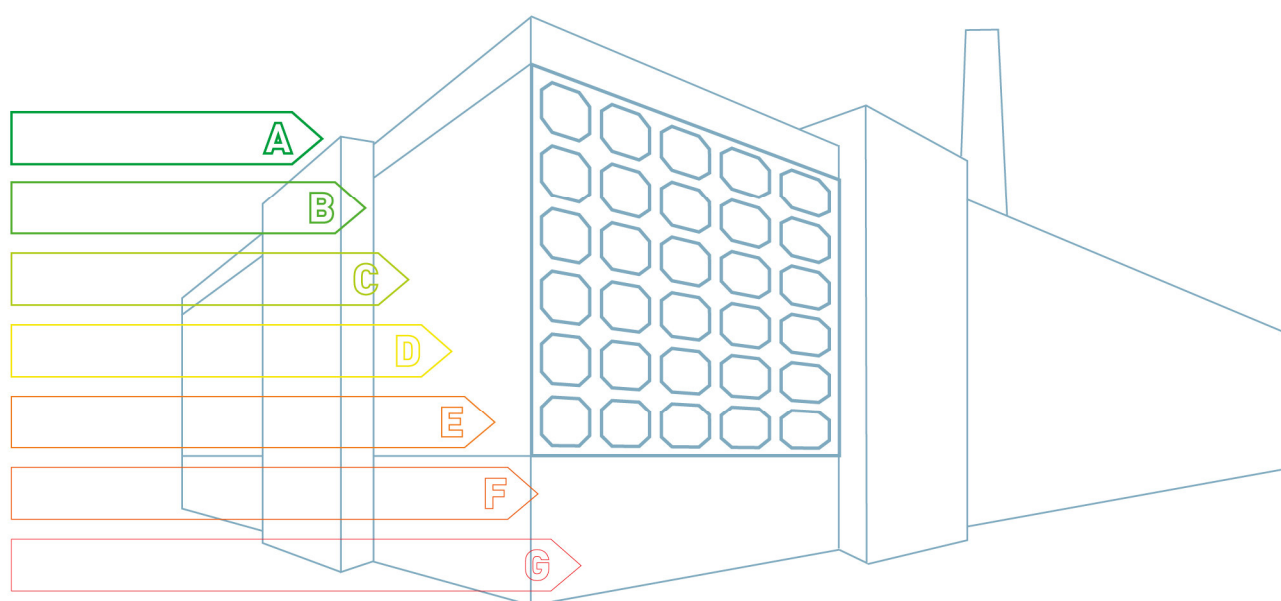




e2LED

Advanced concepts for energy efficient automotive LED lighting



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.


Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	3
2	Einleitung	4
3	Inhaltliche Darstellung	6
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	8
5	Ausblick und Empfehlungen	10
6	Kontaktdaten	10

2 Einleitung

Es sollen alternative Konzepte für einen energieeffizienten, kostengünstigen Kfz-Hauptscheinwerfer mit LED-Technologie entwickelt und evaluiert werden. Es gilt dabei sowohl den Gesamtwirkungsgrad aller elektronischen Komponenten (LED und Leistungselektronik) als auch die Lichtperformance zu optimieren. Einen besonderen Schwerpunkt stellt die Problematik der Be- und Enttauung des Scheinwerfers dar, wofür numerische und messtechnische Methoden entwickelt und validiert werden.

Das geplante Vorhaben adressiert das Themenfeld: Energieeffiziente Fahrzeugkomponenten und -Systeme und hier konkret die energieeffiziente Fahrzeug-Außenbeleuchtung auf Basis der LED als Lichtquelle.

Physikalisch sind bislang einige Prozesse bekannt mit denen Licht erzeugt werden kann. Diese Prozesse unterscheiden sich deutlich hinsichtlich der Effizienz. Der Einsatz optimaler Prozesse zur Lichterzeugung ist somit von strategischer Bedeutung, wenn es darum geht den Energieverbrauch nachhaltig zu reduzieren. Mit der LED als Lichtquelle steht eine Technologie zur Verfügung, die sowohl bezüglich ihrer Effizienz als auch bezüglich ihrer beherrschbaren Komplexität der Implementierung das Potential besitzt, den Energieverbrauch in Scheinwerfern für einen breiten Markt deutlich zu reduzieren. Mit einer LED als Lichtquelle sind mittelfristig Effizienzen von 150 lm/W möglich, was einem Wirkungsgrad von ca. 45% entspricht.

