für die grundsätzliche Fähigkeit dieser Sensoren ist, die Realität abzubilden. Wenn Sensoren in der Lage sind, einen systematischen Zusammenhang zu der gemessenen Umfeldgröße herzustellen, dann verlaufen die Ganglinien dieser Sensoren identisch bzw. ähnlich. Somit ist die Ähnlichkeit mehrerer Ganglinien eine notwendige Bedingung für die Aussage, dass diese Sensoren die Realität systematisch abbilden können. Andererseits ist eine Ähnlichkeit (mit zunehmender Ausprägung, Dauer eines Ereignisses, Anzahl der betrachteten Sensoren und dem möglichen Wertebereich) mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit zufällig. Insbesondere in den Fällen, in denen unterschiedliche Erfassungstechnologien ähnliche Messwerte liefern, ist dies ein starker Hinweis auf die grundsätzliche Plausibilität der Messwerte.

Bei der Ganglinienauswertung wurden insbesondere folgende Kriterien untersucht (vgl. Abbildung 8):

- Ansprechverhalten der Sensoren,
- Trends (Anstieg und Abfall der Werte) sowie
- absolute Werte (Maximalwerte, längere Zeit gehaltene Werte).

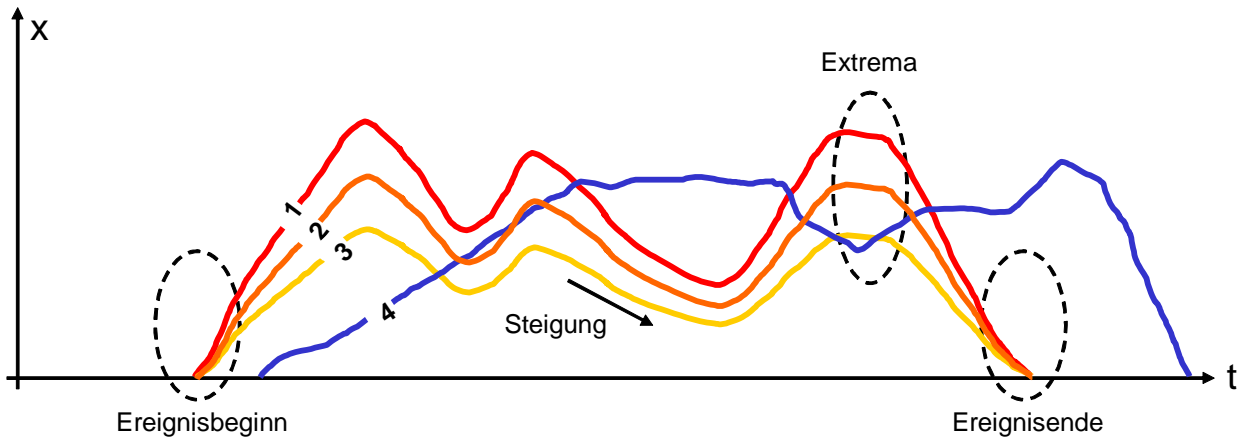


Abbildung 8: Abstrakte Darstellung von Ganglinien mit wesentlichen Merkmalen

Im Beispiel der Abbildung 8 würden die Messwertverläufe 1 bis 3 als plausibel eingestuft. Abweichungen in x-Richtungen weisen auf Kalibrierfehler hin.

Messwertverlauf 4 wird als nicht plausibel eingestuft.

Es ist nicht ausgeschlossen, dass einzelne Auffälligkeiten / Systematiken, bei dieser Art der Analyse nicht erkannt werden, gleichwohl liefert diese Art von Auswertung Grundlagen für die Einschätzung der Sensoren.

Zur Ermittlung der Plausibilität der Windrichtungsmessung wurden monatlich Histogramme über die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen erstellt und anschließend die Häufigkeiten des Auftretens einzelner Windrichtungen verglichen. Als plausibel wird angesehen, wenn die Verteilung mehrerer zu prüfender Systeme auf die Windrichtungen in etwa gleich ist (analog zur Ganglinienauswertung). Hierbei handelt es sich nicht um einen Vergleich von Minutenwerten, sondern um eine aggregierte Darstellung, so dass sich unterschiedliche Windrichtungen über die Zeit theoretisch ausgleichen könnten. Da im Testfeld "Eching Ost" die Windrichtungen "Nord" und "Nord-West" dominieren (wurde bei Testfeldbesuchen protokolliert), können sowohl systematische als auch zufällige Fehler in den Diagrammen erkannt werden.

Für die Steuerung von SBA ist entscheidend, dass die Eingangsgrößen (hier die Umfelddaten) die Realität (= Umfelddituation) systematisch (kalibrierbar) und stabil (keine nicht plausiblen Ausreißer) abbilden. Durch umfangreiche Vergleiche der Sensoren sollen den Herstellern Hinweise gegeben werden, wie deren Sensoren im Vergleich zu anderen arbeiten.

In einigen Fällen führt diese Art der Auswertung jedoch zu "komprimierten" Aussagen. Beispielsweise spiegeln die Angaben "Kalibrierung um einen Faktor X" bzw. „Abstellen der nicht plausiblen Ausreißer in Situation Y" nicht gänzlich die Komplexität der Umfeldgrößen,

deren Erfassung und Auswertung wider. Eine solch umfassende Auswertung der Daten ist jedoch notwendig, um gesicherte Aussagen treffen und systematische Zusammenhänge erfassen zu können.

3.3 Referenzmessungen und -beobachtungen

3.3.1 Problematik

Die Messungen der zu überprüfenden Sensoren werden, soweit vorhanden, mit Referenzwerten verglichen.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen Prüf- und Referenzwerten herzustellen, müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

- Die zu vergleichenden Messungen müssen zur selben Zeit durchgeführt werden bzw. innerhalb eines technisch tolerierbaren Zeitfensters liegen. Sowohl die Prüfmessungen als auch die Referenzmessungen werden minutengenau festgehalten. Die Zeitquellen werden regelmäßig entweder automatisch oder manuell abgeglichen.
- Die zu vergleichenden Messungen müssen am selben Ort durchgeführt werden bzw. innerhalb einer tolerierbaren Distanz liegen.

Beide Anforderungen wurden mit den Messungen vor Ort erfüllt, die Problematik des Abgleichs der Punktmessungen von räumlichen Ereignissen ist in Abbildung 9 dargestellt.

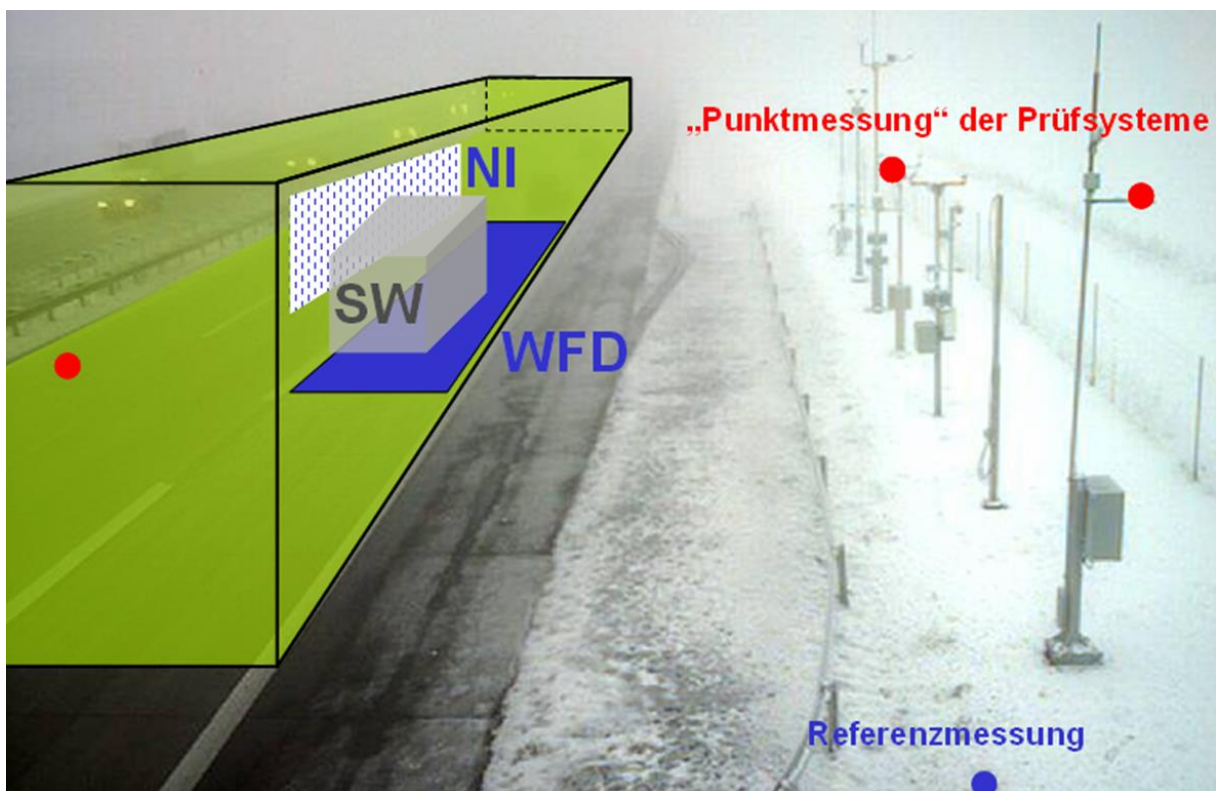


Abbildung 9: Illustration der Problematik räumlicher Phänomene mittels Punktdetektion

3.3.2 Beobachtung vor Ort

Beobachtungen vor Ort wurden für die Niederschlagsart (subjektiv), den Fahrbahnzustand (subjektiv), die Niederschlagsintensität (qualitativ), die Sichtweite (subjektiv) und ebenfalls subjektiv für Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen von geschulten TUM-VT Mitarbeitern nach einem einheitlichen Protokoll durchgeführt.

Speziell bei Beobachtern besteht das Problem eines subjektiven und dann ggf. unterschiedlichen Einschätzens von Umfeldeigenschaften, was jedoch die Streuung der Eindrücke des Verkehrsteilnehmers widerspiegeln kann.

Die Termine der Beobachtungen vor Ort sind im Anhang (A 3) aufgeführt.

3.3.3 Beobachtung mit Webcam

Auf Basis der gespeicherten Bilder der Webcams können Aussagen zum Zustand der Fahrbahnoberfläche, teilweise zur Niederschlagsart und zur Sichtweite getroffen werden. Die Zustände sind nicht exakt quantifizierbar, aber es lässt sich bei erkennbarer Sprühhahnenbildung die Aussage ableiten, dass die Fahrbahn nass ist, und es lässt sich beispielsweise erkennen ob „freie Sicht“ vorherrscht. Durch diese Referenzmethode können falsche Messergebnisse erkannt werden.

Auswertung der gemessenen Sichtweite

Die Messwerte der Sensoren werden mit von menschlichen Beobachtern eingeschätzten Sichtweiten aus Webcam Bildern verglichen. Dabei wurde für die Bestimmung der Sichtweite ein pragmatischer Ansatz gewählt:

Es werden geeignete Objekte innerhalb des von der Kamera betrachteten Bereichs gesucht und deren Abstand vom Kamerastandort ermittelt.

Für jede Betrachtungsminute wird protokolliert, welche Objekte noch sichtbar waren bzw. welche nicht. Die Sichtweite liegt dann für die entsprechende Minute zwischen der Entfernung des gerade noch sichtbaren und dem gerade nicht mehr sichtbaren Objekt (minimale / maximale Sichtweite).

Die Abweichung zwischen Sensormesswert und Beobachtung ist dann:

$$\begin{aligned} \text{MIN}(|SW_{\text{gemessen}} - \{SW_{\text{beobachtet,max.SW}}, SW_{\text{beobachtet,min.SW}}\}|) &\leq \Delta SW \\ &\leq \text{MAX}(|SW_{\text{gemessen}} - \{SW_{\text{beobachtet,max.SW}}, SW_{\text{beobachtet,min.SW}}\}|) \end{aligned}$$

Wobei zugunsten des Sensors von

$$\Delta SW = \text{MIN}(|SW_{\text{gemessen}} - \{SW_{\text{beobachtet,obere Grenze}}, SW_{\text{beobachtet,untere Grenze}}\}|)$$

ausgegangen wird.

Die Definition der Sichtweite (siehe Abschnitt 4.2.1) erlaubt theoretisch eine sehr genaue Ermittlung der Sichtweite durch den Beobachter. Jedoch erscheint die praktische Anwendung im Umfelddatentestfeld ungeeignet: Zum einen mangelt es an geeigneten Referenzobjekten

mit passender Farbe und Größe, zum anderen ist es schwierig die Leuchtdichten zu bestimmen.

Des Weiteren ist bei der Wahrnehmung der subjektive Aspekt zu berücksichtigen. So müsste die Sichtweite auf einen Normwert gemittelt werden, der zum Beispiel aus vielen subjektiven Einschätzungen bestimmt wird (MANGOLD et al. 1996).

Der Anspruch ist daher nicht, die Sichtweite auf den Meter genau zu beobachten, sondern die Größenordnung einschätzen zu können, um so einen Vergleich zwischen den Punktmessungen der Sensoren und der vom Fahrer wahrgenommenen Sicht erstellen zu können.

Grundsätzlich werden Tagesganglinien der Sichtweitenerfassung verschiedener Sensoren miteinander verglichen. Wenn ein Ereignis (reduzierte Sichtweite) zu beobachten ist, werden bei ausreichend guten Helligkeitsverhältnissen die zugehörigen Webcam Bilder betrachtet.

Für die Auswertung in Eching Ost wurden die in Abbildung 10 dargestellten und in Tabelle 8 zusammengestellten Objekte gewählt. Des Weiteren sind in 3 weiteren Abständen Sichtweitentafeln aufgestellt, die das Abschätzen der Sichtweite vereinfachen (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 10).

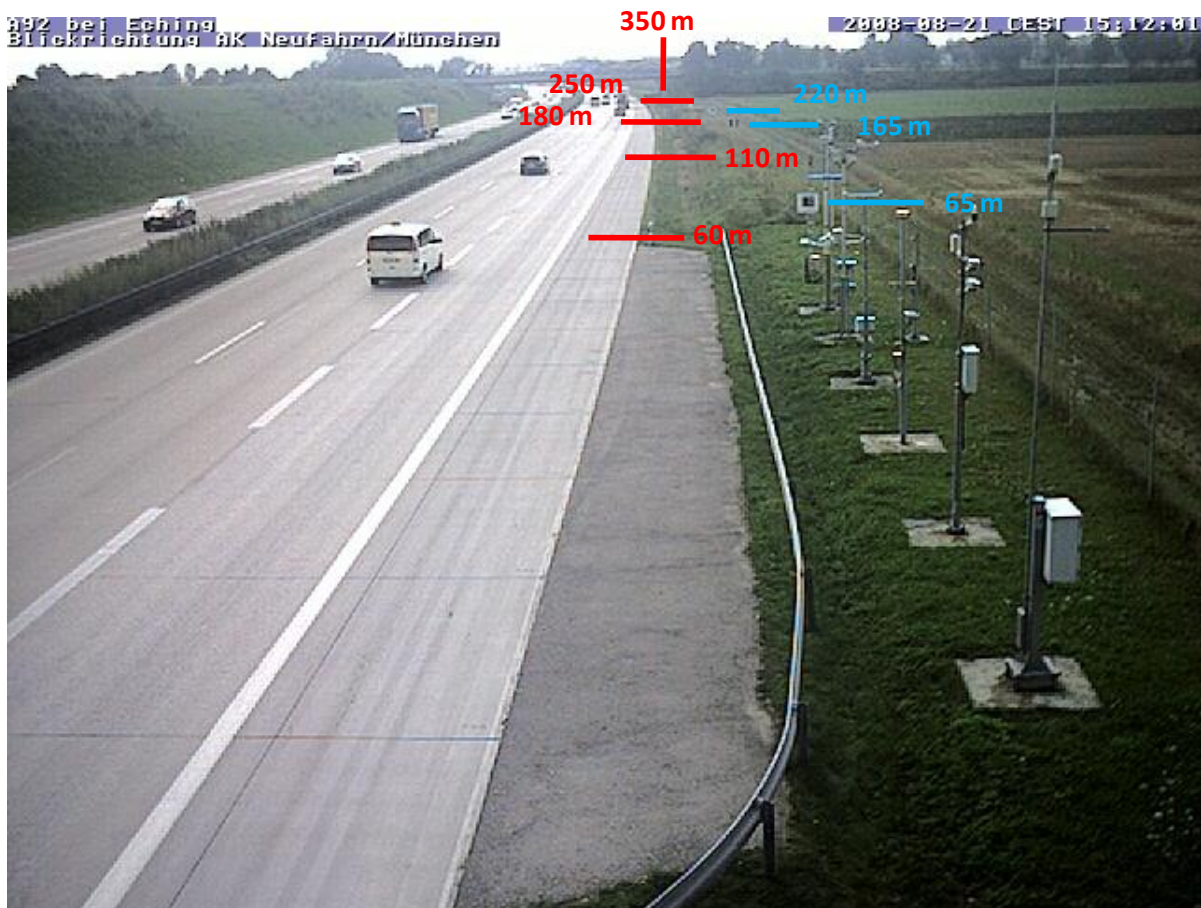


Abbildung 10: Sichtweitenobjekte im Testfeld „Eching Ost“

Objekt	SW mindestens	SW höchstens
Brücke sichtbar (quasi freie Sicht)	350 m	∞
Brücke nicht sichtbar, Streckenstation sichtbar	250 m	350 m
Streckenstation nicht sichtbar, Sichtweitetafel sichtbar	220 m	250 m
Sichtweitetafel nicht sichtbar, Schild sichtbar	180 m	220 m
Schild nicht sichtbar, Sichtweitetafel sichtbar	165 m	180 m
Sichtweitetafel nicht sichtbar, 2. Warnpfosten sichtbar	110 m	165 m
2. Warnpfosten nicht sichtbar, Sichtweitetafel sichtbar	65 m	110 m
Sichtweitetafel nicht sichtbar, 1. Warnpfosten sichtbar	60 m	65 m

Tabelle 8: Objekte für die Sichtweitenbestimmung im Testfeld „Eching Ost“



Abbildung 11: Beispiel zur Sichtweitenermittlung mittels Videobeobachtung

Abhängig davon, welches der Objekte noch sichtbar bzw. nicht mehr sichtbar ist, wird für jede Beobachtung ein Bereich möglicher Sichtweiten ermittelt (vgl. Abbildung 11 und Anhang A 4).

Diese Ergebnisse werden zusätzlich statistisch ausgewertet, indem Häufigkeitsverteilungen der Sensormesswerte im Vergleich zu der menschlichen Einschätzung der Sichtweitenbereiche nach folgenden Kriterien abgebildet werden:

- *Messwert liegt genau in dem Bereich der menschlichen Sicht*
- *Messwert weicht nicht über + 100 m vom „Sichtweitenkorridor“ ab*
- *Messwert weicht über + 100 m vom „Sichtweitenkorridor“ ab*
- *Messwert weicht nicht über - 100 m vom „Sichtweitenkorridor“ ab*
- *Messwert weicht über - 100 m vom „Sichtweitenkorridor“ ab*
- *Sensor reagiert nicht auf Sichtweitenreduktion.*

Diese Darstellung der Messwertpaare in Histogrammen der Abweichungen vom „Sichtweitenkorridor“ stellen Verhalten von Sichtweiten-Sensoren anschaulich und nachvollziehbar dar. Schlussfolgerungen aus dieser Auswertung können beispielsweise sein:

- *Sensor misst i. d. R. zu geringe Sichtweiten*
- *Sensor misst i. d. R. zu hohe Sichtweiten*
- *Messwerte des Sensors streuen um den „Sichtweitenkorridor“*
- *Messwerte des Sensors liegen i. d. R. im „Sichtweitenkorridor“.*

Bzgl. der Auswertung müssen folgende Gesichtspunkte beachtet werden:

- Der menschliche Beobachter schätzt die Sichtweiten zu einem gewissen Grad subjektiv in Abhängigkeit von individuellen Kontrastschwellenwerten und der (von Ereignis zu Ereignis variierenden) allgemeinen Kontraststärke in dem beobachteten Gebiet. Die Sensoren hingegen messen die meteorologische Sichtweite unabhängig von diesen Faktoren.
- Der Beobachter wird von den umgebenden Lichtverhältnissen beeinflusst, die zu überprüfende Sensorik nicht.
- Die Kamera hängt auf etwa 6,5 Metern Höhe, was nicht der Betrachtungsperspektive des Verkehrsteilnehmers entspricht. Diese Höhe wurde gewählt, damit zum einen ein Überblick über das gesamte Testfeld gewährleistet ist und zum anderen die Kamera weitestgehend vor Verschmutzung (z. B. durch Gischt) geschützt ist.
- Die Sensoren messen meist innerhalb eines kleinen Messvolumens, während der menschliche Beobachter die Sichtweite entlang eines Korridors einschätzt und somit kleinräumige Änderungen "herausmittelt". Durch die Inhomogenität von Sichtweitereignissen kann es so zu Differenzen zwischen den Sichtweiten des Beobachters und den zu überprüfenden Sensoren kommen.
- Es ist teilweise schwierig aufgrund der gesammelten Daten (i. d. R. nur Messwerte und keine Zusatzinformationen aus dem Sensor) bestimmte Phänomene der Sensorik (z. B. „Hängenbleiben“) zu interpretieren.

Das bei der Umfelddatenerfassung allgemein bestehende Problem der Inhomogenität von Ereignissen ist bei Nebel besonders ausgeprägt. Teilweise liegen Nebelschwaden um die

Sensoren, während entlang der Fahrbahn freie Sicht herrscht. In diesen Fällen werden häufig steuerungsrelevante Sichtweiten gemessen, die zwar im direkten Umfeld des Sensors (in dessen Messvolumen) zutreffend sind, jedoch die vom Verkehrsteilnehmer wahrgenommenen, und daher verkehrstechnisch relevanten Sichtweiten nicht widerspiegeln. Umgekehrt kann die Fahrbahn im Nebel liegen und um den Sensor freie Sicht herrschen. Dieser Fall ist kritischer zu betrachten, da hier eine aus Gründen der Verkehrssicherheit notwendige Schaltung nicht erfolgen würde.

In den Morgenstunden kann bei dem Vorhandensein von Nebel eine Übersteuerung der Bilder durch Blendung der Webcam auftreten. Die Einschätzung der Sichtweite erfolgt ungefähr entlang des rechten Rands des Seitenstreifens. In Abbildung 12 sind Webcam Bildern jeweils die zeitgleich vor Ort im Testfeld aufgenommenen Fotos gegenübergestellt. Der zur Beurteilung der Sensoren herangezogene Sichtweitenbereich ist rot markiert. Es zeigt sich, dass für den Fall der Übersteuerung auf Basis der Webcam Bilder dennoch eine realistische Abschätzung der Sichtweite möglich ist.



Abbildung 12: Abgleich Webcambild vs. vor Ort aufgenommenes Foto

Auswertung der gemessenen Niederschlagsart

Da die Niederschlagsart von (subjektiven) Beobachtern beurteilt wird, ist eine strenge Kategorisierung und Beurteilung der Klassifizierungsqualität nicht immer möglich. So sind die Übergänge

- *Niesel-/Sprühregen* ⇔ *Regen*
- *Regen* ⇔ *Platzregen*
- *Graupel* ⇔ *Hagel*
- *Schnee* ⇔ *Graupel*

nicht scharf voneinander getrennt. Aus diesem Grund werden hier auftretende "Fehl-klassifizierungen" nicht als „falsch“, sondern als „bedingt richtig“ gewertet.

3.3.4 Vergleich der Tagesniederschlagssummen

Es wurden für den Zeitraum November 2014 bis Oktober 2015 Tagesniederschlagssummen der zu überprüfenden Sensoren mit denen eines Pluviometers (Referenz) verglichen. Dabei wurden nur die Tage berücksichtigt, an denen sowohl die zu überprüfenden Systeme als

auch die Referenz quasi ständig verfügbar waren. Des Weiteren wurden die Rohwerte der Referenz mit einem Faktor in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Niederschlagsart korrigiert.

Der Pluviometer der Firma Ott (siehe Abbildung 13) wird zur Messung von Niederschlagsintensitäten verwendet und zu diesem Zweck auch vom Deutschen Wetterdienst (DWD) eingesetzt.

Die Niederschlagsintensität wird durch Auffangen des Niederschlags auf einer definierten Fläche (200 cm²) durch Wägung der Niederschlagsmenge pro Zeiteinheit bestimmt. Der Ott Pluviometer entspricht im Wesentlichen der Bauform nach "Hellmann" (WMO³ Standard).



Abbildung 13: Ott Pluviometer

Bei der Messung des Niederschlages mittels Auffangbehälter treten aufgrund externer Einflüsse pro Zeiteinheit nicht zu vernachlässigende Differenzen zwischen der aufgefangenen Niederschlagsmenge und der tatsächlich auftretenden Niederschlagsmenge auf. Die maßgebliche Einflussgröße ist dabei die Windgeschwindigkeit. Dabei ist die Verlustmenge (Differenz zwischen tatsächlicher und aufgefangener Menge) mit der Windgeschwindigkeit positiv korreliert. Die Verlustmenge ist auch abhängig von der Niederschlagsart. Generell gilt: je geringer die Dichte des Niederschlags, desto größer der Einfluss des Windes. Bei Schnee ist die Verlustmenge also höher als bei Regen.

Es wurden zahlreiche Untersuchungen zu den Zusammenhängen zwischen Windgeschwindigkeit und Verlustmenge verschiedener Niederschlagsauffangbehälter durchgeführt. Meist wurden dabei Korrelationsanalysen zur Abhängigkeit von Verlustmenge und Windgeschwindigkeiten zur Ableitung von Korrekturfaktoren durchgeführt. Differenziert wurde dabei meist nach den Niederschlagsarten Regen und Schnee.

³ WMO = World Meteorological Organization

Für den Einsatz im Umfelddaten Testfeld "Eching Ost" wurden die Korrekturformeln nach YANG et al. (1996) verwendet:

Schnee $e^{4,606 - 0,157 * WGM}$

Regen $e^{4,605 - 0,062 * WGM}$

mit $WGM = \text{mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]}$

Es wurde für jede Minute ein korrigierter Wert berechnet, indem in Abhängigkeit der vorherrschenden Niederschlagsart die Messwerte des Pluviometers für Niederschlagsintensität mit obigen Faktoren multipliziert wurden. Die Windgeschwindigkeit wird dabei als Mittelwert der im Testfeld vorhandenen Windmesser berechnet. Die Niederschlagsart wird nach dem „Mehrheitsprinzip“ der Prüfsensoren ermittelt.

Bei der Auswertung wurden die Tagesniederschlagssummen für Regen und Schnee getrennt betrachtet. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

Die Niederschlagsmenge für jeden Tag (24 Stunden) wird gebildet. Die Tagessummen der Sensorik werden im Vergleich zu den Tagessummen des Pluviometers in einem XY-Diagramm jeweils getrennt für Regen und Schnee dargestellt.

Auf der x-Achse wird die Tagesniederschlagsmenge des Pluviometers, auf der y-Achse die entsprechende Tagesniederschlagsmenge des jeweiligen Systems aufgetragen. Schließlich wird eine Regressionsgrade durch die Punkte gebildet. Die Steigung der Geraden entspricht dabei dem Kehrwert des Faktors, mit dem die Tagesniederschlagsmenge des überprüften Sensors multipliziert werden müsste, um im Mittel dieselbe Tagesniederschlagsmenge wie der Pluviometer zu liefern. Der Nulldurchgangswert müsste noch vom Messwert abgezogen werden (im Mittel). Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgleichung beschreibt den Grad des Zusammenhangs zwischen den Niederschlagssummen des Pluviometers und denen der zu überprüfenden Sensoren (1 = vollständige Beschreibbarkeit des einen Wertes durch den anderen, bis ca. 0,75 wird als „mittlerer“ Zusammenhang gewertet, 0 = kein Zusammenhang). Je höher das Bestimmtheitsmaß, desto besser lässt sich ein Sensor bzgl. der Niederschlagssumme auf den Pluviometer kalibrieren.

3.4 Bewertungsschema

Die Gesamtbeurteilung der zu überprüfenden Sensoren basiert auf den Ergebnissen der inhaltlichen Bewertung der in der 11. Testphase im Testfeld „Eching Ost“ ermittelten Messwerte. Abweichungen zwischen den Einzelbeurteilungen sowie Auffälligkeiten der Sensormesswerte werden jeweils beschrieben und erläutert. Ergänzend zum „Fazit“ wird ein subjektiver Eindruck des Sensorverhaltens während der 11. Testphase im Testfeld angegeben. Diese Wahrnehmungen entsprechen häufig den Hinweisen, die den Herstellern in den Monatsauswertungen von TUM-VT mitgeteilt wurden. Die zusammenfassende Beurteilung wird im folgenden Kapitel für jeden Sensor als „Fazit“ angegeben.

Es werden mehrere Kriterien je Ereignis untersucht (Ereignisabbildung, Reaktionszeit, etc.) und einzeln beurteilt. Diese Einzelbeurteilungen werden zu gleichen Anteilen zu einer Gesamtbeurteilung zusammengefasst. In die Gesamtbeurteilung fließen nur die Einzelbeurteilungen mit „+“ und die Einzelbeurteilungen mit „o“ ein. Letztere werden mit dem Faktor 0,5 gewichtet. Einzelbeurteilungen mit „-“ gehen indirekt in diese Berechnung der Gesamtbeurteilung ein.

Hinsichtlich der Eignung der Sensoren zur Umfelddatenerfassung in SBA wird in einem dreistufigen Bewertungsschema klassifiziert:

- **Für den Einsatz in SBA geeignet (+)**

Der Sensor reagiert zeitnah auf Ereignisse und bildet diese in seinen Messwerten zuverlässig und realitätsgetreu ab. Wenn der Sensor in der Gesamtbeurteilung einen Wert von $\geq 85\%$ erreicht hat, ist er für den Einsatz in SBA als geeignet anzusehen.

- **Für den Einsatz in SBA mit Einschränkungen geeignet (o)**

Der Sensor reagiert auf Ereignisse und bildet diese in seinen Messwerten ab. Zeitliche Verzögerungen in der Reaktionszeit bzw. teilweise fehlerhafte Amplituden der Messwerte führen zu der Beurteilung, dass der Sensor unter Berücksichtigung der genannten Auffälligkeiten (die ggf. durch Kalibrierung behoben werden können) mit Einschränkungen für den Einsatz in SBA geeignet ist. Gründe für diese Klassifizierung werden jeweils angegeben. Wenn der Sensor in der Gesamtbeurteilung einen Wert zwischen 70% und 85% erreicht hat, ist er für den Einsatz in SBA als „bedingt geeignet“ anzusehen.

- **Für den Einsatz in SBA nicht geeignet (-)**

Die Messwerte liegen nicht zeitnah zu Ereignissen bzw. nicht in der für einen Einsatz in SBA erforderlichen Genauigkeit vor. Gründe für diese Klassifizierung werden jeweils angegeben. Wenn der Sensor in der Gesamtbeurteilung einen Wert von $< 70\%$ erreicht hat, ist er für den Einsatz in SBA als nicht geeignet anzusehen.

4 Ergebnisse

4.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Auswertungen je Messgröße dargestellt. Die Reihenfolge ergibt sich aus der Sortierung nach Primär- und Sekundärgrößen und der alphabetischen Abfolge der Herstellernamen.

Die Struktur der **Ergebnisdarstellung** ist für alle Messgrößen gleich gegliedert:

Zunächst erfolgt eine **Definition** jeder Messgröße nach TLS (BASt, 2012).

Im Abschnitt „**Beurteilung**“ wird ein genereller Überblick über die Genauigkeit der Erfassung der jeweiligen Messgröße gegeben. Des Weiteren wird dargestellt, welche Sensoren diese Messgröße im Testfeld erfassen. In diesem Abschnitt erfolgt zudem eine Abschätzung, wie exakt die jeweilige Messgröße prinzipiell erfasst werden kann. Es wird das Bewertungsschema erläutert.

Die Sekundärgrößen werden im Abschnitt „Beurteilung / Ergebnisdarstellung“ dargestellt und beispielhafte Ganglinienverläufe aufgezeigt. Eine sensorspezifische Darstellung und Beurteilung der einzelnen Sensoren entfällt. Die Messgrößen wurden während der gesamten Testphase visualisiert und bzgl. Auffälligkeiten analysiert. Die sog. Sekundärgrößen sind für Schaltungsalgorithmen in SBA nicht direkt von Bedeutung und werden primär zur Überprüfung der Plausibilität der Primärgrößen verwendet.

Für alle Primärgrößen, die für den Einsatz in SBA relevant sind, erfolgt eine **sensorspezifische Darstellung und Beurteilung** der Ergebnisse. Basierend auf den Monatsauswertungen werden hier das generelle Verhalten der Sensoren im Testfeld, Besonderheiten und Messwertausreißer dargestellt. Für jeden Sensortyp wird die Erfassungstechnologie angegeben. Basierend auf den Sensormesswerten der 11. Testphase werden die Sensoren hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in SBA beurteilt. Dies erfolgt nach dem in Abschnitt 3.4 entwickelten dreistufigen Bewertungsschema mit den Bewertungsklassen

- „für den Einsatz in SBA geeignet“
- „für den Einsatz in SBA mit Einschränkungen geeignet“
- „für den Einsatz in SBA nicht geeignet“.

Bei der Bewertung der Sensormesswerte ist zu berücksichtigen, welche Datengrundlage hierfür genutzt werden konnte. Am Anfang jeder detaillierten Beurteilung des Sensortyps finden sich eine Zusammenstellung der Datenausfälle und die jeweilige Firmware-Version. In Anhang A 1 ist ebenfalls jeweils die Dauer der Datenaufzeichnung in der 11. Testphase des Testfelds angegeben.

4.2 Sichtweite

4.2.1 Definition

Gemäß TLS (BASt, 2012) handelt es sich um die „Sichtweite bezogen auf eine Kontrastschwelle von 5 % an der Messstelle in Meter“. Der Messbereich der Sichtweiten soll entsprechend TLS zwischen 10 und mindestens 500 Meter liegen, die Auflösung beträgt 1 Meter.

Die Sichtweite entspricht dem maximalen Abstand, von dem aus ein Beobachter (hier: Fahrer) ein bezüglich Farbe und Ausmaß geeignetes Objekt bei Tageslicht gegen den Himmel gerade noch erkennen kann. Dies ist der Fall, wenn der Kontrast zwischen Objekt und Hintergrund einen bestimmten Wert übersteigt.

Als "photometrischer Kontrast" (K) wird der Quotient aus der Differenz der Leuchtdichten eines Testzeichens (schwarzes Objekt) und seines Umfeldes (Himmel) und der Leuchtdichte des Umfeldes bezeichnet:

$$K = \frac{|L_{\text{Objekt}} - L_{\text{Himmel}}|}{L_{\text{Himmel}}}$$

Die Leuchtdichte wird aus den drei Farbwertsignalen (rot R, grün G, blau B) berechnet, in denen die Leuchtdichte bezogen auf je einen bestimmten Spektralbereich enthalten ist. So werden die unterschiedlichen Beiträge verschiedener Farben zum Hellempfinden berücksichtigt. Die drei Farbwertsignale müssen dabei entsprechend gewichtet werden. Dies geschieht in einer Matrixschaltung nach folgender linearen Gleichung:

$$L = 0,3 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B$$

Der minimale Kontrast, den ein Beobachter erkennt, ist seine Kontrastschwelle (hier 5 %); der Kehrwert der Kontrastschwelle heißt Kontrastempfindlichkeit.

Einige Sichtweitesensoren ermitteln die Sichtweite nach der meteorologischen Sichtweite, die wie folgt definiert ist. Die meteorologische Sichtweite (MOR) ist definiert als die „größte horizontale Entfernung, in der dunkle Objekte bzw. Sichtziele in Erdbodennähe mit einer scheinbaren Größe von 0.5 bis 5 Grad vor einem hellen Horizont bzw. ggf. gegen einen weißen Nebel hintergrund gerade noch erkannt werden können.“ Allerdings ist diese Definition ungenau, aufgrund der Tatsache, dass es nicht genügt, nur die Umrisse des Objektes zu erkennen, sondern das betreffende Objekt "zweifelsfrei" identifizieren zu können. Dies liegt allerdings im Ermessen des Beobachters. Folglich handelt es sich nicht um eine objektive Messung, sondern vielmehr um eine subjektive Schätzung.⁴ Die Normsichtweite ist am Tag identisch mit der meteorologischen Sichtweite.

⁴ <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon>

4.2.2 Allgemein

Zur Bewertung der Sichtweitensensoren werden folgende Methoden angewandt:

- Ganglinienvergleich (siehe Abschnitt 3.2) und
- Vergleich der gemessenen Sichtweite mit Webcam-Beobachtungen (vgl. Abschnitt 3.3.3).

Die Sichtweite wird im Testfeld von folgenden Systemen ermittelt:

Sensor	Technologie	Sichtweitenbestimmung nach
Lufft VS20	Forward Scatter	Normsichtweite
Sick VISIC620	Forward Scatter	Normsichtweite
Sick VISIC620	Forward Scatter	Normsichtweite
Spies VMS-16/107A	Backward Scatter	MOR
Vaisala DSC111	Backward Scatter	MOR
Vaisala PWD12	Forward Scatter	MOR
Boschung PWS	Backward Scatter	MOR

Tabelle 9: Sensorübersicht „Sichtweite“

Zur Sichtweitenbestimmung bei Niederschlag stehen die Sensoren Ott Parsivel, Ott Parsivel² und Thies Laser Niederschlagsmonitor im Testfeld zur Verfügung. Die Messwerte dieser Sensoren werden in den Diagrammen dargestellt, aber eine Beurteilung entfällt, da klassische Sichtweitenreduktionen aufgrund von Nebel nicht erfasst werden können. Diese Sensoren ermitteln die reduzierte Sichtweite nur bei Niederschlagsereignissen.

Die Messwerte werden anhand aller Sichtweitereignisse, zu denen auf den Webcam Bildern eine Sichtweite erkennbar ist, beurteilt. Hierfür liegen aus der Grundgesamtheit der 12-monatigen Testphase 16 Situationen mit Sichtweitereinschränkungen aufgrund von Nebel vor. Voraussetzung ist, dass Bilder der Webcams zur Verifizierung der Sichtweitenreduzierungen verfügbar sind. Anhand dieser im 1-Minuten Intervall vorliegenden Bilderfolge wird vom menschlichen Beobachter der Bereich der Sichtweite („Sichtweitenkorridor“, siehe Abschnitt 3.3.3) abgeschätzt und dieser mit den Sensormesswerten verglichen. Die Messwerte aller ausgewerteten Situationen werden zudem für jeden Sensor im Vergleich zum „Sichtweitenkorridor“ dargestellt. Hierfür werden Häufigkeiten der Abweichungen zwischen Messwert und „Sichtweitenkorridor“ abgebildet, wobei jeweils die minimale Differenz verwendet wird.

Bei einigen Nebelereignissen erscheinen die Bilder der Webcams zum Teil aufgrund der Überlagerung von Nebel und Sonneneinstrahlung übersteuert. Da dieses Verhalten nur bei vorhandenem Nebel auftritt erfolgt die Messwertbeurteilung der Sensoren für diese Situationen primär über den Vergleich der Ganglinien. In diesen kurzen Zeitabschnitten wird keine

obere Sichtweitengrenze angegeben, sondern es wird bei der Beurteilung überprüft, ob der Verlauf der Messwertganglinien der unteren Sichtweitengrenze entspricht (vgl. Anhang A 4). Es werden für die Ermittlung des Sichtweitenkorridors primär die Bilder der Webcam Nr. 3 verwendet, da sie über eine höhere Auflösung, sowie eine andere Bildeinstellung verfügt und somit die Problematik der Übersteuerung geringer ausfällt.

Die Bewertung erfolgt situationsbezogen für die ausgewählten Ereignisse, indem die Verläufe der Messwerte mittels folgender Kriterien beurteilt werden:

- **Messwertverfügbarkeit:** Es wird überprüft, ob Messwerte des untersuchten Sensors in der jeweiligen Situation vorhanden sind. Dabei geht es ausschließlich um die Quantität, nicht um die Qualität der Messwerte. Ggf. wird ein Grund für nicht vorhandene Messwerte angegeben. Dieses Attribut wird informativ aufgeführt und geht nicht in die Bewertung ein.
 - o *Messwerte: ✓*
Es liegen Messwerte für die betrachtete Situation vor.
 - o *Messwerte: -*
Es liegen keine Messwerte für die betrachtete Situation vor.
- **Reaktion:** Anhand dieses Kriteriums kann bewertet werden, ob die untersuchten Sensoren Reduzierungen der Sichtweite erkannt haben. Hier wird je untersuchter Situation überprüft, ob überhaupt eine verminderte Sichtweite erkannt wurde. Mittels dieses Indikators wird keine Aussage zur der Qualität der Messwerte getroffen.
 - o *Reaktion: ✓*
Der Sensor reagiert in der untersuchten Situation mit verminderten Sichtweitemesswerten.
 - o *Reaktion: -*
Der Sensor reagiert in der untersuchten Situation nicht mit einer Reduzierung der Sichtweitemesswerte.
- **Ereignisabbildung:** Mittels dieses Kriteriums wird überprüft, wie gut die untersuchte Situation durch die Messwerte der Sensoren abgebildet wird. Dies erfolgt durch den Vergleich der Messwerte mit der menschlichen Einschätzung des „Sichtweitenkorridors“ auf Basis der Webcam Bilder.
 - o *Ereignisabbildung: +*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation gut dar. Der Verlauf der Sensorganglinie entspricht im Wesentlichen der menschlichen Einschätzung der Sichtweite.
 - o *Ereignisabbildung: o*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation dar, der Verlauf der Sensorganglinie entspricht häufig nicht der menschlichen Einschätzung der Sichtweite.

- *Ereignisabbildung: -*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation schlecht dar, der Verlauf der Sensorganglinie entspricht im Wesentlichen nicht der menschlichen Einschätzung der Sichtweite.
- **Zeitverzug:** Es wird die zeitliche Reaktion des Sensors auf Änderungen der Sichtweite beurteilt.
 - *Zeitverzug: +*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation im Wesentlichen zeitnah dar, der Sensor hat schnell auf die Sichtweitereduktion reagiert.
 - *Zeitverzug: o*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation meist zeitnah dar, der Sensor hat auf die Sichtweitereduktion reagiert.
 - *Zeitverzug: -*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation nicht zeitnah dar, der Sensor hat zu spät auf die Sichtweitereduktion reagiert.
- **Ausprägung:** Anhand des Vergleichs der Amplituden der Sensorganglinie mit dem Verlauf der vom menschlichen Beobachter eingeschätzten Sichtweite wird die Messwertgenauigkeit beurteilt.
 - *Ausprägung: +*
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation gut dar, sie entsprechen im Wesentlichen der menschlichen Einschätzung der Sichtweite. Die Sensormesswerte liegen in der gleichen SW-Stufe für SBA wie der Sichtweitenkorridor.
 - *Ausprägung: o*
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation dar, sie entsprechen häufig nicht der menschlichen Einschätzung der Sichtweite. Die Sensormesswerte liegen in der nächsthöheren/-niedrigeren SW-Stufe für SBA wie der Sichtweitenkorridor (zusätzlich angedeutet durch „↑“: Sichtweite zu groß dargestellt bzw. „↓“: Sichtweite zu klein dargestellt).
 - *Ausprägung: -*
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation schlecht dar, sie entsprechen in der Regel nicht der menschlichen Einschätzung der Sichtweite. Die Sensormesswerte liegen mehr als eine SW-Stufe für SBA entfernt vom Sichtweitenkorridor (zusätzlich angedeutet durch „↑“ bzw. „↓“).