Während aktuell in Fahrzeugscheinwerfern bis zu 90 W pro Scheinwerfer für die Hauptlichtfunktionen benötigt werden, kann mittelfristig diese Leistung mit der LED als Lichtquelle bei gleicher Lichtleistung auf ein Viertel, d.h. auf ca. 20 W reduziert werden. Bei Scheinwerfern mit Basisfunktionalität wird zukünftig auch eine Leistung von ca. 13 W ausreichend sein, wenn hocheffiziente LEDs als Lichtquellen zum Einsatz kommen.

Technologisch bringt der Einsatz der LED als Lichtquelle in der KFZ Beleuchtung allerdings einige Herausforderungen mit sich, die für eine erfolgreiche Implementierung von entscheidender Bedeutung sind. Ziel des Projektes ist es, die notwendigen Technologien und Innovationen vorzubereiten um die LED für einen möglichst breiten Einsatz im Kfz-Sektor nutzbar machen zu können.

Methodik der Lichttechnik:

Neben der Erhöhung der Verkehrssicherheit und der Reduktion des Ressourceneinsatzes bzw. des Energieverbrauchs werden an heutige moderne Scheinwerfersysteme eine Vielzahl an weiteren Anforderungen bzw. Randbedingungen gestellt. Diese sind z.B. das Design (Kalterscheinung und Warmerscheinung), die verwendeten Materialien, teilweise Vorgabe der verwendeten optischen Technologien. Aufgrund der Komplexität des Anforderungskatalogs ist eine systematische Herangehensweise zur optimalen Abdeckung

der Anforderungen erforderlich. Dafür kommen Methoden wie Quality Function Deployment (QFD) oder in weniger komplexen Fällen vereinfachte Nutzwertanalysen zum Einsatz.

Die Berechnung der optischen Flächen erfolgt zum Teil mit modernen kommerziell erhältlichen Softwarepaketen wie z.B. LucidShape, Zemax – erfordert aber aufgrund der immer schneller geforderten Innovationen in zunehmenden Maße auch Eigenentwicklungen.

Um Einflüsse auf das lichttechnische Ergebnis der Simulation möglichst genau studieren zu können, ist eine dreidimensionale Modellierung des gesamten Scheinwerfers mit genauer Definition der Oberflächen notwendig. Für die Modellierung der Lichtquellen werden nahfeld-goniometrische Vermessungen realer LED-Lichtquellen verwendet. Die damit sehr komplexen Simulationen werden mit einer spezialisierten, im 3D-System integrierten, Monte-Carlo Simulationssoftware (Raytracing; Optis Speos) durchgeführt. Die Verifikation der Simulationsergebnisse wird mittels photogoniometrischer Vermessung von Prototypen und Vergleich mit den Simulationsergebnissen durchgeführt. Die Optimierung aller optischen Oberflächen im System erfolgt im Sinne eines Expertensystems.

Numerische Simulation mittels CFD:

Zur Konzeptfindung der im Hinblick auf Kondensationsprozesse optimalen Strömungs- und Temperaturverhältnisse werden mittels der Software-Pakete Spider, Icem CFD und Fluent geeignete Randbedingungen ermittelt. Die Ergebnisse werden experimentell mittels Strömungs- (PIV) und Temperaturmessungen bestimmt, um die Modelle bestmöglich abzugleichen.

Messung von Kondensationsprozessen auf Oberflächen:

Die hochgenaue Messung von Kondensation auf Oberflächen mittels *Confocal Laser Scanning Microscopy* (CLSM) stellt einen Angelpunkt des Projekts dar. Sie dient zur Validierung sowohl der numerischen Modelle als auch einer alternativen, einfach handhabbaren optischen Messmethode. In einer Messkampagne soll die Kondensation auf verschiedenen Polycarbonat (PC)-Oberflächen (Verteilung, Wachstum, Volumen, Kontaktwinkel der Tröpfchen in Abhängigkeit von der Oberfläche) untersucht werden.

Es soll eine Messmethode zur Bestimmung der Kondensatmasse auf einer transparenten PC-Scheibe konzipiert, entwickelt und mit den CLSM-Messungen abgeglichen werden. Diese Methode soll von außen durch die PC-Scheibe verwendbar sein (Durchlicht). Mittels geometrischer Optik wird die Intensität des totalreflektierten Lichts gemessen und so die Grundfläche der Tröpfchen im Messfeld bestimmt. Mittels empirischem Modell soll auf das Gesamtvolumen und die Kondensatmasse geschlossen werden. Die Methode soll robust und im Feldversuch einsetzbar sein.

Numerische Simulation von Kondensationsprozessen auf Oberflächen:

Zur numerischen 3D CFD-Simulation von Be- und Enttaunungsprozessen werden geeignete Kondensationsmodelle benötigt. In einem ersten Schritt werden Filmkondensationsmodelle aus der Literatur auf ihre Anwendbarkeit bei Tröpfchenkondensation durch numerische Simulation und Abgleich mit den CLSM-Messungen überprüft. Dann soll ein numerisches Tröpfchenkondensationsmodell entwickelt und ebenfalls anhand der CLSM-Messungen validiert werden.

Be- und Enttaunung in einem Testaufbau: Messung und Simulation

In einem Testaufbau sollen alle relevanten physikalischen Größen wie Strömungsgeschwindigkeiten im Scheinwerfer (mittels PIV), Temperatur und Kondensatmasse an der Frontscheibe gemessen werden. Diese Daten dienen als Rand- und Anfangsbedingungen für eine Reihe von CFD-Simulationen. Die Simulationsergebnisse werden mit den Messungen verglichen, um die Modelle für die reale Situation einzustellen.

Die Arbeit gliedert sich in nachfolgende Arbeitspakete welche unter der Punkt Inhaltliche Darstellung beschrieben sind. In den einzelnen Arbeitspaketen sind unterschiedliche Tasks definiert worden um die Themengebiete abzugrenzen.

AP Nr.	AP Titel
1	Konzepterstellung (Konstruktion, Lichttechnik, Elektronik)
2	Messtechnische Erfassung von Kondensationsprozessen auf Oberflächen
3	Numerische Modellierung von Kondensationsprozessen auf Oberflächen
4	Be- und Enttaunung in einem Test-Scheinwerfer: Messung und Simulation
5	Bewertung/Evaluierung
6	Projektmanagement

3 Inhaltliche Darstellung

Entwicklung eines Lichtkonzepts zur Steigerung der Energieeffizienz unter Einhaltung der Rahmenbedingungen wie gesetzlichen Bestimmungen und Qualitätsanforderungen.

Es sind Projektions- und Reflexionssysteme sowie verschiedene Kombinationen und Ausführungen zu betrachten.

In der Konstruktion ist das Ziel ein einfaches Ein- bzw. Verstellkonzept zu untersuchen, um mögliche Auswirkungen von Fertigungsabweichungen auf die Lichttechnik frühzeitig zu erkennen. Wichtig hierbei ist ebenso, eine einfache und kostengünstige Montage-reihenfolge der einzelnen Komponenten zu berücksichtigen.

Bei energieeffizienten LED-Scheinwerfern stellt die Betauung der Scheinwerfer-Frontscheibe ein nicht zu unterschätzendes Sicherheitsrisiko dar. Zur Minimierung dieses Risi-

kos bereits während der Entwicklung sollen sowohl numerische also auch experimentelle Methoden zur quantitativen Erfassung der Be- und Enttauungsprozesse im Kfz-Scheinwerfer entwickelt werden. Dabei sollen Experiment und Simulation miteinander stark verzahnt sein, sodass sie in weiterer Folge beim Industriepartner in den Entwicklungsprozess eingegliedert werden können.

Die präzise Kondensatmessung mittels CSM stellt einen zentralen Punkt dar. Sie dient als Standard zur Evaluierung und Validierung sowohl der numerischen Modelle als auch der alternativen optischen Kondensat-Messmethode. Eine Untersuchung numerischer Modelle für Filmkondensation soll Klarheit schaffen, in wie weit diese für die Tröpfchenkondensation an Oberflächen anwendbar bzw. adaptierbar sind. Parallel dazu wird ein numerisches CFD-Modell für Tröpfchenkondensation entwickelt. Dabei müssen die sehr unterschiedlichen Größenskalen von mikroskopisch kleinen Tröpfchen und dem Gesamtsystem beachtet werden.

Die experimentellen und numerischen Methoden sollen anschließend evaluiert und ihre Ergebnisse verglichen werden. In einem scheinwerferähnlichen Testaufbau sollen die Strömungsverhältnisse mittels PIV und das Be- und Enttauungsverhalten gemessen werden und mittels CFD-Simulation berechnet werden.

Mithilfe der Konstruktionsstände bei Zizala Lichtsysteme GmbH werden thermische und strömungstechnische Untersuchungen mittels Simulation durchgeführt, um die Be- und Enttauungsproblematik sowie das thermische Verhalten der Konzepte zu evaluieren. Um die Robustheit der Verstell- und Lagerelemente zu überprüfen, werden Festigkeitsuntersuchungen mittels Simulation durchgeführt. Die Erkenntnisse aus den Simulationen führen zur Adaption der Konzepte und der Konstruktion.