Es werden 16 Sichtweitenreduzierungen aufgrund von Nebel, Regen und Schnee untersucht, die Messwertganglinien, sowie beispielhafte Webcam Bilder sind Anhang A 4 zu entnehmen. Darauf basierend erfolgt die Gesamtbeurteilung der Sensoren gemäß den in Abschnitt 3.4 dargestellten Bewertungsstufen.

Die Ergebnisse sind nachfolgend für jeden Sensor einzeln aufbereitet und dargestellt. In dieser Testphase ist anzumerken, dass die Sichtweitenreduzierung häufig über dem anliegenden Feld und der Sichtweitenmarkierungspunkte zu beobachten war und nur leicht

über die Fahrbahn ging. In diesen Fällen wurde der SW-Korridor sehr weit gefasst, um die verschiedenen Blickrichtungen der Sensoren zu berücksichtigen.

4.2.3 Beurteilung

Boschung



Boschung PWS
Wartungstermin: 13.10.2015 Sensortausch
Firmware:
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Der Sensor **Boschung PWS** ist an einem Mast neben der Fahrbahn in einer Höhe von ca. 4,00 m montiert. Der Sensor zeigt in Fahrtrichtung Richtung Westen. Die Ergebnisse des Sensors Boschung PWS sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 01.11.2014 6:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↓
Nebel, 02.11.2014 6:30 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↓
Nebel, 09.12.2014 7:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↓
Nebel, 01.01.2015 7:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 01.01.2015 16:00 - 17:30 Uhr	✓	✓	+	+	-↓
Nebel, 03.02.2015 7:30 - 10:15 Uhr	✓	✓	+	+	-↓
Nebel, 04.02.2015 7:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	-↓
Nebel, 17.02.2015 7:00 - 10:30 Uhr	✓	✓	+	+	o↓
Nebel, 23.02.2015 7:00 - 8:30 Uhr	✓	✓	+	+	-↓
Nebel, 10.04.2015 6:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	-↓
Nebel, 16.05.2015 5:30 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	o
Nebel, 12.06.2015 4:30 - 7:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↓

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 18.08.2015 5:30 - 6:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 21.08.2015 5:45 - 7:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 22.08.2015 5:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 05.10.2015 6:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↓

Tabelle 10: Sichtweite Messwertbeurteilung Sensor Boschung PWS

Für die Beurteilung der Sichtweite stehen in dieser Testphase 16 Ereignisse zur Verfügung. Der Sensor Boschung PWS hat zu allen Ereignissen Messwerte geliefert. Allerdings fehlen häufig einzelne, oder auch mehrere Minutenwerte, besonders am 16.5.2015. Durch die manuelle Betrachtung der Ganglinien ist eine Tendenz erkennbar, die bewertet wird. Ein Steuerungsalgorithmus benötigt allerdings kontinuierlich Daten, da er sonst keine aktuelle Schaltung ermitteln kann. Die Ereignisabbildung ist in allen Ereignissen gut. Die Ausprägung der Sensormesswerte im Vergleich zum Sichtweitenkorridor wird in 31 % der untersuchten Nebelereignisse mit „+“, in 37 % mit „o“ und in 31 % mit „-“, beurteilt. Der Sensor neigt dazu eine etwas niedrigere Sichtweite anzugeben, als sie durch die Webcam Bilder beobachtet werden kann (Beurteilung „↓“).

Abweichungen vom menschlichen Sichtweitenkorridor Sensor Boschung PWS

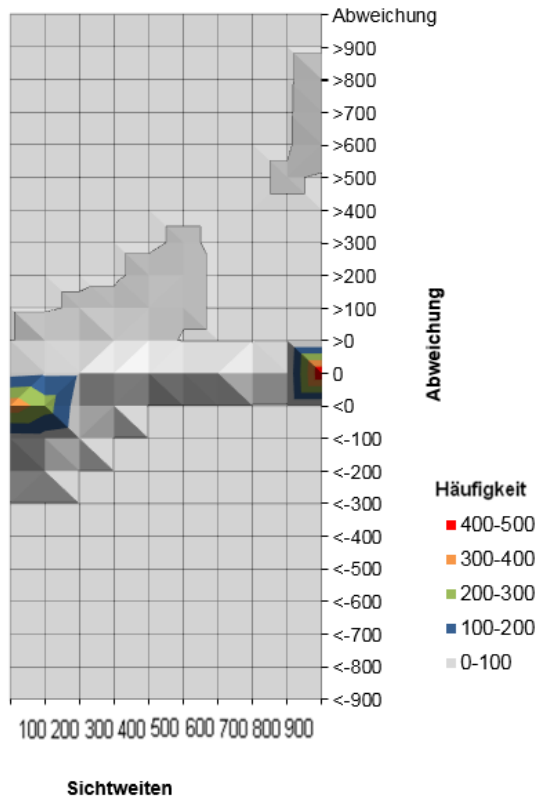


Abbildung 14: Histogramm der Abweichung: SW-Korridor – Boschung PWS

Die obige Abbildung zeigt die Abweichung der Messwerte des Sensors Boschung PWS zur menschlichen Einschätzung über den Sichtweitenkorridor.

Fazit:

Der Sensor **Boschung PWS** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 83 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Sichtweite als „bedingt geeignet“ anzusehen.

Lufft



Lufft VS20
Wartungstermine: 25.09.2015
Firmware: V 2.5
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Der Sensor **Lufft VS20** ist an einem Mast neben der Fahrbahn in einer Höhe von ca. 4,00 m montiert. Der Sensor zeigt zur straßenabgewandten Seite. Die Ergebnisse des Sensors Lufft VS20 sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 01.11.2014 6:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 02.11.2014 6:30 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 09.12.2014 7:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 01.01.2015 7:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 01.01.2015 16:00 - 17:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 03.02.2015 7:30 - 10:15 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 04.02.2015 7:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 17.02.2015 7:00 - 10:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 23.02.2015 7:00 - 8:30 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 10.04.2015 6:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 16.05.2015 5:30 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	o
Nebel, 12.06.2015 4:30 - 7:00 Uhr	✓	-			
Nebel, 18.08.2015 5:30 - 6:30 Uhr	✓	-			
Nebel, 21.08.2015 5:45 - 7:00 Uhr	✓	-			

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 22.08.2015 5:45 - 8:00 Uhr	✓	-			
Nebel, 05.10.2015 6:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+

Tabelle 11: Sichtweite Messwertbeurteilung Sensor Luft VS20

Für die Beurteilung der Sichtweite stehen in dieser Testphase 16 Ereignisse zur Verfügung. Der Sensor Luft VS20 hat an allen Ereignistagen Messwerte geliefert. An den Ereignistagen vom 12.6.2015 bis 22.8.2015 reagiert der Sensor nicht auf die Ereignisse. Alle anderen Ereignisse wurden, bis auf das Nebelereignis am 16.5.2015, positiv beurteilt.

Abweichungen vom menschlichen Sichtweitenkorridor Sensor Luft VS20

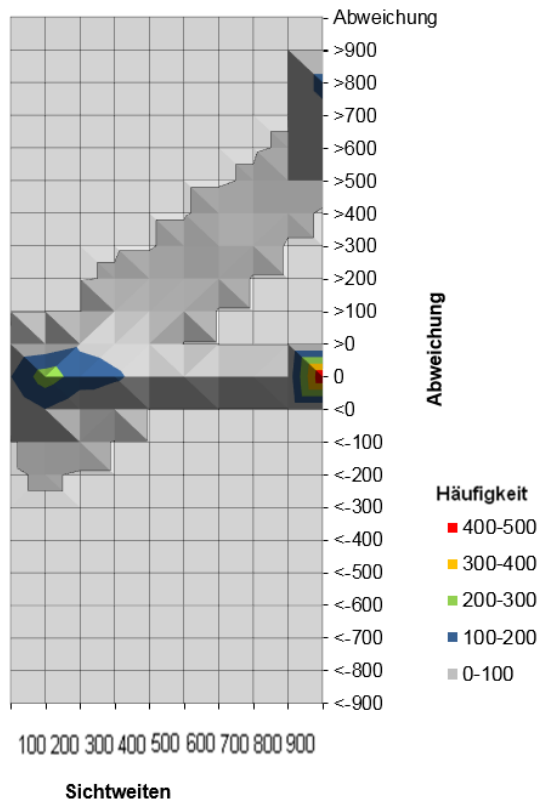


Abbildung 15: Histogramm der Abweichung: SW-Korridor – Luft VS20

Die obige Abbildung zeigt die Abweichung der Messwerte des Sensors Luft VS20 zur menschlichen Einschätzung über den Sichtweitenkorridor.

Fazit:

Der Sensor **Luft VS20** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 74 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Sichtweite als „bedingt geeignet“ anzusehen.

Sick

Im Testfeld „Eching Ost“ sind von der Firma Sick zwei Sensoren der Serie VISIC620 zur Bestimmung der Sichtweite installiert. Die beiden Sensoren Sick VISIC620 sind untereinander an einem Mast montiert. Der Sensor Sick VISIC620 mit der Namensergänzung „_1“ befindet sich oberhalb des anderen typgleichen Sensors und ist senkrecht zur Fahrbahn montiert. Der Sensor VISIC 620_2 ist parallel zur Fahrbahn montiert. Es erfolgt eine separate Beurteilung der beiden typgleichen Sensoren.

Sick VISIC620_1



Sick VISIC620_1
Wartungstermin: 15.05.2015 11.09.2015
Firmware: 9110130_U670
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 12.08.2015 - 10.09.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Die Ergebnisse der Beurteilung des Sensors Sick VISIC620_1 ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Ereignis	Messwert-verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis-abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 01.11.2014 6:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 02.11.2014 6:30 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 09.12.2014 7:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 01.01.2015 7:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 01.01.2015 16:00 - 17:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 03.02.2015 7:30 - 10:15 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 04.02.2015 7:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 17.02.2015 7:00 - 10:30 Uhr	✓	✓	+	+	+

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 23.02.2015 7:00 - 8:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 10.04.2015 6:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 16.05.2015 5:30 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 12.06.2015 4:30 - 7:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 18.08.2015 5:30 - 6:30 Uhr	-				
Nebel, 21.08.2015 5:45 - 7:00 Uhr	-				
Nebel, 22.08.2015 5:45 - 8:00 Uhr	-				
Nebel, 05.10.2015 6:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+

Tabelle 12: Sichtweite Messwertbeurteilung Sensor Sick VISIC620_1

Am 18.8.2015 bis 22.08.2015 sind keine Messwerte für den Sensor VISIC620_1 verfügbar, da es Probleme in der Datenverbindung gab.

In allen Situationen, zu denen Daten des Sensors vorliegen, wird das Nebelereignis gut abgebildet. Die Ausprägung in Bezug zum Sichtweitenkorridor wird in 100 % der Fälle mit „+“ beurteilt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen dem Sichtweitenkorridor und den Sensormesswerten Sick VISIC620_1.

Abweichungen vom menschlichen Sichtweitenkorridor Sensor Sick VISIC 620_1

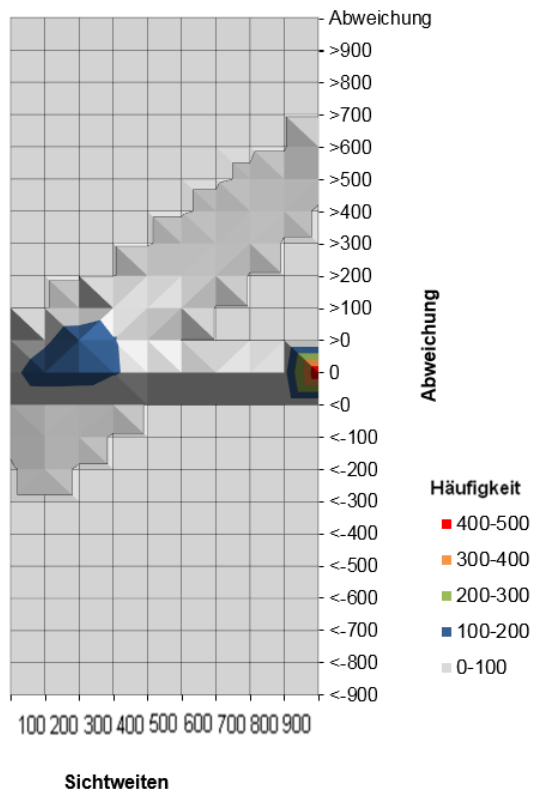


Abbildung 16: Histogramm der Abweichung: SW-Korridor – Sick VISIC620_1

Fazit:

Der Sensor **Sick VISIC620_1** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 100 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Sichtweite als „geeignet“ anzusehen.

Sick VISIC620_2



Sick VISIC620_2
Wartungstermin: 15.05.2015 11.09.2015
Firmware: 9110130_U670
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 12.12.2014 - 23.12.2014 31.12.2014 - 09.01.2014 sehr häufige Ausfälle 15.01.2015 - 26.01.2015 23.02.2015 - 26.02.2015 30.04.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 12.08.2015 - 10.09.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Der Datenkanal zwischen Sensor und Aufzeichnungscomputer ist gestört, daher kommt es zu häufigeren Ausfällen.

Die Beurteilung des Sensors VISIC620_2 ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 01.11.2014 6:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 02.11.2014 6:30 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 09.12.2014 7:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 01.01.2015 7:30 - 12:00 Uhr	o				
Nebel, 01.01.2015 16:00 - 17:30 Uhr	o				
Nebel, 03.02.2015 7:30 - 10:15 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 04.02.2015 7:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 17.02.2015 7:00 - 10:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 23.02.2015 7:00 - 8:30 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 10.04.2015 6:00 - 8:00 Uhr	✓	-			
Nebel, 16.05.2015 5:30 - 8:00 Uhr	-				
Nebel, 12.06.2015 4:30 - 7:00 Uhr	✓	✓	+	+	+

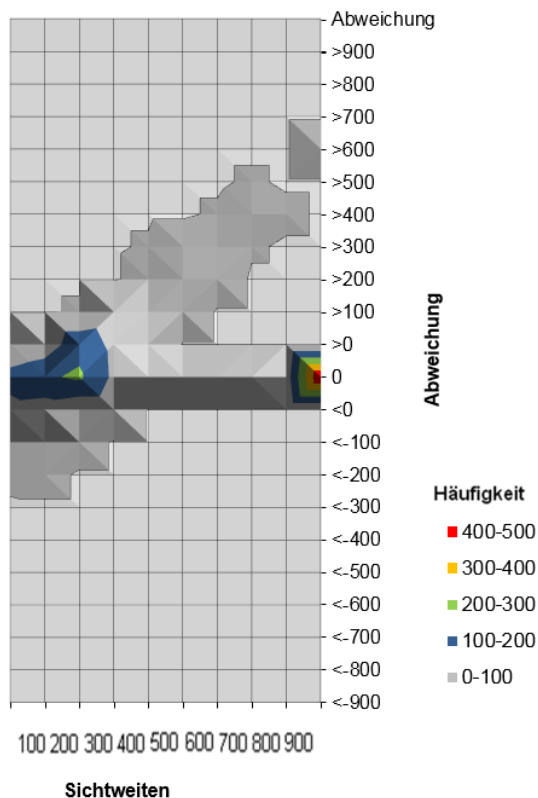
Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 18.08.2015 5:30 - 6:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 21.08.2015 5:45 - 7:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 22.08.2015 5:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 05.10.2015 6:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+

Tabelle 13: Sichtweite Messwertbeurteilung Sensor Sick VISIC620_2

Es lagen Daten zu 13 Ereignissen vor. Am 1.1.2015 brach die Datenübertragung in beiden Ereignissen aufgrund von ungeklärten Ursachen ab, so dass eine Bewertung nicht möglich ist. Beide Ereignisse werden mit „keine Messwerte verfügbar“ gewertet. Am 10.4.2015 reagierte der Sensor nicht auf das Ereignis. Alle anderen Ereignisse wurden positiv bewertet. In drei Ereignissen wurde die Sichtweite etwas überschätzt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen dem Sichtweitenkorridor und den Sensormesswerten Sick VISIC620_2.

**Abweichungen vom menschlichen Sichtweitenkorridor
Sensor Sick VISIC620_2**



Fazit:

Der Sensor **Sick VISIC620_2** hat eine Gesamtbeurteilung von 92 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Sichtweite als „geeignet“ anzusehen.

Spies



Spies VMS-16/107A
Wartungstermin: 25.08.2015
Firmware: e608
Datenausfälle: 14.11.2014 - 20.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 14.04.2015 - 10.08.2015

Zur Sichtweitenbestimmung in SBA wird der Sensor Spies **VMS-16/107A** im Testfeld „Eching Ost“ beurteilt. Der Sensor ist an der Behausung mit Blickrichtung entgegen der Fahrtrichtung montiert. Seit dem 20. Oktober 2015 werden die Daten des Sensors über das Feldbus Protokoll aufgezeichnet.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse des Sensors VMS-16/107A.

Ereignis	Messwert-verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis-abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 01.11.2014 6:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↓
Nebel, 02.11.2014 6:30 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↓
Nebel, 09.12.2014 7:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↓
Nebel, 01.01.2015 7:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 01.01.2015 16:00 - 17:30 Uhr	✓	✓	+	+	o
Nebel, 03.02.2015 7:30 - 10:15 Uhr	✓	✓	+	+	-↑
Nebel, 04.02.2015 7:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	-↑
Nebel, 17.02.2015 7:00 - 10:30 Uhr	✓	✓	+	+	-↑
Nebel, 23.02.2015 7:00 - 8:30 Uhr	✓	✓	+	+	-↑
Nebel, 10.04.2015 6:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 16.05.2015 5:30 - 8:00 Uhr	-				
Nebel, 12.06.2015 4:30 - 7:00 Uhr	-				
Nebel, 18.08.2015 5:30 - 6:30 Uhr	✓	✓	+	+	+

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 21.08.2015 5:45 - 7:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 22.08.2015 5:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 05.10.2015 6:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↓

Tabelle 14: Sichtweite Messwertbeurteilung Sensor Spies VMS-16/107A

Zur Beurteilung stehen 14 Ereignisse mit Sichtweitenreduktion zur Verfügung, da der Aufzeichnungs-PC zu den Ereignissen am 16.5. und 12.6. defekt war. 50 % der Ereignisse werden vom Sensor gut abgebildet (Beurteilung „+“). 21 % wurden mit „o“ und 29 mit „-“ bewertet. Bei den negativ bewerteten Ereignissen wird das Nebelereignis zu schwach abgebildet. In diesen Situationen würde der Sensor in einer SBA eine höhere Geschwindigkeitsbegrenzung anzeigen, als der Situation angemessen wäre. Diese Nebelereignisse werden unterschätzt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Abweichung der Sensormesswerte zum menschlichen Sichtweitenkorridor.

**Abweichungen vom menschlichen Sichtweitenkorridor
Sensor Spies VMS-16/107A**

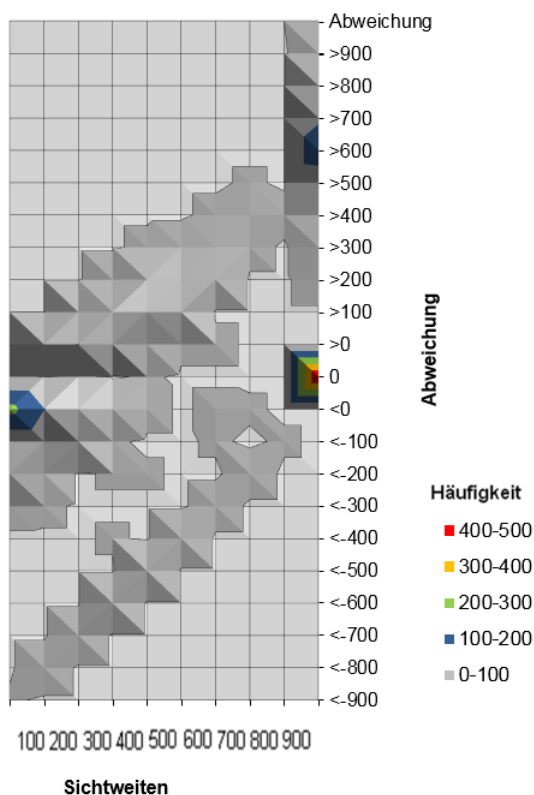


Abbildung 17: Histogramm der Abweichung: SW-Korridor – Spies VMS-16/107A

Fazit:

Der Sensor **Spies VMS-16/107A** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 87 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Sichtweite als „geeignet“ anzusehen.

Vaisala

Von der Firma Vaisala stehen zwei Sensoren (PWD12 und DSC111) zur Ermittlung der Sichtweite im Testfeld zur Verfügung.

Der Sensor Vaisala **PWD12** ermittelt u.a. die Umfeldgröße Sichtweite. Der Sensor ist im Testfeld „Eching Ost“ an einem Mast, der sich neben der Fahrbahn befindet, in einer Höhe von ca. 3,50 m montiert. Der Sensor Vaisala DSC111_2 ist auf der Schilderbrücke über der Fahrbahn montiert und detektiert neben Größen zur Fahrbahnoberfläche auch die Sichtweite. Der Messbereich des Sensors zeigt in Fahrtrichtung auf den linken Fahrstreifen.

Die Beurteilung der jeweiligen Sensoren ist nachfolgend dargestellt.

Vaisala PWD12



Vaisala PWD12
Wartungstermin: 22.10.2015
Firmware: V 1.07
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse des Sensors Vaisala PWD12.

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 01.11.2014 6:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+↑
Nebel, 02.11.2014 6:30 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	o	+
Nebel, 09.12.2014 7:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 01.01.2015 7:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 01.01.2015 16:00 - 17:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 03.02.2015 7:30 - 10:15 Uhr	✓	✓	+	+	-↑
Nebel, 04.02.2015 7:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↑
Nebel, 17.02.2015 7:00 - 10:30 Uhr	✓	✓	+	+	o↑

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 23.02.2015 7:00 - 8:30 Uhr	✓	✓	+	+	o↑
Nebel, 10.04.2015 6:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↑
Nebel, 16.05.2015 5:30 - 8:00 Uhr	✓	✓	o	+	-↑
Nebel, 12.06.2015 4:30 - 7:00 Uhr	✓	✓	+	o	o↑
Nebel, 18.08.2015 5:30 - 6:30 Uhr	✓	✓	+	+	o↑
Nebel, 21.08.2015 5:45 - 7:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↑
Nebel, 22.08.2015 5:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	-	+	o↑
Nebel, 05.10.2015 6:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	-	+	o↑

Tabelle 15: Sichtweite Messwertbeurteilung Sensor Vaisala PWD12

Für alle beurteilten Ereignisse lagen Messwerte des Sensors vor und der Sensor reagierte auf das Ereignis. Die Abbildung des Ereignisses erscheint allerdings häufig etwas „geglättet“, so dass nicht immer alle kurzen Änderungen der Sichtweite abgebildet werden. Die Ausprägung wird in 31 % positiv mit „+“ bewertet. 56 % werden mit „o“ und 12 % mit „-“, bewertet. In diesen Fällen wird die Sichtweite zu weit abgebildet. In diesen Situationen würde der Sensor in einer SBA eine höhere Geschwindigkeitsbegrenzung anzeigen, als der Situation angemessen wäre. Diese Nebelereignisse werden unterschätzt.

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Häufigkeit der Abweichungen der Sensormesswerte des PWD12 gegenüber dem Sichtweitenkorridor.

Abweichungen vom menschlichen Sichtweitenkorridor Sensor Vaisala PWD12

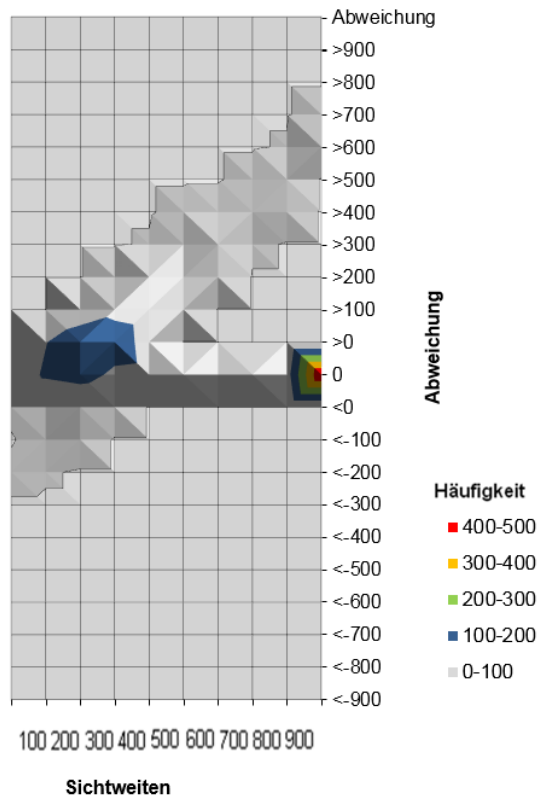


Abbildung 18: Histogramm der Abweichung: SW-Korridor – Vaisala PWD12

Fazit:

Der Sensor **Vaisala PWD12** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 80,2 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Sichtweite als „bedingt geeignet“ anzusehen.

Vaisala DSC111_2



Vaisala DSC111_2
Wartungstermin: 22.10.2015
Firmware: V 1.05
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Die Ergebnisse der Beurteilung des Sensors Vaisala DSC111_2 bzgl. Sichtweite sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt. Der Sensor misst direkt über der Fahrbahn.

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 01.11.2014 6:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 02.11.2014 6:30 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 09.12.2014 7:30 - 10:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↑
Nebel, 01.01.2015 7:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↑
Nebel, 01.01.2015 16:00 - 17:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 03.02.2015 7:30 - 10:15 Uhr	✓	✓	+	+	-↑
Nebel, 04.02.2015 7:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	o↑
Nebel, 17.02.2015 7:00 - 10:30 Uhr	✓	✓	+	+	-↑
Nebel, 23.02.2015 7:00 - 8:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 10.04.2015 6:00 - 8:00 Uhr	✓	-			
Nebel, 16.05.2015 5:30 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	-↑
Nebel, 12.06.2015 4:30 - 7:00 Uhr	✓	✓	o	+	-↑
Nebel, 18.08.2015 5:30 - 6:30 Uhr	✓	✓	+	+	+
Nebel, 21.08.2015 5:45 - 7:00 Uhr	✓	✓	+	+	+

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung
Nebel, 22.08.2015 5:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	-
Nebel, 05.10.2015 6:45 - 8:00 Uhr	✓	✓	-	+	-

Tabelle 16: Sichtweite Messwertbeurteilung Sensor Vaisala DSC111_2

In der 11. Testphase wurden 16 Nebelereignisse beurteilt. An allen Ereignissen liegen Messwerte des Sensors DSC111_2 vor. Der Sensor reagiert bis auf am 10.4.2015 auf alle Ereignisse. Die Ausprägung wird in 37 % der Ereignisse positiv bewertet. Drei Ereignisse (19 %) werden mit „o“ und weitere sechs Ereignisse (37 %) mit „-„ bewertet. Die Ausprägung wird in diesen neun Fällen zu gering abgebildet. Die Sichtweitenreduktion wird unterschätzt, was in einer SBA zu höheren zulässigen Geschwindigkeiten führen würde, als der Situation angemessen wäre.

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Häufigkeit der Abweichungen der Sensormesswerte des DSC111_2 gegenüber dem Sichtweitenkorridor.

**Abweichungen vom menschlichen Sichtweitenkorridor
Sensor Vaisala DSC111**

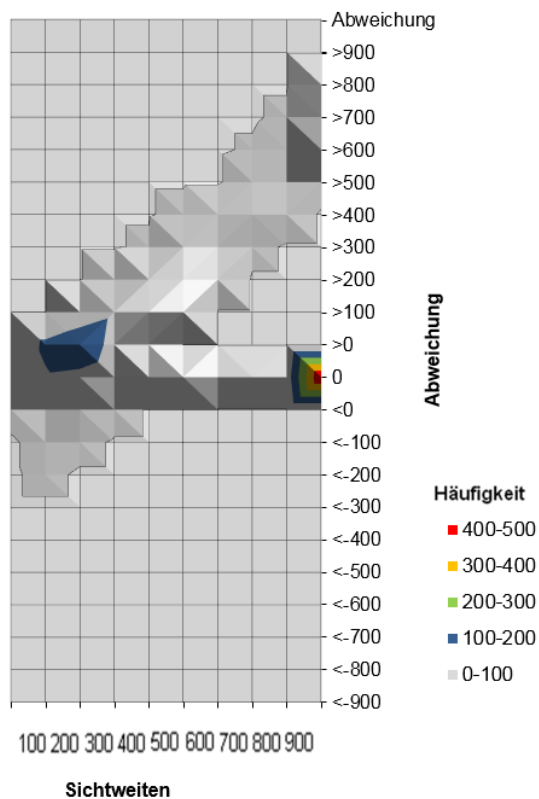


Abbildung 19: Histogramm der Abweichung: SW-Korridor – Vaisala DSC111_2

Fazit:

Der Sensor **Vaisala DSC111_2** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 75 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Sichtweite als „bedingt geeignet“ anzusehen.

Sichtweitenstufen

Abbildung 20 zeigt die SW-Stufen der 16 bewerteten Ereignisse der Sensoren. Gezählt wurden alle Minutenwerte, in denen alle Sensoren Daten lieferten. Insgesamt wurden 1255 Minutenwerte betrachtet. Die Sichtweitenstufen setzten sich nach FGSV, 2010 wie in Tabelle 17 zu sehen ist zusammen. Es wurden nur die Einschaltwerte als Vergleichswert genommen.

SW-Stufe ein [m]	SW-Stufe aus [m]	SW-Stufe
> 400		SW0
≤ 400	> 500	SW1
≤ 250	> 300	SW2
≤ 120	> 150	SW3
≤ 80	> 100	SW4
≤ 50	> 60	SW5

Tabelle 17: Grenzwerte zur Klassifizierung der SW-Stufen (FGSV 2010)

Wie in den Bewertungen zuvor ist zu sehen, dass der Sensor Boschung ITSENS eher kleinere Sichtweiten ermittelt, wohingegen die Sensoren Vaisala PWD12 und Vaisala DSC111_2 eher größere Sichtweiten ermitteln und die SW-Stufe 5 gar nicht oder nur sehr selten ermittelt wird.

Ein direkter Vergleich mit den Bewertungsergebnissen, dargestellt in Tabelle 18, kann nicht gezogen werden, da in der Bewertung die Ganglinie mit dem SW-Korridor verglichen wurde. Dabei wurde hauptsächlich der Verlauf der Ganglinie und deren Ausprägung betrachtet. Einzelne „Minuten-Ausreißer“ fallen dabei nicht so stark ins Gewicht wie in der Summenbetrachtung der SW-Stufen. Die nachfolgende Abbildung zu den SW-Stufen geht nicht in die Bewertung der Sensoren mit ein. Sie dient lediglich der Veranschaulichung der weiteren Nutzung der Daten in SBA.

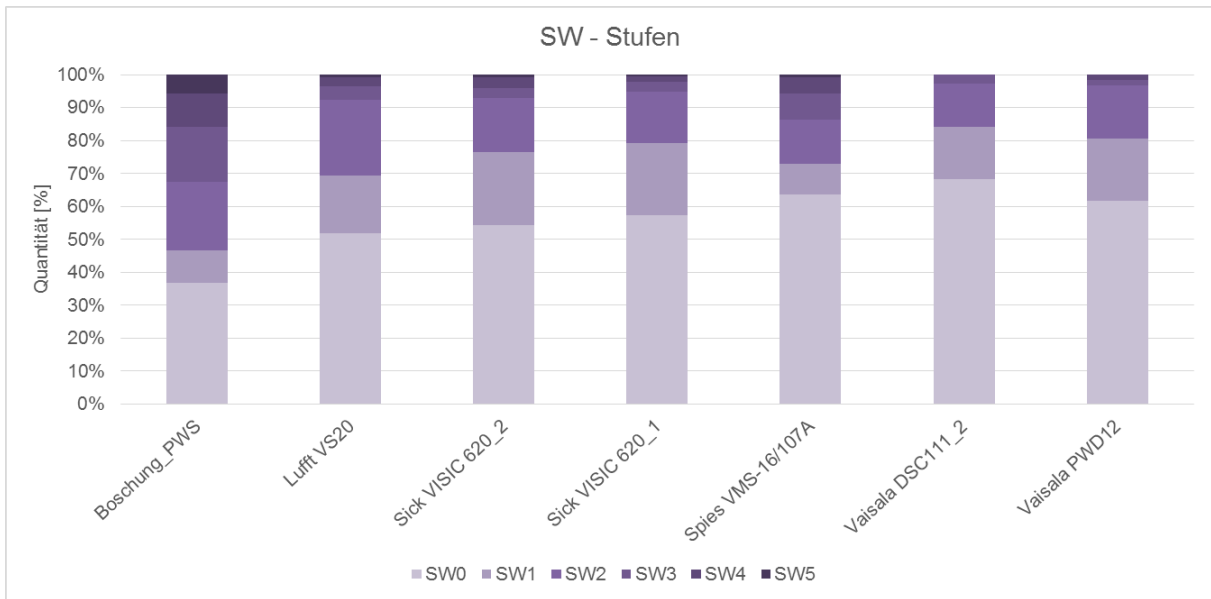


Abbildung 20: Sichtweiten Stufen für die bewerteten Ereignisse

4.2.4 Ergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt eine Zusammenstellung der Ergebnisse der Sensorbeurteilungen an 16 Situationen. Dies sind alle Situationen in der 11. Testphase, zu denen eine Beurteilung möglich war.

Sichtweite	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung	Zeitverzug	Ausprägung	
Boschung PWS	16	16	16	16	5	+
			0	0	6	o
			0	0	5	-
Lufft VS20	16	12	12	12	11	+
			0	0	1	o
			0	0	0	-
Sick VISIC 620_1	13	13	13	13	13	+
			0	0	0	o
			0	0	0	-
Sick VISIC 620_2	13	12	12	12	12	+
			0	0	0	o
			0	0	0	-
Spies VMS-16/107A	14	14	14	14	7	+
			0	0	3	o
			0	0	4	-
Vaisala PWD12	16	16	13	15	5	+
			1	1	9	o
			2	0	2	-
Vaisala DSC111	16	15	13	15	6	+
			1	0	3	o
			1	0	6	-

Abbildung 21: Zusammenstellung der Beurteilung der Sensoren bzgl. Sichtweite

Die Ergebnisse der Beurteilung der Sensoren zur Ermittlung der Sichtweiten in SBA sind in Tabelle 18 zusammengefasst. Dargestellt ist der erreichte Wert der Gesamtbeurteilung je Sensortyp entsprechend dem angewandten Bewertungsschema (siehe Kapitel 3.4).

Sensor	SW-Gesamtbeurteilung	
Boschung PWS	83 %	o
Lufft VS20	74 %	o
Sick VISIC620_1	100 %	+
Sick VISIC620_2	92 %	+
Spies VMS-16/107A	87 %	+
Vaisala PWD12	80 %	o
Vaisala DSC111_2	75 %	o

Tabelle 18: Ergebnisse der Beurteilung der Sensoren für SW

Legende		
geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 85 %	+
mit Einschränkungen geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 70 % und < 85 %	o
nicht geeignet für den Einsatz in SBA	< 70 %	-
keine Bewertung	-	/

Tabelle 19: Legende zur Beurteilung der Sensoren für SW

4.3 Niederschlagsintensität

4.3.1 Definition

Als Niederschlagsintensität wird die Stärke eines Niederschlagsereignisses angegeben. Sie wird als auf ein Zeitintervall bezogene Niederschlagshöhe aller Art angegeben. Die Intensität wird in Bezug auf Niederschlag in flüssiger Form durch Volumen ($1\text{l/m}^2 = 1\text{ mm}$) pro Zeiteinheit angegeben. Niederschlag in gefrorenem Zustand ist als ein entsprechendes Wasseräquivalent (Menge nach dem Schmelzen) anzugeben (BASt, TLS 2012).

Für festen Niederschlag ist vom zu überprüfenden System das Äquivalent der Höhe der entsprechenden Wasserschicht zu berechnen.

4.3.2 Beurteilung

Allgemein

Für die Bestimmung der Niederschlagsintensität werden die in Tabelle 20 aufgeführten Sensorsysteme verwendet.

Sensor	Technologie
Boschung PWS	Present Weather (Backward Scatter)
Lufft WS600-UMB	Doppler-Radar
Lambrecht rain[e]	Wägesystem
Ott Parsivel ²	Laserbasiert
Ott Parsivel ⁵	Laserbasiert
<i>Ott Pluviometer</i>	<i>Wägesystem (Referenzsystem)</i>
Thies Laser-Niederschlagsmonitor	Laserbasiert
Vaisala PWD12	Present Weather (Forward Scatter)

Tabelle 20: Sensorübersicht „Niederschlagsintensität“

Die Sensormesswerte werden anhand einer zufälligen, über die Testphase gleichverteilte Stichprobe, aus allen 112 möglichen Niederschlagsereignissen beurteilt. Hierfür werden aus der Grundgesamtheit der 12-monatigen Testphase zufällig 39 Situationen gewählt, in denen Regen, Schnee, Starkniederschläge und gemischte Niederschläge auftraten. Somit wurden 36 % aller möglichen Niederschlagsereignisse genauer betrachtet. Voraussetzung ist, dass Messwerte des Referenzsensors Pluviometer zum Vergleich vorhanden sind. Es konnten aufgrund eines defekten Computers keine Daten vom Pluviometer im Zeitraum vom 14.04.2015 bis 10.08.2015 aufgezeichnet werden. In diesem Zeitraum konnte keine Bewertung der Ereignisse stattfinden. Die Stichprobe von 39 untersuchten Situationen ist mit einer Eintretenswahrscheinlichkeit von 90 % statistisch abgesichert.

Um für die Messwertganglinien der überprüften Sensoren und des Pluviometers eine Vergleichbarkeit herzustellen, sind in den Diagrammen die gleitenden 5 Minuten-Mittelwerte dargestellt sowie die windkorrigierten Messwerte des Pluviometers. Des Weiteren ist eine

⁵ Keine Bewertung des Sensors, da zu wenige Daten in der 11. Testphase vorliegen

Gegenüberstellung aller Tagesniederschlagssummen vor jeder Beurteilung vorangestellt, sofern Daten des Sensors an diesem Tag vorhanden sind.

Beträgt die Anzahl der vorhandenen Datensätze des Sensors weniger als die Hälfte entfällt eine Beurteilung in der Testphase.

Die Bewertung erfolgt einzeln für jedes der Niederschlagsereignisse, indem die akkumulierten Niederschlagsmengen (s. o.) und die Ganglinien der Messwerte anhand folgender Kriterien bewertet werden:

- **Messwertverfügbarkeit:** Es wird überprüft, ob Messwerte des untersuchten Sensors in der jeweiligen Situation vorhanden sind. Dabei geht es nur um Quantität, nicht um die Qualität der Messwerte. Ggf. wird ein Grund für nicht vorhandene Messwerte angegeben. Dieses Kriterium wird informativ aufgeführt und geht nicht in die Bewertung ein.
 - o *Messwerte: ✓*
Es liegen Messwerte für die betrachtete Situation vor.
 - o *Messwerte: -*
Es liegen keine Messwerte für die betrachtete Situation vor.
- **Reaktion:** Anhand dieses Aspekts kann bewertet werden, ob die untersuchten Sensoren Niederschlag ermittelt haben. Es wird je untersuchter Situation überprüft, ob ein Niederschlagsereignis (beliebiger Ausprägung) erkannt wurde, wobei keine Aussage bezüglich der Güte der Messwerte getroffen wird.
 - o *Reaktion: ✓*
Der Sensor reagiert in der untersuchten Situation mit Messwerten für Niederschlagsintensität > 0 .
 - o *Reaktion: -*
Der Sensor ermittelt in der untersuchten Situation für die Niederschlagsintensität den Messwert „0“.
- **Ganglinienverlauf:** Mittels dieses Kriteriums wird überprüft, wie gut die untersuchte Situation durch die Messwerte der Sensoren im Vergleich zur Ganglinie des Pluviometers abgebildet wird.
 - o *Ganglinienverlauf: +*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation gut dar, der Verlauf der Sensorganglinie entspricht im Wesentlichen der Ganglinie des Pluviometers.
 - o *Ganglinienverlauf: o*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation dar, der Verlauf der Sensorganglinie entspricht häufig nicht der Pluviometerganglinie.
 - o *Ganglinienverlauf: -*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation schlecht dar, der Verlauf der Sensorganglinie entspricht im Wesentlichen nicht dem Werteverlauf des Pluviometer.

- **Ausprägung:** Anhand des Vergleichs der Amplituden der Sensorganglinie mit dem Verlauf der Pluviometerganglinie wird die Messwertgenauigkeit beurteilt.
 - **Ausprägung: +**
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation gut dar, sie entsprechen im Wesentlichen der Pluviometerganglinie. Die Messwerte liegen innerhalb der gleichen NI-Stufe für SBA, wie die Messwerte des Referenzsensors.
 - **Ausprägung: +↑**
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation gut dar, sie entsprechen im Wesentlichen der Pluviometerganglinie. Die Messwerte liegen innerhalb der gleichen NI-Stufe für SBA, wie die Messwerte des Referenzsensors. Sie sind tendenziell an der oberen Grenze der NI-Stufe.
 - **Ausprägung: +↓**
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation gut dar, sie entsprechen im Wesentlichen der Pluviometerganglinie. Die Messwerte liegen innerhalb der gleichen NI-Stufe für SBA, wie die Messwerte des Referenzsensors. Sie sind tendenziell an der unteren Grenze der NI-Stufe.
 - **Ausprägung: o**
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation dar, sie entsprechen häufig nicht der Pluviometerganglinie. Die Messwerte liegen in der angrenzenden NI-Stufe für SBA, wie die Messwerte des Referenzsensors.
 - **Ausprägung: o↑**
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation dar, sie entsprechen häufig nicht der Pluviometerganglinie. Die Sensorganglinie liegt meist über der Pluviometerganglinie. Die Messwerte liegen in der nächsthöheren NI-Stufe für SBA, wie die Messwerte des Referenzsensors.
 - **Ausprägung: o↓**
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation dar, sie entsprechen häufig nicht der Pluviometerganglinie. Die Sensorganglinie liegt meist unter der Pluviometerganglinie. Die Messwerte liegen in der nächstniedrigeren NI-Stufe für SBA, wie die Messwerte des Referenzsensors.
 - **Ausprägung: -**
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation schlecht dar, sie entsprechen in der Regel nicht der Pluviometerganglinie. Die Messwerte liegen in einer um zwei NI-Stufen unterschiedlichen NI-Stufe für SBA, wie die Messwerte des Referenzsensors.
 - **Ausprägung: -↑**
Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation schlecht dar, sie entsprechen in der Regel nicht der Pluviometerganglinie. Die Sensorganglinie liegt meist über der Pluviometerganglinie. Die Messwerte liegen um

zwei NI-Stufe über der NI-Stufe für SBA, die durch die Messwerte des Referenzsensors ermittelt wurde.

- *Ausprägung: -↓*

Die Amplituden der Sensorganglinie stellen die untersuchte Situation schlecht dar, sie entsprechen in der Regel nicht der Pluviometerganglinie. Die Sensorganglinie liegt meist unter der Pluviometerganglinie. Die Messwerte liegen um zwei NI-Stufe unter der NI-Stufe für SBA, die durch die Messwerte des Referenzsensors ermittelt wurde.

- **Zeitverzug:** Es wird die zeitliche Reaktion des Sensors bis zur Erkennung eines Niederschlagsereignisses bewertet. Als „zeitnahe“ Reaktion wird in den Untersuchungen im Testfeld eine Ereignismeldung innerhalb von 3 Minuten gewertet.
 - *Zeitverzug: +*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation im Wesentlichen zeitnah dar, der Sensor hat schnell auf das Niederschlagsereignis reagiert.
 - *Zeitverzug: o*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation meist zeitnah dar, der Sensor hat auf das Niederschlagsereignis reagiert.
 - *Zeitverzug: -*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation nicht zeitnah dar, der Sensor hat zu spät auf das Niederschlagsereignis reagiert.
- **Tagessumme:** Die Messwertgenauigkeit wird anhand des Vergleichs der Tagesniederschlagssummen der Sensoren mit den akkumulierten Niederschlagsmengen des Pluviometers beurteilt. Je nach Niederschlagsart wurden unterschiedliche Schwellenwerte gewählt, wobei bei der Niederschlagsart zwischen „Regen“ und „Schnee“ unterschieden wurde. Bei der Bewertung wurde berücksichtigt, dass die Messwerte des Pluviometers bei schwachen Niederschlagsereignissen nicht als Referenz geeignet sind.
 - *Tagessumme: +*
Die Tagesniederschlagssumme des Sensors weicht bei Regen nicht mehr als 20 % von der Tagesniederschlagssumme des Pluviometers ab, bei Schnee wird als Schwellenwert für die Abweichung 30 % gewählt.
 - *Tagessumme: o*
Die Tagesniederschlagssumme des Sensors weicht zwischen 20 und 40 % von der Tagesniederschlagssumme des Pluviometers ab (bei Schnee: zwischen 30 und 60 %).
 - *Tagessumme: -*
Die Tagesniederschlagssumme des Sensors weicht mehr als 40 % von der Tagesniederschlagssumme des Pluviometers ab, für Schnee beträgt der Schwellenwert 60 %.

Wenn in Situationen der Sensor nicht ganz eindeutig einem Kriterium der Bewertungsklasse zugeordnet werden kann, wird dies in der Tabelle wie folgt „+/-“ dargestellt. Es wird stets die erste Bewertungsklasse für die Gesamtbeurteilung gewertet.

Auf diesen Kriterien basiert eine Gesamtbewertung der Sensoren gemäß den oben definierten Bewertungsklassen. Wichtig ist insbesondere eine gute Fähigkeit der Sensoren Ereignisse abzubilden, da davon ausgegangen wird, dass Anpassungen an die Messwertausprägung in den meisten Fällen kalibrierbar sind.

Die Niederschlagsintensität ist ein für die Steuerung sehr wichtiger aber offensichtlich schwierig zu messender Wert. Das wird durch die teilweise großen Abweichungen zur Referenz und zwischen den Sensoren deutlich. Insbesondere in der Tagessumme gibt es größere Abweichungen, vor allem wenn neben einem Regenereignis noch längerer leichter Regen unter 1 mm/h hinzukommt. Das Pluviometer misst bis zu einem Wert von 0,1 mm nicht genau. Manche der verbauten Sensoren sind jedoch in der Lage auch einen sehr geringen Niederschlag konstant zu bestimmen. Dadurch kann es zu Abweichungen in der Tagessumme kommen. Die Ereignisse anhand derer die Beurteilung durchgeführt wurde sind im Anhang A 5 dargestellt.

Boschung



Boschung PWS
Wartungstermin: 13.10.2015 Sensortausch
Firmware:
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

In nachfolgender Abbildung ist die Tagessumme aller Niederschlagsereignisse während der 11. Testphase dargestellt. Es sind jeweils die Werte des beurteilten Sensors Boschung PWS und der Referenz Ott Pluviometer dargestellt.

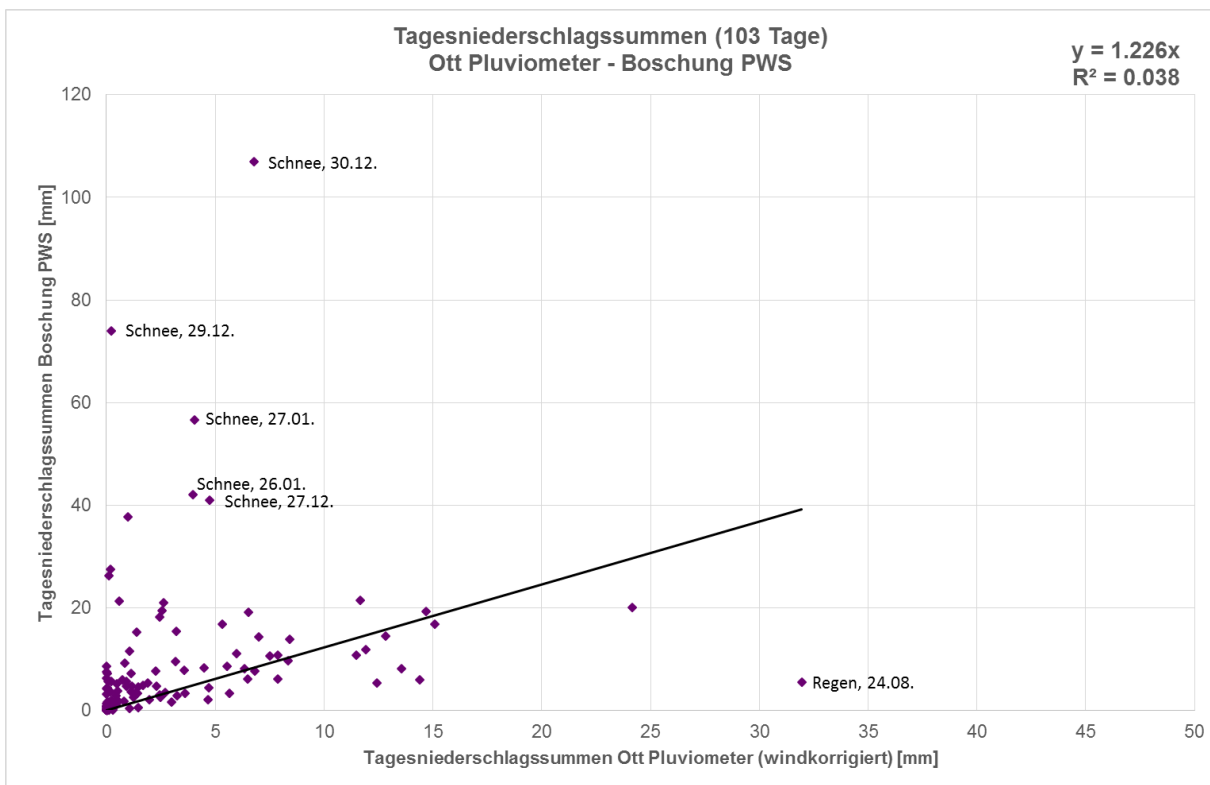


Abbildung 22: Tagesniederschlagssummen während der 11. Testphase (Boschung PWS – Ott Pluviometer)

Die Regressionsgrade beschreibt eine lineare Funktion mit einer Steigung von 1,226 und hat ein Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,038. Dies weist auf einen geringen Zusammenhang zwischen den beiden Größen hin. Bei manchen extremen Punkten sind das Datum und die Niederschlagsart vermerkt.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung der 39 Ereignisse aus der 11. Testphase.

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
06.11.2014 Regen 8:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
06.12.2014 Regen 13:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	-
16.12.2014 Regen 15:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
17.12.2014 Regen 14:00 - 20:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
18.12.2014 Regen 19:00 - 21:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	-
20.12.2014 Regen 19:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
27.12.2014 Schnee 11:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	o	-↑	+	-
02.01.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	-
03.01.2015 Regen/Schnee 14:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
09.01.2015 Regen 20:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	-
14.01.2015 Regen/Schnee 17:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
29.01.2015 Regen/Schnee 0:00 - 08:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
23.02.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	-

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
02.03.2015 Regen 4:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
04.03.2015 Regen 1:00 - 6:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	-
21.03.2015 Regen 18:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	0	+	+
30.03.2015 Regen 2:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
31.03.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	-
02.04.2015 Regen 13:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
04.04.2015 Regen 4:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	-
14.08.2015 Regen 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	0	0↓	+	-
15.08.2015 Regen 18:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	-↓	+	-
16.08.2015 Regen 4:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
17.08.2015 Regen 7:30 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
23.08.2015 Regen 18:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	0	0↓	+	-
24.08.2015 Starkregen 18:00 - 22:30 Uhr	✓	✓	+	-↓	+	-

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ganglinienverlauf	Ausprägung	Zeitverzug	Tagessumme
01.09.2015 Regen 18:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	o	o↓	+	-
02.09.2015 Regen 11:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	+
03.09.2015 Regen 15:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	+	o↓	+	-
06.09.2015 Regen 5:00 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
22.09.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
23.09.2015 Regen 0:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
06.10.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	o↓	+	-
07.10.2015 Regen 0:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	o	+	-
13.10.2015 Regen 17:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
14.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
15.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	o	+	+
16.10.2015 Regen 8:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
18.10.2015 Regen 12:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o

Tabelle 21: NI: Ganglinienvergleich Sensor Boschung PWS

Der Sensor reagiert auf alle betrachteten Ereignisse für die Messwerte vorlagen. In 89 % wird der Ganglinienverlauf mit „+“ und in 10 % mit „o“ bewertet. Die Ausprägung wird in 41 % mit „+“, in 43 % mit „o“ und in 15 % mit „-“, bewertet. Die Tagessumme wird in 33 % mit „+“ bewertet. 10 % weichen zwischen 20 % und 40 % von der Tagessumme des Pluviometers ab und 56 % weichen mehr als 40 % ab.

Fazit:

Der Sensor **Boschung PWS** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 74,36 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsintensität als „bedingt geeignet“ anzusehen.

Lambrecht



Lambrecht rain[e]
Wartungstermin:
Firmware: V1.21 TLS
Datenausfälle: 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Der Sensor Lambrecht rain[e] wurde neu im Testfeld Eching Ost eingebaut. Ab April 2015 konnten die Daten aufgezeichnet werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung aller Tagessummen der 36 Niederschlagsereignisse während der 11. Testphase, zu denen Messwerte des Sensors zur Verfügung standen. Die Messwerte der Referenz Ott Pluviometer wurden windkorrigiert.

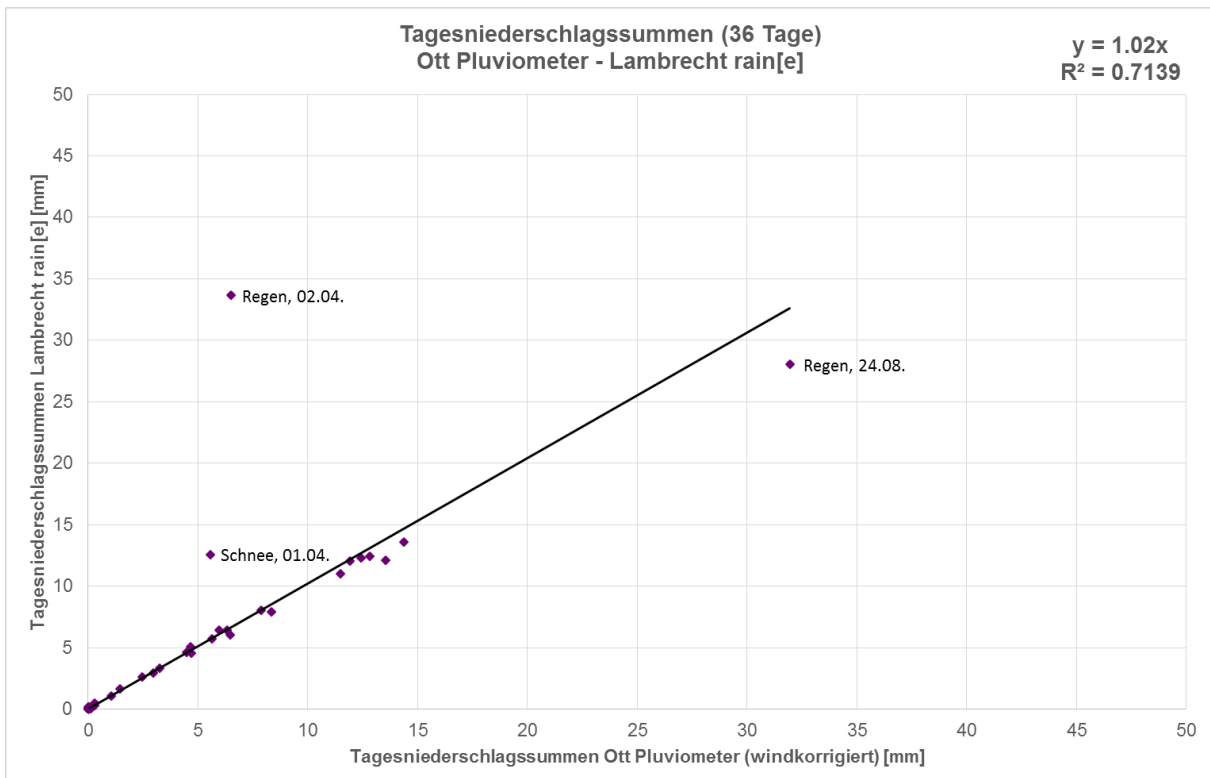


Abbildung 23: Tagesniederschlagssummen während der 11. Testphase (Lambrecht rain[e] – Ott Pluviometer)

Die Regressionsgrade mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,7139 zeigt den Zusammenhang zwischen den beiden Größen. Bei den extremen Punkten sind das Datum und die Niederschlagsart vermerkt.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung der 39 Ereignisse aus der 11. Testphase.

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
06.11.2014 Regen 8:00 - 20:00 Uhr	-					
06.12.2014 Regen 13:00 - 17:00 Uhr	-					
16.12.2014 Regen 15:00 - 20:00 Uhr	-					
17.12.2014 Regen 14:00 - 20:30 Uhr	-					
18.12.2014 Regen 19:00 - 21:00 Uhr	-					
20.12.2014 Regen 19:00 - 22:00 Uhr	-					
27.12.2014 Schnee 11:00 - 17:00 Uhr	-					
02.01.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	-					
03.01.2015 Regen/Schnee 14:00 - 24:00 Uhr	-					
09.01.2015 Regen 20:00 - 24:00 Uhr	-					
14.01.2015 Regen/Schnee 17:00 - 19:00 Uhr	-					
29.01.2015 Regen/Schnee 0:00 - 08:00 Uhr	-					
23.02.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	-					

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
02.03.2015 Regen 4:00 - 11:00 Uhr	-					
04.03.2015 Regen 1:00 - 6:00 Uhr	-					
21.03.2015 Regen 18:00 - 24:00 Uhr	-					
30.03.2015 Regen 2:00 - 23:00 Uhr	-					
31.03.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	-					
02.04.2015 Regen 13:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
04.04.2015 Regen 4:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
14.08.2015 Regen 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
15.08.2015 Regen 18:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
16.08.2015 Regen 4:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
17.08.2015 Regen 7:30 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
23.08.2015 Regen 18:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
24.08.2015 Starkregen 18:00 - 22:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	+

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
01.09.2015 Regen 18:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
02.09.2015 Regen 11:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
03.09.2015 Regen 15:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
06.09.2015 Regen 5:00 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
22.09.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
23.09.2015 Regen 0:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
06.10.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
07.10.2015 Regen 0:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
13.10.2015 Regen 17:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
14.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
15.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
16.10.2015 Regen 8:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
18.10.2015 Regen 12:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+

Tabelle 22: NI: Ganglinienvergleich Sensor Lambrecht rain[e]

Der Sensor reagiert auf alle 21 betrachteten Ereignisse für die Messwerte vorlagen. Der Ganglinienverlauf entspricht in allen Ereignissen der Referenz. In 95 % wird die Ausprägung mit „+“ und in 5 % mit „-“ bewertet. Am 02.04.2015 liegt die Ausprägung deutlich über der Pluviometerkurve, daher ist an diesem Tag die Tagessumme auch zu hoch.

Fazit:

Der Sensor **Lambrecht rain[e]** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 97,6 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsintensität als „geeignet“ anzusehen.

Lufft



Lufft WS600-UMB
Wartungstermin: 25.09.2015
Firmware: V4.6
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung aller Tagessummen der 103 Niederschlagsereignisse während der 11. Testphase. Die Messwerte der Referenz Ott Pluviometer wurden windkorrigiert.

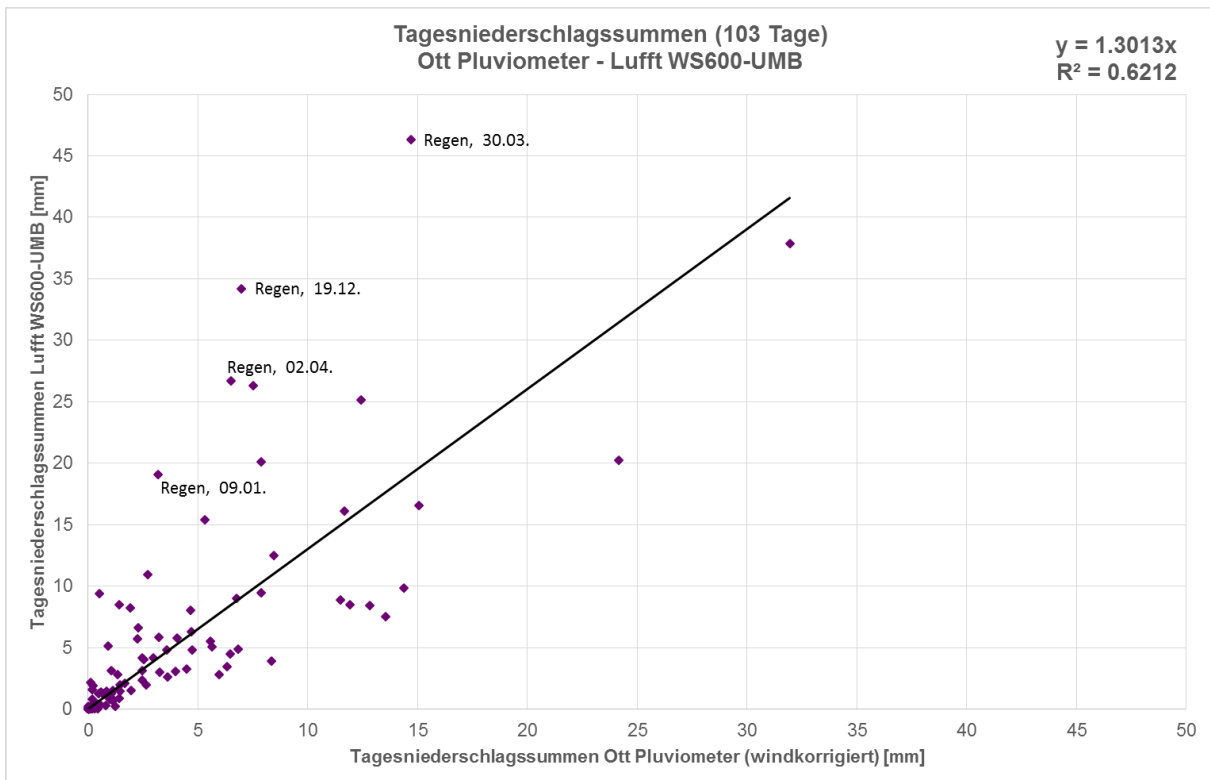


Abbildung 24: Tagesniederschlagssummen während der 11. Testphase (Lufft WS600-UMB – Ott Pluviometer)

Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgleichung zeigt mit $R^2 = 0,6212$ einen Zusammenhang zwischen den Messwerten des Sensors Lufft WS600-UMB und der Referenz.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung des Sensors Lufft WS 600-UMB an den zufällig, gleichmäßig über die Testphase ausgewählten 39 Tagen.

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
06.11.2014 Regen 8:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
06.12.2014 Regen 13:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
16.12.2014 Regen 15:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
17.12.2014 Regen 14:00 - 20:30 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	-
18.12.2014 Regen 19:00 - 21:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	-
20.12.2014 Regen 19:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	-
27.12.2014 Schnee 11:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
02.01.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
03.01.2015 Regen/Schnee 14:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
09.01.2015 Regen 20:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
14.01.2015 Regen/Schnee 17:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	-	0	+	+
29.01.2015 Regen/Schnee 0:00 - 08:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	-
23.02.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	0

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
02.03.2015 Regen 4:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
04.03.2015 Regen 1:00 - 6:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
21.03.2015 Regen 18:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
30.03.2015 Regen 2:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
31.03.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	-
02.04.2015 Regen 13:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	0	-↑	+	-
04.04.2015 Regen 4:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
14.08.2015 Regen 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	0	0↑	+	-
15.08.2015 Regen 18:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
16.08.2015 Regen 4:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
17.08.2015 Regen 7:30 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
23.08.2015 Regen 18:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	.
24.08.2015 Regen 18:00 - 22:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ganglinienverlauf	Ausprägung	Zeitverzug	Tagessumme
01.09.2015 Starkregen 18:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
02.09.2015 Regen 11:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	o	o	+	-
03.09.2015 Regen 15:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
06.09.2015 Regen 5:00 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	o
22.09.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
23.09.2015 Regen 0:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	+
06.10.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
07.10.2015 Regen 0:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
13.10.2015 Regen 17:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
14.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	o	+	o
15.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
16.10.2015 Regen 8:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
18.10.2015 Regen 12:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	-

Tabelle 23: NI: Ganglinienvergleich Sensor Luft WS600-UMB

Der Sensor Lufft WS600-UMB hat an allen 39 Situationen Messwerte geliefert. In 90 % wurde der Ganglinienverlauf mit „+“ beurteilt. In 8 % der Ereignisse entsprach der Ganglinienverlauf nicht vollständig der Referenz, diese wurden mit „o“ beurteilt. Am 14.1. wurde der Ganglinienverlauf mit „-“ bewertet. Die Ausprägung wird in 49 % der untersuchten Ereignisse mit „+“, 33 % mit „o“ und 18 % mit „-“ bewertet. Der Sensor tendiert dazu höhere Messwerte im Vergleich zur Referenz anzugeben. 23 % der Tagesniederschlagssummen werden mit „+“ beurteilt. An 12 Tagen liegt die Abweichung der Tagesniederschlagssumme zwischen 20 % und 40 %. An 17 Tagen wird die Menge an Regen oder Schnee um mehr als 40 % nicht korrekt ermittelt.

Der Sensor zeigt häufig höhere Werte als die Referenz. Sehr häufig lag die Windgeschwindigkeit in der Spitze in diesem Zeitraum bei 9 m/s oder höher. Der Anstieg der Niederschlagsintensität korreliert häufig mit Windböen.

Fazit:

Der Sensor **Lufft WS600-UMB** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 74,36 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsintensität als „bedingt geeignet“ anzusehen.

Ott



Ott Parsivel²
Wartungstermin: 19.02.2015
Firmware: V 2.02.05
Datenausfälle: 01.11.2014 - 28.02.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Der lange Datenausfall am Anfang der Testphase ist auf Probleme in der Verbindung zwischen Sensor und Aufzeichnungscomputer zurückzuführen. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung aller Tagessummen der 58 Niederschlagsereignisse während der 11. Testphase, zu denen Daten aufgezeichnet wurden. Aufgrund von Verbindungs- und Computerproblemen konnten die Daten erst ab März aufgezeichnet werden. Die Messwerte der Referenz Ott Pluviometer wurden windkorrigiert.

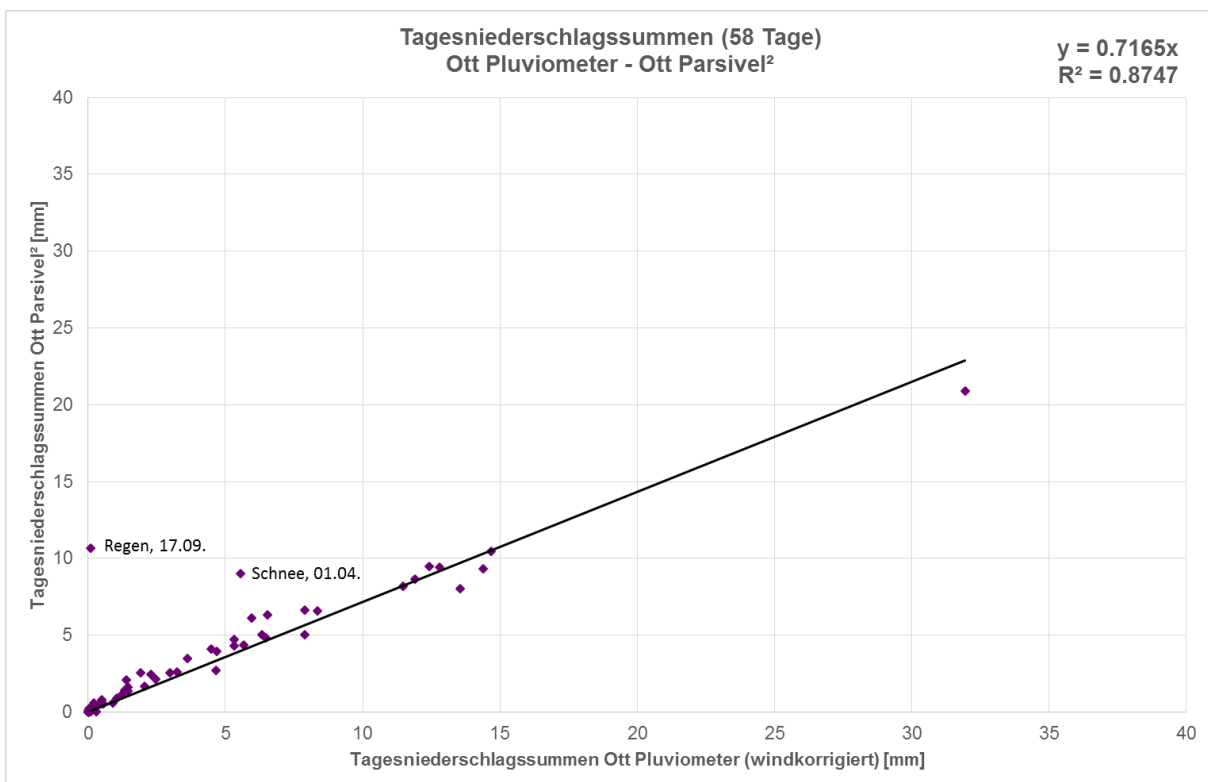


Abbildung 25: Tagesniederschlagssummen während der 11. Testphase (Ott Parsivel² – Ott Pluviometer)

Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgleichung zeigt mit $R^2 = 0,8747$ einen hohen Zusammenhang zwischen den Messwerten des Sensors Ott Parsivel² und der Referenz.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung des Sensors Ott Parsivel² an den zufällig, gleichmäßig über die Testphase ausgewählten 39 Tagen.

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
06.11.2014 Regen 8:00 - 20:00 Uhr	-					
06.12.2014 Regen 13:00 - 17:00 Uhr	-					
16.12.2014 Regen 15:00 - 20:00 Uhr	-					
17.12.2014 Regen 14:00 - 20:30 Uhr	-					
18.12.2014 Regen 19:00 - 21:00 Uhr	-					
20.12.2014 Regen 19:00 - 22:00 Uhr	-					
27.12.2014 Schnee 11:00 - 17:00 Uhr	-					
02.01.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	-					
03.01.2015 Regen/Schnee 14:00 - 24:00 Uhr	-					
09.01.2015 Regen 20:00 - 24:00 Uhr	-					
14.01.2015 Regen/Schnee 17:00 - 19:00 Uhr	-					
29.01.2015 Regen/Schnee 0:00 - 08:00 Uhr	-					
23.02.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	-					

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
02.03.2015 Regen 4:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
04.03.2015 Regen 1:00 - 6:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
21.03.2015 Regen 18:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
30.03.2015 Regen 2:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
31.03.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
02.04.2015 Regen 13:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
04.04.2015 Regen 4:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
14.08.2015 Regen 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
15.08.2015 Regen 18:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
16.08.2015 Regen 4:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
17.08.2015 Regen 7:30 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
23.08.2015 Regen 18:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	o	+	+	-
24.08.2015 Regen 18:00 - 22:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	o

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
01.09.2015 Starkregen 18:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
02.09.2015 Regen 11:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
03.09.2015 Regen 15:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
06.09.2015 Regen 5:00 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
22.09.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
23.09.2015 Regen 0:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
06.10.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	0↓	+	0
07.10.2015 Regen 0:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	0↓	+	-
13.10.2015 Regen 17:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
14.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
15.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
16.10.2015 Regen 8:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
18.10.2015 Regen 12:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0

Tabelle 24: NI: Ganglinienvergleich Sensor Ott Parsivel²

Für den Sensor Ott Parsivel² sind für 26 Situationen Messwerte verfügbar. Die Ganglinie entspricht bis auf den 23.8. immer der Referenz. Die Ausprägung wird in 92 % positiv mit „+“ und in 8 % mit „o“ bewertet. Die Tagesniederschlagssumme wird in 46 % mit „+“, in 46 % mit „o“ und in 2 % mit „-“ bewertet.

Fazit:

Der Sensor **Ott Parsivel²** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 90,87 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsintensität als „geeignet“ anzusehen.

Thies



Thies Laser Niederschlagsmonitor
Wartungstermin: 25.08.2015
Firmware: V 2.5
Datenausfälle: 14.11.2014 - 20.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 14.04.2015 - 10.08.2015

Der Datenausfall von April bis August ist auf einen Ausfall des Aufzeichnungscomputers zurückzuführen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung aller Tagessummen der 112 Niederschlagsereignisse während der 11. Testphase. Die Messwerte der Referenz Ott Pluviometer wurden windkorrigiert.

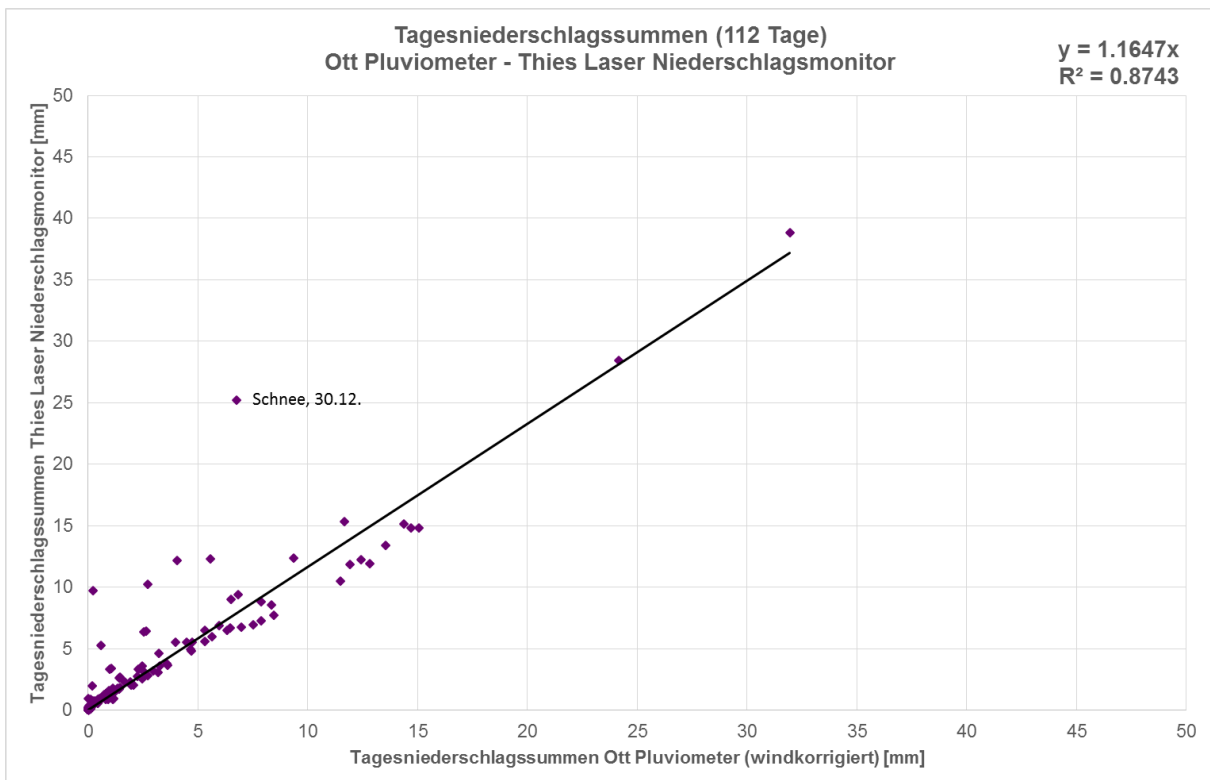


Abbildung 26: Tagesniederschlagssummen während der 11. Testphase (Thies Laser Niederschlagsmonitor – Ott Pluviometer)

Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgleichung zeigt mit $R^2 = 0,874$ einen hohen Zusammenhang zwischen den Messwerten der beiden Sensoren.

Die Ergebnisse zur Beurteilung der Niederschlagsintensität des Sensors **Thies Laser Niederschlagsmonitor** werden in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
06.11.2014 Regen 8:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
06.12.2014 Regen 13:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
16.12.2014 Regen 15:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
17.12.2014 Regen 14:00 - 20:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
18.12.2014 Regen 19:00 - 21:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
20.12.2014 Regen 19:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
27.12.2014 Schnee 11:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	+
02.01.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
03.01.2015 Regen/Schnee 14:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
09.01.2015 Regen 20:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
14.01.2015 Regen/Schnee 17:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	+	0↑	+	0
29.01.2015 Regen/Schnee 0:00 - 08:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
23.02.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
02.03.2015 Regen 4:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
04.03.2015 Regen 1:00 - 6:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
21.03.2015 Regen 18:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
30.03.2015 Regen 2:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
31.03.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
02.04.2015 Regen 13:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
04.04.2015 Regen 4:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
14.08.2015 Regen 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓ ^{*)}				
15.08.2015 Regen 18:00 - 20:00 Uhr	✓	✓ ^{*)}				
16.08.2015 Regen 4:00 - 12:00 Uhr	✓	✓ ^{*)}				
17.08.2015 Regen 7:30 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
23.08.2015 Regen 18:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
24.08.2015 Regen 18:00 - 22:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	0

*) Fehlermeldungen des Disdrometers

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
01.09.2015 Starkregen 18:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
02.09.2015 Regen 11:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
03.09.2015 Regen 15:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
06.09.2015 Regen 5:00 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
22.09.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
23.09.2015 Regen 0:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
06.10.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
07.10.2015 Regen 0:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
13.10.2015 Regen 17:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
14.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
15.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
16.10.2015 Regen 8:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
18.10.2015 Regen 12:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+

Tabelle 25: NI: Ganglinienvergleich Sensor Thies Laser Niederschlagsmonitor

Für den Sensor Thies Laser Niederschlagsmonitor sind für alle 39 Situationen Messwerte verfügbar. Bewertet wurden 36 Situationen da während 3 Ereignissen Fehlermeldungen des Disdrometers vorhanden waren. Die Sensormesswerte werden bzgl. Reaktion und Ganglinienvergleich in allen ausgewählten Situationen mit „+“ beurteilt. Die Ausprägung wird lediglich am 27.12.2014 und 14.01.2015 mit „o“ beurteilt. Die Tagesniederschlagssumme wird in 72 % mit „+“ und in 28 % mit „o“ bewertet.

Fazit:

Der Sensor **Thies Laser Niederschlagsmonitor** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 95,8 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsintensität als „geeignet“ anzusehen.

Vaisala



Vaisala PWD12
Wartungstermin: 22.10.2015
Firmware: V 1.07
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung aller Tagessummen der 103 Niederschlagsereignisse während der 11. Testphase.

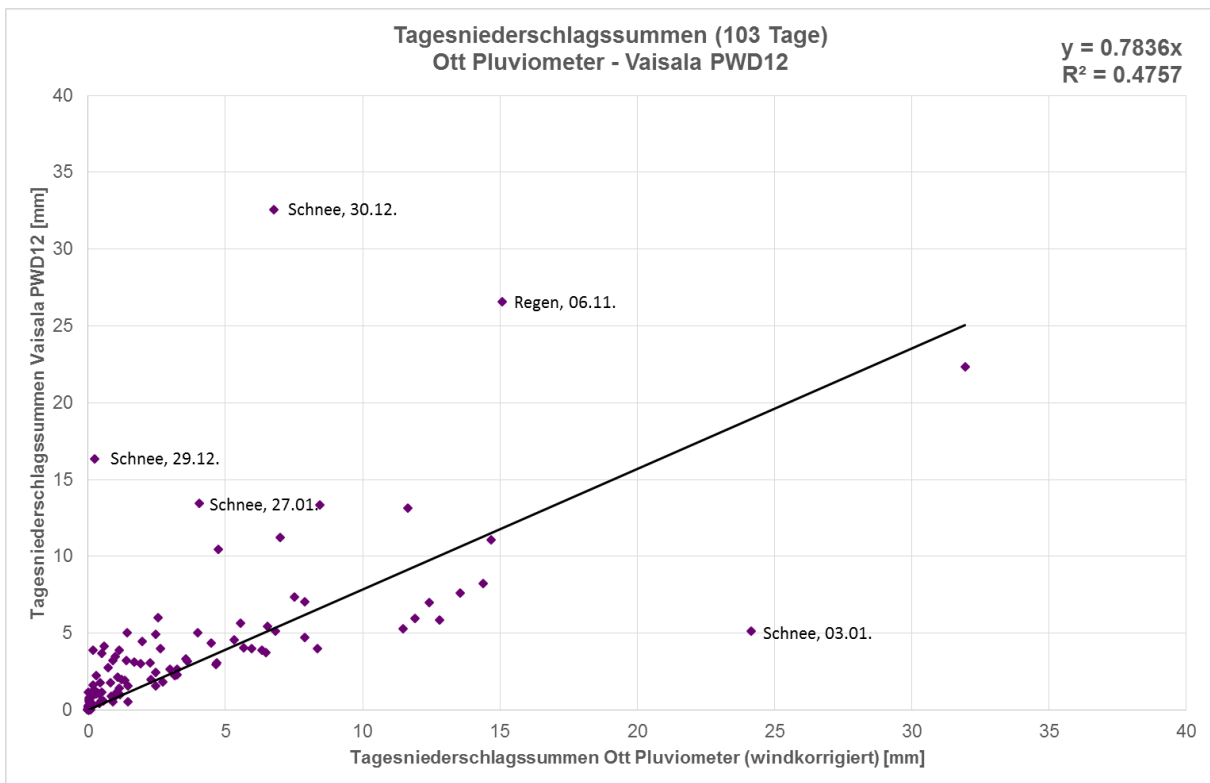


Abbildung 27: Tagesniederschlagssummen während der 11. Testphase (Vaisala PWD12 – Ott Pluviometer)

Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgleichung zeigt mit $R^2 = 0,4757$ einen geringen Zusammenhang zwischen den Messwerten des Sensors Vaisala PWD12 und Ott Pluviometer. In obiger Abbildung sind die Messwerte markiert, die besonders weit von der Regressionsgeraden entfernt sind.

Die Ergebnisse des Ganglinienvergleichs für den Sensor **Vaisala PWD12** sind in nachfolgender Tabelle für die 39 ausgewählten Niederschlagsereignisse dargestellt.

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
06.11.2014 Regen 8:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	-
06.12.2014 Regen 13:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	-
16.12.2014 Regen 15:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
17.12.2014 Regen 14:00 - 20:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
18.12.2014 Regen 19:00 - 21:00 Uhr	✓	✓	+	o↑	+	-
20.12.2014 Regen 19:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
27.12.2014 Schnee 11:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	-↑	+	-
02.01.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
03.01.2015 Regen/Schnee 14:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	o	-↓	+	-
09.01.2015 Regen 20:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
14.01.2015 Regen/Schnee 17:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
29.01.2015 Regen/Schnee 0:00 - 08:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
23.02.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
02.03.2015 Regen 4:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
04.03.2015 Regen 1:00 - 6:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
21.03.2015 Regen 18:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
30.03.2015 Regen 2:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
31.03.2015 Regen 12:00 - 18:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
02.04.2015 Regen 13:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
04.04.2015 Regen 4:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
14.08.2015 Regen 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
15.08.2015 Regen 18:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
16.08.2015 Regen 4:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
17.08.2015 Regen 7:30 - 20:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	+
23.08.2015 Regen 18:00 - 22:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	0
24.08.2015 Regen 18:00 - 22:30 Uhr	✓	✓	+	+	+	0

Ereignis	Messwert- verfügbar- keit	Reaktion	Ganglinien- verlauf	Aus- prägung	Zeitverzug	Tages- summe
01.09.2015 Starkregen 18:00 - 23:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
02.09.2015 Regen 11:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	o	o↓	+	-
03.09.2015 Regen 15:00 - 19:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
06.09.2015 Regen 5:00 - 9:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
22.09.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o
23.09.2015 Regen 0:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
06.10.2015 Regen 19:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	o↓	+	-
07.10.2015 Regen 0:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	o↓	+	-
13.10.2015 Regen 17:00 - 24:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	-
14.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	o↓	+	-
15.10.2015 Regen 0:00 - 8:00 Uhr	✓	✓	+	o↓	+	-
16.10.2015 Regen 8:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+	o↓	+	o
18.10.2015 Regen 12:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+	+	+	o

Tabelle 26: NI: Ganglinienvergleich Sensor Vaisala PWD12

In allen 39 Situationen sind für das betrachtete Ereignis Messwerte verfügbar. Der Ganglinienverlauf wird in 95 % der Situationen positiv beurteilt. In 69 % wird die Ausprägung mit „+“, 26 % mit „o“ und 5 % mit „-“, beurteilt. Dabei ist die Ausprägung häufig zu gering, das heißt, es würde eine niedrigere NI-Stufe ermittelt werden. Die Tagesniederschlagssumme wird in 31 % positiv mit „+“, in 28 % mit „o“ und in 41 % mit „-“, beurteilt.

Fazit:

Der Sensor **Vaisala PWD12** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 81,4 % erreicht und ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsintensität als „bedingt geeignet“ anzusehen.

Tagesniederschlagssumme

Nachfolgende Tabelle zeigt die Verteilung der prozentualen Häufigkeiten der Abweichung der Tagesniederschlagssumme von allen Niederschlagsereignissen in dieser Testphase, bei denen das Pluviometer eine Tagessumme von mehr als 0,5 mm angibt.

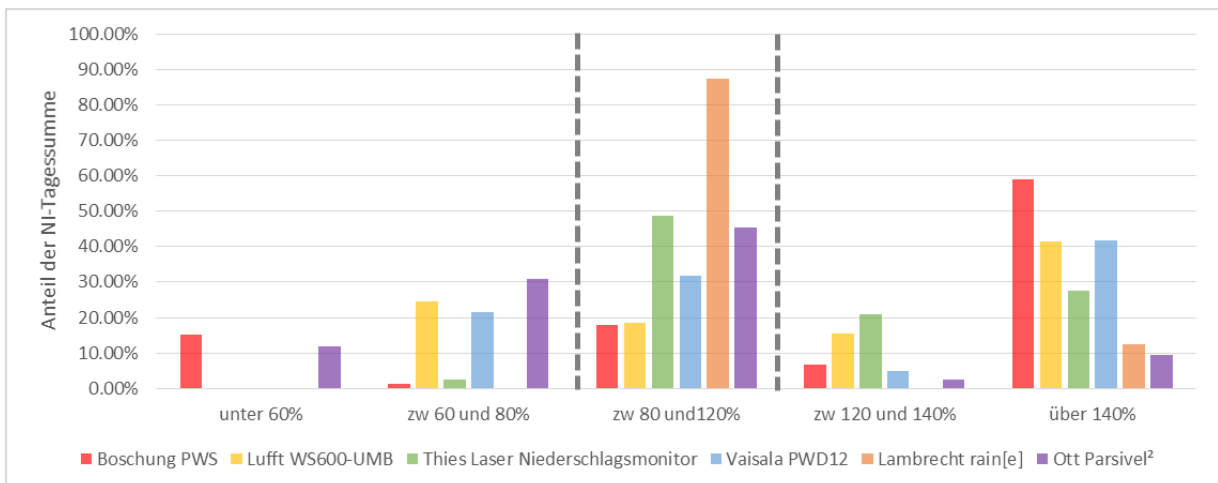


Abbildung 28: NI: Tagesniederschlagssummen Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zur Referenz Ott Pluviometer

Niederschlagsintensitätsstufen

Nachfolgende Abbildung zeigt die Häufigkeit aller Niederschlagsintensitätsstufen nach FGSV 2010. Das Diagramm beinhaltet alle Minutenintervalle, in denen alle Sensoren Daten geliefert haben. Da der Sensor Lambrecht rain[e] erst im April installiert wurde, und es einen längeren Computerausfall im Juni und Juli gab, sind nur die Monate April - Mai und August - Oktober in dem Diagramm enthalten.

Es ist zu sehen, dass das Pluviometer nur eine sehr geringe Anzahl der Niederschlagsintensitätsstufe 1 hat. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Pluviometer auf kleine Mengen träge reagiert. Zur Einteilung der Stufen wurden die Einschaltgrenzen (siehe Tabelle 28) aus dem Hinweispapier FGSV 2010 verwendet.

NI-Stufe ein	NI-Stufe aus	NI-Stufe
≥ 0,0 mm/h		NI 0
≥ 0,3 mm/h	< 0,2 mm/h	NI 1
≥ 1,2 mm/h	< 1,0 mm/h	NI 2
≥ 5,0 mm/h	< 4,0 mm/h	NI 3
≥ 12,0 mm/h	< 10,0 mm/h	NI 4

Tabelle 27: Grenzen NI-Stufen nach FGSV 2010

Ein direkter Vergleich mit den Bewertungsergebnissen, dargestellt in Tabelle 28 kann nicht gezogen werden, da in der Bewertung die Ganglinie mit der Ganglinie des Pluviometer verglichen wurde. Dabei wurde hauptsächlich der Verlauf der Ganglinie und deren Ausprägung betrachtet. Einzelne „Minuten-Ausreißer“ fallen dabei nicht so stark ins Gewicht wie in der Summenbetrachtung der NI-Stufen. Die nachfolgende Abbildung zu den NI-Stufen geht nicht in die Bewertung der Sensoren mit ein. Sie dient lediglich der Veranschaulichung der weiteren Nutzung der Daten in SBA.

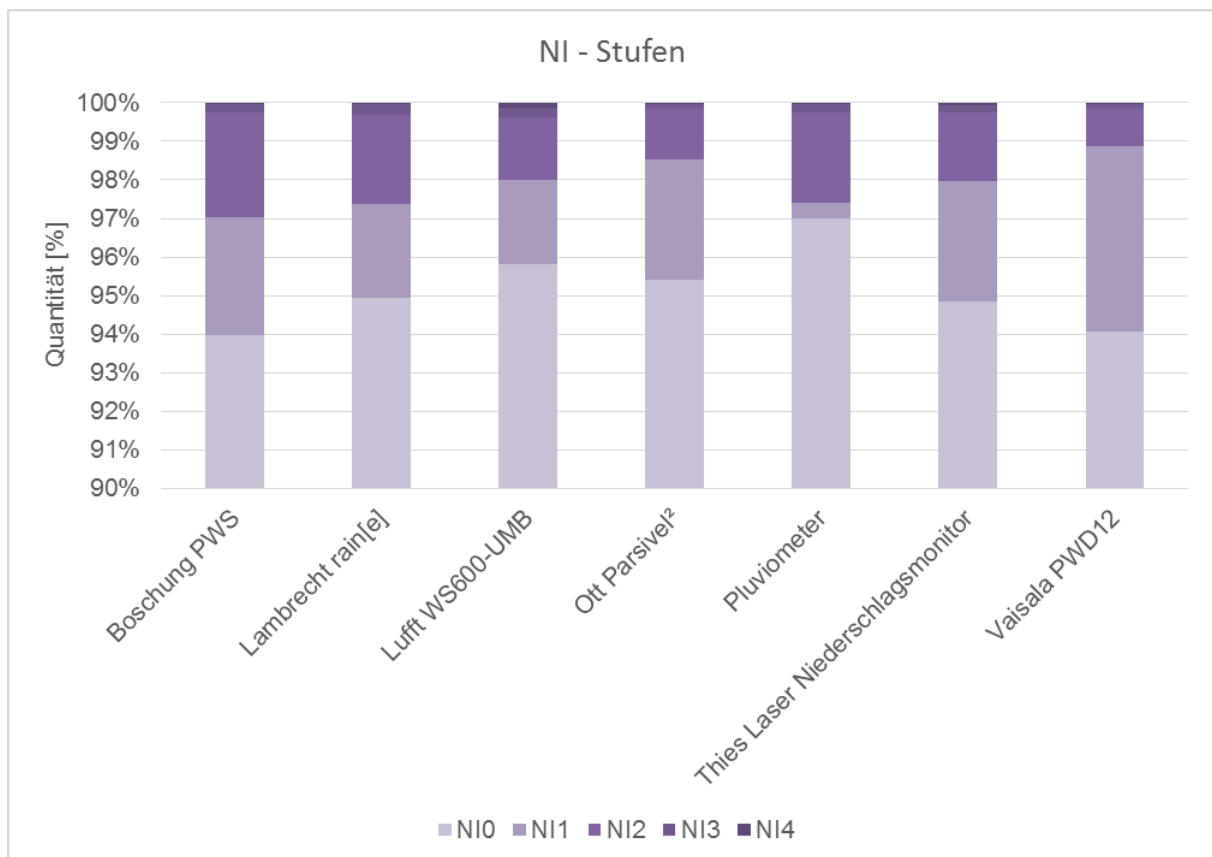


Abbildung 29: Häufigkeit Niederschlagsintensitätsstufen nach FGSV 2010

4.3.3 Ergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt eine Zusammenstellung der Ergebnisse der Sensorbeurteilungen an 39 ausgewählten Situationen.

Niederschlagsintensität	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ganglinienverlauf	Ausprägung	Zeitverzug	Tagessumme	
Boschung PWS	39	39	35	16	39	13	+
			4	17	0	4	o
			0	6	0	22	-
Lambrecht rain[e]	21	21	21	20	21	20	+
			0	0	0	0	o
			0	1	0	1	-
Lufft WS 600-UMB	39	39	35	19	39	9	+
			3	13	0	12	o
			1	7	0	17	-
Ott Parsivel ²	26	26	25	24	26	12	+
			1	2	0	12	o
			0	0	0	2	-
Thies Laser Niederschlagsmonitor	36	36	36	34	36	26	+
			0	2	0	10	o
			0	0	0	0	-
Vaisala PWD12	39	39	37	28	39	12	+
			2	9	0	11	o
			0	2	0	16	-

Abbildung 30: Zusammenstellung der Beurteilung der Sensoren bzgl. Niederschlagsintensität

Nachfolgend sind die Beurteilungen der Sensoren bzgl. deren Einsatzmöglichkeiten in SBA zur Bestimmung der Niederschlagsintensität für die 11. Testphase aufgeführt. Dargestellt ist der erreichte Wert der Gesamtbeurteilung je Sensortyp entsprechend dem angewandten Bewertungsschema (siehe Kapitel 3.4).

Sensor	NI-Gesamtbeurteilung	
Boschung PWS	74 %	o
Lambrecht rain[e]	98 %	+
Lufft WS600-UMB	74 %	o
Ott Parsivel ²	91 %	+
Thies Laser Niederschlagsmonitor	96 %	+
Vaisala PWD12	81 %	o

Tabelle 28: Ergebnisse der Beurteilung der Sensoren für NI

Legende		
geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 85 %	+
mit Einschränkungen geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 70 % und < 85 %	o
nicht geeignet für den Einsatz in SBA	< 70 %	-
keine Bewertung	-	/

Tabelle 29: Legende zur Beurteilung der Sensoren für NI

4.4 Wasserfilmdicke

4.4.1 Definition

Die Wasserfilmdicke gibt die Fahrbahnbenetzung mit Wasser oder wässriger Lösung (Salzlösung) an (BAST, TLS 2012), welche sich am Messort bzw. auf der in der Fahrbahn eingelassenen Sonde befindet. Die Wasserfilmdicke ist immer bezogen auf eine plane ebene Fläche und wird in der Einheit Millimeter angegeben.

4.4.2 Beurteilung

Allgemein

Die in Tabelle 30 dargestellten Sensoren werden im Testfeld zur Ermittlung der Wasserfilmdicke eingesetzt.

Sensor	Technologie / Lage
Boschung ITSENS	Fahrbahnsonde in Fahrstreifenmitte (linker Fahrstreifen)
Lufft IRS31	Fahrbahnsonde in Fahrstreifenmitte (linker Fahrstreifen)
Lufft NIRS31	Optischer, berührungsloser Sensor in Fahrstreifenmitte und umgebende Fläche (mittlerer Fahrstreifen)
Vaisala DSC111	Laserbasierter berührungsloser Sensor in Rollspur und umgebende Fläche (linker Fahrstreifen)
Vaisala DSC111_2	Laserbasierter berührungsloser Sensor in Rollspur und umgebende Fläche (linker Fahrstreifen)
Vaisala DRS511	Fahrbahnsonde in Fahrstreifenmitte (linker Fahrstreifen)
Vaisala DRS511	Fahrbahnsonde in Rollspur (linker Fahrstreifen)

Tabelle 30: Sensorübersicht „Wasserfilmdicke“

Eine detaillierte Beschreibung zu den jeweiligen Wartungsterminen der Sensoren sowie Firmware-Versionen während der 11. Testphase befindet sich im Anhang A1. Eine Beschreibung der Änderungen in den Firmware-Versionen ist dort ebenfalls dokumentiert.

Die Messflächen der Sensoren zur Bestimmung der Fahrbahngrößen sind aus nachfolgender Abbildung ersichtlich.

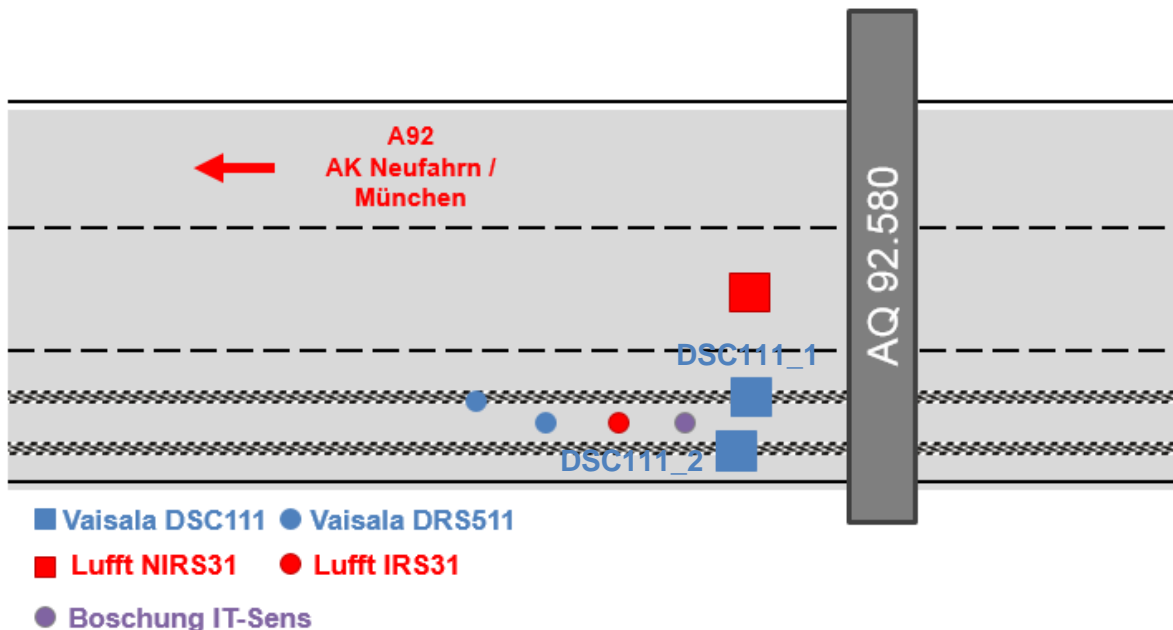


Abbildung 31: Messfläche der Fahrbahnsensoren im Testfeld „Eching Ost“

Zur Beurteilung der Wasserfilmdicke während der 11. Testphase finden sich im Anhang A8 Tagesdiagramme zum Verlauf der Wasserfilmdicken. Die ausgewählten Tage sind auch bei der Beurteilung der Niederschlagsintensität zu finden. Des Weiteren finden sich im Anhang A8 Korrelationen aus den Monatssummen der Wasserfilmdicken zwischen den Sensoren untereinander.

Tuchtest

Ein Tuchtest wird im Umfelddatentestfeld „Eching Ost“ bei Bodensonden direkt über der Sonde mit Hilfe eines Rahmens, der eine quadratische Fläche von 0,1 m² umfasst, bestimmt. Bei den berührungslosen Sensoren kann die Messfläche entsprechend dem Einfallwinkel auf die Straßenoberfläche variieren. Dadurch kann die Messfläche, die durch den Rahmen bestimmt wird von der des Sensors abweichen. Deshalb wird die Wasserfilmdicke in etwa im Bereich der Messfläche auf dem linken Fahrstreifen im mittleren Bereich (zwischen der Rollspur) der berührungslosen Sensoren gemessen. Eine Messung auf dem mittleren Fahrstreifen (Messbereich des Sensors Lufft NIRS31) ist nicht möglich, da eine Sperrung nur für den linken Fahrstreifen erfolgte. Ergebnisse aus den vorhergehenden Abschlussberichten zeigen, dass die Ermittlung der Wasserfilmdicke für berührungslose Sensoren anwendbar ist und der Tuchtest wie beschrieben angewendet werden kann (siehe z. B. GROSANIC, BUSCH; 2012). Bei der Beurteilung wird berücksichtigt, dass sich die aufgenommene Wassermenge mittels Tüchern und die gemessene Wasserfilmdicke unterscheiden können.

In GROSANIC, GRÖTSCH; 2010 wird die Durchführung des Tuchtests ausführlich beschrieben.

In der 11. Testphase wurden am 13.10.2015 Tuchtests durchgeführt. Nachfolgende Tabelle zeigt die Anzahl und Aufteilung der Tuchtests.

Datum	Lufft		Vaisala				Boschung
	IRS31	NIRS31	DSC111_2	DRS511 (Fahrbahn mitte)	DRS511 (Rollspur)	DSC111	ITSENS
13.10.2015	2	1*	1	2	2	1	2

*) Der Sensor wurde im Rahmen einer der Tuchttests nicht optimal mit Wasser benetzt.

Tabelle 31: durchgeführte Tuchttests während der 11. Testphase

Für die Durchführung eines Tuchttests sollten bestimmte Wetterbedingungen vorherrschen, damit die Sensoren unter optimalen Bedingungen überprüft werden können. Da für eine Sperrung der Autobahn eine längere Planungszeit erforderlich ist, kann nicht immer gewährleistet sein, dass optimale Wetterbedingungen vorliegen. Nachfolgende Tabelle zeigt die Wetterverhältnisse am Untersuchungstag des Tuchttests während der 11. Testphase. Die letzte Zeile zeigt, welche Beurteilungen bei diesen Verhältnissen möglich sind.

Tuchttest	13.10.2015
Niederschlagsintensität	Kein Niederschlag
Grad der Bewölkung	bedeckter Himmel (7/8)
Lufttemperatur	5°C – 9°C
Relative Luftfeuchte	75 – 90 %
Mittlere Windgeschwindigkeit	1,5 – 3,5 m/s
Sperrung (linker Fahrstreifen)	10:00 – 12:30 Uhr
Beurteilung	<input checked="" type="checkbox"/> Reaktion <input checked="" type="checkbox"/> Ausprägung

Tabelle 32: Wetterverhältnisse während der Tuchttests und deren Beurteilungsmöglichkeiten

Folgende Wetterverhältnisse sind für die Durchführung eines Tuchttests optimal:

- Grad der Bewölkung: Bedeckter Himmel (4/8 bis 8/8)
- Relative Luftfeuchte: ca. 90 %
- Niederschlagsintensität: konstanter Niederschlag (durchgehende Regenfront); kein Starkregenereignis (> 12 mm/h)
- (Fahrbahn-)Temperatur: konstant und niedrig

- Keine Salzreste auf der Fahrbahn
- Windgeschwindigkeit < 2 m/s

Zur Beurteilung der Sensoren werden die Anforderungen an die Messgenauigkeiten der TLS (BASt, 2012) zugrunde gelegt. In nachfolgender Tabelle sind die Toleranzbereiche, die im Testfeld angesetzt werden zusammengefasst.

Messbereich	Genauigkeitsanforderung nach TLS (BASt, 2012)	Toleranzbereich aus Messungenauigkeit	Maximale Gesamttoleranz
≤ 0,1 mm	min. > 0 mm	0,03 mm	0,03 mm
> 0,1 mm ... ≤ 0,5 mm	± 0,05 mm		0,08 mm
> 0,5 mm	± 0,1 mm		0,13 mm

Tabelle 33: Tuchttest: Anforderung an die WFD-Messgenauigkeit im Testfeld

Weichen die Werte über die Messtoleranz hinweg ab, werden sie mit den Grenzen der Wasserfilmdickenstufen, wie sie in Tabelle 34 beschrieben sind verglichen.

WFD-Stufe ein	WFD-Stufe aus	WFD-Stufe
≥ 0,0 mm		WFD 0
≥ 0,2 mm	< 0,1 mm	WFD 1
≥ 0,5 mm	< 0,4 mm	WFD 2
≥ 1,2 mm	< 1,0 mm	WFD 3

Tabelle 34: Erstversorgung für hysteresebasierte Grenzwerte zur Klassifizierung der WFD-Stufe aus [FGSV 2010]

Die Bewertung erfolgt einzeln für jeden Tuchttest anhand folgender Kriterien:

- **Reaktion:** Anhand dieses Aspekts kann bewertet werden, ob die untersuchten Sensoren einen Anstieg der Wasserfilmdicke ermittelt haben. Es wird keine Aussage bezüglich der Güte der Messwerte getroffen.
 - o *Reaktion: ✓*
Der Sensor reagiert in der untersuchten Situation mit Messwerten für Wasserfilmdicke > 0 mm.
 - o *Reaktion: -*
Der Sensor ermittelt in der untersuchten Situation für die Wasserfilmdicke den Messwert „0 mm“.
- **Ausprägung:** Anhand des Vergleichs der gemessenen Werte aus dem Tuchttest mit den entsprechenden Sensorwerten.
 - o *Ausprägung: +*
Der Sensormesswert liegt innerhalb des Toleranzbereichs nach Tabelle 33.
 - o *Ausprägung: o*
Der Sensormesswert liegt außerhalb der Messtoleranz aber innerhalb

derselben WFD-Stufe wie der gemessene Wert durch den Tuchttest nach Tabelle 34.

- *Ausprägung: -
Der Sensormesswert liegt außerhalb der Messtoleranz und außerhalb derselben WFD-Stufe wie der gemessene Wert durch den Tuchttest nach Tabelle 34.*
- **Zeitverzug:** Es wird die zeitliche Reaktion des Sensors bis zum Anstieg der Wasserfilmdicke bewertet. Als „zeitnahe“ Reaktion wird in den Untersuchungen im Testfeld eine Ereignismeldung innerhalb von 3 Minuten gewertet. Bei natürlichem Niederschlag wird der Zeitverzug nicht beurteilt, da der Beginn nicht zwingend bekannt ist.
 - *Zeitverzug: +
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation im Wesentlichen zeitnah dar, der Sensor hat schnell (≤ 3 Minuten) auf das Niederschlagsereignis reagiert.*
 - *Zeitverzug: 0
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation zeitlich versetzt (> 3 Minuten ≤ 4 Minuten) dar.*
 - *Zeitverzug: -
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation zeitlich versetzt (> 4 Minuten) dar.*

Boschung



Boschung ITSENS
Wartungstermin:
Firmware
Datenausfälle:
14.11.2014 - 25.11.2014
04.12.2014 - 05.12.2014
08.01.2015 - 09.01.2015
15.01.2015 - 26.01.2015
25.05.2015 - 09.06.2015
29.07.2015 - 05.08.2015
13.09.2015 - 22.09.2015

In Abbildung 33 ist der Verlauf der Messwerte des Sensors Boschung ITSENS während der Tuchtests am 13.10.2015 zu sehen. Der zweite Test kann nicht bewertet werden, da das aufgebrachte Wasser aus dem Rahmen lief. Für den ersten Test wurde um 10:31 Uhr Wasser mithilfe einer Sprühflasche auf die Sonde aufgetragen. Die Wasseraufnahme durch die Tücher ergab eine Wasserfilmdicke von 0,82 mm. Die Sonde maß eine Höhe von 0,72 mm. Der Wasserauftrag des dritten Tests begann um 11:36 Uhr. Der benetzte Sensor ist in Abbildung 32 zu sehen. Der Sensor reagierte um 11:41 Uhr. Die Wasseraufnahme mittels Tücher ergibt eine Wasserfilmdicke von 0,503 mm. Die Bodensonde ermittelt einen Wert von 0,48 mm.



Abbildung 32: mit Wasser benetzter Sensor im dritten Test.

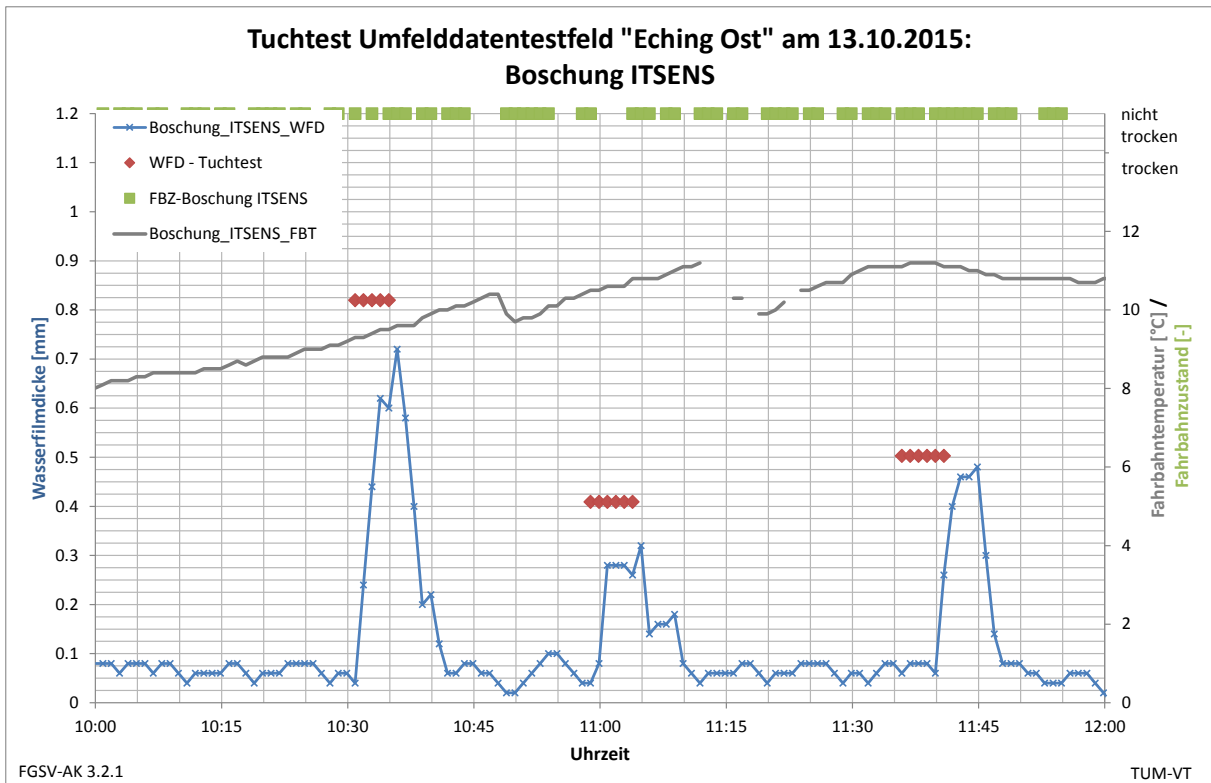


Abbildung 33: Tuchtest am 13.10.2015 – Boschung ITSENS

Die Ergebniszusammenstellung ist in folgender Tabelle zu sehen.

	WFD Gemessen [mm]	WFD Sensor [mm]	Mess-toleranz [mm]	Reaktion	Zeitverzug	Ausprägung
13.10.2015 10:31 Uhr	0,82	0,72	0,13	✓	+	+
13.10.2015 10:36 Uhr	0,503	0,48	0,13	✓	-	+

Tabelle 35: Ergebniszusammenstellung Tuchtest - Boschung ITSENS

Aus den Korrelationen und den Verläufen der Wasserfilmdicken zu den ausgewählten Niederschlagsereignissen im Anhang 8 ist deutlich zu erkennen, dass die Sonde ITSENS im Vergleich zu den anderen Sensoren höhere Wasserfilmdicken anzeigt und selten einen Wasserfilm von 0 mm anzeigt, auch wenn es keinen Niederschlag gibt.

Zusätzlich sind die Messwerte zeitweise sehr sprunghaft, was den Verlauf z.T. nicht plausibel aussehen lässt. Der maximale Wert der ermittelten Wasserfilmdicken ist 1 mm.

Lufft

Zur Ermittlung der Wasserfilmdicke wird von der Firma Lufft der Sensor **IRS31** sowie der berührungslose Sensor **NIRS31** im Testfeld „Eching Ost“ überprüft. Der Sensor IRS31 ist in die Fahrbahnoberfläche eingebaut und in der Fahrbahnmitte des linken Fahrstreifens positioniert. Der Sensor NIRS31 ermittelt die Wasserfilmdicke in der Fahrbahnmitte des mittleren Fahrstreifens.

Lufft IRS31



Lufft IRS31
Wartungstermin:
Firmware: V 4.6
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Die Messwerte des IRS31 für den Tuchttest am 13.10.2015 sind in Abbildung 35 abgebildet. Es wurden an diesem Tag zwei Tests durchgeführt. Beim ersten Test, beginnend um 10:52 Uhr, gab es einen Wasserauftrag von 100 Spritzern. Der Sensor zeigte nur eine sehr geringe Wasserfilmdicke an. Der Wasserauftrag ist in Abbildung 34 zu sehen. Die gemessene Menge durch die Tücher beträgt 0,77 mm. Der Sensor misst eine Wasserfilmdicke von 0,016 mm.

Für den zweiten Test begann der Auftrag einer unbestimmten Wassermenge von 100 Spritzern mithilfe der Sprühflasche um 11:28 Uhr. Durch die Tücher konnte ein Wasserfilm von 0,69 mm gemessen werden. Die Sonde misst einen Wasserfilm von 0,86 mm. Der Fahrbahnzustand wechselt bei beiden Tests, entsprechend der Beobachtung mit Beginn des Tuchttests von „trocken“ auf „nicht trocken“.



Abbildung 34: Wasserauftrag während des 1. Tests

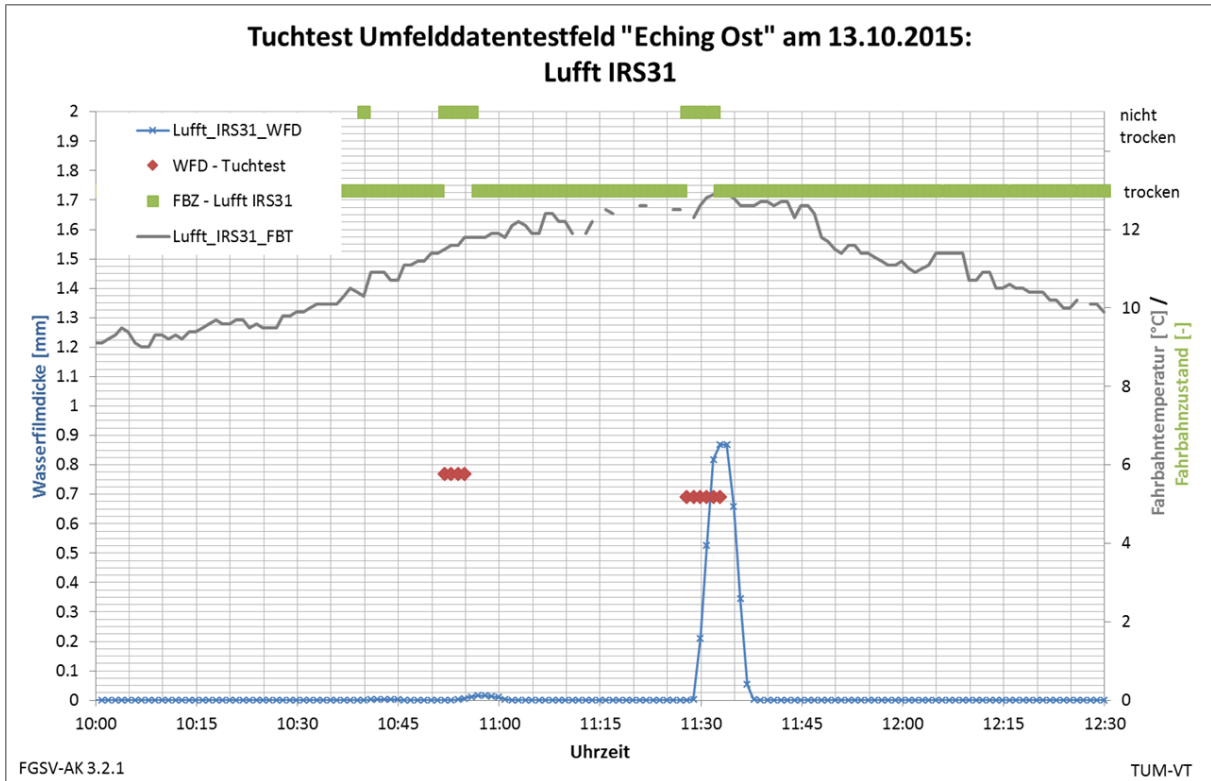


Abbildung 35: Tuchtests am 13.10.2015 - Luft IRS31

Die Ergebniszusammenstellung ist in folgender Tabelle zu sehen.

	WFD Gemessen [mm]	WFD Sensor [mm]	Mess-toleranz [mm]	Reaktion	Zeitverzug	Ausprägung
13.10.2015 10:52 Uhr	0,77	0,016	0,13	✓	+	-
13.10.2015 11:28 Uhr	0,69	0,86	0,13	✓	+	0

Tabelle 36: Ergebniszusammenstellung Tuchtest - Luft IRS31

Die Korrelationen aus dem Monatssummen der Wasserfilmdicken sind in Anhang 8 zu finden.

Lufft NIRS31



Lufft NIRS31
Wartungstermin: 25.09.2015
Firmware: V 2.5
Datenausfälle: 14.11.2014 - 04.12.2014 12.01.2015 - 26.01.2015 23.03.2015 - 24.04.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 31.08.2015 - 08.09.2015

Die Blickrichtung des Sensors NIRS31 ist auf dem mittleren Fahrstreifen. Da eine Sperrung dieses Fahrstreifens nicht möglich ist, wird für die Durchführung der Tuchttests eine unbestimmte Wassermenge vom linken Fahrstreifen aus auf dem mittleren Fahrstreifen verteilt, so dass die Messfläche des Sensors augenscheinlich denselben Fahrbahnzustand aufweist wie der linke Fahrstreifen. Der Tuchttest wird dann für alle berührungslosen Sensoren auf dem linken Fahrstreifen durchgeführt. Da am 13.10.2015 die Sensormessfläche nicht optimal mit Wasser benetzt werden konnte, wird der Tuchttest nicht bewertet.

In den Korrelationen in Anhang 8 ist zu sehen, dass der NIRS31 bei Monatssummen bis 10 mm größere Werte ermittelt als die anderen Sensoren.

Vaisala

Von der Firma Vaisala sind mehrere Sensoren zur Ermittlung der Wasserfilmdicke im Testfeld „Eching Ost“ im Einsatz. Es werden zwei Bodensensoren DRS511 und zwei berührungslose Sensoren des DSC111 beurteilt. Die Bodensensoren Vaisala DRS511 sind in der Fahrbahn auf dem linken Fahrstreifen an unterschiedlichen Stellen verbaut (siehe Abbildung 3). Die beiden berührungslosen Sensoren Vaisala DSC111 ermitteln den Fahrbahnzustand auf dem linken Fahrstreifen. Die exakte Messfläche ist einmal in der Fahrbahnmitte (DSC111) und in etwa in der Rollspur (DSC111_2).

Vaisala DRS511 – Fahrbahnmitte



Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte)
Wartungstermin:
Firmware:
-
Datenausfälle:
14.11.2014 - 25.11.2014
15.01.2015 - 26.01.2015
25.05.2015 - 09.06.2015
29.07.2015 - 05.08.2015
13.09.2015 - 22.09.2015

Die Messwerte des DRS511 in Fahrbahnmitte für den Tuchttest am 13.10.2015 sind in Abbildung 37 abgebildet. Es wurden an diesem Tag zwei Tests durchgeführt. Beim ersten Test wurde um 10:39 Uhr begonnen mit 100 Spritzern eine unbestimmte Wassermenge auf die Sonde zu spritzen. Mit Hilfe der Tücher konnte ein Wasserfilm von 0,73 mm aufgenommen werden. Die Sonde maß eine Wasserfilmdicke von 0,8 mm. Für den zweiten Test wurde begonnen eine unbestimmte Wassermenge aus 100 Spritzern um 11:09 Uhr aufzutragen. Durch die Wasseraufnahme der Tücher konnte ein Wasserfilm von 0,73 mm ermittelt werden. Die Sonde ermittelte einen Wasserfilm von 0,8 mm.



Abbildung 36: Wasserauftrag für 2. Test beginnend um 11:09 Uhr

Zu Beginn der beiden Tests wechselt der Fahrbahnzustand von „trocken“ auf „nicht trocken“.

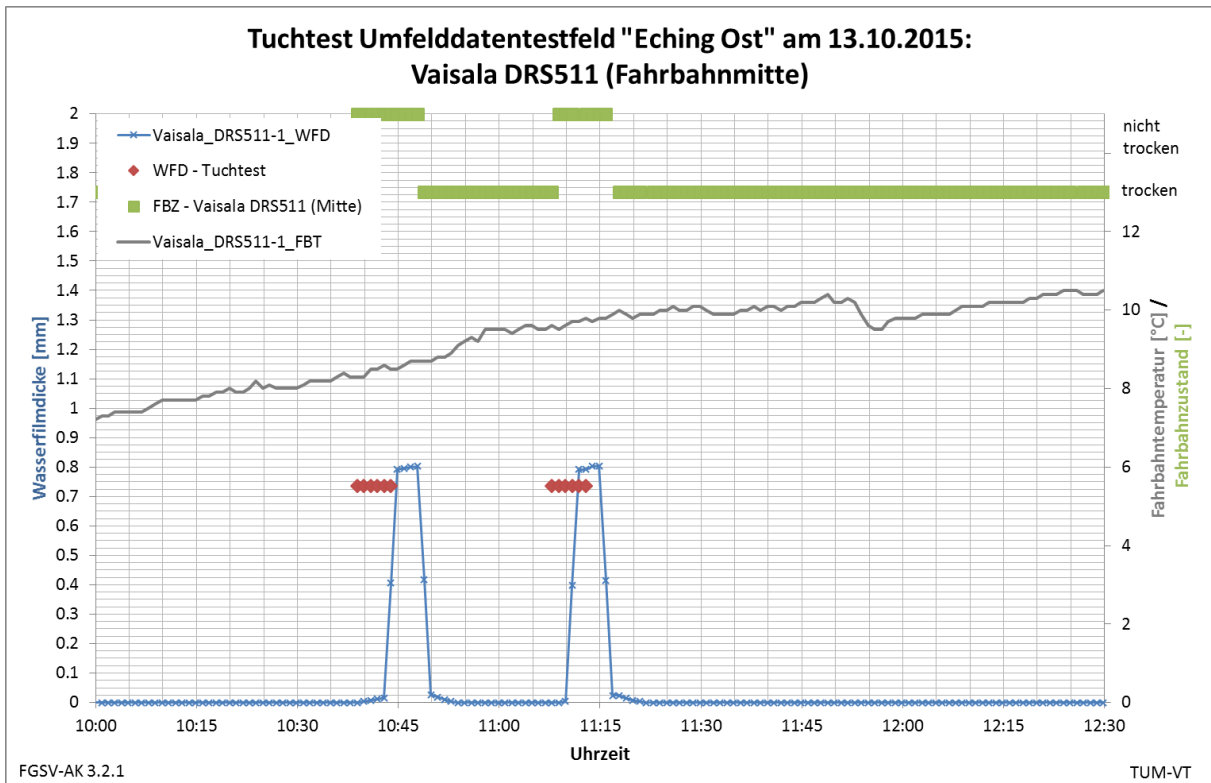


Abbildung 37: Tuchtest am 13.10.2015 – Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte)

Die Ergebniszusammenstellung ist in folgender Tabelle zu sehen.

	WFD Gemessen [mm]	WFD Sensor [mm]	Mess-toleranz [mm]	Reaktion	Zeitverzug	Aus-prägung
13.10.2015 10:39 Uhr	0,73	0,8	0,13	✓	+	+
13.10.2015 11:09 Uhr	0,73	0,8	0,13	✓	+	+

Tabelle 37: Ergebniszusammenstellung Tuchtest - Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte)

Die Korrelationen aus dem Monatssummen der Wasserfilmdicken sind in Anhang 8 zu finden.

Vaisala DRS511 – Rollspur



Vaisala DRS511 (Rollspur)
Wartungstermin:
Firmware:
Datenausfälle:
14.11.2014 - 25.11.2014
15.01.2015 - 26.01.2015
25.05.2015 - 09.06.2015
29.07.2015 - 05.08.2015
13.09.2015 - 22.09.2015

Abbildung 39 zeigt die Messwerte für die Tuchttests des Sensors Vaisala DRS511 in der Rollspur des linken Fahrstreifens. Um 10:46 Uhr wird begonnen 100 Spritzer Wasser auf die Sonde aufzutragen. Der mit Wasser benetzte Sensor ist in Abbildung 38 zu sehen. Mit Hilfe der Tücher kann ein Wasserfilm von 0,68 mm aufgenommen werden. Die Sonde ermittelt einen Wasserfilm von 0,05 mm. Der zweite Test beginnt um 11:15 Uhr. Es werden erneut 100 Spritzer Wasser aus der Sprühflasche aufgetragen. Durch die Tücher kann eine Wasserfilmdicke von 0,59 mm ermittelt werden. Die Sonde ermittelt eine Wasserfilmdicke von 0,03 mm. Der Fahrbahnzustand wechselt von „trocken“ auf „nicht trocken“ bei jedem Test.



Abbildung 38: Benetzter Sensor im ersten Test

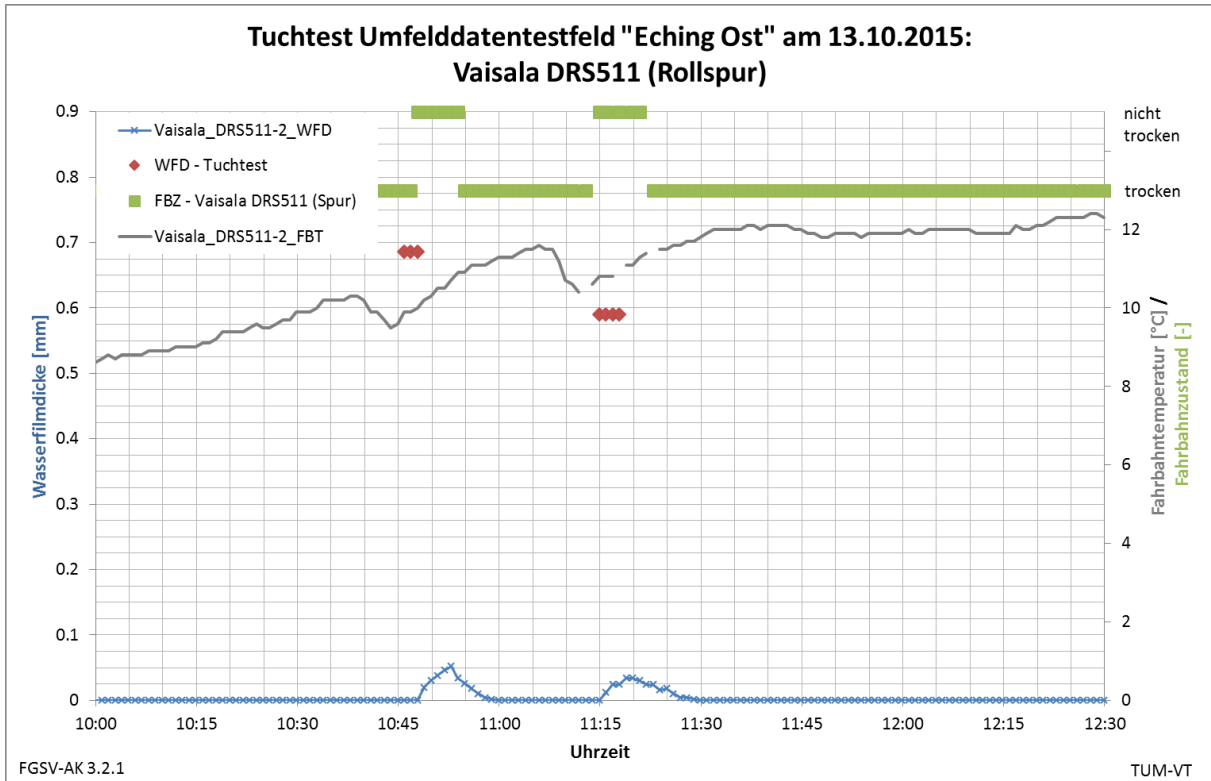


Abbildung 39: Tuchtest am 13.10.2015 – Vaisala DRS511 (Rollspur)

Die Ergebniszusammenstellung ist in folgender Tabelle zu sehen.

	WFD Gemessen [mm]	WFD Sensor [mm]	Mess-toleranz [mm]	Reaktion	Zeitverzug	Ausprägung
13.10.2015 10:39 Uhr	0,68	0,05	0,13	✓	+	-
13.10.2015 11:09 Uhr	0,59	0,03	0,13	✓	+	-

Tabelle 38: Ergebniszusammenstellung Tuchtest - Vaisala DRS511 (Rollspur)

Die Korrelationen aus dem Monatssummen der Wasserfilmdicken sind in Anhang 8 zu finden. Die Summen des DRS511 in der Rollspur sind etwas höher als die der anderen Sensoren.

Vaisala DSC111



Vaisala DSC111
Wartungstermin: 22.10.2015
Firmware: V 1.02
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Für die berührungslosen Sensoren wurde ein gemeinsamer Test durchgeführt. Um 11:47 Uhr wurde mit dem Wasserauftrag begonnen. Das Wasser wurde gleichmäßig auf der Fahrbahn und den Sensormessflächen verteilt. Mit Hilfe der Tücher konnte eine Wasserfilmdicke von 0,34 mm ermittelt werden. Der Sensor misst einen Wasserfilm von 0,1 mm. Der Bereich des Tuchtests ist in Abbildung 40 zusehen. Der Sensor DSC11 wechselt zu Beginn des Tuchtests von „trocken“ auf „nicht trocken“.



Abbildung 40: Wasserauftrag im Messfeld des DSC111

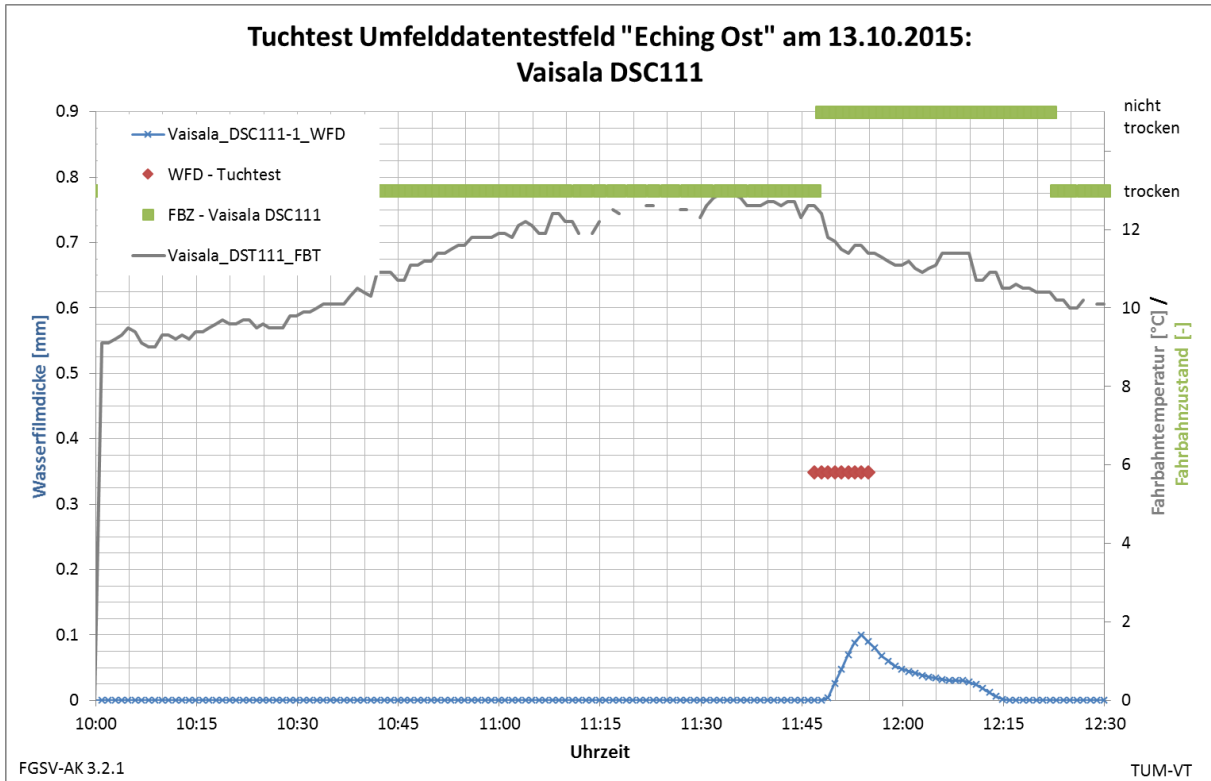


Abbildung 41: Tuchtest am 13.10.2015 - DSC111

Die Ergebniszusammenstellung ist in folgender Tabelle zu sehen.

	WFD Gemessen [mm]	WFD Sensor [mm]	Mess- toleranz [mm]	Reaktion	Zeitverzug	Aus- prägung
13.10.2015 11:47 Uhr	0,34	0,1	0,08	✓	+	-

Tabelle 39: Ergebniszusammenstellung Tuchtest - Vaisala DSC111

Die Korrelationen aus dem Monatssummen der Wasserfilmdicken sind in Anhang 8 zu finden. Die Summen des DSC111_1 in der Rollspur sind etwas kleiner als die der anderen Sensoren.

Vaisala DSC111_2



Vaisala DSC111_2
Wartungstermin: 22.10.2015
Firmware: V 1.05
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Für die berührungslosen Sensoren wurde ein gemeinsamer Test durchgeführt. Um 11:47 Uhr wurde mit dem Wasserauftrag begonnen. Das Wasser wurde gleichmäßig auf der Fahrbahn und den Sensormessflächen verteilt. Mit Hilfe der Tücher konnte eine Wasserfilmdicke von 0,34 mm ermittelt werden. Der Sensor misst einen Wasserfilm von 0,07 mm. Der Bereich des Tuchtests ist in Abbildung 40 zusehen. Der Sensor DSC111_2 wechselt zu Beginn des Tuchtests von „trocken“ auf „nicht trocken“.



Abbildung 42: Wasserauftrag im Messfeld des DSC111

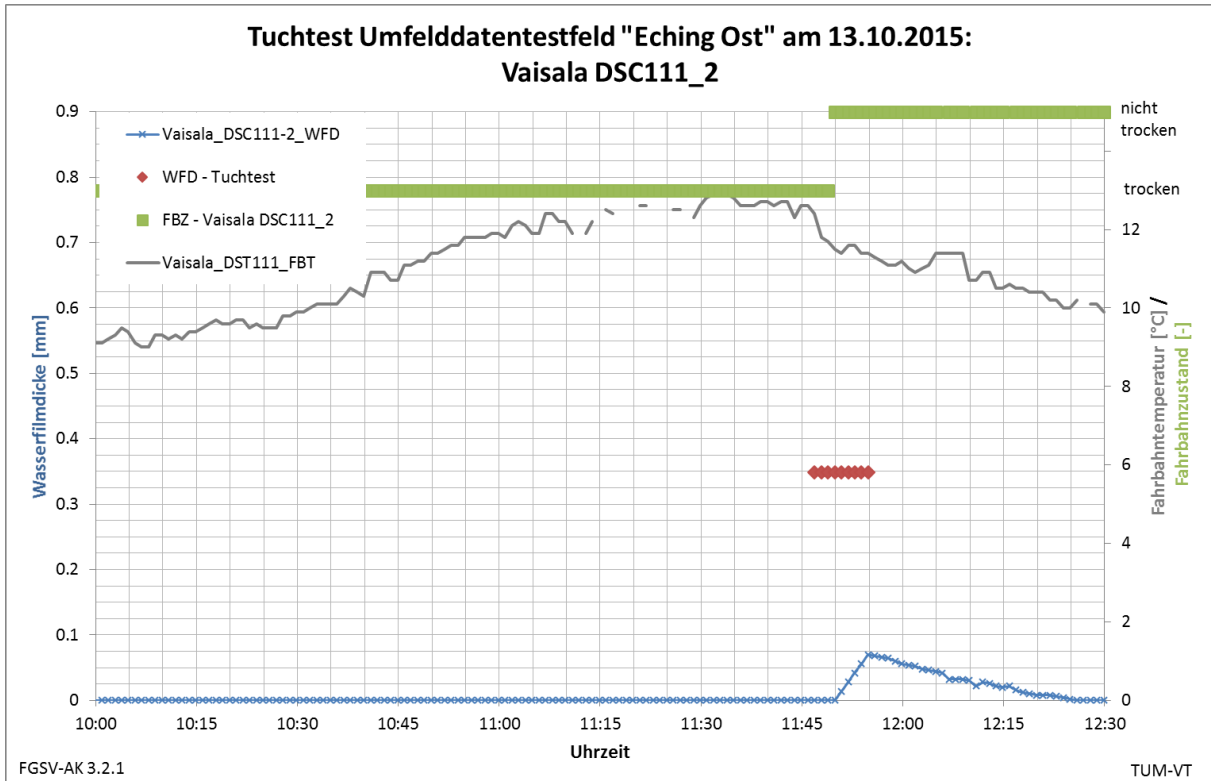


Abbildung 43: Tuchtest am 13.10.2015 - DSC111_2

Die Ergebniszusammenstellung ist in folgender Tabelle zu sehen.

	WFD Gemessen [mm]	WFD Sensor [mm]	Mess-toleranz [mm]	Reaktion	Zeitverzug	Ausprägung
13.10.2015 11:47 Uhr	0,34	0,1	0,08	✓	+	-

Tabelle 40: Ergebniszusammenstellung Tuchtest - Vaisala DSC111_2

Die Korrelationen aus dem Monatssummen der Wasserfilmdicken sind in Anhang 8 zu finden. Die Summen des DSC111_2 sind etwas höher als die der anderen Sensoren.

Wasserfilmdicken Stufen

Nachfolgende Abbildung zeigt die Anzahl der Wasserfilmdicken Stufen nach FGSV 2010. Die Grenzen der jeweiligen Stufen sind Tabelle 34 zu entnehmen. Zur Einteilung wurden nur die Einschaltwerte verwendet. Es wurden nur die Minutenwerte genutzt, in denen alle Sensoren einen Wert liefern. Insgesamt wurden 308791 Minutenwerte betrachtet.

Der Sensor Boschung ITSENS hat keine Werte in der WFD-Stufe 3, da der Sensor keine Werte über 1 mm Wasserfilmdicke ausgibt.

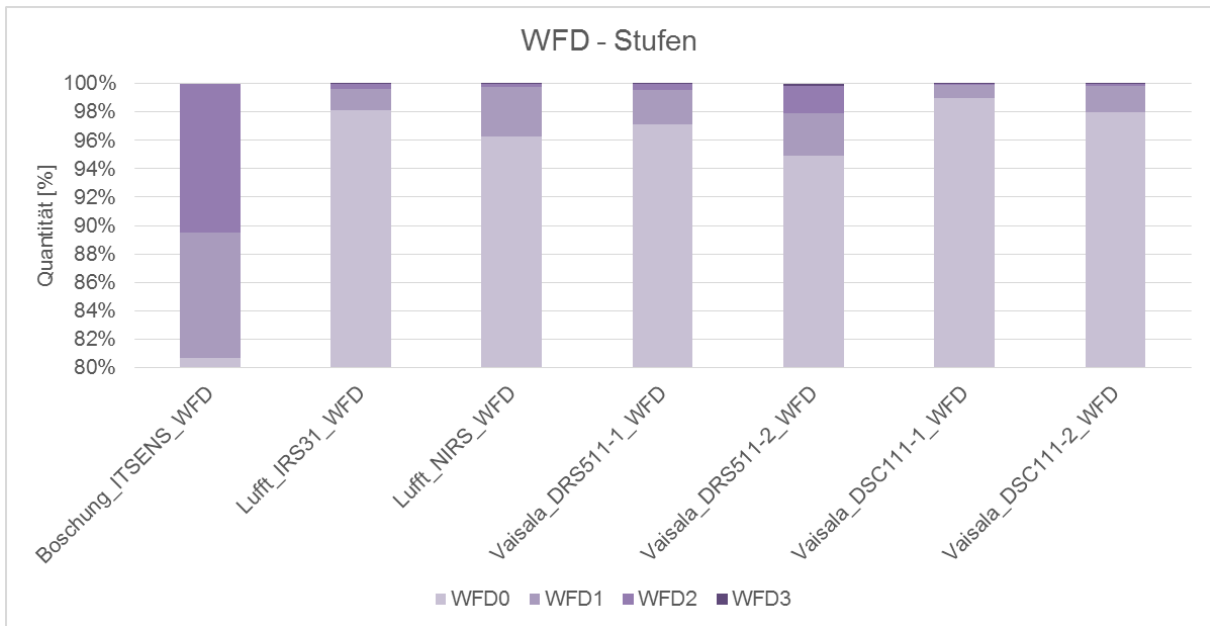


Abbildung 44: Wasserfilmdicken Stufen nach FGSV 2010

4.4.3 Ergebnisse

In der 11. Testphase konnte nur ein Tuchtest durchgeführt werden, daher entfällt die Gesamtbeurteilung der Umfeldgröße Wasserfilmdicke.

Sensor	WFD
Luft IRS31	/
Luft NIRS31	/
Vaisala DRS511	/
Vaisala DSC111 / DSC111_2	/

Tabelle 41: WFD: Ergebnisse der Beurteilung der Sensoren für WFD

Legende		
geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 85 %	+
mit Einschränkungen geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 70 % und < 85 %	o
nicht geeignet für den Einsatz in SBA	< 70 %	-
keine Bewertung	-	/

Tabelle 42: Legende zur Beurteilung der Sensoren für WFD

4.5 Zustand der Fahrbahnoberfläche

4.5.1 Definition

Der Zustand der Fahrbahnoberfläche gibt die qualitative Bedeckung der Fahrbahnoberfläche an (TLS, BASt 2012). Der Fahrbahnzustand wird nach TLS nach verschiedenen Zuständen unterschieden. Nachfolgend sind die jeweiligen Definitionen nach TLS, DE-Typ 70 (BASt, 2012) bzw. Hinweispapier (FGSV, 2010) aufgeführt.

- **trocken** (TLS-Code: 0)
„Die Fahrbahnoberfläche ist vollkommen trocken ($< \text{ca. } 10 \text{ ml/m}^2 = 0,01 \text{ mm}$), schnee- und eisfrei.“
- **nicht trocken** (TLS-Code: 32)
„Die Fahrbahnoberfläche ist benetzt mit flüssigem Wasser bzw. wässriger Lösung (feucht oder nass, nicht gefroren). Die Menge übersteigt $\text{ca. } 10 \text{ ml/m}^2 = 0,01 \text{ mm}$. Nähere Differenzierung nicht möglich.“
- **bedeckt mit Schnee / Schneematsch** (TLS-Code: 65)
„Die Fahrbahnoberfläche ist bedeckt mit Schnee oder Schneematsch. (Gemisch von flüssigem und gefrorenem Wasser bzw. wässriger Lösung).“
- **bedeckt mit Eis** (TLS-Code: 66)
„Fahrbahn ist bedeckt mit Eis (festes, gefrorenes Wasser bzw. gefrorene wässrige Lösung).“
- **bedeckt mit Raureif** (TLS-Code: 67)
„Die Fahrbahnoberfläche ist bedeckt mit durch Sublimation des Wasserdampfes aus der umgebenden Luft entstehenden Eisablagerungen kristalliner Struktur („Raureif“).“

Die Klasseneinteilung der Prüfsensoren kann von dieser Einteilung abweichen (vgl. dazu Tabelle 44).

4.5.2 Beurteilung

Zur Ermittlung des Fahrbahnzustandes werden im Testfeld folgende Systeme eingesetzt:

Sensor	Technologie / Lage
Boschung ITSENS	Fahrbahnsonde in Fahrstreifenmitte (linker Fahrstreifen)
Lufft IRS31	Fahrbahnsonde in Fahrstreifenmitte (linker Fahrstreifen)
Lufft NIRS31	Optischer, berührungsloser Sensor in Fahrstreifenmitte und umgebende Fläche (mittlerer Fahrstreifen)
Vaisala DSC111	Laserbasierter berührungsloser Sensor in Rollspur und umgebende Fläche (linker Fahrstreifen)
Vaisala DSC111_2	Laserbasierter berührungsloser Sensor in Rollspur und umgebende Fläche (linker Fahrstreifen)
Vaisala DRS511	Fahrbahnsonde in Fahrstreifenmitte (linker Fahrstreifen)
Vaisala DRS511	Fahrbahnsonde in Rollspur (linker Fahrstreifen)

Tabelle 43: Sensorübersicht „Zustand der Fahrbahnoberfläche“

Tabelle 44 stellt dar, welche Informationen von den Sensoren ermittelt werden, und wie diese im Laufe der Auswertung zusammengefasst und in den Diagrammen dargestellt werden.

	Darstellung in den Diagrammen					
	trocken	nicht trocken	gefroren	Schnee	Eis	nicht ermittelbar
Boschung ITSENS	trocken	feucht nass	Eis	Raureif, Schnee	Eis	unbestimmt
Lufft IRS31	trocken, Restsalz	feucht nass	Eis ⁶	Raureif, Schnee	Eis	unbestimmt
Lufft NIRS31	trocken	feucht nass, kritische Nässe ⁷	Eis	schnee-/ eisbedeckt, Schnee	Eis	undefiniert
Vaisala DSC111	trocken	feucht nass	„slushy“	Schnee	Eis	Fehler
Vaisala DRS511	trocken	feucht, feucht und Chemikalien nass, nass und Chemikalien	Frost	Schnee	Eis	Fehler

Tabelle 44: Gegenüberstellung der Messwerte für „Zustand der Fahrbahnoberfläche“

Zur Differenzierung der Fahrbahnzustände, die z.T. abhängig von der Wasserfilmdicke sind, können die Grenzwerte von den Herstellern beliebig eingestellt werden. Die im Testfeld „Eching Ost“ derzeit eingestellten Grenzwerte sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

	trocken	nicht trocken	
		feucht	nass
Boschung ITSENS	WFD < 0,03 mm	WFD ≥ 0,03 mm	
Lufft IRS31	WFD < WFD _{feucht} (0,01 mm)	WFD _{feucht} (0,01 mm) < WFD < WFD _{nass} (0,1 mm)	WFD > WFD _{nass} (0,1 mm)
Lufft NIRS31		WFD _{feucht} (0,01 mm) < WFD < WFD _{nass} (0,1 mm)	WFD > WFD _{nass} (0,1 mm)
Vaisala DSC111		WFD < WFD _{grenz} (0,02 mm)	
Vaisala DRS511	*		

*Bestimmung des FBZ „trocken-feucht“ erfolgt über Detektion der Kapazität zwischen eingebauten Elektroden

Tabelle 45: Grenzwerte der Sensoren zur Unterscheidung zwischen den Fahrbahnzuständen

⁶ Eis = Überfrierende Nässe: bei Straßentemperaturen zwischen ± 3°C (Herstellerangabe vom 03.05.2010)

Zur Unterscheidung für die Beurteilung des Fahrbahnzustandes „trocken“ und „nicht trocken“ werden im Rahmen des Testfeldes „Eching Ost“ folgende Unterscheidungsmerkmale verwendet:

- Die Textur der Oberfläche ist verändert
- Es ist deutlich eine Spiegelung auf der Fahrbahn zu erkennen
- Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen erzeugen Sprühfahnen.

Sind eines oder mehrere dieser Merkmale auf mehreren aufeinanderfolgenden Webcam Bildern erfüllt, so wird der Fahrbahnzustand als „nicht trocken“ interpretiert. Die Beurteilung der Sensoren erfolgt nach den Stufen laut TLS (BASt, 2012). Es wird zwischen den Fahrbahnzuständen

- trocken
- nicht trocken (feucht / nass)
- bedeckt mit Schnee / Eis unterschieden.

Diese Zustände müssen während der Beurteilungsintervalle eindeutig auf mehreren Webcam Bildern gut erkennbar sein.

Es werden auch die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen betrachtet. An manchen Tagen wechselt der Zustand häufiger im Beurteilungszeitraum. An diesen Tagen sind die Zustände in nachfolgenden Tabellen mit „Wechsel“ vermerkt.

Die Messwerte der Sensoren werden zum einen anhand der Bilder der Webcams, zum anderen anhand des vor Ort beobachteten Fahrbahnzustands bewertet. Die Beurteilung erfolgt auf Basis einer zufällig gezogenen Stichprobe von 35 Situationen (dargestellt in Anhang A 7), bei denen der Fahrbahnzustand anhand der Webcam Bilder eindeutig zu bestimmen ist.

Des Weiteren erfolgten an mehreren Tagen Beobachtungen vor Ort. Dabei konnten insgesamt 29 unterschiedliche Fahrbahnzustände dokumentiert werden. Eine Beurteilung vor Ort ist nur möglich, wenn zu diesen Zeiten Sensormesswerte verfügbar sind.

Die Beurteilung erfolgt situationsbezogen, indem die Ausprägung der Messwerte mittels folgender Kriterien beurteilt wird:

- **Messwertverfügbarkeit:** Hier wird überprüft, ob Messwerte des untersuchten Sensors in der jeweiligen Situation vorhanden sind. Dabei geht es um die Quantität, nicht um die Qualität der Messwerte. Ggf. wird ein Grund für nicht vorhandene Messwerte angegeben. Dieses Kriterium wird informativ aufgeführt und geht nicht in die Bewertung ein.
 - o *Messwerte: ✓*
Es liegen Messwerte für die betrachtete Situation vor.
 - o *Messwerte: -*
Es liegen keine Messwerte für die betrachtete Situation vor.
- **Reaktion:** Anhand dieses Kriteriums wird bewertet, ob die untersuchten Sensoren eine Änderung des Fahrbahnzustandes erkannt haben. Es wird keine Aussage bezüglich der Güte der Messwerte getroffen. Eine minutenscharfe Unterscheidung der Zustände kann anhand der Videobilder nicht geleistet werden.

- *Reaktion: ✓*
Der Sensor reagiert in der untersuchten Situation mit Messwerten für einen Zustand der Fahrbahnoberfläche ungleich „trocken“.
- *Reaktion: -*
Der Sensor ermittelt in der untersuchten Situation den Fahrbahnzustand „trocken“.
- **Ereignisabbildung:** Mittels dieses Kriteriums wird überprüft, wie gut die Sensoren die untersuchte Situation abbilden. Hierfür werden die Messwerte mit der menschlichen Einschätzung, basierend auf den Webcam Bildern, verglichen.
 - *Ereignisabbildung: +*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation gut dar, der ermittelte Fahrbahnzustand entspricht im Wesentlichen der menschlichen Einschätzung des Fahrbahnzustands.
 - *Ereignisabbildung: o*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation dar, der ermittelte Fahrbahnzustand entspricht häufig nicht der menschlichen Einschätzung des Zustands der Fahrbahnoberfläche. Der Sensor zeigt innerhalb von 5 Minuten den eindeutig festgestellten Fahrbahnzustand an.
 - *Ereignisabbildung: -*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation schlecht dar, der ermittelte Fahrbahnzustand entspricht im Wesentlichen nicht der menschlichen Einschätzung des Zustandes der Fahrbahnoberfläche. Der Sensor zeigt nach mehr als 5 Minuten nicht den eindeutig festgelegten Fahrbahnzustand an.

Die Beurteilung des Zustands der Fahrbahnoberfläche erfolgt durch den Vergleich von:

- Sensormesswerten mit dem auf Basis von Webcam Bildern eingeschätzten Fahrbahnzustand (wie oben erläutert)
- Protokollierungen des Fahrbahnzustands vor Ort im Testfeld (vgl. Anhang A3) mit den jeweiligen Sensormesswerten.

Für die Auswertung der menschlichen Einschätzung vor Ort und der Sensormesswerte wird nachfolgende Matrix berücksichtigt.

Fahrbahnzustand		Beobachter vor Ort			
		trocken	nicht trocken	Eis	Schnee
Sensor	trocken	korrekt	nicht korrekt	nicht korrekt	nicht korrekt
	nicht trocken	nicht korrekt	korrekt	bedingt korrekt	nicht korrekt
	Eis	nicht korrekt	bedingt korrekt	korrekt	bedingt korrekt
	Schnee	nicht korrekt	nicht korrekt	bedingt korrekt	korrekt

-  korrekt
-  bedingt korrekt
-  nicht korrekt

Abbildung 45: Mehrfeldtafel „Fahrbahnzustand“

Dabei wird bei der Beobachtung vor Ort zwischen den Fahrbahnzuständen trocken und nicht trocken unterschieden.

Darauf basierend erfolgt die Gesamtbeurteilung der Sensoren gemäß den in Abschnitt 3.4 dargestellten Bewertungsstufen. Eine direkte (je Minute) zeitliche Reaktion der Sensoren auf Änderungen des Fahrbahnzustands kann vor Ort und anhand der Webcam Bilder nicht beurteilt werden. Eine zeitliche Verzögerung der Sensoren von 5 Minuten wird toleriert, da erst nach einigen Minuten der Fahrbahnzustand vom Beobachter exakt bestimmt werden kann.

Boschung



Boschung ITSENS
Wartungstermin:
Firmware:
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 04.12.2014 - 05.12.2014 08.01.2015 - 09.01.2015 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Die 35 untersuchten Ereignisse sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
13.11.2014, nicht trocken - trocken 9:30 - 11:00 Uhr	✓	✓	+
06.12.2014, nicht trocken 14:00 -16:00 Uhr	✓	✓	+
15.12.2014, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	+
17.12.2014, trocken - nicht trocken 14:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
29.12.2014, trocken - nicht trocken 9:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	o
14.01.2015, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	-
27.01.2015, nicht trocken 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
01.02.2015, nicht trocken - trocken 9:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	-
23.02.2015, Wechsel 11:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	-

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
02.03.2015, trocken 13:00 -14:00 Uhr	✓	✓	-
04.03.2015, Wechsel 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
11.03.2015, nicht trocken - trocken 10:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	-
31.03.2015, trocken - nicht trocken 13:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
04.04.2015, nicht trocken, 11:00 -12:00 Uhr	✓	✓	+
17.04.2015, Wechsel, 9:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
28.04.2015, nicht trocken - trocken 14:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	-
06.05.2015, nicht trocken - trocken, 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
09.05.2015, Wechsel, 12:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
15.05.2015, trocken - nicht trocken, 16:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	-
19.05.2015, trocken - nicht trocken, 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	-
15.06.2015, nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
17.06.2015, trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	-
27.06.2015, Wechsel, 10:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
08.07.2015, Wechsel, 08:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	-
09.07.2015, Wechsel, 09:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	-
23.07.2015, Wechsel, 09:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	-
27.07.2015, Wechsel, 15:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	-
16.08.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
17.08.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	-
23.08.2015, trocken - nicht trocken, 19:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	-
01.09.2015, trocken - nicht trocken, 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	-
02.09.2015, trocken - nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	-
23.09.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	-
04.10.2015, Wechsel, 12:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	-
16.10.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	+

Tabelle 46: Bewertung Fahrbahnzustand - Boschung ITSENS

Der Sensor lieferte zu allen untersuchten Situationen Daten. In 22 % entsprach der Messwert, der Einschätzung des Betrachters durch die Webcam Bilder. In 74 % der Situationen entsprach der Fahrbahnzustand, den der Sensor ausgab nicht der Einschätzung durch die Webcam Bilder. Der Sensor wechselte nur sehr selten auf trocken und entsprach

dadurch häufig nicht den Beobachtungen, bei denen schon der Zustand „trocken“ erkannt wurde.

Boschung ITSENS		Beobachter vor Ort			
		trocken	nicht trocken	Eis	Schnee
Sensor	trocken	3			
	nicht trocken	18	7		
	Eis			0	
	Schnee				0

	korrekt
	bedingt korrekt
	nicht korrekt

Abbildung 46: FBZ: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Boschung ITSENS

Obige Abbildung zeigt die Gegenüberstellung der Sensormesswerte und Beobachtungen vor Ort. Es wurden 28 Situationen betrachtet. In 10 Situationen entsprach die Beurteilung durch den Sensor, der der menschlichen Einschätzung vor Ort. In 18 Situationen wurde der Fahrbahzustand vom Beobachter als „trocken“ betrachtet und vom Sensor als „nicht trocken“.

Fazit:

Der Sensor **Boschung ITSENS** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 30 % erreicht. Der Sensor **Boschung ITSENS** ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Fahrbahzustand als „nicht geeignet“ anzusehen.

Lufft

Zur Ermittlung des Fahrbahnzustandes wird von der Firma Lufft der Sensor **IRS31** sowie der berührungslose Sensor **NIRS31** im Testfeld „Eching Ost“ überprüft. Der Sensor IRS31 ist in die Fahrbahnoberfläche eingebaut und ist in der Fahrbahnmitte des linken Fahrstreifens positioniert. Der Sensor NIRS31 ermittelt den Fahrbahnzustand in der Fahrbahnmitte des mittleren Fahrstreifens.

Lufft IRS31



Lufft IRS31
Wartungstermin:
Firmware: V 4.6
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Die 35 untersuchten Ereignisse sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
13.11.2014, nicht trocken - trocken 9:30 - 11:00 Uhr	✓	✓	-
06.12.2014, nicht trocken 14:00 -16:00 Uhr	✓	✓	+
15.12.2014, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	-	
17.12.2014, trocken - nicht trocken 14:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	-
29.12.2014, trocken - nicht trocken 9:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	o
14.01.2015, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	o
27.01.2015, nicht trocken 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
01.02.2015 nicht trocken - trocken 9:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	-
23.02.2015, Wechsel 11:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	o
02.03.2015, trocken 13:00 -14:00 Uhr	✓	✓	+
04.03.2015, Wechsel 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
11.03.2015, nicht trocken - trocken 10:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	-
31.03.2015, trocken - nicht trocken 13:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
04.04.2015, nicht trocken, 11:00 -12:00 Uhr	✓	✓	+
17.04.2015, Wechsel, 9:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	o
28.04.2015, nicht trocken - trocken 14:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+
06.05.2015, nicht trocken - trocken, 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
09.05.2015, Wechsel, 12:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	o
15.05.2015, trocken - nicht trocken, 16:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+
19.05.2015, trocken - nicht trocken, 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
15.06.2015, nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
17.06.2015, trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
27.06.2015, Wechsel, 10:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
08.07.2015, Wechsel, 08:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	-
09.07.2015, Wechsel, 09:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+
23.07.2015, Wechsel, 09:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	-
27.07.2015, Wechsel, 15:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	o
16.08.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
17.08.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	o
23.08.2015, trocken - nicht trocken, 19:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+
01.09.2015, trocken - nicht trocken, 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	-
02.09.2015, trocken - nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
23.09.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	-
04.10.2015, Wechsel, 12:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	-

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
16.10.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	-

Tabelle 47: Bewertung Fahrbahnzustand - Luft IRS31

Für die Beurteilung des Luft IRS31 lagen 35 Situationen zu Grunde. In allen untersuchten Situationen lagen Messwerte des Sensors vor. Er reagierte in 34 Situationen. Die Ereignisabbildung entsprach in 40 % der betrachteten Situationen der menschlichen Einschätzung und der Einteilung nach TLS (BASt 2012). In sieben Situationen wurde der Fahrbahnzustand nur zum Teil entsprechend der menschlichen Einschätzung wiedergegeben. Diese Situationen wurden mit „o“ bewertet. In 13 Fällen wurde ein anderer Fahrbahnzustand, als vom Beobachter erkannt, ausgegeben. Der Sensor wechselt im Abtrocknungsverhalten manchmal schneller auf „trocken“, bzw. später auf „nicht trocken“ als es der Betrachter beobachten kann.

Luft IRS31		Beobachter vor Ort			
		trocken	nicht trocken	Eis	Schnee
Sensor	trocken	20	4		
	nicht trocken	1	3		
	Eis			0	
	Schnee				0

- korrekt
- bedingt korrekt
- nicht korrekt

Abbildung 47: FBZ: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Luft IRS31

Obige Abbildung zeigt die Gegenüberstellung der Sensormesswerte und Beobachtungen vor Ort. Es wurden 28 unterschiedliche Fahrbahnzustände an mehreren Tagen (siehe Anhang) protokolliert. In fünf beobachteten Situationen entsprechen die Sensormesswerte nicht den Beobachtungen vor Ort. Der Beobachter erkannte an vier Tagen (12.12.14, 18.02.15, 18.06.15, 25.08.15) eine „nicht trockene“ Fahrbahn, wohingegen der Sensor den Zustand „trocken“ ausgab. Am 10.12.15 erkannte der Beobachter vor Ort eine trockene Fahrbahn wohingegen der Sensor eine nicht trockene Fahrbahn ausgab.

Fazit:

Der Sensor **Lufft IRS31** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 66,22 % erreicht. Der Sensor Lufft IRS31 ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Fahrbahnzustand als „nicht geeignet“ anzusehen.

Lufft NIRS31



Lufft NIRS31
Wartungstermin: 25.09.2015
Firmware: V 2.5
Datenausfälle: 14.11.2014 - 04.12.2014 12.01.2015 - 26.01.2015 23.03.2015 - 24.04.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 31.08.2015 - 08.09.2015

Die 35 untersuchten Ereignisse sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
13.11.2014, nicht trocken - trocken 9:30 - 11:00 Uhr	✓	✓	+
06.12.2014, nicht trocken 14:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
15.12.2014, trocken - nicht trocken 10:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+
17.12.2014, trocken - nicht trocken 14:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
29.12.2014, trocken - nicht trocken 9:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	o
14.01.2015, trocken - nicht trocken 10:00 - 11:00 Uhr	-		
27.01.2015, nicht trocken 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
01.02.2015 nicht trocken - trocken 9:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	o
23.02.2015, Wechsel 11:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	o
02.03.2015, trocken 13:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	+
04.03.2015, Wechsel 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
11.03.2015, nicht trocken - trocken 10:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	o
31.03.2015, trocken - nicht trocken 13:00 - 15:00 Uhr	-		
04.04.2015, nicht trocken, 11:00 - 12:00 Uhr	-		
17.04.2015, Wechsel, 9:00 - 15:00 Uhr	-		
28.04.2015, nicht trocken - trocken 14:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	-
06.05.2015, nicht trocken - trocken, 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
09.05.2015, Wechsel, 12:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
15.05.2015, trocken - nicht trocken, 16:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+
19.05.2015, trocken - nicht trocken, 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
15.06.2015, nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
17.06.2015, trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
27.06.2015, Wechsel, 10:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
08.07.2015, Wechsel, 08:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	+
09.07.2015, Wechsel, 09:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	o
23.07.2015, Wechsel, 09:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	+
27.07.2015, Wechsel, 15:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	-
16.08.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
17.08.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	+
23.08.2015, trocken - nicht trocken, 19:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+
01.09.2015, trocken - nicht trocken, 17:00 - 20:00 Uhr	-		
02.09.2015, trocken - nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	-		
23.09.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
04.10.2015, Wechsel, 12:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	o
16.10.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	o

Tabelle 48: Bewertung Fahrbahnzustand - Luft NIRS31

Der Sensor lieferte für 29 der 35 untersuchten Situationen Daten. In 62 % entsprach der Messwert der Einschätzung des Betrachters durch die Webcam Bilder. In 24 % entsprach die Beurteilung durch den Sensor nicht ganz der Einschätzung durch die Webcam Bilder (Beurteilung „o“). Vier Situationen wurden vom Sensor nicht korrekt wiedergegeben (Beurteilung „-“).

Lufft NIRS31		Beobachter vor Ort			
		trocken	nicht trocken	Eis	Schnee
Sensor	trocken	18	2		
	nicht trocken		4		
	Eis			0	
	Schnee				0

-  korrekt
-  bedingt korrekt
-  nicht korrekt

Abbildung 48: FBZ: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Lufft NIRS31

In Abbildung 48 ist die menschliche Einschätzung vor Ort den Sensormesswerten des Lufft NIRS31 gegenübergestellt. Es wurden insgesamt 24 unterschiedliche Fahrbahnzustände beobachtet. Dabei wurden 22 Ereignisse vom Sensor korrekt wiedergegeben. In 2 Situationen (18.02.15 und 25.08.15) erkannte der Beobachter vor Ort eine „nicht trockene“ Fahrbahnoberfläche, wohingegen der Sensor den Zustand „trocken“ erkannte.

Fazit:

Der Sensor **Lufft NIRS31** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 82,9 % erreicht. Der Sensor Lufft NIRS31 ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Fahrbahnzustand als „bedingt geeignet“ anzusehen.

Vaisala

Von der Firma Vaisala sind mehrere Sensoren zur Ermittlung des Fahrbahnzustands im Testfeld „Eching Ost“ im Einsatz. Es werden zwei Bodensensoren DRS511 und zwei berührungslose Sensoren DSC111 beurteilt. Die Bodensensoren Vaisala DRS511 sind in der Fahrbahn auf dem linken Fahrstreifen an unterschiedlichen Stellen verbaut (siehe Abbildung 3). Die beiden berührungslosen Sensoren Vaisala DSC111 ermitteln den Fahrbahnzustand auf dem linken Fahrstreifen. Die exakte Messfläche ist einmal in der Fahrbahnmitte (DSC111) und in etwa in der Rollspur (DSC111_2).

Vaisala DRS511 – Fahrbahnmitte



Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte)
Wartungstermin:
Firmware:
-
Datenausfälle:
14.11.2014 - 25.11.2014
15.01.2015 - 26.01.2015
25.05.2015 - 09.06.2015
29.07.2015 - 05.08.2015
13.09.2015 - 22.09.2015

Die Beurteilung des Sensors Vaisala DRS511 ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Der Sensor befindet sich in der Fahrbahnmitte.

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
13.11.2014, nicht trocken - trocken 9:30 - 11:00 Uhr	✓	✓	o
06.12.2014, nicht trocken 14:00 -16:00 Uhr	✓	✓	+
15.12.2014, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	+
17.12.2014, trocken - nicht trocken 14:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
29.12.2014, trocken - nicht trocken 9:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	+
14.01.2015, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
27.01.2015, nicht trocken 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
01.02.2015 nicht trocken - trocken 9:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+
23.02.2015, Wechsel 11:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	+
02.03.2015, trocken 13:00 -14:00 Uhr	✓	✓	-
04.03.2015, Wechsel 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
11.03.2015, nicht trocken - trocken 10:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+
31.03.2015, trocken - nicht trocken 13:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
04.04.2015, nicht trocken, 11:00 -12:00 Uhr	✓	✓	+
17.04.2015, Wechsel, 9:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	o
28.04.2015, nicht trocken - trocken 14:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	o
06.05.2015, nicht trocken - trocken, 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
09.05.2015, Wechsel, 12:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	o
15.05.2015, trocken - nicht trocken, 16:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+
19.05.2015, trocken - nicht trocken, 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
15.06.2015, nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
17.06.2015, trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
27.06.2015, Wechsel, 10:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
08.07.2015, Wechsel, 08:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	+
09.07.2015, Wechsel, 09:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+
23.07.2015, Wechsel, 09:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	+
27.07.2015, Wechsel, 15:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	o
16.08.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
17.08.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	+
23.08.2015, trocken - nicht trocken, 19:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+
01.09.2015, trocken - nicht trocken, 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+
02.09.2015, trocken - nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
23.09.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	o
04.10.2015, Wechsel, 12:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	o

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
16.10.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	+

Tabelle 49: Bewertung Fahrbahnzustand – Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte)

Der Sensor Vaisala DRS511 in der Fahrbahnmitte liefert in allen ausgewählten Situationen einen Messwert. In 77 % der untersuchten Ereignisse stimmt der ermittelte Fahrbahnzustand mit der menschlichen Einschätzung überein (Beurteilung „+“). In sieben Situationen wird der Fahrbahnzustand mit „o“ beurteilt, da er nur zum Teil mit den Beobachtungen übereinstimmt. Ein Ereignis wird durch den Sensor nicht abgebildet (Beurteilung „-“). Am 02.03.2015 zeigt der Sensor den Zustand „nicht trocken“ an.

Während 28 unterschiedlichen Zuständen der Fahrbahnoberfläche wurden Beobachtungen vor Ort durchgeführt und den Sensormesswerten Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte) gegenübergestellt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zusammenhänge zwischen der menschlichen Beobachtung und den Messwerten des Sensors.

Vaisala DRS511 - Fahrbahnmitte		Beobachter vor Ort			
		trocken	nicht trocken	Eis	Schnee
Sensor	trocken	20			
	nicht trocken	1	7		
	Eis			0	
	Schnee				0

-  korrekt
-  bedingt korrekt
-  nicht korrekt

Abbildung 49: FBZ: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte)

27 Situationen wurden vom Sensor genauso wiedergegeben wie vom Betrachter beobachtet. Am 29.01.2015 zeigt der Sensor den Zustand „nicht trocken“ an, wohingegen der Beobachter eine trockene Fahrbahn erkennt.

Fazit:

Der Sensor **Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte)** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 91,79 % erreicht. Der Sensor Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte) ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Fahrbahnzustand als „geeignet“ anzusehen.

Vaisala DRS511 (Rollspur)



Vaisala DRS511 (Rollspur)
Wartungstermin:
Firmware:
-
Datenausfälle:
14.11.2014 - 25.11.2014
15.01.2015 - 26.01.2015
25.05.2015 - 09.06.2015
29.07.2015 - 05.08.2015
13.09.2015 - 22.09.2015

Die Ergebnisse der Beurteilung der 35 untersuchten Ereignisse in der 11. Testphase sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
13.11.2014, nicht trocken - trocken 9:30 - 11:00 Uhr	✓	✓	o
06.12.2014, nicht trocken 14:00 -16:00 Uhr	✓	✓	+
15.12.2014, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	+
17.12.2014, trocken - nicht trocken 14:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	-
29.12.2014, trocken - nicht trocken 9:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	+
14.01.2015 trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	+
27.01.2015, nicht trocken 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
01.02.2015 nicht trocken - trocken 9:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+
23.02.2015, Wechsel 11:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
02.03.2015, trocken 13:00 -14:00 Uhr	✓	✓	o
04.03.2015, Wechsel 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
11.03.2015, nicht trocken - trocken 10:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	-
31.03.2015, trocken - nicht trocken 13:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
04.04.2015, nicht trocken, 11:00 -12:00 Uhr	✓	✓	+
17.04.2015, Wechsel, 9:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
28.04.2015, nicht trocken - trocken 14:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+
06.05.2015, nicht trocken -trocken, 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
09.05.2015, Wechsel, 12:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
15.05.2015, trocken - nicht trocken, 16:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	+
19.05.2015, trocken - nicht trocken, 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
15.06.2015, nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
17.06.2015, trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
27.06.2015, Wechsel, 10:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
08.07.2015, Wechsel, 08:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	+
09.07.2015, Wechsel, 09:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+
23.07.2015, Wechsel, 09:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	+
27.07.2015, Wechsel, 15:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	o
16.08.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
17.08.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	+
23.08.2015, trocken - nicht trocken, 19:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+
01.09.2015, trocken - nicht trocken, 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+
02.09.2015, trocken - nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
23.09.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
04.10.2015, Wechsel, 12:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	-
16.10.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	+

Tabelle 50: Bewertung Fahrbahnzustand – Vaisala DRS511 (Rollspur)

Der Sensor Vaisala DRS511 (Rollspur) zeigt an allen ausgewählten Situationen eine Reaktion. 83 % der Ereignisse werden gleich der menschlichen Einschätzung anhand der Webcam Bilder interpretiert (Beurteilung „+“). In 9 % wird der Fahrbahnzustand mit „o“ beurteilt, da er nur zum Teil mit den Beobachtungen übereinstimmt. An drei Tagen wird das

Ereignis durch den Sensor nicht abgebildet (Beurteilung „-“). Am 17.12.2015 ist am Anfang des Ereignisses die Fahrbahn noch trocken, der Sensor zeigt den Zustand „nicht trocken“ an. Am 11.03.2015 und 04.10.2015 wechselt der Sensor zu spät (> 5 Minuten) nach Abtrocknen der Fahrbahn auf den Zustand „trocken“.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Übereinstimmungen des Sensors Vaisala DRS511 in der Rollspur mit der menschlichen Einschätzung vor Ort.

Vaisala DRS511 - Rollspur		Beobachter vor Ort			
		trocken	nicht trocken	Eis	Schnee
Sensor	trocken	20			
	nicht trocken	1	7		
	Eis			0	
	Schnee				0

-  korrekt
-  bedingt korrekt
-  nicht korrekt

Abbildung 50: FBZ: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Vaisala DRS511 (Rollspur)

27 Situationen wurden vom Sensor genauso wiedergegeben wie vom Betrachter beobachtet. Am 29.01.2015 zeigt der Sensor den Zustand „nicht trocken“ an, wohingegen der Beobachter eine trockene Fahrbahn erkennt.

Fazit:

Der Sensor **Vaisala DRS511 (Rollspur)** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 91,79 % erreicht. Der Sensor Vaisala DRS511 (Rollspur) ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Fahrbahnzustand als „geeignet“ anzusehen.

Vaisala DSC111



Vaisala DSC111
Wartungstermin: 22.10.2015
Firmware: V 1.02
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Der laserbasierte Sensor DSC111 der Firma Vaisala wird anhand von 35 verschiedenen Situationen beurteilt. Die Ergebnisse dieser Beurteilung sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
13.11.2014, nicht trocken - trocken 9:30 - 11:00 Uhr	✓	✓	o
06.12.2014, nicht trocken 14:00 -16:00 Uhr	✓	✓	+
15.12.2014, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	+
17.12.2014, trocken - nicht trocken 14:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	-
29.12.2014, trocken - nicht trocken 9:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	o
14.01.2015, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	+
27.01.2015, nicht trocken 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	+
01.02.2015 nicht trocken - trocken 9:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
23.02.2015, Wechsel 11:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	-
02.03.2015, trocken 13:00 -14:00 Uhr	✓	✓	-
04.03.2015, Wechsel 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	o
11.03.2015, nicht trocken - trocken 10:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	o
31.03.2015, trocken - nicht trocken 13:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
04.04.2015, nicht trocken, 11:00 -12:00 Uhr	✓	✓	+
17.04.2015, Wechsel, 9:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
28.04.2015, nicht trocken - trocken 14:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	-
06.05.2015, nicht trocken - trocken, 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
09.05.2015, Wechsel, 12:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
15.05.2015, trocken - nicht trocken, 16:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	-
19.05.2015, trocken - nicht trocken, 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	o
15.06.2015, nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
17.06.2015, trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
27.06.2015, Wechsel, 10:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
08.07.2015, Wechsel, 08:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	o
09.07.2015, Wechsel, 09:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	o
23.07.2015, Wechsel, 09:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	-
27.07.2015, Wechsel, 15:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	-
16.08.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
17.08.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	+
23.08.2015, trocken - nicht trocken, 19:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+
01.09.2015, trocken - nicht trocken, 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	-
02.09.2015, trocken - nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
23.09.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	-
04.10.2015, Wechsel, 12:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	-
16.10.2015 trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	o

Tabelle 51: Bewertung Fahrbahnzustand – Vaisala DSC111

Der Sensor Vaisala DSC111 reagiert in allen untersuchten Situationen und bildet in 34 % der Fälle die Situation gut (Beurteilung „+“) ab. 22 % wurden mit „o“ bewertet und 42 % mit „-“. Der Sensor reagiert zeitweise träge auf einen Wechsel des Fahrbahnzustandes, so dass das Ereignis nicht im nötigen zeitlichen Rahmen abgebildet wird.

Den Zusammenhang zwischen den Beobachtungen vor Ort und den Messwerten des berührungslosen Sensors Vaisala DSC111 zeigt nachfolgende Abbildung.

Vaisala DSC111		Beobachter vor Ort			
		trocken	nicht trocken	Eis	Schnee
Sensor	trocken	20	2		
	nicht trocken	1	5		
	Eis			0	
	Schnee				0

-  korrekt
-  bedingt korrekt
-  nicht korrekt

Abbildung 51: FBZ: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Vaisala DSC111

In 25 von 28 beobachteten Situationen wird der Fahrbahnzustand korrekt ermittelt. Am 25.08.2015 erkennt der Beobachter einen trockenen Zustand. Der Sensor gibt den Zustand „nicht trocken“ an. Am 15.12.2014 und 18.6.2015 ermittelt der Sensor den Zustand trocken, wohingegen der Beobachter vor Ort den Zustand „nicht trocken“ ermittelt.

Fazit:

Der Sensor **Vaisala DSC111** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 67,5 % erreicht. Der Sensor Vaisala DSC111 ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Fahrbahnzustand als „nicht geeignet“ anzusehen.

Vaisala DSC111_2



Vaisala DSC111_2
Wartungstermin: 22.10.2015
Firmware: V 1.05
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Der zweite laserbasierte Sensor DSC111 der Firma Vaisala wird anhand von 35 verschiedenen Situationen beurteilt.

Die 35 untersuchten Ereignisse sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
13.11.2014, nicht trocken - trocken 9:30 - 11:00 Uhr	✓	✓	-
06.12.2014, nicht trocken 14:00 -16:00 Uhr	✓	✓	+
15.12.2014, trocken - nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	-
17.12.2014, trocken - nicht trocken 14:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	-
29.12.2014, trocken -nicht trocken 9:30 - 12:00 Uhr	✓	✓	-
14.01.2015, trocken-nicht trocken 10:00 -11:00 Uhr	✓	✓	+
27.01.2015, nicht trocken 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	o
01.02.2015 nicht trocken - trocken 9:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	-

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
23.02.2015, Wechsel 11:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	o
02.03.2015, trocken 13:00 -14:00 Uhr	✓	✓	+
04.03.2015, Wechsel 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	o
11.03.2015, nicht trocken - trocken 10:00 - 12:00 Uhr	✓	✓	+
31.03.2015, trocken - nicht trocken 13:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
04.04.2015, nicht trocken, 11:00 -12:00 Uhr	✓	✓	+
17.04.2015, Wechsel, 9:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
28.04.2015, nicht trocken - trocken 14:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	-
06.05.2015, nicht trocken - trocken, 14:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
09.05.2015, Wechsel, 12:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	+
15.05.2015, trocken - nicht trocken, 16:00 - 17:00 Uhr	✓	✓	-
19.05.2015, trocken - nicht trocken, 15:00 - 16:00 Uhr	✓	✓	o
15.06.2015, nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
17.06.2015, trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+

Ereignis	Messwertverfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung
27.06.2015, Wechsel, 10:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
08.07.2015, Wechsel, 08:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	+
09.07.2015, Wechsel, 09:00 - 11:00 Uhr	✓	✓	o
23.07.2015, Wechsel, 09:00 - 10:00 Uhr	✓	✓	o
27.07.2015, Wechsel, 15:00 - 18:30 Uhr	✓	✓	-
16.08.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 15:00 Uhr	✓	✓	-
17.08.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	+
23.08.2015, trocken - nicht trocken, 19:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	+
01.09.2015, trocken - nicht trocken, 17:00 - 20:00 Uhr	✓	✓	-
02.09.2015, trocken - nicht trocken, 12:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	+
23.09.2015, nicht trocken - trocken, 11:00 - 13:00 Uhr	✓	✓	-
04.10.2015, Wechsel, 12:00 - 14:00 Uhr	✓	✓	o
16.10.2015, trocken - nicht trocken, 08:00 - 09:00 Uhr	✓	✓	-

Tabelle 52: Bewertung Fahrbahnzustand – Vaisala DSC111_2

Der Sensor Vaisala DSC111_2 hat in allen untersuchten Situationen Messwerte geliefert und eine Reaktion auf das Ereignis gezeigt. Dabei wurden 37 % der Ereignisse positiv beurteilt. 5 Ereignisse werden mit „o“ beurteilt. In 15 Situationen stimmt der Sensormesswert nicht mit den Webcam Bildern überein und wurde mit „-“ beurteilt. Der Sensor reagiert zeitweise träge auf einen Wechsel des Fahrbahnzustandes, so dass das Ereignis nicht im nötigen zeitlichen Rahmen abgebildet wird.

Der Fahrbahnzustand konnte für 28 unterschiedliche Situationen vor Ort beurteilt werden. 25 Situationen werden korrekt abgebildet. Bei zwei Ereignissen (29.1.2015 und 25.08.2015) gibt der Sensor einen nicht trockenen Fahrbahnzustand an, wohingegen der Beobachter einen trockenen Zustand gesehen hat. Am 18.06.2015 erkennt der Beobachter eine nasse Fahrbahn wohingegen der Sensor einen trockenen Zustand ausgibt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Einschätzung vor Ort und die Sensormesswerte des Sensors Vaisala DSC111_2.

Vaisala DSC111_2		Beobachter vor Ort			
		trocken	nicht trocken	Eis	Schnee
Sensor	trocken	19	1		
	nicht trocken	2	6		
	Eis			0	
	Schnee				0

-  korrekt
-  bedingt korrekt
-  nicht korrekt

Abbildung 52: FBZ: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Vaisala DSC111_2

Fazit:

Der Sensor **Vaisala DSC111_2** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 68,21 % erreicht. Der Sensor Vaisala DSC111_2 ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Fahrbahnzustand als „nicht geeignet“ anzusehen.

4.5.3 Ergebnisse

Nachfolgende Abbildung zeigt eine Zusammenfassung der Beurteilung der Umfeldgröße Fahrbahnzustand. Es sind jeweils die Beurteilungen anhand von Webcam Bildern sowie die der Beobachtungen vor Ort dargestellt.










































Fahrbahnzustand	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung		Beobachtungen vor Ort
Boschung ITSSENS	35	35	 8 +	 10	
			 1 o	 0	
			 26 -	 18	
Lufft IRS31	35	34	 14 +	 23	
			 7 o	 0	
			 13 -	 5	
Lufft NIRS31	29	29	 18 +	 22	
			 7 o	 0	
			 4 -	 2	
Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte)	35	35	 27 +	 27	
			 7 o	 0	
			1 -	 1	
Vaisala DRS511 (Rollspur)	35	35	 29 +	 27	
			 3 o	 0	
			 3 -	 1	
Vaisala DSC111	35	35	 12 +	 25	
			 8 o	 0	
			 15 -	 3	
Vaisala DSC111_2	35	35	 13 +	 25	
			 7 o	 0	
			 15 -	 3	

Abbildung 53: Zusammenstellung der Beurteilung der Sensoren bzgl. Fahrbahnzustand

In Tabelle 53 sind die Beurteilungen der Sensoren zur Ermittlung des Zustands der Fahrbahnoberfläche für die 11. Testphase zusammengefasst. Dargestellt ist der erreichte Wert der Gesamtbeurteilung je Sensortyp entsprechend dem angewandten Bewertungsschema (siehe Kapitel 3.4).

Sensor	FBZ-Gesamtbeurteilung	
Boschung ITSSENS	30 %	-
Lufft IRS31	66 %	-
Lufft NIRS31	83 %	o
Vaisala DRS511 (Fahrbahnmitte)	92 %	+
Vaisala DRS511 (Rollspur)	92 %	+
Vaisala DSC111	68 %	-
Vaisala DSC111_2	68 %	-

Tabelle 53: Ergebnisse der Beurteilungen der Sensoren für FBZ

Legende		
geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 85 %	+
mit Einschränkungen geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 70 % und < 85 %	o
nicht geeignet für den Einsatz in SBA	< 70 %	-
keine Bewertung	-	/

Tabelle 54: Legende zur Beurteilung der Sensoren für FBZ

4.6 Niederschlagsart

4.6.1 Definition

Nach TLS (BASt 2012) wird eine Klassifizierung des Niederschlags nach Aggregatzustand sowie Menge und Größe der Partikel vorgenommen.

Vom menschlichen Beobachter wird unterschieden in:

- kein Niederschlag
- Niesel- / Sprühregen
- Regen
- Platzregen
- Graupel / Hagel
- Schnee.

Die Klasseneinteilung der Sensoren kann von dieser Einteilung abweichen, in den Auswertediagrammen werden sie den Klassen

- kein Niederschlag
- Regen
- Niederschlag aller Art
- Schnee
- nicht klassifizierbar
- herstellerspezifisch

zugeordnet (siehe Tabelle 56).

4.6.2 Beurteilung

Über den Vergleich der Sensormesswerte mit der auf Bildern der Webcams basierenden menschlichen Einschätzung der Niederschlagsart sowie Beobachtungen vor Ort im Testfeld (siehe Anhang A 3), die mit den Sensormesswerten verglichen werden, erfolgt die Beurteilung der Sensoren.

In Tabelle 55 sind die im Testfeld vorhandenen Sensoren zur Bestimmung der Niederschlagsart aufgelistet.

Sensor	Bezeichnung in den Diagrammen
Lufft WS600-UMB	Sensor 8
Ott Parsivel ² ⁸	Sensor 5
Boschung PWS	Sensor 4
Thies Laser Niederschlagsmonitor	Sensor 2
Vaisala PWD12	Sensor 1

Tabelle 55: Sensorübersicht „Niederschlagsart“

⁸ Wird in dieser Testphase nicht bewertet, da zu wenige Ereignisse beurteilt werden konnten.

In folgender Tabelle ist dargestellt, welche Informationen von den Sensoren ermittelt werden, und wie diese in der Auswertung zusammengefasst und in den Diagrammen dargestellt werden.

	Darstellung in den Diagrammen				
	Kein Niederschlag	Regen	Niederschlag aller Art	Schnee	Hersteller-spezifisch
Boschung PWS	Trocken	Regen	/	Schnee, Schneeregen	/
Lufft WS600-UMB	trocken	Regen	/	Schnee	/
Ott Parsivel²	trocken	Niesel, Niesel mit Regen, Regen,	Regen / Niesel mit Schnee, Graupel, Hagel	Schnee, Schneegriesel, Graupel, Niesel mit Schnee	
Ott Parsivel	trocken	Niesel, Niesel mit Regen, Regen,	Regen / Niesel mit Schnee, Graupel, Hagel	Schnee, Schneegriesel, Graupel, Niesel mit Schnee	/
Thies Laser Niederschlagsmonitor	trocken	Regen, Niesel in untersch. Ausprägungen	Regen / Niesel mit Schnee, Graupel, Hagel	Schnee in untersch. Ausprägungen, Schneegriesel	Unbekannter Niederschlag
Vaisala PWD12	trocken	Leichter / mittlerer / starker Regen	/	leichter / mittlerer / starker Schnee	/

Tabelle 56: Gegenüberstellung der Messwerte für „Niederschlagsart“

Bei der Auswertung der zugeordneten Niederschlagsarten wurde nachfolgende Tabelle berücksichtigt.

Niederschlagsart	Beobachter vor Ort			
	kein Niederschlag	Niederschlag aller Art	Regen	Schnee
kein Niederschlag				
Niederschlag aller Art				
Regen				
Schnee				

- korrekt
- nicht korrekt

Abbildung 54: Mehrfeldtafel „Niederschlagsart“

Analog obiger Tabelle werden die Messwerte der Sensoren mit der menschlichen Beobachtung im Testfeld verglichen. Diese Beobachtungen vor Ort werden bei der Beurteilung der Sensoren berücksichtigt. Es konnten jeweils nur die momentan vorherrschenden Niederschlagsarten vor Ort dokumentiert werden. Da eine Klassifizierung der Niederschlagsart aufgrund der Webcam Bilder nur eingeschränkt möglich ist, wurde nachfolgendes Auswertekonzept entwickelt.

Es werden Niederschlagsereignisse mit Regen und Schnee sowie vermeintliche Falschdetektionen untersucht. Grundlage ist eine zufällige Ziehung von 33 Stichproben (Niederschlagsereignissen) aus der Grundgesamtheit der Niederschlagsereignisse, die auf den Bildern der Webcams eindeutig zu erkennen bzw. einzuschätzen sein müssen. Darauf basierend erfolgt die Gesamtbewertung der Sensoren gemäß des in Abschnitt 3.4 dargestellten Bewertungsschemas. Die beispielhaft untersuchten Ereignisse sind in Anhang A 6 dargestellt.

Die Bewertung erfolgt situationsbezogen indem die Ausprägung der Messwerte mittels folgender Kriterien beurteilt wird:

- **Messwertverfügbarkeit:** Es wird überprüft, ob Messwerte des untersuchten Sensors in der jeweiligen Situation vorhanden sind. Dabei geht es um Quantität, nicht um die Qualität der Messwerte. Ggf. wird ein Grund für nicht vorhandene Messwerte angegeben. Dieses Kriterium wird informativ aufgeführt und geht nicht in die Bewertung ein.
 - *Messwerte: ✓*
Es liegen Messwerte für die betrachtete Situation vor.
 - *Messwerte: -*
Es liegen keine Messwerte für die betrachtete Situation vor.
- **Reaktion:** Anhand dieses Kriteriums wird bewertet, ob die untersuchten Sensoren Niederschlag erkannt haben. Hier wird je untersuchter Situation überprüft, ob Niederschläge beliebiger Ausprägung erkannt wurden, es wird keine Aussage bezüglich der Güte der Messwerte getroffen.
 - *Reaktion: ✓*
Der Sensor reagiert in der untersuchten Situation mit Messwerten für eine Niederschlagsart ungleich „kein Niederschlag“.
 - *Reaktion: -*
Der Sensor ermittelt in der untersuchten Situation die Niederschlagsart „kein Niederschlag“.
- **Ereignisabbildung:** Mittels dieses Kriteriums wird überprüft, wie gut die Situation durch die Messwerte der Sensoren im Vergleich zur menschlichen Einschätzung basierend auf den Webcam Bildern abgebildet wird.
 - *Ereignisabbildung: +*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation gut dar, die ermittelte Niederschlagsart entspricht im Wesentlichen der menschlichen Einschätzung der Niederschlagsart.

- *Ereignisabbildung: o*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation dar, die ermittelte Niederschlagsart entspricht nicht immer der menschlichen Einschätzung der Niederschlagsart.
- *Ereignisabbildung: -*
Die Sensormesswerte stellen die untersuchte Situation schlecht dar, die ermittelte Niederschlagsart entspricht im Wesentlichen nicht der menschlichen Einschätzung der Niederschlagsart.

Sensormesswerte und die menschliche Einschätzung sind jeweils in Tabellen gegenübergestellt.

Boschung



Boschung PWS
Wartungstermin: 13.10.2015
Firmware:
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Es fanden 28 Beobachtungen vor Ort statt. In Abbildung 55 ist die Gegenüberstellung der menschlichen Einschätzung vor Ort und der Sensormesswerte dargestellt.

Boschung PWS		Beobachter vor Ort			
		kein Niederschlag	Niederschlag aller Art	Regen	Schnee
Sensor	kein Niederschlag	22			
	Niederschlag aller Art		0		
	Regen	1		5	
	Schnee				0

- korrekt
- nicht korrekt

Abbildung 55: NA: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Boschung PWS

27 Ereignisse erkennt der Sensor entsprechend dem Beobachter vor Ort. Am 5.5.2015 erkannte der Sensor Regen, der Beobachter hingegen erkannte keinen Niederschlag. In Tabelle 57 sind die 17 bewerteten Ereignisse und die Ergebnisse des Sensors dargestellt.

Ereignis	Messwert-verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis-abbildung
06.11.2014 13:00 - 15:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
13.11.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	✓	✓	-

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
01.12.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
25.12.2014 08:00 - 10:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
28.12.2014 12:00 - 14:00 Uhr, Schnee	✓	✓	o
02.01.2015 12:00 - 17:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
04.01.2015 11:00 - 12:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
11.01.2015 14:00 - 16:00 Uhr, Regen/Schnee	✓	✓	+
30.01.2015 8:00 - 10:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
20.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
22.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, Schnee	✓	✓	-
01.03.2015 15:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	-
05.03.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Schnee	✓	✓	-
27.03.2015 13:00 - 14:30 Uhr, Regenschauer	✓	✓	+
30.03.2015 16:00 - 17:00 Uhr, starker Regen	✓	✓	+
01.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	✓	✓	o
06.04.2015 12:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
17.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	✓	✓	+
09.05.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
12.05.2015 16:00 - 17:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
20.05.2015 8:00 - 15:00 Uhr, langes Regenereignis	✓	✓	+
18.06.2015 10:00 - 11:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
27.06.2015 11:00 - 12:00 Uhr, leichte Regenschauer	✓	✓	+
08.07.2015 9:00 - 13:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
13.07.2015 8:30 - 9:30 Uhr, leichter Regenschauer	✓	✓	+
27.07.2015 15:00 - 16:00 Uhr, starker Regenschauer	✓	✓	+
14.08.2015 18:00 - 20:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
17.08.2015 8:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
03.09.2015 15:00 - 19:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
07.09.2015 10:00 - 12:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
27.09.2015 13:00 - 14:00 Uhr, trocken	✓	✓	+
07.10.2015 13:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
25.10.2015 12:00 -13:00 Uhr, leichter Regen	✓	✓	+

Tabelle 57: NA: Menschliche Einschätzung von Ereignissen per Webcam vs. Sensor Boschung PWS

Für alle 33 beobachteten Situationen liegen Messwerte vor. 67 % der Ereignisse wurden positiv bewertet. In sieben Situationen bildet der Sensor das Ereignis nur bedingt richtig ab (Beurteilung „o“). In vier Situationen wird die Abbildung des Niederschlagsereignisses negativ bewertet. Bei manchen Ereignissen mit Schneefall gibt der Sensor die Niederschlagsart „Regen“ aus.

Fazit:

Der Sensor **Boschung PWS** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 86,9 % erreicht. Der Sensor Boschung PWS ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsart als „geeignet“ anzusehen.

Lufft



Lufft WS600-UMB	
Wartungstermin:	25.09.2015
Firmware:	V4.6
Datenausfälle:	14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Die Umfeldgröße Niederschlagsart wird vom Sensor **Lufft WS600-UMB** im Testfeld ermittelt. Beobachtungen vor Ort fanden zu 28 unterschiedlichen Ereignissen statt. In nachfolgender Tabelle sind die Ergebnisse der menschlichen Einschätzung vor Ort und der Sensormesswerte des WS600-UMB gegenübergestellt.

Lufft WS600-UMB		Beobachter vor Ort			
		kein Niederschlag	Niederschlag aller Art	Regen	Schnee
Sensor	kein Niederschlag	23			
	Niederschlag aller Art		0		
	Regen			5	
	Schnee				0

- korrekt
- nicht korrekt

Abbildung 56: NA: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Lufft WS600-UMB

Bei 28 unterschiedlichen Situationen mit den Niederschlagsarten „Regen“ und „kein Niederschlag“ entsprach die Beobachtung vor Ort dem Sensormesswert.

Zu 33 unterschiedlichen Situationen wurde eine Einschätzung der Ereignisabbildung des Sensors mittels Webcam Bilder durchgeführt. In allen der ausgewählten Tage lagen Messwerte des Sensors vor. In nachfolgender Tabelle sind die Beurteilungen für den Sensor WS600-UMB dargestellt.

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
06.11.2014 13:00 - 15:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
13.11.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	✓	✓	-
01.12.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
25.12.2014 08:00 - 10:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
28.12.2014 12:00 - 14:00 Uhr, Schnee	✓	✓	o
02.01.2015 12:00 - 17:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
04.01.2015 11:00 - 12:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
11.01.2015 14:00 - 16:00 Uhr, Regen/Schnee	✓	✓	+
30.01.2015 8:00 - 10:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
20.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
22.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, Schnee	✓	✓	-
01.03.2015 15:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	-
05.03.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Schnee	✓	✓	-
27.03.2015 13:00 - 14:30 Uhr, Regenschauer	✓	✓	+
30.03.2015 16:00 - 17:00 Uhr, starker Regen	✓	✓	+
01.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	✓	✓	o
06.04.2015 12:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
17.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	✓	✓	+

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
09.05.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
12.05.2015 16:00 - 17:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
20.05.2015 8:00 - 15:00 Uhr, langes Regenereignis	✓	✓	+
18.06.2015 10:00 - 11:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
27.06.2015 11:00 - 12:00 Uhr, leichte Regenschauer	✓	✓	+
08.07.2015 9:00 - 13:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
13.07.2015 8:30 - 9:30 Uhr, leichter Regenschauer	✓	✓	+
27.07.2015 15:00 - 16:00 Uhr, starker Regenschauer	✓	✓	+
14.08.2015 18:00 - 20:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
17.08.2015 8:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
03.09.2015 15:00 - 19:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
07.09.2015 10:00 - 12:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
27.09.2015 13:00 - 14:00 Uhr, trocken	✓	✓	+
07.10.2015 13:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
25.10.2015 12:00 -13:00 Uhr, leichter Regen	✓	✓	+

Tabelle 58: NA: Menschliche Einschätzung von Ereignissen per Webcam vs. Sensor Luft WS600-UMB

Zu allen untersuchten Ereignissen zeigt der Sensor WS600-UMB eine Reaktion auf das Ereignis. 67 % der Ereignisse stimmen mit der Einschätzung durch die Webcam Bilder überein. 21 % werden nur bedingt gut widergegeben (Beurteilung „o“). Vier Ereignisse werden negativ beurteilt. Bei manchen Ereignissen mit Schnee gibt der Sensor die Niederschlagsart „Regen“ aus.

Fazit:

Der Sensor **Lufft WS600-UMB** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 88,6 % erreicht. Der Sensor Lufft WS600-UMB ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsart als „geeignet“ anzusehen.

Ott



Ott Parsivel²
Wartungstermin: 19.02.2015
Firmware: V 2.02.05
Datenausfälle: 01.11.2014 - 28.02.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Der lange Datenausfall zu Beginn der Testphase ist auf Probleme in der Verbindung zwischen Sensor und Aufzeichnungscomputer zurückzuführen.

Die Beurteilung des Sensors Ott Parsivel² während Beobachtungen vor Ort zeigt die nachfolgende Abbildung.

Ott Parsivel ²		Beobachter vor Ort			
		kein Niederschlag	Niederschlag aller Art	Regen	Schnee
Sensor	kein Niederschlag	17			
	Niederschlag aller Art		0		
	Regen			4	
	Schnee				0

- korrekt
- nicht korrekt

Abbildung 57: NA: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Ott Parsivel²

Bei der direkten Beobachtung der Umfeldsituation vor Ort wurden 28 verschiedene Ereignisse betrachtet. Vom Parsivel² konnten für 21 Ereignisse Daten aufgezeichnet werden. Die Beobachtungen vor Ort stimmen mit den Messerwerten überein.

Für die Beurteilung des Sensors mit Hilfe von Webcam Bildern liegen für 22 von 33 verschiedenen Situationen Daten vor. Die Ergebnisse der Ereignisabbildung des Sensors Ott Parsivel² zeigt die nachfolgende Tabelle.

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
06.11.2014 13:00 - 15:00 Uhr, Regen	-		
13.11.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	-		
01.12.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	-		
25.12.2014 08:00 - 10:00 Uhr, Regen	-		
28.12.2014 12:00 - 14:00 Uhr, Schnee	-		
02.01.2015 12:00 - 17:00 Uhr, Regen	-		
04.01.2015 11:00 - 12:00 Uhr, kein NI	-		
11.01.2015 14:00 - 16:00 Uhr, Regen/Schnee	-		
30.01.2015 8:00 - 10:00 Uhr, Schnee	-		
20.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, kein NI	-		
22.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, Schnee	-		
01.03.2015 15:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
05.03.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
27.03.2015 13:00 - 14:30 Uhr, Regenschauer	✓	✓	+
30.03.2015 16:00 - 17:00 Uhr, starker Regen	✓	✓	-
01.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	✓	✓	+
06.04.2015 12:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
17.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	✓	✓	+

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
09.05.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
12.05.2015 16:00 - 17:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
20.05.2015 8:00 - 15:00 Uhr, langes Regenereignis	✓	✓	+
18.06.2015 10:00 - 11:00 Uhr, Regen	✓	✓	-
27.06.2015 11:00 - 12:00 Uhr, leichte Regenschauer	✓	✓	+
08.07.2015 9:00 - 13:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
13.07.2015 8:30 - 9:30 Uhr, leichter Regenschauer	✓	✓	+
27.07.2015 15:00 - 16:00 Uhr, starker Regenschauer	✓	✓	+
14.08.2015 18:00 - 20:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
17.08.2015 8:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
03.09.2015 15:00 - 19:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
07.09.2015 10:00 - 12:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
27.09.2015 13:00 - 14:00 Uhr, trocken	✓	✓	+
07.10.2015 13:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
25.10.2015 12:00 -13:00 Uhr, leichter Regen	✓	✓	+

Tabelle 59: NA: Menschliche Einschätzung von Ereignissen per Webcam vs. Sensor Ott Parsivel²

Der Sensor Ott Parsivel² bildet 72 % alle untersuchten Situationen gut ab. 13 % erhielten die Beurteilung „o“ und 9 % wurden negativ beurteilt.

Fazit:

Der Sensor **Ott Parsivel²** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 92 % erreicht. Der Sensor Ott Parsivel² ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsart als „geeignet“ anzusehen.

Thies



Thies Laser Niederschlagsmonitor
Wartungstermin: 25.08.2015
Firmware: V 2.5
Datenausfälle: 14.11.2014 - 20.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 14.04.2015 - 10.08.2015

Der Datenausfall von April bis August ist auf einen Ausfall des Aufzeichnungscomputers zurückzuführen.

Im Testfeld „Eching Ost“ wird der Sensor **Thies Laser Niederschlagsmonitor** zur Ermittlung der Niederschlagsart eingesetzt. An 28 unterschiedlichen Situationen wurde die Niederschlagsart vor Ort beobachtet und den Sensormesswerten gegenübergestellt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Übereinstimmungen des Sensors mit der menschlichen Einschätzung vor Ort.

Thies Laser Niederschlagsmonitor	Beobachter vor Ort			
	kein Niederschlag	Niederschlag aller Art	Regen	Schnee
kein Niederschlag	16			
Niederschlag aller Art		0		
Regen			4	
Schnee				0

- korrekt
- nicht korrekt

Abbildung 58: NA: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Thies Laser Niederschlagsmonitor

Für alle Situationen, in denen Daten vorlagen stimmt der Sensorwert mit der Beobachtung überein.

Mit Hilfe von Webcam Bildern wurden in dieser Testphase 33 Situationen näher betrachtet. Die nachfolgende Tabelle stellt die Beurteilung des Sensors Thies Laser Niederschlagsmonitor für die ausgewählten Ereignisse dar.

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
06.11.2014 13:00 - 15:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
13.11.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
01.12.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
25.12.2014 08:00 - 10:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
28.12.2014 12:00 - 14:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
02.01.2015 12:00 - 17:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
04.01.2015 11:00 - 12:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
11.01.2015 14:00 - 16:00 Uhr, Regen/Schnee	✓	✓	+
30.01.2015 8:00 - 10:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
20.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
22.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
01.03.2015 15:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
05.03.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
27.03.2015 13:00 - 14:30 Uhr, Regenschauer	✓	✓	+
30.03.2015 16:00 - 17:00 Uhr, starker Regen	✓	✓	+
01.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	✓	✓	+
06.04.2015 12:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
17.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	-		

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
09.05.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Regen	-		
12.05.2015 16:00 - 17:00 Uhr, kein NI	-		
20.05.2015 8:00 - 15:00 Uhr, langes Regenereignis	-		
18.06.2015 10:00 - 11:00 Uhr, Regen	-		
27.06.2015 11:00 - 12:00 Uhr, leichte Regenschauer	-		
08.07.2015 9:00 - 13:00 Uhr, Regen	-		
13.07.2015 8:30 - 9:30 Uhr, leichter Regenschauer	-		
27.07.2015 15:00 - 16:00 Uhr, starker Regenschauer	-		
14.08.2015 18:00 - 20:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
17.08.2015 8:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
03.09.2015 15:00 - 19:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
07.09.2015 10:00 - 12:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
27.09.2015 13:00 - 14:00 Uhr, trocken	✓	✓	+
07.10.2015 13:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
25.10.2015 12:00 -13:00 Uhr, leichter Regen	✓	✓	o

Tabelle 60: NA: Menschliche Einschätzung von Ereignissen per Webcam vs. Sensor Thies Laser Niederschlagsmonitor

Für 24 der untersuchten 33 Ereignisse liegen Messwerte des Sensors vor. Bis auf drei Situationen, bei denen der Sensor mit „o“ beurteilt wird, werden die Ereignisse gut abgebildet (Beurteilung „+“).

Fazit:

Der Sensor **Thies Laser Niederschlagsmonitor** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 96,9 % erreicht. Der Sensor Thies Laser Niederschlagsmonitor ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsart als „geeignet“ anzusehen.

Vaisala



Vaisala PWD12
Wartungstermin: 22.10.2015
Firmware: V 1.07
Datenausfälle: 14.11.2014 - 25.11.2014 15.01.2015 - 26.01.2015 25.05.2015 - 09.06.2015 29.07.2015 - 05.08.2015 13.09.2015 - 22.09.2015

Der Sensor **PWD12** der Firma **Vaisala** wird im Testfeld „Eching Ost“ bei der Ermittlung der Niederschlagsart eingesetzt. Die Beurteilung des Sensors an 37 verschiedenen Situationen die vor Ort beobachtet wurden ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

Vaisala PWD12		Beobachter vor Ort			
		kein Niederschlag	Niederschlag aller Art	Regen	Schnee
Sensor	kein Niederschlag	22			
	Niederschlag aller Art		0		
	Regen			5	
	Schnee				0

- korrekt
- nicht korrekt

Abbildung 59: NA: Menschliche Einschätzung vor Ort im Testfeld vs. Sensor Vaisala PWD12

Es lagen für 27 Ereignisse Messdaten vor. Für diese Situationen stimmen die Sensorwerte mit den Beobachtungen vor Ort überein.

Für die weitere Beurteilung des Sensors Vaisala PWD12 werden die Sensormesswerte mit Bilderfolgen der Webcams verglichen. Die Beurteilung der 33 unterschiedlichen Situationen ist in folgender Tabelle zusammengestellt.

Ereignis	Messwert-verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis-abbildung
06.11.2014 13:00 - 15:00 Uhr, Regen	✓	✓	+

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
13.11.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
01.12.2014 08:00 - 09:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
25.12.2014 08:00 - 10:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
28.12.2014 12:00 - 14:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
02.01.2015 12:00 - 17:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
04.01.2015 11:00 - 12:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
11.01.2015 14:00 - 16:00 Uhr, Regen/Schnee	✓	✓	+
30.01.2015 8:00 - 10:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
20.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
22.02.2015 8:00 - 9:00 Uhr, Schnee	✓	✓	+
01.03.2015 15:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
05.03.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Schnee	✓	✓	-
27.03.2015 13:00 - 14:30 Uhr, Regenschauer	✓	✓	+
30.03.2015 16:00 - 17:00 Uhr, starker Regen	✓	✓	+
01.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	✓	✓	o
06.04.2015 12:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	-
17.04.2015 9:30 - 10:30 Uhr, Regen	✓	✓	+
09.05.2015 12:00 - 13:00 Uhr, Regen	✓	✓	+

Ereignis	Messwert- verfügbarkeit	Reaktion	Ereignis- abbildung
12.05.2015 16:00 - 17:00 Uhr, kein NI	✓	✓	+
20.05.2015 8:00 - 15:00 Uhr, langes Regenereignis	✓	✓	+
18.06.2015 10:00 - 11:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
27.06.2015 11:00 - 12:00 Uhr, leichte Regenschauer	✓	✓	+
08.07.2015 9:00 - 13:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
13.07.2015 8:30 - 9:30 Uhr, leichter Regenschauer	✓	✓	+
27.07.2015 15:00 - 16:00 Uhr, starker Regenschauer	✓	✓	+
14.08.2015 18:00 - 20:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
17.08.2015 8:00 - 16:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
03.09.2015 15:00 - 19:00 Uhr, Regen	✓	✓	+
07.09.2015 10:00 - 12:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
27.09.2015 13:00 - 14:00 Uhr, trocken	✓	✓	+
07.10.2015 13:00 - 14:00 Uhr, Regen	✓	✓	o
25.10.2015 12:00 -13:00 Uhr, leichter Regen	✓	✓	o

Tabelle 61: NA: Menschliche Einschätzung von Ereignissen per Webcam vs. Sensor Vaisala PWD12

Der Sensor PWD12 bildet in 78 % der betrachteten Situationen, das Ereignis gut ab. 15 % werden nur zum Teil entsprechend der Webcam Bilder abgebildet. Zwei Situationen wurden negativ beurteilt. In diesen Fällen schneite es deutlich, der Sensor erkannte Regen.

Fazit:

Der Sensor **Vaisala PWD12** hat in der Gesamtbeurteilung einen Wert von 93,2 % erreicht. Der Sensor Vaisala PWD12 ist in der 11. Testphase für den Einsatz in SBA zur Ermittlung der Umfeldgröße Niederschlagsart als „geeignet“ anzusehen.

4.6.3 Ergebnisse

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Zusammenstellung der Beurteilung der Umfeldgröße Niederschlagsart.

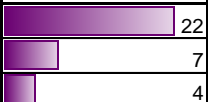
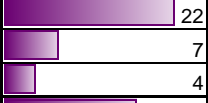

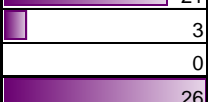
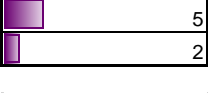
Niederschlagsart	Messwert-verfügbarkeit	Reaktion	Ereignisabbildung		Beobachtungen vor Ort	
Boschung PWS	33	33	 22 + 7 o 4 -		27	
Lufft WS600-UMB	33	33	 22 + 7 o 4 -		28	
Ott Parsivel 2	22	22	 17 + 3 o 2 -		21	
Thies Laser Niederschlagsmonitor	24	24	 21 + 3 o 0 -		20	
Vaisala PWD12	33	33	 26 + 5 o 2 -		27	

Abbildung 60: Zusammenstellung der Beurteilung der Sensoren bzgl. Niederschlagsart

In Abbildung 60 sind zum einen die Beurteilungen der Sensoren resultierend aus der menschlichen Einschätzung mithilfe der Webcam Bilder und zum anderen aus den Beobachtungen vor Ort zusammengestellt.

Folgende Tabelle stellt die Ergebnisse der Beurteilungen der Sensoren zur Bestimmung der Niederschlagsart dar. Dargestellt ist der erreichte Wert der Gesamtbeurteilung je Sensortyp entsprechend dem angewandten Bewertungsschema (siehe Kapitel 3.4).

Sensor	NS-Gesamtbeurteilung	
Boschung PWS	87 %	+
Lufft WS600-UMB	89 %	+
Ott Parsivel ²	92 %	+
Thies Laser Niederschlagsmonitor	97 %	+
Vaisala PWD12	93 %	+

Tabelle 62: Ergebnisse der Beurteilung der Sensoren für NS

Legende	
geeignet für den Einsatz in SBA	+
mit Einschränkungen geeignet für den Einsatz in SBA	o
nicht geeignet für den Einsatz in SBA	-
keine Bewertung	/

Tabelle 63: Legende zur Beurteilung der Sensoren für NA

4.7 Lufttemperatur

4.7.1 Definition

Es handelt sich um die Temperatur der Umgebungsluft in Nähe der Fahrbahnmessstelle. Die Messung muss weitgehend unbeeinflusst von Sonneneinstrahlung und Windeinwirkung sein (BASt, 2012). Die Lufttemperatur ist eine Zustandsgröße und ein Maß für die mittlere Bewegungsenergie je Molekül (KUCHLING, 1994).

4.7.2 Beurteilung / Ergebnisdarstellung

Von folgenden Systemen wird die Lufttemperatur ermittelt:

Sensor
Lufft WS600-UMB
Ott Pluviometer (informativ)
Thies Hygro Thermogeber
Vaisala DST111
Vaisala HMP45D / HMP155 S/N H4540001

Tabelle 64: Sensorübersicht „Lufttemperatur“

Für die Ergebnisdarstellung der Lufttemperatursensoren werden Ganglinienvergleiche (siehe Abschnitt 3.2) durchgeführt.

Nachfolgende Abbildungen zeigen exemplarische Tagesganglinien.

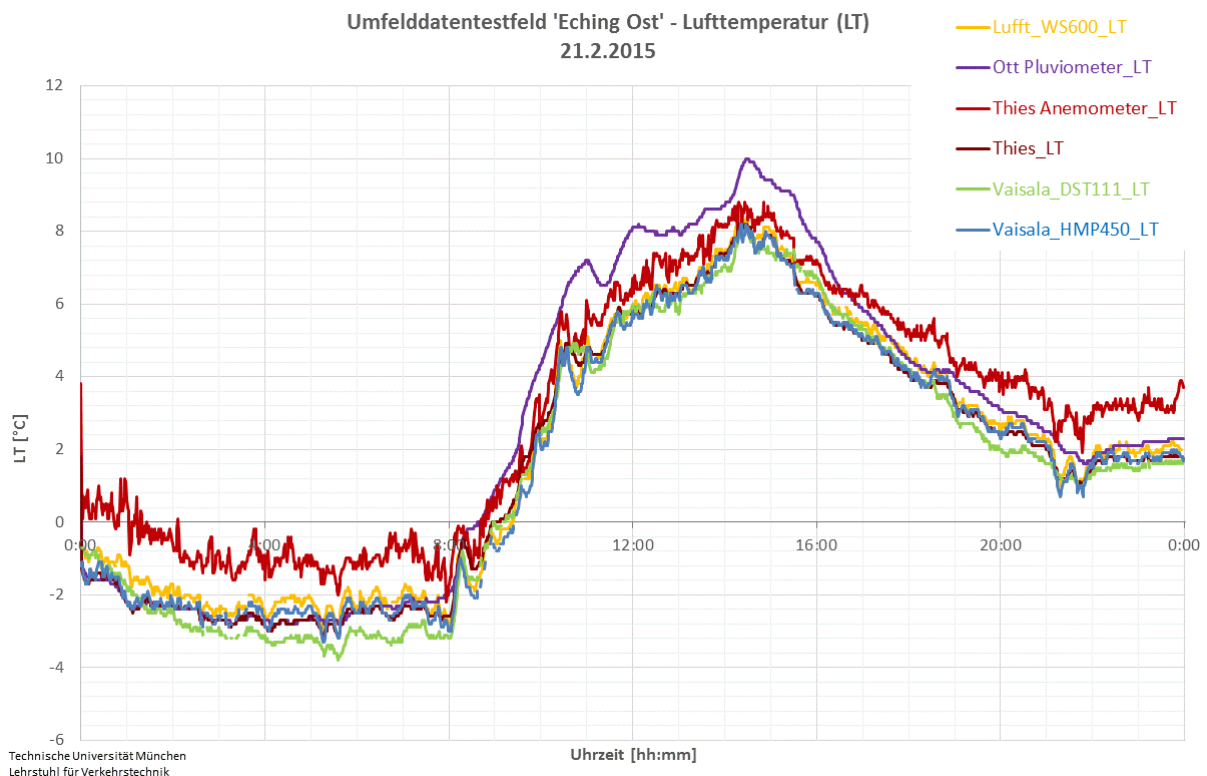


Abbildung 61: LT: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 21.02.2015

Am 21.02.2015 zeigen die Sensormesswerte der einzelnen Hersteller im Tagesverlauf annähernd die gleichen Lufttemperaturen. Ebenso in der nachfolgenden Tagesganglinie vom 13.04.2015.

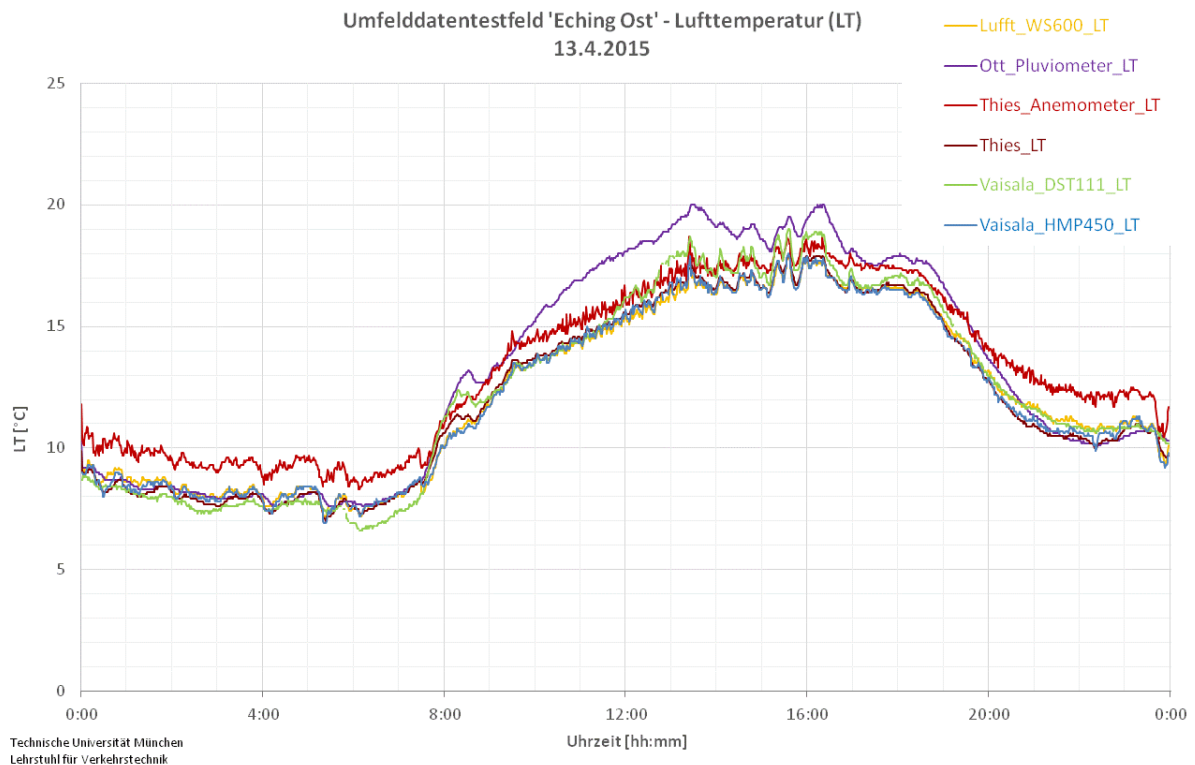


Abbildung 62: LT: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 13.04.2015

Hierbei zeigt sich für die Messgröße Lufttemperatur über die 11. Testphase in der Regel ein ähnlicher Ganglinienverlauf aller Sensoren. Die Sensormesswerte sind um einige °C unterschiedlich, was auch abhängig von der Tages- und Nachtzeit ist.

Die Betrachtung und der Vergleich der Messwerte über die 12-monatige Testdauer zeigen insgesamt homogene Messniveaus, die Abweichungen zwischen den Sensormesswerten bleiben im Verhältnis gleich, es treten nur vereinzelt und temporär Ausreißer auf.

Wenn der Messwert der Lufttemperatur für Glätteprognosen verwendet werden soll, sind Sensoren mit strahlengeschützten Gehäusen zu nutzen. Ansonsten wird die Lufttemperatur nicht korrekt ermittelt.

4.8 Relative Luftfeuchte

4.8.1 Definition

Ermittelt wird die relative Luftfeuchte der Umgebungsluft in Nähe der Fahrbahnmessstelle, die weitestgehend unbeeinflusst von direkter Sonneneinstrahlung und Windeinwirkung sein soll (BASt, 2012).

Sie wird ermittelt als prozentuales Verhältnis zwischen der momentanen, absoluten Luftfeuchte und der Feuchte, die die Luft unter den gegebenen Umständen maximal aufnehmen könnte. Die relative Luftfeuchtigkeit steht für den relativen Sättigungsgrad des Wasserdampfs.

4.8.2 Beurteilung / Ergebnisdarstellung

In Tabelle 65 sind die im Testfeld untersuchten Systeme zur Erfassung der relativen Luftfeuchte dargestellt.

Sensor
Lufft WS600-UMB
Thies Hygro Thermogeber
Vaisala DST111
Vaisala HMP45D / HMP155 S/N H4540001

Tabelle 65: Sensorübersicht „Relative Luftfeuchte“

Durch die Ganglinienvergleiche in der 12-monatigen Testphase wurde festgestellt, dass sich die Verläufe der Sensoren überwiegend ähnlich sind. Die absoluten Werte können z.T. variieren. Die Sensoren Lufft WS600 UMB und Vaisala DST111 zeigen keine 100 % relative Luftfeuchte an, wie beispielhaft in Abbildung 66 zu sehen ist.

Korrelationen der Sensormesswerte zueinander sind in nachfolgender Abbildung sowie im Anhang A 9 für alle Hersteller dargestellt.

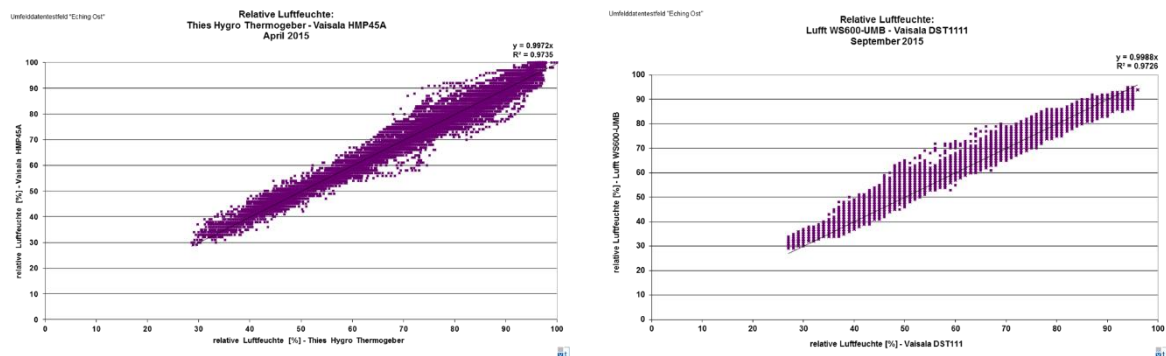


Abbildung 63: exemplarische Korrelation der Sensormesswerte im Testfeld „Eching Ost“

Nachfolgende Abbildungen zeigen exemplarisch Verläufe der relativen Luftfeuchte.

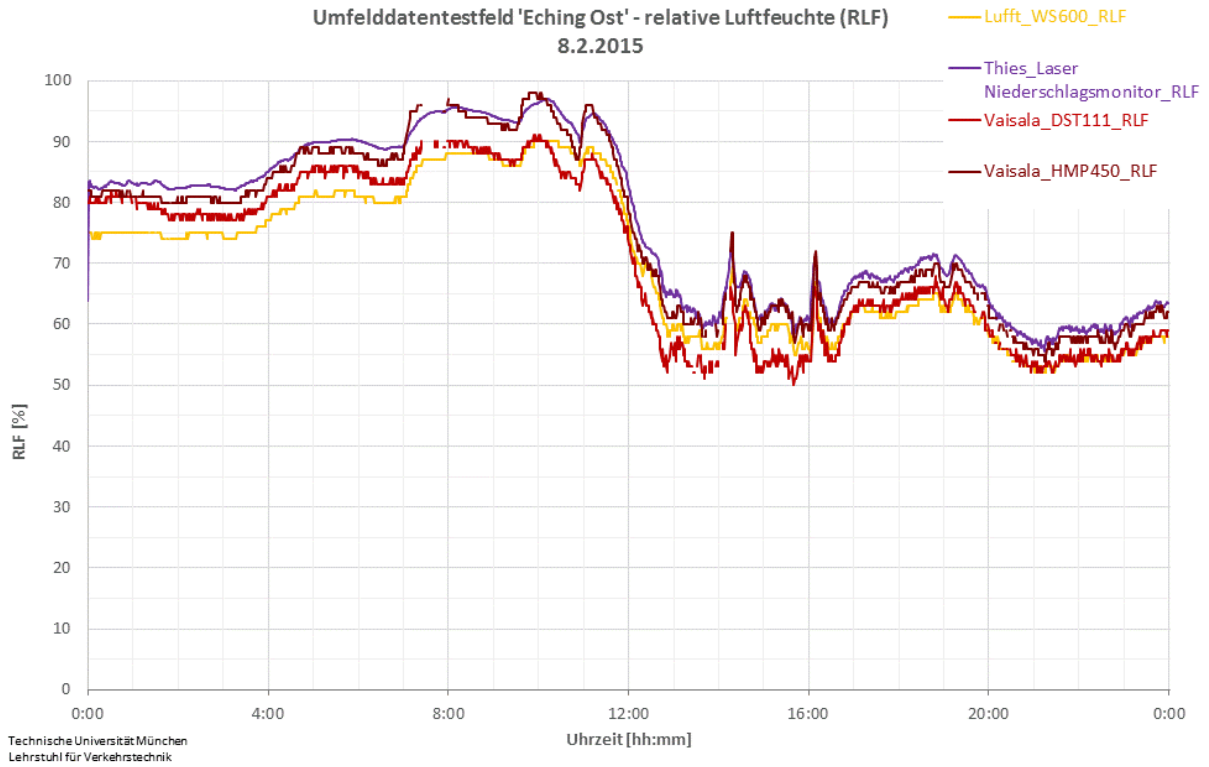


Abbildung 64: RLF: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 08.02.2015

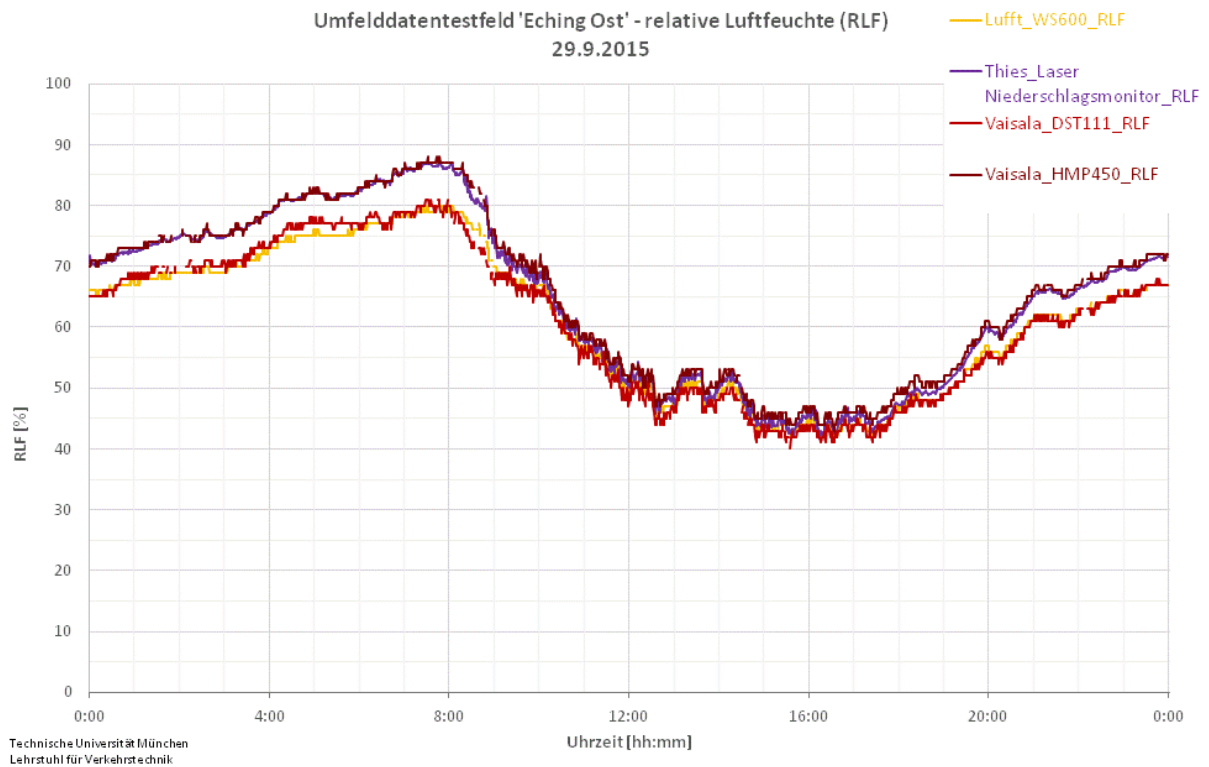


Abbildung 65: RLF: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 29.09.2015

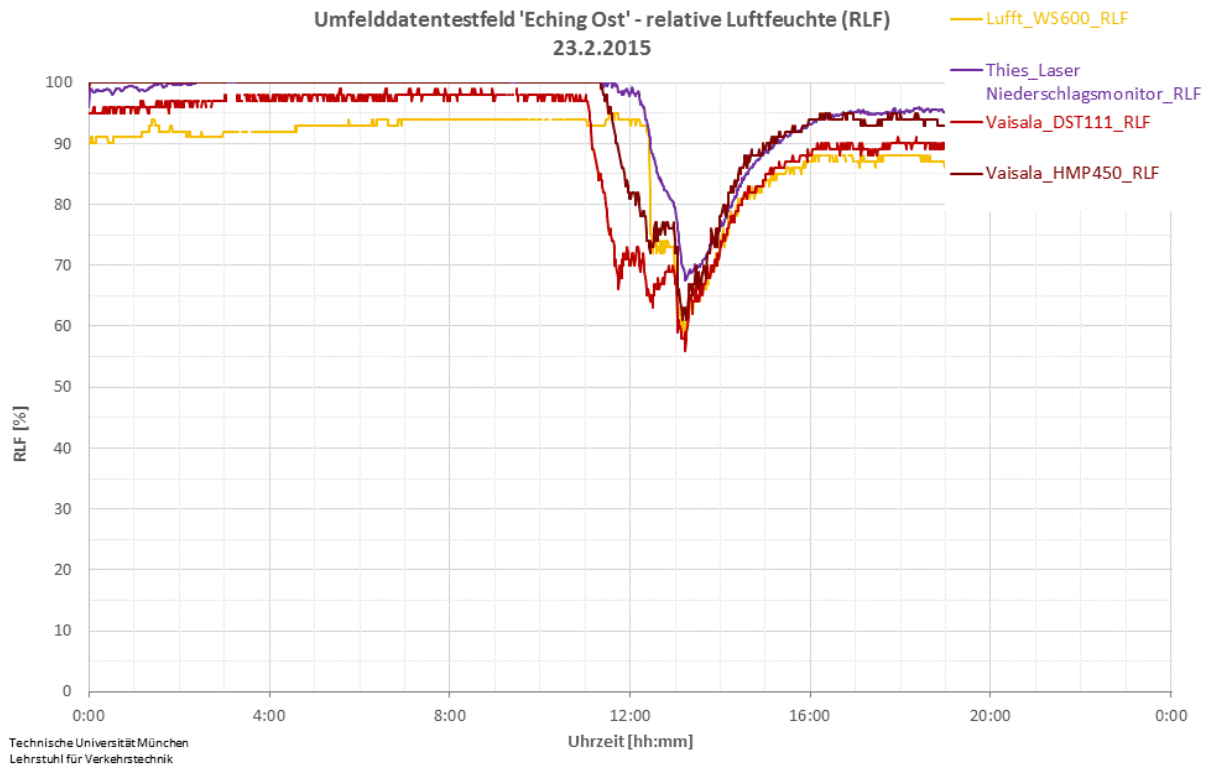


Abbildung 66: RLF: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 23.02.2015

In der Regel reagieren alle Sensoren zeitnah auf Änderungen der relativen Luftfeuchte, somit erscheinen die Verläufe der Messwerte der einzelnen Sensoren plausibel.

4.9 Taupunkttemperatur

4.9.1 Definition

Die Taupunkttemperatur ist diejenige Temperatur, bei der die in der Umgebungsluft der Messstelle (am Ort der Temperatur- und Feuchtesensorik) vorhandene Feuchte zu kondensieren beginnt (BAST, 2012). Bei der Taupunkttemperatur handelt es sich um die Temperatur der feuchten Luft, bei der diese wasserdampfgesättigt wäre und bei einer weiteren Temperatursenkung kondensieren würde. In diesem Zustand würde die relative Luftfeuchte 100 Prozent betragen und es herrschte der Sättigungsdampfdruck. Der Taupunkt als Maß für die Luftfeuchtigkeit ist eine abgeleitete, keine real vorliegende Temperatur und als solche immer niedriger oder gleich der tatsächlichen Lufttemperatur. Sind beide gleich, so ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt. Die Taupunkttemperatur lässt sich aus der relativen Luftfeuchte und dem zugehörigen Temperaturwert wie folgt berechnen:

$$Taupunkttemperatur\ Luft = \frac{241,2 \cdot \ln \frac{RLF}{100} + \frac{4222,03716 \cdot LT}{241,2 + LT}}{17,5043 - \ln \frac{RLF}{100} - \frac{17,5043 \cdot LT}{241,2 + LT}}$$

4.9.2 Beurteilung / Ergebnisdarstellung

Die Messwerte der Taupunkttemperatur werden in Diagrammen gemeinsam mit der Lufttemperatur dargestellt. Folgende im Testfeld „Eching Ost“ eingesetzte Sensoren können die Taupunkttemperatur ermitteln.

Sensor
Lufft WS600-UMB
Vaisala DST111
Vaisala HMP155 S/N H4540001

Tabelle 66: Sensorübersicht „Taupunkttemperatur“

Nachfolgende Abbildungen zeigen exemplarisch Ganglinienverläufe der Taupunkt- und Lufttemperatur der Sensoren. Die Messwerte der Sensoren weisen keine unplausiblen Ausreißer auf und reagieren im Vergleich zu den Werten der Lufttemperatur zeitnah. Die Messwertkurven der Sensoren liegen in vielen Tagesauswertungen übereinander, und liefern somit exakt gleiche Werte.

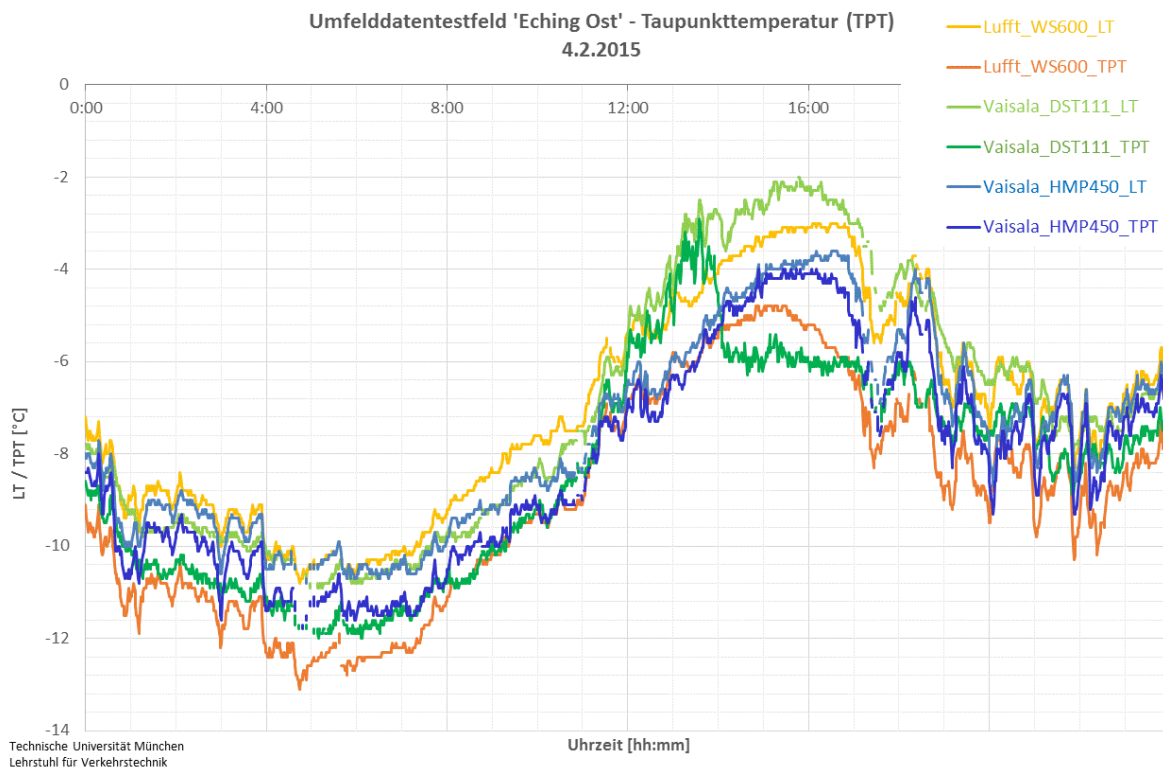


Abbildung 67: TPT: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 04.02.2015

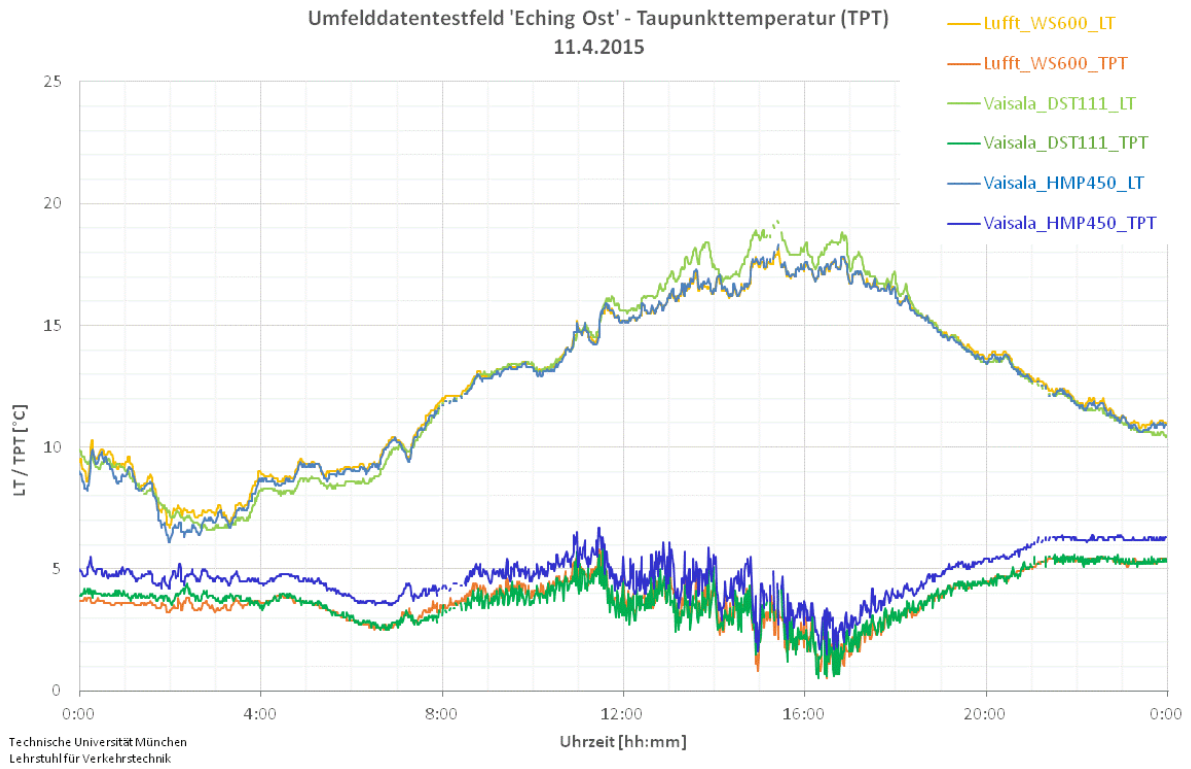


Abbildung 68: TPT: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 11.04.2015

4.10 Windrichtung

4.10.1 Definition

In der Verkehrsbeeinflussung wird die Windrichtung in Grad der Kompassrose [1° bis 360°] als Richtung, aus der der Wind weht, angegeben (BASt, 2012).

4.10.2 Beurteilung / Ergebnisdarstellung

Die Messwerte der Windrichtung werden mittels Häufigkeitsverteilungen der Messwerte eines Monats untersucht. Die Windrichtung wird im Testfeld von folgenden Sensoren ermittelt:

Sensor
Lufft WS600-UMB
Thies Ultrasonic Anemometer
Vaisala WAV151

Tabelle 67: Sensorübersicht „Windrichtung“

Die Häufigkeitsverteilungen der Sensormesswerte des Monats April 2015 sind in nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Diese Verteilung der Messwerte steht beispielhaft für die Ergebnisse der gesamten 11. Testphase.

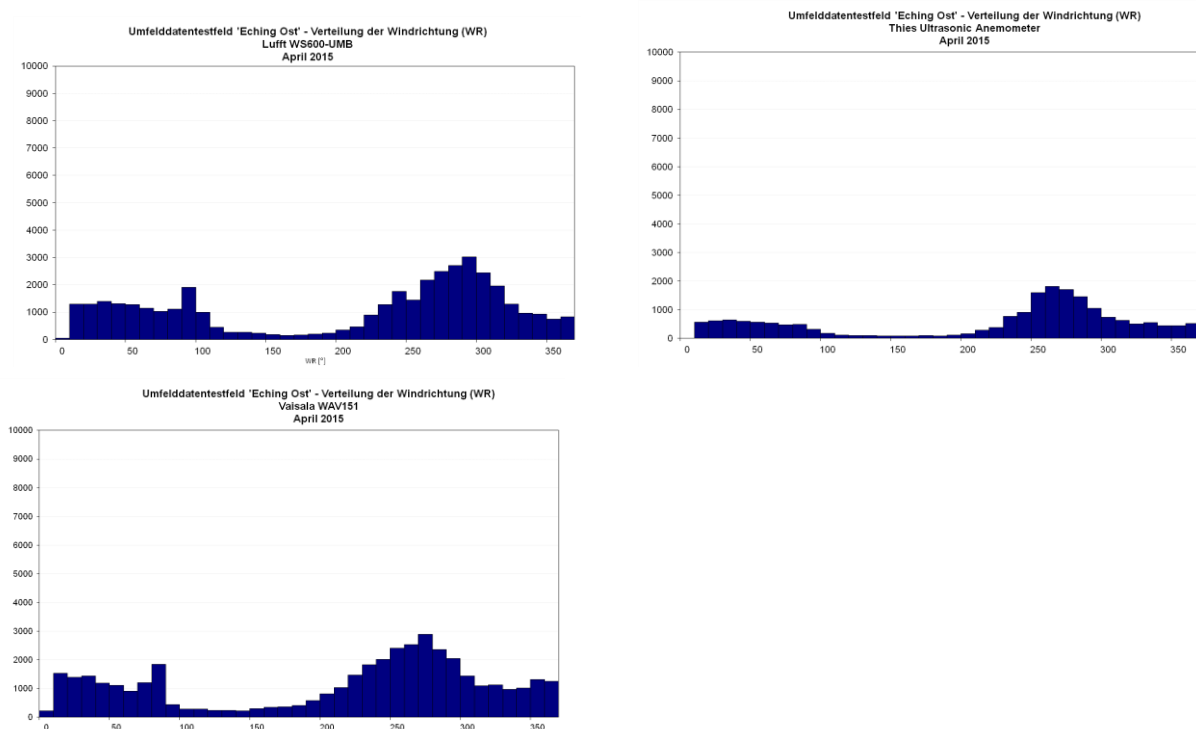


Abbildung 69: WR: Häufigkeitsverteilungen der Sensoren im Testfeld (April 2015)

4.11 Windgeschwindigkeit (Mittel)

4.11.1 Definition

Die Windgeschwindigkeit entspricht dem Weg, den Luft pro Zeiteinheit zurücklegt. Gemäß TLS (BAST, 2012) entspricht sie der Geschwindigkeit des Windes in horizontaler Ebene (Komponente) in Meter pro Sekunde. Die Windgeschwindigkeit (Mittel) entspricht dem vektoriellen Mittelwert über ein gleitendes Zeitintervall von 10 Minuten.

4.11.2 Beurteilung / Ergebnisdarstellung

Die in nachfolgender Tabelle genannten Sensoren ermitteln die mittlere Windgeschwindigkeit im Umfelddatentestfeld „Eching Ost“.

Sensor
Lufft WS600-UMB
Thies Ultrasonic Anemometer
Vaisala WAA151

Tabelle 68: Sensorübersicht „Windgeschwindigkeit (Mittel)“

Im Allgemeinen weisen die Ganglinien der Sensoren eine hohe Übereinstimmung in den Messwerten auf. Exemplarisch ist nachfolgend der Ganglinienverlauf des 19.08.2015 dargestellt.

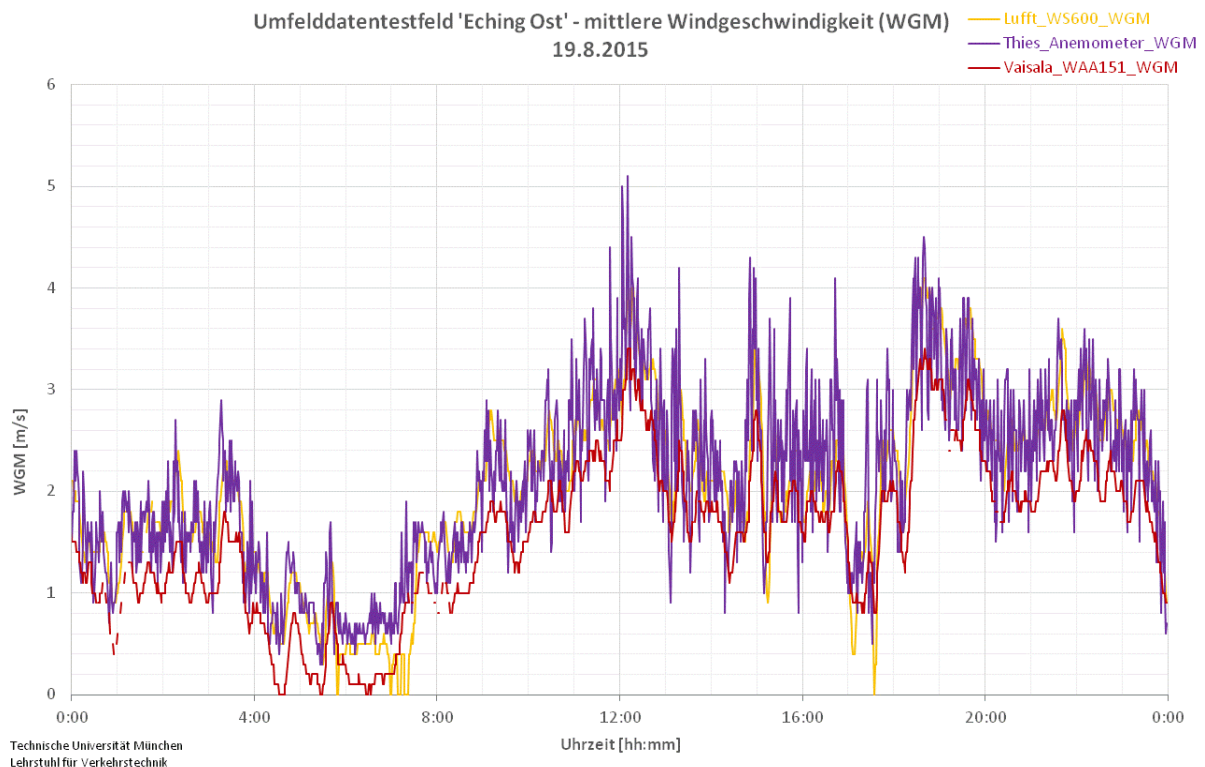


Abbildung 70: WGM: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 19.08.2015

Im Anhang A 11 sind für die gesamte 11. Testphase die Korrelationen der Sensormesswerte pro Monat dargestellt. Beispielhaft zeigen die Diagramme in folgender Abbildung die korrelierenden Messwertepaare der Sensoren

- Vaisala WAA151 und Lufft WS600-UMB ($y = 1,2335x$; $R^2 = 0,9411$)
- Thies Ultrasonic Anemometer und Lufft WS600-UMB ($y = 0,8537x$; $R^2 = 0,8389$)
- Vaisala WAA151 und Thies Ultrasonic Anemometer ($y = 0,6888x$; $R^2 = 0,8572$)

aus dem Monat Februar 2015.

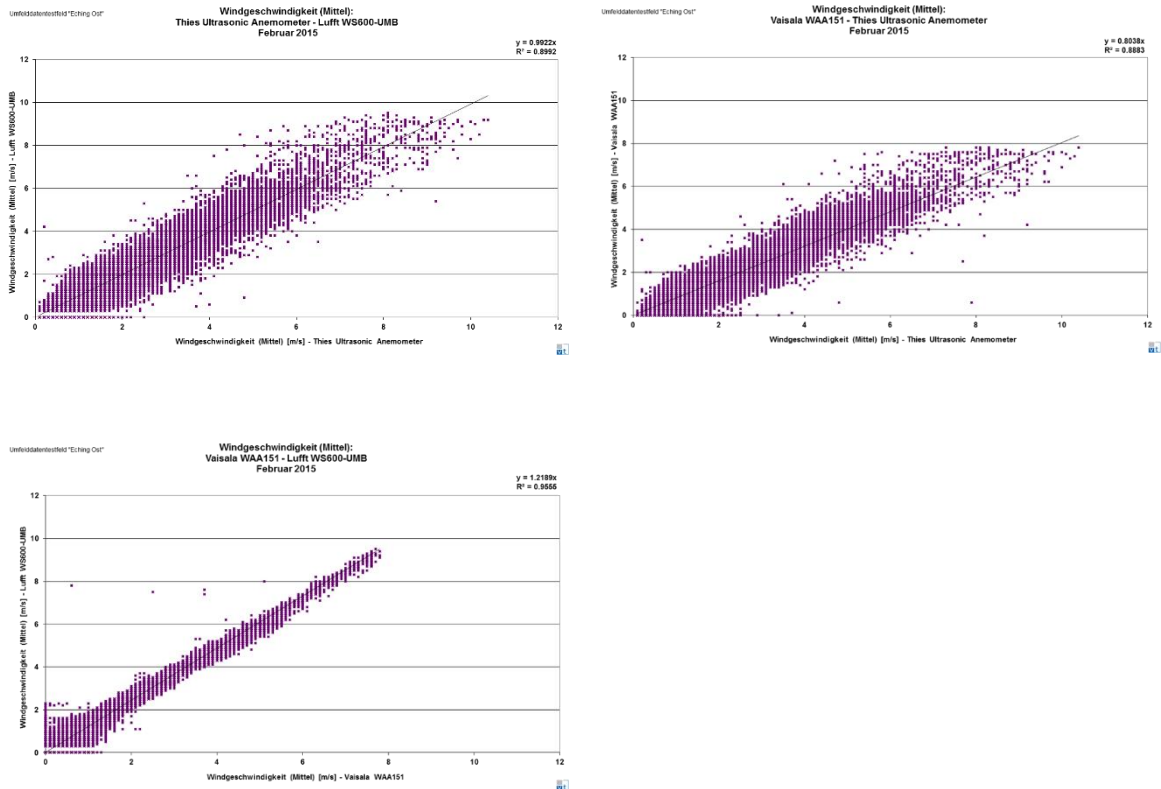


Abbildung 71: exemplarische Korrelation der Messwerte im Februar 2015

4.12 Windgeschwindigkeit (Spitze)

4.12.1 Definition

Unter Windgeschwindigkeit (Spitze) wird die maximale Windgeschwindigkeit (in horizontaler Ebene in [m/s]) der letzten 10 Minuten verstanden (BASt, 2012).

4.12.2 Beurteilung / Ergebnisdarstellung

Zur Ermittlung der Windgeschwindigkeit (Spitze) stehen im Testfeld die in Tabelle 69 aufgeführten Sensoren zur Verfügung.

Sensor
Lufft WS600-UMB
Thies Ultrasonic Anemometer
Vaisala WAA151

Tabelle 69: Sensorübersicht „Windgeschwindigkeit (Spitze)“

Diese Messgröße wird in Ganglinienvergleichen und Korrelationsberechnungen untersucht. In den Ganglinienvergleichen wird ersichtlich, dass die Sensoren in den Messwertverläufen gut übereinstimmen. Die Messwerte für die Windgeschwindigkeit in der Spitze sind für den 31.03.2015 exemplarisch dargestellt.

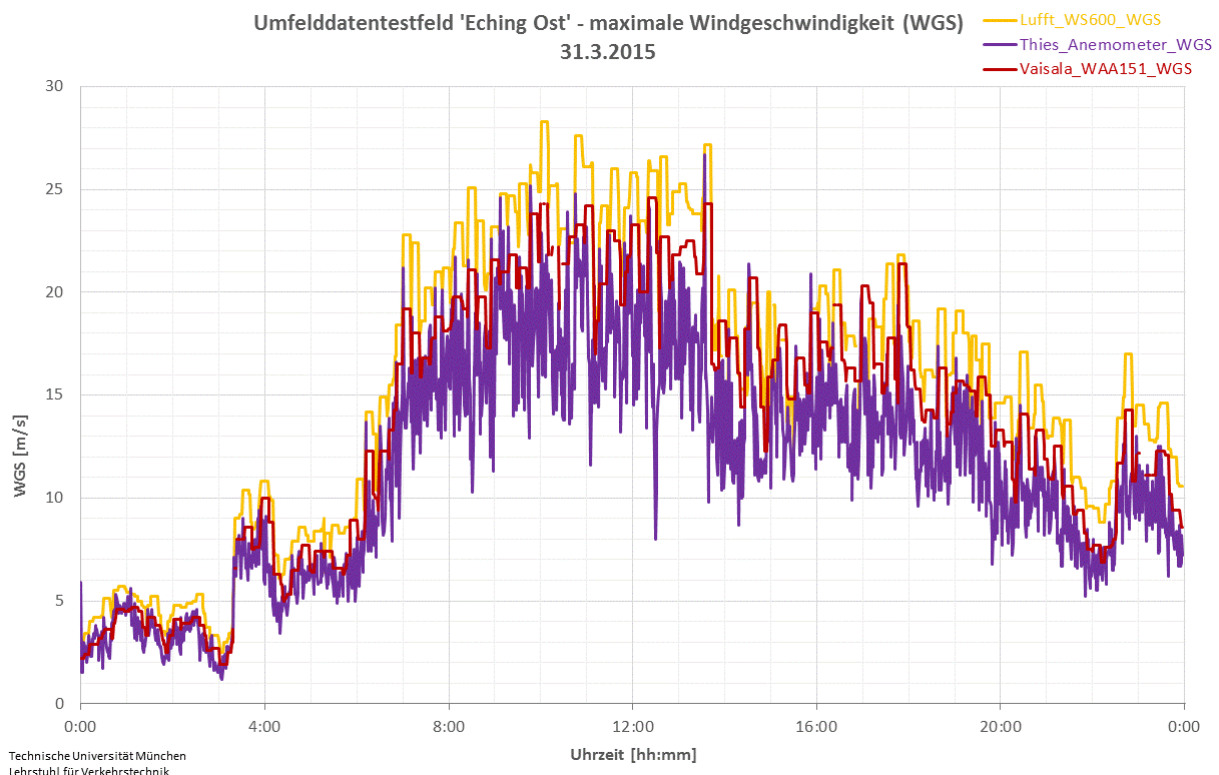


Abbildung 72: WGS: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 31.03.2015

4.13 Fahrbahnoberflächentemperatur

4.13.1 Definition

Die Fahrbahnoberflächentemperatur ist die Temperatur der Oberfläche der Fahrbahn in Grad Celsius (BASt, 2012).

4.13.2 Beurteilung / Ergebnisdarstellung

In der 11. Testphase werden die nachfolgend genannten Sensoren zur Ermittlung der Fahrbahnoberflächentemperatur verwendet.

Sensor
Boschung ITSENS (in der Fahrstreifenmitte)
Lufft IRS31 (in der Fahrstreifenmitte)
Lufft NIRS31 (berührungsloser Sensor)
Vaisala DST11 (berührungsloser Sensor)
Vaisala DRS511 (in der Fahrstreifenmitte)
Vaisala DRS511 (in der Rollspur)

Tabelle 70: Sensorübersicht „Fahrbahnoberflächentemperatur“

Die Untersuchung der Ganglinien bzgl. der Fahrbahnoberflächentemperatur zeigt in dieser Testphase, dass an einigen Tagen die Messwerte der berührungslosen Sensoren sowie der Bodensonden sehr ähnliches Verhalten aufzeigen, jedoch an manchen Tagen auch starke Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Sensortypen bestehen. In niedrigeren Temperaturbereichen, bis ca. 12°C liegen die ermittelten Fahrbahntemperaturen im selben Bereich. Steigt die Temperatur, wird der Unterschied größer. Die Bodensonden ermitteln dann häufig eine höhere Temperatur als die berührungslosen Sensoren. Nachfolgende Abbildung zeigt einen beispielhaften Verlauf der Fahrbahnoberflächentemperatur am 06.07.2015, in dem gut zu sehen ist, dass jeweils die berührungslosen Sensoren und auch die Bodensonden ähnliche Werte messen.

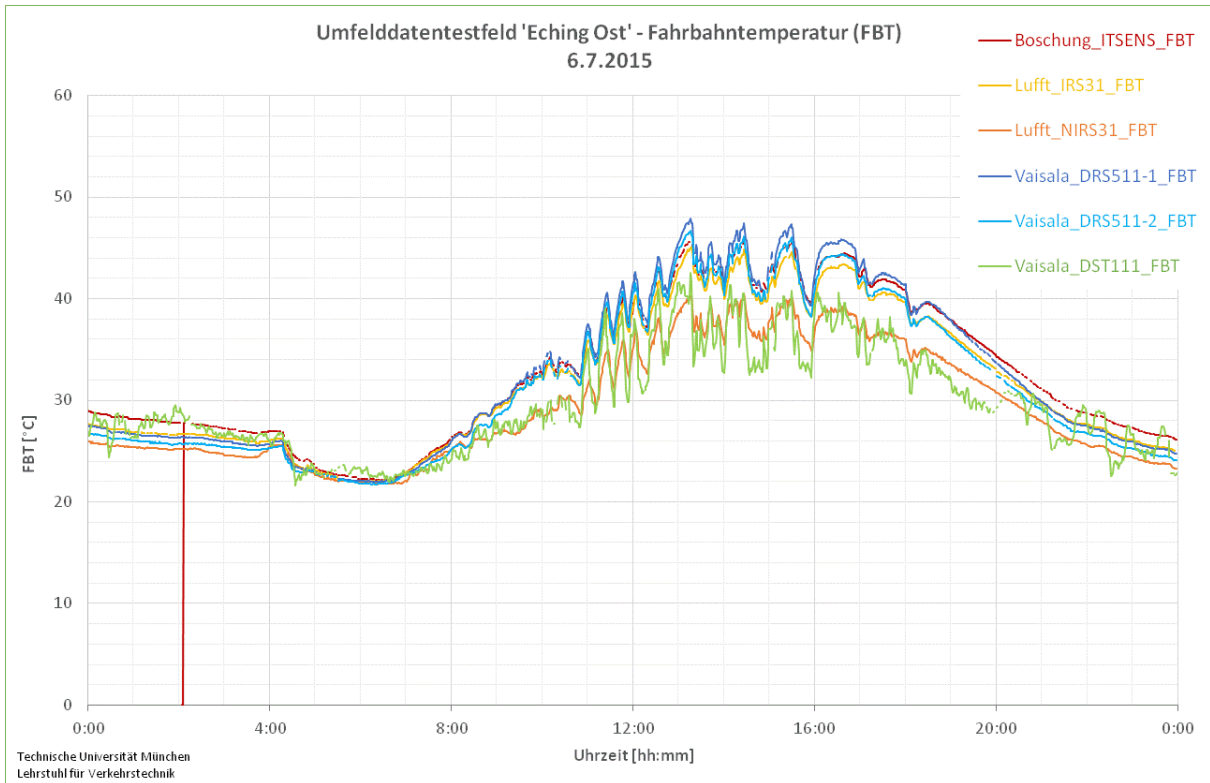


Abbildung 73: FBT: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 06.07.2015

Abbildung 74 zeigt den Tagesverlauf der Fahrbahnoberflächentemperatur vom 17.08.2015. An diesem Tag sind die Fahrbahntemperaturverläufe nah aneinander. Ab ca. 8:00 Uhr regnete es an diesem Tag.

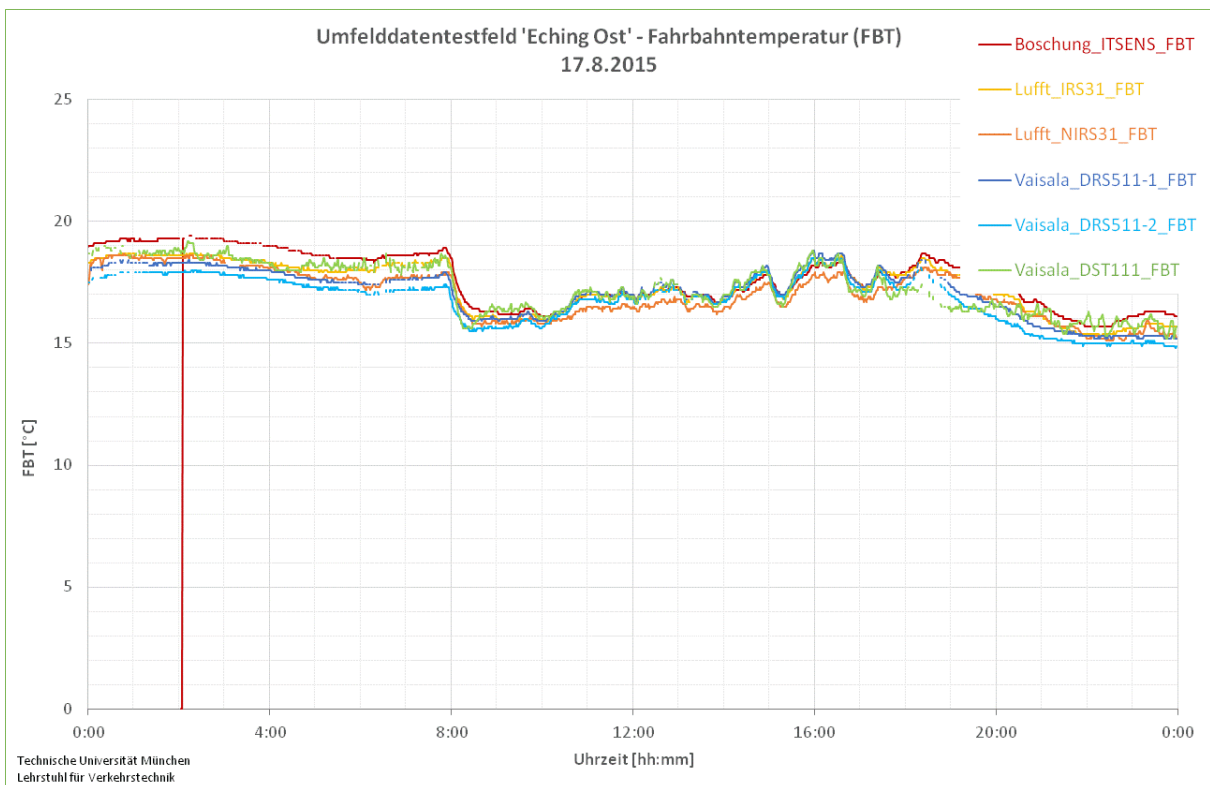


Abbildung 74: FBT: exemplarischer Ganglinienverlauf der Sensormesswerte im Testfeld am 17.08.2015

Mögliche Abweichungen in den Messwerten scheinen i. W. auf die unterschiedlichen Zeitpunkte der Sonnenbestrahlung aufgrund Beschattung der Fahrbahnsensoren und der Messflächen der berührungslosen Sensoren zurückzuführen (vgl. Ausführungen in DINKEL et al, 2007).

Bei der Betrachtung der monatlichen Zusammenhänge (Korrelationen) zwischen den Messwerten ist durchgehend ein hoher Zusammenhang zwischen allen Messwerten erkennbar. Alle Diagramme dazu sind im Anhang A10 dargestellt. Nachfolgende Abbildungen zeigen exemplarische Korrelationen in der 11. Testphase.

Umfelddatentestfeld "Eching Ost"

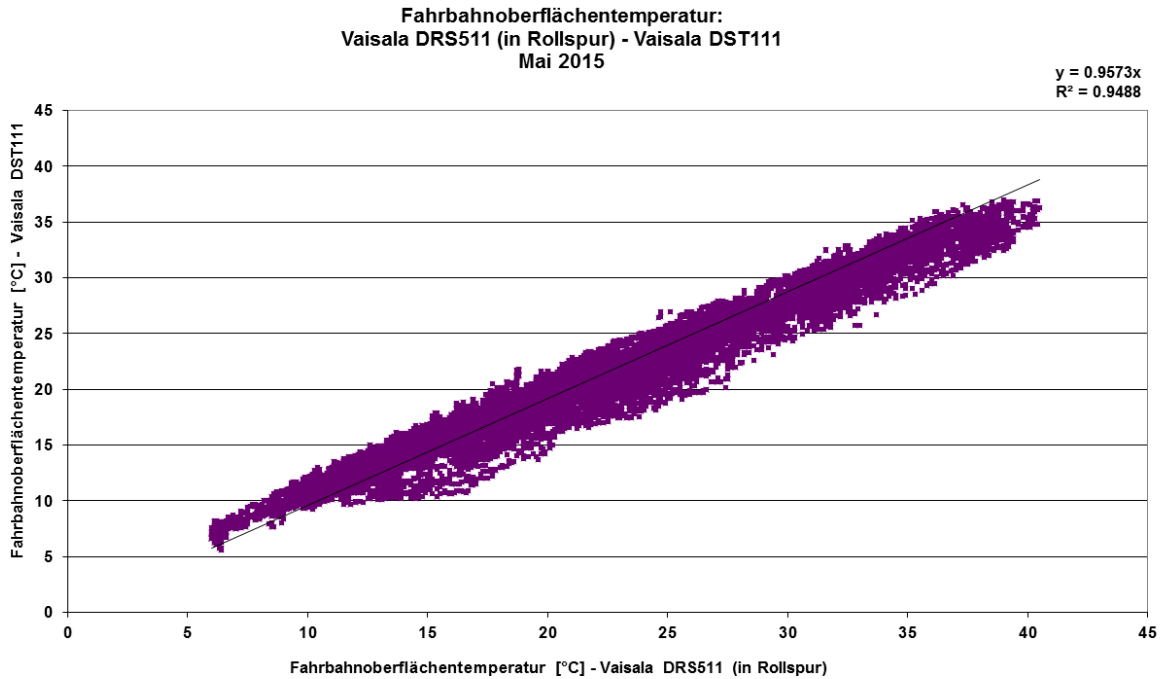


Abbildung 75: FBT: exemplarische Korrelation der Messwerte im Mai 2015 (Bodensonde / Berührungsloser Sensor)

Umfelddatentestfeld "Eching Ost"

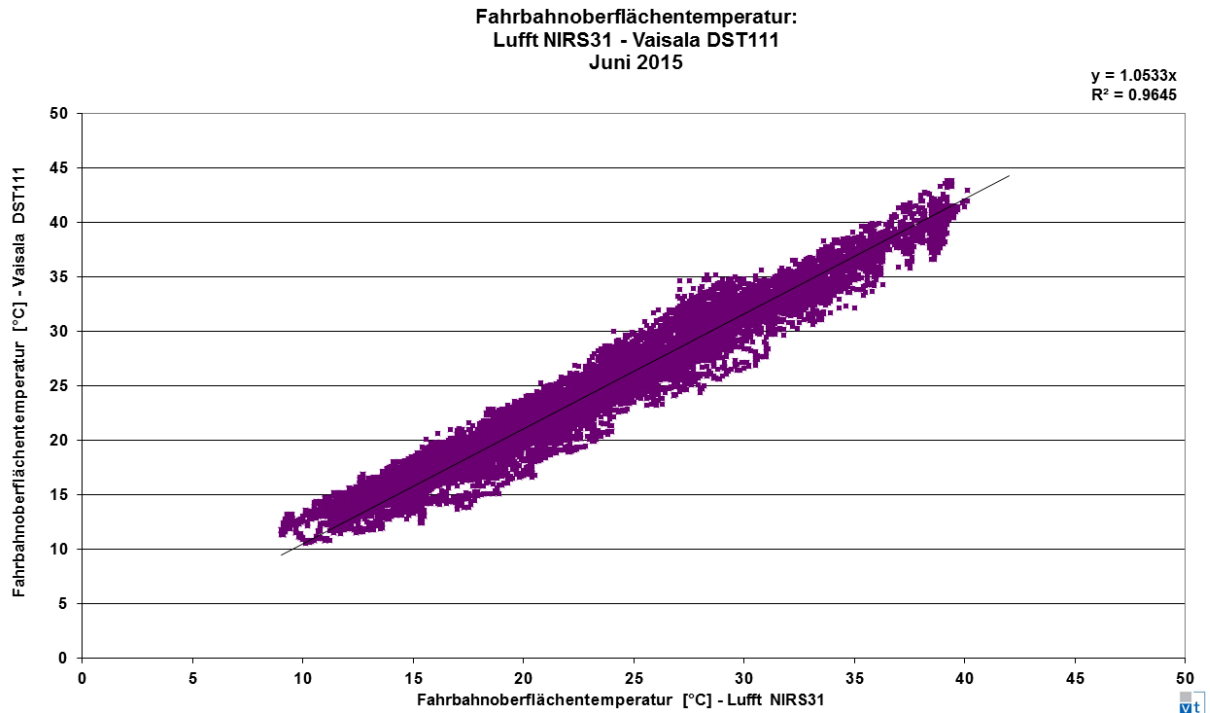


Abbildung 76: FBT: exemplarische Korrelation der Messwerte im Juni 2015 (berührungslose Sensoren)

Umfelddatentestfeld "Eching Ost"

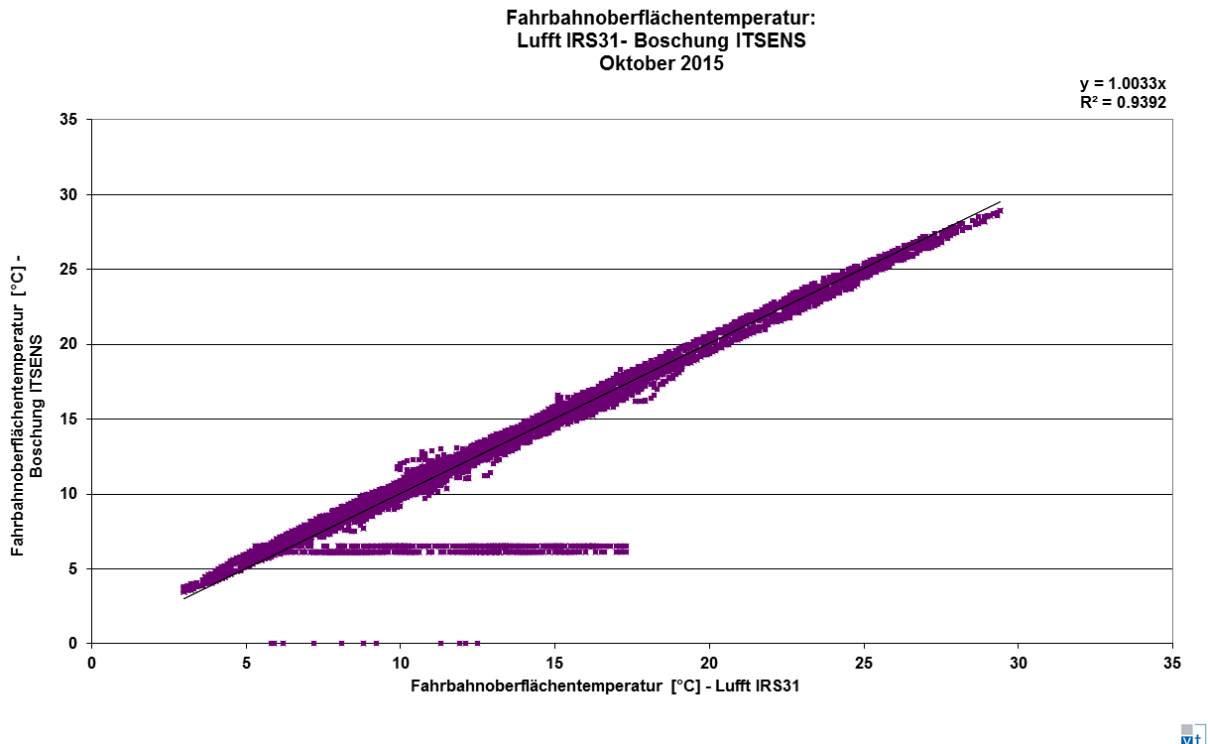


Abbildung 77: FBT: exemplarische Korrelation der Messwerte im Oktober 2015 (Bodensonden)

Detailliertere Untersuchungen zur Umfeldgröße Fahrbahntemperatur werden im Rahmen des Prüffeldes für den Winterdienst bei der BASt durchgeführt und bewertet.

4.14 Gefriertemperatur

4.14.1 Definition

Die Gefriertemperatur ist diejenige Temperatur in Grad Celsius, bei der die an der Oberfläche der Sonde vorhandene wässrige Taustoff-Lösung gefrieren könnte – Übergang in den festen Aggregatzustand (BASt, 2012). Durch den Einsatz von Taustoffen kann die Gefriertemperatur abgesenkt und somit Glättebildung bis zu einer bestimmten Temperatur verhindert werden (Aufgabe des Winterdienstes). Anhand der Differenz zwischen Fahrbahnoberflächentemperatur und Gefriertemperatur kann die Wirksamkeit einer Winterdienstmaßnahme eingeschätzt werden. Die gleiche Betrachtung kann für die Einschätzung einer Glättegefahr für die Warnung der Kraftfahrer über Streckenbeeinflussungsanlagen erfolgen.

Die Gefriertemperatur ist, obwohl sie an keiner Stelle in die automatische Schaltung von SBA eingeht, für die Verkehrsbeeinflussung somit eine wichtige Größe. Sie ist eine maßgebende Einflussgröße bei der Schaltung von Glättewarnungen (Handsaltungen).

4.14.2 Beurteilung / Ergebnisdarstellung

Die im Testfeld vorhandenen Sensoren zur Ermittlung der Gefriertemperatur sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Sensor
Boschung ITSSENS
Lufft IRS31 (in der Fahrstreifenmitte)
Lufft NIRS31 (berührungsloser Sensor) ⁹
Vaisala DRS511 (in der Fahrstreifenmitte)
Vaisala DRS511 (in der Rollspur)

Tabelle 71: Sensorübersicht „Gefriertemperatur“

Referenzmessungen zur Überprüfung der ermittelten Gefriertemperaturen konnten nicht durchgeführt werden. Die Sensoren können bei der BASt im Labor bzgl. dieser Messgröße genauer untersucht werden.

Die Messwerte der ermittelten Gefriertemperaturen sind exemplarisch in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

⁹ Laut Herstellerangaben kann die Gefriertemperatur nur bestimmt werden, wenn sich bereits Eisanteile gebildet haben. Derzeit beschränkt sich die Gefriertemperaturbestimmung auf das Taumittel Natriumchlorid (NaCl). (Bedienungsanleitung Lufft NIRS31, Druckversion V2 (03/2011))

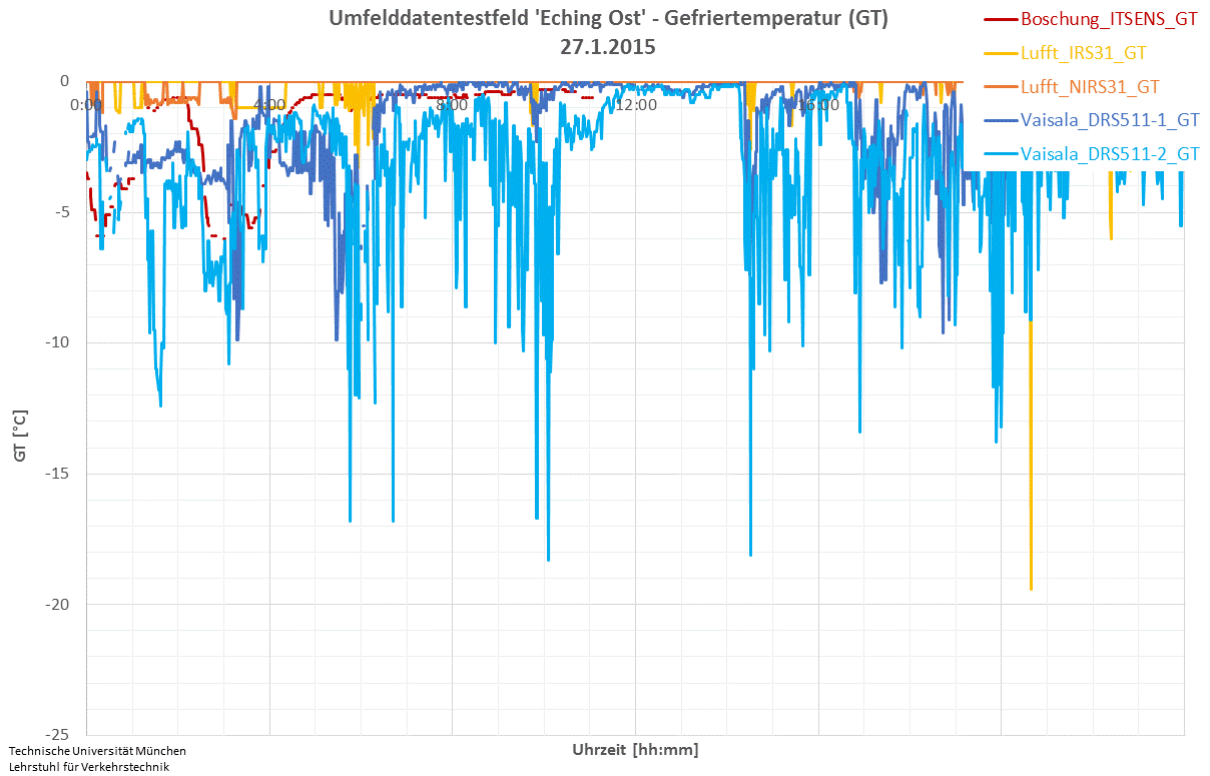


Abbildung 78: GT: exemplarische Darstellung der Sensormesswerte im Testfeld am 27.01.2015

Damit eine zuverlässige Messung durchgeführt werden kann wird ein relativ hoher Wasserfilm benötigt. In der Praxis wird jedoch auch bei nur feuchter Fahrbahn gemessen, wodurch es bei den durchgeführten Punktmessungen zu teilweise stark differierenden Messwerten kommen kann.

4.15 Zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse

Tabelle 72 enthält die Zusammenfassung der Bewertungsergebnisse. Dabei wurden die Sensoren nach dem in Abschnitt 3.4 definierten Bewertungsschema als

- „geeignet (+)“,
- „mit Einschränkungen geeignet (o)“ und
- „nicht geeignet (-)“

für den Einsatz in SBA beurteilt. Entsprechend dem erläuterten Bewertungsschema, ergibt sich je Sensortyp eine Gesamtbeurteilung, basierend auf den Einzelbeurteilungen. Die entsprechend erreichte Prozentzahl ist ebenfalls in der Tabelle 72 dargestellt. Erfolgte keine Bewertung der Messgröße wird dies durch „/“ dargestellt. Wird die jeweilige Messgröße von den Sensoren nicht erfasst, bleibt die entsprechende Zelle leer.

Für ein umfassendes Bild des Sensorverhaltens mit Erläuterungen der Bewertungen wird auf die ausführlicher dargestellten Sensorbewertungen in den vorausgegangenen Abschnitten dieses Kapitels verwiesen. Die Beurteilungen basieren i. W. auf den, während der 12-monatigen Testphase (November 2014 bis Oktober 2015), im Testfeld ermittelten Messwerten.

Wegen technischen Problemen an den Testfeld-PCs oder zusätzlichen Tests der Hersteller konnten bei einigen Sensoren nicht über die gesamte 12-monatige Phase Daten gespeichert werden. Diese Gegebenheit wurde bei der Beurteilung der Sensoren nicht negativ vermerkt. Eine detaillierte Auflistung zu den Ausfallzeiträumen findet sich im jeweiligen Kapitel zur Beurteilung der Sensoren und im Anhang A1.

Zu beachten ist, dass bei der Beurteilung der Sensoren z.T. unterschiedliche Firmware-Versionen zugrunde liegen. Eine Übersicht der Firmware-Versionen während der 11. Testphase ist dem Anhang A 1 zu entnehmen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Sensoren Ott Parsivel, Ott Parsivel² und Thies Laser Niederschlagsmonitor bei der Messgröße „Sichtweite“ mit * gekennzeichnet. Diese Sensoren können die Sichtweite nur bei Niederschlagsereignissen bestimmen. Der Sensor Spies VMS-16/107A ist neben der Sichtweitendetektion auch in der Lage Verkehrskenngrößen wie Verkehrsstärke und Geschwindigkeit zu detektieren.

Sensor		Messgröße				
		SW	NI	NA	WFD	FBZ
Boschung	ITSENS				/	30 %
	PWS	83 %	74 %	87 %		
Lambrecht	rain[e]		98 %			
Lufft	IRS31				/	66 %
	NIRS31				/	83 %
	VS20	74 %				
	WS600-UMB		74 %	89 %		
Ott	Parsivel ²		91 %	92 %		
	Parsivel					
Sick	VISIC620_1	100 %				
	VISIC620_2	92 %				
Spies	VMS-16/107A	87 %				
Thies	Laser Niederschlagsmonitor		96 %	97 %		
Vaisala	DRS511 (Fahrbahnmitte)				/	92 %
	DRS511 (Rollspur)				/	92 %
	DSC111				/	68 %
	DSC111_2	75 %			/	68 %
	PWD12	80 %	81 %	93 %		
	WXT520					

* SW bei NI

** NI nur bei Regen bestimmbar (nicht bei Schnee)

Tabelle 72: Zusammenfassung der Beurteilung der Primärgrößen für SBA (11. Testphase: Nov. 2014 – Okt. 2015)

Legende		
geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 85 %	+
mit Einschränkungen geeignet für den Einsatz in SBA	≥ 70 % und < 85 %	o
nicht geeignet für den Einsatz in SBA	< 70 %	-
keine Bewertung	-	/

Tabelle 73: Legende zur Beurteilung für die Sensoren

Da sich in den letzten Testphasen (GROSANIC, BUSCH, 2013; GROSANIC, BUSCH, 2012) gezeigt hat, dass die Sekundärgrößen (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, etc.) für SBA von den Sensoren ähnlich zu den letzten Testphasen verhalten, entfällt seit der 5. Testphase eine explizite Beurteilung dieser Messgrößen. Diese Umfeldgrößen, die für den Winterdienst relevant sind, werden im Prüffeld und im Labor der BAST überprüft und beurteilt. Die Sensoren wurden über die gesamte Testphase monatlich ausgewertet und auf Plausibilität geprüft. In nachfolgender Tabelle ist dargestellt, welche dieser Messgrößen die jeweiligen Sensoren ermitteln können.

Sensor		weitere Messgrößen								
		FBT	GT	LT	RLF	TPT	TT1	WGM	WGS	WR
Boschung	ITSENS	*	*				*			
Luft	IRS31	*	*							
	NIRS31	*	*							
	WS600-UMB			*	*	*		*	*	*
Thies	Ultrasonic Anemometer							*	*	*
	Hygro Thermogeber			*	*					
Vaisala	DRS511	*	*				*			
	DST111	*		*	*	*				
	HMP155 S/N H4540001			*	*	*				
	WAA151							*	*	
	WAV151									*
	WXT520			*	*			*	*	*

*Messgröße kann vom Sensor ermittelt werden

Tabelle 74: Zusammenfassung der erfassten Sekundärgrößen für SBA (11. Testphase: Nov. 2014 – Okt. 2015)

5 Zusammenstellung der Beurteilung der Sensoren in allen Testphasen

Abbildung 79 zeigt die Ergebnisse der Sensorbeurteilung von der ersten Beurteilungsphase (2. Testphase: Nov. 2005 bis Okt. 2006) bis zur jetzigen Beurteilungsphase (11. Testphase: Nov. 2014 bis Okt. 2015), die nach einem ähnlichen Schema abgelaufen sind. Es werden für alle bisher im Testfeld vertretenen Sensoren die Beurteilungen dargestellt. In den Testphasen, in deren Zeile alle Felder grau hinterlegt sind, wurde der Sensor nicht im Testfeld betrieben. Für die Umfeldgrößen, die vom Sensor erfasst werden, ist für jede Testphase dargestellt, ob diese für den Einsatz in SBA geeignet (+), mit Einschränkungen geeignet (o) oder nicht geeignet (-) sind. Mit „/“ gekennzeichnete blaue Felder, zeigen, dass die Umfeldgröße in der Testphase vom Sensor erfasst wurde, aber keine Beurteilung vorliegt. Gründe hierfür können sein, dass der Sensor aufgrund eines zu geringen Stichprobenumfangs nicht beurteilt wurde, oder dass sich der Sensor in der Vorentwicklung befand und noch keine Beurteilung stattfand.

	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Boschung PWS	2					
	3					
	4					
	5					
	6	-	o	o		
	7	/	/	/		
	8	/	/	/		
	9	/	/	/		
	10	93%	63%	56%		
	11	83%	74%	87%		
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Boschung ITSENS	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10				/	64%
	11				/	30%
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Goodrich Ice Hawk	2					-
	3					-
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					

	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
GWU Biral VPF700	2	-	-	-		
	3	-	-	-		
	4	-	-	-		
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Jenoptik VS20	2	+				
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Jenoptik VS500	2	+				
	3	+				
	4	+				
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Lambrecht rain[e]	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11			98%		

	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Lufft IRS21	2				/	o
	3				o	+
	4				/	+
	5				/	o
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Lufft IRS31	2					
	3					
	4					
	5				/	/
	6				/	+
	7				/	88%
	8				/	92%
	9				/	87%
	10				/	84%
	11				/	66%
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Lufft NIRS31	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8				/	84%
	9				/	96%
	10				/	98%
	11				/	83%
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Lufft R2S	2		o	+		
	3		+	+		
	4		+	+		
	5		+	+		
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					

	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Lufft VS20	2					
	3					
	4	+				
	5	+				
	6	+				
	7	88%				
	8	37%				
	9	70%				
	10	80%				
	11	74%				
	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Lufft WS600-UMB	2					
	3					
	4					
	5		/	/		
	6		+	o		
	7		76%	91%		
	8		71%	85%		
	9		78%	76%		
	10		81%	86%		
	11		74%	89%		
	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Ott Parsivel	2	+	+	o		
	3		+	+		
	4		+	+		
	5		/	/		
	6		+	+		
	7		96%	96%		
	8		85%	98%		
	9		/	/		
	10		/	/		
	11		/	/		
	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Ott Parsivel ²	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8		89%	91%		
	9		83%	88%		
	10		/	100%		
	11		91%	92%		

	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Sick VISIC 610	2	+				
	3	+				
	4	+				
	5	/				
	6	+				
	7	99%				
	8	97%				
	9					
	10					
	11					
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Sick VISIC 620	2					
	3	+				
	4	+				
	5	+				
	6	+				
	7	96%				
	8	94%				
	9	93%				
	10	93%				
	11	100%				
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Spies VMS-16/107A	2					
	3					
	4					
	5	+				
	6	+				
	7	91%				
	8	86%				
	9	94%				
	10	85%				
	11	87%				
		Test-phase	SW	NI	NS	WFD
Thies Laser Niederschlagsmonitor	2		+	+		
	3		+	+		
	4		+	+		
	5		+	+		
	6		+	+		
	7		99%	100%		
	8		95%	97%		
	9		99%	95%		
	10		97%	100%		
	11		96%	97%		

	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Vaisala DRS511	2				/	+
	3				/	+
	4				/	+
	5				-	+
	6				/	+
	7				/	100%
	8				/	92%
	9				/	89%
	10				/	94%
	11				/	92%
	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Vaisala DSC111	2				/	+
	3				/	+
	4				/	+
	5				-	+
	6				/	+
	7				/	97%
	8				/	92%
	9				/	99%
	10				/	91%
	11				/	68%
	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Vaisala PWD12	2	+	o	+		
	3	+	+	+		
	4	+	+	+		
	5	o	o	+		
	6	+	+	+		
	7	94%	78%	95%		
	8	87%	73%	95%		
	9	92%	71%	90%		
	10	80%	74%	100%		
	11	80%	81%	93%		
	Test-phase	SW	NI	NS	WFD	FBZ
Vaisala WXT520	2		+			
	3		+			
	4		/			
	5		+			
	6		+			
	7		88%			
	8		91%			
	9		/			
	10		/			
	11		/			

Abbildung 79: Beurteilung der Sensoren in den letzten Testphasen (November 2005 bis Oktober 2015)

Es wird empfohlen die jeweiligen Abschlussberichte zu lesen, um ausführlichere Beurteilungen und Begründungen für die Bewertungen nachvollziehen zu können.

Alle Abschlussberichte können unter

<http://www.vt.bgu.tum.de/forschung/projekte/projekte/abgeschlossene-projekte/umfelddaten-abgeschlossen-2016/abschlussbericht/>,

bzw.

<https://zvm.cloud.bayern.de/public.php?service=files&t=4dbd73b3bcee12f14e51756827562840>

(Login: extern; Passwort: d_1v5VAb) abgerufen werden.

Des Weiteren ist zu beachten ist, dass sich z.T. innerhalb der jeweiligen Testphasen die Firmware-Versionen geändert haben und z.T. die Sensoren (Hardware) ausgetauscht wurden. Ab der 6. Testphase (Nov. 2009 bis Okt. 2010) findet sich eine Auflistung der Firmware-Versionen im Anhang zum Abschlussbericht. Seit der 7. Testphase (Nov. 2010 bis Okt. 2011) wurde die Beurteilung bzgl. der Primärgrößen der Sensoren etwas detaillierter, indem die erreichten Prozentanteile der Gesamtbeurteilung angegeben sind (GROSANIC, BUSCH, 2012). Diese sind in obiger Abbildung dargestellt.

6 Fazit und Ausblick

Da in der Praxis der Verkehrsbeeinflussung die Messwerte der Umfoldsensoren direkt zur Generierung von Schaltungen in SBA verwendet werden, ist eine hohe Qualität der Umfelddaten besonders wichtig. Eine für Betreiber und Verkehrsteilnehmer verlässliche Schaltung kann nur auf Basis von aktuellen Messwerten mit hoher Güte gebildet werden, da auf Umfelddaten basierende Schaltungen zu Warnzwecken angezeigt werden und nachvollziehbare Schaltbilder besser befolgt werden. Aus für den Verkehrsteilnehmer plausiblen Schaltungen resultiert eine Erhöhung der Verkehrssicherheit. Wie die Ergebnisse der vorangegangenen Testphasen sollen auch die aktuell vorliegenden Erkenntnisse und Ergebnisse eine Entscheidungsgrundlage bei der Projektierung, Ausschreibung und Vergabe von Umfelddatenerfassungen für SBA bilden.

Die Ergebnisse der 11. Testphase zeigen, dass nicht alle überprüften Sensoren die geforderten Qualitätsanforderungen erfüllen. Die Betreiber der Anlagen können die Ergebnisse des Testfeldes und Erkenntnisse über Sensoren im täglichen Betrieb und für Projektierungen nutzen. Die Besonderheit des Testfeldes liegt darin, dass die Sensoren unter realen Bedingungen direkt an der Strecke überprüft werden. Die Tests werden kontinuierlich und über einen längeren Zeitraum durchgeführt, da nur so die eingesetzten Messtechnologien bei unterschiedlichsten Umfeldbedingungen umfassend beurteilt werden können. Wegen technischen Problemen an den Testfeld-PCs, bzw. der Aufzeichnung der Webcam Bilder konnten bei einigen Sensoren nicht über die gesamte 12-monatige Phase Daten gespeichert, bzw. beurteilt werden. Diese Gegebenheit wurde bei der Beurteilung der Sensoren nicht negativ vermerkt. Eine detaillierte Auflistung zu den Ausfallzeiträumen findet sich jeweils vor der Beurteilung der entsprechenden Messgröße sowie im Anhang.

Das Testfeld ermöglicht eine genauere Überprüfung der Messwerte als dies im täglichen Betrieb von SBA möglich wäre. Des Weiteren bietet es die Möglichkeit, weitere Optimierungspotenziale der Sensorik zu identifizieren und eine weitere Nutzung der Messwerte in SBA zu erkennen. Die Hersteller können im Rahmen des Testfeldes direkt auf Messungenauigkeiten der eigenen Sensoren reagieren und durch zeitnahe Kalibrierung sowie durch neue Erkenntnisse die Qualität dieser verbessern.

Die gewonnenen Erkenntnisse kommen neben der Planung auch dem operativen Betrieb von SBA unmittelbar zugute, so dass eine Erhöhung der Wirksamkeit und der Akzeptanz der Anlagen erwartet wird.

Der Abschlussbericht der 11. Testphase ist der letzte Bericht des Projektes, in dem die Sensoren bewertet werden. Da aber weiterhin Bedarf besteht, die Sensoren unter gleichen, realen Bedingungen zu testen um die Qualität der Umfelddatenerfassung für die Nutzung in Streckenbeeinflussungsanlagen zu verbessern, wird angestrebt die Anlage wie eine reguläre Umfelddatenerfassung im Zuge einer Streckenbeeinflussungsanlage weiter zu betreiben. Sie soll jedoch keine direkte Auswirkung auf die Steuerung der SBA haben. Weiterer Forschungsbedarf besteht in den Genauigkeitsanforderungen, die an die Sensoren für die Nutzung in Streckenbeeinflussungsanlagen gestellt werden und an Eignungs- und Abnahmetests für Umfelddatensensoren.

Die Anlage mit den unterschiedlichen Sensoren zur Umfelddatenerfassung werden weiterhin genutzt, um makroskopische sowie mikroskopische Untersuchungen zur Auswirkung des Wetters auf den Verkehrsablauf zu untersuchen. Aus diesen Themen können Schaltstrategien für Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen entwickelt werden oder auch Simulationen erstellt werden, die das Fahrverhalten bei Wetterereignissen beinhalten.

7 Abkürzungsverzeichnis

ABDS	Autobahndirektion Südbayern
AK	Arbeitskreis der FGSV <i>bzw.</i> Autobahnkreuz
AQ	Anzeigequerschnitt
AS	Anschlussstelle
BAB	Bundesautobahn
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
DAG	Datenausgabegerät
DE	Daten-Endgeräte-Kanal
DEG	Datenerfassungsgerät
EAK	Eingabe-/Ausgabekonzentrator
FBT	Fahrbahnoberflächentemperatur
FBZ	Zustand der Fahrbahnoberfläche
FG	Funktionsgruppe
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FS	Fahrstreifen
FTP	File Transfer Protocol („Dateiübertragungsverfahren“)
GIF	Graphics Interchange Format („Grafikaustausch-Format“)
GT	Gefriertemperatur
K	photometrischer Kontrast
L	Leuchtdichte
LT	Lufttemperatur
MARZ	Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen
MOR	Meteorological optical range (meteorologische Sichtweite)
NI	Niederschlagsintensität
NS	Niederschlagsart
RLF	Relative Luftfeuchte
RS	Restsalzgehalt
SBA	Streckenbeeinflussungsanlage

SM	Steuermodul
SSt	Streckenstation
SW	Sichtweite
TLS	Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen
TPT	Taupunkttemperatur
TT1/3	Tiefentemperatur in Tiefe 1/3
TUM-VT	Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München
UZ	Unterzentrale
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
VRZ	Verkehrsrechnerzentrale
WFD	Wasserfilmdicke
WGM	Windgeschwindigkeit (Mittel)
WGS	Windgeschwindigkeit (Spitze)
WMO	World Meteorological Organization („Weltorganisation für Meteorologie“)
WR	Windrichtung
WVZ	Wechselverkehrszeichen

8 Literatur

- BADELT ET AL. Badelt, H.; Breitenstein, J.; Fleisch, J.; Häusler, G.; Scheurl, D.; Wendl, A.: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 146, Bergisch Gladbach, 2006
- BAST MARZ: Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen, Herausgegeben von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 1999
TLS: Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Herausgegeben von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2012
- DINKEL ET AL. Dinkel, A.; Leonhardt, A.; Busch, F.: Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld „Eching Ost“ des Bundes, Abschlussbericht 3. Testphase, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2008
Dinkel, A.; Grošanić, S.; Busch, F.: Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld „Eching Ost“ des Bundes, Abschlussbericht 4. Testphase, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009
- FGSV Hinweise und Empfehlungen für die Beschaffung von Streustoffen, Kommentar zur TL Streu, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2004
Sensor-Anschlussmöglichkeiten im Testfeld des AK 3.2.1 Umfelddatenerfassung in VBA, FGSV, AK 3.2.1, 2011
Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen, W1, Köln, 2010
- FISCHER W. Gerlach, J. Brandmüller; Fischer Taschenbuch der Physik, Frankfurt, 1971
- GOODISON ET AL Goodison, B.E.; Louie, P.Y.T.; Yang, D.: WMO solid precipitation measurement intercomparison – Final report, Instruments and observing methods, World Meteorological Organization, R E P O R T No. 67, 1998
- GROSANIC, BUSCH Grošanić, S.; Busch, F.: Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld „Eching Ost“ des Bundes, Abschlussbericht 5. Testphase, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2010
Grošanić, S.; Busch, F.: Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld „Eching Ost“ des Bundes, Abschlussbericht 6. Testphase, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011
Grošanić, S.; Busch, F.: Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld „Eching Ost“ des Bundes, Abschlussbericht 7. Testphase, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2012
Grošanić, S.; Busch, F.: Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld „Eching Ost“ des Bundes, Ab-

- schlussbericht 8. Testphase, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013
- GROSANIC, GRÖTSCH Grošanić, S.; Grötsch, J.: Anleitung zur Ermittlung der Wasserfilmdicke auf der Fahrbahn mittels eines Tuchtests im Umfelddatentestfeld des Bundes, 2010
- HAUG ET AL. HAUG, A., Grošanić, S.; Busch, F.: Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld „Eching Ost“ des Bundes, Abschlussbericht 10. Testphase, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2015
- HAUSMANN Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn, Zwischenbericht zum FE 03.0404, 2008
- LANG Lang, J.: Analyse und Simulation des Feuchtekontinuums auf Straßenoberflächen, Technische Berichte über Ingenieurhydrologie, Institut für Wasserbau an der Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt, 1991
- KUCHLING Kuchling, H.: Taschenbuch der Physik, Leipzig, 1994 (14. Auflage)
- MANGOLD ET AL. Mangold, M., Träger, K., Lindenbach, A.: Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Umfelddatenerfassung, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 729, Bonn, 1996
- PETRACZEK Petraczek, O.: Experimentelle Ermittlung der Wasserfilmdicken auf Fahrbahnen unter natürlichen Bedingungen, München, Aus: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 1975
- RASCHER ET AL. Rascher, A.; Grošanić, S.; Busch, F.: Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld „Eching Ost“ des Bundes, Abschlussbericht 9. Testphase, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2014
- SACHS Sachs, L.: Angewandte Statistik, Berlin, 1999
- SCHARSCHING Scharsching, H.: Witterungsbedingungen – Verkehrsverhalten – Verkehrssteuerung, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten / Straßenforschung Heft 363, Wien, 1998
- YANG ET AL Yang, D. et al.: Accuracy of NWS 8” Standard Nonrecording Precipitation Gauge: Results and Application of WMO Inter-comparison, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol. 15, 1996

9 Anhang

Die Inhalte befinden sich in dem Dokument „Ergebnisse der 11. Testphase, Anhang“.

A 1: Sensoren im Testfeld

A 2: Bilder des Testfelds

A 3: Termine der Referenzmessungen im Testfeld

A 4: Situationen mit Sichtweitenreduzierung aufgrund Nebel

A 5: Situationen zur Überprüfung der Niederschlagsintensität

A 6: Situationen zur Auswertung der Niederschlagsart

A 7: Situationen zur Auswertung des Zustands der Fahrbahnoberfläche

A 8: Wasserfilmdicke

A 9: Relative Luftfeuchte

A 10: Fahrbahnoberflächentemperatur

A 11: Windgeschwindigkeit (Mittel)