Um sämtliche Komponenten zu optimieren und deren Energieeffizienz zu steigern, muss auch die eingesetzte Treibertechnologie neu überdacht werden. Es gibt viele verschiedene Arten der Ansteuerung, wobei manche aufgrund ihrer Eigenschaften nicht für alle Einsatzgebiete (PKW, LKW) verwendbar sind. Es ist eine Technologieplattform zu erstellen, die in der Lage ist, möglichst viele Rahmenbedingungen abzudecken. Diese Plattform soll einen Wirkungsgrad von mehr als 90 % aufweisen.

Um die Simulationsergebnisse (lichttechnisch, thermisch und strömungstechnisch) zu überprüfen, ist es notwendig, Bewertungsmuster zu erstellen. Diese Bewertungsmuster werden sehr einfach gehalten und nur soweit ausgeprägt sein, um die relevanten Messungen durchzuführen. Hier sind mehrere Schleifen für Korrekturmaßnahmen vorzusehen, um ein optimales lichttechnisches System in Bezug auf die Einstellung und die Toleranzen zu generieren. Dadurch sollen die neu entwickelten bzw. verbesserten Prozessschritte überprüft und bestätigt werden.

Weiter werden auch thermische Untersuchungen durchzuführen sein, um die Simulationsergebnisse zu bestätigen bzw. Abweichungen zu lokalisieren und frühzeitig entgegenzuwirken.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Anforderungen und Kriterien unserer Kunden sind im Arbeitspaket *Konzepterstellung* erfasst und entsprechende Konzepte ausgearbeitet worden. Diese doch sehr unterschiedlichen Konzepte wurden lichttechnisch wie auch konstruktiv aufbereitet und zum Teil in funktionalen Prototypen evaluiert um die grundsätzliche Machbarkeit zu bestätigen.

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen in der Form der Lichtverteilung, des geforderten Lichtstroms und dem Einsatzzweck vom elektrobetriebenen Stadtfahrzeug bis zum Premiumfahrzeug kann Stand heute kein kundenübergreifendes Konzept verwendet werden.

Die größte Einschränkung, in der lichttechnischen Auslegung, ergibt sich aktuell durch den eingeschränkten Bauraum der heute im Wesentlichen durch das ausgefallene Design bestimmt wird.

Der Scheinwerfer und die Frontpartie ist zurzeit die Spielwiese der Designer und somit muss sich die Technik zur Decke strecken, wobei die technischen Möglichkeiten mit den heutigen LEDs aufgrund des Lichtstromes und der Leuchtdichte noch begrenzt sind.

Im Arbeitspaket *Messtechnische Erfassung von Kondensationsprozessen auf Oberflächen* wurden kondensierte Wassertröpfchen auf einer abgekühlten Polycarbonat-Oberfläche mit einem Confocal Scanning Microscopy (CSM) präzise vermessen, um mit diesen Ergebnissen sowohl eine alternative optische Messmethode als auch die numerischen Modelle der Simulationssoftware zu validieren. Die Tröpfchenanlagerung wurde auf vier verschiedenen Polycarbonat-Substraten vermessen, um den Materialeinfluss und die Oberflächenbeschaffenheit der Probestättchen charakterisieren zu können. Die Anzahl der Tropfen nahm während der Kondensationszeit ab, da sich wachsende Tropfen zusammenschließen. Es hat sich zudem gezeigt, dass große Tropfen, die sich aus zwei oder mehreren kleinen Tropfen zusammengeschlossen haben, flacher sind als kleine Tropfen. Interessant war auch zu beobachten, dass die Exzentrizität der horizontalen Tröpfchenhalbachsen relativ unabhängig von der Tröpfchengröße ist.

Der zweite Task des Arbeitspakets *Messtechnische Erfassung von Kondensationsprozessen auf Oberflächen* hatte zum Ziel, eine In Situ-Bestimmung der lokalen Betauung an einem Polycarbonat - Probestättchen zu ermöglichen. Diese Methode soll in der täglichen Praxis ermöglichen, von einer im Feld optisch vermessenen, betauten Scheibe eine Randbedingung für die Kondensatmenge zu ermitteln, sodass in der Simulation anschließend nur noch der Enttauvorgang simuliert werden muss. Zu diesem Zweck

wurde die Totalreflexion einfallender Lichtstrahlen an einem Wassertropfen für eine Auflicht-Kondensat-Meßmethode in der Lichttechnik-Abteilung von Zizala Lichtsysteme GmbH programmiert. Die Auswertung für verschiedene Einflussfaktoren wurde anschließend in MatLab® durchgeführt.

Der Task 1 dieses Arbeitspakets *Numerische Modellierung von Kondensationsprozessen auf Oberflächen* beinhaltet die Evaluierung von Filmkondensationsmodellen. Insgesamt wurden 8 verschiedene Filmkondensationsmodelle begutachtet und in tabellarischer Form bezüglich der Einbindung der Verdampfungswärme, der Berechnung der Sättigungswerte und der Modellierung von Solids dargestellt. Schlussendlich wurde die Entscheidung getroffen, ein eigenes Filmkondensationsmodell als User Defined Function für das Simulationsprogramm ANSYS Fluent zu erstellen.

Im zweiten Task des Arbeitspakets *Numerische Modellierung von Kondensationsprozessen auf Oberflächen* wurde die Modellierung von Tröpfchenkondensation behandelt. Zu Beginn wurde der dafür notwendige Programmcode im Open Source-CFD Tool OpenFOAM programmiert. Im Anschluss daran wurde eine Portierung dieses Programmcodes von OpenFOAM hin zu einer Fluent User Defined Function durchgeführt.

In dem Arbeitspaket *Be- und Enttauung in einem Test-Scheinwerfer: Messung und Simulation* wurde ein Testaufbau eines stark vereinfachten Hauptscheinwerfers aufgebaut, der trotz geometrischer Vereinfachung dennoch die wesentlichen strömungstechnischen Merkmale eines PKW-Hauptscheinwerfers haben sollte. Zur Charakterisierung der Durchströmung des Scheinwerferinnenraums wurde eine Membranpumpe verbaut und die auftretende Strömung mit einem Particle Image Velocimetry-Messsystem vermessen. Danach wurden Betauungsversuche in einer Klimakammer durchgeführt, wobei mehrere Bauteile und der Innenraum mit Feuchte- und Temperatursensoren vermessen wurden. Im Vergleich zwischen Experiment und Simulation ergab sich eine akzeptable Übereinstimmung im Enttauvverhalten.

Im *Bewertung/Evaluierung* Arbeitspakets wurden unterschiedliche Funktionsmuster aufgebaut, die hauptsächlich aus gefrästen Aluminiumteilen (Unikate) bestehen. Diese Funktionsmuster waren zur Überprüfung bzw. zur Bestätigung der simulierten Werte wie z.B. Lichtwerte oder Temperaturen notwendig.

Weiter dienten die gemessenen Werte dazu, die Güte der Simulationsmodelle zu verbessern mit dem Ziel, für zukünftige Projekte die Realität genauer abbilden zu können. Die Ergebnisse dieses Arbeitspakets wurden in iterativen Schritten den Entwicklungsabteilungen wie z.B. der Lichttechnik und der Konstruktion zugeführt, um schrittweise unseren Vorstellungen sowie den Anforderungen unserer Kunden näher zu kommen.

5 Ausblick und Empfehlungen

Durch die Steigerung der Leuchtdichte und des Lichtstromes pro Chip in der nächsten Generation von Chiptechnologie ist eine Reduzierung der Chipanzahl pro optische Fläche möglich. Diese Reduzierung hat wiederum positiven Auswirkungen auf die Qualität (Homogenität) des Lichtbildes und den Energieverbrauch des Scheinwerfers.

Aufgrund der Erkenntnisse der Messungen mit den Funktionsmustern, können zukünftige Kundenanfragen im Bereich von Energieeffizienten LED Scheinwerfern (Hauptscheinwerfer, Nebelscheinwerfer, Abbiegelicht, ...) effizient und mit geringerem Risiko beantwortet werden, und somit ein neues Marktsegment der Automobilindustrie aus Wieselburg bedient werden.

6 Kontaktdaten

Zizala Lichtsysteme GmbH

Scheibbsstr. 17

3250 Wieselburg

Tel: +43 7416 505-0; Fax: +43 7416 505-2099; office@zkw.at; www.zkw.at

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Giefinggasse 2

1210 Wien

Tel: +43 50550-0; Fax: +43 50550-2201; office@ait.ac.at; www.ait.ac.at

IMPRESSUM

Verfasser

Zizala Lichtsysteme GmbH
Scheibbsstr. 17, 3250 Wieselburg
Tel: 07416 505
Fax: 07416 505 2099
E-Mail: office@zkw.at
Web: www.zkw.at

AutorInnen

ZIZALA Lichtsysteme GmbH
– Markus Lahner
– Alexander Poche
– Michael Poxhofer

Austrian Institute of Technology
– Helmut Kühnelt

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH