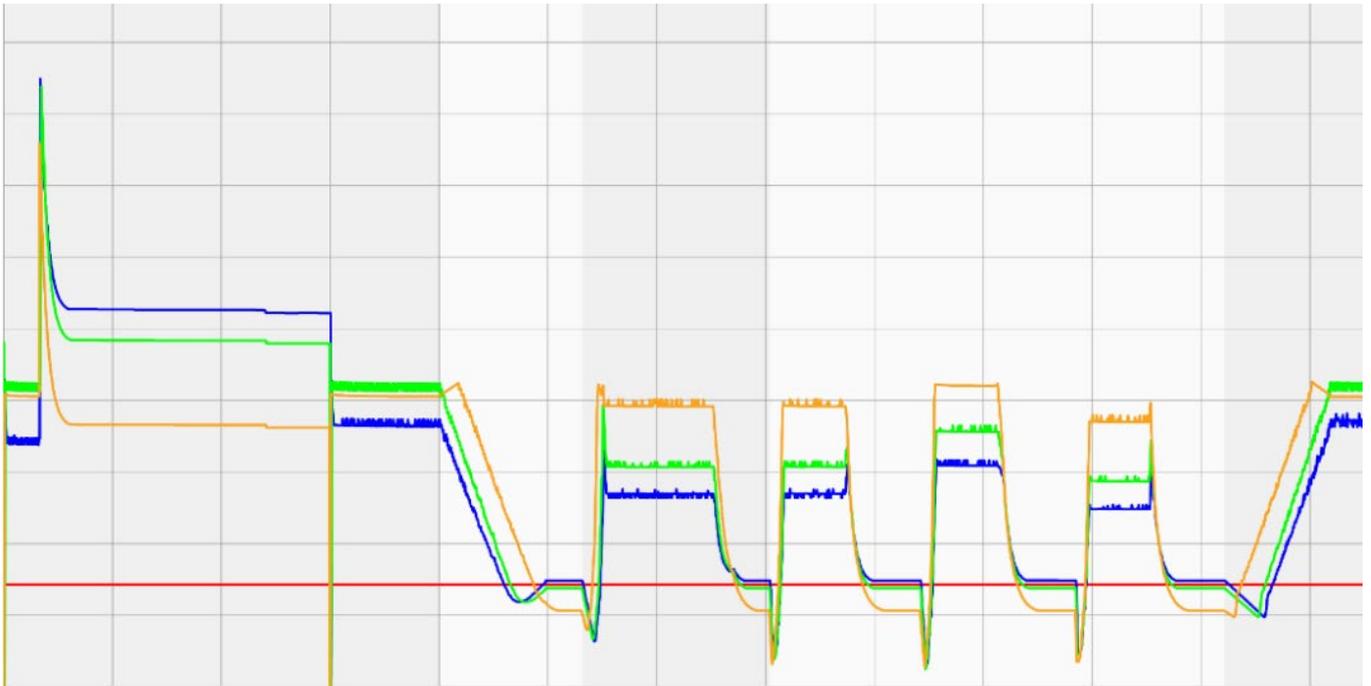


Schlussbericht, 14. Dezember 2023

SensoDayLight

Sensoren für Beleuchtung: Testverfahren und Prüfung der Leistungsfähigkeit bei der Konstantlichtregelung



Projektpartner



Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser,
Energie und Luft

Autoren

Prof. Björn Schrader, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie
Carina Winiker, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie

Infrastruktur / Fotos

Sina Plate, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie

Diese Studie wurde mit Unterstützung von energieschweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Wir danken der Firma Zumtobel Schweiz AG, für das kostenlose zur Verfügung stellen von «flickerfreien»
Pendelleuchten für das Projekt.

Wir danken den Firmen folgenden Firmen für das zur Verfügung stellen ihrer Produkte für dieses Projekt:

- A. Steffen AG Elektrohandel
- B.E.G. Brück Electronic GmbH⁵
- ESYLUX Swiss AG
- Feller AG
- LEDVANCE GmbH
- Niko Schweiz AG
- STEINEL Vertrieb GmbH
- Theben HTS AG

Impressum

Projektbegleitung

Bundesamt für Energie (BFE)
Eva Geilinger
Pulverstrasse 13
3063 Ittigen

Projektträger

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw

Autorschaft

Prof. Björn Schrader HSLU
Carina Winiker HSLU

Projektpartner

energieschweiz / Bundesamt für Energie (BFE)
Schweizer Licht Gesellschaft (SLG)
sensNORM – Verband der führenden Sensorhersteller
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kanton Zürich (AWEL)
electrosuisse - Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik

SAP 1122506 Sensodaylight

Zusammenfassung

Grundsätzlich sind Gebäude so zu planen, dass die Räume über die Mehrheit der Nutzungszeiten mit Tageslicht beleuchtet werden können und dass die elektrische Beleuchtung nur bei ungenügender Tageslichtversorgung notwendig ist. Voraussetzung dafür ist eine gute bauliche Lösung der Tageslichtöffnungen (Fenster), die grosse Raumflächen mit natürlichem Licht belichten können. Je vorteilhafter diese Lösung in Bezug auf die Tageslichtversorgung ausfällt, desto geringer muss die Aussenbeleuchtungsstärke sein, welche für das Erzielen der Beleuchtungsstärke im Innenraum notwendig ist. Je geringer die notwendige Aussenbeleuchtungsstärke ist, umso mehr Stunden im Jahr steht diese zur Verfügung und auf das elektrische Licht kann verzichtet werden. Der Anteil der Beleuchtung am gesamten Stromverbrauch der Schweiz betrug 2019 12.4 Prozent. Dabei entfallen zwei Drittel auf die Sektoren Dienstleistung und Industrie, welche grosse zu beleuchtende Flächen aufweisen, die mehrheitlich am Tage genutzt werden und somit nicht zwingend mit elektrischem Licht beleuchtet werden müssten.

Tageslicht ist von Natur aus sehr dynamisch, und das Hinzufügen oder Abschalten der elektrischen Beleuchtung wird seit einigen Jahren bereits von Meldern¹ übernommen, welche konstant das Licht im Raum erfassen und bei Bedarf nur so viel künstliches Licht bereitstellen wie nötig (Konstantlichtregelung). Beispiele aus der Praxis, als auch Messungen von Beleuchtungsanlagen zeigen, dass diese scheinbar einfache Aufgabe nicht immer optimal erfüllt wird. Das mögliche Energieeffizienzpotential wird somit nicht ausgeschöpft. Das Projekt SensoDayLight, welches im Rahmen der Initiative energylight durchgeführt wurde, hatte das Ziel, bestehende Produkte von Meldern bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit bei der Konstantlichtregelung zu überprüfen. Dazu wurde ein Messaufbau entwickelt, der einen Test der Melder unter praxisnahen und reproduzierbaren Bedingungen ermöglicht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrheit der untersuchten Melder den Energieverbrauch einer Anlage bereits mit den Werkseinstellungen im Vergleich zu einer Anlage, welche konstant eingeschaltet ist, reduzieren kann. Das Energiereduzierungspotenzial liegt in Bezug auf die Tageslichtnutzung bei bis zu 40 Prozent. Dies setzt grundsätzlich als Erstes voraus, dass die Räume baulich optimal mit Tageslicht versorgt werden. Die Beurteilung ermöglicht die Norm SN EN17037 von 2019.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Potential der Melder erst nach Einjustieren der Melder mittels Referenzmessung der Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche voll ausgeschöpft werden kann. Weiterhin konnte aufgezeigt werden, dass das Einjustieren erst nach der Inbetriebnahme und nach vollständiger Möblierung erfolgen muss, da die Fremdlichterfassung im grossen Masse von den Oberflächen abhängig ist.

Die Konstantlichtregelung ist vielmehr als System zu verstehen. Der Melder beinhaltet grundsätzlich die Sensorik. Weiterhin können, wie in diesem Projekt auch verwendet, die Steuerungslogik und Steuerungskommunikation in dem Melder integriert sein. Die Leuchte und das darin verbaute Vorschaltgerät sowie der Raum mit seiner gesamten Möblierung, sind weitere Bestandteile und müssen einbezogen werden.

Die vermeintliche einfache Aufgabe, nur so viel künstliches Licht wie nötig beizufügen ist, wie der vorliegende Bericht aufzeigt, von vielen Einflussfaktoren abhängig. Nicht alle Parameter lassen sich vom ausführenden Elektroinstallateur einstellen.

Für den Planenden kommt erschwerend hinzu, dass wichtige Eigenschaften der Melder in der Produktdokumentation nicht hinterlegt sind. Auswahl und Inbetriebnahme werden daher sehr erschwert und die uneinheitliche Verwendung von Begriffen innerhalb der Branche ist eine weitere Herausforderung für alle Beteiligten.

Daher werden folgende Schritte empfohlen. Die Branche und die entscheidenden Prozessbeteiligten müssen sich auf einheitliche Begrifflichkeiten in Bezug auf die Melder einigen. Weiterhin sind einheitliche Anforderungen für die Deklaration der Melder zu definieren. Hierbei kann auf den Vorschlägen aus dem Bericht aufgebaut werden.

Da sich dieses Projekt auf das Testen der Melder in einer kontrollierten Versuchsumgebung fokussiert hat, sind Feldversuche über einen längeren Zeitraum unerlässlich, um gesicherte Aussagen für die Praxis treffen zu können, welche Energiereduktionen erreichbar sind. Dazu sind auch grundlegende Basismessungen zum Tageslicht notwendig.

Ein Label zur Kennzeichnung und zum Definieren von Mindestanforderungen wäre sehr wünschenswert, jedoch ist dies ein mittel- bis langfristiges Projekt.

¹ Die Mehrheit der Melder ist mit einer Doppelfunktion ausgestattet. Diese erfassen sowohl Bewegung / Präsenz als auch Tageslicht. Beide Einflussgrößen werden für das Einschalten, Dimmen und Ausschalten verwendet der Beleuchtung

Résumé

Fondamentalement, les bâtiments doivent être conçus de manière à ce que les pièces puissent être éclairées par la lumière du jour pendant la majorité des périodes d'utilisation et que l'éclairage électrique ne soit nécessaire que si l'apport de lumière naturelle est insuffisant. La condition pour cela est une bonne solution de construction des ouvertures de lumière du jour (fenêtres), qui peuvent éclairer de grandes surfaces avec à la lumière naturelle. Plus cette solution est avantageuse en termes d'apport de lumière naturelle, plus l'intensité de l'éclairage extérieur nécessaire pour obtenir l'intensité requise de l'éclairage intérieur doit être faible. Plus l'intensité de l'éclairage extérieur nécessaire est faible, plus le nombre d'heures de lumière disponible par an est élevé et plus il est possible de se passer d'éclairage électrique. En 2019, la part de l'éclairage dans la consommation totale d'électricité en Suisse s'élevait à 12,4 %. Deux tiers de cette part reviennent aux secteurs des services et de l'industrie, qui présentent de grandes surfaces à éclairer, majoritairement utilisées de jour et qui ne devraient donc pas nécessairement être éclairées à l'électricité.

La lumière du jour est par nature très dynamique et l'ajout ou la suppression de l'éclairage électrique est déjà assuré depuis plusieurs années par des détecteurs² qui mesurent en permanence la lumière dans la pièce et qui, en cas de besoin, ne fournissent que la quantité de lumière artificielle nécessaire (régulation à lumière constante). Des exemples tirés de la pratique ainsi que des mesures effectuées sur des installations d'éclairage montrent que cette tâche apparemment simple n'est pas toujours remplie de manière optimale. Le potentiel d'efficacité énergétique n'est donc pas pleinement exploité. Le projet SensoDayLicht, réalisé dans le cadre de l'initiative energylight, avait pour objectif de vérifier les performances des détecteurs existants en matière de régulation à lumière constante. Pour ce faire, un dispositif de mesure a été mis au point, permettant de tester les détecteurs dans des conditions proches de la pratique et reproductibles.

Les résultats montrent que la majorité des détecteurs examinés permettent de réduire la consommation d'énergie d'une installation avec les réglages d'usine, par rapport à une installation qui est allumée en permanence. Le potentiel de réduction d'énergie peut atteindre 40 % en ce qui concerne l'utilisation de la lumière du jour. Cela présuppose en premier lieu que les pièces soient alimentées de manière optimale en lumière du jour. L'évaluation du potentiel énergétique est rendue possible par la norme SN EN17037 de 2019.

Les résultats montrent aussi que le potentiel des détecteurs ne peut être pleinement exploité qu'après leur réglage au moyen d'une mesure de référence de l'éclairement sur la surface de travail. En outre, il a été démontré que le réglage ne doit être effectué qu'après la mise en service et l'ameublement complet, car la détection de la lumière ambiante dépend en grande partie des surfaces environnantes.

La régulation à lumière constante doit être considérée comme un système plutôt qu'un simple composant. Le détecteur contient la technique sensorielle. En outre, la logique de commande et la communication de commande peuvent être intégrées dans le détecteur, comme c'est le cas dans ce projet. Le luminaire et le ballast qui y est intégré, ainsi que la pièce et tout son mobilier, sont d'autres éléments qui doivent être pris en compte. Comme le montre le présent rapport, la tâche prétendument simple consistant à n'ajouter que la quantité de lumière artificielle nécessaire dépend de nombreux facteurs d'influence. L'installateur électricien ne peut pas régler tous les paramètres. Pour le planificateur, le fait que des caractéristiques importantes des détecteurs ne soient pas consignées dans la documentation du produit complique encore les choses. Le choix et la mise en service sont donc très difficiles et l'utilisation non uniforme de la terminologie au sein de la branche constitue un autre défi toutes les personnes concernées.

Les étapes suivantes sont donc recommandées. L'industrie et les principaux acteurs du processus doivent se mettre d'accord sur une terminologie uniforme en ce qui concerne les détecteurs. En outre, il convient de définir des exigences uniformes pour la déclaration des détecteurs. Pour ce faire, il est possible de s'appuyer sur les propositions formulées dans le rapport.

Étant donné que ce projet s'est concentré sur le test des détecteurs dans un environnement contrôlé, il est indispensable de réaliser des essais sur le terrain sur une longue période afin de pouvoir tirer des conclusions fiables sur les réductions d'énergie réalisables dans la pratique. Pour cela, des mesures de base de la lumière du jour sont également nécessaires.

² La majorité des détecteurs sont équipés d'une double fonction. Ils détectent aussi bien les mouvements / la présence que la lumière du jour. Les deux grandeurs d'influence sont utilisées pour l'allumage, la variation et l'extinction de l'éclairage.

Sintesi

In linea di principio, gli edifici vanno progettati in modo tale che gli ambienti interni risultino approvvigionati di luce naturale per la maggior parte del loro tempo di utilizzo e che l'illuminazione elettrica sia necessaria solo quando l'apporto di luce naturale è insufficiente. Ciò presuppone una buona soluzione architettonica e strutturale riguardo alle aperture (finestre). Più la soluzione è favorevole in termini di apporto di luce naturale ad ampie zone dell'edificio, minore è il fabbisogno di luce esterna necessario ai fini di ottenere un illuminamento sufficiente degli interni. Riducendo il livello di luce esterna necessaria se ne aumenta il tempo di sfruttamento. E così facendo si riduce il fabbisogno di illuminazione elettrica. Nel 2019 l'illuminazione ha rappresentato il 12,4% del consumo totale di elettricità in Svizzera. Due terzi della percentuale sono riconducibili ai settori del terziario e dell'industria, dove sono presenti ampie superfici con necessità di luce. Tuttavia, la maggior parte di queste viene utilizzata soprattutto durante il giorno e quindi non richiederebbe per forza un'illuminazione elettrica. La luce naturale è di per sé molto dinamica. Già da alcuni anni l'aggiunta o lo spegnimento di illuminazione elettrica negli ambienti avviene tramite rilevatori³ che misurano costantemente la luce presente e sono così in grado di limitare la quantità di luce elettrica necessaria (controllo costante della luce). Sia esempi pratici che misurazioni di sistemi di illuminazione evidenziano però che questo obiettivo, apparentemente semplice, non è sempre raggiunto in maniera ottimale. Di conseguenza il potenziale di efficienza energetica non viene sfruttato appieno. Il progetto SensoDayLight, realizzato nell'ambito dell'iniziativa energylight, mirava a esaminare le prestazioni di sistemi rivelatori esistenti riguardo al controllo costante della luce. A tal fine, è stata creata una configurazione di misura che consente un'analisi del funzionamento dei rivelatori in condizioni reali e riproducibili. I risultati dell'analisi mostrano che la maggior parte dei rivelatori esaminati è in grado di ridurre il consumo energetico rispetto a un sistema di illuminazione costantemente acceso già con le impostazioni di fabbrica. Il potenziale di riduzione energetica può raggiungere il 40 per cento se gli ambienti sono adeguatamente approvvigionati di luce naturale. Per valutare l'approvvigionamento è possibile affidarsi alla norma SN EN17037 in vigore dal 2019.

Il potenziale dei rilevatori può essere sfruttato al meglio dopo una taratura mediante la misurazione di riferimento dell'illuminamento della superficie di lavoro. Inoltre, si è evidenziato che tale regolazione deve essere effettuata solo dopo il completamento dell'arredamento, poiché il rilevamento della luminosità dipende in gran parte dalle superfici effettivamente presenti nell'ambiente.

Il controllo costante della luce deve essere inteso come un sistema composto da vari elementi. Il rivelatore stesso contiene sostanzialmente i sensori. In realtà, e come avviene nell'ambito di questo progetto, i rilevatori possono contenere anche sistemi della logica e della comunicazione di controllo. Nel sistema completo di controllo costante della luce sono inoltre da prendere in considerazione il corpo di illuminazione, l'alimentatore, così come l'ambiente e l'arredamento.

Come dimostra questo rapporto, l'obiettivo di apportare al sistema solo una quantità minima di luce artificiale necessaria dipende da molti fattori che non possono essere impostati tutti e unicamente dall'installatore elettrico. Il fatto che importanti caratteristiche dei rilevatori non siano riportate nella documentazione dei vari prodotti rende le cose ulteriormente difficili, anche per il responsabile della pianificazione. Le difficoltà stanno sia nella selezione del prodotto che nella corretta messa in funzione. Inoltre, la mancanza di uniformità nella descrizione dei prodotti e nella terminologia tecnica rappresenta una seria sfida per tutto il settore.

In base ai riscontri ottenuti si raccomandano pertanto i seguenti provvedimenti. L'intero settore e tutte le parti coinvolte nel processo devono trovare un accordo riguardo a una terminologia standardizzata in materia di rilevatori. Inoltre, devono essere definiti requisiti uniformi per la dichiarazione e descrizione dei rilevatori. Ciò può avvenire in base alle proposte contenute nel rapporto.

Poiché questo progetto si è concentrato sul funzionamento dei rilevatori in un ambiente di prova controllato, test sul campo per un periodo di tempo più lungo sono essenziali per poter fare affermazioni affidabili riguardo all'effettiva riduzione di energia ottenibile nell'uso pratico di rilevatori. Il tutto richiede anche misurazioni di base relative alla luce naturale. Sarebbe auspicabile la creazione di un label per l'identificazione e la definizione di requisiti minimi specifici, il che comporterebbe però un progetto a medio-lungo termine.

³ La maggior parte dei rilevatori è dotata di una doppia funzione. Rilevano sia il movimento/presenza che l'intensità della luce. Entrambe le variabili vengono utilizzate per accendere, regolare e spegnere l'illuminazione.

Inhalt

1.	Einleitung	9
1.1	Hintergrund	9
1.2	Begrifflichkeiten.....	10
1.3	Potential und Abhängigkeiten	12
2.	Vorgehen	13
2.1	Recherche.....	14
2.2	Unterscheidung der Melder-Systeme	15
2.2.1	Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem	15
2.2.2	Kategorisierung der Melder aus System 2.....	16
2.3	Analyse der Verkaufszahlen	17
2.4	Produkteauswahl	18
3.	Versuchsaufbau	19
3.1.1	Messraum	19
3.1.2	Künstliches Fenster	21
3.1.3	Steuerung des künstlichen Fenster	21
3.1.4	Pendelleuchten	22
3.1.5	Photometerköpfe.....	22
3.1.6	Leistungsanalysator	23
3.1.7	DALIMonitor	23
3.1.8	Bewegungssimulation	24
3.1.9	Ablauf und Installation.....	24
3.1.10	Flicker als Störgrösse	24
3.2	Messablauf.....	26
3.2.1	Testszenarien	26
3.2.2	Ablauf des künstlichen Fensters.....	31
4.	Resultate	37
4.1	Grundlagen Auswertung	37
4.1.1	Optimaler Ablauf	37
4.1.2	Bewertungskriterien	38
4.1.3	Grundlegende Diagramme.....	45
4.2	Allgemeine Auswertung	47
4.2.1	Einschätzung der Ergebnisse	48
4.3	Produkt A	49
4.4	Produkt B	51
4.5	Produkt C	53

4.6	Produkt D	55
4.7	Produkt E	57
4.8	Produkt F.....	59
4.9	Produkt G	61
4.10	Produkt H	62
4.10.1	Testszenario 4	62
4.11	Produkt I.....	64
4.11.1	Testszenario 1	64
4.12	Quervergleich der getesteten Produkte	65
4.12.1	Weitere Bemerkungen zu den einzelnen Produkten	67
4.13	Vorschlag Produktdatenblatt.....	68
4.14	Vorschlag Qualitätsanforderungen	69
5.	Diskussion	70
5.1	Beurteilung der Ergebnisse.....	70
5.2	Beurteilung des Verfahrens und Messrichtlinie	70
5.3	Label	71
5.4	Empfehlungen	72
5.5	Ausblick.....	73
5.5.1	Kommunikation der Erkenntnisse aus dem Projekt.....	73
5.5.2	Nächste Schritte.....	73
5.5.3	Langfristige Herausforderungen	73
6.	Literatur.....	75
7.	Abkürzungsverzeichnis.....	76
8.	Abbildungsverzeichnis.....	77
9.	Tabellenverzeichnis	79
10.	Anhang.....	80
10.1	Leuchtendatenblatt	80
10.2	Messresultate Reflexionsgrade	81
10.3	Prinzipschema Messaufbau.....	82
10.4	Diagramme Produkt A.....	85
10.5	Diagramme Produkt B.....	94
10.6	Diagramme Produkt C	106
10.7	Diagramme Produkt D	118
10.8	Diagramme Produkt E.....	130
10.9	Diagramme Produkt F	142
10.10	Diagramme Produkt G	154
10.11	Diagramme Produkt H	155
10.12	Diagramme Produkt I	161

1. Einleitung

In diesem Kapitel werden die Auslöser, Hintergründe und Ziele dieses Projektes aufgezeigt sowie die wichtigsten Begrifflichkeiten geklärt.

1.1 Hintergrund

Das Projekt «SensoDayLight – Qualitätsstandards für Tageslichtsensorik» wurde im Rahmen der Initiative «energylight» durchgeführt. Diese Initiative wurde 2018 ins Leben gerufen, nachdem die relevanten Vertreter der Lichtbranche und das Bundesamt für Energie die «Licht-Vereinbarung von Davos» unterzeichnet hatten. Damit wurde das Ziel gesetzt, bis ins Jahr 2025 den Elektrizitätsverbrauch der Beleuchtung in der Schweiz, um die Hälfte zu reduzieren. Im Referenzjahr 2019 wurden in der Schweiz insgesamt 58.3 TWh elektrische Energie benötigt. Für die Beleuchtung wurden davon 7 TWh aufgewendet, was 12 Prozent entspricht.

Die Initiative «energylight» will diese jährliche Energieeinsparung von 3.5 TWh mit verschiedenartigen Projekten und möglichst vielen Partnern umsetzen.

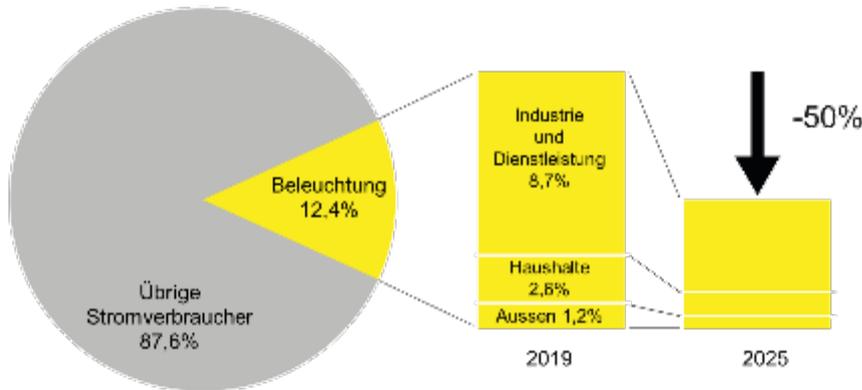


Abbildung 1: Zieleinsparung der Initiative «energylight»
Quelle: <https://slg.ch/energylight/>

Dieses Ziel soll mit den folgenden vier Massnahmen erreicht werden:



Einsatz effizienter LED-Lichtquellen



Mehr Sensoren und Vernetzung des Lichts



Bessere Nutzung des Tageslichts



Optimierte Planung und Inbetriebnahme

Abbildung 2: Massnahmen der Initiative «energylight»
Quelle: <https://slg.ch/energylight/>

Lange gab es für Bewegungs- und Präsenzmelder keine Vorgaben bezüglich der Angaben zum Erfassungsbereich. Jeder Hersteller vermass die Distanz auf seine eigene Weise. Dadurch war es für Planende und Installierende sehr schwierig, die unterschiedlichen Produkte miteinander zu vergleichen und sie korrekt einzuplanen.

Im Jahr 2013 wurde von der Firma eLight GmbH und der Hochschule Luzern das Projekt «Präsenzmelder im Qualitätstest» durchgeführt. Das Projekt wurde von energieschweiz gefördert und es wurden erstmals Präsenzmelder einem unabhängigen Qualitätstest unterzogen. Dieser Test hatte den Fokus auf die Erfassung der Bewegung und der Präsenz. [1]

Im Folgejahr wurde von Herstellern der Bewegungs- und Präsenzmelder der Verein sensNORM (<https://sensnorm.com/de/>) gegründet. In den darauffolgenden Jahren wurde das Testverfahren verfeinert und eine Prüfnorm erarbeitet, die das Messverfahren für die Bewegungserfassung von PIR-Sensoren genau beschreibt. Die Vorgaben von sensNORM sind auch in die internationale Norm «IEC 63180 Methods of measurement and declaration of the detection range of detectors - Passive infrared detectors for major and minor motion detection» eingeflossen (gültig seit Juni 2020).

Die sensNORM geht aber etwas weiter als die IEC 63180 mit ihren Anforderungen bezüglich dem Prüfverfahren, der Zuverlässigkeit der Erfassung und der Sicherheit gegen Fehlschaltungen.

Nach dieser Norm geprüfte Sensoren erhalten das Label von sensNORM und es wird garantiert, dass die geprüften Produkte untereinander vergleichbar sind und dass sie einen Qualitätsstandard erfüllen. [2]

Die sensNORM beschränkt sich vorerst auf Passiv-Infrarot-Sensoren (PIR), welche ca. 90% der eingesetzten Bewegungs- und Präsenzmelder ausmachen. [3]

Im November 2020 wurden am Eidgenössischen Institut für Metrologie (METAS) in Bern das sensLAB eingeweiht. Mit diesem weltweit ersten hersteller-unabhängigen Labor können PIR-Melder vollautomatisch nach der sensNORM Prüfvorschrift vermessen werden. [2] [4]

Die sensNORM und die IEC 63180 machen aber nur Vorgaben für die Bewegungserfassung bei Bewegungs- und Präsenzmeldern. Zur Helligkeitsmessung und der Ansteuerung des Lichts gibt es nach wie vor keine Normierung oder sonstige Vereinheitlichung.

Hier setzt das vorliegende Projekt «SensoDayLight – Qualitätsstandards für Tageslichtsensorik» an. Es befasst sich mit der Messung der Raumhelligkeit und der Ansteuerung der Beleuchtung und wie die Sensoren diesbezüglich getestet werden können.

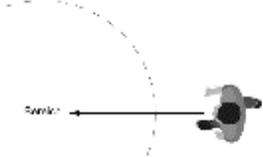
Die Ziele des Projektes sind die Entwicklung eines Messverfahrens für Tageslichtsensoren und der Test von zirka zehn solcher Sensoren. Anhand der Erkenntnisse sollen die daraus Grundlagen für eine Messrichtlinie abgeleitet und Qualitätsanforderungen an Lichtsensoren definiert werden. Dies dient als Vorarbeit für die Lancierung eines zukünftigen Labels. Die Erkenntnisse und Resultate werden auf unterschiedlichen Kanälen kommuniziert.

1.2 Begrifflichkeiten

Bewegungsmelder haben den Zweck, die Bewegung von Personen zu erfassen, um technische Einrichtungen wie z.B. Beleuchtungsanlagen bedarfsbezogen ein- und auszuschalten. Ziel ist es, einen hohen Nutzerkomfort bei gleichzeitig minimalem Energiebedarf zu erreichen. Die Mehrheit dieser Melder arbeitet mit einer passiven Infrarottechnik (PIR). Diese Melder können sowohl als eigenständige Einheit auch die Steuerung der technischen Einrichtungen übernehmen als auch in ein unabhängiges Gebäudeautomations-System (GA-System) eingebunden sein. Hier übernehmen sie nur eine reine Meldfunktion, die Entscheidung zum Ein bzw. Ausschalten hängt von der Programmierung des jeweiligen GA-Systems ab. Die Kommunikation erfolgt über den jeweiligen Bus z.B. über KNX oder DALI.

Bei der Erfassung von Bewegung wird gemäss IEC 63180 in vier Arten unterschieden und sind in der Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Bewegungsarten nach IEC 63180

Bewegungsart	Definition	Abbildung
Grosse Bewegung	Bewegung einer Person, die in einen Bereich hinein läuft oder innerhalb eines Bereichs läuft	
Radiale Bewegung	Bewegung direkt in Richtung des Bewegungsmelders	
Tangentiale Bewegung	Bewegung seitlich oder schräg zum Bewegungsmelder	
Kleine Bewegung	Kleine Bewegungen einer Person oder eines Teils einer Person innerhalb eines Bereichs Anmerkung: Charakteristische Beispiele für kleine Bewegungen kommen in Arbeitsbereichen vor, z. B. Büros, Klassenräume, Konferenzräume mit einer langen Aufenthaltszeit und wenig Bewegung der Personen (z. B. sitzende Tätigkeiten mit Armbewegungen). Nicht genormte Bezeichnungen eines Melders für kleine Bewegung sind „Präsenzmelder“ oder „Belegungsmelder“	

Auf dem Markt haben sich die Begriffe Bewegungsmelder und Präsenzmelder etabliert, diese haben jedoch keine einheitliche Definition und werden von den Herstellern uneinheitlich verwendet. Erschwerend kommt hinzu, dass einige Hersteller den Begriff Präsenzmelder für Melder verwenden, die sowohl grosse als auch kleine Bewegungen erfassen sowie auch eine permanente Fremdlichtmessung durchführen.

In den folgenden Abschnitten wird die Erfassung von Bewegung und Tageslicht begrifflich wie folgt verwendet:

Bewegung

- *Bewegungsmelder* erfassen grosse Bewegung
- *Präsenzmelder* erfassen sowohl grosse als auch kleine Bewegungen

Fremdlicht

- *Einzel-Fremdlichtmessung EIN* - Nach Erfassung einer Bewegung erfolgt eine *Einzel-Fremdlichtmessung* zur Entscheidung für das Einschalten z.B. Aussenbereich
- *Permanente-Fremdlichtmessung EIN/AUS* - Nach Erfassung einer Bewegung erfolgt eine *Permanente-Fremdlichtmessung* zur Entscheidung für das Einschalten bzw. wenn das Licht ausreichend ist zum Ausschalten, auch wenn weiterhin Bewegung erfasst wird (z.B. Melder mit Relais) (unter Berücksichtigung der positiven Eigenschaften, die sich beim Dimmen einer LED ergeben, ist diese Variante nicht mehr Zeitgemäss)

- **Permanente-Fremdlichtmessung mit Konstantlicht-Regelung** - Nach Erfassung einer Bewegung erfolgt eine *Permanente-Fremdlichtmessung*⁴ zur Entscheidung für das Einschalten / Dimmen auf den vorgegebenen Zielwert bzw. Herunterdimmen und Ausschalten bei genügend Fremdlicht und wenn weiterhin Bewegung erfasst wird. (**Variante die auch geprüft wurde**)

Innerhalb der Beleuchtungsnormen ist die Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe entscheidend. In einer Büroanwendungen ist dies die Tischfläche. Die Melder werden in den meisten Fällen an der Decke montiert. Die Fremdlichtmessung erfolgt somit auch an der Decke. Die Messwerte des Melders müssen in Relation zu der Beleuchtungsstärke auf dem Tisch gesetzt werden. Die Fremdlichtmessung an der Decke ist unterschiedlichen Störgrössen ausgesetzt, welche diese zusätzlich erschweren. (Veränderungen der Raumbooberflächen, Lichtreflexe an der Decke, Leuchten die an die Decke strahlen etc.).

1.3 Potential und Abhängigkeiten

Das Potential zur Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs durch die Nutzung von Tageslicht wird je nach Nutzungsprofilen in den Normen [5, 6] mit bis zu 80 Prozent angegeben. Bei der SIA 387/4:2017 wurde das Tageslicht schon immer berücksichtigt aber bei der letzten Revision nochmals verschärft. Jedoch wurde bei realisierten Projekten weiterhin ein Unterschied zwischen dem errechneten und dem gemessenen Verbrauch in Bezug auf das Tageslicht festgestellt. Die Vermutungen legen nahe, dass dies einerseits in dem vereinfachten Verfahren zur Ermittlung der Tageslichtversorgung der SIA 387/4:2017 liegt und andererseits an Abweichungen in Bezug auf Nutzung und Funktionsweise der Steuerung.

In der SN EN 17037:2019 [7] wird die Tageslichtversorgung über die Berechnung des Tageslichtquotienten (T_q) / Daylightfaktor (D_F) für den betrachtenden Raum unter Berücksichtigung der am Standort vorherrschenden diffusen Aussenbeleuchtungsbeleuchtungsstärkewerte ermittelt. Die Berechnung erfolgt über folgenden Zusammenhang:

$$T_q = D_F = \frac{E_P}{E_{dA}} \cdot 100\%$$

In der SN EN 17037:2019 wird für den Standort Bern, der als Referenz für die ganze Schweiz gilt, der Medianwert einer diffusen Aussenbeleuchtungsstärke E_A von 16'000 lux. Über das gesamte Jahr betrachtet gibt es somit 50 Prozent der Stunden am Tag, an denen dieser Wert erfüllt oder übertroffen wird. An einem beliebigen Punkt P in einem Raum, an dem eine Beleuchtungsstärke E_P von 500 lux gefordert werden, bedeutet dies, dass an diesem Ort ein Tageslichtquotient von 3.1 Prozent erfüllt sein muss, um diesen 50 Prozent der Zeit mit Tageslicht zu versorgen.

Tabelle 2 Werte des Tageslichtquotienten D_F zum Erreichen der geforderten Beleuchtungsstärken von 100 lx, 300 lx, 500 lx, 750 lx für einen Anteil der Tageslichtstunden von 50%. Gemäss SN EN 17037:2019

Ort	Aussenbeleuchtungsstärke	D_F von mehr als 100 lx	D_F von mehr als 300 lx	D_F von mehr als 500 lx	D_F von mehr als 750 lx
Bern	16'000 lx	0.6 %	1.9 %	3.1 %	4.7 %

Bei der Potentialabschätzung ist zusätzlich zwingend zu berücksichtigen, dass das Tageslicht an Tagen, an dem der sommerliche Wärmeschutz zur Verhinderung einer Überhitzung des Gebäudes heruntergefahren werden muss, nicht eingerechnet werden darf. Des Weiteren muss betrachtet werden, dass bei einer horizontalen Stellung der Rafflamellenstoren das Tageslicht nur eingeschränkt genutzt werden kann. Dies zeigt, dass eine gute Tageslichtversorgung nur in Abstimmung mit dem Sonnenschutz erfolgen kann. Für die Abschätzung wurden die Klimadaten aus der Software Meteororm 8.1 für den Referenzstandort Zürich Kloten der Schweiz verwendet. Es wurden folgende Randbedingungen definiert:

Arbeitszeit liegt zwischen 8:00 und 17:00 Uhr, sommerlicher Wärmeschutz schliesst bei einer vertikalen Strahlung von 200 W/m² auf der Fassade. Wenn die Aussentemperatur unter 12°C liegt, sollen die solaren

⁴ Als Fremdlicht wird sowohl Tageslicht als auch anderes Kunstlicht verstanden

Gewinne genutzt werden und der sommerliche Wärmeschutz wird nicht aktiviert. Die Lamellen können bei einer Sonnenhöhe von 42.5° in die horizontale Stellung gefahren (CutOff) werden, um die direkte Strahlung auszublenden und teilweise das Tageslicht zu nutzen.

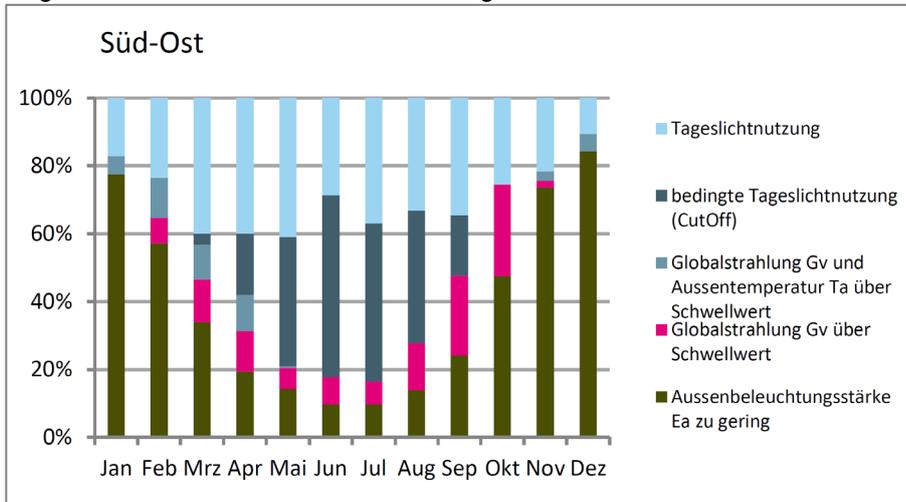


Abbildung 3 Darstellung der Anteile der möglichen Nutzung des Tageslichtes für die Fassade Süd-Ost unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Randbedingungen am Standort Zürich Kloten mit dem Referenzjahr DRY warm.

Tabelle 3 Anteile der möglichen Nutzung des Tageslichtes unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Randbedingungen (gemittelt über alle Fassaden N, NO, O, SO, S, SW, W, SW) am Standort Zürich Kloten mit dem Referenzjahr DRY warm. Arbeitszeiten 8.00-17.00

Einflussfaktoren	Anteil der möglichen Nutzung in Prozent
Tageslichtnutzung	33%
Diffuse Aussenbeleuchtungsstärke $E_{d,a}$ zu gering (unter 16'000 lx)	50%
Vertikale Strahlung Gv über Schwellwert 200W/m ²	7%
Globalstrahlung Gv und Aussentemperatur Ta über Schwellwert $\geq 12^{\circ}\text{C}$	1%
bedingte Tageslichtnutzung (CutOff, Sonnenwinkel $\geq 42,5^{\circ}$)	9%

Die Tabellenwerte zeigen, dass eine uneingeschränkte Nutzung des Tageslichtes bei 33 Prozent liegt und maximal bei einer Aussenbeleuchtungsstärke von 16'000 lux bei 50 Prozent liegen kann. Dies sieht jedoch einen Tageslichtquotienten von 3.1 Prozent voraus, was bei vielen Gebäuden bereits nach drei Meter Raumtiefe nicht mehr erreicht wird.

2. Vorgehen

Nach Zusammenfassung der Ergebnisse der Literaturrecherche erfolgt die Unterscheidung der in der Praxis zur Anwendung kommenden Melder-Systeme. Es wird ein Blick auf die Verkaufszahlen von Meldern in der Schweiz getätigt, um anschliessend die Anforderungen an die Produktauswahl zu definieren. Im Kapitel 3 wird der Versuchsaufbau detailliert beschrieben. Im nachfolgenden Kapitel erfolgt die Auswertung und die Interpretation der Resultate. Im abschliessenden Kapitel Diskussion werden die Ergebnisse der Produkte und die des Messaufbaus als Basis einer Messrichtlinie und eines Labels bewertet. Zusätzlich sind Empfehlungen an die unterschiedlichen Zielgruppen aufgeführt.

2.1 Recherche

Die bedarfsgerechte Steuerung der Beleuchtung fand in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts Einzug in die Zweckbauten. Mit der Verbreitung digitaler Steuerungssysteme und der Verschärfung der Energievorgaben wurden Melder für Bewegung und Fremdlicht seit Anfang 2000 als eine wichtige Säule für die Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs bei der Beleuchtung erkannt und fanden seit dem immer breiteren Einsatz. [8] Als ein wichtiges Lenkungsinstrument in der Schweiz ist hier die SIA 387/4:2017 [6] (davor SIA 380/4) zu nennen. Die Erreichung der Zielwerte bei der Beleuchtung setzt die Verwendung von Meldern voraus.

Die Menge an wissenschaftlichen Publikationen zu diesem Thema ist verhältnismässig gering und lässt sich darauf zurückzuführen, dass es sich sowohl bei der Gebäudetechnik und speziell bei der Lichttechnik um ein sehr junges Forschungsgebiet handelt, was stark vernachlässigt wurde [9]. Speziell wenn dies mit den etablierten Naturwissenschaften wie Physik, Chemie etc. verglichen wird. Weiterhin ist die Gebäudetechnik stark von Technologien und Produkten und folglich von der herstellenden Industrie abhängig. Weiter müssen die technologischen Umwälzungen der letzten Jahre in der Beleuchtungsindustrie berücksichtigt werden. Die Mehrheit der Beleuchtungsanlagen in Zweckbauten wurde noch bis 2017 mit konventionellen Leuchtmitteln meist auf Leuchtstofflampenbasis ausgestattet.

Die Resultate und Empfehlungen der Studien vor 2018 beruhen auf den alten Technologien und können nicht direkt auf heutige Anlagen mit LED-Leuchten übertragen werden. LED-Leuchten haben fundamental andere Eigenschaften und weisen ein grundlegend anderes Betriebsverhalten auf. Dies hat eine unmittelbare Auswirkung auf die Energieeffizienz.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen lassen sich die Studien in folgende Gruppen unterteilen:

- a) *Feldstudien*, in denen unterschiedliche Systeme bzgl. des Energieverbrauchs gegeneinander verglichen werden
- b) *Vergleichende Studien* von unterschiedlichen Szenarien und Parametern mittels Computersimulation
- c) Grundlagenstudien und Studien mit hohem Praxisbezug

Da Feldstudien (a) einen langen Vorlauf von mehreren Jahren benötigen, ist es nachvollziehbar, dass hier kaum relevante Studien ausgemacht werden konnten. Bei den vergleichenden Studien mittels Computersimulation (b) ist festzuhalten, dass der Regelmechanismus dort ideal implementiert wird und Störgrößen, Unzulänglichkeiten, Nutzereinfluss etc. bewusst nicht berücksichtigt werden. [10] Für das vorliegende Projekt sind aber gerade diese Unzulänglichkeiten von grossem Interesse und werden nur in Grundlagenstudien mit einem hohen Praxisbezug behandelt.

Erstmals wurden Bewegungsmelder 2013 in der Studie Präsenzmelder im Qualitäts-Check [1] untersucht. Diese Studie war der Auslöser für den Zusammenschluss führender Sensorikhersteller in den Verein sensNORM, der sich zum Ziel setzte, die Qualität der Melder zu verbessern und eine einheitliches Prüfverfahren zu entwickeln, was schlussendlich in der Norm IEC 63180 [11, 12] abgebildet wurde.

Ein umfangreiche Studie von L. Zonneveldt aus dem Jahr 2001 [13] untersuchte eine Reihe von Parameter auf deren Auswirkung auf die Leistungsfähigkeit von Lichtsteuerungssystemen und den resultierenden Energiebedarf. Der Aufbau bestand aus einem 2m x 2m x 2m grossen Kubus, der den Raum über einem typischen Bürotisch darstellte, der von einer einzigen Leuchte beleuchtet wurde. Die Testleuchte wurde in der obersten Ebene des Kubus (der Decke) zentriert. Ein Beleuchtungsstärkesensor wurde in der Mitte der unteren Ebene des Würfels, auf der Arbeitsfläche platziert. Die vertikalen Ebenen des Würfels repräsentieren die Wandflächen.

Eine Wand diente als Öffnung, die ein Fenster darstellte. Mittels eines Tageslichtsimulators aus mehreren Leuchten konnten unterschiedliche Tageslichtsituationen nachgestellt werden und das System, bestehend aus Sensorik, Steuerung und Leuchte, getestet werden. Schlussendlich zeigte sich, dass diese Prüfmethode geeignet ist, um die physikalische Leistungsfähigkeit verschiedener tageslichtsensorgesteuerter Beleuchtungssysteme zu ermitteln. Die Ergebnisse können zur Berechnung von Energieeinsparpotenzialen verwendet werden. Das Prüfverfahren wird jedoch für Aussagen in Bezug auf Benutzerakzeptanz nicht empfohlen. Eine vom HighTech Zentrum Aarau in Auftrag gegebene interne Machbarkeitsstudie untersuchte 2017 das Verhalten und die Beurteilung der Sensorik bei Stehleuchten in einer realen Testumgebung an der Hochschule Luzern. Mit einem künstlichen Fenster konnte gezeigt werden, dass eine hohe Energieeinsparung mit gleichzeitig hoher Nutzerzufriedenheit nur mit einem gut abgestimmten System aus Sensorik, Steuerung und Leuchte möglich ist.

2.2 Unterscheidung der Melder-Systeme

2.2.1 Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem

Ein System, das die Beleuchtung anhand von Präsenz und Raumhelligkeit regelt, besteht aus diesen vier Hauptkomponenten:

- einem Bewegungssensor
- einem Lichtsensor
- einer Steuer- und Kommunikationseinheit
- einer Leuchte

Für den Aufbau des Systems gibt es die nachfolgend beschriebenen vier Möglichkeiten.

System 1

Alle vier Komponenten befinden sich in einem Gerät. Z. B. eine Sensorleuchte

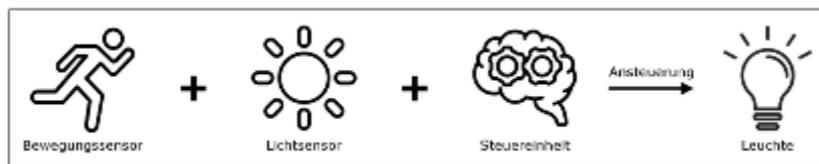


Abbildung 4: Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem 1
Quelle: Hochschule Luzern

System 2

Die Sensoren und die Steuerung sind in einem Gerät kombiniert und steuern die Leuchte an. Z. B. ein Bewegungsmelder

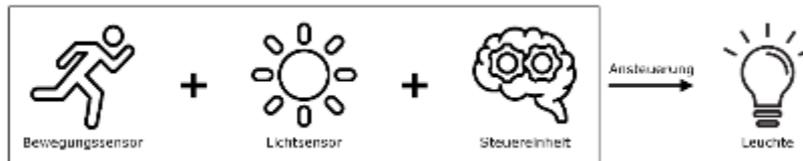


Abbildung 5: Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem 2
Quelle: Hochschule Luzern

System 3

Die beiden Sensoren sind in einem Gerät verbaut und melden der separaten Steuereinheit, was sie messen. Diese steuert dann die Leuchte an. Z. B. ein Präsenzmelder in einem KNX-System

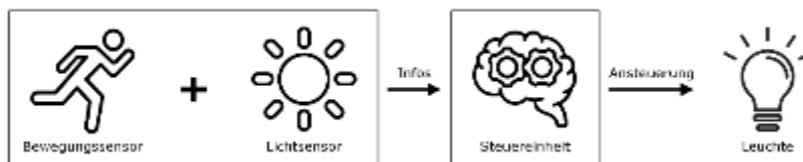


Abbildung 6: Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem 3
Quelle: Hochschule Luzern

System 4

Jede Komponente bildet ein eigenes Gerät. Der Bewegungs- und Lichtsensor werden nicht an derselben Stelle platziert. Z. B. ein Präsenzmelder in einem KNX-System mit einem separaten Lichtsensor an der Fassade

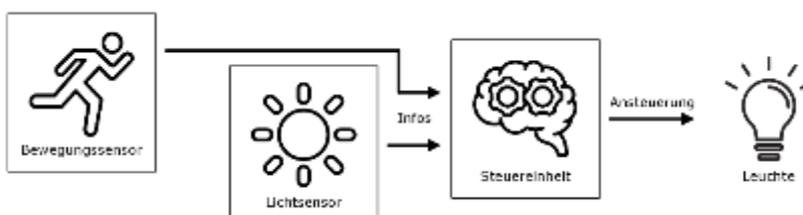


Abbildung 7: Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem 4
Quelle: Hochschule Luzern

In diesem Projekt wurden nur Produkte untersucht, die System 2 entsprechen.

2.2.2 Kategorisierung der Melder aus System 2

Die Produkte, die nach System 2 aufgebaut sind, können in folgende zwei Kategorien unterteilt werden.

Tabelle 4: Kategorisierung der Melder aus System 2

	Typ A	Typ B
Fremdlicherfassung	Der Melder erfasst nur bei ausgeschaltetem Kunstlicht	Der Melder erfasst permanent das Licht im Raum
Bewegungserfassung	Erfasst grössere Bewegungen	Erfasst grössere und kleinere Bewegungen (z.B. Arm- und Handbewegungen am Schreibtisch)
Licht einschalten	Wenn eine Bewegung erfasst wird und zu wenig Helligkeit vorhanden ist	Wenn eine Bewegung erfasst wird und zu wenig Helligkeit vorhanden ist
Licht ausschalten	Wenn keine Bewegung mehr detektiert wird	Wenn keine Bewegung mehr detektiert wird oder wenn genügend Licht vorhanden ist
Konstantlichtregelung	Nicht geeignet	geeignet

Diese Kategorisierung in Bewegungs- und Präsenzmelder wurde gemäss dem «Leitfaden für den Einsatz von Sensorik in Lichtenwendungen» der SLG und sensNORM vorgenommen [14].

In der Branche werden die beiden Begriffe Bewegungs- und Präsenzmelder nicht einheitlich verwendet. Einige Hersteller verwenden bei beiden Kategorien dieselbe Helligkeitsmessung wie bei den Präsenzmeldern und unterscheiden nur bezüglich der Bewegungserfassung.

Anhand der Bezeichnung Bewegungs- oder Präsenzmelder ist entsprechend nicht eindeutig, welche Funktionen das Produkt hat.

Die Produkte aus Typ B können wiederum in vier Unterkategorien aufgeteilt werden. Diese unterscheiden sich darin, wie die Melder die Leuchte ansteuern.

Tabelle 5: Unterkategorien der Melder aus der Kategorie Typ B

Unterkategorie	Ansteuerung	Funktionen
B1	Relais	Dimmen nicht möglich
B2	DALI Broadcast	Dimmen möglich
B3	DALI(mit Adressierung)	Dimmen möglich
B4	KNX	Dimmen möglich

Für dieses Projekt wurden hauptsächlich Produkte ausgewählt, die dem Typ B2 entsprechen. Die Leuchten müssen sowohl an das Stromnetz als auch an den DALI-Bus angeschlossen werden. Die Busversorgungsspannung wird durch den Melder geliefert. Der Vorteil bei der Verwendung von DALI-Broadcast ist, dass die Leuchten nicht adressiert werden müssen. Die DALI-Befehle werden an alle Teilnehmer (Leuchten), die an dem Bus angeschlossen sind, gesendet. Somit erhalten alle Leuchten dieselben Befehle.

Die Adressierung der meisten Beleuchtungsanlagen erfolgt durch einen Spezialisten. Kann auf diese verzichtet werden, kann die Inbetriebnahme direkt vom Elektroinstallateur erfolgen.

Mit dem Typ B2 kann die Leuchte trotzdem gedimmt werden, was eine feinere Abstimmung an das Tageslicht erlaubt.

2.3 Analyse der Verkaufszahlen

Die Schweizer Licht Gesellschaft SLG hat die Mitglieder von SensNORM zu den Absatzzahlen 2021 von Sensoren für die Beleuchtung in der Schweiz befragt und die Ergebnisse analysiert. [15]



Abbildung 8: Anteile Beleuchtungssensoren in Innenräumen, nach Erhebung der SLG
Abbildung 9: Veranschaulichung Präsenzmelder mit Fremdlichterfassung (Quelle: Esylux)

In Innenräumen wurden knapp 305'000 Beleuchtungssensoren installiert. Davon waren 64.2% Bewegungsmelder und 35.4% Präsenzmelder. Lediglich 0.4% waren reine Tageslichtsensoren. Weiter wurden die Beleuchtungssensoren danach unterteilt, ob sie schaltend oder dimmend sind. Bei den Bewegungsmelder ist ein überwiegender Anteil von 96.8% schaltend und lediglich 3.2% sind dimmend. Von den verkauften Präsenzmelder sind gut die Hälfte dimmend (51.7%) und 48.3% schaltend. 78.4% der Tageslichtsensoren sind dimmend und 21.6% schaltend. Von allen im Jahr 2021 verkauften Beleuchtungssensoren entsprechen 18.3% dem in diesem Projekt untersuchten Typ (Präsenzmelder dimmend).

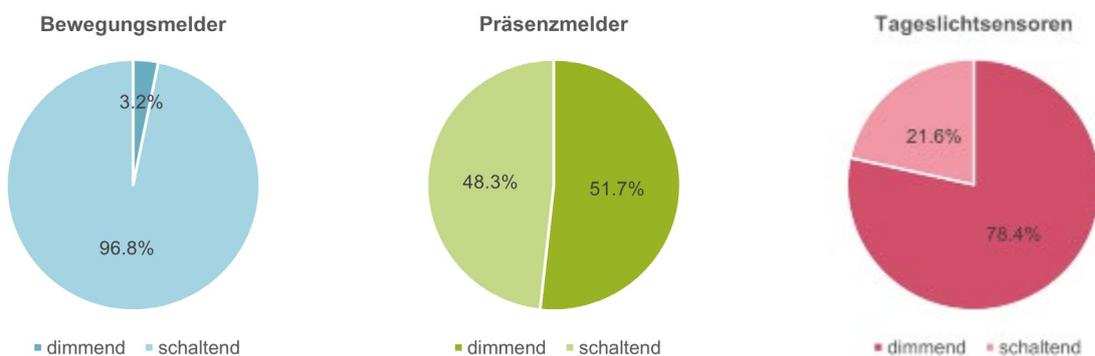


Abbildung 9: Aufteilung Beleuchtungssensoren in Innenräumen in dimmend und schaltend, nach Erhebung der SLG

Anzumerken ist jedoch der Umstand, dass die Verwendung der Begrifflichkeiten auf dem Markt sehr uneinheitlich erfolgt. So werden von einigen Herstellern Produkte als Präsenzmelder bezeichnet, welche die Funktionalität Bewegungs- und Präsenzerfassung (sehr kleine Bewegungen) und auch eine Fremdlichtmessung beinhalten.

Es werden jedoch auch Präsenzmelder ohne eine Fremdlichterfassung auf dem Markt angeboten.

Im Rahmen dieses Projektes wurden die Elektro-Grosshändler Otto Fischer AG und Elektro-Material AG um Auskunft über ihre je zehn meistverkauften Bewegungs- und Präsenzmelder im Jahr 2021 gebeten. Von den Bewegungsmeldern sind 8 von 10 Produkten bei beiden Händlern identisch. Keines dieser Produkte ist dimmend. Bei den meistverkauften Präsenzmeldern ist die Vielfalt grösser, nur 4 von 10 Produkten sind übereinstimmend. Von den 16 verschiedenen Präsenzmeldern sind fünf dimmend.

In Bezug auf alle verkauften Produkte gaben beide Händler eine Aufteilung von ca. 75% Bewegungs- und 25% Präsenzmelder an.

Eine Recherche bei Schweizer Baumärkten ergab, dass dort nur Bewegungsmelder vom Typ A verkauft werden. Möchte eine Privatperson einen Präsenzmelder vom Typ B installieren, so muss sich diese an einen Elektroinstallateur wenden, denn ohne einen Zugang zu einem Elektrogrosshändler ist es kaum möglich, einen Präsenzmelder zu erwerben.

Die Analyse der Verkaufszahlen lässt jedoch die Frage offen, welche der integrierten Funktionen auch wirklich in der Praxis genutzt werden.

2.4 Produkteauswahl

Für dieses Projekt wurden verschiedene Hersteller nach einem Produkt angefragt, das folgende Anforderungen erfüllt:

- **Präsenzmelder mit Fremdlicht-Erfassung zur Konstantlicht-Regelung** PM+FL-E>KL-R (Typ B) (Fremdlicht basiertes Auf- und Abdimmen der Beleuchtung) oder wenn Dimmung nicht möglich ist, dann Präsenzmelder mit Fremdlicht basierter Ein- und Ausschaltung der Beleuchtung PM+FL-E>EIN/AUS
- **All in one-Melder**
beinhaltet Sensorik zur Erfassung von Bewegung, Präsenz und Fremdlicht, Steuerungslogik, und Kommunikation (DALI)
- **DALI Broadcast**
Melder verwenden zur Kommunikation DALI-Broadcast, somit ist keine Adressierung notwendig
DALI Broadcast Deckenmontage
Die Melder werden an der Decke montiert bei diesem Projekt als auf Putz Version)
- **Standardprodukte**
Die ausgewählten Produkte haben eine hohe Verbreitung im Markt, es werden keine Nischenprodukte bzw. Geräte mit Sonderfunktionen)

Die getesteten Produkte stammen von den nachfolgend in alphabetischer Reihenfolge aufgelisteten Herstellern:

- A. Steffen AG Elektrohandel
- B.E.G. Brück Electronic GmbH⁵
- ESYLUX Swiss AG
- Feller AG
- LEDVANCE GmbH
- Niko Schweiz AG
- STEINEL Vertrieb GmbH
- Theben HTS AG⁵

Zwei Hersteller hatten kein passendes Produkt im Sortiment. Von diesen beiden wurde ein Produkt vom Typ A getestet. Somit hat man einen Vergleich zwischen einem Bewegungs- und Präsenzmelder. Den Herstellern wurde angeboten, der Inbetriebnahme im Messraum zu begleiten, um das Projektteam bei dieser zu unterstützen. Einige Hersteller haben diese Möglichkeit genutzt, andere nicht.

⁵ Hersteller bzw. Vertreter war bei Inbetriebnahme vor Ort

3. Versuchsaufbau

In der Recherche wurden zwei mögliche Herangehensweisen für eine Testumgebung aufgezeigt.

- a) Testumgebung im verkleinerten Massstab zur Erfassung von technischen Eigenschaften der Melder
- b) Testumgebung im realen Massstab als realer Raum zur Erfassung von technischen Eigenschaften der Melder und Einflussgrössen auf den Nutzerkomfort
- c)

Für die Untersuchung der Melder wurde die Verwendung eines realen Raumes ausgewählt, um eine möglichst hohe Übertragbarkeit auf die Praxis gewährleisten zu können. Um einheitliche und reproduzierbare Abläufe zu ermöglichen, wurde ein künstliches Fenster verwendet, welches den Verlauf des Tageslichtes simuliert. Innerhalb von Pre-Tests wurde eine Abfolge von unterschiedlichen Tageslichtsituationen entwickelt. Weiter wurden mittels der Pre-Tests Checklisten für die Installation, Inbetriebsetzung und für die Durchführung des Ablaufs erstellt. Diese gewährleisten eine einheitliche, reproduzierbare und nachfolgbare Durchführung der Versuche. So konnten Abweichungen und Schwierigkeiten, die Auswirkungen auf eine optimale Funktion der Melder besitzen, identifiziert und vermerkt werden.

Als Versuchsraum wurde, der für solche Projekte entwickelte, ProtoTyp-Raum auf dem Campus in Horw, der Hochschule Luzern verwendet. Dieser besitzt die Möglichkeit, die Raumhöhe, die Reflexionsgrade der Oberflächen, Möblierung, technische Installationen frei variieren bzw. anpassen zu können und ist mit den notwendigen lichtmesstechnischen Geräten ausgestattet.

In den nachfolgenden Unterkapiteln sind die einzelnen Bestandteile des Messaufbaus beschrieben.

3.1.1 Messraum

Der Versuchsraum besitzt eine Abmessung von $L \times B \times H = 6.5 \times 4.1 \times 2.8$ m und befindet sich auf dem Campus an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur in Horw.

An der einen kurzen Seite des Raumes befindet sich eine Fensterfront mit Südausrichtung. Vor dieser wurde das künstliche Fenster aufgebaut (siehe 3.1.2.) Der Raum ist mit einem aussenliegenden Rafflamellenstoren ausgestattet, welcher während der Versuche ganz geschlossen wurde, damit kein bzw. nur eine vernachlässigbare Menge ($E_m < 5 \text{ lx}$) an Tageslicht in den Raum dringen konnte.

Die Wände der langen Seiten des Raumes sind weiss gestrichen. Entlang aller vier Wänden gibt es eine durchgehende Vorhangschiene mit einem schwarzen, blickdichten Vorhang, mit dem in kürzester Zeit der Raum angepasst werden kann. Der Raum war während allen Tests mit vier hellgrauen Tischen ($L \times B \times H = 1.54 \times 0.8 \times 0.74$ cm) möbliert. Die Messwerte der Reflexionsgrade der Raumeinrichtung sind in Anhang 10.2 Messresultate Reflexionsgrade zu finden. Weiter sind im Anhang 10.3 Prinzipschema Messaufbau die einzelnen Komponenten sowie deren Verkabelung untereinander ersichtlich.

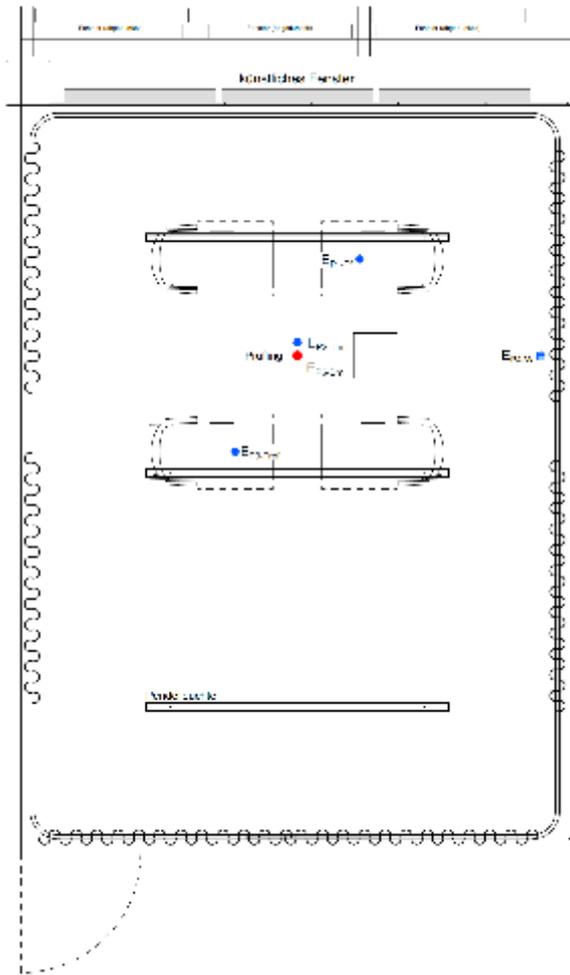


Abbildung 10: Grundriss des Messraumes, Abmessungen: 6 m x 4.4 m, Raumhöhe 2.8 m

Abkürzungen der einzelnen Messorte

- EP1-Tf Beleuchtungsstärke Tisch Fenster
- EP2-Tm Beleuchtungsstärke Tisch mitte
- EP3-Tref Beleuchtungsstärke Tisch Referenz
- EP4-W Beleuchtungsstärke Wand
- EP5-Dm Beleuchtungsstärke Decke mitte

Messhöhe Tisch $h_T=0.75$ m
 Messhöhe Wand $h^W=1.78$ m

3.1.2 Künstliches Fenster

Für die vorgesehenen Tests wird Tageslicht benötigt. Da aber das echte Tageslicht wetter- und zeitabhängig ist und nicht beeinflusst werden kann, ist keine Reproduzierbarkeit und Flexibilität gegeben. Deswegen wurde ein künstliches Fenster eingebaut, welches das Tageslicht simuliert. Damit besteht die Möglichkeit einen beliebigen Ablauf festzulegen, der jederzeit wiederholt werden kann. Somit herrschen bei allen Tests dieselben Bedingungen und die Resultate sind vergleichbar.



Abbildung 11: Detailaufnahme des künstlichen Fensters LED-Platine und Diffusor (Quelle: Hochschule Luzern)

1	2	3	13	14	15	25	26	27
4	5	6	16	17	18	28	29	30
7	8	9	19	20	21	31	32	33
10	11	12	22	23	24	34	35	36

Abbildung 12: Anordnung der LED-Platinen am künstlichen Fenster

Das künstliche Fenster besteht aus drei gleichen Elementen, die nebeneinander auf die Ablage vor das Fenster gestellt werden. Jedes Element misst 2.8 x 1.2 m und ist mit 12 LED-Platinen bestückt. Insgesamt ergibt das 36 LED-Platinen (siehe Abbildung 12).

Mit einem Abstand von 6 cm ist davor ein Diffusor angebracht (siehe Abbildung 11). Auf der Rückseite sind die Betriebsgeräte für die LED-Platinen befestigt.

Die LED-Platinen sind 38 x 38 cm gross und sind mit 11 x 11 LED bestückt. Diese erzeugen einen Lichtstrom von 5'000 lm. Jede LED-Platine kann über eine DALI-Schnittstelle einzeln angesteuert und gedimmt werden. Die Farbtemperatur der oberen zwei Reihen LED-Platinen beträgt 4'000 K, die der unteren zwei Reihen 3'000 K.

3.1.3 Steuerung des künstlichen Fenster



Abbildung 13: Oberfläche der frei erhältlichen Software masterCONFIGURATOR der Firma Tridonic GmbH & Co KG

Die einzelnen LED-Platinen des künstlichen Fensters werden über eine DALI-Schnittstelle angesteuert. Die Ansteuerung erfolgte über die Software masterCONFIGURATOR (Tridonic GmbH & Co KG).

In der Software wurde der Ablauf des künstlichen Fensters konfiguriert. Während eines Tests geht der masterCONFIGURATOR jeden Schritt des Ablaufs durch und sendet die entsprechenden Signale an die LED-Platinen. Der genaue Ablauf des künstlichen Fensters wird in Kapitel 3.2.2 näher beschrieben.

3.1.4 Pendelleuchten

Im Versuchsraum wurden drei Pendelleuchten als Testbeleuchtungsanlage verwendet. Es wurden Leuchten vom Typ Zumtobel LINCOR⁶ genutzt, welche eine rein direkte Lichtverteilung aufweisen, um mögliche Störungen bei der Fremdlichterfassung am untersuchten Melder zu vermeiden. Die Leuchten wurden auf Unterkante-Leuchte 2.55 m abgependelt. Die Positionen der Pendelleuchten im Messraum sind in Abbildung 10 ersichtlich, das Datenblatt ist im Anhang hinterlegt.



Abbildung 14: Pendelleuchte Zumtobel LINCOR, technische Daten gemäss Datenblatt (Quelle: Hochschule Luzern)

Technische Daten	Wert
Abmessung Leuchte LxBxH	2407 x 63 x 64 mm
Lichtquelle	LED
Leuchten Leistung	71 W
Standby Leistung	0.3 W
Farbtemperatur	3000 K
Leuchten Lichtstrom	8'420 lm
Leuchten Lichtausbeute	119 lm/W
Dimmbereich	1 – 100%
Farbwiedergabeindex.	>80

3.1.5 Photometerköpfe



Abbildung 15: Photometerkopf und A/D-Wandler
Quelle: Hochschule Luzern

Technische Daten	Wert
Typ Photometerkopf	Ph-St-C8
Hersteller	Czibula & Grundmann GmbH
Messbereich	0 – 75'000 lx

Die Beleuchtungsstärke im Messraum wird mit Photometermessköpfen gemessen. Insgesamt wurden fünf Messköpfe an verschiedenen Stellen im Raum platziert. Die Positionen sind in Abbildung 10 ersichtlich.

Die Messeinheit besteht aus einem Photometerkopf «Ph-St-C8» und einem Photostrom-Wandler «Ph-Amp-MB2-2xlout». Der Photometerkopf hat einen von 0 – 75'000 lx. [16]

Die Messwerte werden über das Gebäudeautomations-System DesigoCC der Firma Siemens ausgelesen und in einer Protokolldatei gespeichert.

⁶ Wir danken der Firma Zumtobel Schweiz AG für die kostenlosen zur Verfügung Stellung der Leuchten für das Projekt

3.1.6 Leistungsanalysator

Die Leistung der drei Pendelleuchten wird mit dem Leistungsanalysator «HMC 8015» von Rhode & Schwarz gemessen. Die Messdaten werden im 1-Sekunden-Schritt aufgezeichnet und auf einem USB-Stick abgespeichert. Anhand dieser Aufzeichnung wird der Energieverbrauch eines Testszenarios berechnet. Der Leistungsanalysator hat einen Leistungsmessbereich von 50 μ W bis 12 kW. Er zeichnet neben der Leistung auch den Strom, die Spannung und die Netzfrequenz auf. Diese Werte werden aber für die Auswertung nicht benötigt. [17]

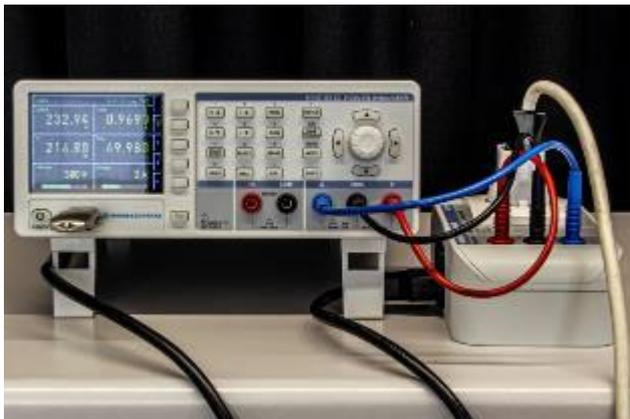


Abbildung 16: Leistungsanalysator HMC 8015 von Rhode & Schwarz

3.1.7 DALIMonitor

Der Sensor sendet den gewünschte Dimmlevel über den DALI-Bus an die Pendelleuchten. Damit diese Befehle nachvollzogen und analysiert werden können, werden sie mit der Software DALIMonitor von der Firma Tridonic GmbH & Co KG aufgezeichnet.

Im Messaufbau gibt es zwei getrennte DALI-Busse, einer für das künstliche Fenster und einer für den Sensor und die Pendelleuchten.

Auch der DALI-Bus vom künstlichen Fenster wird aufgezeichnet. So kann im Nachhinein noch kontrolliert werden, ob der Ablauf korrekt funktionierte und die richtigen Befehle an das künstliche Fenster gesendet worden sind.

Line #	Type	No. Data	Address	Command	Time	Comment
1	DAL	8000	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 0.00%	13.10.02.816	31.08.2022
2	DAL	8002	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 254.1000%	13.10.02.865	31.08.2022
3	DAL	8004	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 181.00%	13.10.02.888	31.08.2022
4	DAL	8006	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 243.00%	13.10.02.905	31.08.2022
5	DAL	8008	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 242.00%	13.10.02.918	31.08.2022
6	DAL	8010	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 242.00%	13.10.02.927	31.08.2022
7	DAL	8012	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 229.00%	13.10.02.934	31.08.2022
8	DAL	8014	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 236.00%	13.10.02.944	31.08.2022
9	DAL	8016	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 222.00%	13.10.02.959	31.08.2022
10	DAL	8018	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 229.00%	13.10.02.974	31.08.2022
11	DAL	8020	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 227.00%	13.10.02.985	31.08.2022
12	DAL	8022	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 221.00%	13.10.02.997	31.08.2022
13	DAL	8024	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 221.00%	13.10.03.007	31.08.2022
14	DAL	8026	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 218.00%	13.10.03.019	31.08.2022
15	DAL	8028	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 219.00%	13.10.03.036	31.08.2022
16	DAL	8030	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 216.00%	13.10.03.053	31.08.2022
17	DAL	8032	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 208.00%	13.10.03.077	31.08.2022
18	DAL	8034	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 205.00%	13.10.03.103	31.08.2022
19	DAL	8036	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 204.00%	13.10.03.138	31.08.2022
20	DAL	8038	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 203.00%	13.10.03.145	31.08.2022
21	DAL	8040	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 197.00%	13.10.03.173	31.08.2022
22	DAL	8042	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 181.00%	13.10.03.197	31.08.2022
23	DAL	8044	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 181.00%	13.10.03.262	31.08.2022
24	DAL	8046	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 186.00%	13.10.03.275	31.08.2022
25	DAL	8048	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 185.00%	13.10.03.282	31.08.2022
26	DAL	8050	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 182.00%	13.10.03.292	31.08.2022
27	DAL	8052	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 179.00%	13.10.03.302	31.08.2022
28	DAL	8054	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 176.00%	13.10.03.312	31.08.2022
29	DAL	8056	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 175.00%	13.10.03.322	31.08.2022
30	DAL	8058	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 173.00%	13.10.03.363	31.08.2022
31	DAL	8060	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 181.00%	13.10.03.382	31.08.2022
32	DAL	8062	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 164.00%	13.10.03.393	31.08.2022
33	DAL	8064	00	DIRECT AEC POWER (DALC) 181.00%	13.10.03.408	31.08.2022

Abbildung 17: Software DALIMonitor

3.1.8 Bewegungssimulation

In diesen Tests wurde die Bewegungserfassung zwar nicht berücksichtigt, trotzdem musste sichergestellt werden, dass der Sensor nicht aufgrund von nicht vorhandener Bewegung die Beleuchtung ausschaltete. Obwohl sich während des Tests immer eine Person im Messraum befand, konnte diese nicht dafür sorgen, dass der Sensor genügend Bewegungen erfasst. Einerseits durfte die Messung der Photometerköpfe nicht durch allfällige Verschattungen durch die Person beeinflusst werden und andererseits wäre eine Bewegungssimulation durch eine Person zu wenig zuverlässig.

Am geeignetsten für die Bewegungssimulation ist eine Wärmequelle, die sich konstant im Kreis bewegt und die unterhalb des Sensors aufgestellt werden kann, ohne dass die Photometerköpfe beeinflusst werden (durch Verschattung oder Fremdlicht). Auf einem elektrisch angetriebenen drehbaren Teller wurde eine elektrische Wärmequelle gelegt.

3.1.9 Ablauf und Installation

Die zu testenden Produkte werden nacheinander in den Messaufbau eingebaut, getestet und wieder ausgebaut. Jedes Produkt wird in vier unterschiedlichen Testszenarien geprüft. Diese Testszenarien unterscheiden sich in der Raumeinrichtung und den Einstellungen am Produkt. In Kapitel 3.2.1 Testszenarien sind sie ausführlich beschrieben.

Der Messablauf ist immer derselbe. Mit einem künstlichen Fenster wird das Tageslicht simuliert. Dies ermöglicht einen immer gleichen und reproduzierbaren Ablauf. Der Messablauf ist in Kapitel 3.2.2 Ablauf des künstlichen Fensters erläutert.

3.1.10 Flicker als Störgrösse

Der Ablauf des künstlichen Fensters wurde nach ersten Testmessungen optimiert. Dabei wurden Flickermessungen am künstlichen Fenster und den Pendelleuchten durchgeführt. Zudem wurde die Leistungskennlinie der Pendelleuchten aufgezeichnet.

Bei diesen Testmessungen wurde festgestellt, dass sowohl die Betriebsgeräte des künstlichen Fensters, als auch die Pendelleuchten ein Flickerproblem aufwiesen. Da der Einfluss von Flicker auf die Präsenzmelder nicht bekannt bzw. von den Herstellern nicht ausgeschlossen werden konnte, wurde entschieden die Betriebsgeräte des künstlichen Fensters und die Pendelleuchten auszutauschen.

Im nachfolgenden Diagramm sind die Flickermessungen von den alten und den neuen Betriebsgeräten des künstlichen Fensters dargestellt.

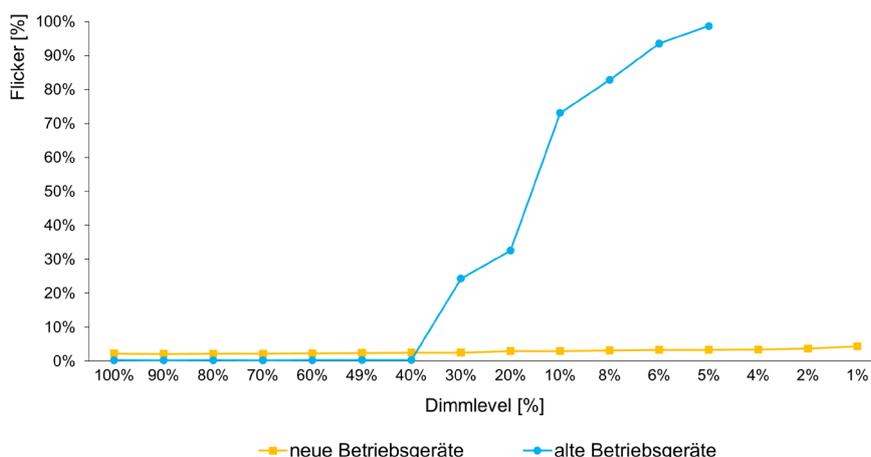


Abbildung 18: Flickermessung am künstlichen Fenster - Vergleich der neuen und alten Betriebsgeräte

Die ursprünglichen Pendelleuchten hatten einen minimalen Dimmlevel von 10 Prozent. Bei den grundlegenden Messungen wurde weiterhin festgestellt, dass der minimale Dimmlevel direkten Einfluss auf den Elektrizitätsverbrauch hat. Speziell wenn die Melder die Leuchten herunterdimmen, verbleiben die Leuchten noch über einen längeren Zeitraum auf dem minimalen Dimmlevel bevor diese abschalten. Je öfter sich Leuchten in dem minimalen Dimmlevel befinden, umso grösser ist auch der Energieverbrauch. Des Weiteren wird von den Nutzenden das Abschalten bei 10 Prozent Licht deutlich stärker wahrgenommen als von einem Prozent und führt voraussichtlich zu weniger Störungen.

Bei der Auswahl der neuen Pendelleuchten wurde daher darauf geachtet, dass die Treiber neben einer Konstant-Strom-Dimmung einen minimale Dimmlevel von einem Prozent aufwiesen.

Die Unterschiede zwischen den beiden minimalen Dimmlevel ein und 10% ist Abbildung 23 dargestellt.

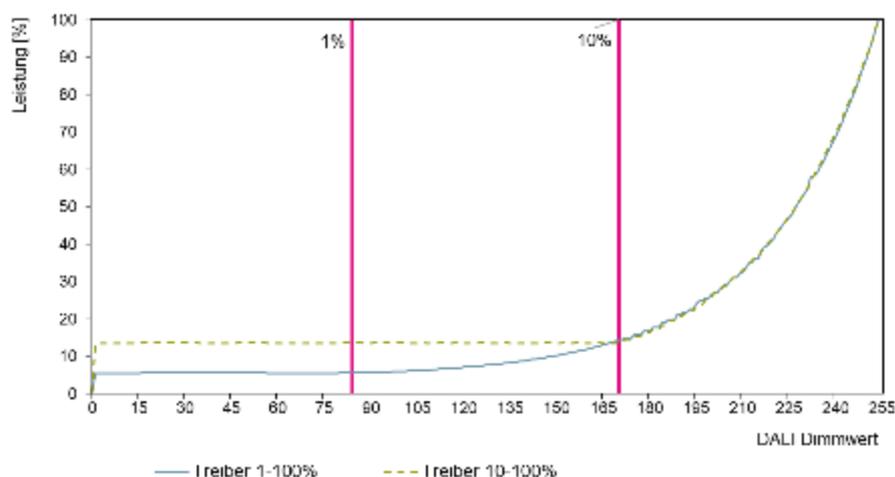


Abbildung 19: Leistungskennlinien Pendelleuchten

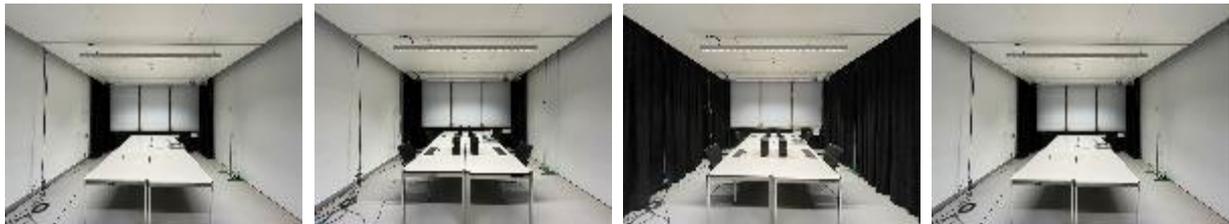
Ein weiterer Nachteil bei Treibern mit einem minimalen Dimmlevel von 10 Prozent, besteht in der logarithmischen Dimmkurve, welche berücksichtigt, dass das menschliche visuelle System Helligkeitsunterschiede in unteren Bereichen stärker wahrnimmt als in höheren Bereichen. Daher werden 84 der 255 DALI Stufen nur für den Dimmbereich Null bis ein Prozent Licht benötigt. Für den Dimmbereich Null bis 10 Prozent Licht werden 170 der 255 Stufen benötigt. Für 10 bis 100 Prozent Licht bleiben somit 84 Stufen übrig. Die Steuerungslogik der Melder sendet die DALI-Signale in einem vordefinierten Zeitabstand. Ist der Zeitabstand zum Beispiel mit einer Sekunde angegeben, vergehen 84 Sekunden bis sich bei der Leuchte ein Prozent Licht eingestellt bzw. 170 Sekunden bis 10 Prozent Licht eingestellt haben.

Die Dimmgeschwindigkeit und minimaler Dimmlevel haben sowohl Einfluss auf die Energieeffizienz als auch auf den Nutzerkomfort z.B. eine zu lange Wartezeit bei vollkommener Dunkelheit bis der Melder das Licht hochdimmt, ist für den Nutzer unangenehm bzw. wird nicht akzeptiert.

3.2 Messablauf

3.2.1 Testszzenarien

Mit jedem Produkt werden vier Testszzenarien durchgeführt. In den ersten drei Testszzenarien wird nichts am Produkt eingestellt, es wird in den Werkseinstellungen belassen, sofern dies möglich ist. Im Messraum wird aber die Einrichtung verändert. Im vierten TestszENARIO wird das Produkt manuell eingestellt. Der Messraum befindet sich im selben Zustand wie im TestszENARIO 1.



Szenario 1

Wände hell mit Tischen (hell)

Werkseinstellung

Szenario 2

Wände hell mit Tischen (hell) und

Stühlen, Monitor, Tastatur (schwarz)

Werkseinstellung

Szenario 3

Wände dunkel mit Tischen (hell) und

Stühlen, Monitor, Tastatur (schwarz)

Werkseinstellung

Szenario 4

Wände hell mit Tischen (hell)

Einstellung mit

Beleuchtungsstärkemessgerät
(Manuelle Einstellung)

Abbildung 20 Möblierungsveränderungen bei Szenario 1-4

Die Grundeinrichtung des Messraumes, wie sie in Kapitel 3.1.1 beschrieben ist, ist bei allen Testszzenarien gleich. Auf den nachfolgenden Seiten sind die Details zu den vier Testszzenarien aufgeführt.

Testszenario 1

In der Praxis werden die Melder oft nicht eingestellt und die Räume sind bei der Inbetriebnahme der Beleuchtungsanlage noch nicht fertig möbliert. Diese Situation soll das erste Testszenario abbilden.

Wände und Vorhänge:	Weisse Wände, zwei Vorhänge an der Wand bei der Türe und je einer links und rechts vom Fenster
Stühle:	Keine
Bildschirme und Tastaturen:	Keine
Einstellung am Produkt:	Werkseinstellung



Abbildung 21: Raumsituation Testszenario 1
Quelle: Hochschule Luzern

Testszenario 2

Das Testszenario 2 baut auf dem Ersten auf. Hier wird jedoch davon ausgegangen, dass der Raum fertig eingerichtet ist. Dieses Szenario soll aufzeigen, welchen Einfluss ein paar Stühle, Bildschirme und Tastaturen haben können.

Wände und Vorhänge:	Weisse Wände, zwei Vorhänge an der Wand bei der Türe und je einer links und rechts vom Fenster
Stühle:	4 schwarze Stühle, an jedem Tisch ein Stuhl
Bildschirme und Tastaturen:	Je eine Bildschirm- und eine Tastatur-Attrappe pro Tisch
Einstellung am Produkt:	Werkseinstellung

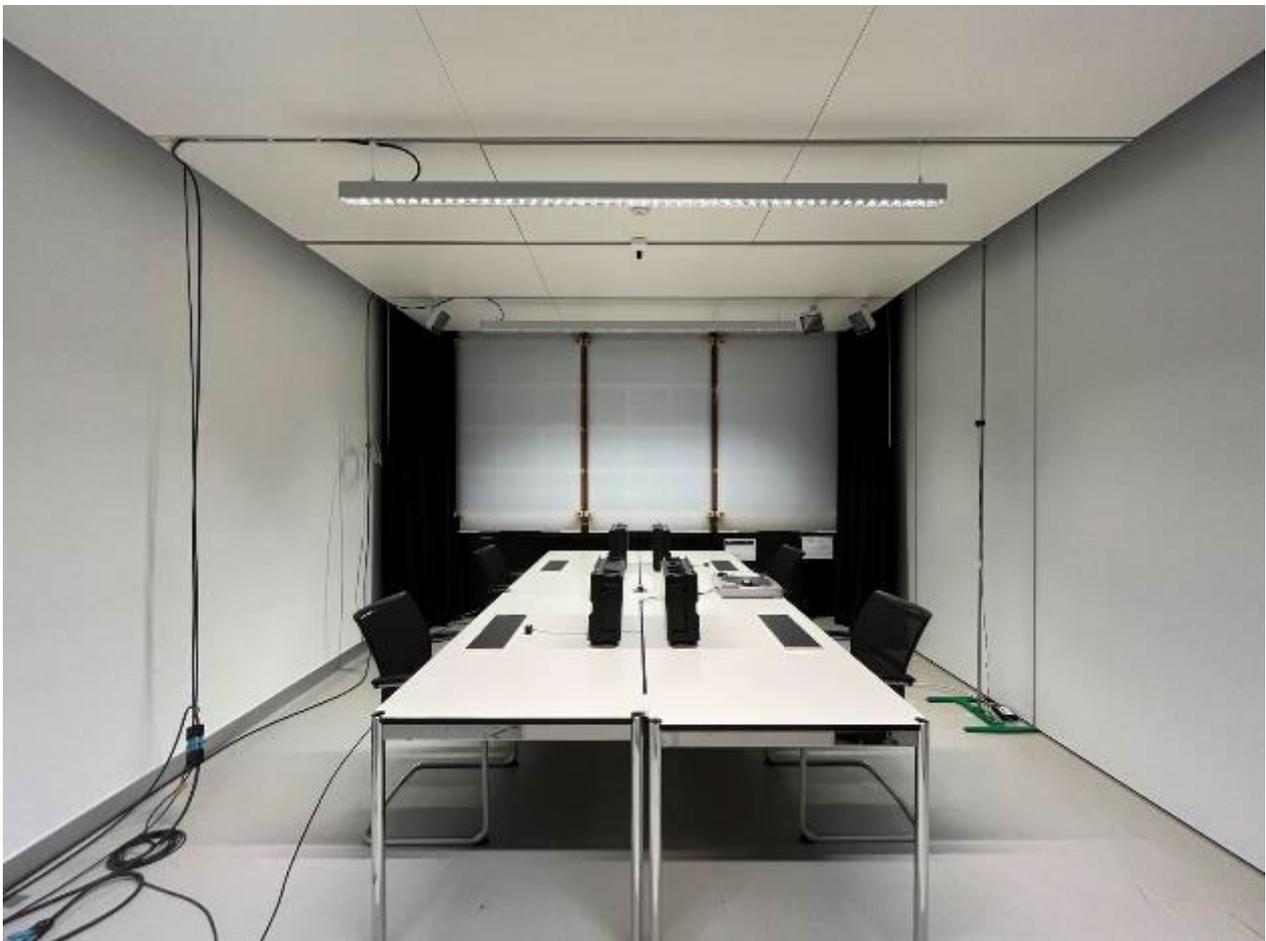


Abbildung 22: Raumsituation Testszenario 2
Quelle: Hochschule Luzern

Testszenario 3

Der Unterschied von diesem Testszenario zum Vorherigen sind die schwarzen Wände. Mit diesem Szenario wird ersichtlich, welchen Unterschied es macht, wenn die Wände dunkel gestrichen werden. Hier mit dem Extrembeispiel von schwarzer Farbe.

Wände und Vorhänge: schwarze Wände,
Vorhänge vor allen Wänden gezogen

Stühle: 4 schwarze Stühle, an jedem Tisch ein Stuhl

Bildschirme und Tastaturen: Je eine Bildschirm- und eine Tastatur-Attrappe pro Tisch

Einstellung am Produkt: Werkseinstellung



Abbildung 23: Raumsituation Testszenario 3
Quelle: Hochschule Luzern

Testszenario 4

Im Testszenario 4 ist der Messraum gleich eingerichtet wie im ersten Szenario. Hier wird aber der Melder manuell auf den Raum eingestellt. So wie es auch in der Praxis idealerweise sein sollte.

Wände und Vorhänge:	Weisse Wände, zwei Vorhänge an der Wand bei der Türe und je einer links und rechts vom Fenster
Stühle:	Keine
Bildschirme und Tastaturen:	Keine
Einstellung am Produkt:	Einjustierung mit Beleuchtungsstärkemessgerät auf 600 lx am Referenzarbeitsplatz (an Messpunkt 3, auf Tisch vorne links in Abbildung 24)



Abbildung 24: Raumsituation Testszenario 4
Quelle: Hochschule Luzern

3.2.2 Ablauf des künstlichen Fensters

Der Ablauf des künstlichen Fensters ist in 5 unterschiedliche Phasen aufgeteilt und wurde in Absprache mit der Begleitgruppe definiert. Jede Phase stellt eine andere Situation dar, welche zur Prüfung unterschiedlichen Verhaltensmuster der Melder verwendet wird.

Tabelle 6: Übersicht über die Phasen des Ablaufs des künstlichen Fensters

Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5
Ausschaltdauer	Sonnenaufgang	Stören	Schäfchenwolken	Sonnenuntergang
12 Min	3 Min 54 s	5 Min 11 s	12 Min 32 s	3 Min 55 s

Insgesamt dauert der Ablauf des künstlichen Fensters und somit auch ein Test 37 Min 32 s.

In Abbildung 25 ist die Beleuchtungsstärke dargestellt, die das künstliche Fenster während des Ablaufs erzeugt. Gemessen wurde am Referenzarbeitsplatz (Messpunkt 3) und mit den drei unterschiedlichen Raumeinrichtungen aus den Testszenarien.

Hier zeigt sich deutlich der Einfluss, der die Einrichtung auf die Beleuchtungsstärke im Raum hat. In Szenario 1 und 2 hat der Raum weisse Wände. In Szenario 3 sind die Wände hingegen schwarz. Im Vergleich zu Szenario 1 ist die Beleuchtungsstärke 30% niedriger.

Bereits das Hinzufügen von Stühlen, Bildschirmen und Tastaturen hat eine Verminderung von 7% zur Folge (Vergleich Szenario 1 und 2)

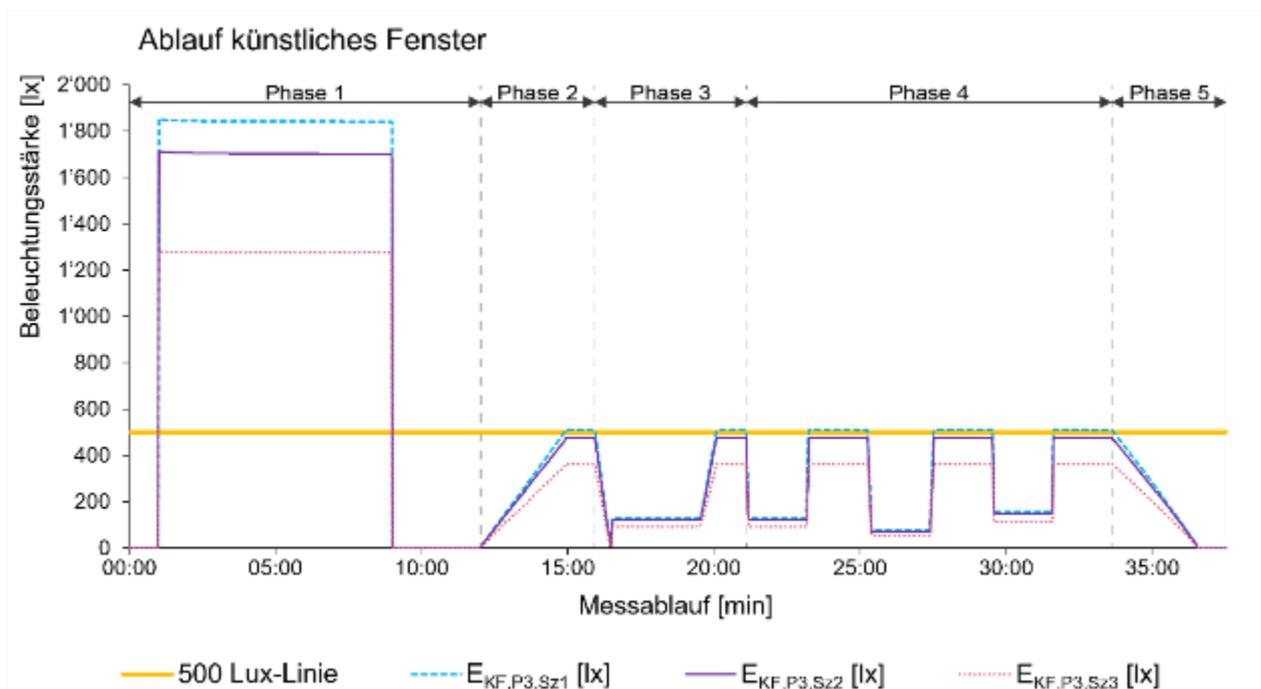


Abbildung 25: künstliches Fenster - gesamter Ablauf

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3,Sz1}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 1

$E_{KF,P3,Sz2}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 2

$E_{KF,P3,Sz3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 3

Nachfolgend sind die einzelnen Phasen detailliert beschrieben.

Phase 1 - Ausschaltdauer

- Ziel:
- Herausfinden, wie lange es dauert, bis der Melder die Beleuchtung ausschaltet, wenn genügend Tageslicht vorhanden ist
 - LED-Platinen des künstlichen Fensters einbrennen

Dauer: 12 min

Angesteuerte LED-Platinen:

1	2	3	13	14	15	25	26	27
4	5	6	16	17	18	28	29	30
7	8	9	19	20	21	31	32	33
10	11	12	22	23	24	34	35	36

Abbildung 26: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 1

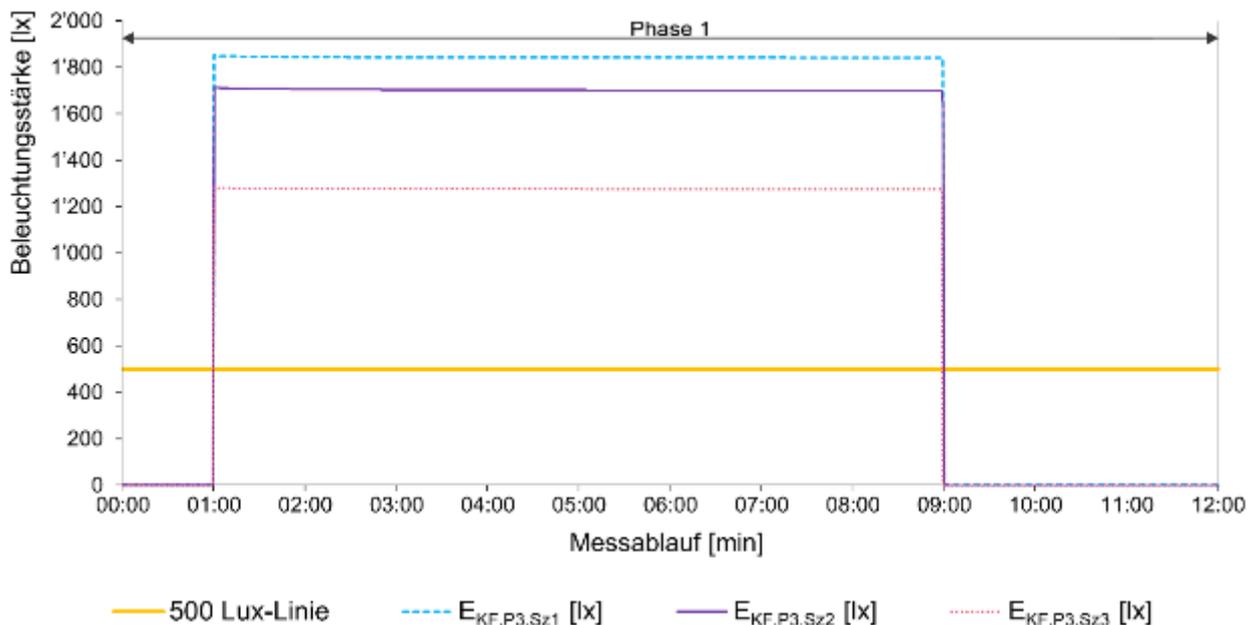


Abbildung 27: künstliches Fenster - Ablauf Phase 1

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3,Sz1}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 1

$E_{KF,P3,Sz2}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 2

$E_{KF,P3,Sz3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 3

Tabelle 7: Ablauf der Phase 1 im Detail

Zeit-spanne	Dauer	Dargestellte Situation	Verhalten künstliches Fenster	Erwartung an Melder bzw. Beleuchtung
00:00 – 00:59	60 s	Im Raum ist es dunkel. Es ist kein Tageslicht vorhanden.	Das künstliche Fenster ist ausgeschaltet. Alle LED-Platinen sind auf 0%.	Die Beleuchtung soll rasch einschalten, da es sonst dunkel ist.
01:00 – 08:59	480 s	Im Raum ist es hell. Es ist sehr viel Tageslicht vorhanden.	Alle LED-Platinen sind auf 100%.	Die Beleuchtung wird nicht mehr benötigt, da genügend Tageslicht vorhanden ist. Die Beleuchtung soll heruntergedimmt und dann ganz ausgeschaltet werden.
09:00 – 11:59	180 s	Im Raum ist es dunkel. Es ist kein Tageslicht vorhanden.	Alle LED-Platinen sind auf 0%.	Die Beleuchtung soll rasch einschalten, da es sonst dunkel ist.

Phase 2 - Sonnenaufgang

Ziel: Reaktion des Melders auf einen langsam immer heller werdenden Raum erfassen

Dauer: 3 min 54 s

Angesteuerte LED-Platinen:

1	2	3	13	14	15	25	26	27
4	5	6	16	17	18	28	29	30
7	8	9	19	20	21	31	32	33
10	11	12	22	23	24	34	35	36

Abbildung 28: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 2

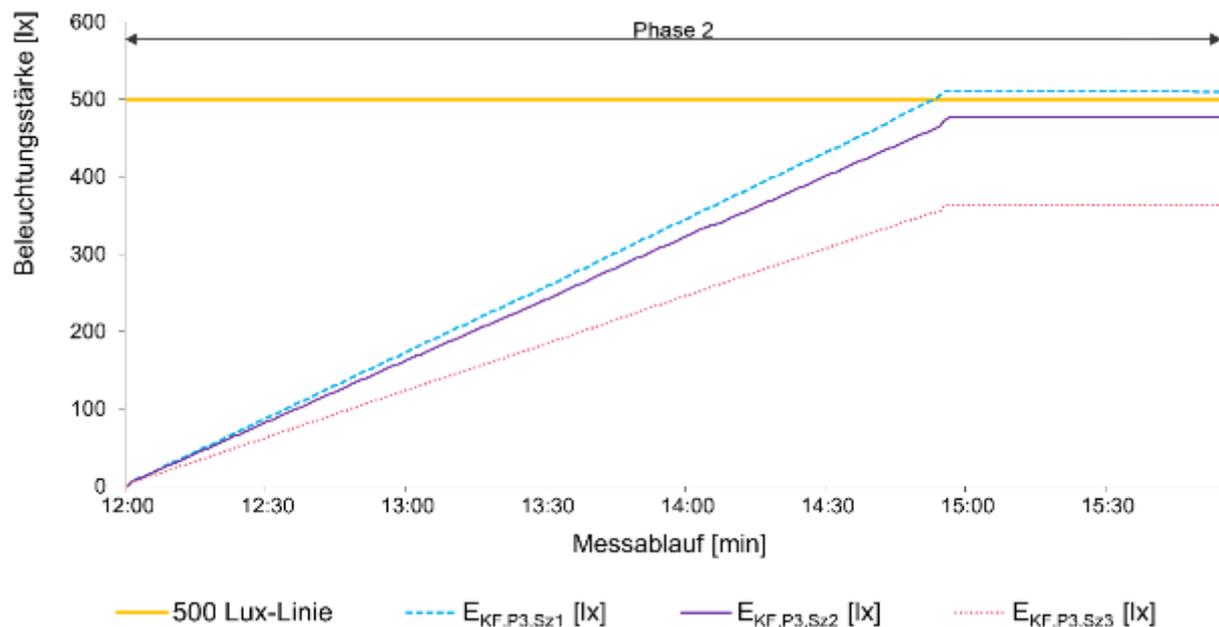


Abbildung 29: künstliches Fenster - Ablauf Phase 2

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3,Sz1}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 1

$E_{KF,P3,Sz2}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 2

$E_{KF,P3,Sz3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 3

Tabelle 8: Ablauf der Phase 2 im Detail

Zeit-spanne	Dauer	Dargestellte Situation	Verhalten künstliches Fenster	Erwartung an Melder bzw. Beleuchtung
12:00 – 14:54	174 s	Die Sonne geht auf.	Die neun angesteuerten LED-Platinen dimmen kontinuierlich von 0% auf 100%.	Die Beleuchtung sollte von Phase 1 noch eingeschaltet sein. Sie soll nun langsam herunterdimmen, entgegen der aufgehenden Sonne.
14:55 – 15:54	60 s	Die Sonne ist aufgegangen und das Licht im Raum bleibt konstant.	Die LED-Platinen bleiben auf 100%.	Die Beleuchtung soll sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.

Phase 3 - Storen

Ziel: Reaktion des Melders auf das Runter- und Hochfahren einer Lamellenstore erfassen

Dauer: 5 min 11 s

Angesteuerte LED-Platinen:

1	2	3	13	14	15	25	26	27
4	5	6	16	17	18	28	29	30
7	8	9	19	20	21	31	32	33
10	11	12	22	23	24	34	35	36

Abbildung 30: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 3

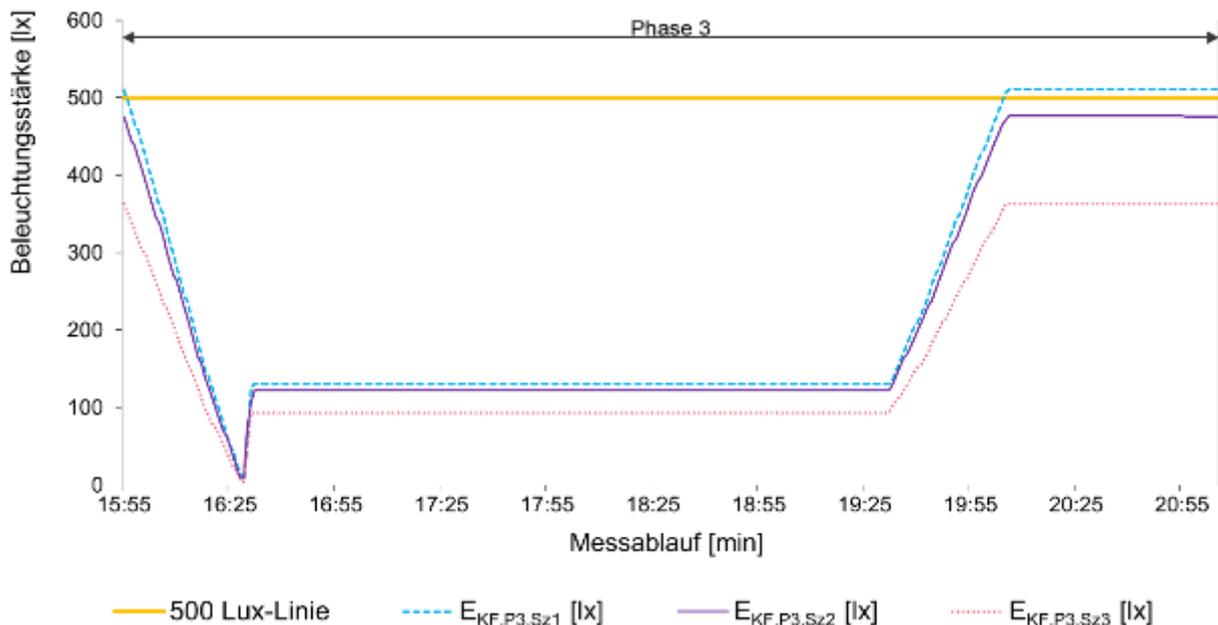


Abbildung 31: künstliches Fenster - Ablauf Phase 3

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3,Sz1}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 1

$E_{KF,P3,Sz2}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 2

$E_{KF,P3,Sz3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 3

Zeit-spanne	Dauer	Dargestellte Situation	Verhalten künstliches Fenster	Erwartung an Melder bzw. Beleuchtung
15:55 – 16:29	35 s	Die Sonne scheint und die Storen fahren unter. Die Lamellen sind dabei in der vertikalen Position.	Die neun angesteuerten LED-Platinen dimmen kontinuierlich von 100% auf 1%.	Die Beleuchtung soll entgegen dem dunkler werdenden Raum hochgedimmt werden.
16:30 – 16:31	2 s	Unten angekommen werden die Lamellen horizontal gestellt.	Die LED-Platinen fahren von 1% auf 25% hoch.	Die Beleuchtung soll entgegen dem heller werdenden Raum runtergedimmt werden.
16:32 – 19:31	180 s	Die Lamellen bleiben in der horizontalen Position.	Die LED-Platinen bleiben auf 25%.	Die Beleuchtung soll sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.
19:32 – 20:05	34 s	Die Storen fahren hoch. Die Lamellen bleiben horizontal.	Die LED-Platinen dimmen kontinuierlich von 25% auf 100%.	Die Beleuchtung soll entgegen dem heller werdenden Raum runtergedimmt werden.
20:06 – 21:05	60 s	Die Storen sind oben und das Tageslicht fällt ungehindert in den Raum.	Die LED-Platinen bleiben auf 100%.	Die Beleuchtung soll sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.

Tabelle 9: Ablauf der Phase 3 im Detail

Phase 4 - Schäfchenwolken

Ziel: Reaktion des Melders auf eine ständig wechselnde Lichtsituation erfassen

Dauer: 12 min 32 s

Angesteuerte LED-Platinen:

1	2	3	13	14	15	25	26	27
4	5	6	16	17	18	28	29	30
7	8	9	19	20	21	31	32	33
10	11	12	22	23	24	34	35	36

Abbildung 32: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 4

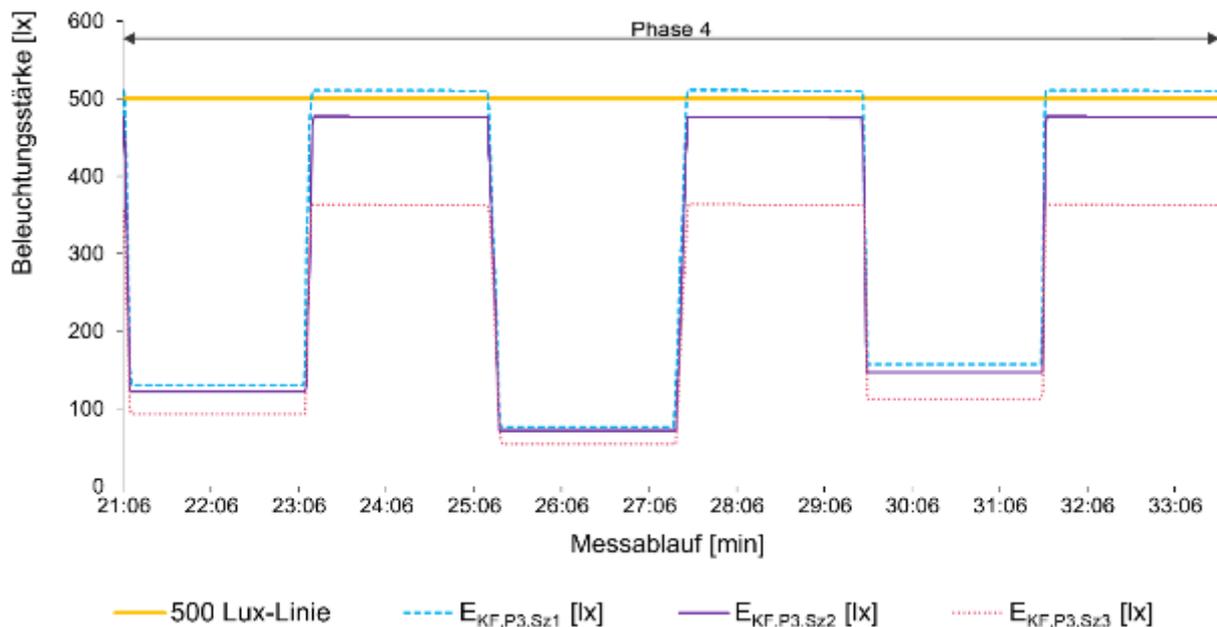


Abbildung 33: künstliches Fenster - Ablauf Phase 4

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden
 $E_{KF,P3,Sz1}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 1
 $E_{KF,P3,Sz2}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 2
 $E_{KF,P3,Sz3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 3

Zeit-spanne	Dauer	Dargestellte Situation	Verhalten künstliches Fenster	Erwartung an Melder bzw. Beleuchtung
21:06 – 23:10	125 s	Erste Wolke verdeckt die Sonne.	Die neun angesteuerten LED-Platinen dimmen in 4 s von 100% auf 25% und bleiben auf diesem Wert.	Die Beleuchtung soll hochgedimmt werden und sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.
23:11 – 25:15	125 s	Erste Wolke zieht weiter und verdeckt die Sonne nicht mehr.	Die LED-Platinen fahren in 4 s von 25% auf 100% und bleiben auf 100%.	Die Beleuchtung soll runtergedimmt werden und sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.
25:16 – 27:23	128 s	Zweite Wolke verdeckt die Sonne.	Die LED-Platinen dimmen in 8 s von 100% auf 15% und bleiben auf 15%	Die Beleuchtung soll hochgedimmt werden und sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.
27:24 – 29:31	128 s	Zweite Wolke zieht weiter und verdeckt die Sonne nicht mehr.	Die LED-Platinen fahren in 8 s von 15% auf 100% und bleiben auf 100%.	Die Beleuchtung soll runtergedimmt werden und sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.
29:32 – 31:34	123 s	Dritte Wolke verdeckt die Sonne.	Die LED-Platinen dimmen in 2 s von 100% auf 30% und bleiben auf 30%.	Die Beleuchtung soll hochgedimmt werden und sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.
31:35 – 33:37	123 s	Dritte Wolke zieht weiter und verdeckt die Sonne nicht mehr.	Die LED-Platinen fahren in 2 s von 30% auf 100% und bleiben auf 100%.	Die Beleuchtung soll runtergedimmt werden und sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.

Tabelle 10: Ablauf der Phase 4 im Detail

Phase 5 - Sonnenuntergang

Ziel: Reaktion des Melders auf einen langsam immer dunkler werdenden Raum erfassen

Dauer: 3 min 55 s

Angesteuerte LED-Platinen:

1	2	3	13	14	15	25	26	27
4	5	6	16	17	18	28	29	30
7	8	9	19	20	21	31	32	33
10	11	12	22	23	24	34	35	36

Abbildung 34: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 5

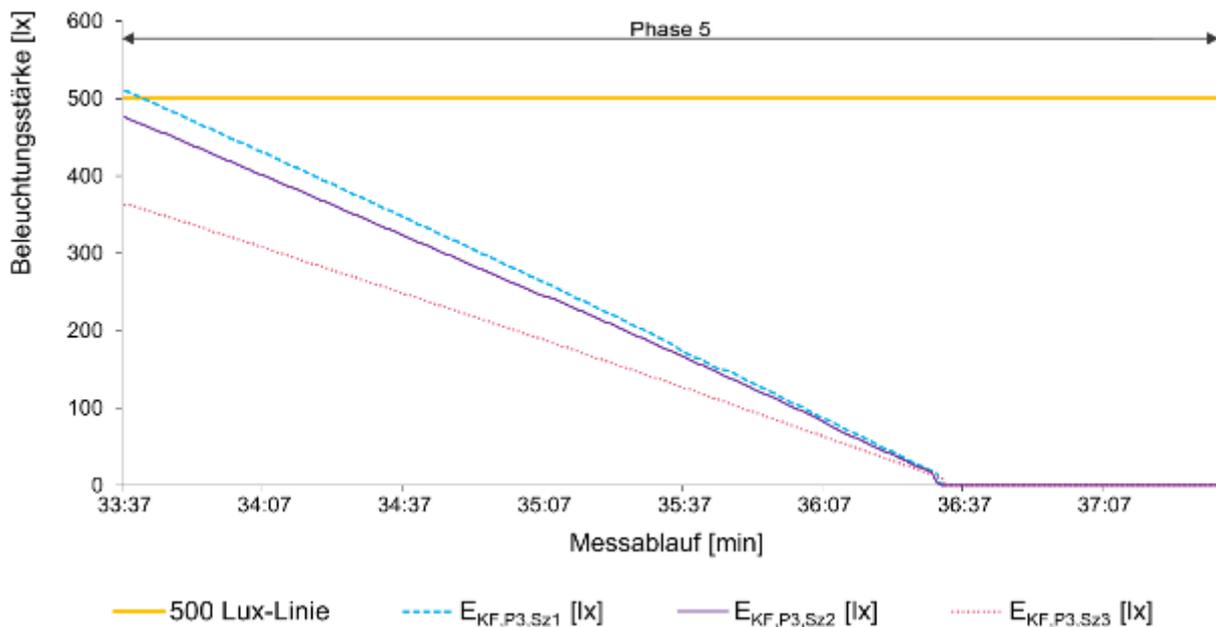


Abbildung 35: künstliches Fenster - Ablauf Phase 5

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3,Sz1}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 1

$E_{KF,P3,Sz2}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 2

$E_{KF,P3,Sz3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird, während Testszenario 3

Zeit-spanne	Dauer	Dargestellte Situation	Verhalten künstliches Fenster	Erwartung an Melder bzw. Beleuchtung
33:37 – 36:31	175 s	Die Sonne geht unter.	Die neun angesteuerten LED-Platinen dimmen kontinuierlich von 100% auf 0%.	Die Beleuchtung soll langsam hochdimmen, entgegen der untergehenden Sonne
36:32 – 37:31	60 s	Die Sonne ist untergegangen und es ist dunkel im Raum.	Die LED-Platinen bleiben auf 0%.	Die Beleuchtung soll sich auf dem notwendigen Niveau einpendeln.

Tabelle 11: Ablauf der Phase 5 im Detail

4. Resultate

Im ersten Teil dieses Kapitels werden die Grundlagen zur Auswertung erläutert. Dabei wird erklärt was bewertet und wie vorgegangen wurde. Dann folgt eine allgemeine Auswertung, bei der die einzelnen Produkte miteinander verglichen werden.

4.1 Grundlagen Auswertung

4.1.1 Optimaler Ablauf

Beim optimalen Ablauf wird davon ausgegangen, dass die Beleuchtungsstärke an Messpunkt 3 während des gesamten Ablaufs exakt bei 600 lx liegt. Das künstliche Fenster liefert eine bestimmte Beleuchtungsstärke. Diese ist in blau dargestellt. Für die Pendelleuchten wird der Dimmlevel so gewählt, dass sie die Differenz der Beleuchtungsstärke zum künstlichen Fenster liefern (rote Fläche), sofern diese nicht bereits über 600 lx liegt. Aufgrund dieses Dimmlevels wird die notwendige Leistung bestimmt. Daraus wird der Energieverbrauch während des gesamten Ablaufs berechnet.

Die Werte des optimalen Ablaufs sind theoretisch und berechnet. In der Realität sind diese Werte nicht erreichbar.

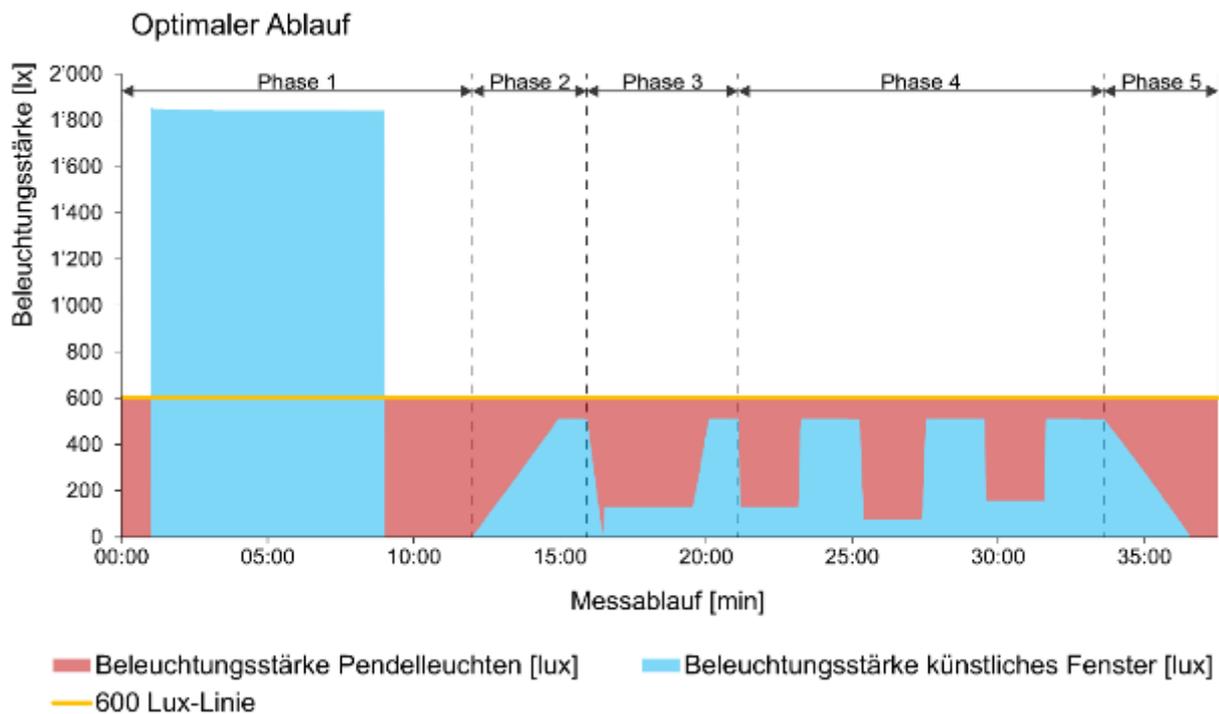


Abbildung 36 optimaler Ablauf Testszenario 1

Die Beleuchtungsstärke des künstlichen Fensters an Messpunkt 3 ist abhängig von der Raumeinrichtung, die sich in den Testszenarien 1 bis 3 unterscheidet. Testszenario 1 und 4 verwenden dieselbe Raumeinrichtung. Deshalb wurde für die Testszenarien 1 bis 3 je ein eigener optimaler Ablauf erstellt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Energieverbräuche der einzelnen Testszenarien aufgeführt.

Tabelle 12: Energieverbrauch optimaler Ablauf der Testszenarien 1 bis 3

Testszenario	Energieverbrauch optimaler Ablauf
Testszenario 1 und 4	27.6 Wh
Testszenario 2	29.4 Wh
Testszenario 3	33.7 Wh

4.1.2 Bewertungskriterien

Damit die Resultate der einzelnen Tests miteinander verglichen werden können, wurden unterschiedliche Bewertungskriterien festgelegt. Einige dieser Kriterien sind berechnete Werte, andere werden aus den Aufzeichnungen abgelesen und wieder andere beruhen auf den Erfahrungen vor und während des Tests. Jedes Testszenario wird mit diesen Bewertungskriterien separat bewertet.

Energieverbrauch gesamter Ablauf

Der Energieverbrauch der Beleuchtung (Pendelleuchten) im Messaufbau, der während des gesamten Ablaufs gemessen wurde. In Abbildung 37: Erklär-Diagramm Energieverbrauch gesamter Ablauf entspricht dies der blauen Fläche. Angegeben wird der Energieverbrauch in Wattstunden (Wh).

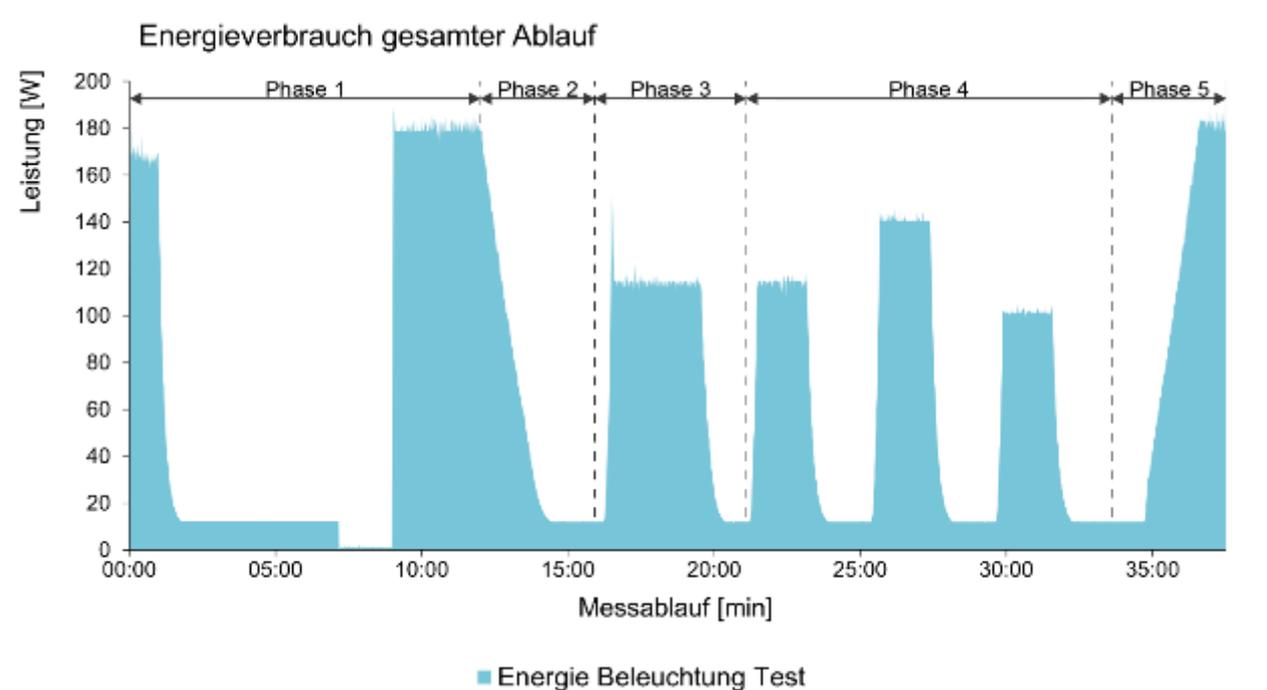


Abbildung 37: Erklär-Diagramm Energieverbrauch gesamter Ablauf

Mehrverbrauch bzw. Energieeinsparung gegenüber eines optimalen Präsenzmelders

Der Energieverbrauch des jeweiligen Meldertests wird mit dem Energieverbrauch des optimalen Verlaufs verglichen. Die blaue und grüne Fläche aus Abbildung 38 werden miteinander verglichen, wobei die grüne Fläche 100% entspricht. Angegeben wird der Mehrverbrauch bzw. die Energieeinsparung in Prozent.

$$p_{E_{BT}/Bo} = \frac{E_{BT} * 100}{E_{Bo}} - 100$$

Bei einem positiven Wert von p_E liegt ein Mehrverbrauch an Energie vor, bei einem negativen Wert eine Energieeinsparung, der Wert wird in Prozent angegeben

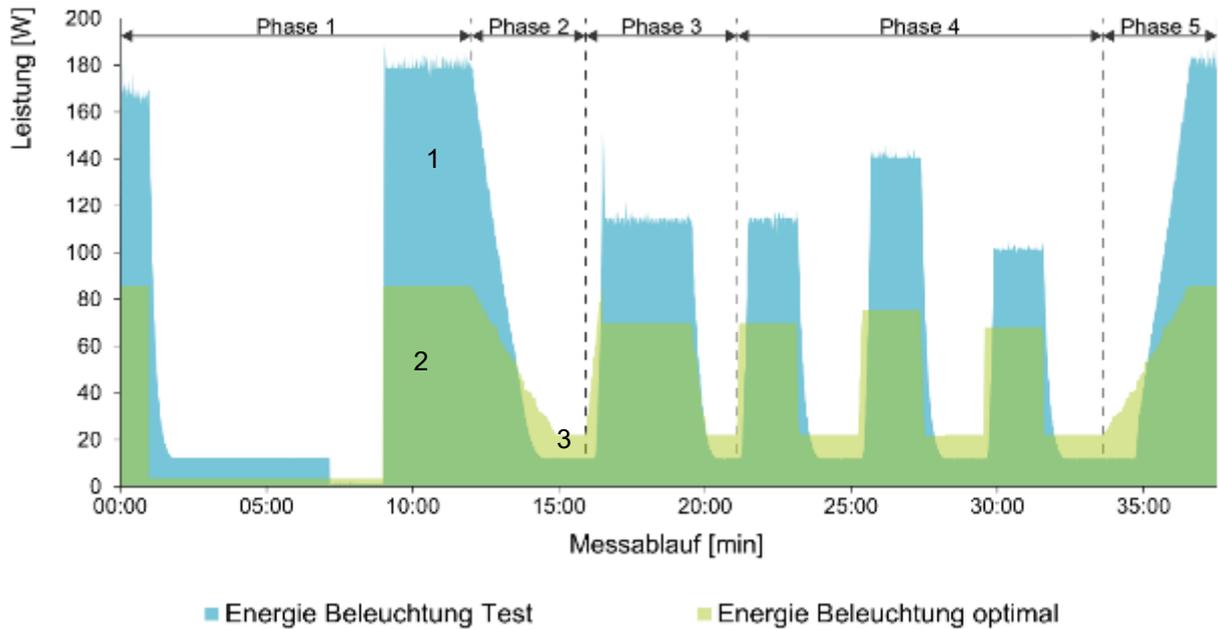


Abbildung 38: Erklär-Diagramm Mehrverbrauch (1 blau), Überlagerung (dunkelgrün) Bereich des Testmelders stimmt mit optimalen Melder überein, hellgrün Testmelder unterschreitet Beleuchtungsstärkevorgabe

Mehrverbrauch bzw. Energieeinsparung gegenüber Beleuchtung dauernd ein und gedrosselt

Der Energieverbrauch des jeweiligen Tests wird mit dem Energieverbrauch der Beleuchtung verglichen, wenn diese während des gesamten Ablaufs auf dem gleichen Dimmlevel eingeschaltet ist.

Es werden zwei Werte angegeben:

Beleuchtung auf voller Leistung

Wird die Beleuchtung mit voller Leistung betrieben, beträgt der Dimmlevel 100%. Daraus resultiert an Messpunkt 3 eine Beleuchtungsstärke von 1'500 lx. Der Energieverbrauch $E_{B\ 100}$ liegt bei 137.1 Wh und entspricht der rosa Fläche in Abbildung 39. Dieser Wert gilt für alle Testszenarien, da er unabhängig von der Raumeinrichtung ist.

Die Berechnung des prozentualen Unterschieds zwischen dem Energieverbrauch bei dem Test (grüne Fläche) und einer Beleuchtung bei 100 % (rote Fläche) erfolgt mittels folgender Formel.

$$p_{E\ T/100} = \frac{E_{B\ T} * 100}{E_{B\ 100}} - 100$$

Der Wert $p_{E\ T/100}$ im ungünstigsten Fall Null erreichen, bei einem negativen Wert handelt es sich um eine Energieeinsparung, der Wert wird in Prozent angegeben.

Beleuchtung gedrosselt

Wird die Beleuchtung gedrosselt betrieben, damit am Messpunkt 3 eine Beleuchtungsstärke von 600 lx gewährleistet werden kann, muss der Dimmlevel bei 38 % liegen, was einem Energieverbrauch von 55 Wh entspricht und ist in Abbildung 39 als orangene Fläche dargestellt.

Die Berechnung des prozentualen Unterschieds zwischen dem Energieverbrauch bei dem Test (grüne Fläche) und einer gedrosselten Beleuchtung erfolgt mittels folgender Formel.

$$p_{E\ BT/38} = \frac{E_{B\ T} * 100}{E_{B\ 38}} - 100$$

Bei einem positiven Wert von $p_{E\ T/38}$ liegt ein Mehrverbrauch an Energie vor, bei einem negativen Wert eine Energieeinsparung, der Wert wird in Prozent angegeben

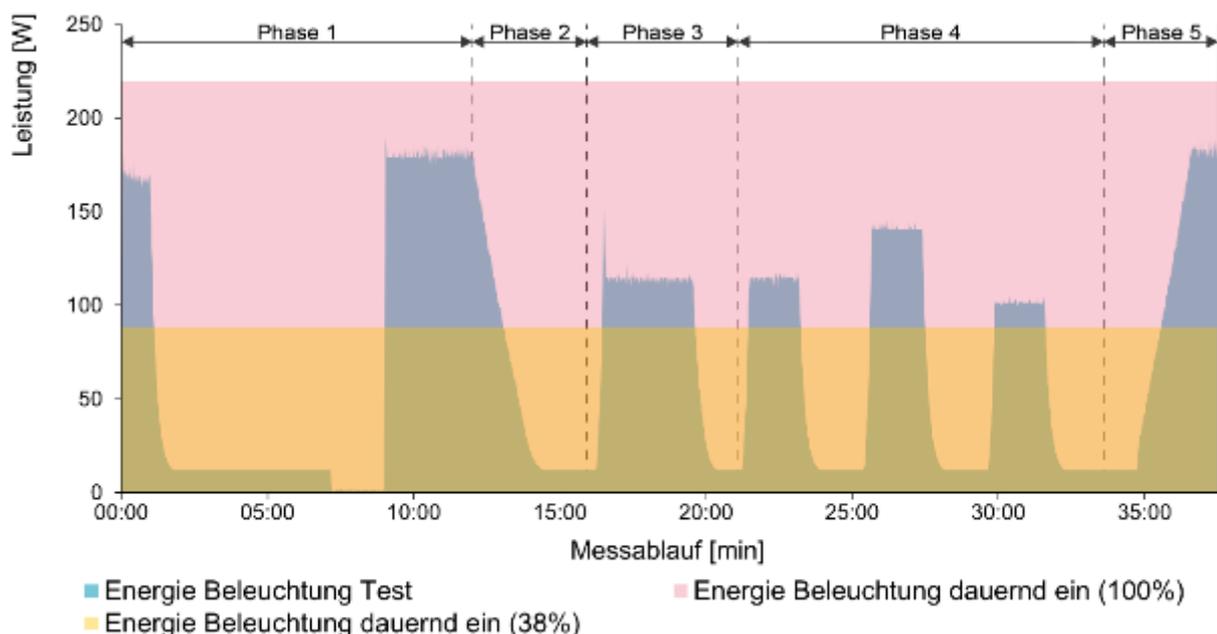


Abbildung 39: Erklär-Diagramm - Unterschied zwischen dem Energieverbrauch bei dem Test (blaue Fläche), dauernd ein / Vollbeleuchtung 100 % (rote Fläche) und gedrosselte Beleuchtung 38 % (orange Fläche)

Zeitlicher Anteil der Beleuchtungsstärke am Messpunkt E_{P3} unter 500 lx

Der prozentuale Anteil der Zeit innerhalb des gesamten Ablaufs, bei dem am Messpunkt 3 die minimale Beleuchtungsstärke von 500 lx (gemäss SN EN12464-1 für Büroarbeitsplätze) unterschritten wurde, wird wie folgt berechnet und ist in Abbildung 40 dargestellt.

$$p_{t < 500lx} = \frac{t_{<500lx}}{t_{Ablauf}} * 100$$

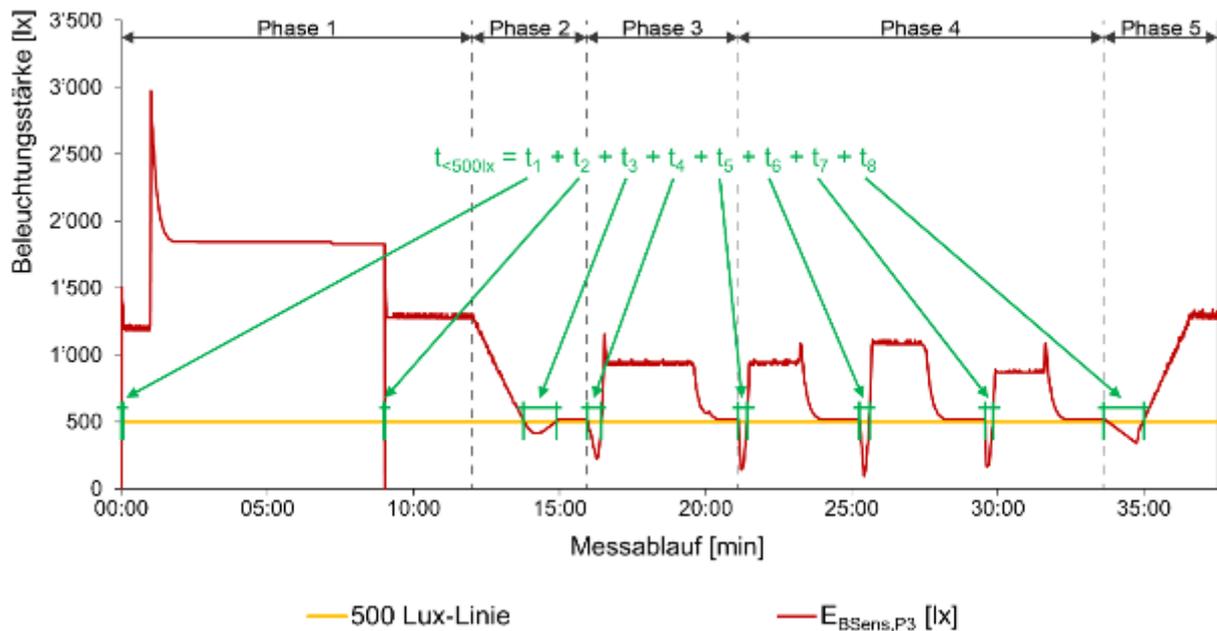


Abbildung 40: Erklär-Diagramm prozentualer Anteil der Zeit E_{BSens,P3} < 500 lx

Minimaler Dimmlevel

Der minimalste Dimmlevel, der vom Melder während des gesamten Tests gesendet wurde. Hier wird ermittelt, ob der Melder den vollen Umfang der DALI-Schwellwerte nutzt. Dieser kann in Phase 1 abgelesen werden und wird in Prozent angegeben.

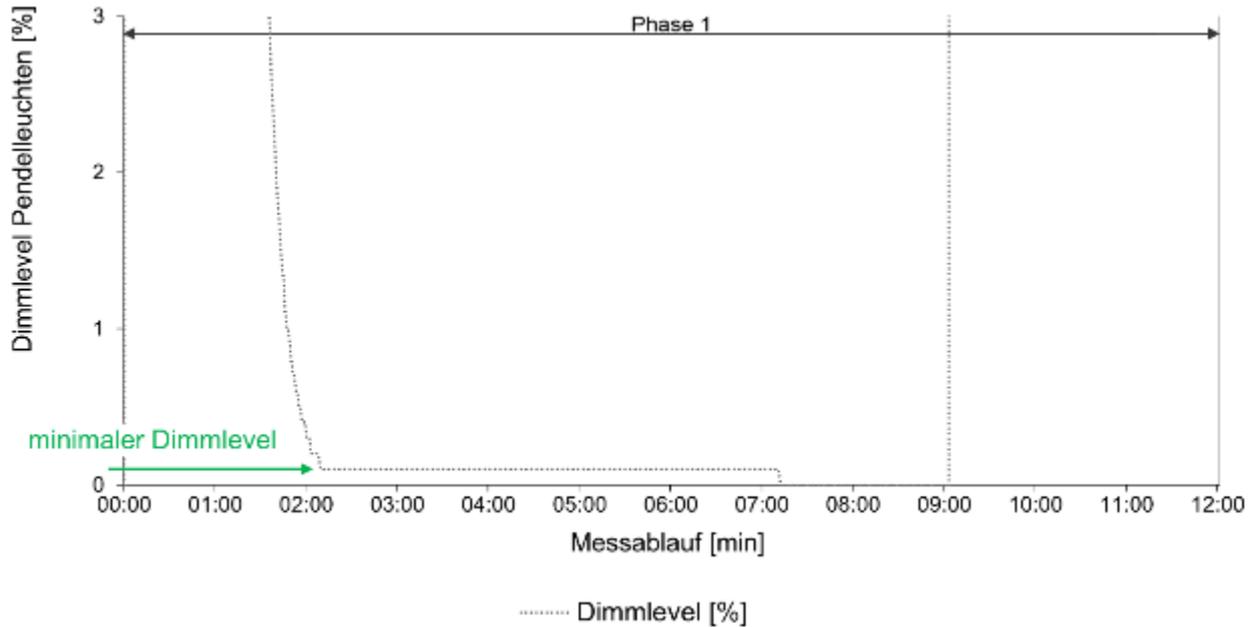


Abbildung 41: Erklär-Diagramm Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder

Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht

Zeitdauer, die der Melder benötigt, um auf den minimalen Dimmlevel herunterzufahren, sobald genügend Licht vorhanden ist. Diese kann in Phase 1 abgelesen werden und wird in Minuten und Sekunden angegeben.

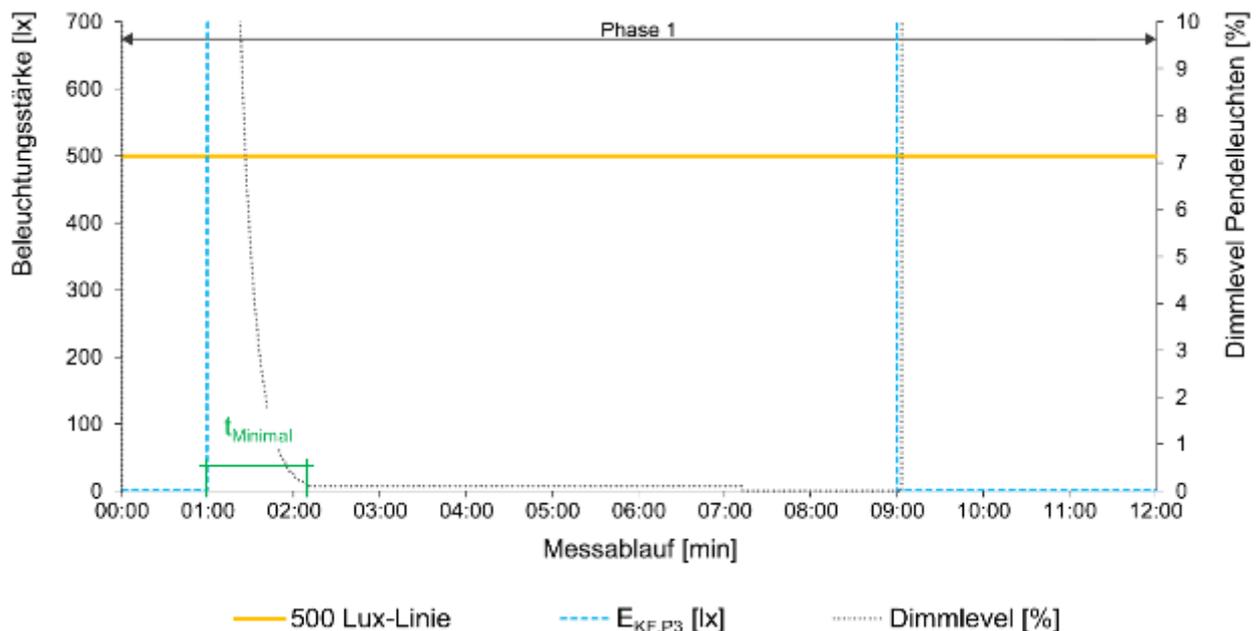


Abbildung 42: Erklär-Diagramm Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht

Verzögerungszeit vom minimalen Dimmlevel bis zur Abschaltung

Zeitdauer, die der Melder auf dem minimalen Dimmlevel verweilt, bis er die Beleuchtung ganz auszuschaltet, wenn genügend Licht vorhanden ist. Diese Zeitdauer kann in Phase 1⁷ abgelesen werden und wird in Minuten und Sekunden angegeben.

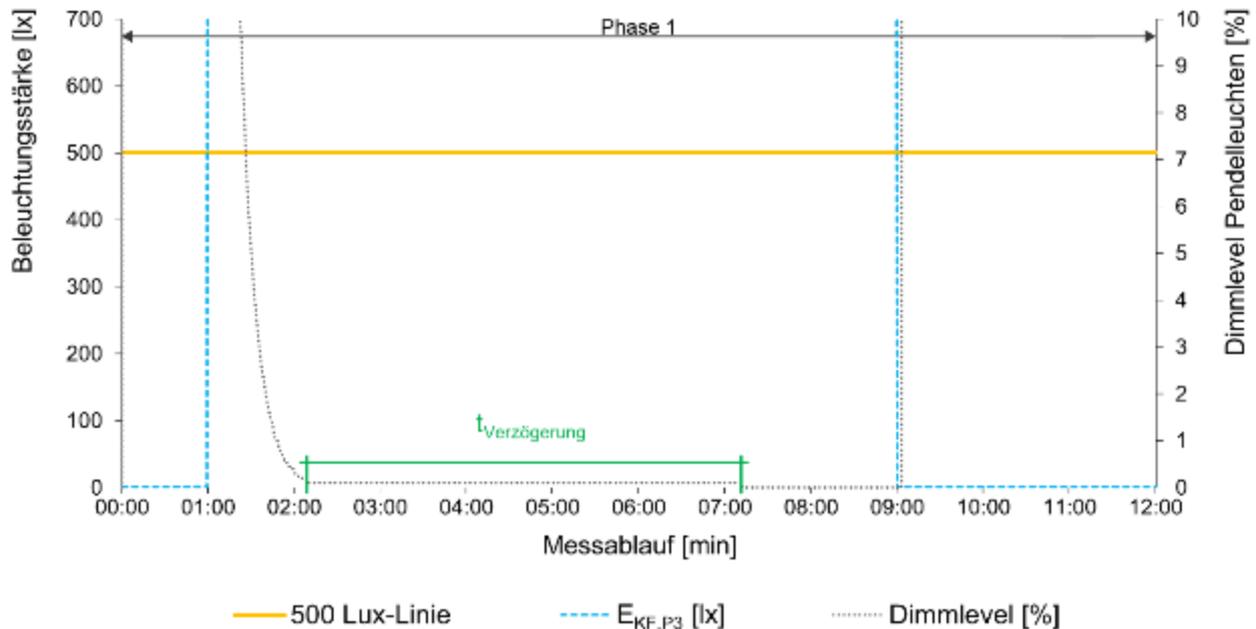


Abbildung 43: Erklär-Diagramm Verzögerungszeit vom minimalen Dimmlevel bis zur Abschaltung

Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)

Zeitdauer, bis der Melder die Beleuchtung einschaltet, wenn das Umgebungslicht ausschaltet und zuvor genügend Licht vorhanden war, so dass die Beleuchtung zuvor nicht benötigt wurde.

Diese Zeitdauer kann in Phase 1 abgelesen werden und wird in Minuten und Sekunden angegeben.

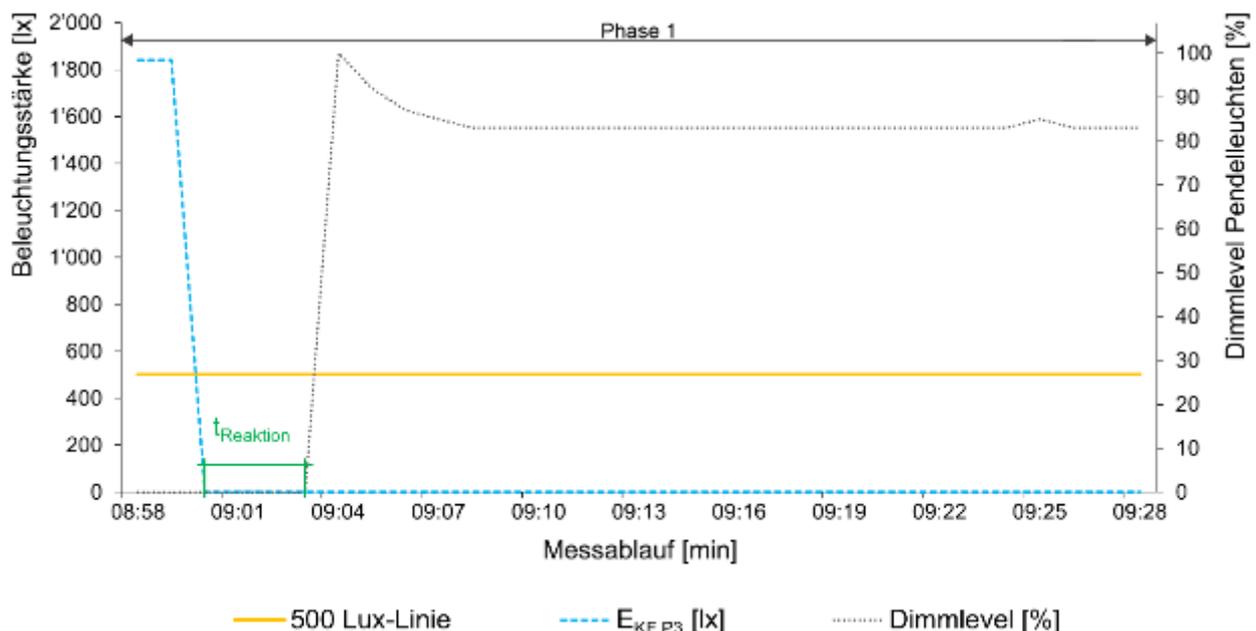


Abbildung 44: Erklär-Diagramm Einschaltreaktionszeit

⁷ Falls in Phase 1 der Melder nach der maximalen zur Verfügung stehenden Zeitdauer immer noch die Leuchten ausgeschaltet hatte, wurde dieses Kriterium in einem zusätzlichen Test bestimmt.

Schwankungen, obwohl keine Veränderungen des Fremdlichts vorhanden

In Phasen, in denen das Umgebungslicht konstant ist, sollte der Melder sich auf einen Wert einpendeln und diesen halten. Schwankt der Dimmlevel in diesen Phasen, kann die von den Nutzenden als störend empfunden werden. In Abbildung 45 sind diese Schwankungen grün markiert. Auf die Frage «Sind Schwankungen vorhanden?» kann mit «Ja» oder «Nein» geantwortet werden.

Unterschiede in der Beleuchtungsstärke werden vom Menschen logarithmisch wahrgenommen. Dies bedeutet, dass Schwankungen im tieferen Bereich unter 100 lux stärker wahrgenommen werden als im oberen Bereich 1000 lux. Dieser Umstand wird bei den Betriebsgeräten durch die Verwendung einer logarithmischen Dimmkurve berücksichtigt, wie sie in Abbildung 19 dargestellt ist.

Die Schwankungen befanden sich im Bereich von 1000 lux, wurden dennoch von unterschiedlichen Personen als störend wahrgenommen. Die Gründe für die Schwankungen konnten nicht eruiert werden.

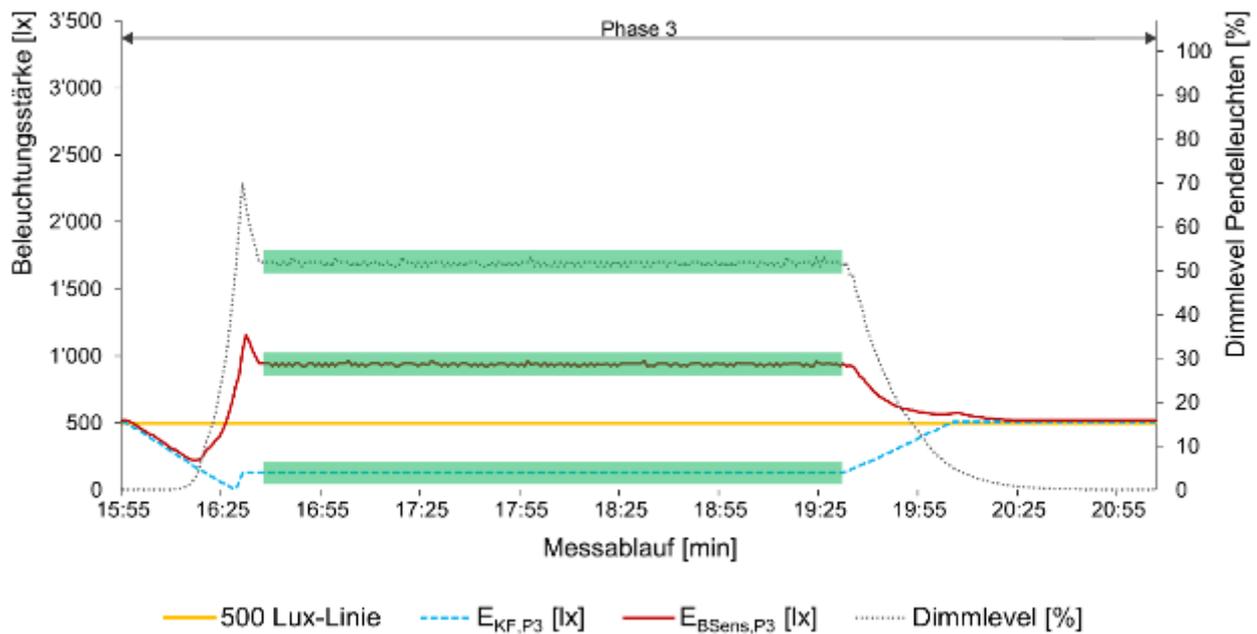


Abbildung 45: Erklär-Diagramm Schwankungen

4.1.3 Grundlegende Diagramme

Zur Verdeutlichung von mehreren Zusammenhängen sind im folgenden Kapitel Diagramme dargestellt. Alle Melder, welche getestet wurden, werden in bzw. an der Decke montiert. Der für den Nutzer entscheidende Ort ist jedoch die Tischoberfläche. Aufgrund der unterschiedlichen Positionen wird über das Erfassen des Lichts an der Decke rückwirkend auf die Beleuchtungsstärke auf dem Tisch geschlossen. Welches Licht an der Decke auf die Sensoreinheit des Melders fällt, ist von vielen Einflussgrößen abhängig (Reflexionsgrade der umgebenden Materialien, Abstrahlung der Leuchten, Lichteinfall des Fremdlichts / Richtung und Beeinflussung etc.). Der Unterschied zwischen Beleuchtungsstärke an der Decke und Tischoberfläche ist in Abbildung 46 dargestellt. Die Decke erhält das reflektierte Licht des Tisches welches zirka ein Viertel des Lichts auf dem Tisch entspricht.

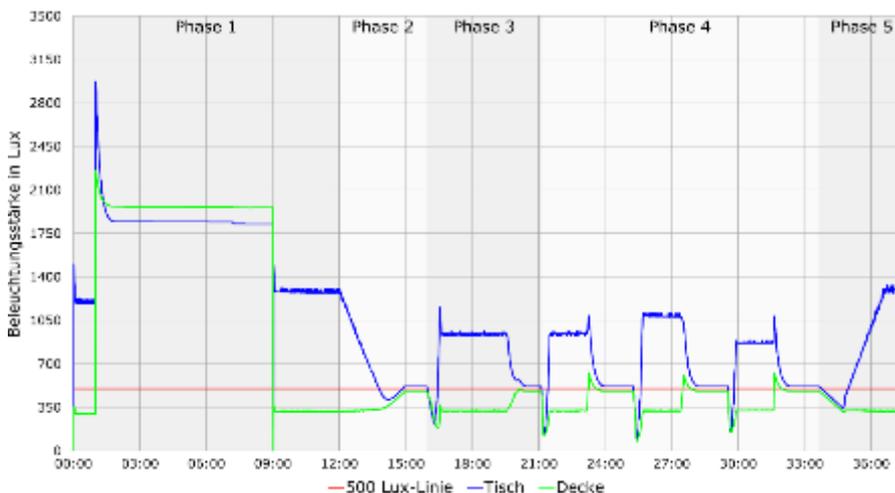


Abbildung 46 Beleuchtungsstärkeunterschied zwischen den unterschiedlichen Messorten (Tisch und Decke)

Da das Licht, welches der Melder erfasst durch die Tischoberfläche beeinflusst wird, führt eine Verschlechterung der Reflexionsgrades auf dem Tisch (z.B. durch die Ergänzung mit dunklen Elementen wie Monitoren, Tastaturen oder Stühlen) einem tieferen Lichtniveau an der Decke, obwohl die Beleuchtungsstärke auf dem Tisch kaum eine Änderung erfahren hat. Als Ausgleichreaktion übermittelt der Melder an die Pendelleuchte, das mehr Lichtoutput benötigt wird. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 47 dargestellt, wobei alle Szenarios mit der Werkseinstellung durchgeführt wurden.

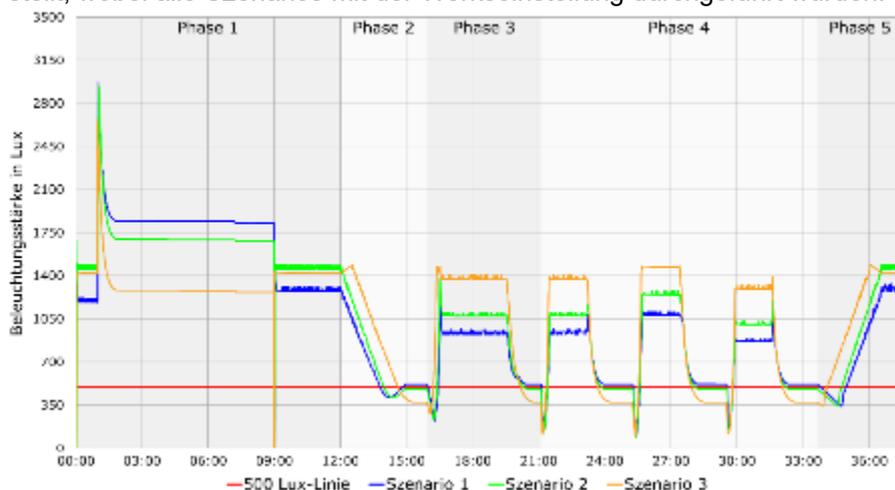


Abbildung 47 Unterschiede in der Beleuchtungsstärke auf dem Tisch (Szenario 1 heller Raum nur Tisch, Szenario 2 heller Raum, Tisch, Stühle, dunkler monitor Tastatur, Szenario 3 wie 2 jedoch Wände mit schwarzen Vorhängen versehen)

Daraus ergibt sich die Frage welchen Einfluss eine manuelle Einstellung zur Werkseinstellung bietet. In Abbildung 48 ist die Beleuchtungsstärke auf dem Tisch dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Werkseinstellung teilweise zu einer deutlichen Übersteuerung neigt. Dies wurde bei dem Versuch besonders deutlich, da die Pendelleuchten der Testanlage überdimensioniert waren.

Somit können Melder, welche in der Werkseinstellung betrieben werden, speziell bei überdimensionierten Beleuchtungsanlagen, diese nur unzureichend begrenzen. Die Folge ist ein Mehrverbrauch.

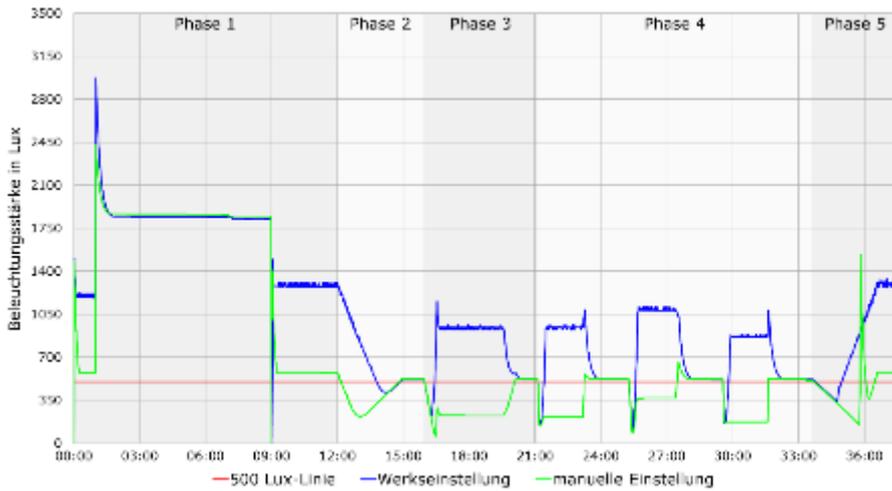


Abbildung 48 Vergleich zwischen Werkseinstellungen und manueller Einstellungen in Abhängigkeit zur erzielten Beleuchtungsstärke auf dem Tisch

Anmerkung:

Gerade bei Beleuchtungssanierungen, bei denen ein eins zu eins Leuchtenersatz vorgenommen wird, kommt es in der Praxis sehr häufig zu einer Überdimensionierung der Beleuchtungsanlage. Faktoren der Überdimensionierung liegen je nach Nutzung im Bereich von zwei bis vier.

- Korridor 400 lx statt 100 lx
- Büro 900lx statt 500 lx

Weiter soll auch darauf hingewiesen werden, dass die Norm SN EN 12464-1 Beleuchtung von Arbeitsstätten seit der Überarbeitung von 2021 mehr Spielraum in der Auslegung der Beleuchtungsstärken ermöglicht. Dies geschah nicht zuletzt mit aus der Motivation, auf die besonderen Bedürfnisse von Nutzenden und sich stetig verändernden Arbeitsanforderungen und Arbeitsumgebungen eingehen zu können. Daher sind nun Mindestwerte hinterlegt, welche aber nach Überprüfung vordefinierter Kriterien nach oben bzw. nach unten angepasst werden können.

4.2 Allgemeine Auswertung

Der Energieverbrauch für den gesamten Ablauf ist für die vier Testszenarien in der folgenden Tabelle und dem Balkendiagramm dargestellt, ab Kapitel 4.3 folgen die Ergebnisse der einzelnen Produkte mit den wichtigsten Diagrammen im Detail.

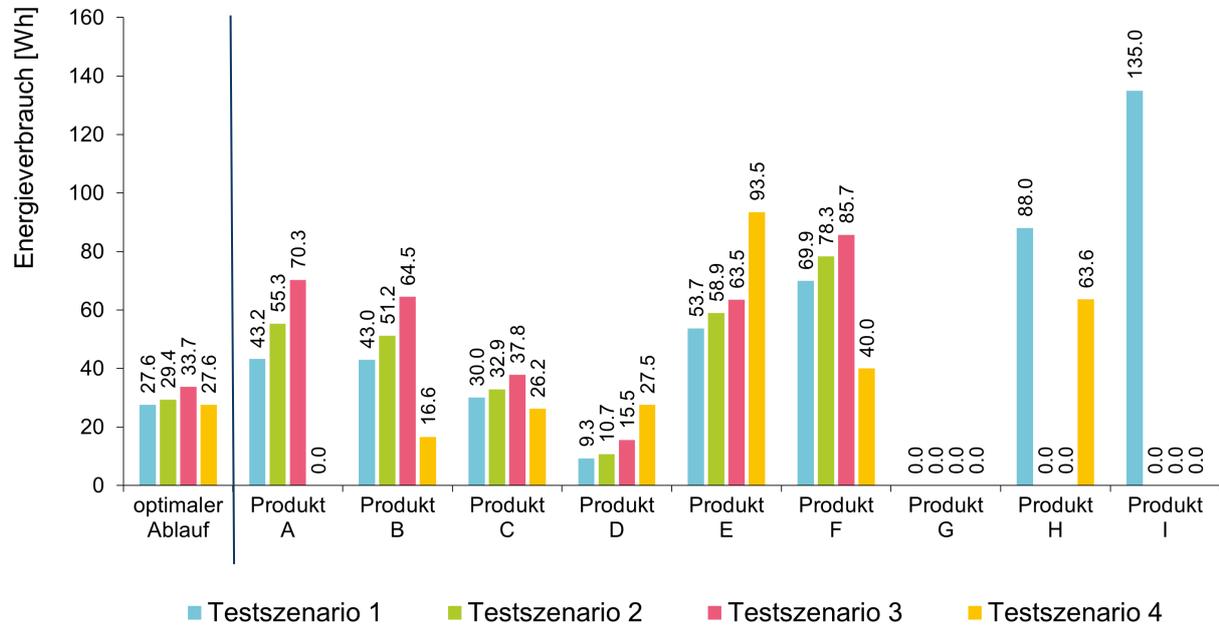


Abbildung 49 Vergleich des Energieverbrauchs aller in Abhängigkeit der Testszenarien 1-4

Anmerkung A

Bei Melder A muss immer eine manuelle Einstellung vorgenommen werden, daher sind die Ergebnisse von Testszenario 1 und 4 identisch

Tabelle 13 Vergleich des Energieverbrauchs aller in Abhängigkeit der Testszenarien 1-4

	Testszenario 1	Testszenario 2	Testszenario 3	Testszenario 4
Optimaler Ablauf	27.6 Wh	29.4 Wh	33.7 Wh	27.6 Wh
Beleuchtung dauernd ein (100%)	137.1 Wh	137.1 Wh	137.1 Wh	137.1 Wh
Beleuchtung dauernd ein (38%)	55.0 Wh	55.0 Wh	55.0 Wh	55.0 Wh
Produkt A	43.2 Wh	55.3 Wh	70.3 Wh	-
Produkt B	43.0 Wh	51.2 Wh	64.5 Wh	16.6 Wh
Produkt C	30.0 Wh	32.9 Wh	37.8 Wh	26.2 Wh
Produkt D	9.3 Wh	10.7 Wh	15.5 Wh	27.5 Wh
Produkt E	53.7 Wh	58.9 Wh	63.5 Wh	93.5 Wh
Produkt F	69.9 Wh	78.3 Wh	85.7 Wh	40.0 Wh
Produkt G	-	-	-	-
Produkt H	88.0 Wh	-	-	63.6 Wh
Produkt I	135.0 Wh	-	-	-

Anmerkung G, H, I

Das Produkt G konnte nach mehrmaliger Installation nicht zufriedenstellend in Betrieb gesetzt werden. Nach Absprache mit dem Hersteller wurde ein Alternativprodukt geliefert und getestet.

Bei den Produkten H und I handelt es sich um ein Bewegungsmelder mit keiner bzw. unzureichender *Permanent Fremdlichterkennung*, wie es in Kapitel 2.2.2 beschrieben wurde.

4.2.1 Einschätzung der Ergebnisse

Alle Melder zeigen deutlich den Einfluss, der durch den Raum und die Möblierung verursacht wird. Der Energieverbrauch kann bei der Mehrheit der Melder durch eine manuelle Einstellung (Testszenario 4) gesenkt werden. Nur bei dem Produkt E konnte dies nicht erreicht werden. Bei dem Produkt A ist eine manuelle Einstellung Voraussetzung, aus diesem Grund wurde für das Testszenario 4 kein Wert aufgeführt.

Produkt C und D erreichen einen fast optimalen Energieverbrauch nach der manuellen Einstellung. Produkt B unterschreitet diesen, was jedoch mit einer Nichterfüllung der vorgeschriebenen Beleuchtungsstärkewerte einhergeht und aus ergonomischen Überlegungen nicht annehmbar ist.

Bei der manuellen Einstellung wurde mit einem Beleuchtungsstärkegerät gearbeitet, nur so konnte eine Verbesserung erreicht werden. Eine weitere Nachjustierung wurde nicht durchgeführt, jedoch könnte damit eine Verbesserung des Optimums aus Energieverbrauch und Ergonomie erreicht werden.

Die Verwendung eines Beleuchtungsstärkemessgerätes zur Einstellung und auch eine mehrmalige Nachjustierung entspricht nicht gängiger Praxis.

4.3 Produkt A

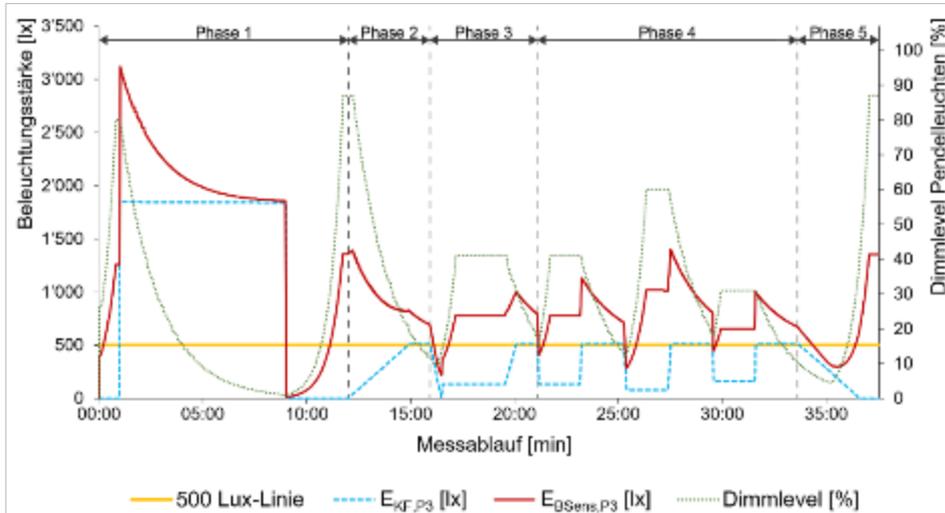


Abbildung 50: Produkt A: Testszenario 1 - gesamter Ablauf

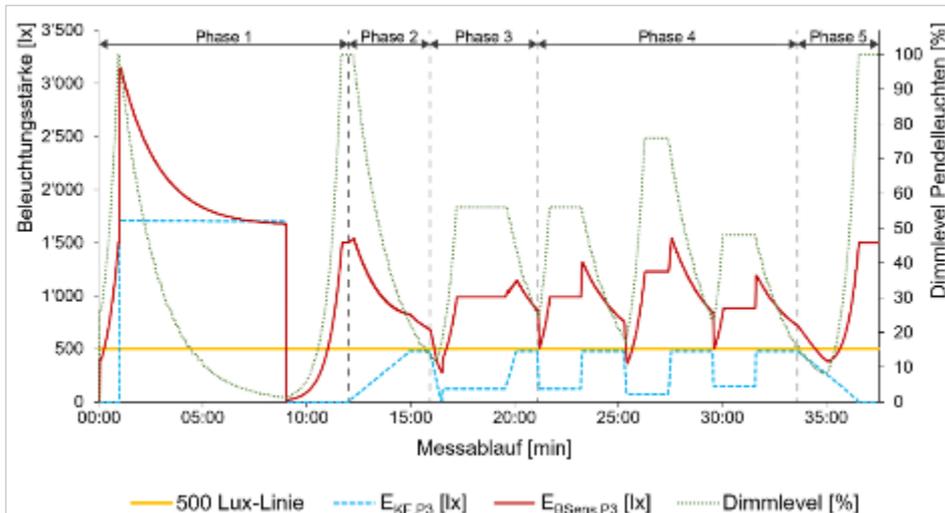


Abbildung 51: Produkt A: Testszenario 2 - gesamter Ablauf

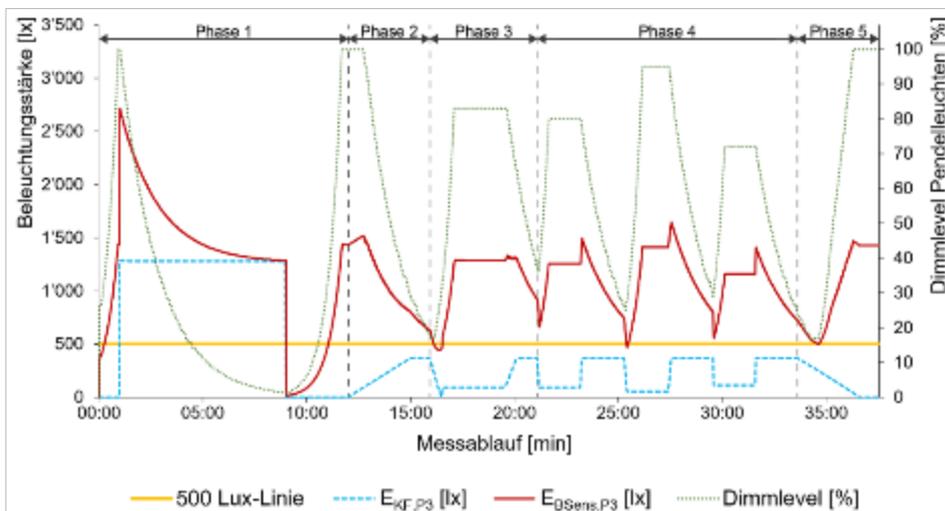


Abbildung 52: Produkt A: Testszenario 3 - gesamter Ablauf

Anmerkungen zur Legende:

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird | $E_{0Sens,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die vom künstlichen Fenster und von den vom Sensor angesteuerten Pendelleuchten zusammen erzeugt wird | Dimmlevel:

Dimmlevel in %, der vom Melder an die Pendelleuchten gesendet wird

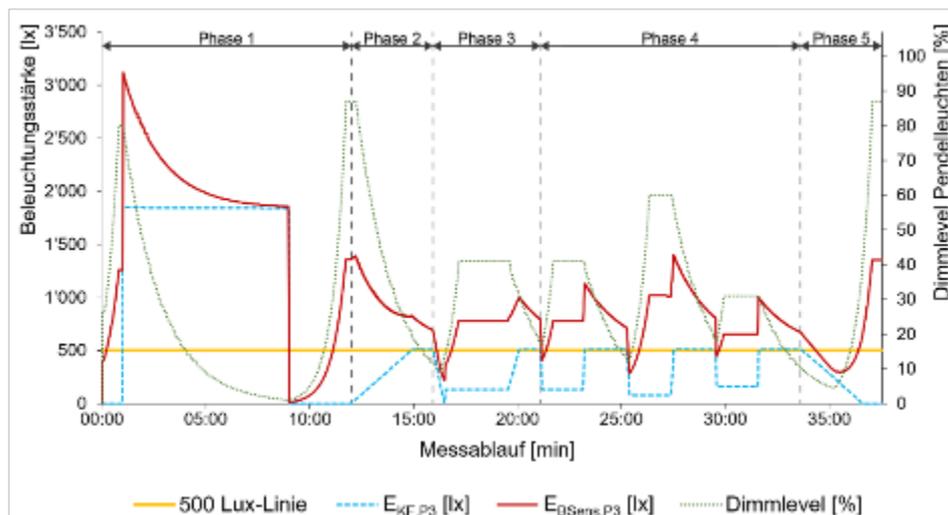


Abbildung 53: Produkt A: Testszenario 4 - gesamter Ablauf

Tabelle 14: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder A in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung)

Kriterium	Testszenario			
	1	2	3	4*
1 Energieverbrauch gesamter Ablauf	43.2 Wh	55.3 Wh	70.3 Wh	43.2 Wh
2 Mehrverbrauch gegenüber eines «optimalen» Melder	56.5 %	88.1 %	108.6 %	56.5 %
Energieeinsparung				
3 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf voller Leistung (Dimmlevel 100%)	-68.5 %	-59.7 %	-48.7 %	-68.5 %
4 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf 600 lx gedrosselt (Dimmlevel 38%)	-21.5 %	0.5 %	+27.8	-21.5 %
5 Zeitlicher Anteil $E_{BSens,P3} < 500$ lx	15.9 %	11.5 %	7.5 %	15.9 %
6 Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
7 Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht (min, s)	10:41	10:58	10:57	10:41
8 Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung (min, s)	0:56	0:56	0:57	0:56
9 Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)	1 s	1 s	1 s	1 s
10 Zeit bis maximaler Dimmlevel erreicht wird	4 s	1 s	2 s	4 s
11 Schwankungen, obwohl keine Veränderungen des Tageslichts vorhanden	nein	nein	nein	nein
12 Schwankungen bei Rampe in Phase 2	nein	nein	nein	nein

* bei diesem Melder muss immer eine manuelle Einstellung vorgenommen werden, daher sind die Ergebnisse von Testszenario 1 und 4 identisch

4.4 Produkt B

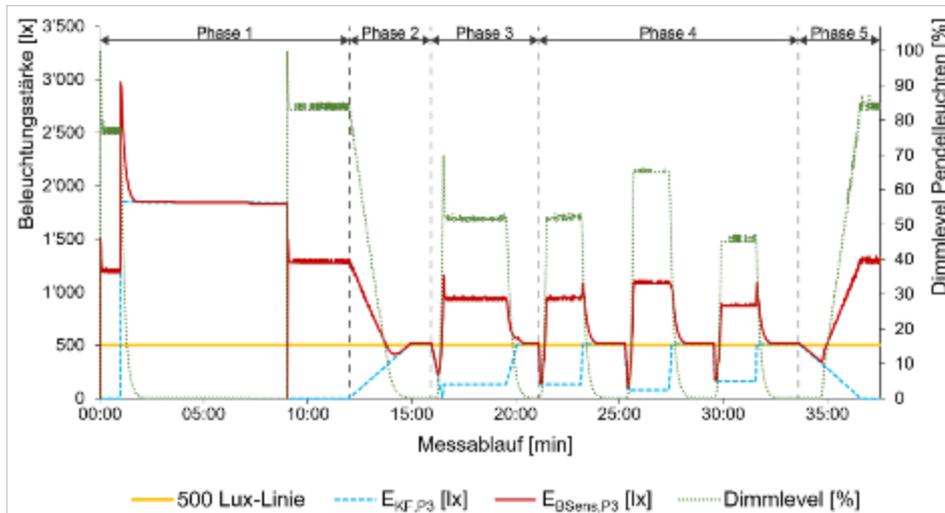


Abbildung 54: Produkt B: Testszenario 1 - gesamter Ablauf

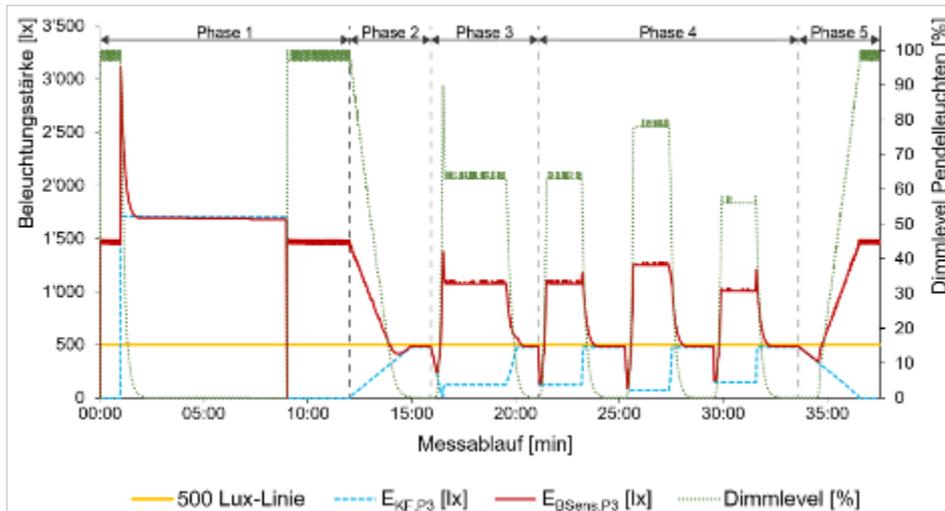


Abbildung 55: Produkt B: Testszenario 2 - gesamter Ablauf

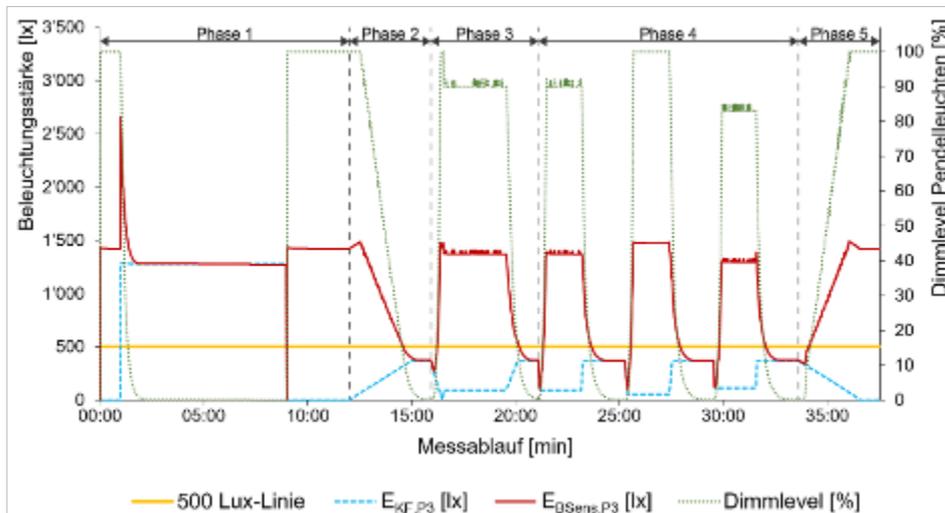


Abbildung 56: Produkt B: Testszenario 3 - gesamter Ablauf

Anmerkungen zur Legende:

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird | $E_{0Sens,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die vom künstlichen Fenster und von den vom Sensor angesteuerten Pendelleuchten zusammen erzeugt wird | Dimmlevel: Dimmlevel in %, der vom Melder an die Pendelleuchten gesendet wird

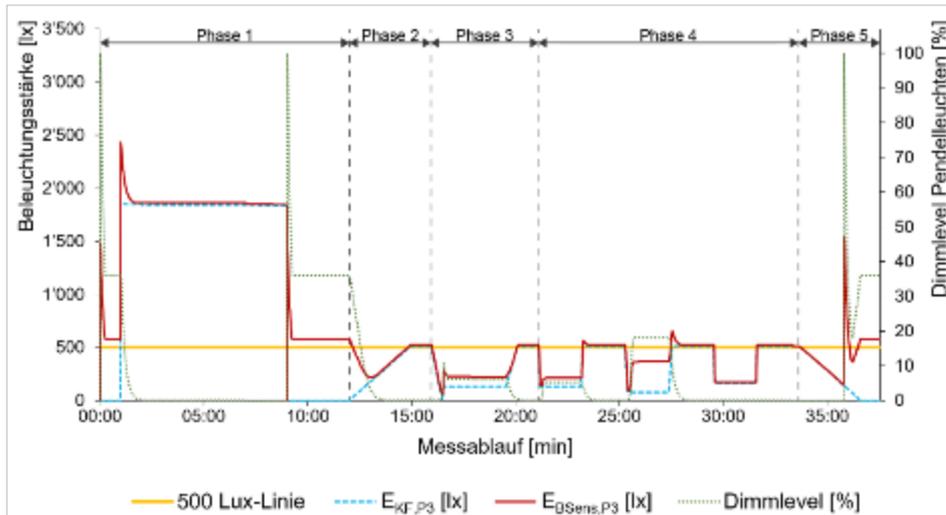


Abbildung 57: Produkt B: Testszenario 4 - gesamter Ablauf

Tabelle 15: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder B in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung)

Kriterium	Testszenario			
	1	2	3	4
B				
1 Energieverbrauch gesamter Ablauf (Wh)	43.0 Wh	51.2	64.5	16.6
2 Mehrverbrauch gegenüber eines «optimalen» Melder	55.8 %	74.1%	91.4%	-39.9%
Energieeinsparung				
3 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf voller Leistung (Dimmlevel 100%)	-68.6 %	-62.7%	-53.0%	-87.9%
4 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf 600 lx gedrosselt (Dimmlevel 38%)	-21.8 %	-6.9%	17.3%	-69.8%
5 Zeitlicher Anteil $E_{BSens.P3} < 500$ lx	9.7 %	25.8%	23.0%	41.8%
6 Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
7 Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht (min, s)	01:09	01:11	01:11	01:01
8 Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung (min, s)	05:03	05:03	05:04	05:03
9 Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)	1 s	1 s	1 s	1 s
10 Zeit bis maximaler Dimmlevel erreicht wird	2 s	2 s	2 s	2 s
11 Schwankungen, obwohl keine Veränderungen des Tageslichts vorhanden	ja	ja	ja	ja
12 Schwankungen bei Rampe in Phase 2	nein	nein	nein	nein

4.5 Produkt C

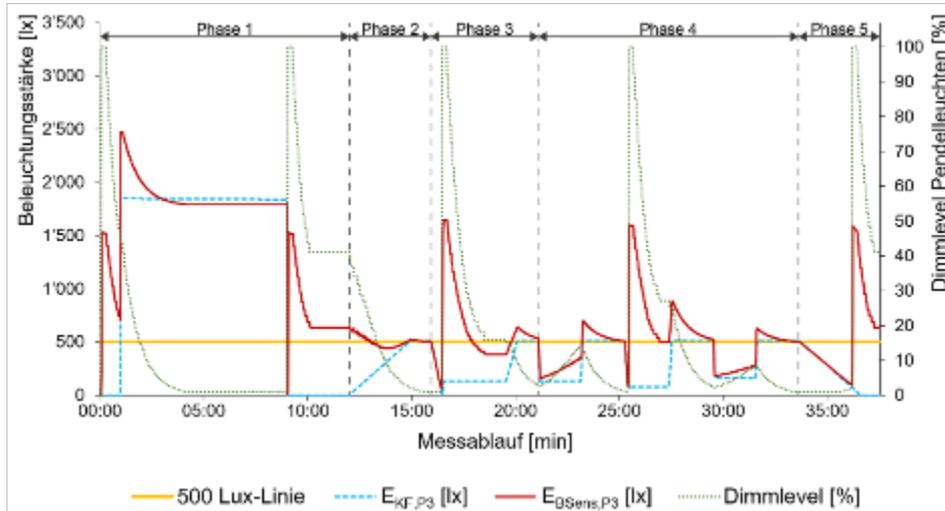


Abbildung 58: Produkt C: Testszenario 1 - gesamter Ablauf

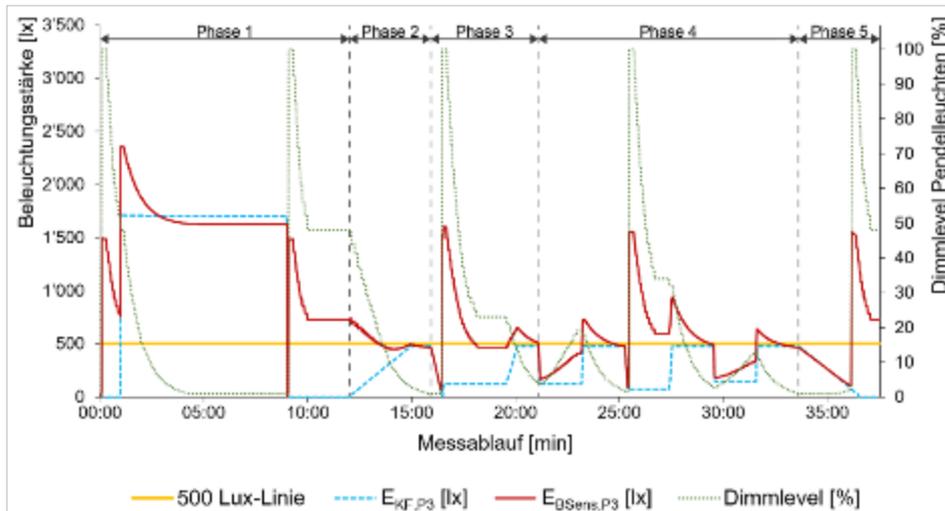


Abbildung 59: Produkt C: Testszenario 2 - gesamter Ablauf

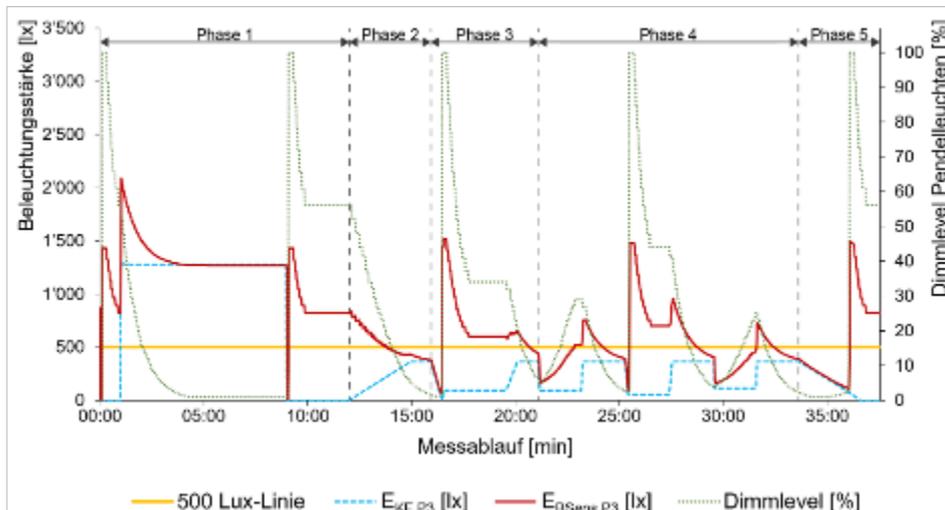


Abbildung 60: Produkt C: Testszenario 3 - gesamter Ablauf

Anmerkungen zur Legende:

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird | $E_{0Sens,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die vom künstlichen Fenster und von den vom Sensor angesteuerten Pendelleuchten zusammen erzeugt wird | Dimmlevel:

Dimmlevel in %, der vom Melder an die Pendelleuchten gesendet wird

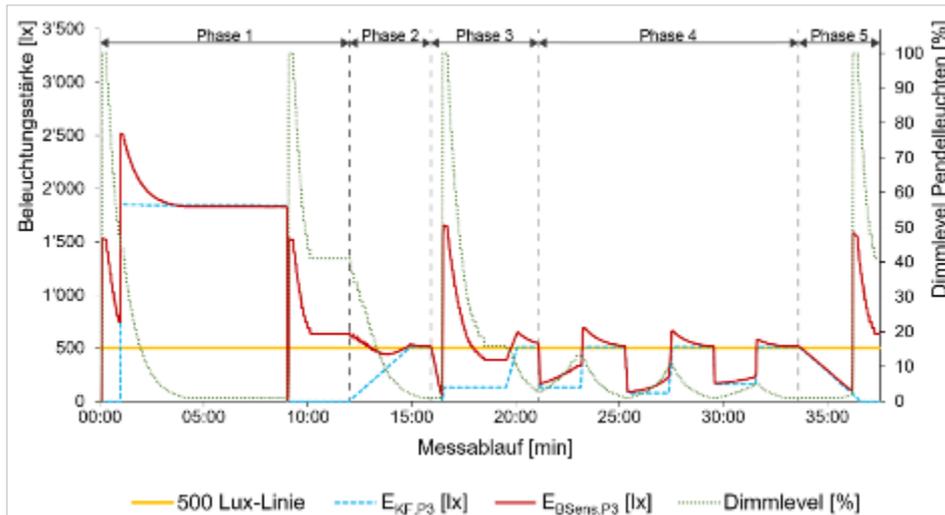


Abbildung 61: Produkt C: Testszenario 4 - gesamter Ablauf

Tabelle 16: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder C in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung)

Kriterium	Testszenario				
	C	1	2	3	4*
1 Energieverbrauch gesamter Ablauf (Wh)		30.0	32.9	37.8	26.2
2 Mehrverbrauch gegenüber eines «optimalen» Melder		8.7%	11.9%	12.2%	-5.1%
Energieeinsparung					
3 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf voller Leistung (Dimmlevel 100%)		-78.1%	-76.0%	-72.4%	-80.9%
4 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf 600 lx gedrosselt (Dimmlevel 38%)		-45.5%	-40.2%	-31.3%	-52.4%
5 Zeitlicher Anteil $E_{BSens,P3} < 500$ lx		30.9%	35.6%	34.0%	34.9%
6 Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder		1.0 %	1.0 %	1.0 %	1.0 %
7 Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht (min, s)		03:02	03:11	03:19	03:04
8 Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung (min, s)		13:07	13:16	13:25	08:09
9 Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)		1 s	1 s	1 s	1 s
10 Zeit bis maximaler Dimmlevel erreicht wird		3 s	4 s	5 s	5 s
11 Schwankungen, obwohl keine Veränderungen des Tageslichts vorhanden		nein	nein	nein	nein
12 Schwankungen bei Rampe in Phase 2		leicht	leicht	leicht	leicht

4.6 Produkt D

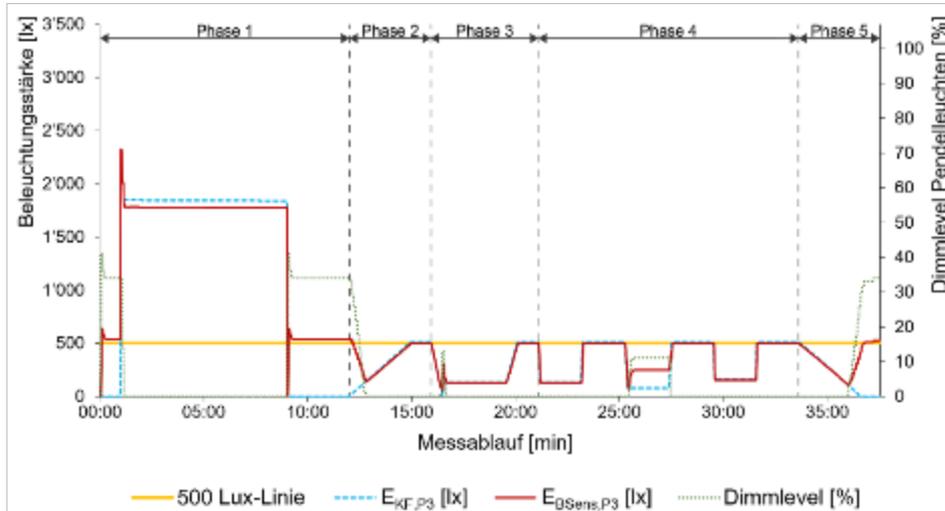


Abbildung 62: Produkt C: Testszenario 1 - gesamter Ablauf

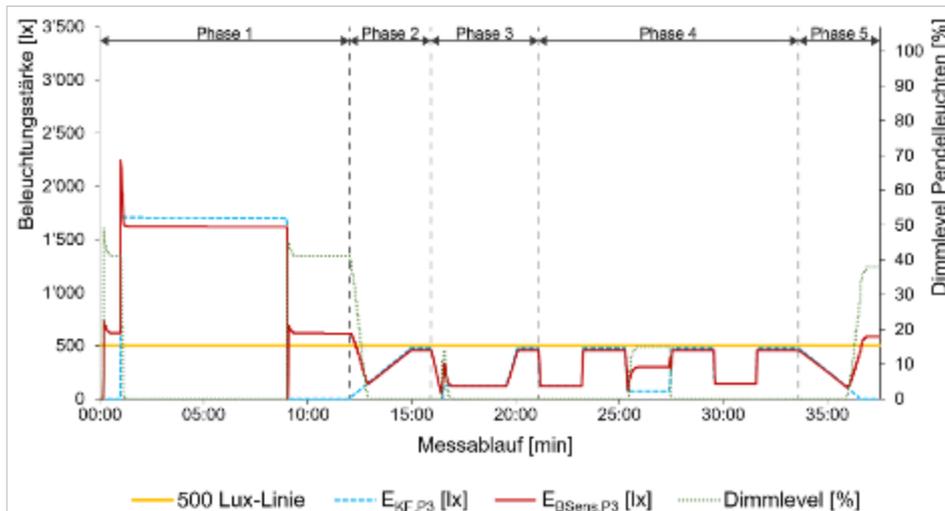


Abbildung 63: Produkt D: Testszenario 2 - gesamter Ablauf

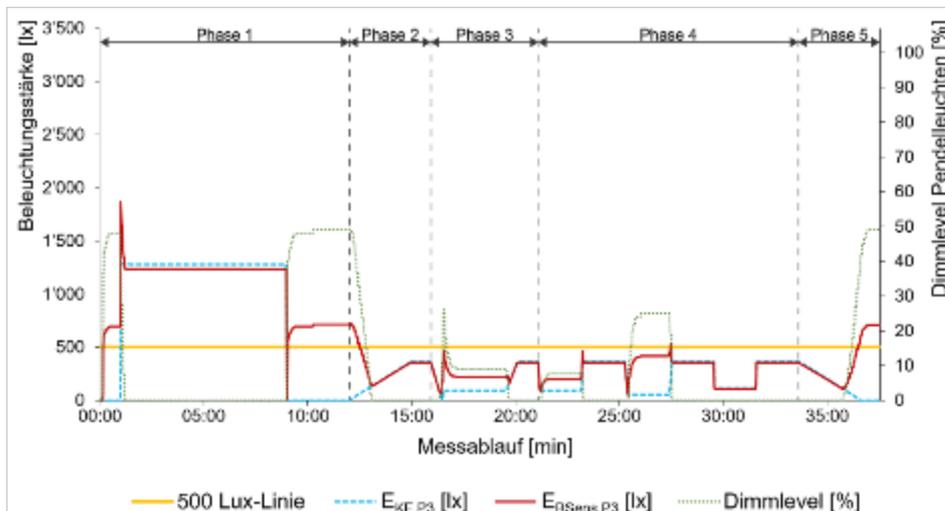


Abbildung 64: Produkt D: Testszenario 3 - gesamter Ablauf

Anmerkungen zur Legende:

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird | $E_{GSens,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die vom künstlichen Fenster und von den vom Sensor angesteuerten Pendelleuchten zusammen erzeugt wird | Dimmlevel:

Dimmlevel in %, der vom Melder an die Pendelleuchten gesendet wird

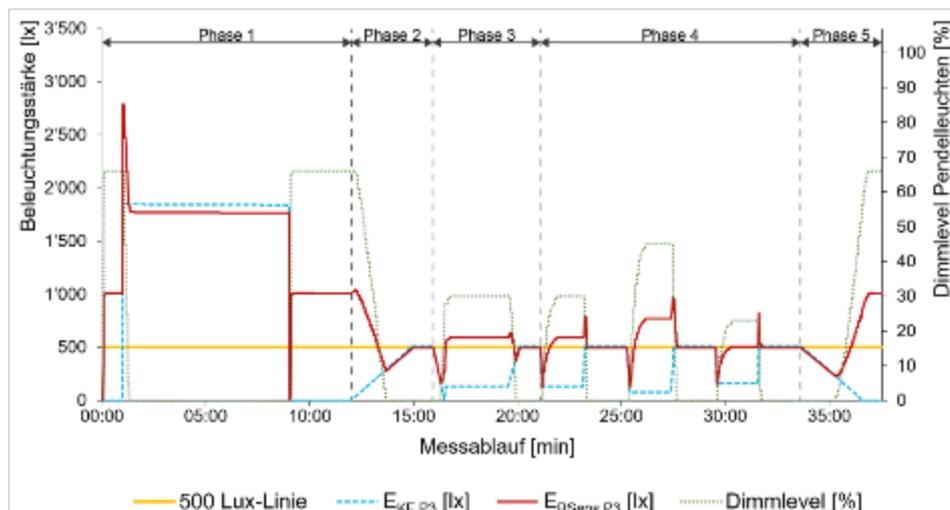


Abbildung 65: Produkt D: Testszenario 4 - gesamter Ablauf

Tabelle 17: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder D in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung)

Kriterium D	Testszenario			
	1	2	3	4
1 Energieverbrauch gesamter Ablauf	9.3	10.7	15.5	27.5
2 Mehrverbrauch gegenüber eines «optimalen» Melder	-66.3%	-63.6%	-54.0%	-0.4%
Energieeinsparung				
3 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf voller Leistung (Dimmlevel 100%)	-93.2%	-92.2%	-88.7%	-79.9%
4 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf 600 lx gedrosselt (Dimmlevel 38%)	-83.1%	-80.5%	-71.8%	-50.0%
5 Zeitlicher Anteil $E_{BSens,P3} < 500$ lx	66.1%	65.5%	64.4%	38.2%
6 Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder	1.3%	0.5%	1.3%	1.5%
7 Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht (min, s)	00:03	00:07	00:06	00:14
8 Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung (min, s)	00:05	00:05	00:05	00:05
9 Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)	1 s	2 s	1 s	1 s
10 Zeit bis maximaler Dimmlevel erreicht wird	3 s	2 s	3 s	3 s
11 Schwankungen, obwohl keine Veränderungen des Tageslichts vorhanden	nein	nein	nein	nein
12 Schwankungen bei Rampe in Phase 2	nein	nein	nein	nein

4.7 Produkt E

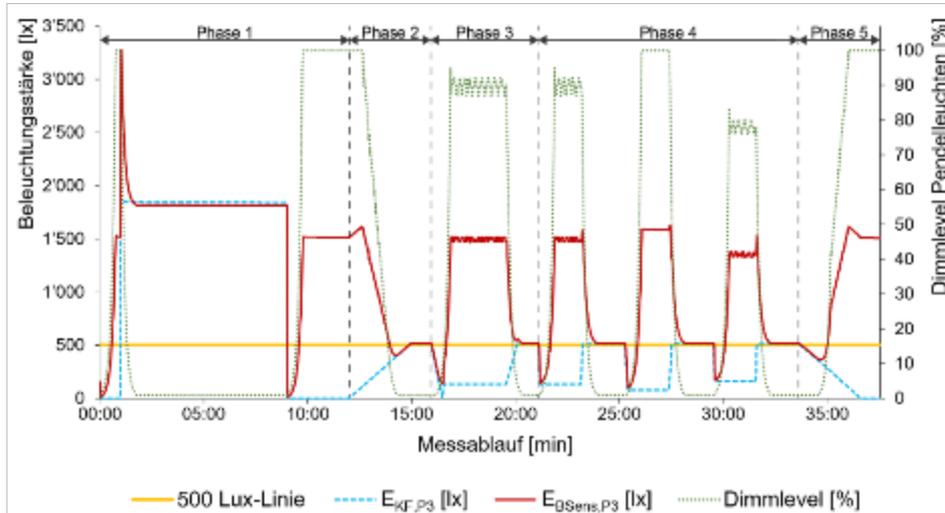


Abbildung 66: Produkt E: Testszenario 1 - gesamter Ablauf

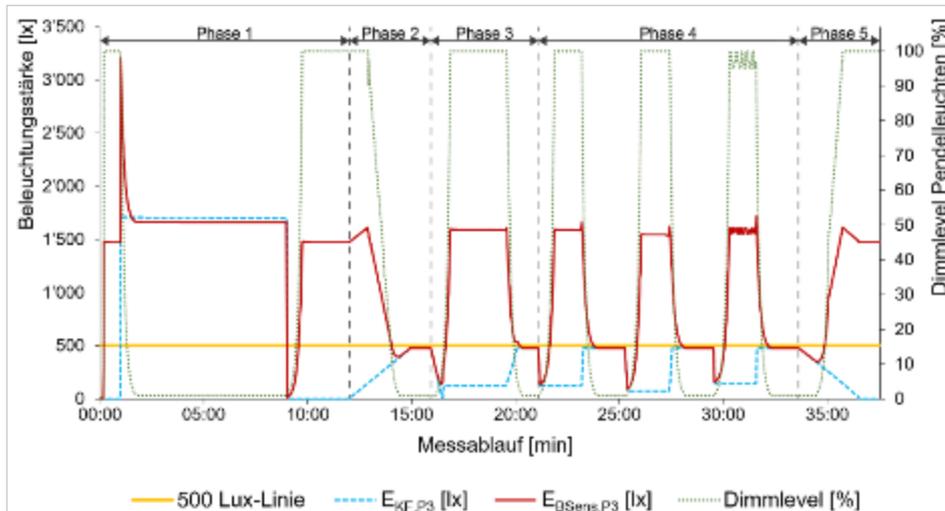


Abbildung 67: Produkt E: Testszenario 2 - gesamter Ablauf

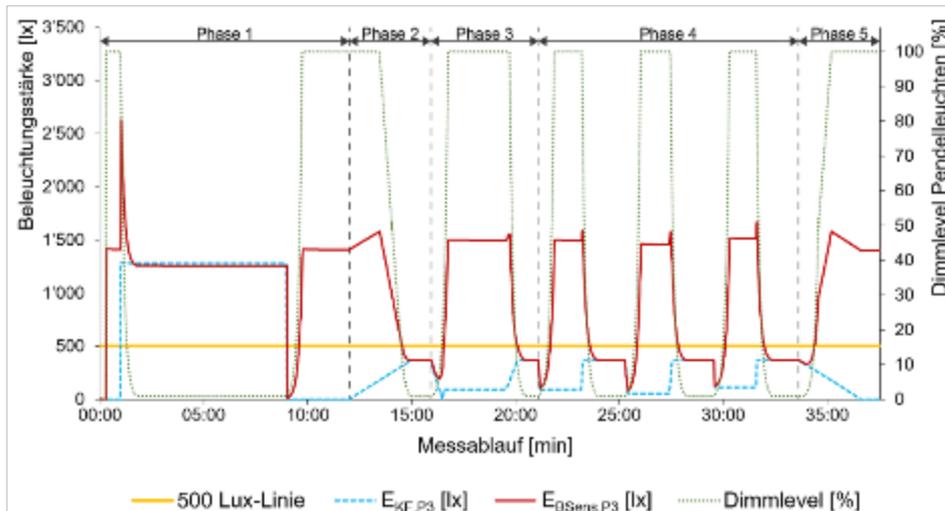


Abbildung 68: Produkt E: Testszenario 3 - gesamter Ablauf

Anmerkungen zur Legende:

500 Lux-Linie: gemäss SN EN12464-1 beträgt die minimale Beleuchtungsstärke am Büroarbeitsplatz 500 lx, diese darf nicht unterschritten werden

$E_{KF,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die nur durch das künstliche Fenster erzeugt wird | $E_{0Sens,P3}$: Beleuchtungsstärke in Lux an Messpunkt 3 gemessen, die vom künstlichen Fenster und von den vom Sensor angesteuerten Pendelleuchten zusammen erzeugt wird

Dimmlevel: Dimmlevel in %, der vom Melder an die Pendelleuchten gesendet wird

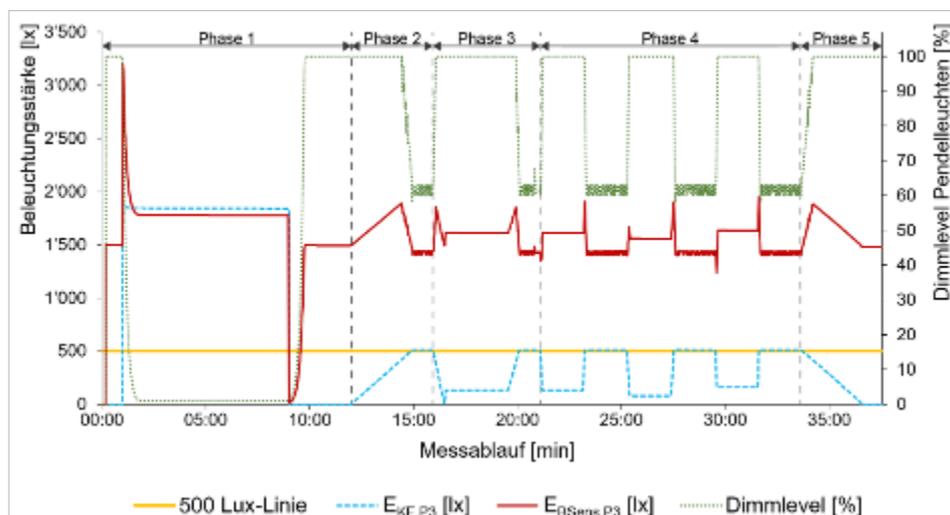


Abbildung 69: Produkt E: Testszenario 4 - gesamter Ablauf

Tabelle 18: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder E in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung)

Kriterium	Testszenario			
	1	2	3	4*
E				
1 Energieverbrauch gesamter Ablauf	53.7	58.9	63.5	93.5
2 Mehrverbrauch gegenüber eines «optimalen» Melder	94.6%	100.3%	88.4%	238.8%
Energieeinsparung				
3 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf voller Leistung (Dimmlevel 100%)	-60.8%	-57.0%	-53.7%	-31.8%
4 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf 600 lx gedrosselt (Dimmlevel 38%)	-2.4%	7.1%	15.5%	70.0%
5 Zeitlicher Anteil $E_{Bsens,P3} < 500$ lx	15.1%	31.0%	30.2%	2.0%
6 Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
7 Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht (min, s)	00:45	00:45	00:44	00:45
8 Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung (min, s)	>15:00	>15:00	>15:00	>15:00
9 Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)	1 s	0 s	0 s	0 s
10 Zeit bis maximaler Dimmlevel erreicht wird	11 s	11 s	18 s	11 s
11 Schwankungen, obwohl keine Veränderungen des Tageslichts vorhanden	ja	ja	nein	ja
12 Schwankungen bei Rampe in Phase 2	nein	nein	nein	nein

4.8 Produkt F

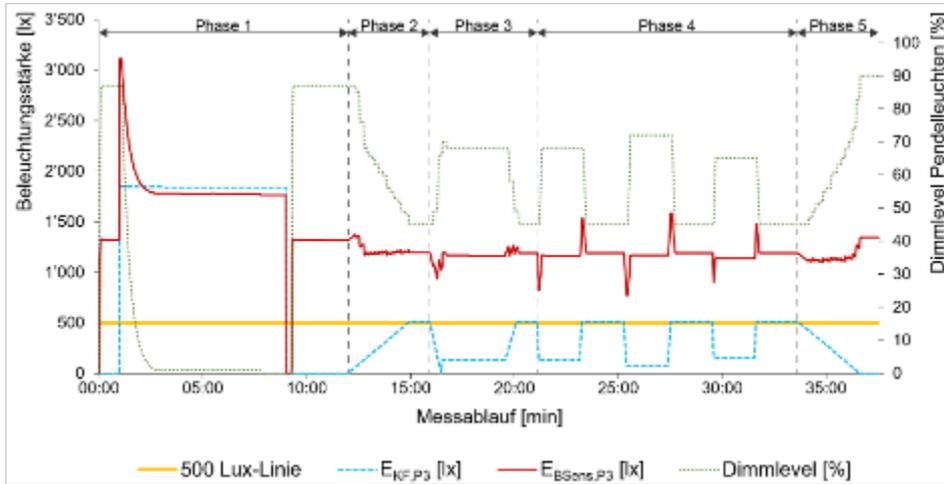


Abbildung 70: Produkt F: Testszenario 1 - gesamter Ablauf

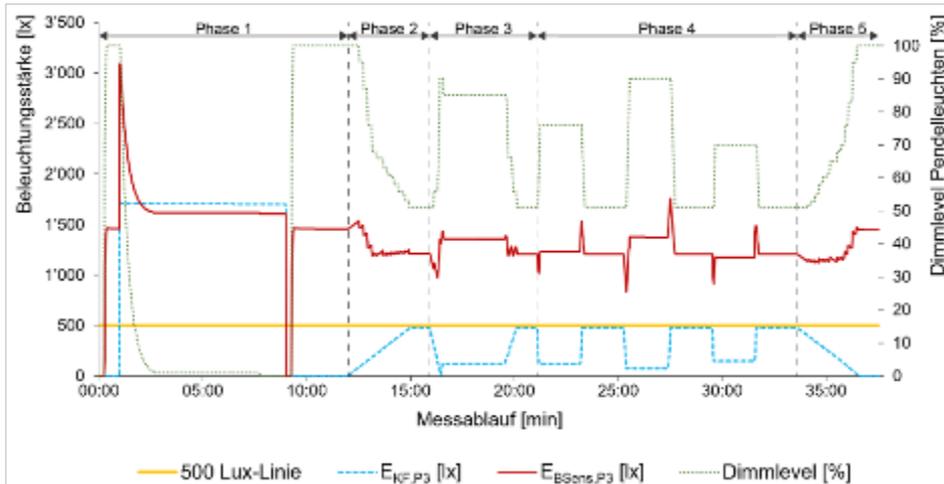


Abbildung 71: Produkt F: Testszenario 2 - gesamter Ablauf

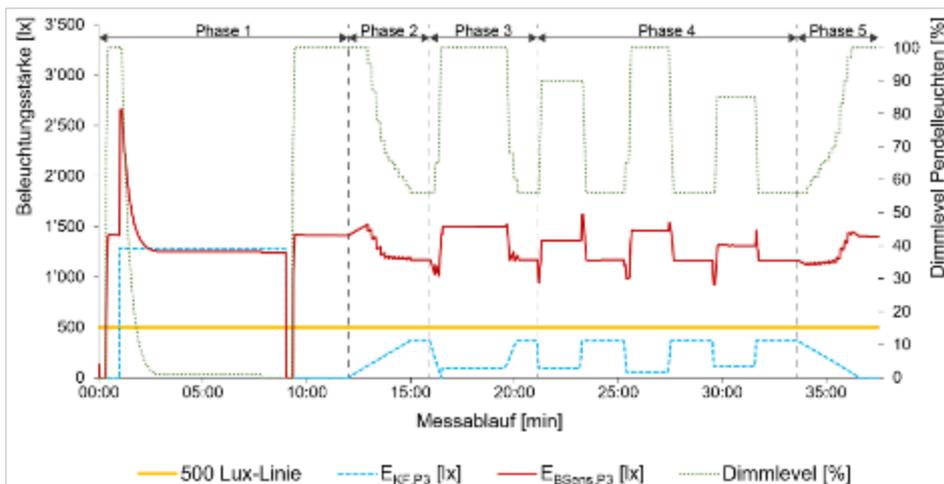


Abbildung 72: Produkt F: Testszenario 3 - gesamter Ablauf

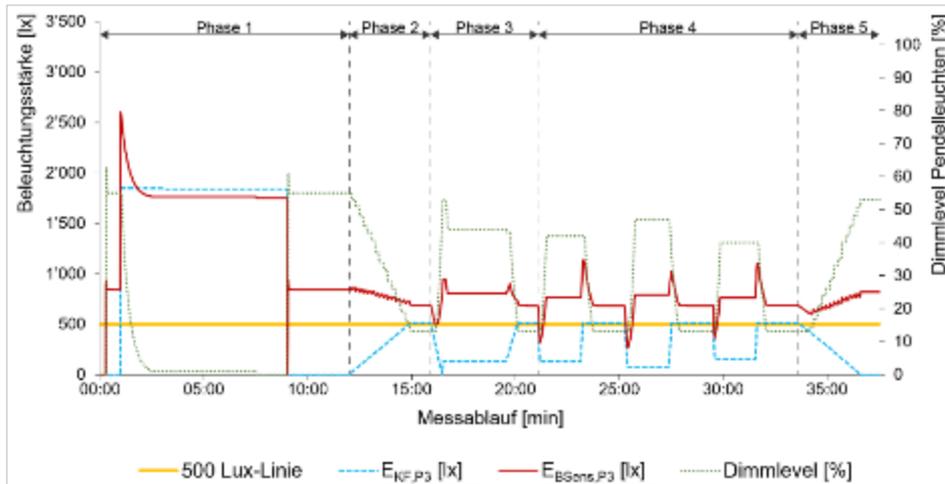


Abbildung 73: Produkt F: Testscenario 4 - gesamter Ablauf

Tabelle 19: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder F in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung)

Kriterium	Testscenario			
	1	2	3	4
F				
1 Energieverbrauch gesamter Ablauf	69.9	78.3	85.7	40
2 Mehrverbrauch gegenüber eines «optimalen» Melder	153.3%	166.3%	154.3%	44.9%
Energieeinsparung				
3 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf voller Leistung (Dimmlevel 100%)	-49.0%	-42.9%	-37.5%	-70.8%
4 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf 600 lx gedrosselt (Dimmlevel 38%)	27.1%	42.4%	55.8%	-27.3%
5 Zeitlicher Anteil $E_{BSens,P3} < 500$ lx	0.9%	1.5%	1.9%	2.9%
6 Minimaler Dimmlevel	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
7 Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht (min, s)	01:44	01:42	01:47	01:29
8 Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung (min, s)	05:02	05:02	05:02	05:02
9 Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)	17 s	16 s	20 s	3 s
10 Zeit bis maximaler Dimmlevel erreicht wird	1 s	1 s	1 s	1 s
11 Schwankungen, obwohl keine Veränderungen des Tageslichts vorhanden	nein	nein	nein	nein
12 Schwankungen bei Rampe in Phase 2	ja	ja	ja	ja

4.9 Produkt G

Das Produkt G konnte nach mehrmaliger Installation nicht zufriedenstellend in Betrieb gesetzt werden. Nach Absprache mit dem Hersteller wurde ein Alternativprodukt geliefert und getestet.

4.10 Produkt H

Bei den Produkten H und I handelt es sich um ein Bewegungsmelder mit keiner bzw. unzureichender *Permanent Fremdlicherkennung*, wie es in Kapitel 2.2.2 beschrieben wurde.

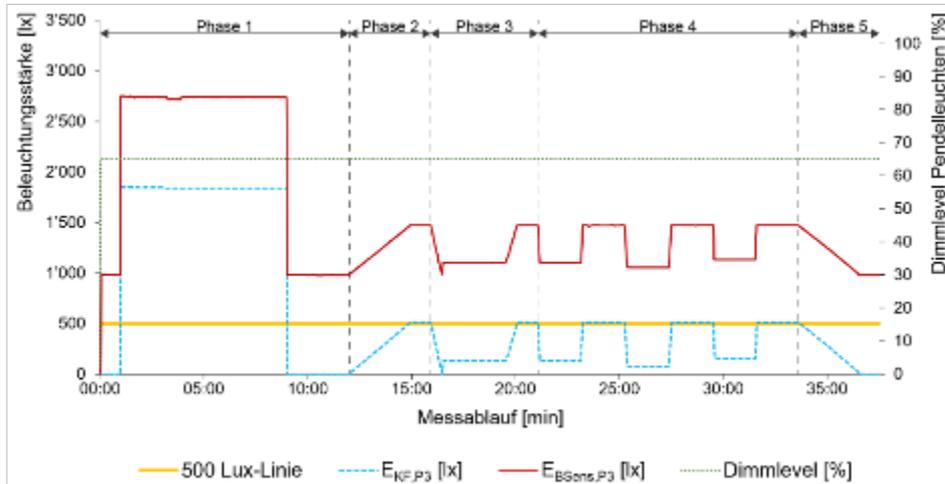


Abbildung 74: Produkt H: Testszenario 1 - gesamter Ablauf

4.10.1 Testszenario 4

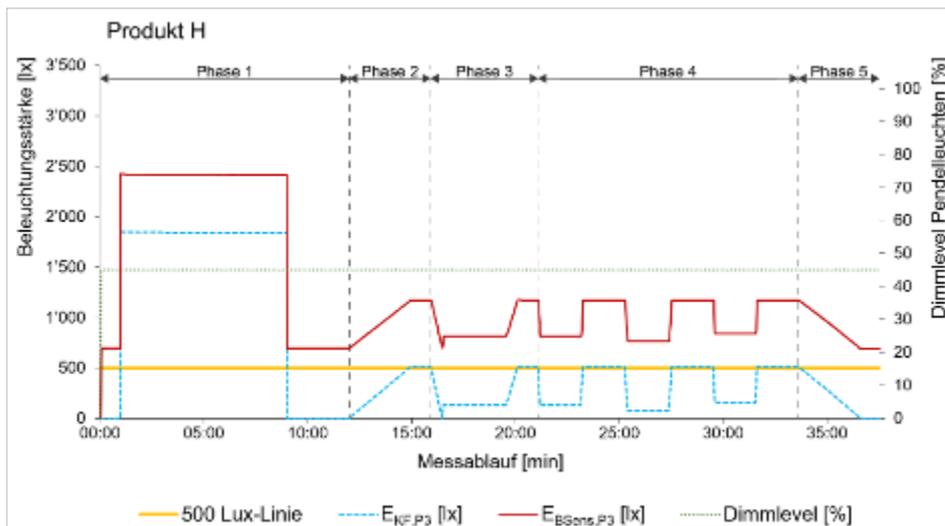


Abbildung 75: Produkt H: Testszenario 4 - gesamter Ablauf

Tabelle 20: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder H in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung)

Kriterium	Testszenario			
	1	2	3	4
1 Energieverbrauch gesamter Ablauf	88	-	-	63.6
2 Mehrverbrauch gegenüber eines «optimalen» Melder Energieeinsparung	218.8%	-	-	130.4%
3 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf voller Leistung (Dimmlevel 100%)	-35.8%	-	-	-53.6%
4 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf 600 lx gedrosselt (Dimmlevel 38%)	60.0%	-	-	15.6%
5 Zeitlicher Anteil $E_{BSens,P3} < 500$ lx	0.2%	-	-	0.2%
6 Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder	-	-	-	-
7 Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht (min, s)	-	-	-	-
8 Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung (min, s)	-	-	-	-
9 Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)	1 s	-	-	1 s
10 Zeit bis maximaler Dimmlevel erreicht wird	-	-	-	-
11 Schwankungen, obwohl keine Veränderungen des Tageslichts vorhanden	-	-	-	-
12 Schwankungen bei Rampe in Phase 2	nein	nein	nein	nein

4.11 Produkt I

Bei dem Produkte I handelt es sich um ein Bewegungsmelder mit keiner bzw. unzureichender *Permanent Fremdlichtererkennung*, wie es in Kapitel 2.2.2 beschrieben wurde.

4.11.1 Testscenario 1

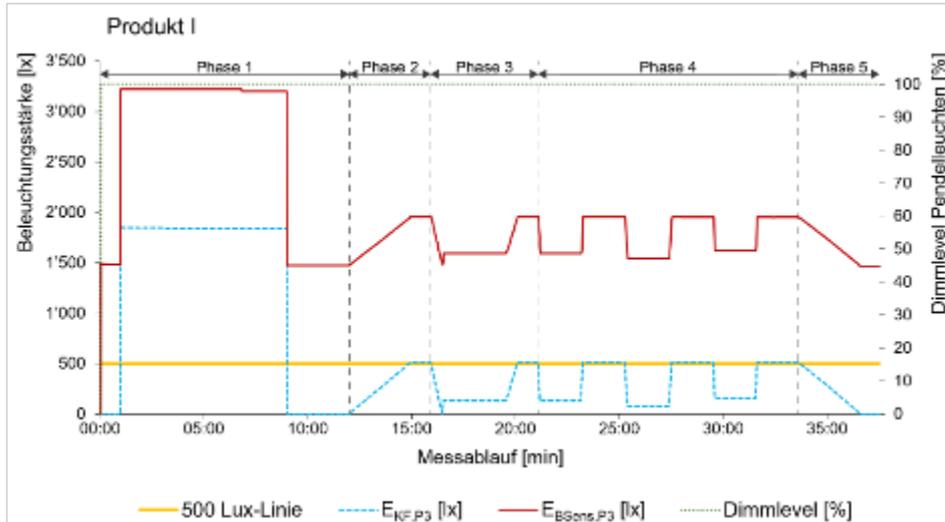


Abbildung 76: Produkt I: Testscenario 1 - gesamter Ablauf

Tabelle 21: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder B in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung)

Kriterium	Testscenario			
	1	2	3	4*
1 Energieverbrauch gesamter Ablauf	135	-	-	-
2 Mehrverbrauch gegenüber eines «optimalen» Melder Energieeinsparung	389.1%	-	-	-
3 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf voller Leistung (Dimmlevel 100%)	-1.5%	-	-	-
4 Gegenüber Beleuchtung dauernd auf 600 lx gedrosselt (Dimmlevel 38%)	145.5%	-	-	-
5 Zeitlicher Anteil $E_{BSens,P3} < 500$ lx	0.1%	-	-	-
6 Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder	-	-	-	-
7 Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht (min, s)	-	-	-	-
8 Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung (min, s)	-	-	-	-
9 Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)	3 s	-	-	-
10 Zeit bis maximaler Dimmlevel erreicht wird	-	-	-	-
11 Schwankungen, obwohl keine Veränderungen des Tageslichts vorhanden	-	-	-	-
12 Schwankungen bei Rampe in Phase 2	nein	nein	nein	nein

4.12 Quervergleich der getesteten Produkte

Nachfolgend wird ein Quervergleich der getesteten Produkte durchgeführt. Dafür wird die Tabelle 22, in der die Kriterien und die Bewertung der einzelnen Produkte gegenübergestellt wurden, und Tabelle 13 herangezogen.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass zwischen Energieeffizienz und Nutzerkomfort eine Balance gefunden werden muss. Eine einseitige Optimierung auf höchste Energieeffizienz kann sowohl negative Auswirkungen auf die ergonomischen Vorgaben als auch auf fehlende Akzeptanz⁸ bei den Nutzern führen, wenn diese sich durch das Regelverhalten der Melder gestört fühlen.

Das Regelverhalten der Melder kann jedoch durch Anpassung der integrierten Algorithmen und diverser Parameter beeinflusst werden.

Die Tests ergaben, dass die Mehrheit der Melder den Energieverbrauch in einem hellen Raum⁹ (Szenario 1), bezogen auf eine gedrosselte Anlage, bereits in der Werkseinstellung reduzieren kann.

Jedoch erst durch das nachträgliche manuelle Einjustieren der Anlage, mittels Beleuchtungsstärkemessgerät, kann das Potential deutlich gesteigert werden. Bei der Betrachtung von Kriterium 1 kommen einige Melder (C: 26.2 Wh, D: 27.5 Wh) sehr nahe an den Energieverbrauch eines idealen Melders von 27 Wh heran. Wird das Kriterium 5, welches den zeitlichen Anteil in Prozent angibt, bei dem die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz unterhalb der nach Norm geforderten 500 Lux absinkt, relativieren sich die Ergebnisse. Der Melder C unterschreitet 34.9 Prozent der Zeit den geforderten Wert von 500 Lux und der Melder D 38.2 Prozent der Zeit. Wird der Melder F für den Vergleich herangezogen, so liegt dieser mit einem Energieverbrauch von 40 Wh zwar über dem Energieverbrauch eines idealen Melders, aber 27 Prozent unter dem einer gedrosselten Anlage. Die Besonderheit ist, dass der Melder F die geforderten 500 Lux zu keinem Zeitpunkt unterschreitet. Als Kritikpunkt ist bei dem Melder F das Kriterium 12 zu nennen (Schwankungen beim Dimmen). Hier können Störungen der Nutzenden nicht ausgeschlossen werden.

Bei den Kriterien 7 (Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht) und 8 (Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung) sind bei vielen Meldern unnötig lange Zeitparameter (>5 min) hinterlegt, welche den Energieverbrauch negativ beeinflussen.

Die Kriterien 9 und 10, welche die Einschaltreaktionszeit betreffen, fallen bei einigen Melder durch lange Verzögerungen bzw. langsames Verhalten auf. Für Büro- oder Industrieanwendungen können Störungen der Nutzer auch hier nicht ausgeschlossen werden.

Bei zwei Meldern (B und E) wurden deutlich wahrnehmbare Schwankungen festgestellt, obwohl innerhalb dieser Beobachtungsperiode keine Veränderung der Fremdlichtsituation vorlag. Diese Schwankungen wurden auch vom DALI-Bus-Monitoring erfasst und werden vom Melder erzeugt. Diese Schwankungen sind als nicht akzeptabel einzustufen und wären ein Ausschlusskriterium für einen Einsatz.

Die scheinbar einfache Aufgabe, nur so viel künstliches Licht wie nötig bereitzustellen, ist von vielen Kriterien abhängig und konnte von keinem Melder mit voller Zufriedenheit gelöst werden.

Die Verwendung eines Melders mit Konstantlichtregulierung auf Basis einer permanenten Fremdlichterfassung ermöglicht nicht zwangsläufig eine Verbesserung der Energieeffizienz.

Erst nachdem die Möblierung und Einrichtung abgeschlossen ist, kann die Anlage manuell einjustiert werden. Dafür ist ein Beleuchtungsstärkemessgerät zwingend zu verwenden.

Die Mehrheit der in der Tabelle 22 aufgeführten Bewertungskriterien kann in leicht angepasster Form auch in einem zukünftigen Datenblatt der Hersteller Auskunft über die Eigenschaften der Melder geben. Ein Vorschlag für ein mögliches Datenblatt ist in Kapitel 4.13 dargestellt.

⁸ Bei Anlagekontrollen konnten in der Vergangenheit immer wieder Fälle beobachtet werden, bei denen Nutzer die Systeme mit einfachen Massnahmen, wie das Überkleben oder Abdecken der Sensoren, ausser Kraft gesetzt haben. Eine Energieeinsparung ist dann nicht mehr möglich.

⁹ Nach Veränderung der Möblierung und Oberflächen des Raumes ist die Werkseinstellung wesentlich weniger effektiv (Tabelle 13), teilweise ergibt sich sogar ein höherer Energieverbrauch als bei einer ständig eingeschalteten, gedrosselten Anlage.

Tabelle 22 Quervergleich und Darstellung aller Produkte A-I unter Berücksichtigung der Bewertungskriterien mit farblicher Hervorhebung (grün besser, rot schlechter), (Produkte G-I nicht weiter berücksichtigt)

	Produkt > TestszENARIO > Kriterium	A*		B		C		D		E		F		G		H		I	
		1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
1	Energieverbrauch gesamter Ablauf (Wh)	43.2	43.2	43	16.6	30	26.2	9.3	27.5	53.7	93.5	69.9	40	-	-	88	63.6	135	
2	Mehrverbrauch gegenüber eines «optimalen» Melder	56.5%	56.5%	55.8%	-39.9%	8.7%	-5.1%	-66.3%	-0.4%	94.6%	238.8%	153.3%	44.9%	-	-	218.8%	130.4%	389.1%	-
3	Energieeinsparung Gegenüber Beleuchtung dauernd auf voller Leistung (Dimmlevel 100%)	-68.5%	-68.5%	-68.6%	-87.9%	-78.1%	-80.9%	-93.2%	-79.9%	-60.8%	-31.8%	-49.0%	-70.8%	-	-	-35.8%	-53.6%	-1.5%	-
4	Gegenüber Beleuchtung dauernd auf 600 lx gedrosselt (Dimmlevel 38%)	-21.5%	-21.5%	-21.8%	-69.8%	-45.5%	-52.4%	-83.1%	-50.0%	-2.4%	70.0%	27.1%	-27.3%	-	-	60.0%	15.6%	145.5%	-
5	Zeitlicher Anteil E _{BSens,P3} < 500 lx	15.9%	15.9%	9.7%	41.8%	30.9%	34.9%	66.1%	38.2%	15.1%	2.0%	0.9%	2.9%	-	-	0.2%	0.2%	0.1%	-
6	Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	1.0%	1.0%	1.3%	1.5%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	-	-	-	-	-	-
7	Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht (min, s)	10:41	10:41	01:09	01:01	03:02	03:04	00:03	00:14	00:45	00:45	01:44	01:29	-	-	-	-	-	-
8	Verzögerungszeit von minimalem Dimmlevel bis zur Abschaltung (min, s)	00:56	00:56	05:03	05:03	13:07	08:09	00:05	00:05	15:00	15:00	05:02	05:02	-	-	-	-	-	-
9	Einschaltreaktionszeit (wenn Umgebungslicht ausschaltet)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	17	3	-	-	1 s	1 s	3 s	-
10	Zeit bis maximaler Dimmlevel erreicht wird	4	4	2	2	3	5	3	3	11	11	1	1	-	-	-	-	-	-
11	Schwankungen, obwohl keine Veränderungen vorhanden	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	-	-	-	-	-	-
12	Schwankungen bei Rampe in Phase 2	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	1	1	-	-	0	0	0	0

* bei diesem Melder muss immer eine manuelle Einstellung vorgenommen werden, daher sind die Ergebnisse von TestszENARIO 1 und 4 identisch

4.12.1 Weitere Bemerkungen zu den einzelnen Produkten

Die Inbetriebsetzung von **Produkt A** hebt sich von allen anderen Produkten ab, da für die Installation grundsätzlich eine Einstellung vor Ort notwendig ist. Die Ergebnisse, was den Energieverbrauch angeht, bewegen sich im Mittelfeld, jedoch ist hier anzumerken, dass hier kein zweiter Durchlauf für eine Optimierung durchgeführt wurde.

Produkt B bewegt sich mit den Werkseinstellungen bei dem Energieverbrauch im Mittelfeld. Die Unterschreitung der Beleuchtungsstärke liegt nur bei 9.7 Prozent. Nach der Optimierung wird der Energieverbrauch auf nur 16.6 Wh gedrosselt, jedoch wie zu erwarten auf Kosten der Ergonomie. Störend bei dem Melder fielen die Schwankungen auf.

Das **Produkt C** erfüllt die Vorgaben bereits mit den Werkseinstellungen sehr gut. Nach einer Optimierung wird der Energieverbrauch auf unter den 26.5Wh gesenkt. Die Unterschreitung der geforderten Beleuchtungsstärke verschlechtert sich dabei um 4 auf 34.9 Prozent. Das Zumischen von Licht erfolgt rasch, das Herunterdimmen erfolgt dagegen nur langsam und zur Abschaltung kommt es erst nach 13 bzw. 8 Minuten.

Das **Produkt D** kann mit den Werkseinstellungen die ergonomischen Vorgaben nicht einhalten zweidrittel der Zeit wird die geforderte Beleuchtungsstärke nicht eingehalten. Nach der Optimierung

Bei **Produkt E** kam es nach der Optimierung zu einer Erhöhung des Energieverbrauchs, welcher nicht nachvollzogen werden konnte. Bei der Werkseinstellung liegt der Melder mit 53.7 Wh im oberen Bereich.

Bei dem **Produkt F** machte sich die manuelle Einstellung besonders stark bemerkbar. Der Energieverbrauch konnte von 69.9 auf 40 Wh gesenkt werden.

Das **Produkt G** konnte nach mehrmaliger Installation nicht zufriedenstellend in Betrieb gesetzt werden. Nach Absprache mit dem Hersteller wurde ein Alternativprodukt geliefert und getestet.

Bei den **Produkten H und I** handelt es sich um Bewegungsmelder mit keiner bzw. unzureichender Permanent Fremdlischerkennung, wie es in Kapitel 2.2.2 beschrieben wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass der Energiemehrverbrauch bei der Beleuchtung in dieser Art bei 130 bis knapp 400 Prozent gegenüber einem idealen Melder liegt. Eine solche Art von Meldern ist für anspruchsvolle Büro- und Industrieanwendungen mit hoher Tageslichtversorgung nicht geeignet.

4.13 Vorschlag Produktdatenblatt

Die Qualitätskriterien an Melder zur Erfassung des Fremdlichts sind, wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt, vielfältig. In einem ersten Schritt sind alle wichtigen Eigenschaften in einem Produktdatenblatt abzubilden. Darauf aufbauend sind in einem zweiten Schritt Qualitätsanforderungen zu bestimmen, die für das Erhalten eines Qualitätslabels von dem jeweiligen Melder erfüllt sein müssen. In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Eigenschaften aus den zuvor aufgeführten Bewertungskriterien aufgeführt. Diese Aufstellung ist als erste Diskussionsgrundlage zu betrachten und ist nicht abschliessend.

Typ des Melders	Präsenzmelder mit konstanter Fremdlichterfassung zur Konstantlicht-Regulierung (DALI)		Bemerkung
Konnektivität	DALI Bus, Broadcast oder Adressierung KNX		
Technische Daten			
Spannung	230V~ ±10%		
Leistung	< x.x W		Anforderung: <1W
Umgebungstemperatur	-xx°C – +xx°C		
Schutzart / Schutzklasse	IP x / y		
Abmessungen	H x Ø: mm		
Montage Art / Ort	Decke/Wand		
Funktionalitäten und Einstellungen		einstellbar	
Art wie Einstellungen erfolgen	Manuell / Funk / IR / bluetooth		Zubehör App, Fernbedienung etc.
Fremdlicht (FI)			
Anzahl Lichtsensoren	1		produktabhängig
Erfassungsbereich Charakteristik	kreisförmig 360°, 45°		Art der Messung Punktlicht oder Streulichtmessung Richtbarkeit etc.
Lichtwert*	x – y0000 lx	JA/NEIN	Erfassungsbereich Fremdlicht
DALI (Dimmbereich)	1 – 100 %	JA/NEIN	notwendig
Minimaler Dimmlevel	0,1%, 1%, 10%	JA/NEIN	vorzugsweise 1 %
DALI Parameter Initialisierung	JA/NEIN		Melder sendet DALI Parameter bei Initialisierung an die Vorschaltgeräte
Nachlaufzeit bis Abschaltung	x min	JA/NEIN	vorzugsweise < 3 min
Verzögerungszeit (genügend FI)	x s	JA/NEIN	vorzugsweise < 60 s
Zeit bis optimaler Wert erreicht	x s	JA/NEIN	
Verzögerungszeit (zu wenig FI)	x s	JA/NEIN	vorzugsweise < 1 s
Zeit bis optimaler Wert erreicht	x s	JA/NEIN	vorzugsweise < 3 s
SmoothDim	JA/NEIN		keine Schwankungen
Spektrale Empfindlichkeit des Sensors			Grafik notwendig, zur Beurteilung ob unterschiedliche Lichtarten Tageslicht, Kunstlicht unterschieden werden kann
Präsenz	Nicht Bestandteil des Projektes		

4.14 Vorschlag Qualitätsanforderungen

Zur Steigerung der Energieeffizienz in der Beleuchtung, mittels Verwendung von Meldern mit Konstantlicht-Regulierung, ist das manuelle Einjustieren unabdingbar. Dies muss nach Anschluss der Möblierung und Einrichtung erfolgen.

Damit dies in der Praxis auch erfolgen kann, muss das Einjustieren auf eine sehr einfache Art erfolgen. Meist ist der direkte Zugang zu den Meldern an der Decke nach der abgeschlossenen Möblierung nicht mehr gewährleistet. Daher sind in Zukunft primär Melder mit kontaktloser Einstellung zu empfehlen.

Weiter sind kleine Schwankungen des Lichtoutputs (Kriterium 11 und 12) nicht akzeptabel und bilden ein Ausschlusskriterium.

Sowohl die Reaktionszeiten für den Beginn des Auf- bzw. Abdimmprozesse wie auch die Zeiten bis zum Erreichen des gewünschten Ziellichtlevels sind für konkrete Qualitätsanforderungen zu bestimmen. Die Zeiten sind in Absprache mit der Branche zu definieren.

Die Möglichkeit, dass die speziellen Parameter von der ausführenden Elektroinstallationsfachperson verändert und eingestellt werden können, wird von den Autoren als nicht zielführend erachtet. Die Komplexität ist zu hoch, und sollte nur von Personen mit sehr tiefem Produktfachwissen erfolgen. Daher stellt die Einstellbarkeit der speziellen Parameter eine nicht zwingende Qualitätsanforderung dar. Vielmehr sollten die in den Meldern verwendeten Parameter eine hohe Robustheit aufweisen.

Neben den Qualitätsanforderungen bei den Produkten müssen die bekannten Massnahmen zur Qualitätssicherung in den SIA-Phasen Ausschreibung, Ausführung und Inbetriebnahme umgesetzt bzw. stärker eingefordert werden. Hier sind konkret die Ausschreibungsunterlagen und das Abnahmeprotokoll für Beleuchtungsanlagen zu nennen.

Bei einer sorgfältigen Abnahme würden über- bzw. unterdimensionierte Anlagen erkannt werden, die einen Mangel darstellen. Durch das Beheben dieser Mängel könnten sowohl die Energieeffizienz als auch der Komfort für die Nutzenden gesteigert werden.

5. Diskussion

5.1 Beurteilung der Ergebnisse

Das Potential zur Reduktion des Energieverbrauchs bei der Beleuchtung liegt bei der Nutzung von Tageslicht zwischen 25 und 40 Prozent, bezogen auf eine Beleuchtungsanlage (LED¹⁰), welche in der Betriebszeit und bei Anwesenheit von Personen eingeschaltet ist. Dies setzt grundsätzlich als Erstes voraus, dass die Räume baulich optimal mit Tageslicht versorgt werden können. Die SN EN17037 von 2019 beschreibt Methoden zur Berechnung, welche jedoch in der Praxis kaum von Bestellern bzw. Labels eingefordert werden.

Als Zweites werden für die Ausnutzung des Potentials Melder benötigt, die zuverlässig und effizient das Kunstlicht beimischen und zum richtigen Zeitpunkt das Kunstlicht ein- oder ausschalten. Die zusätzliche Herausforderung besteht darin, den Nutzer nicht zu stören. Diese zwei Anforderungen, Energieeffizienz und Nutzerkomfort, stellen einen klassischen Zielkonflikt dar. Die Tests haben gezeigt, dass einige Produkte diese Aufgabe in Ansätzen gut lösen, aber auch, dass einige Produkte daran scheitern.

5.2 Beurteilung des Verfahrens und Messrichtlinie

Eine quantitative Beurteilung von Meldern ist mittels des realisierten Testverfahrens durchführbar. Es konnte des Weiteren gezeigt werden, dass die Oberflächen des Raumes und die Art der Möblierung entscheidenden Einfluss auf die Funktionsweise der Melder und die Reduktion des Energieverbrauchs der Beleuchtung haben. Weiter konnte die hohe Bedeutung der Einjustierung der Melder, mittels Referenzmessung der Beleuchtungsstärke, auf den Energieverbrauch nachgewiesen werden. Daraus lassen sich Empfehlungen für die Praxis ableiten, welche im nachfolgenden Kapitel beschrieben werden.

Bei den Tests war es notwendig, dass immer eine Person vor Ort anwesend war. Unzulänglichkeiten, die negative Auswirkungen auf die Nutzenden und deren Komfort haben könnten, konnten so unmittelbar registriert und als zusätzliches Beurteilungskriterium erfasst werden. Dies erleichterte auch die Auswertung und Interpretation der Messdaten. Als Beispiel sind hier exemplarisch die Schwankungen bei der Ansteuerung der Leuchten durch den Melder zu nennen. Die dauernde Personenanwesenheit führt gezwungener Weise zu einem hohen Betreuungsaufwand, welcher eine wirtschaftliche Durchführung solcher Messungen in Frage stellt. Des Weiteren wurde ein hochflexibler Testraum verwendet, welcher eine hohe Praxisnähe ermöglicht. Jedoch ist diese spezielle Testumgebung nicht ohne Weiteres multiplizierbar. Hier ist davon auszugehen, dass die Wirtschaftlichkeit der Verbreitung des Messverfahrens entgegenspricht.

Erkenntnisse zur subjektiven Beurteilung von Unzulänglichkeiten, welche Auswirkungen auf den Nutzerkomfort haben, konnten mit dem Test bereits gewonnen werden. Wenn diese Erkenntnisse als ausreichend erachtet würden, könnte bei breit angelegten Tests auch auf eine permanente Betreuung verzichtet werden. Dies würde die Möglichkeit eröffnen, die Tests in verkleinerten Modellräumen durchzuführen. Jedoch müsste zuvor verifiziert werden, ob durch die Massstabsanpassung keine abweichenden Resultate entstehen. Zur weiteren Optimierung könnten die Messungen der Fremdlichterfassung mit der der Präsenzerfassung kombiniert werden (Integration in METAS / Sensnorm-Messzyklus). Damit müsste die Installation und Inbetriebnahme des Melders nur einmal erfolgen.

Die einzelnen Phasen des Messablaufs wurden so ausgewählt, dass damit unterschiedliche Eigenschaften der Melder getestet und beurteilt werden konnten. Dieser Ablauf ermöglicht auch eine Aussage über den Energieverbrauch bzw. die Energieeinsparung. Diese beziehen sich auf diesen theoretischen Ablauf. Welche unterschiedlichen Phasen, wie oft und wie lang in einem realen Raum anzutreffen sind, ist nur mit grundlegenden Messungen des Tageslichts in Minutenschritten abschätzbar. Diese Erkenntnisse haben sich erst innerhalb des Projektes ergeben und lagen ausserhalb der Projektgrenzen.

¹⁰ Einsparungen beziehen sich auf die reine Tageslichtnutzung.

Somit sind hier nicht die Einsparungen berücksichtigt, welche sich durch einen Wechsel von Leuchtstofflampen auf LED ergeben.

Es existieren zusätzliche weitere Eigenschaften, welche nicht über einen solchen Test ermittelt werden können. Diese könnten zu einem grossen Teil aus den zukünftigen erweiterten Herstellerangaben entnommen werden.

- Einstellbare Parameter
- Einstellung mechanisch am Melder oder drahtlos
- Richtcharakteristik der Fremdlichterfassung
- ... weitere

Die Grundsteine für eine Messrichtlinie sind mit dem ausgearbeiteten Testverfahren gelegt. Die Ergebnisse und die Kriterien sowie erweiterten Herstellerangaben sind mit den Experten aus Industrie, Verbänden und weiteren Stakeholdern zu diskutieren und die nächsten Schritte zu definieren.

5.3 Label

Planende stehen bei der Auswahl der Melder vor einer kaum überschaubaren Vielfalt an Meldern. Die Verwendung von unterschiedlichen Begrifflichkeiten ist hierbei eine zusätzliche Erschwernis, welche dringend behoben werden muss.

Die Deklaration der Melder bzgl. ihrer Eigenschaften, Funktionalitäten und Einstellmöglichkeiten sollte verbessert werden. Die Erstellung und Einführung eines Labels ist hier ein mögliches Instrument zur Lenkung des Marktes, daher ist die Lancierung eines Qualitätslabel für Melder z.B. Minergie Label aus Sicht der Autoren anzustreben. Erste Gespräche sind bereits erfolgt (sensnorm, SLG, minergie, AWEL). Jedoch ist dies ein mittel- bis langfristiges Projekt.

Alternativ müssen die Besteller und die in einem Bauprojekt beteiligten Fachpersonen angehalten werden, die schon bestehenden Leistungen und Qualitätsansprüche im Zusammenhang mit Meldern (Planung, Ausschreibung, Inbetriebnahme, Einjustierung etc.) konsequent einzufordern und umzusetzen.

5.4 Empfehlungen

In dem abschliessenden Kapitel sind Empfehlungen für die unterschiedlichen Interessensgruppen aufgeführt. Für alle Gruppen muss eine Sensibilisierung zu diesem Thema erfolgen. Das Wissen muss bei allen Beteiligten vorhanden sein, damit die Massnahmen ineinandergreifen.

Staatliche Institutionen

- Aus- und Weiterbildung stärken
- Messnorm für Melder mit permanenter Fremdlichterfassung
- Einführung eines Labels für Melder (Qualitätstest, Vereinheitlichung der Begriffe etc.)
- Förderung von Grundlagenarbeit mit hohem Praxisbezug

Besteller/Ersteller/Betreiber

- Bedeutung des Tageslichts in Bezug auf den Energieverbrauch und auf den Komfort für ein Gebäude kennen
- Erkenntnisse aus diesem Projekt in den Planungsprozess einfließen lassen (nicht abschliessend)
 - Wettbewerb: Aussage zu Tageslicht SN EN 17037 und Aussagen zum Zielkonflikt Tageslicht & Sonnenschutz einfordern
 - Vorprojekt/Bauprojekt: Energienachweise einfordern
 - Ausschreibung: Produkte mit hoher Qualität einfordern, Leistungen zu Installation und Inbetriebsetzung konkretisieren
 - Ausführung: Installation und Inbetriebsetzung prüfen und Vorgaben durchsetzen, Einstellung der Melder nach Möblierung terminieren, Messgerät erforderlich
 - Betrieb: Feedback von Nutzern einholen, Messungen und Betriebsoptimierung durchführen
- Überdimensionierung von Beleuchtungsanlagen als Gefahr, zur Vernichtung der Energieeffizienz bei der Beleuchtung, verstehen

Hersteller/Industrie

- Vereinheitlichung der Begrifflichkeit
- Datenblätter mit beschriebenen Kriterien und Eigenschaften ergänzen
- Produkte verbessern (Erfassung, Algorithmen, Einstellmöglichkeiten, Benutzerkomfort)
- Neue Produkte entwickeln, welche nicht an der Decke das Fremdlicht erfassen

Planende

- Begrifflichkeiten kennen
- Überdimensionierung von Beleuchtungsanlagen als Gefahr, zur Vernichtung der Energieeffizienz bei der Beleuchtung, verstehen
- Fremdlichterfassung mit Konstant-Lichtregelung als System verstehen
 - Tageslichtversorgung (Potential)
 - Leuchtenauswahl Dimmbereich hat Einfluss auf Energieverbrauch & Komfort
 - Überdimensionierung von Beleuchtungsanlagen vermeiden: Drosselung bzw. korrekte Inbetriebsetzung
 - Planung: Positionierung
 - Planung: Auswahl der Melder: Beurteilungskriterien kennen (Datenblätter)
 - Steuerung und Einstellmöglichkeiten kennen
 - Inbetriebsetzung: In Ausschreibung bereits Leistungen definieren, Checkliste für die Inbetriebnahme, Terminierung mit Möblierung (Möblierung macht einen Unterschied)

Umsetzende

- Begrifflichkeiten kennen
- Überdimensionierung von Beleuchtungsanlagen als Gefahr, zur Vernichtung der Energieeffizienz bei der Beleuchtung, verstehen
- Produkte mit hoher Qualität verwenden (Label)
- Leistungen für Installation und Inbetriebnahme von Beleuchtungsanlagen kennen, einrechnen und umsetzen
- Einstellmöglichkeiten kennen, Messgeräte verwenden

Verbände/Bildungsintuitionen

- Wissenstransfer (Integration der Erkenntnisse in Aus- und Weiterbildung)
- Dissemination (Verbreitung der Erkenntnisse Referate, Artikel)
- Qualitätstests für Melder weiterentwickeln und standardisieren (Label)

5.5 Ausblick

5.5.1 Kommunikation der Erkenntnisse aus dem Projekt

Die Ergebnisse aus dem Projekt wurden bereits in Auszügen veröffentlicht. So wurde auf der Licht 2023 in Salzburg das Projekt Fachpersonen aus der Lichtbranche vorgestellt. Im Frühjahr 2023 wurde ein Fachartikel in der Zeitschrift e-trends publiziert und elektrotechnik (et-Licht). Weitere Artikel werden nach Veröffentlichung des Berichts im Energiepraxis-Bulletin vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich und in weiteren Zeitschriften erscheinen.

Die Erkenntnisse aus dem Projekt werden an der Hochschule Luzern in die Bachelor Ausbildung der Gebäudetechnik-Ingenieure und in den CAS elektrische Betriebsoptimierung integriert. Weiter werden die Empfehlungen für Planende Inhalt in den in Planung befindlichen Kursen, Praxis-Booster Beleuchtung der electrosuisse und dem Kurs Lichtoptimierer der SLG/EIT-swiss sein.

5.5.2 Nächste Schritte

Nach Publikation des Berichtes ist eine Abschlusssitzung mit den beteiligten Partnern (BFE, HSLU, SLG und sensNorm) vorgesehen. Hier werden folgende nächste Schritte besprochen:

- Begriffsklärung
- Deklaration der Melder
- Qualitätsanforderungen
- Testverfahren
- Qualitätslabels für Melder

5.5.3 Langfristige Herausforderungen

Der Elektrizitätsverbrauch bei der Beleuchtung macht aktuell 12 Prozent aus und kann in den kommenden Jahren um die Hälfte reduziert werden. Die Initiative energylight trägt dem Rechnung und leistet einen wichtigen Beitrag dazu. Die Recherche brachte zu Tage, dass im Bereich der Gebäudetechnik und im speziellen im Bereich des Tages- und Kunstlichts international nur eine sehr kleine Auswahl an relevanten Studien vorliegt. Die Mehrheit der Studien bezieht sich auf die Ära der Leuchtstofflampen und berücksichtigt nicht die besonderen Eigenschaften der LED und Digitale Steuerungssysteme wie z.B. DALI. Es existieren kaum Grundlagenstudien, die einen hohem Praxisbezug herstellen. Zusätzlich wird die rasante Entwicklung auf dem Sensormarkt kaum berücksichtigt. Hier wäre es wünschenswert, dass Projekte gefördert

würden, die sich mit grundlegenden Zusammenhängen in Bezug auf Licht im Gebäude und Auswirkungen auf den Nutzer beschäftigen.

Neben dem energetischen Potential zeigt sich, dass eine Steigerung der Forschungsaktivitäten zusätzlich einen Mehrwert für Schweizer Unternehmen in diesem Bereich schaffen könnte und die Vorreiterrolle der Schweiz im Bereich der Energieeffizienz in der Beleuchtung neuen Schub geben könnte.

Zusätzlich möchten die Autoren auf eine Herausforderung für die kommenden Jahre hinweisen. Die Themen Tageslicht, Kunstlicht und die Auswirkung auf die Energieeffizienz eines Gebäudes haben in der Ausbildung von Architekturschaffenden kaum noch eine Bedeutung. Die notwendigen Kompetenzen fehlen bereits heute schon in der Praxis und zukünftige Fachpersonen erhalten diese auch nicht in ihrer heutigen Ausbildung. Auch bedingt der demografische Wandel, dass in den kommenden Jahren weiteres Wissen aufgrund von Pensionierungen verloren gehen wird. Der Fachkräftemangel ist bereits heute in der Baubranche einer der höchsten und wird in Zukunft weiter steigen. Staatliche Instanzen, Bildungsorganisationen und die Wirtschaft sind aufgefordert, mit geeigneten Massnahmen dieser Entwicklung entgegenzuwirken, da sonst die Ziele für die Dekarbonisierung nicht erreicht werden können.

6. Literatur

- [1] S. Gasser und B. Schrader, „Präsenzmelder im Qualitätstest: Stromverbrauch, Erfassungsqualität und Benutzerfreundlichkeit von 11 gebräuchlichen Präsenzmeldern“, Zürich, 10. Jan. 2013.
- [2] sensNORM, „Planungssicherheit von Bewegungs- und Präsenzmeldern“, *eTrends*, 2020.
- [3] S. Schleicher, „Sicherheit in der Sensorplanung“, *bulletin.ch*, Nr. 11, S. 40–42, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bulletin.ch/de/news-detail/sicherheit-in-der-sensorplanung.html>
- [4] Eidgenössisches Institut für Metrologie, *sensLAB: Bewegungs- und Präsenzsensoren auf dem Prüfstand*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.metas.ch/metas/de/home/fabe/optik/sensLAB.html> (Zugriff am: 25. Oktober 2022).
- [5] *DIN EN 15193-1:2021-11, Energetische Bewertung von Gebäuden_ - Energetische Anforderungen an die Beleuchtung_ - Teil_1: Spezifikationen, Modul M9; Deutsche Fassung EN_15193-1:2017+A1:2021*, Deutschen Institut für Normung e.V., Berlin.
- [6] *Elektrizität in Gebäuden – Beleuchtung: Berechnung und Anforderungen*, 387/4:2023, SIA Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, Ausgabe Aug. 2023.
- [7] *Tageslicht in Gebäuden*, 17037:2018, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung, Zürich, Ausgabe Mrz. 2019.
- [8] S. Gasser, „Präsenzmelder in Schulzimmern - Schlussbericht: Schulhaus Milchbuck“, Juni 2015.
- [9] J. Mardaljevic und J. Christoffersen, „‘Climate connectivity’ in the daylight factor basis of building standards“, *Building and Environment*, Jg. 113, S. 200–209, 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.08.009.
- [10] L. Doulos, A. Tsangrassoulis und F. Topalis, „A Critical Review Of Simulation Techniques For Daylight Responsive Systems“, 2005.
- [11] *Methods of measurement and declaration of the detection range of detectors - Passive infrared detectors for major and minor motion detection: Part 1: Passive infrared detectors for major and minor motion detection*, 63180, Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://connect.snv.ch/en/sn-en-iec-63180-2020>
- [12] *Methods of measurement and declaration of the detection range of detectors - Passive infrared detectors for major and minor motion detection*, IEC 63180 ED1, IEC, London.
- [13] L. Zonneveldt und H. Belendorf, „Application Guide for Daylight Responsive Lighting Control“, International Energy Agency (IEA), 2001.
- [14] sensNORM und SLG, „Leitfaden für den Einsatz von Sensorik in Lichtanwendungen“, 20. Aug. 2020.
- [15] Schweizer Licht Gesellschaft, „Beleuchtungssensoren-Markt Schweiz 2021: Kurzbericht“, 6. Dez. 2022.
- [16] Czibula & Grundmann GmbH, „Photometerkopf Typ: Ph-St-C8 mit Photostrom-Wandler; PH-Amp-MB2-2xlout: Bedienungsanleitung“, Aug. 2013.
- [17] Rohde & Schwarz GmbH & Co., „R&S@HMC8015 Leistungsanalysator: Produktbroschüre“, Nov. 2020.

7. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
DF	Tageslichtquotient (Daylightfactor)
E	Beleuchtungsstärke
E	Energie
EdA	diffuse Aussenbeleuchtungsstärke
EP	Beleuchtungsstärke am Ort P im Raum
L	Leuchtdichte
METAS	Eidgenössisches Institut für Metrologie
P	Leistung
pE	Prozentualer Anteil der Energieeinsparung
PIR	Passiv-Infrarot
pt	Prozentualer Anteil der Zeit
SLG	Schweizer Lichtgesellschaft
t	Zeit

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zieleinsparung der Initiative «energylight».....	9
Abbildung 2: Massnahmen der Initiative «energylight».....	9
Abbildung 3 Darstellung der Anteile der möglichen Nutzung des Tageslichtes für die Fassade Süd-Ost unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Randbedingungen am Standort Zürich Kloten mit dem Referenzjahr DRY warm.	13
Abbildung 4: Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem 1.....	15
Abbildung 5: Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem 2.....	15
Abbildung 6: Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem 3.....	15
Abbildung 7: Aufbau Beleuchtungssteuerungssystem 4.....	15
Abbildung 8: Anteile Beleuchtungssensoren in Innenräumen, nach Erhebung der SLG.....	17
Abbildung 9: Aufteilung Beleuchtungssensoren in Innenräumen in dimmend und schaltend, nach Erhebung der SLG.....	17
Abbildung 10: Grundriss des Messraumes, Abmessungen: 6 m x 4.4 m, Raumhöhe 2.8 m.....	20
Abbildung 11: Detailaufnahme des künstlichen Fensters LED-Platine und Diffusor (Quelle: Hochschule Luzern).....	21
Abbildung 12: Anordnung der LED-Platinen am künstlichen Fenster.....	21
Abbildung 13: Oberfläche der frei erhältlichen Software masterCONFIGURATOR der Firma Tridonic GmbH & Co KG.....	21
Abbildung 14: Pendelleuchte Zumtobel LINCOR, technische Daten gemäss Datenblatt (Quelle: Hochschule Luzern).....	22
Abbildung 15: Photometerkopf und A/D-Wandler.....	22
Abbildung 16: Leistungsanalysator HMC 8015 von Rhode & Schwarz.....	23
Abbildung 17: Software DALIMonitor.....	23
Abbildung 18: Flickermessung am künstlichen Fenster - Vergleich der neuen und alten Betriebsgeräte.....	24
Abbildung 19 Möblierungsveränderungen bei Szenario 1-4.....	26
Abbildung 20: Raumsituation Testszenario 1.....	27
Abbildung 21: Raumsituation Testszenario 2.....	28
Abbildung 22: Raumsituation Testszenario 3.....	29
Abbildung 23: Raumsituation Testszenario 4.....	30
Abbildung 24: künstliches Fenster - gesamter Ablauf.....	31
Abbildung 25: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 1.....	32
Abbildung 26: künstliches Fenster - Ablauf Phase 1.....	32
Abbildung 27: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 2.....	33
Abbildung 28: künstliches Fenster - Ablauf Phase 2.....	33
Abbildung 29: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 3.....	34
Abbildung 30: künstliches Fenster - Ablauf Phase 3.....	34
Abbildung 31: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 4.....	35
Abbildung 32: künstliches Fenster - Ablauf Phase 4.....	35
Abbildung 33: künstliches Fenster - angesteuerte LED-Platinen in Phase 5.....	36
Abbildung 34: künstliches Fenster - Ablauf Phase 5.....	36
Abbildung 35 optimaler Ablauf Testszenario 1.....	37
Abbildung 36: Erklär-Diagramm Energieverbrauch gesamter Ablauf.....	38
Abbildung 37: Erklär-Diagramm Mehrverbrauch bzw. Energieeinsparung gegenüber eines optimalen Präsenzmelders.....	39
Abbildung 38: Erklär-Diagramm - Unterschied zwischen dem Energieverbrauch bei dem Test (blaue Fläche), dauernd ein / Vollbeleuchtung 100 % (rote Fläche) und gedrosselte Beleuchtung 38 % (orange Fläche).....	40
Abbildung 39: Erklär-Diagramm prozentualer Anteil der Zeit EBSens,P3 < 500 lx.....	41
Abbildung 40: Erklär-Diagramm Minimaler Dimmlevel Präsenzmelder.....	42
Abbildung 41: Erklär-Diagramm Zeit bis zum Erreichen des Minimalwerts bei genügend Licht.....	42
Abbildung 42: Erklär-Diagramm Verzögerungszeit vom minimalen Dimmlevel bis zur Abschaltung.....	43
Abbildung 43: Erklär-Diagramm Einschaltreaktionszeit.....	43

Abbildung 44: Erklär-Diagramm Schwankungen.....	44
Abbildung 45 Beleuchtungsstärkeunterschied zwischen den unterschiedlichen Messorten (Tisch und Decke)	45
Abbildung 46 Unterschiede in der Beleuchtungsstärke auf dem Tisch trotz gleicher (Szenario 1 heller Raum nur Tisch, Szenario 2 heller Raum, Tisch, Stühle, dunkler monitor Tastatur, Szenario 3 wie 2 jedoch Wände mit schwarzen Vorhängen versehen)	45
Abbildung 47 Vergleich zwischen Werkseinstellungen und manueller Einstellungen in Abhängigkeit zur erzielten Beleuchtungsstärke auf dem Tisch	46
Abbildung 48 Vergleich des Energieverbrauchs aller in Abhängigkeit der Testszenarien 1-4	47
Abbildung 49: Produkt A: Testszenario 1 - gesamter Ablauf	49
Abbildung 50: Produkt A: Testszenario 2 - gesamter Ablauf	49
Abbildung 51: Produkt A: Testszenario 3 - gesamter Ablauf	49
Abbildung 52: Produkt A: Testszenario 4 - gesamter Ablauf	50
Abbildung 53: Produkt B: Testszenario 1 - gesamter Ablauf	51
Abbildung 54: Produkt B: Testszenario 2 - gesamter Ablauf	51
Abbildung 55: Produkt B: Testszenario 3 - gesamter Ablauf	51
Abbildung 56: Produkt B: Testszenario 4 - gesamter Ablauf	52
Abbildung 57: Produkt C: Testszenario 1 - gesamter Ablauf	53
Abbildung 58: Produkt C: Testszenario 2 - gesamter Ablauf	53
Abbildung 59: Produkt C: Testszenario 3 - gesamter Ablauf	53
Abbildung 60: Produkt C: Testszenario 4 - gesamter Ablauf	54
Abbildung 61: Produkt C: Testszenario 1 - gesamter Ablauf	55
Abbildung 62: Produkt D: Testszenario 2 - gesamter Ablauf	55
Abbildung 63: Produkt D: Testszenario 3 - gesamter Ablauf	55
Abbildung 64: Produkt D: Testszenario 4 - gesamter Ablauf	56
Abbildung 65: Produkt E: Testszenario 1 - gesamter Ablauf	57
Abbildung 66: Produkt E: Testszenario 2 - gesamter Ablauf	57
Abbildung 67: Produkt E: Testszenario 3 - gesamter Ablauf	57
Abbildung 68: Produkt E: Testszenario 4 - gesamter Ablauf	58
Abbildung 69: Produkt F: Testszenario 1 - gesamter Ablauf.....	59
Abbildung 70: Produkt F: Testszenario 2 - gesamter Ablauf.....	59
Abbildung 71: Produkt F: Testszenario 3 - gesamter Ablauf.....	59
Abbildung 72: Produkt F: Testszenario 4 - gesamter Ablauf.....	60
Abbildung 72: Produkt H: Testszenario 1 - gesamter Ablauf	62
Abbildung 72: Produkt H: Testszenario 4 - gesamter Ablauf	62
Abbildung 72: Produkt I: Testszenario 1 - gesamter Ablauf.....	64

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewegungsarten nach IEC 63180.....	11
Tabelle 2 Werte des Tageslichtquotienten D_F zum Erreichen der geforderten Beleuchtungsstärken von 100 lx, 300 lx, 500 lx, 750 lx für einen Anteil der Tageslichtstunden von 50%. Gemäss SN EN 17037:2019	12
Tabelle 3 Anteile der möglichen Nutzung des Tageslichtes unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Randbedingungen (gemittelt über alle Fassaden N, NO, O, SO, S, SW, W, SW) am Standort Zürich Kloten mit dem Referenzjahr DRY warm. Arbeitszeiten 8.00-17.00.....	13
Tabelle 4: Kategorisierung der Melder aus System 2	16
Tabelle 5: Unterkategorien der Melder aus der Kategorie Typ B.....	16
Tabelle 6: Übersicht über die Phasen des Ablaufs des künstlichen Fensters	31
Tabelle 7: Ablauf der Phase 1 im Detail	32
Tabelle 8: Ablauf der Phase 2 im Detail	33
Tabelle 9: Ablauf der Phase 3 im Detail	34
Tabelle 10: Ablauf der Phase 4 im Detail	35
Tabelle 11: Ablauf der Phase 5 im Detail	36
Tabelle 12: Energieverbrauch optimaler Ablauf der Testszenarien 1 bis 3.....	38
Tabelle 13 Vergleich des Energieverbrauchs aller in Abhängigkeit der Testszenarien 1-4.....	47
Tabelle 14: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder A in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung).....	50
Tabelle 15: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder B in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung).....	52
Tabelle 16: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder C in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung).....	54
Tabelle 17: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder D in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung).....	56
Tabelle 18: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder E in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung).....	58
Tabelle 19: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder F in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung).....	60
Tabelle 20: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder H in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung).....	63
Tabelle 21: Vergleich der Bewertungskriterien für Melder B in Abhängigkeit der unterschiedlichen Szenarien (1-3 Werkseinstellung mit 1 hell, 2 mit Möblierung, 3 mit Möblierung und dunkel, 4 manuelle Einstellung).....	64
Tabelle 22 Quervergleich und Darstellung aller Produkte A-I unter Berücksichtigung der Bewertungskriterien mit farblicher Hervorhebung (grün besser, rot schlechter), (Produkte G-I nicht weiter berücksichtigt).....	66

10. Anhang

10.1 Leuchtendatenblatt

LINCOR

LINCOR A D 8400-830 L24 LDE AB SR

Anbauleuchte LED

Schlanke LED-Anbauleuchte mit Zellenoptik hochglänzend, Leuchten Leistung: 71 W LED, DALI steuerbare Leuchte mit LED-Konverter. LED-Lebensdauer 50000 h bis zu einem Lichtstromrückgang auf 90 % des Anfangswertes. Farborttoleranz (initial MacAdam): 3. Leuchten Lichtstrom: 8420 lm, Leuchten Lichtausbeute: 119 lm/W. Farbwiedergabe Ra > 80, Farbtemperatur 3000 K. Lichtlenkung mit hocheffizienter LED-Zellen-Technologie kombiniert mit Primäroptik zur Lichtpunktauflösung, Zellenmodule aus hochwertigem Verbundwerkstoff gleichmäßig vakuumbedampft mit Reinstaluminium und mit Schutzschicht aus SiO₂. Abstrahlcharakteristik mit Blendbegrenzung nach EN 12464-1:2011 mit L65 < 1500 cd/m² bei 65° rundum und UGR < 19 für Bildschirmarbeitsplätze. Geschlossenes optisches System mit Berührungsschutz der LED-Module gegen Beschädigung durch elektrostatische Entladung, pulverbeschichtetes Leuchtengehäuse aus kantigem Aluminium-Strangpressprofil mit sichtbarem quadratischem Querschnitt, unsichtbare verschraubte Aluminium-Druckguss-Stirnteile in Leuchtenfarbe beschichtet, Leuchtenfarbe Silber. Leuchte halogenfrei verdrahtet Abmessungen: 2407 x 63 x 64 mm. Gewicht: 5,4 kg.

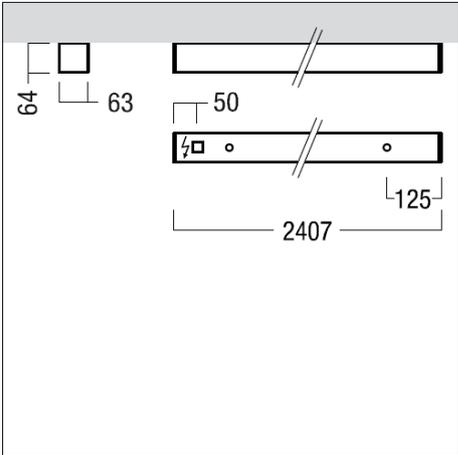


ZUMTOBEL

42184431



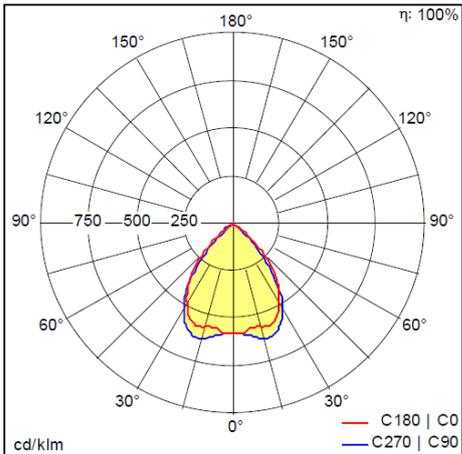
ZS_LIC_F_LINCOR_AB_doppel_dark.jpg



ZS_LIC_M_Anbau_Doppel.wmf

Lichtverteilung

STD - Standard



D39793AA_LINCOR_A_D_LED8400-830_LDE_SR.Idt

- Lichtquelle: LED
- Leuchten Lichtstrom*: 8420 lm
- Leuchten Lichtausbeute*: 119 lm/W
- Farbwiedergabeindex min.: 80
- Betriebsgerät: 2 x 28000657 DRV TR LCA 75W 400mA 220V D #O4A Ip PRE
- Ähnlichste Farbtemperatur: 3000 Kelvin
- Farborttoleranz (initial MacAdam): 3
- Mittlere Bemessungslebensdauer*: L90 50000h bei 25°C
- Leuchten Leistung*: 71 W Leistungsfaktor = 0,99
- Standby Leistung*: 0,3 W
- Steuerung: LDE dimmbar bis 1% über DALI, DSI und switchDIM DC-Level einstellbar
- Wartungskategorie: C - Oben geschlossener Reflektor

Die mit * gekennzeichneten Werte sind Bemessungswerte. Leistung und Lichtstrom unterliegen initial einer Toleranz von +/- 10%. Die Werte gelten, wenn nicht anders angegeben, für eine Umgebungstemperatur von 25°C. Technologiebedingt geht der Lichtstrom innerhalb der Nutzungszeit zurück. Der Ausfall von bis zu 24 Einzel - LEDs beeinträchtigt nicht die Funktion und stellt keinen Reklamationsgrund dar.

IP20     

Technische Änderungen vorbehalten. 09.12.2021 © Zumtobel - 5 Jahre Garantie gemäß Garantiebedingungen unter www.zumtobel.com/garantie

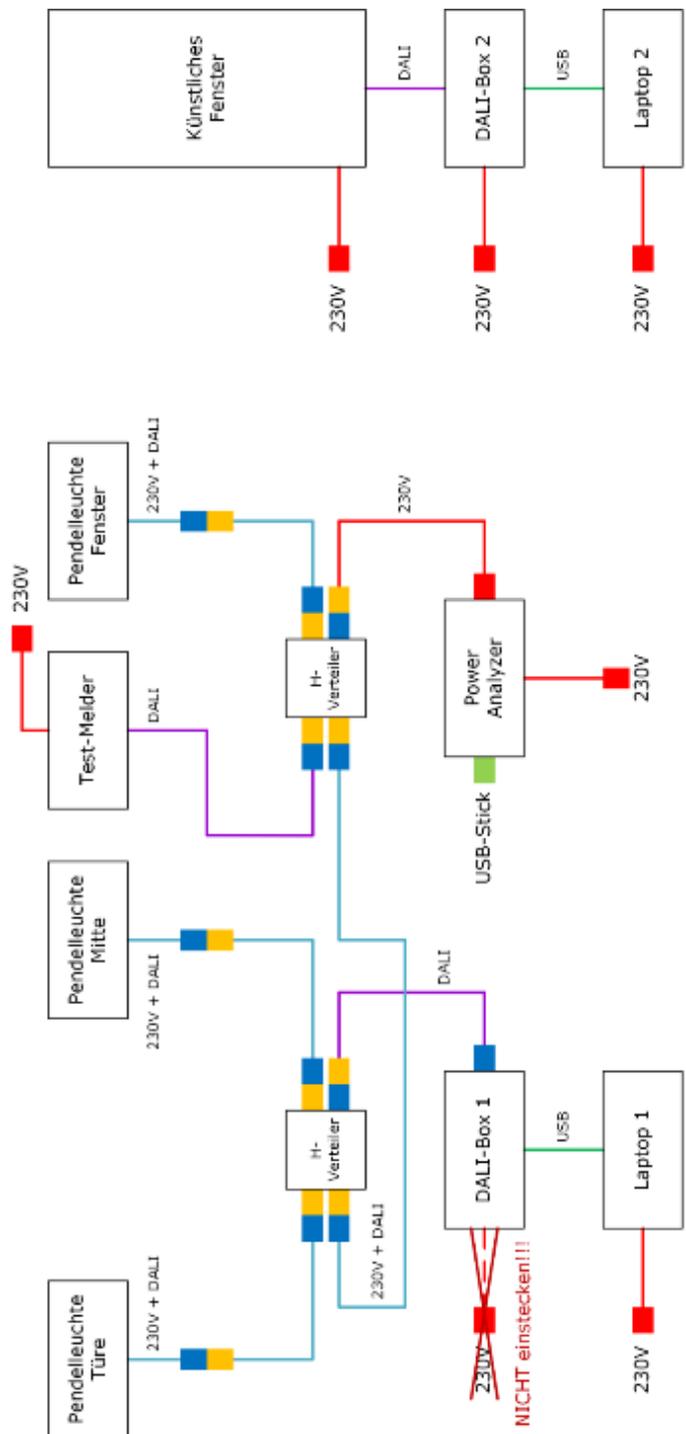
10.2 Messresultate Reflexionsgrade

Im Messraum wurden die Reflexionsgrade der unterschiedlichen Oberflächen gemessen. Für die Messungen wurde das Spektralphotometer sph900 des Herstellers ColorLite GmbH verwendet. Bei jeder Oberfläche wurden fünf Messungen nacheinander durchgeführt und daraus der Mittelwert berechnet.

Die Resultate sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Teil des Raumes	Oberfläche	Reflexionsgrad
Boden	Hellgrauer Boden	32.4%
	Tischplatte	53.8%
Decke	Deckenpanele	85.3%
Wand 1 (mit Türe)	Weisse Wand	91.1%
	Schwarzer Vorhang	2.18%
Wand 2 (links neben Türe)	Weisse Wand	89.4%
	Schwarzer Vorhang	2.2%
Wand 3 (mit Fenster)	Schwarzer Schrank unter Fenster	2.3%
	Künstliches Fenster Rahmen	86.0%
Wand 4 (rechts neben Türe)	Weisse Wand	66.8%
	Schwarzer Vorhang	2.2%

10.3 Prinzipschema Messaufbau



Legende

- Leitung 230V + DALI (L, N, PE, D1, D2)
- Leitung DALI (D1, D2)
- Leitung 230V (L, N, PE)
- Leitung USB

- Wieland Stecker 230V + DALI (L, N, PE, D1, D2)
- Wieland Buchse 230V + DALI (L, N, PE, D1, D2)
- Stecker 230V (L, N, PE)
- USB-Stick



Wieland Stecker



Wieland Buchse



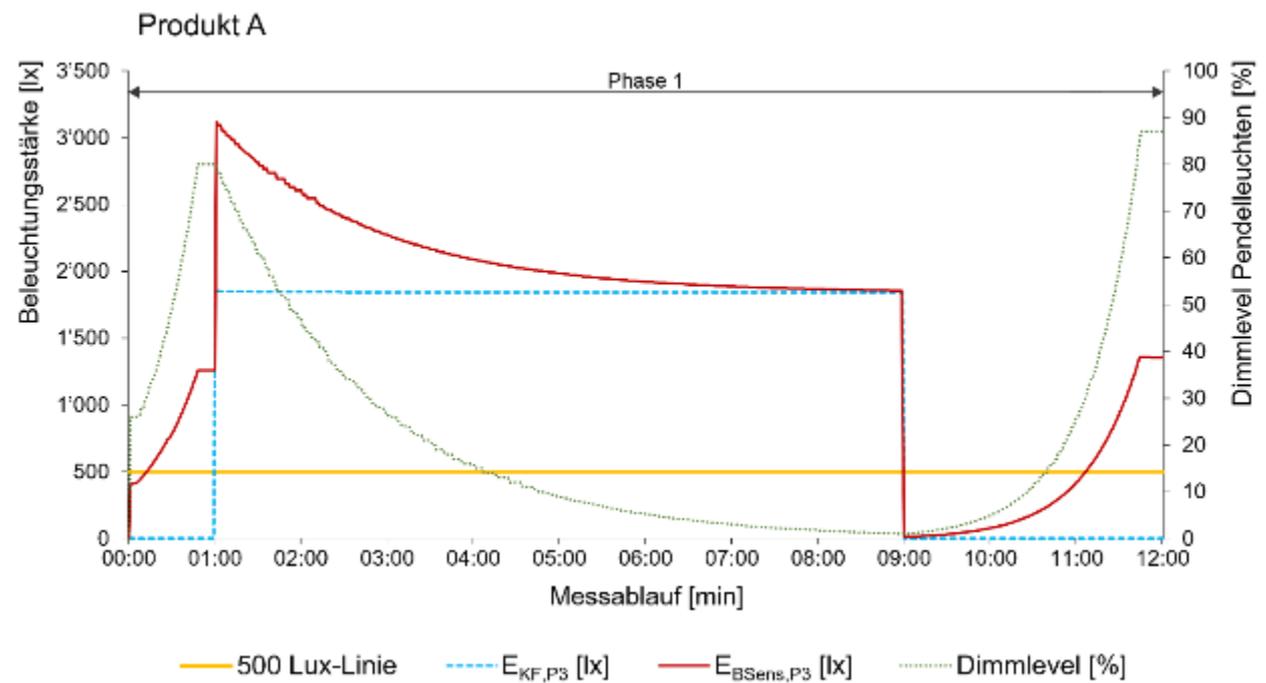
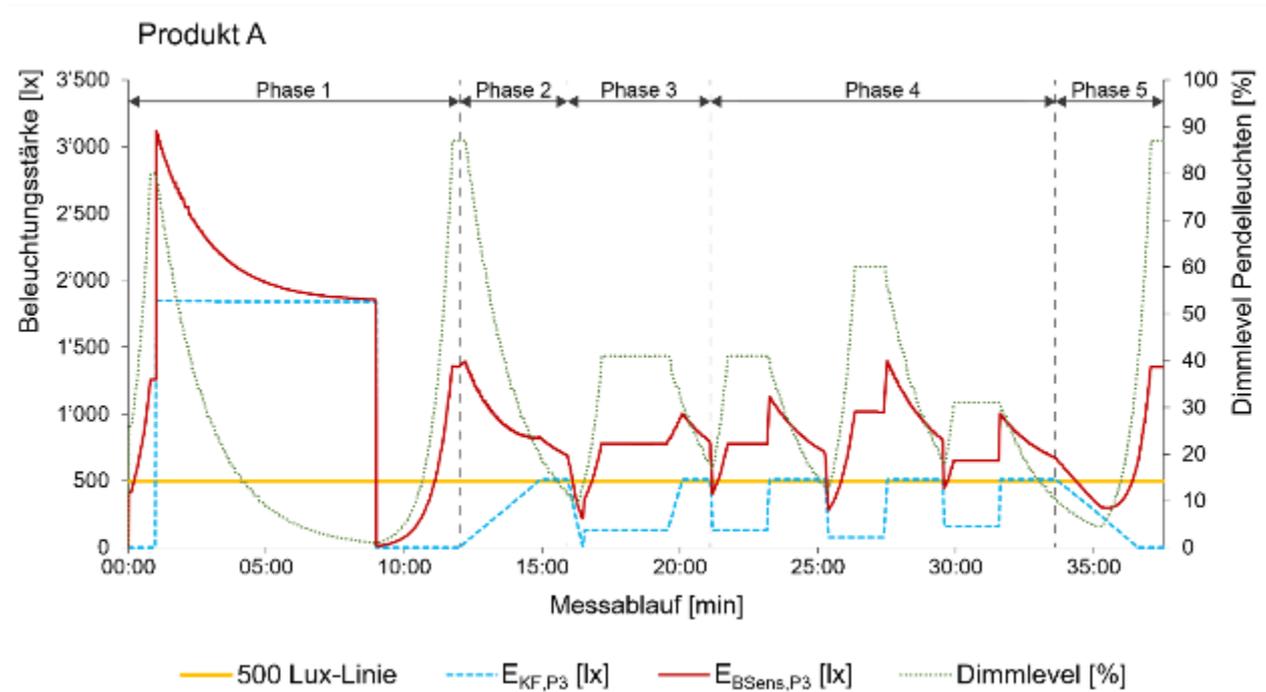
Wieland H-Verteiler

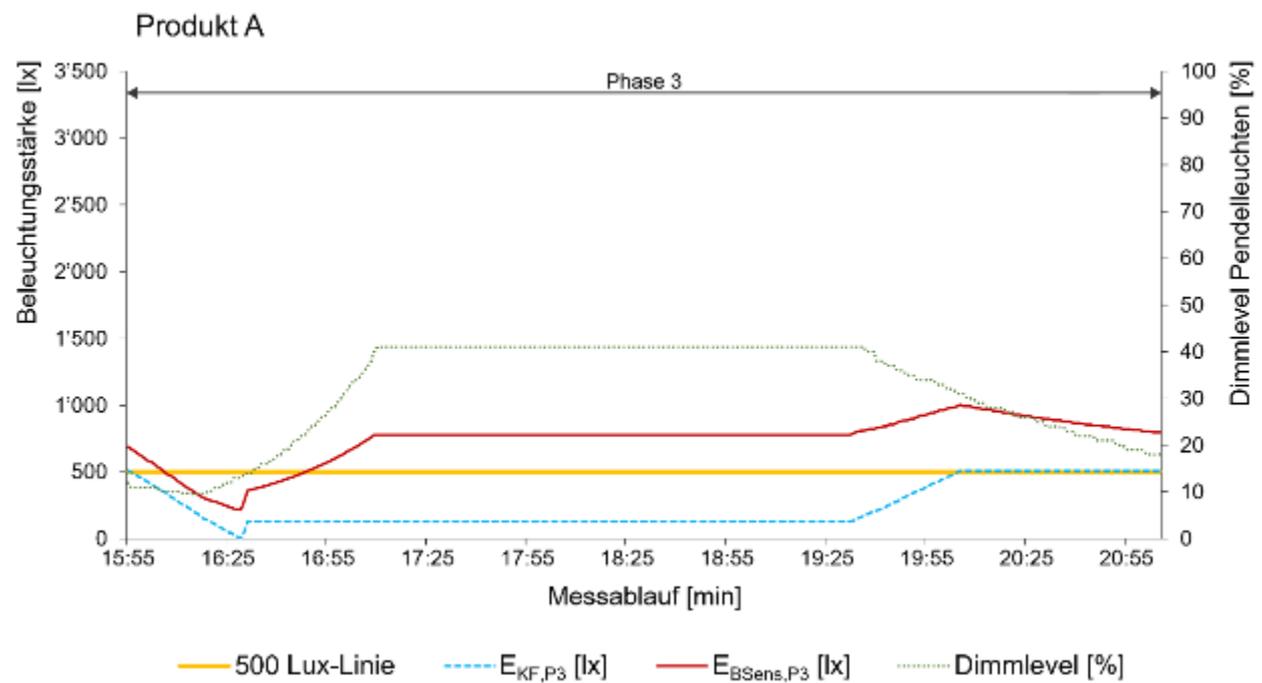
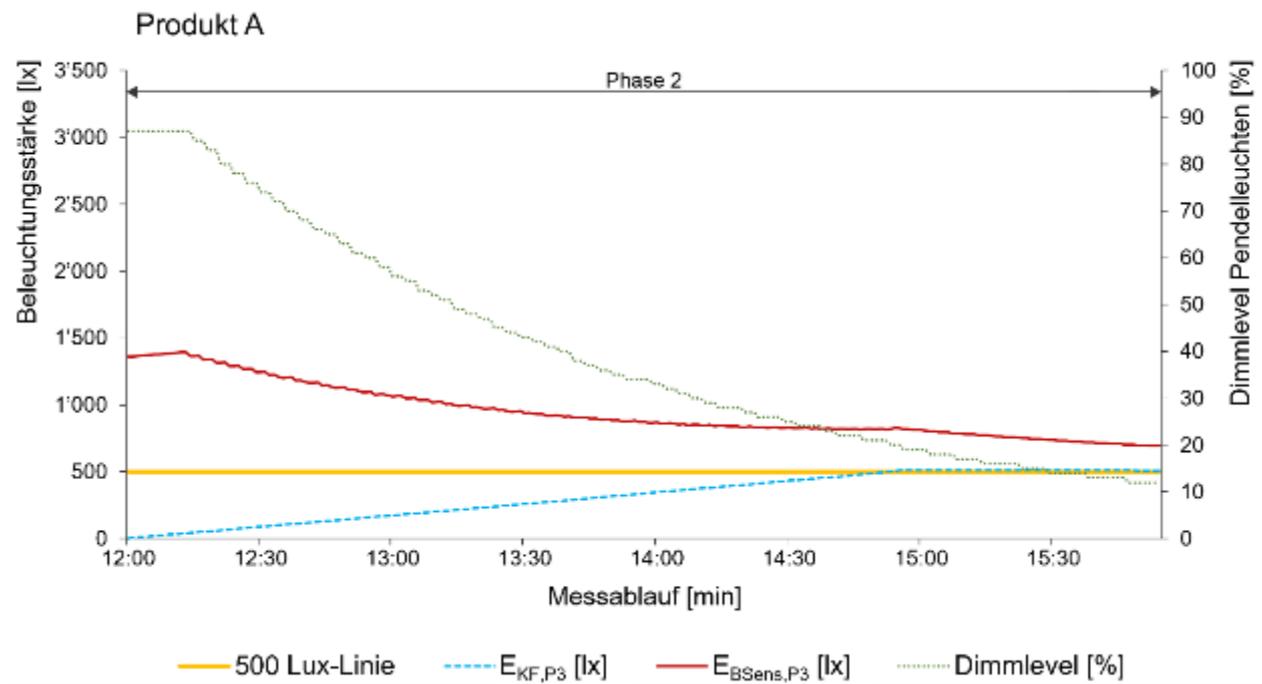


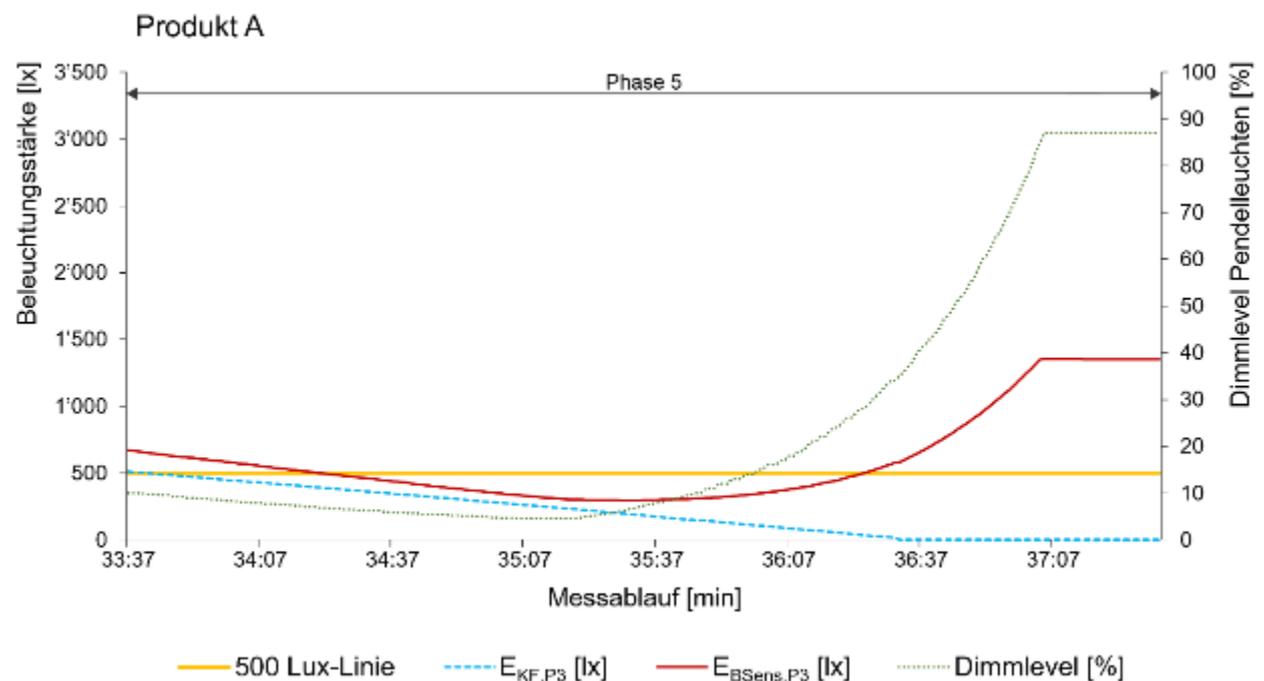
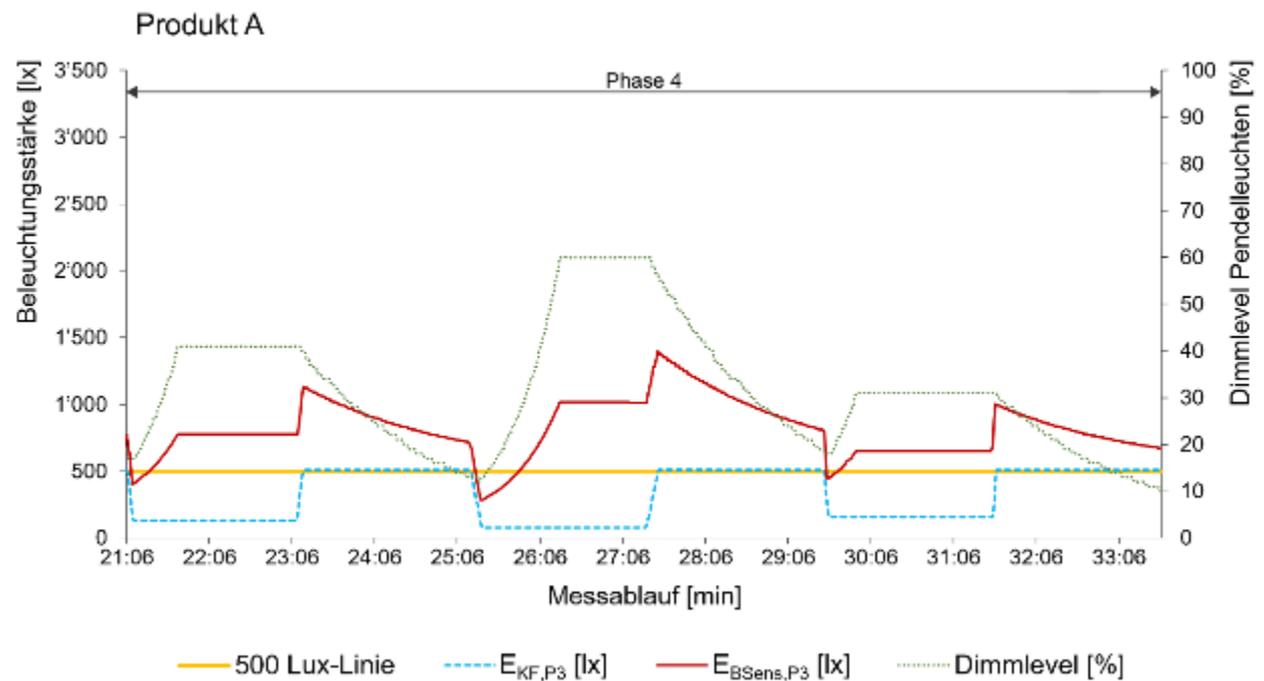
Stecker 230V

10.4 Diagramme Produkt A

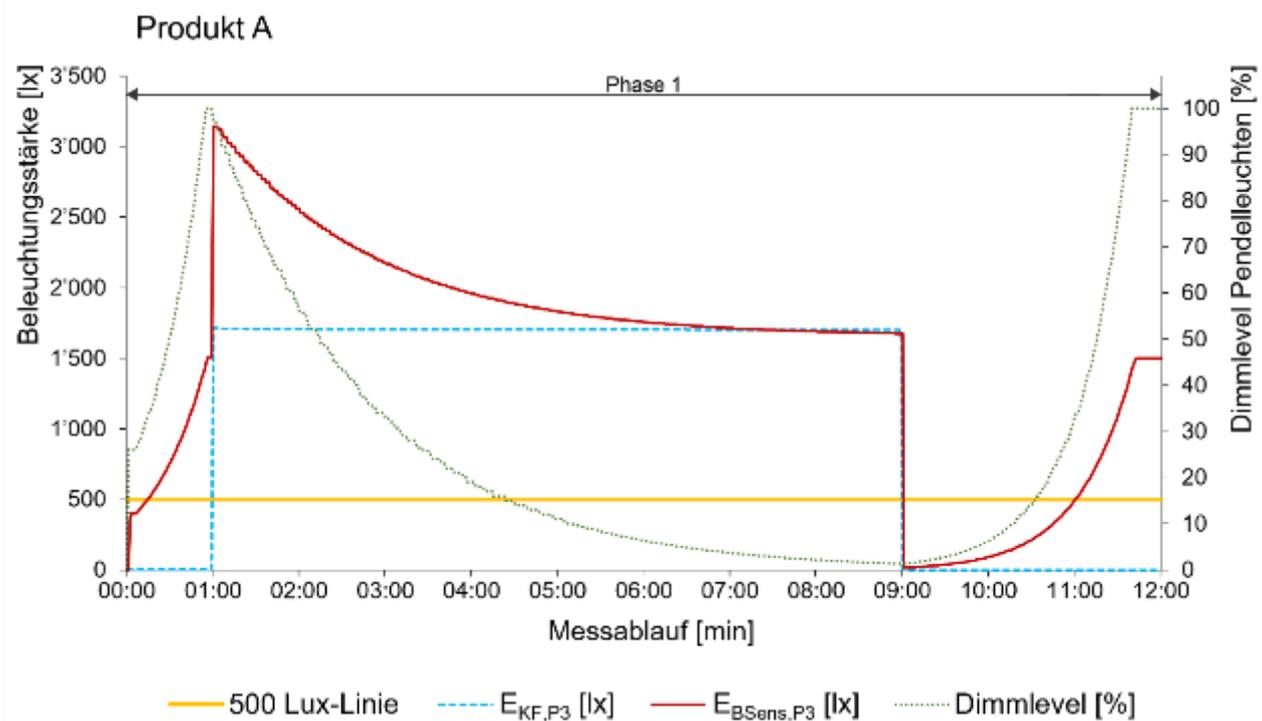
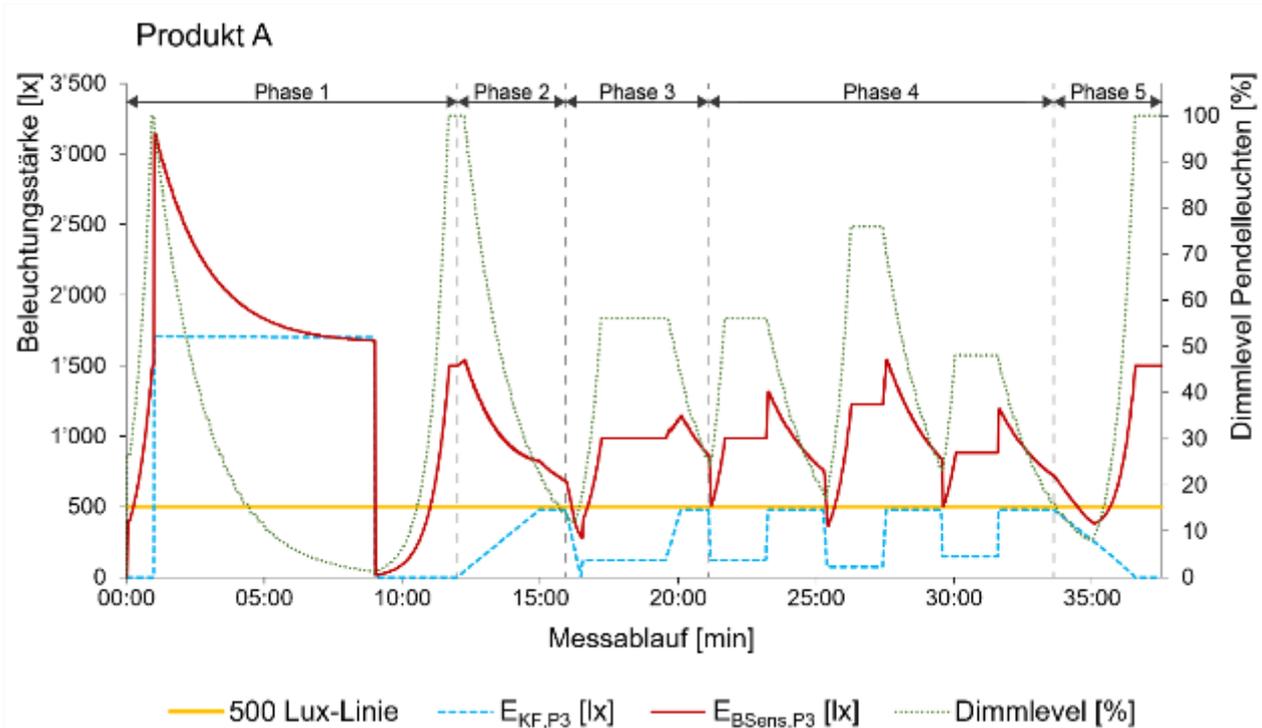
Testszenario 1

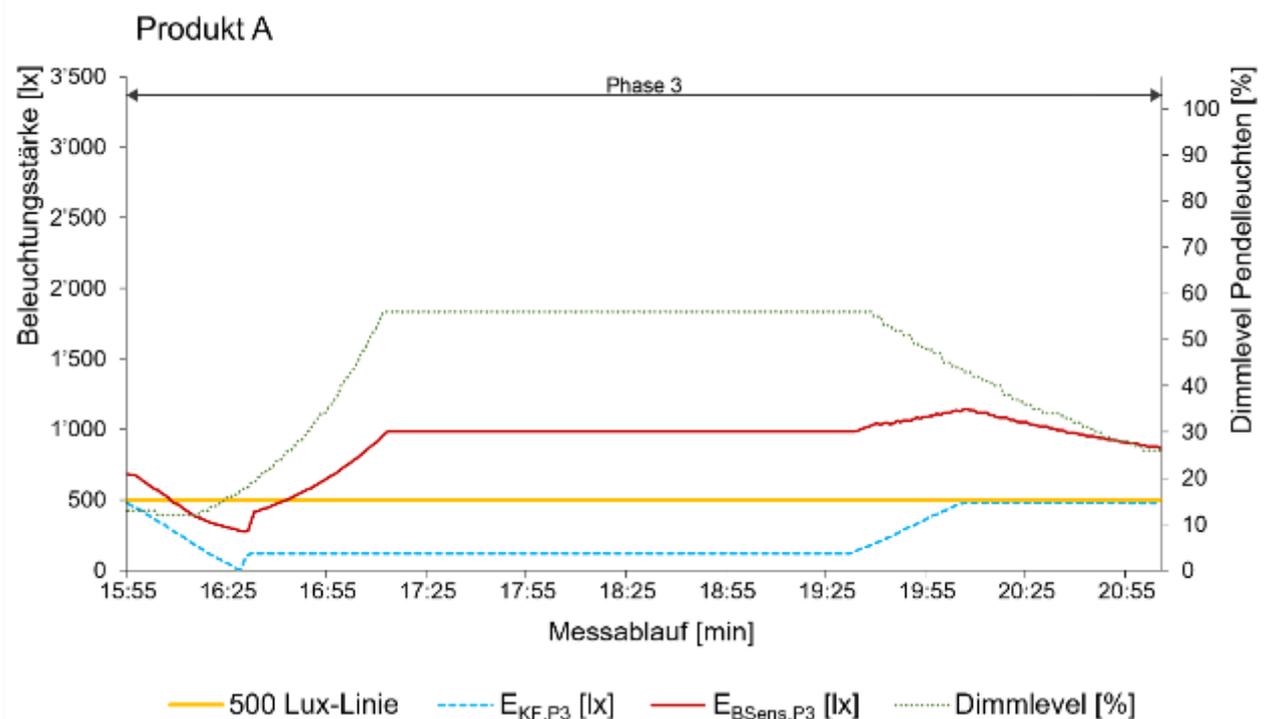
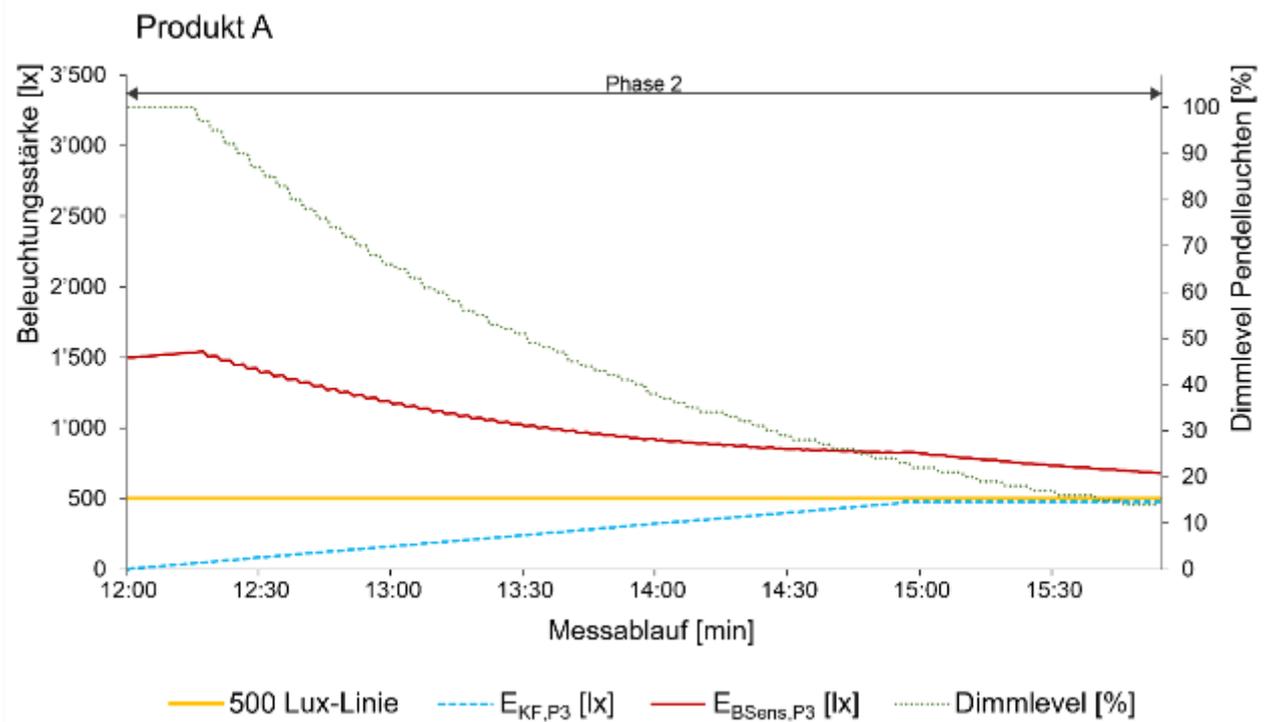


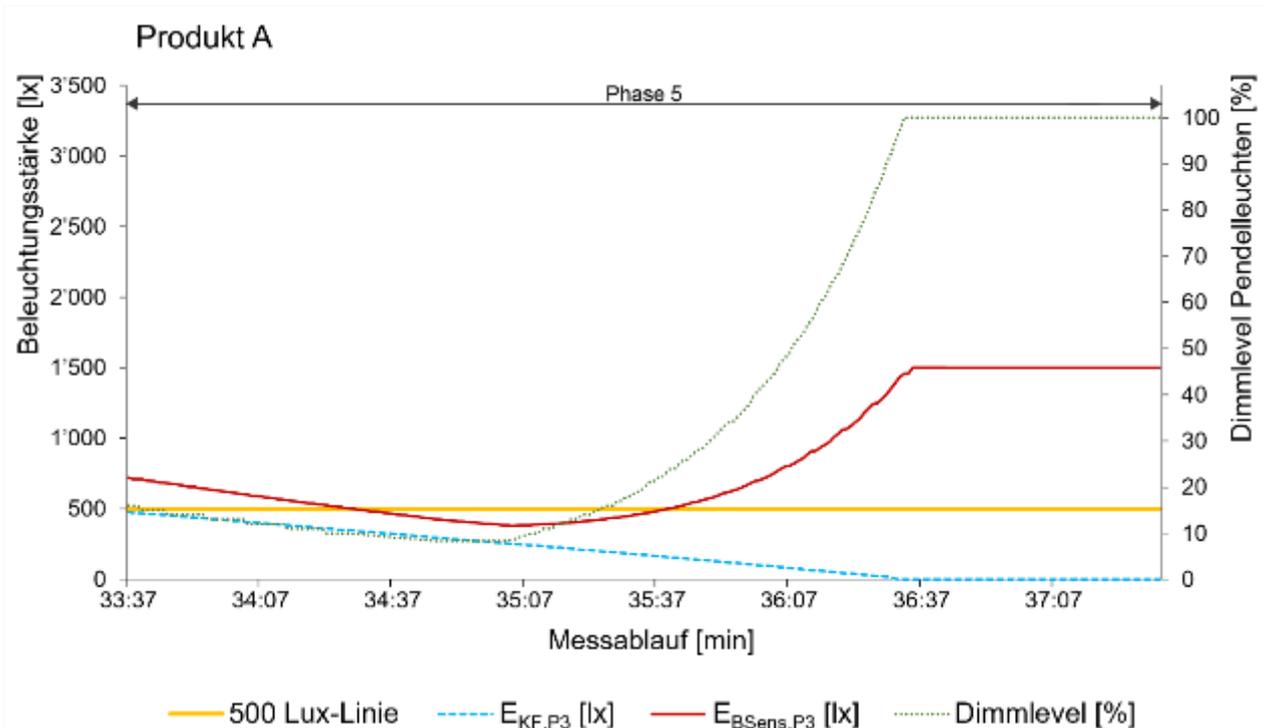
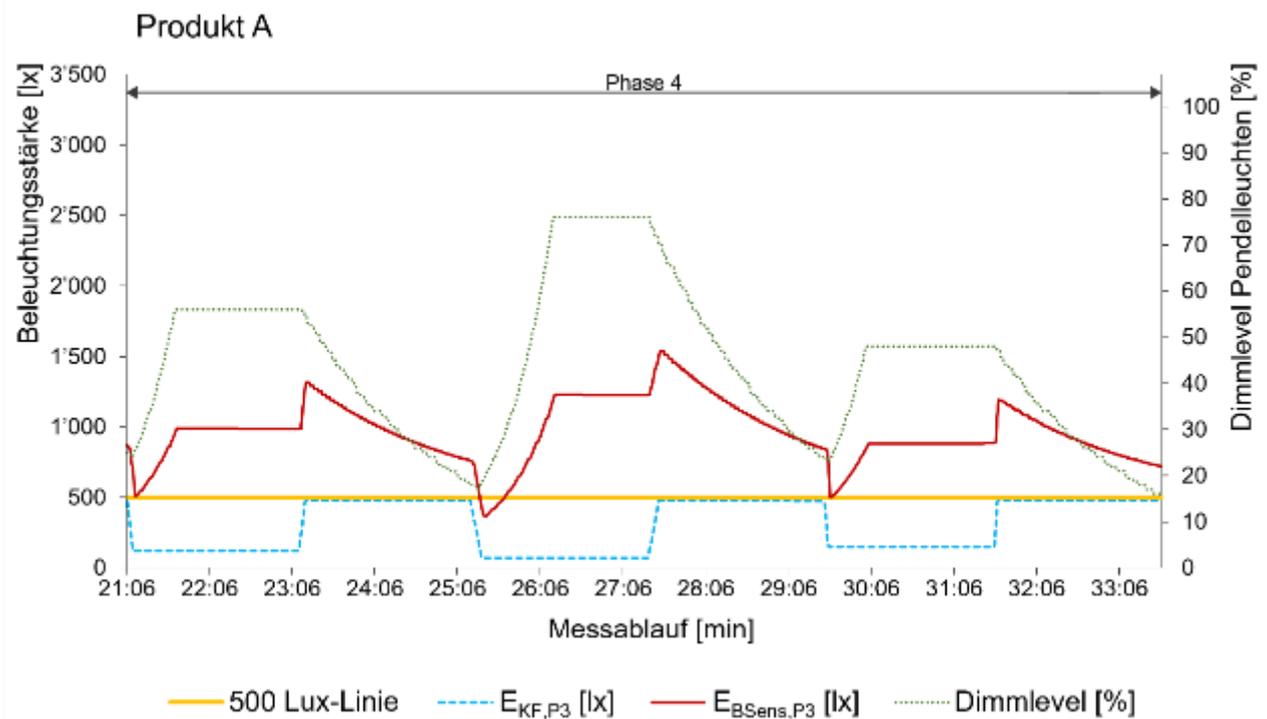




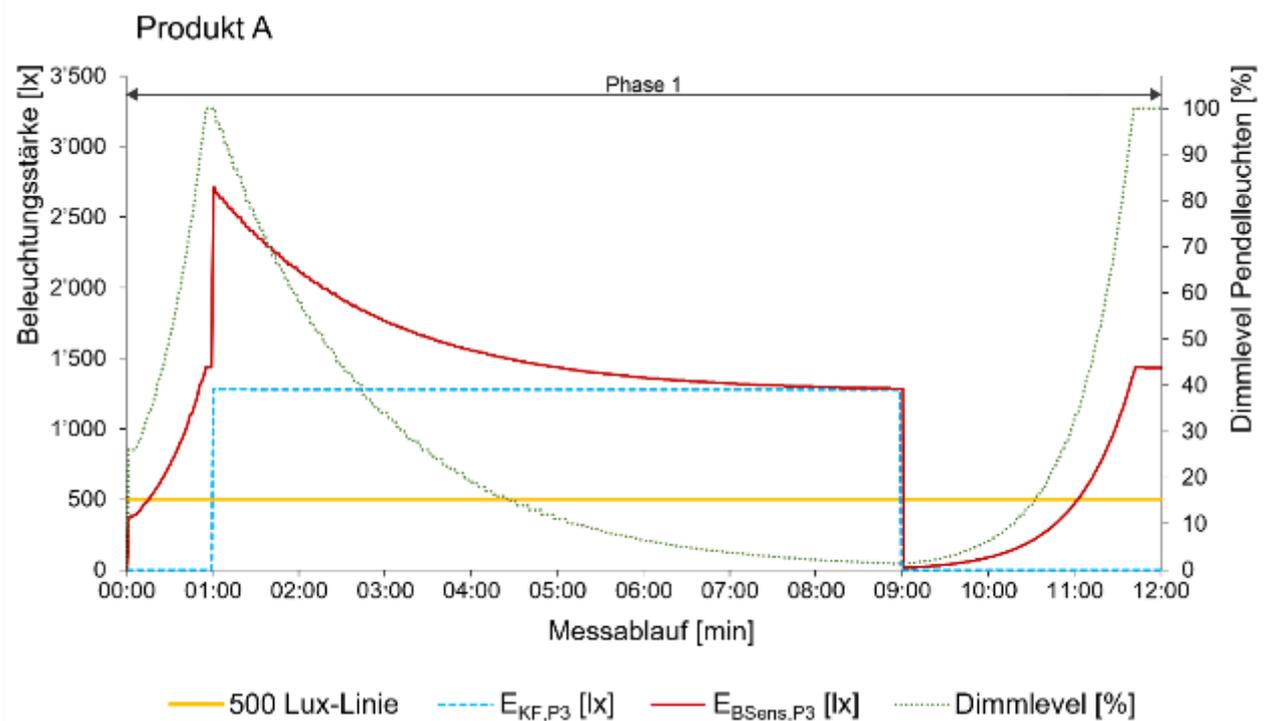
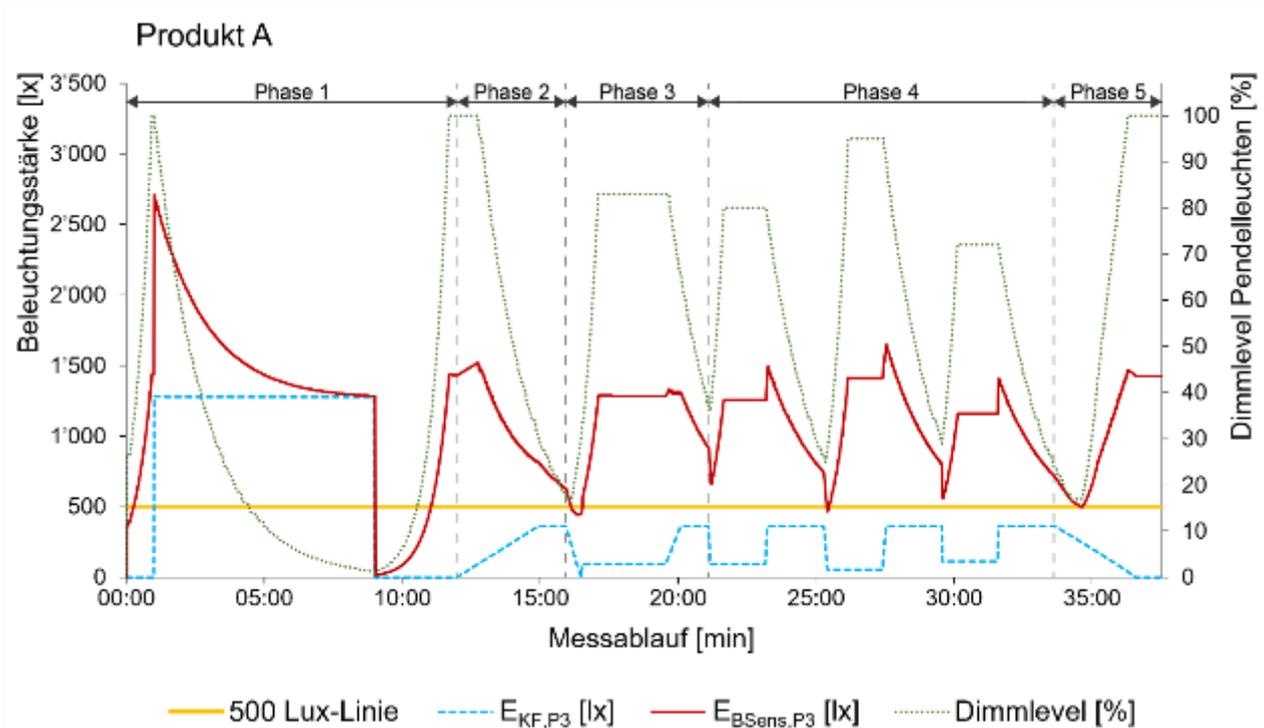
Testszenario 2

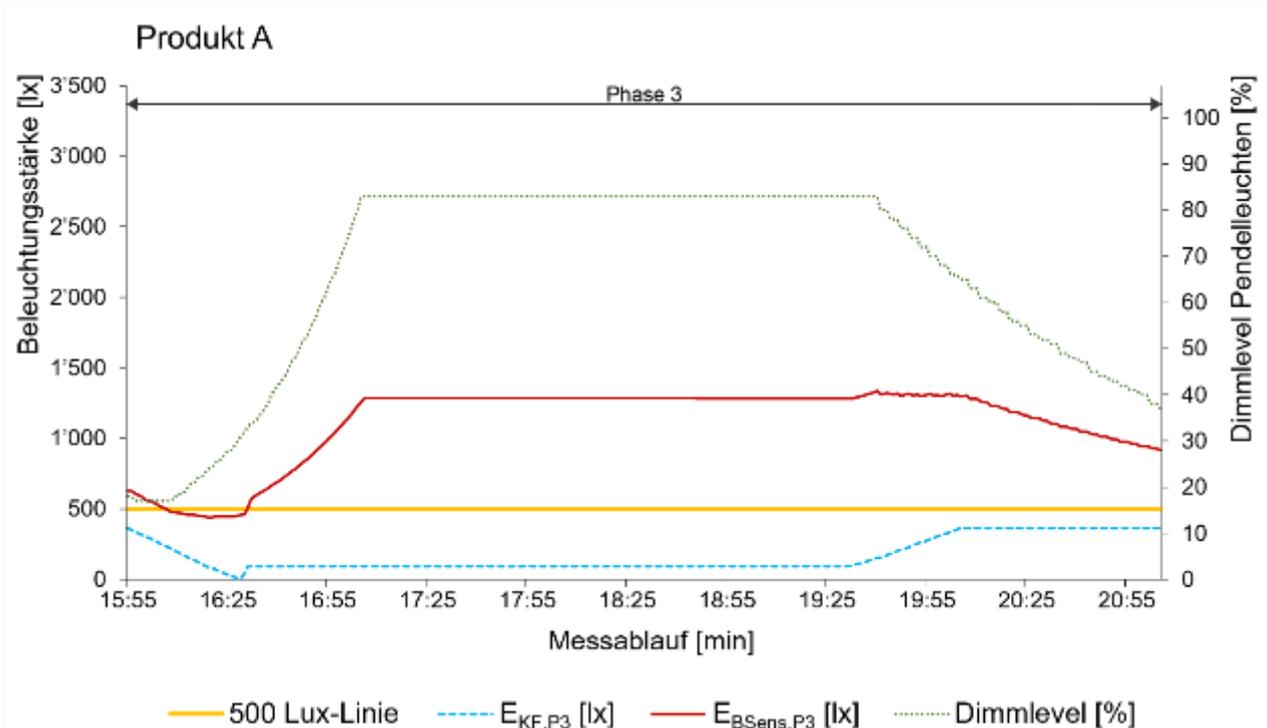
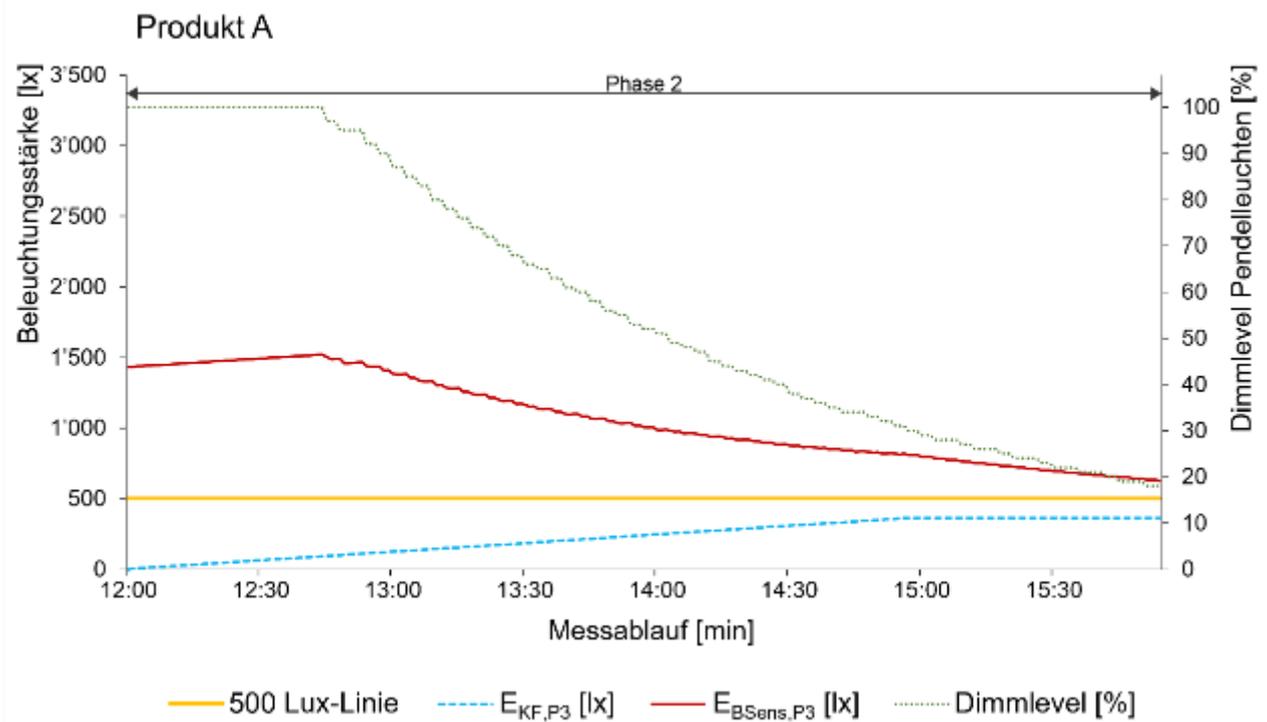


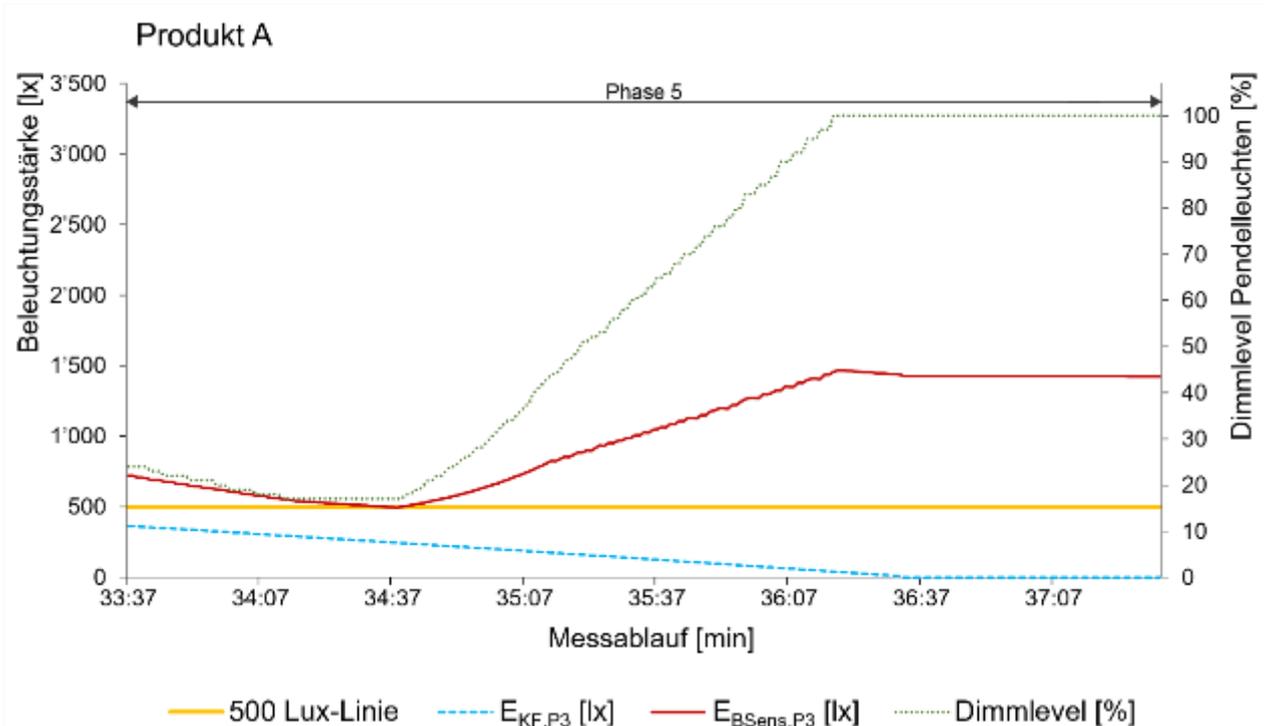
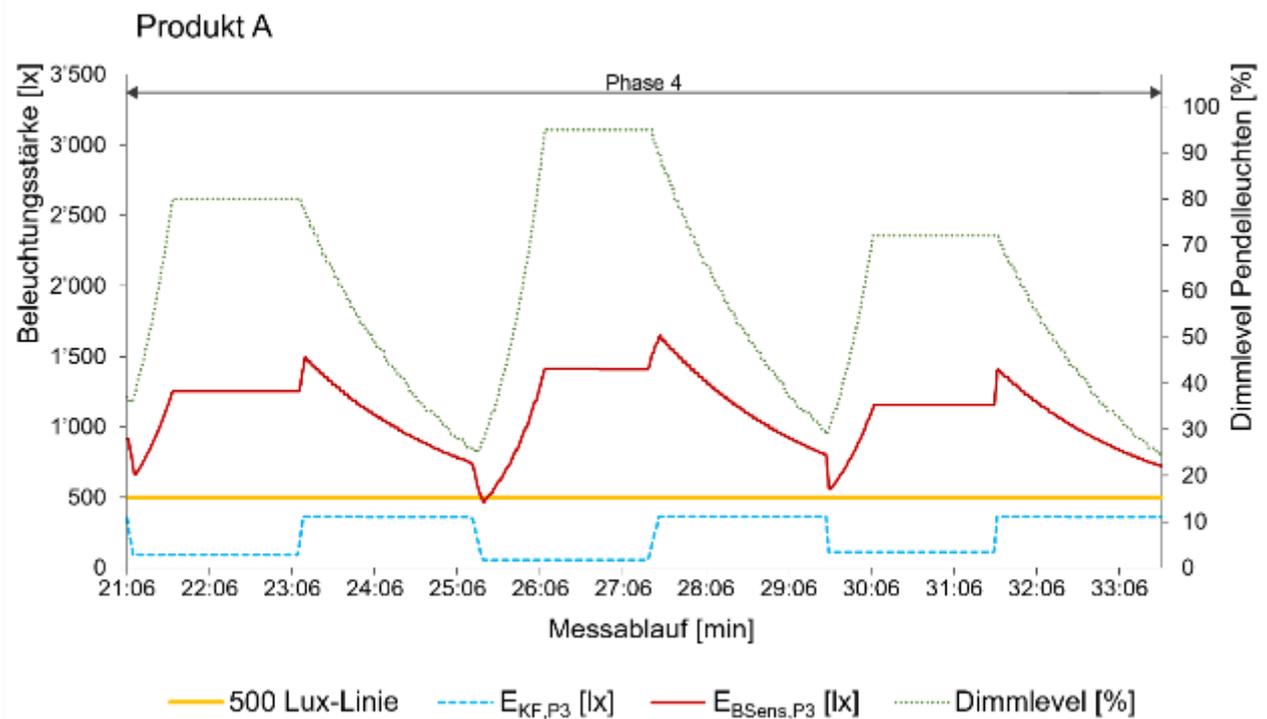




Testszenario 3

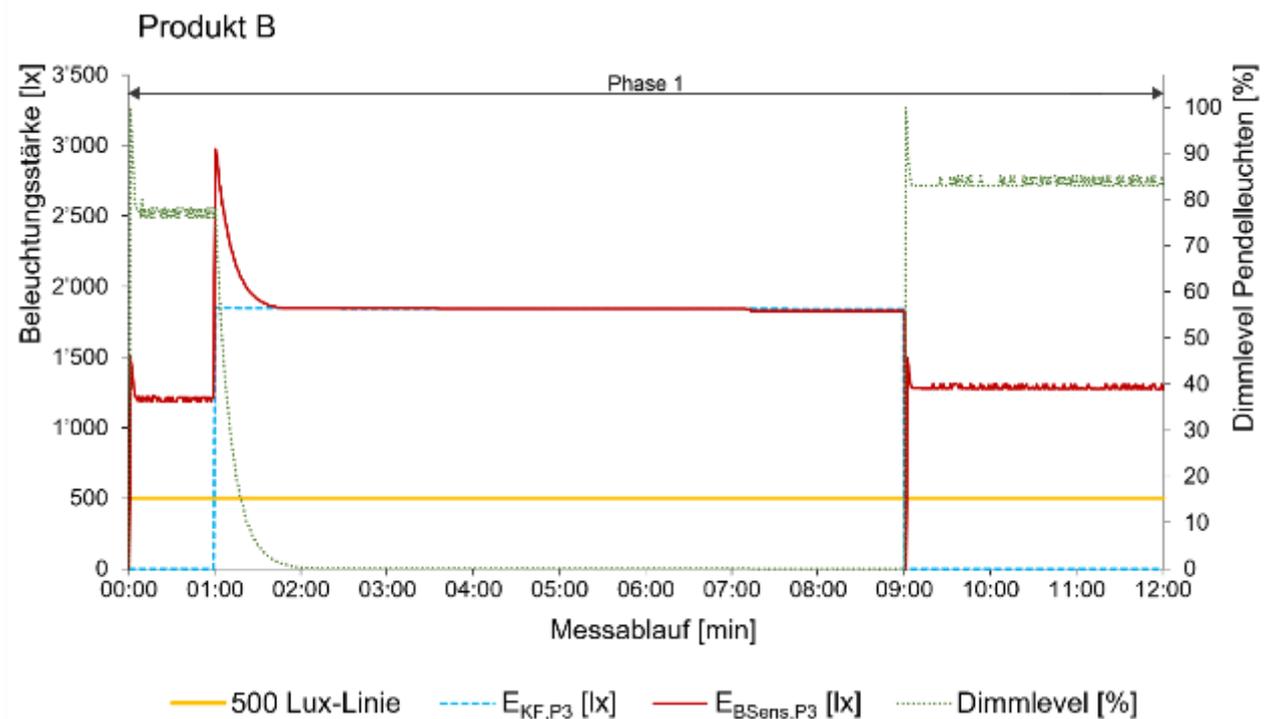
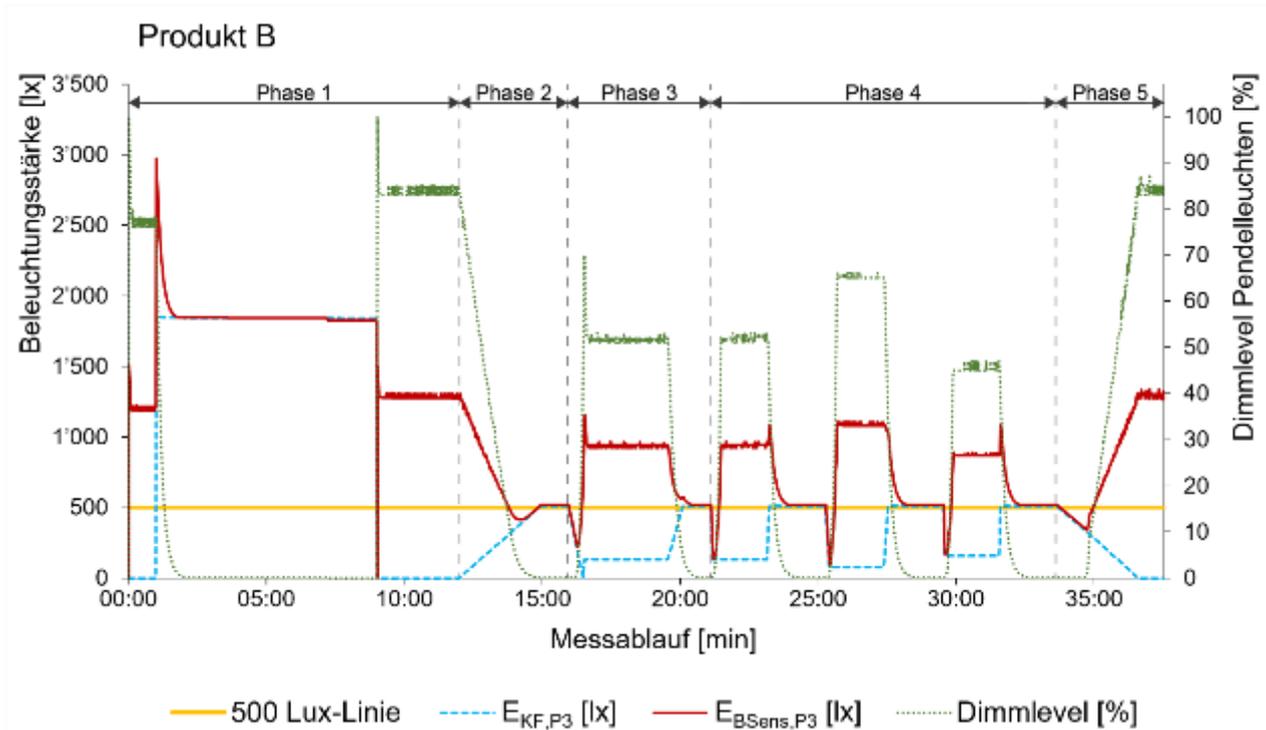


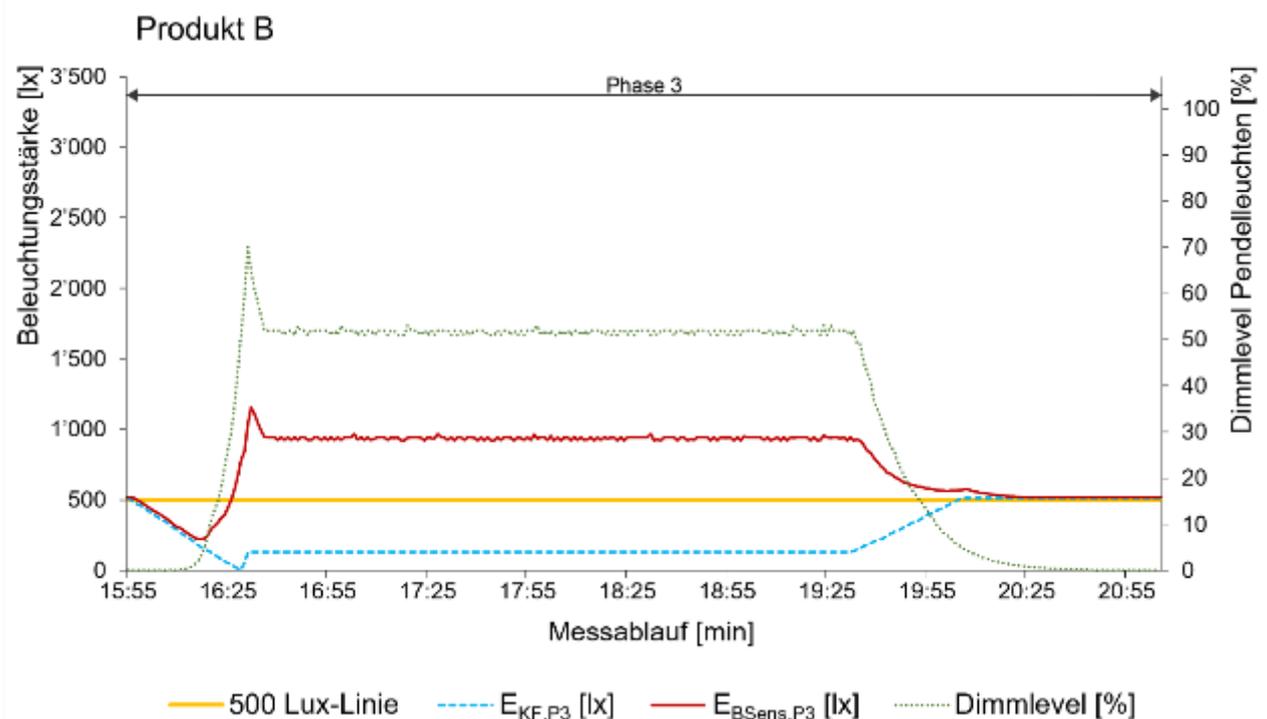
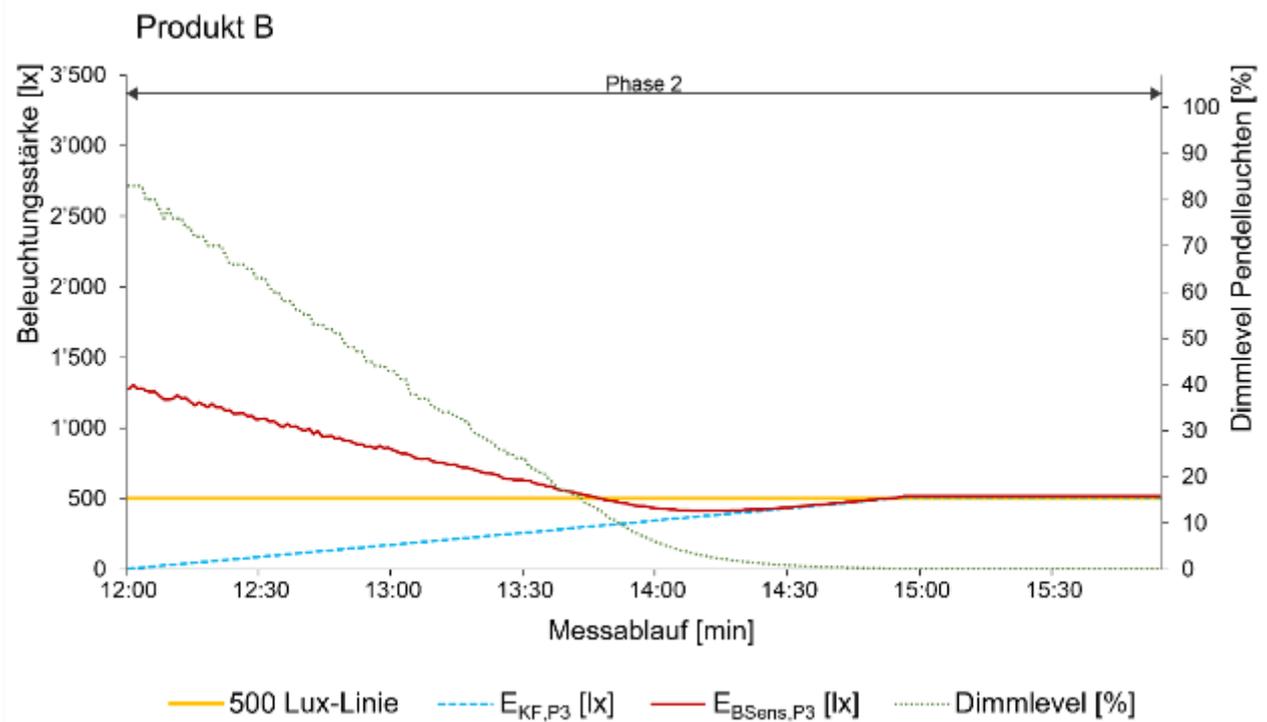


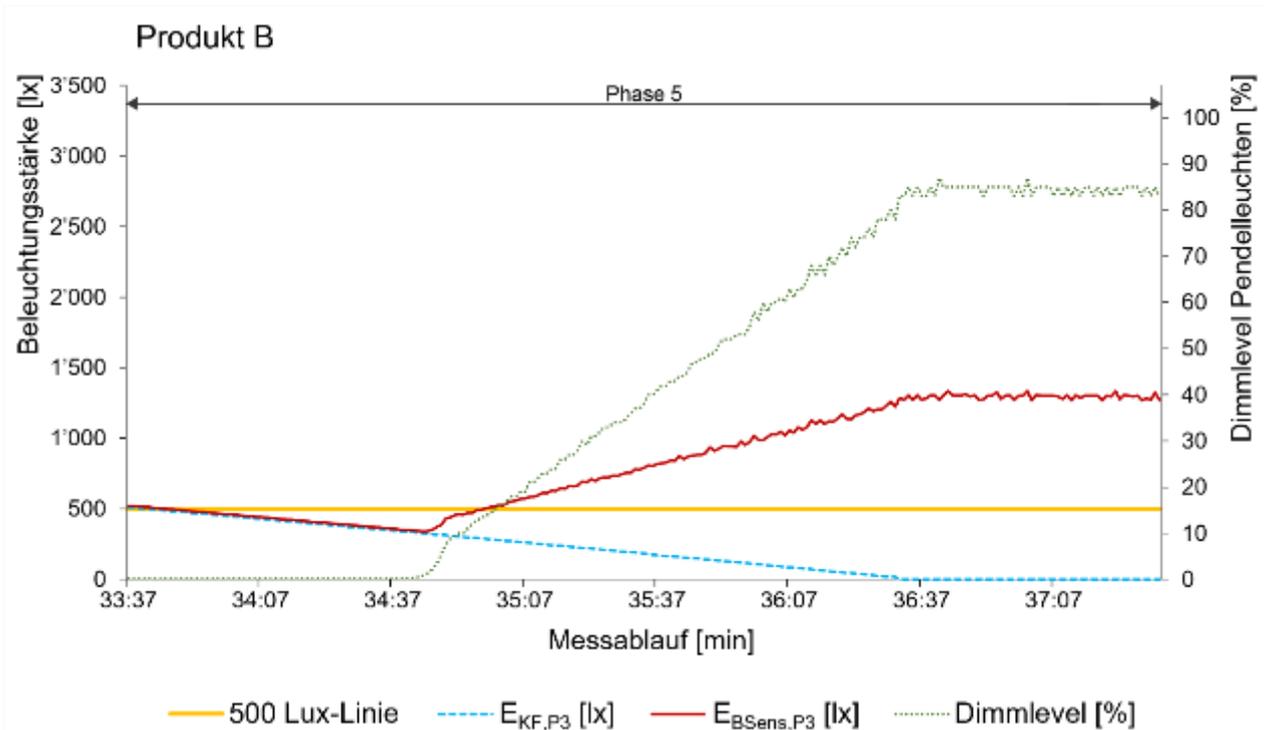
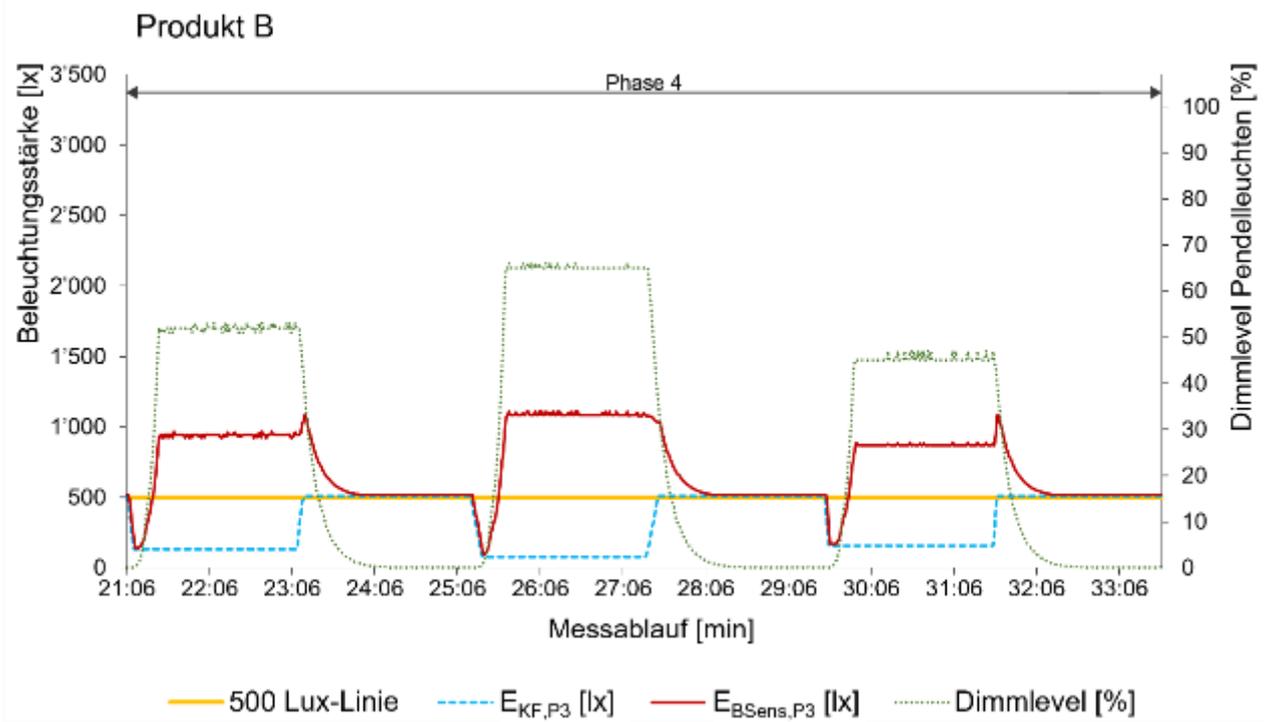


10.5 Diagramme Produkt B

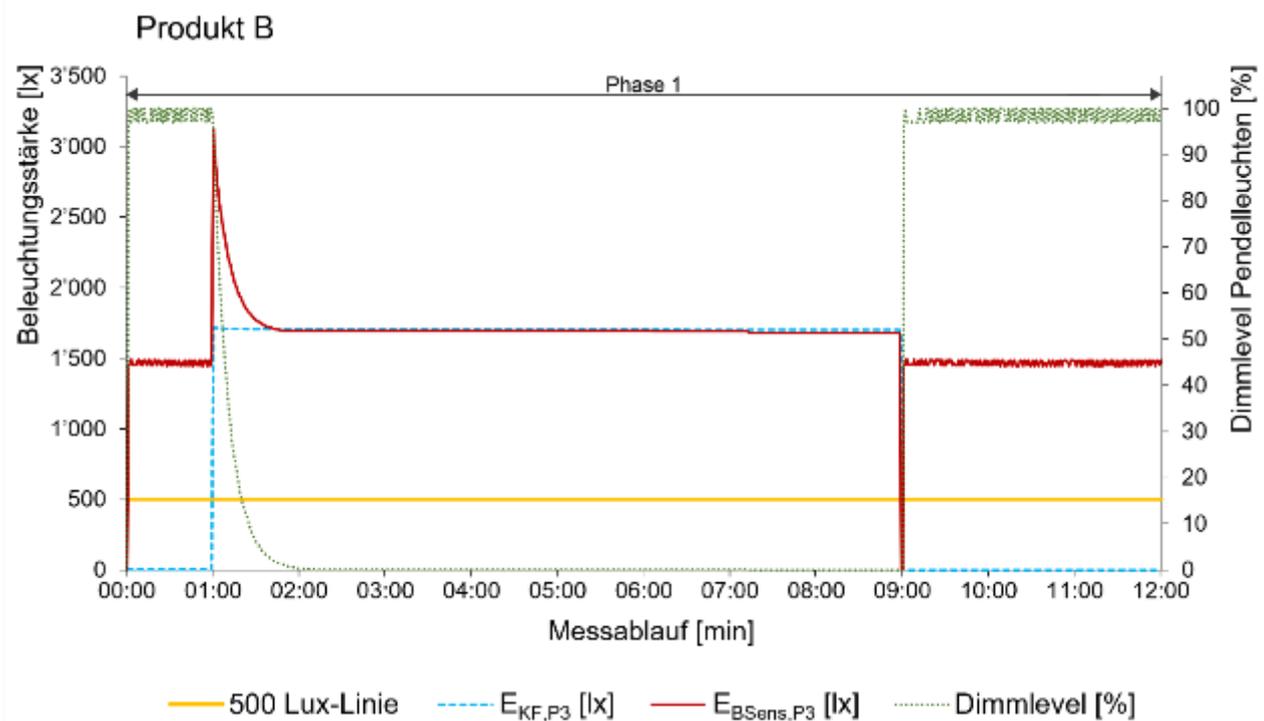
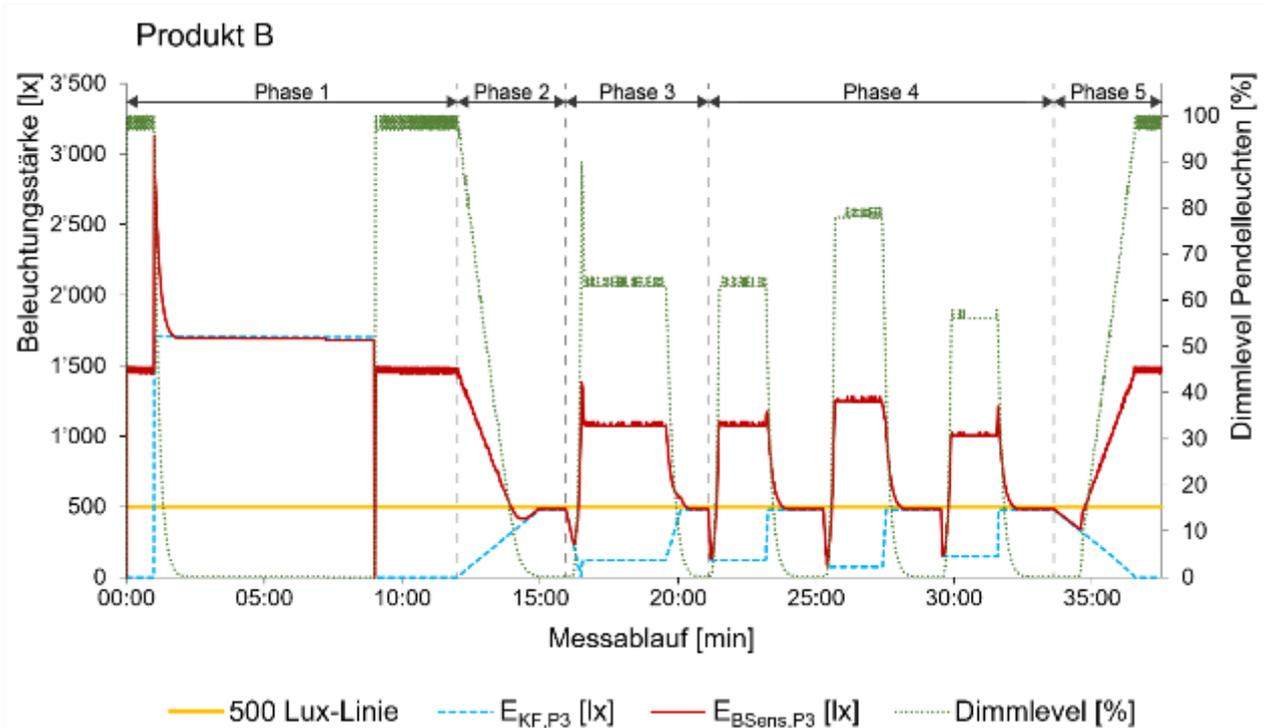
Testszenario 1

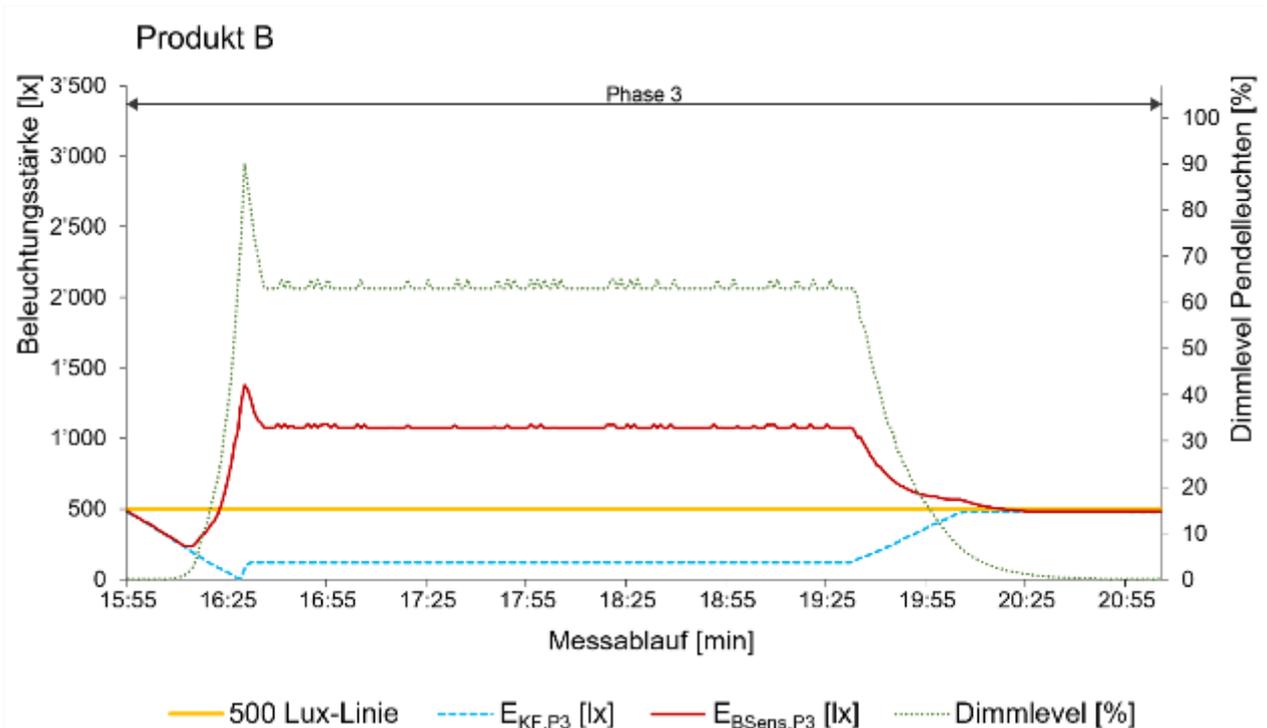
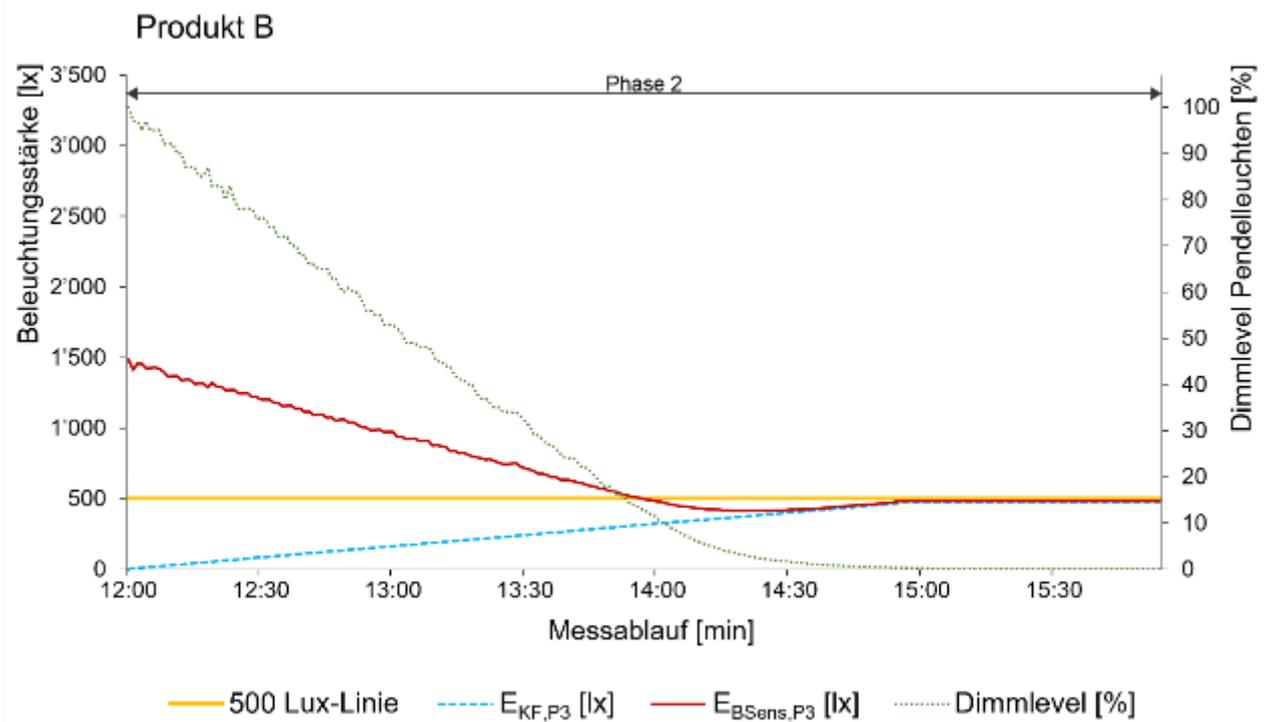


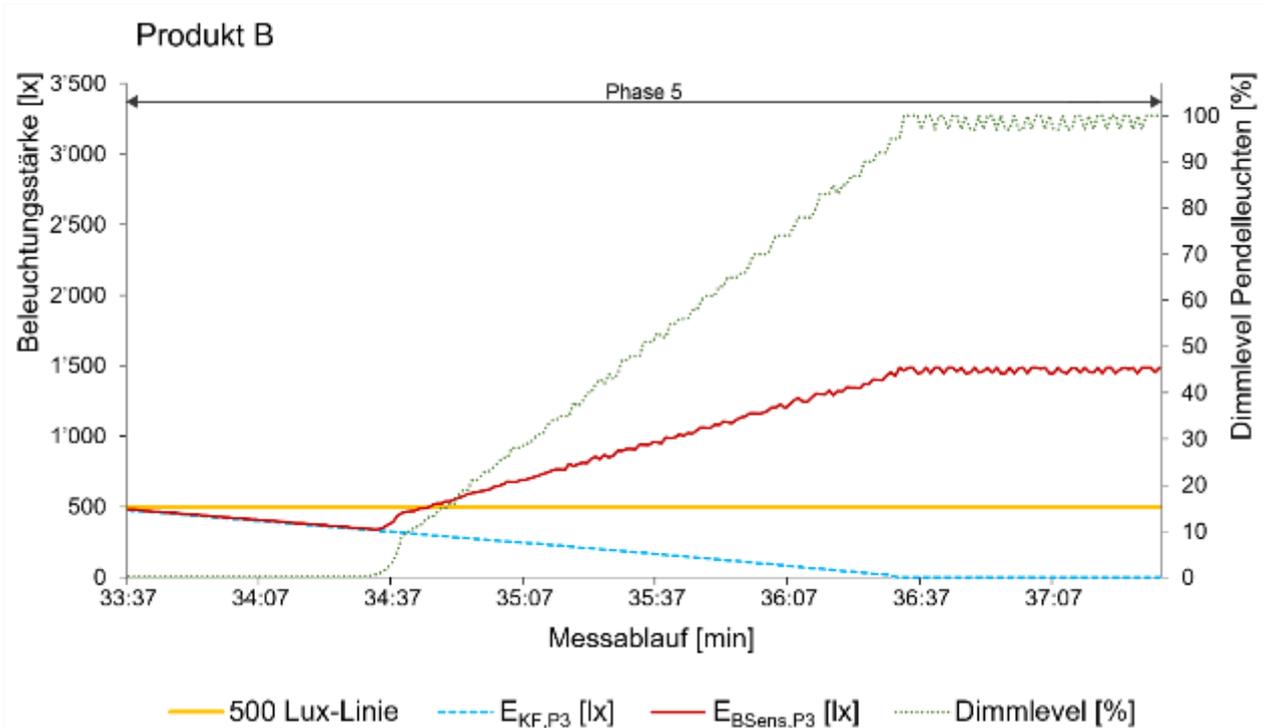
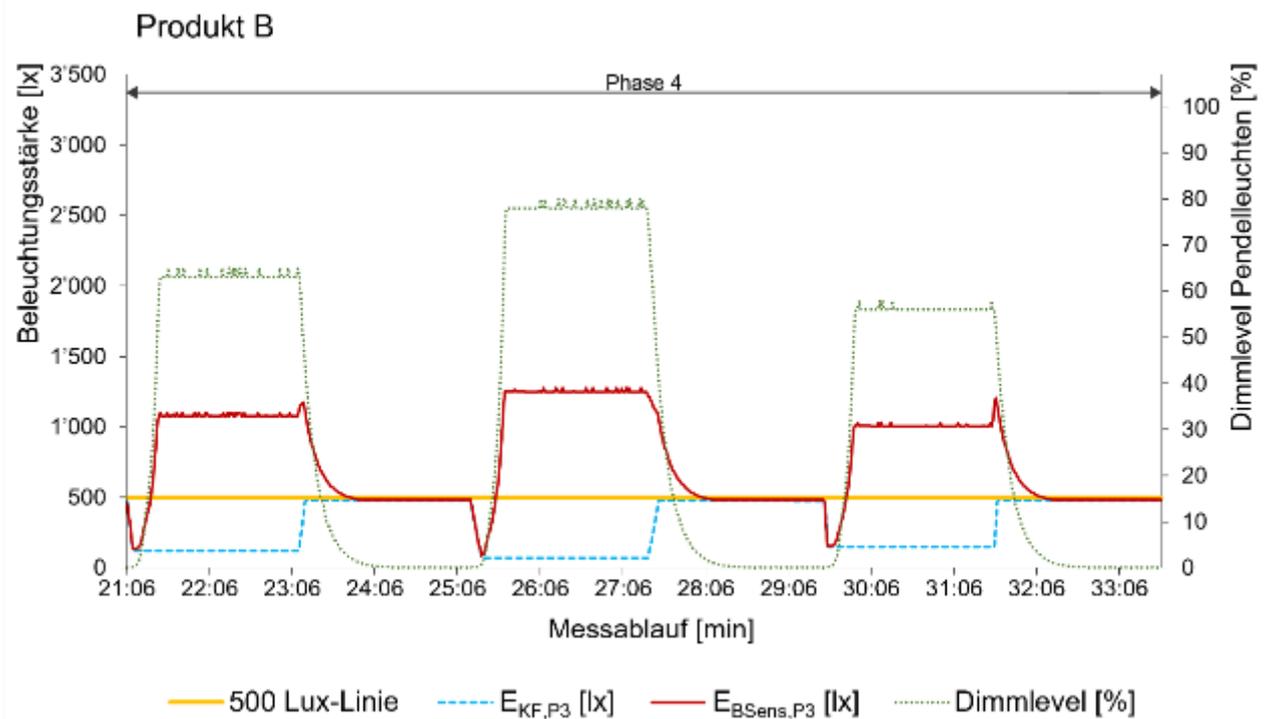




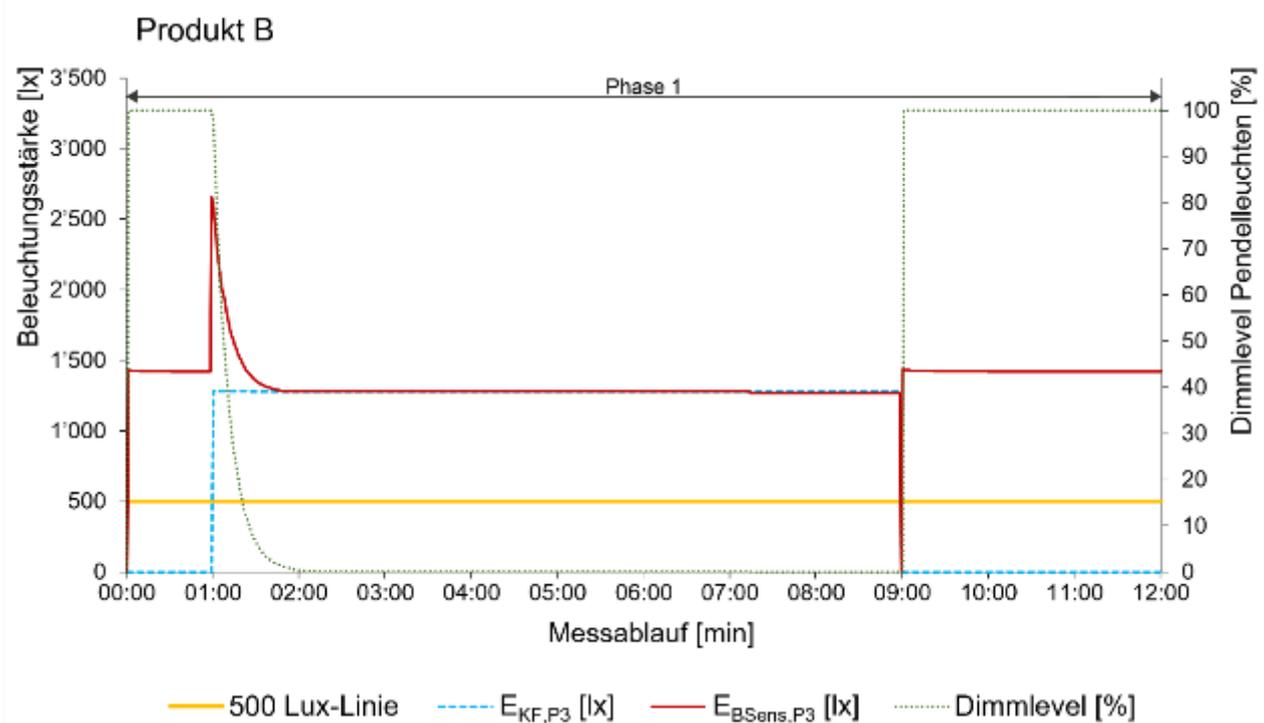
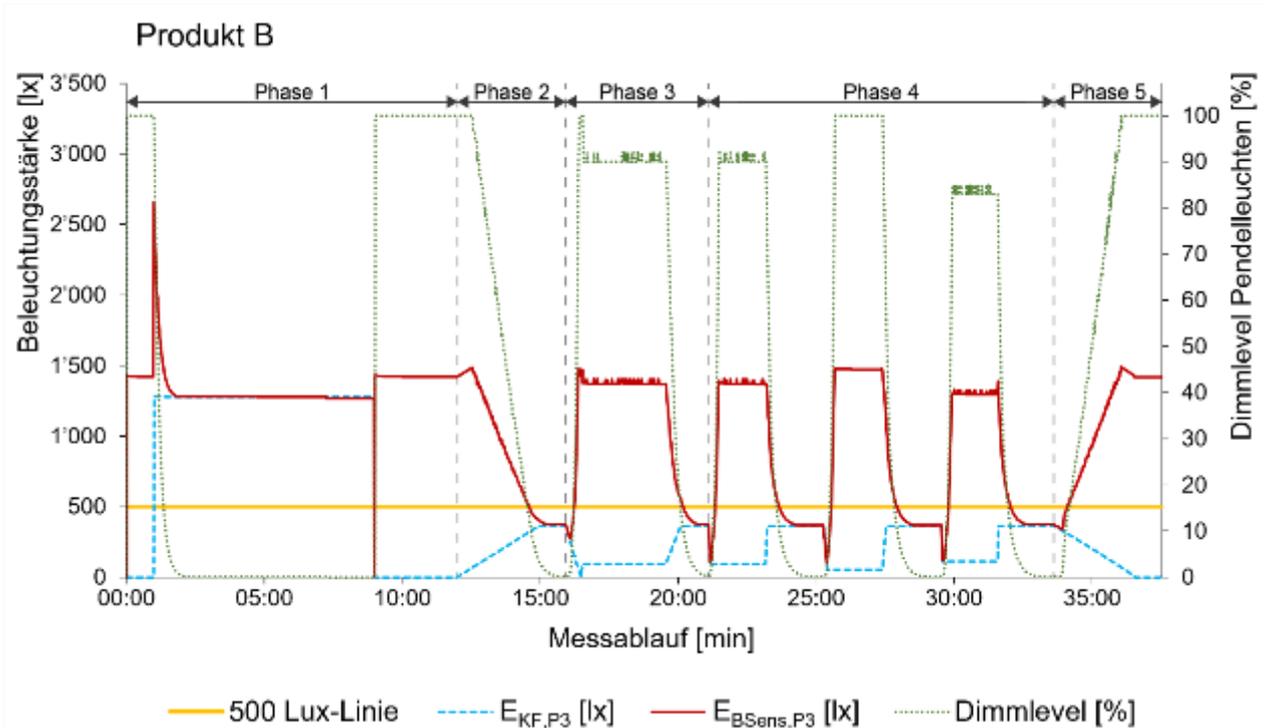
Testszenario 2

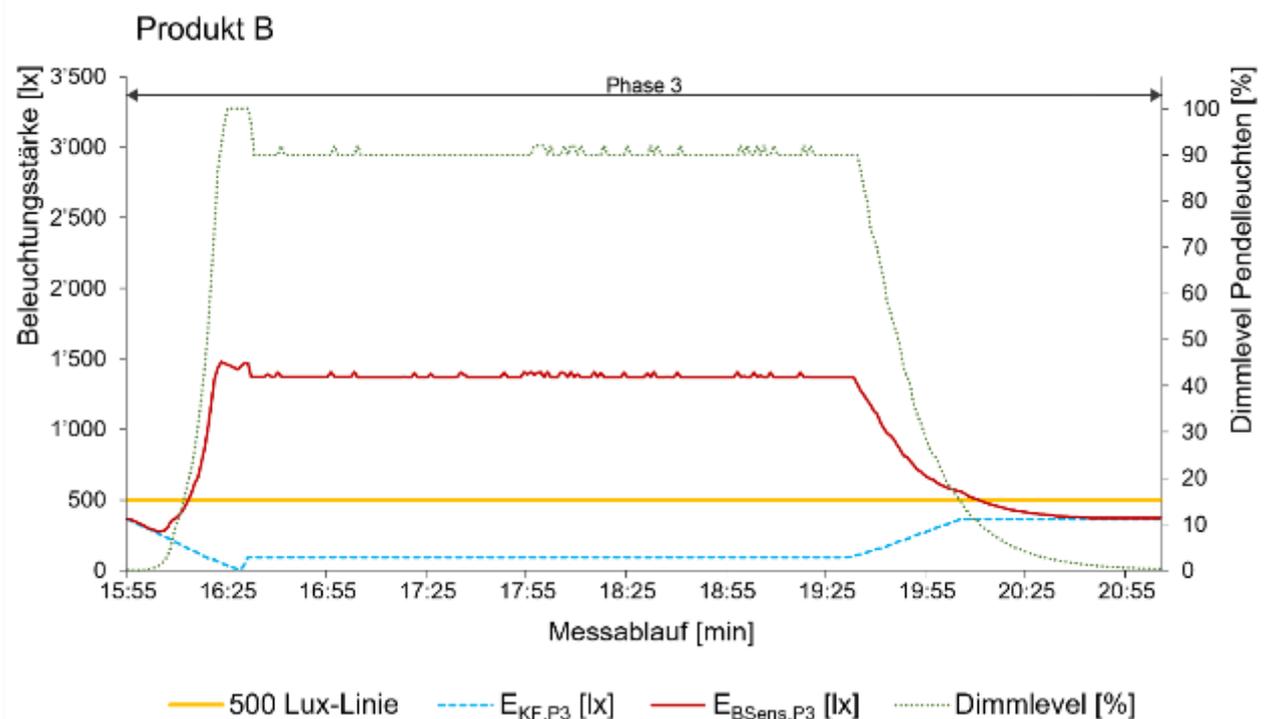
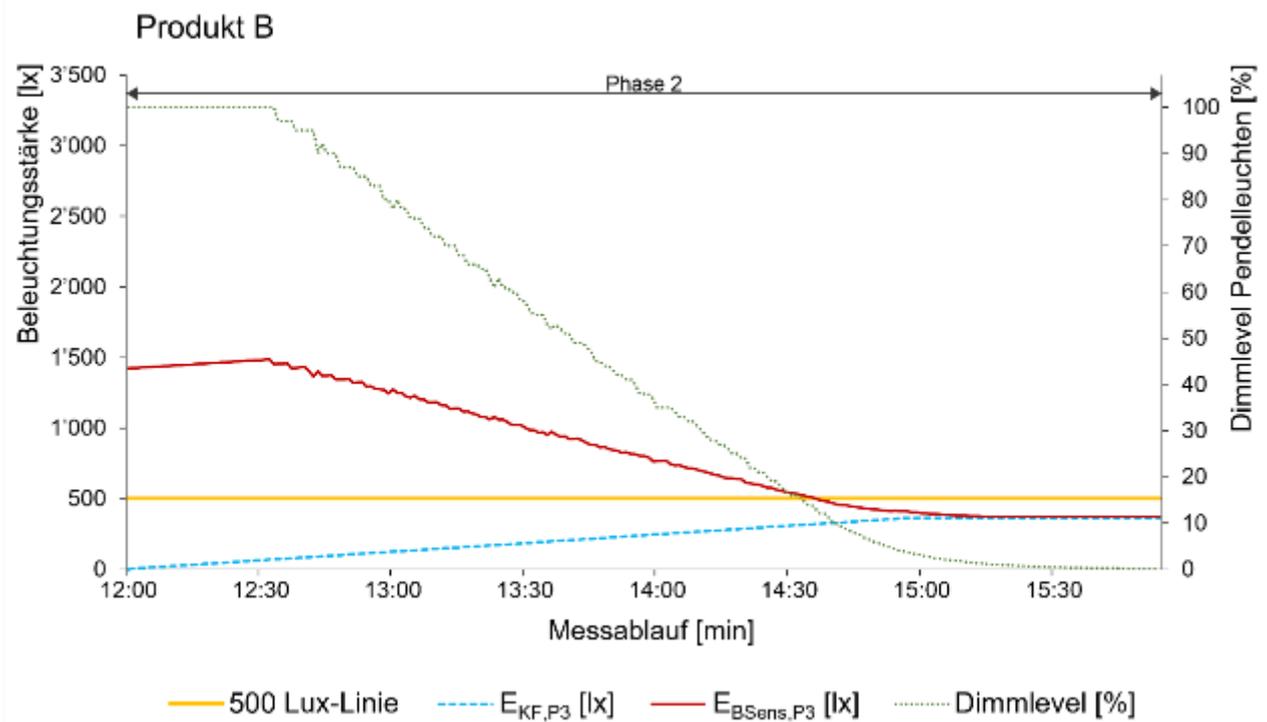


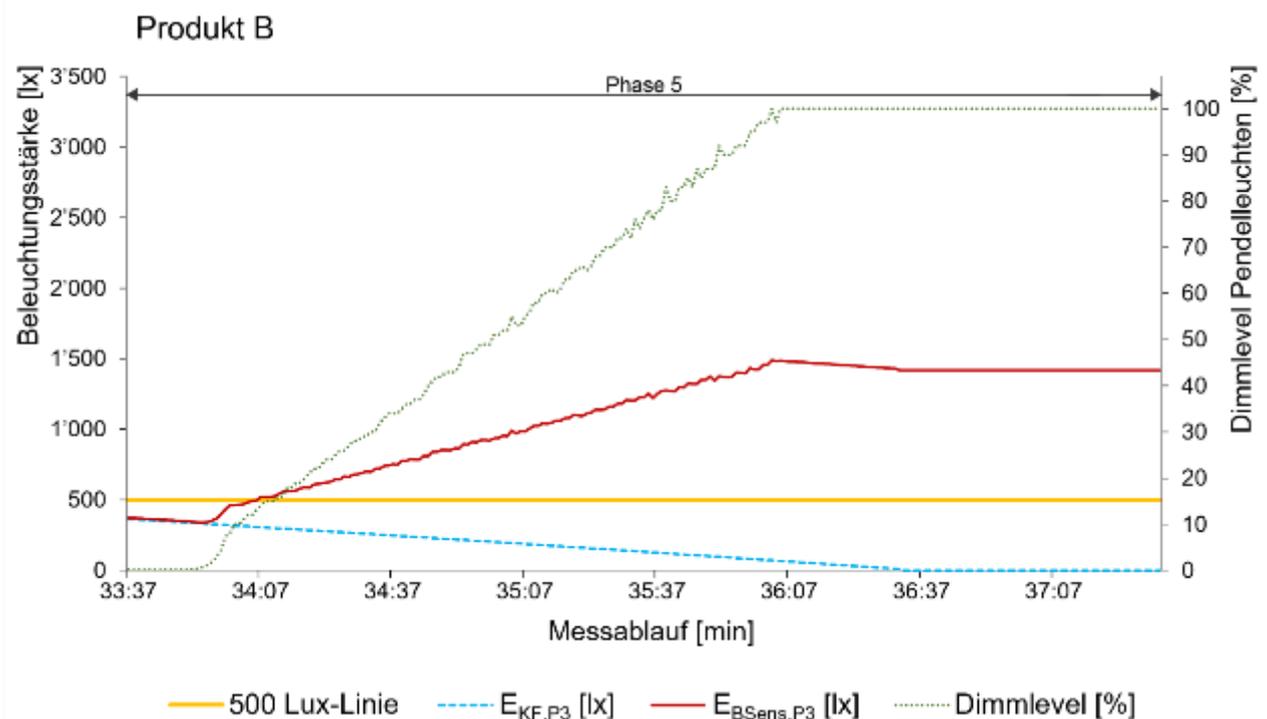
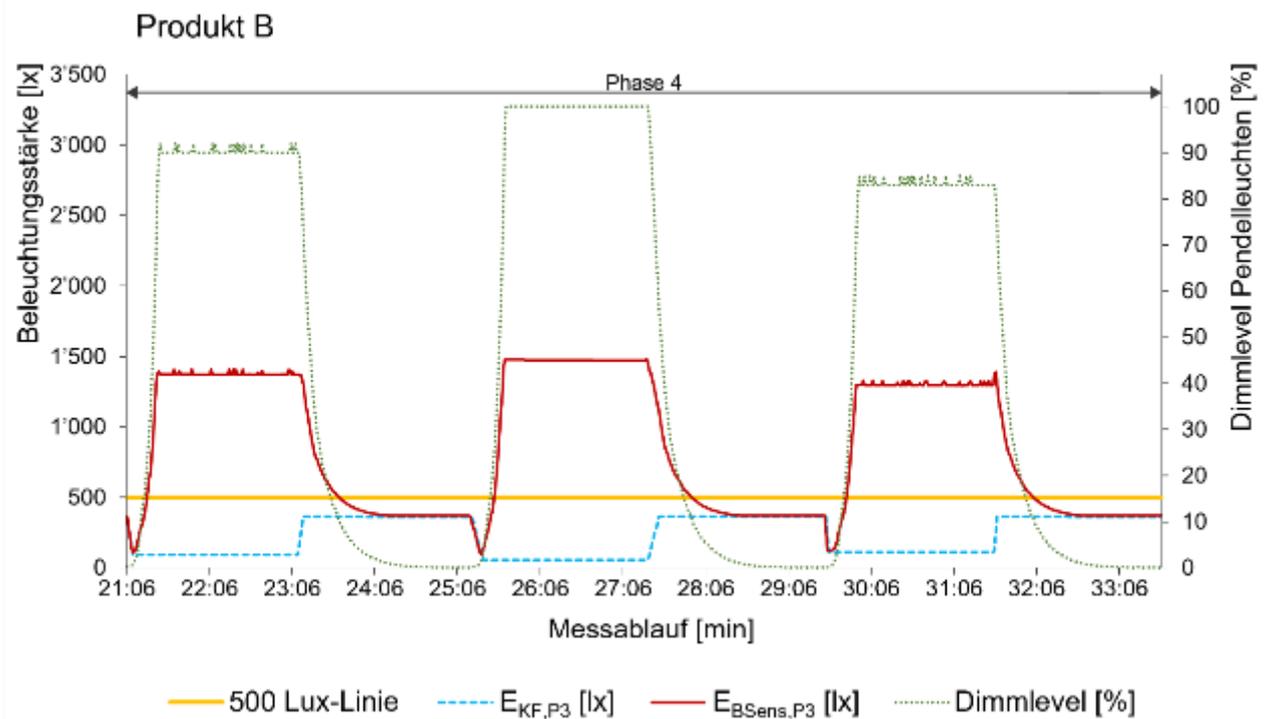




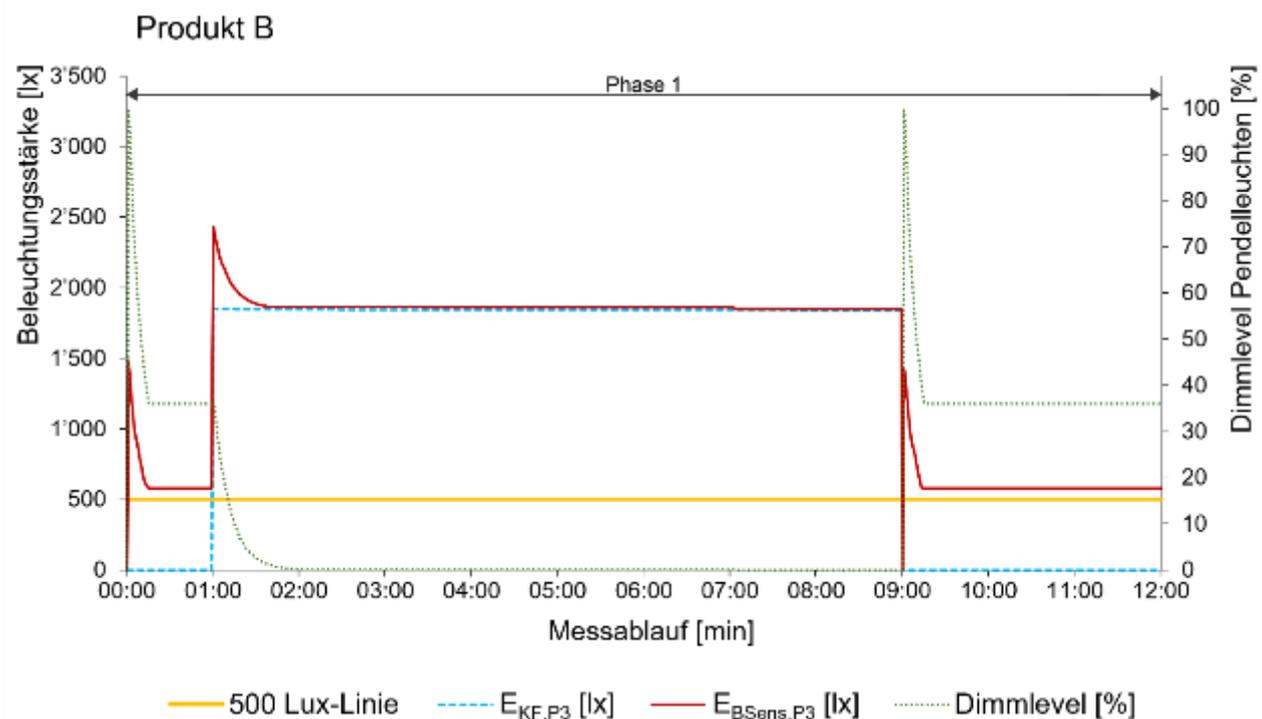
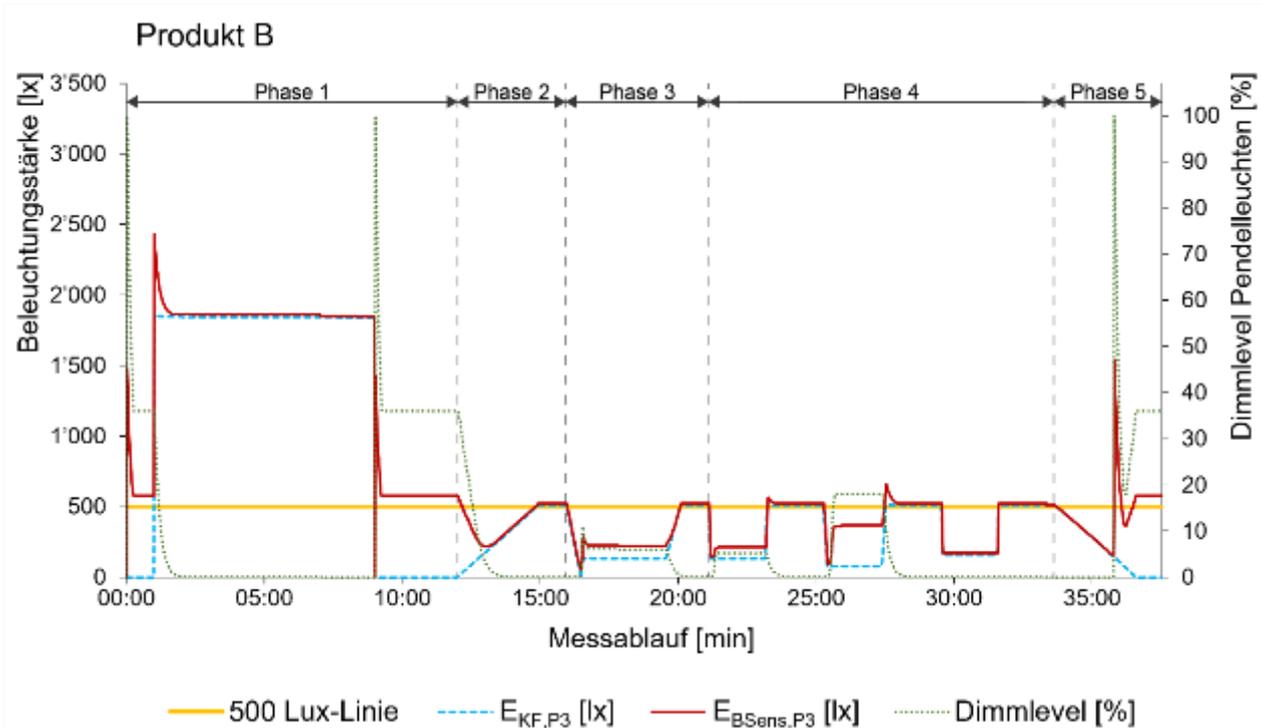
Testszenario 3

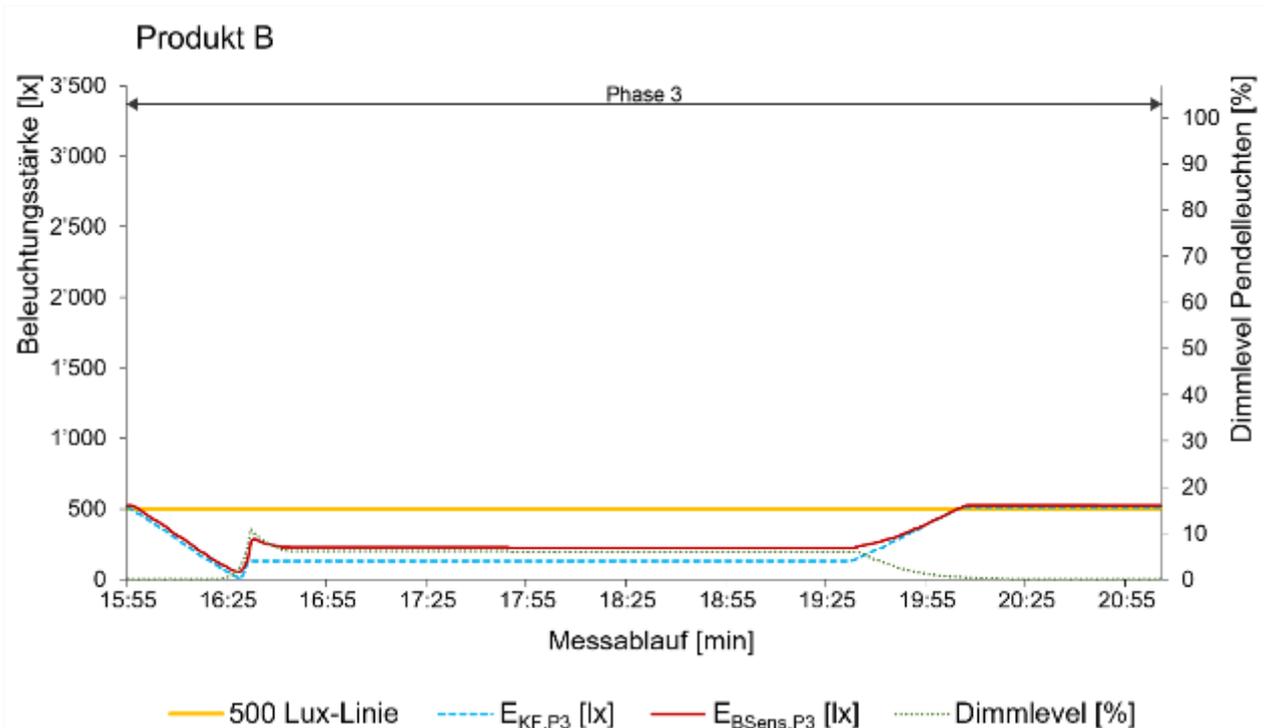
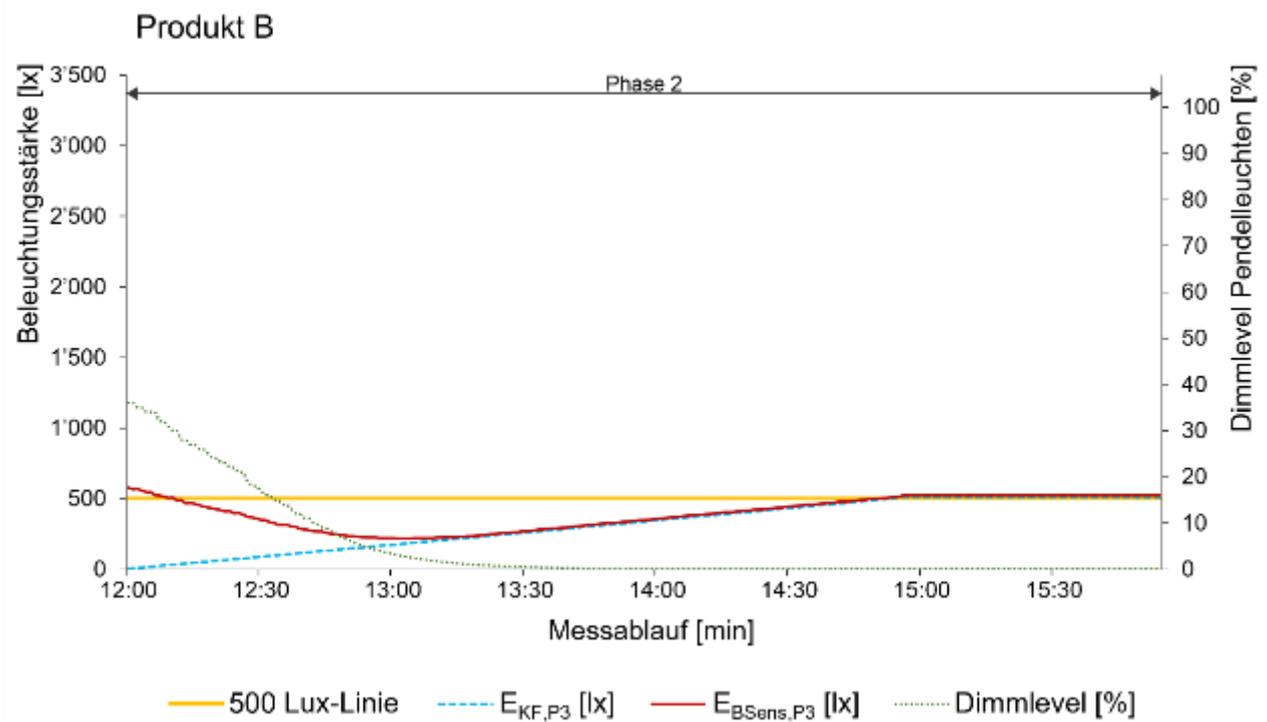


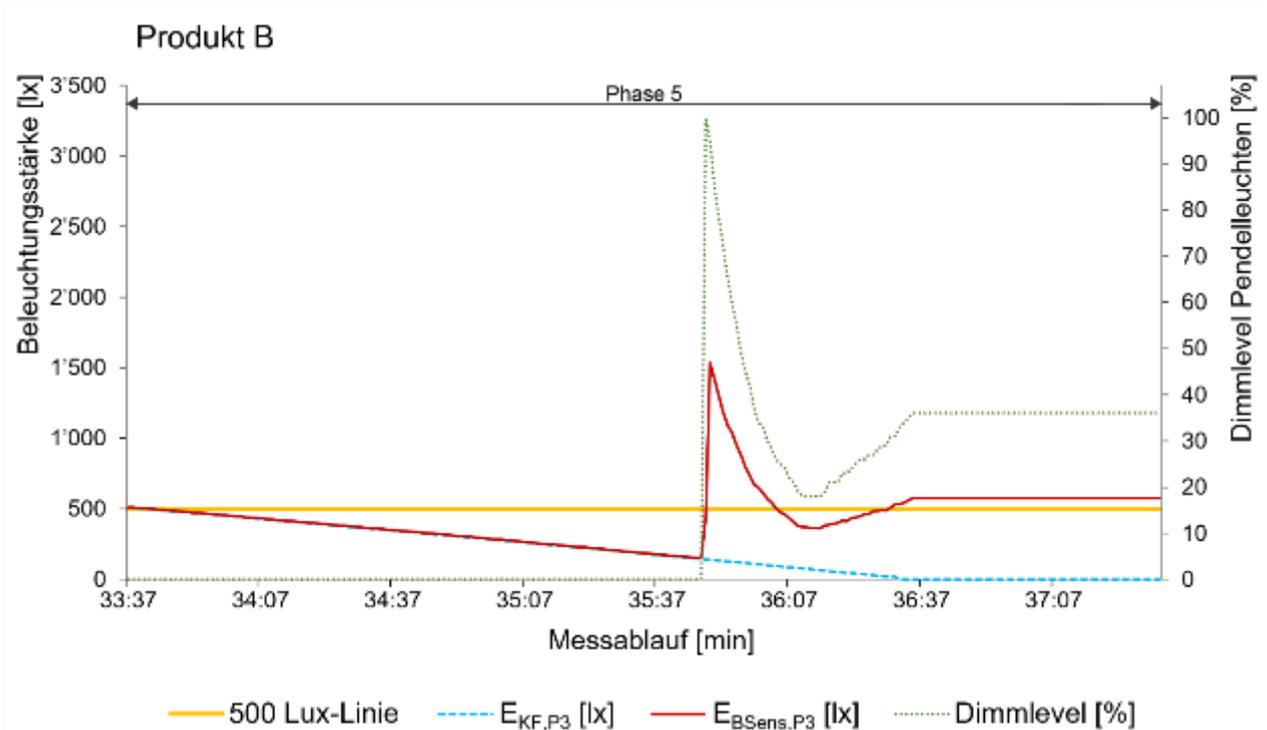
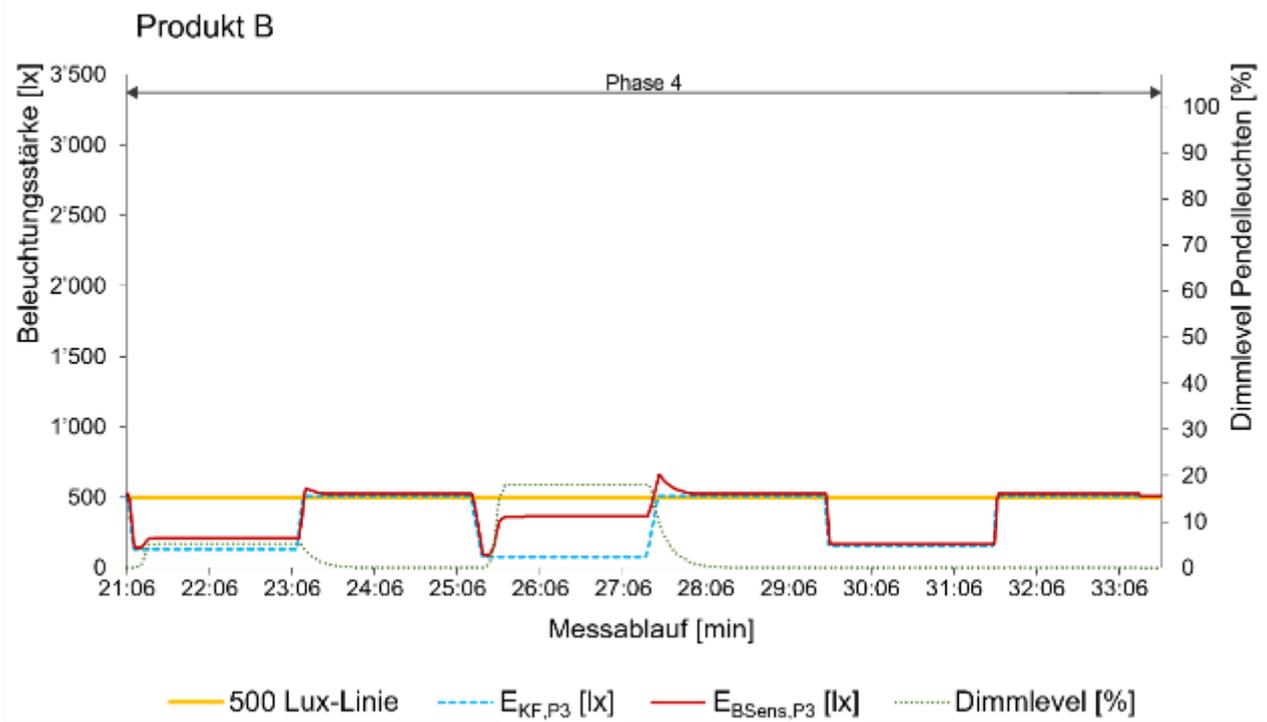




Testszenario 4

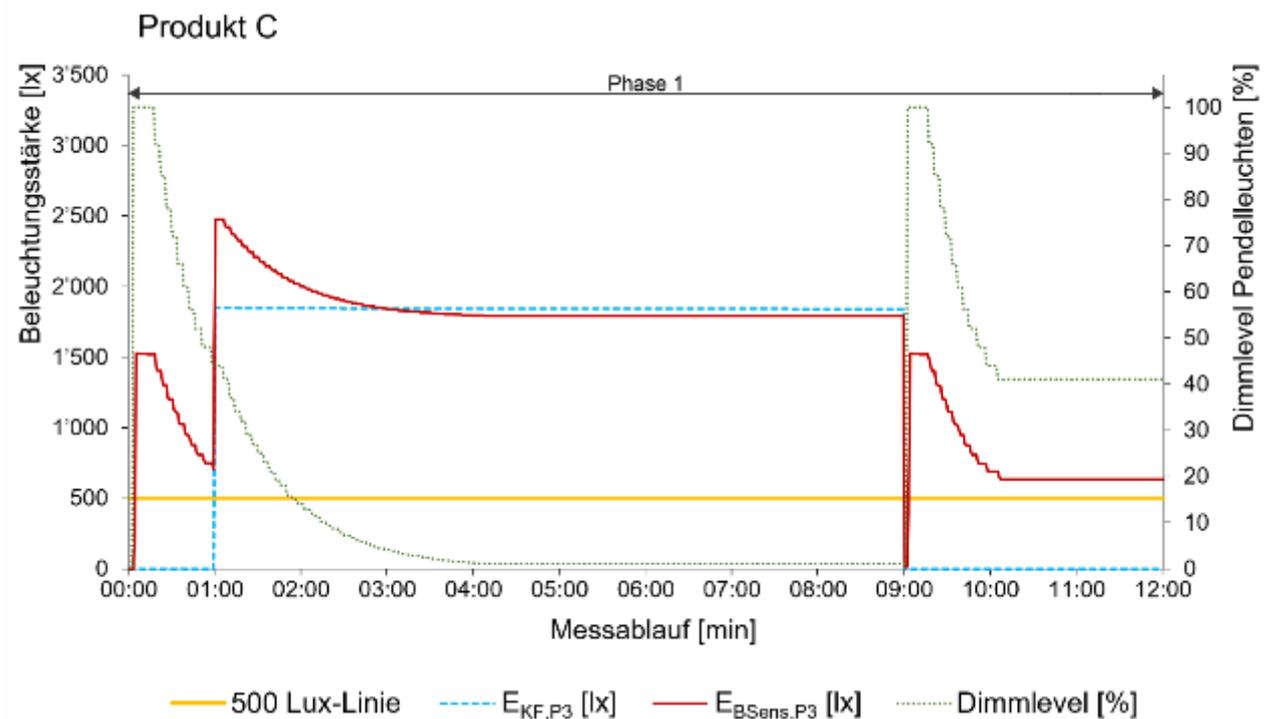
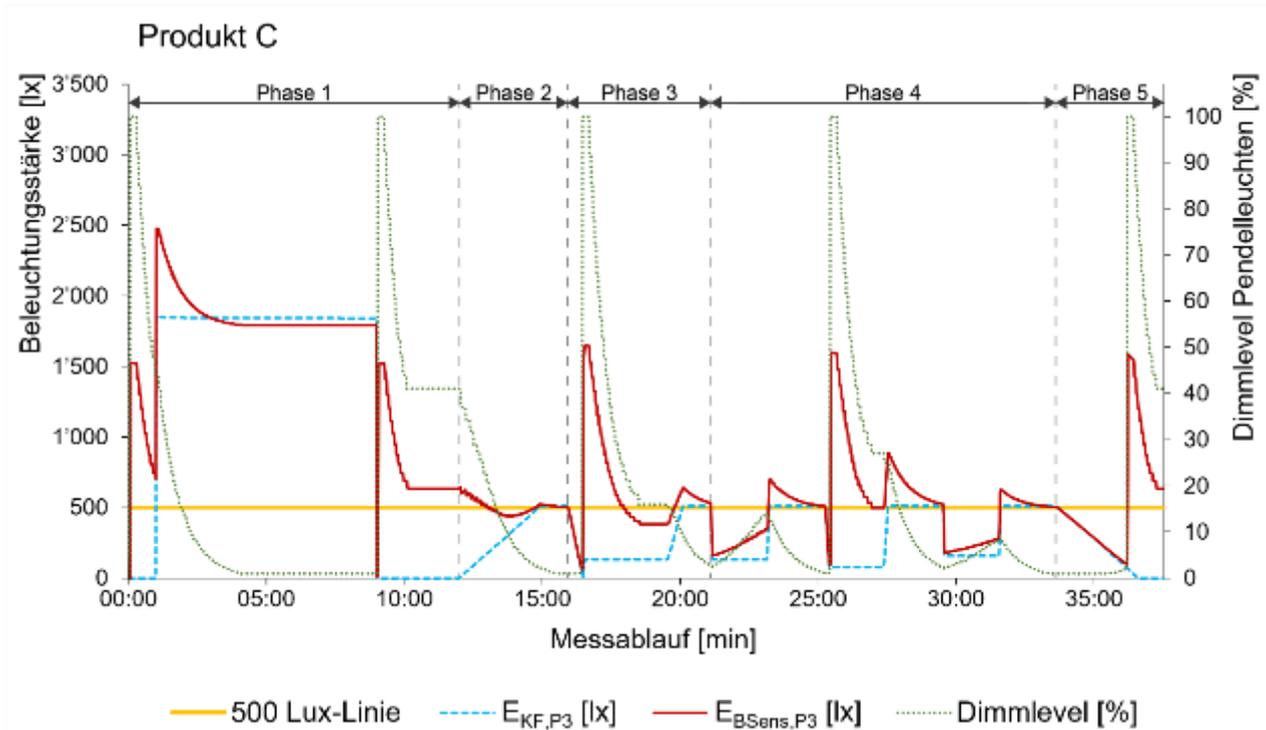


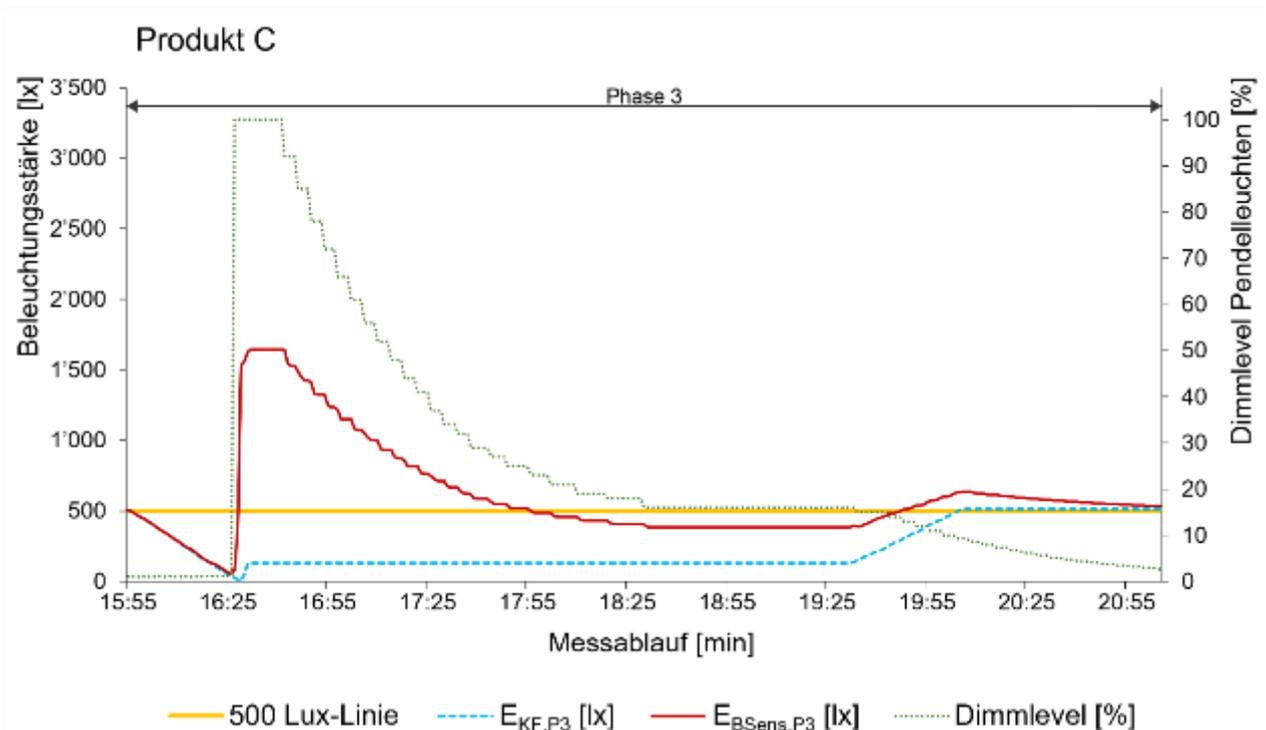
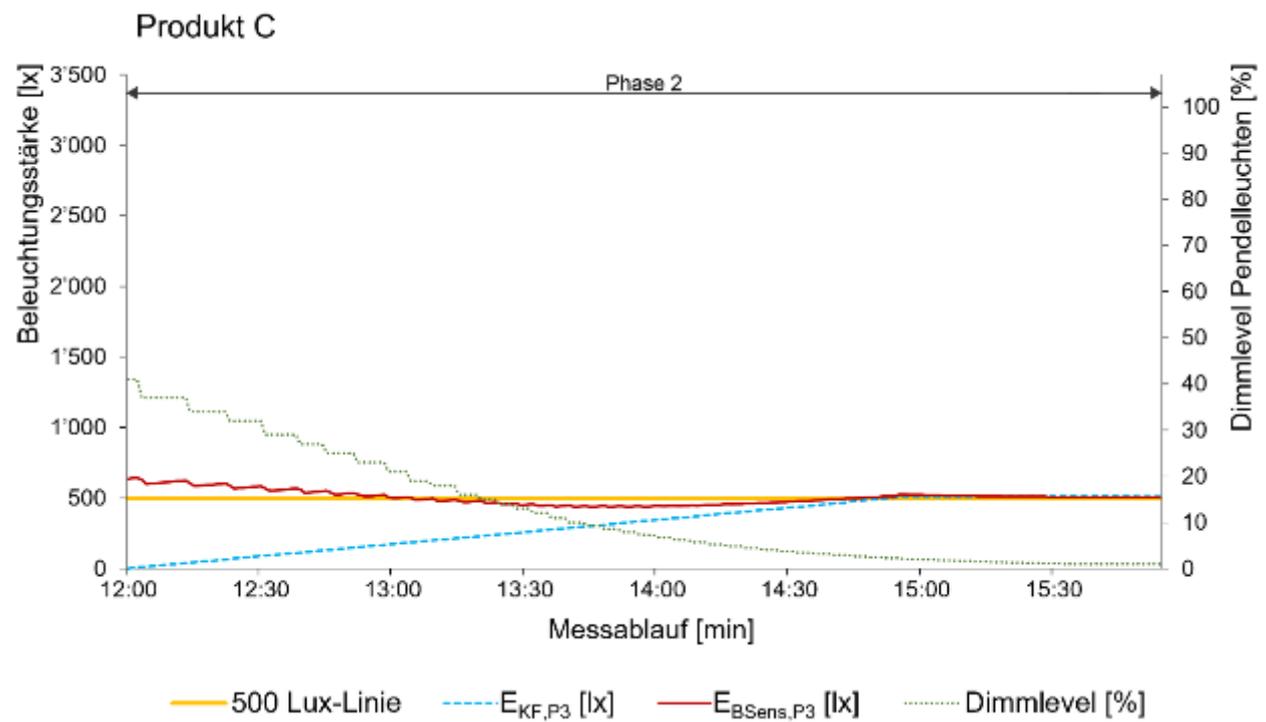


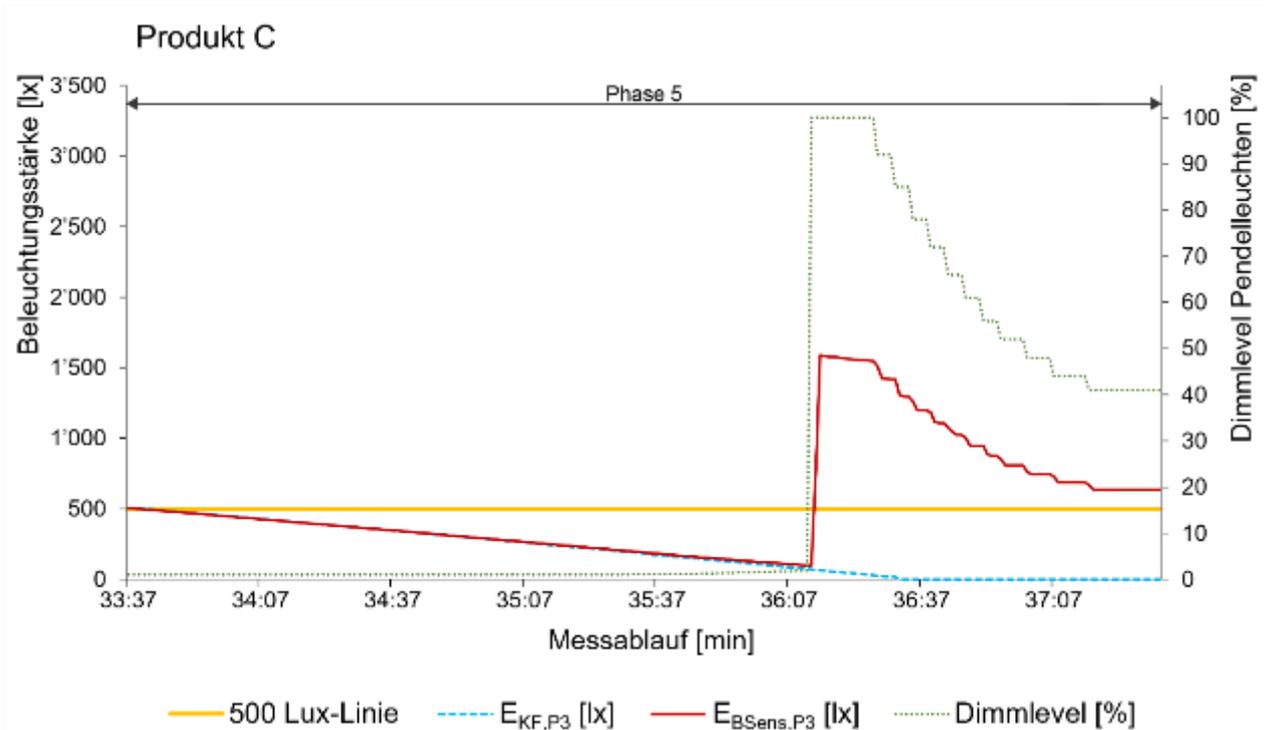
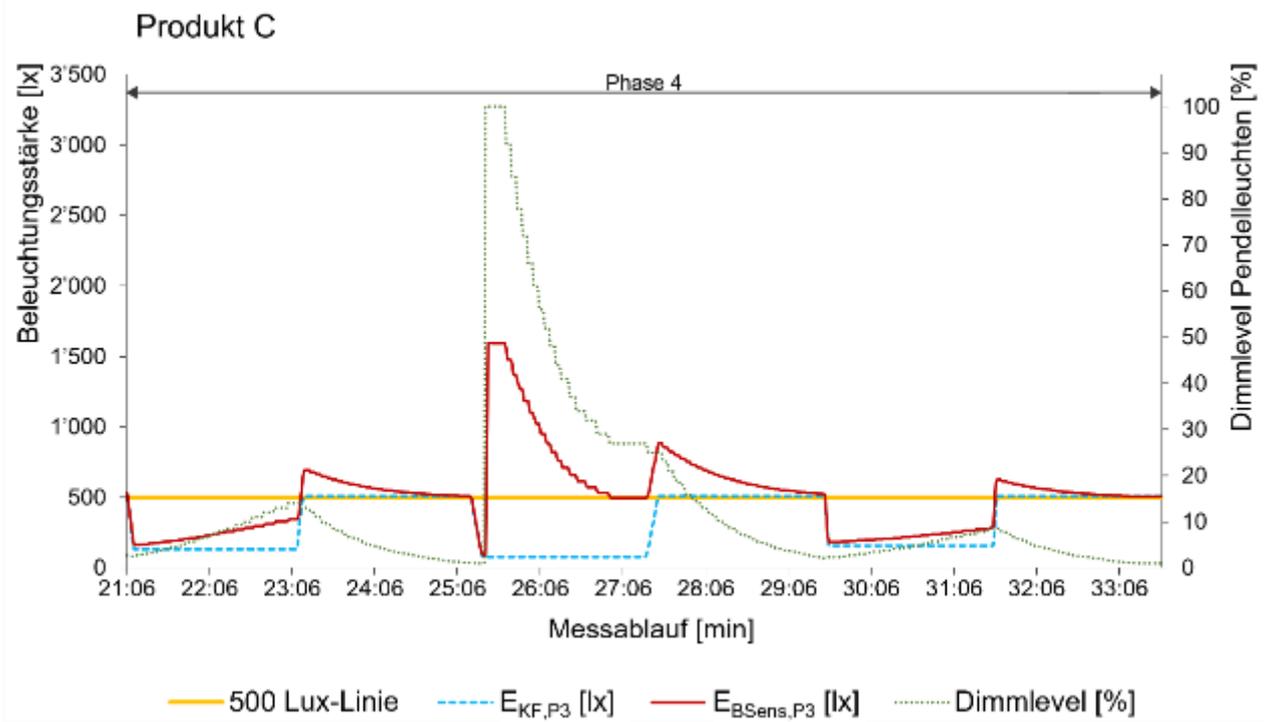


10.6 Diagramme Produkt C

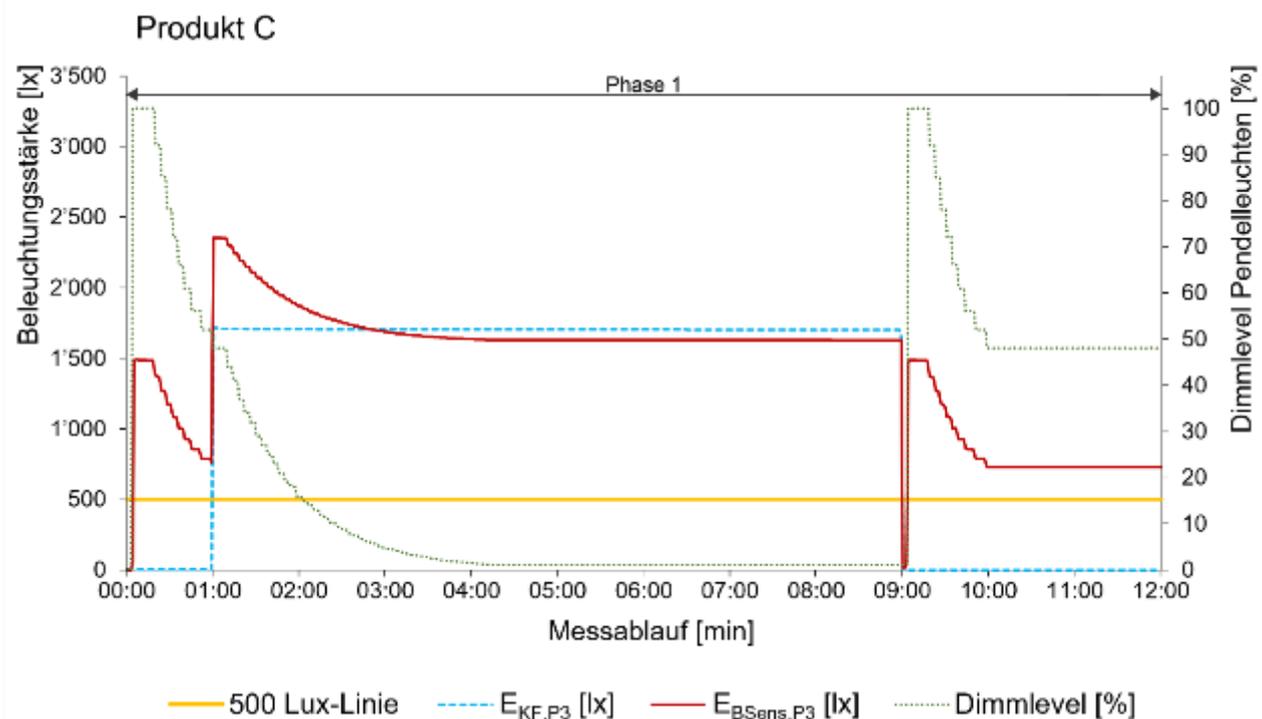
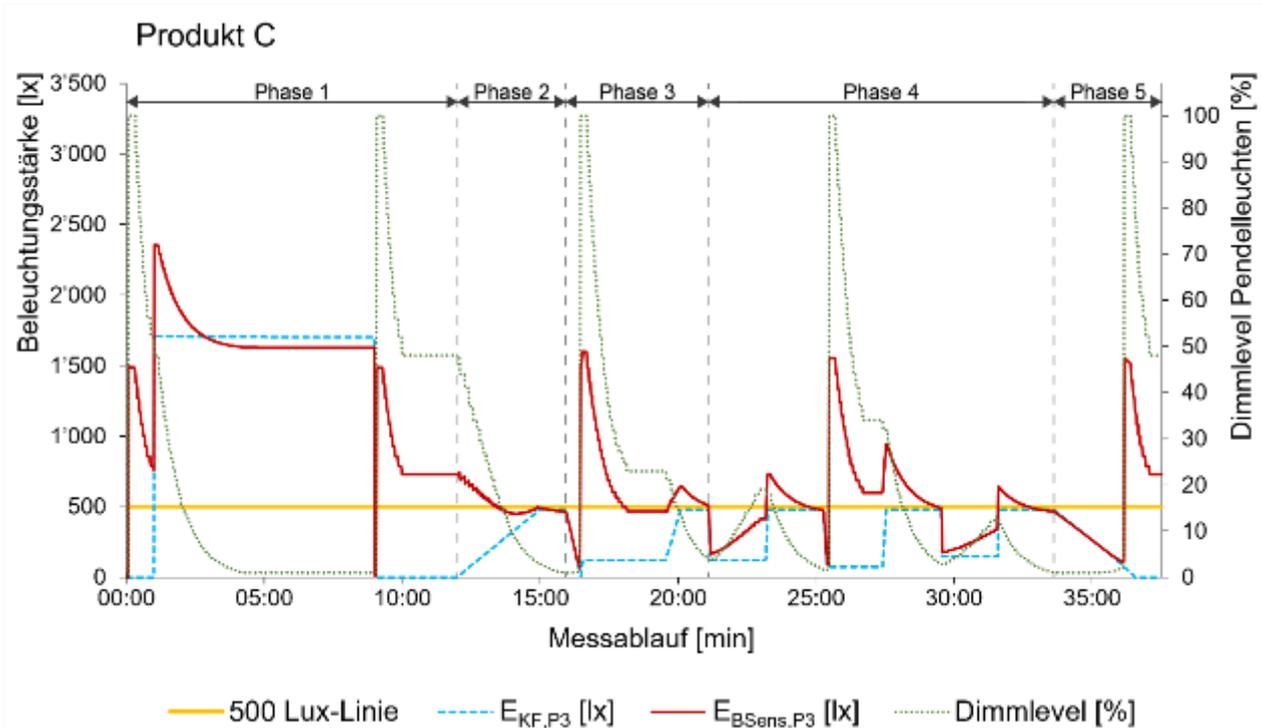
Testszenario 1

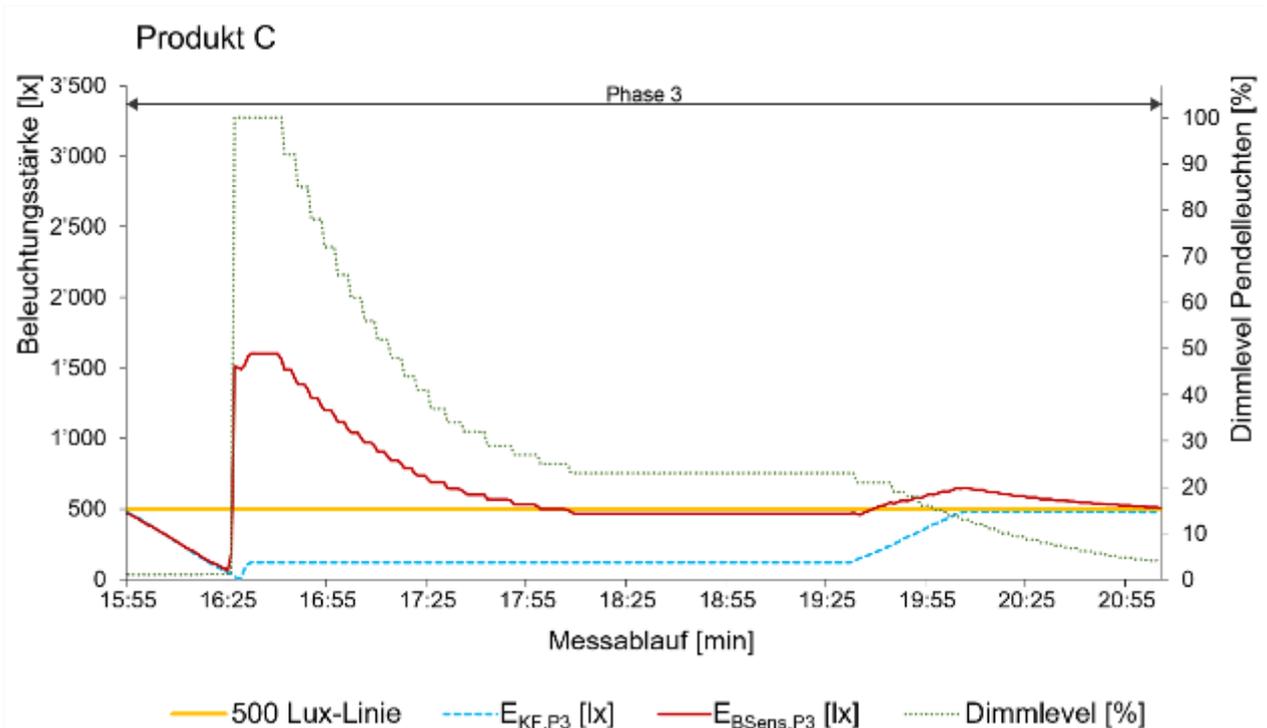
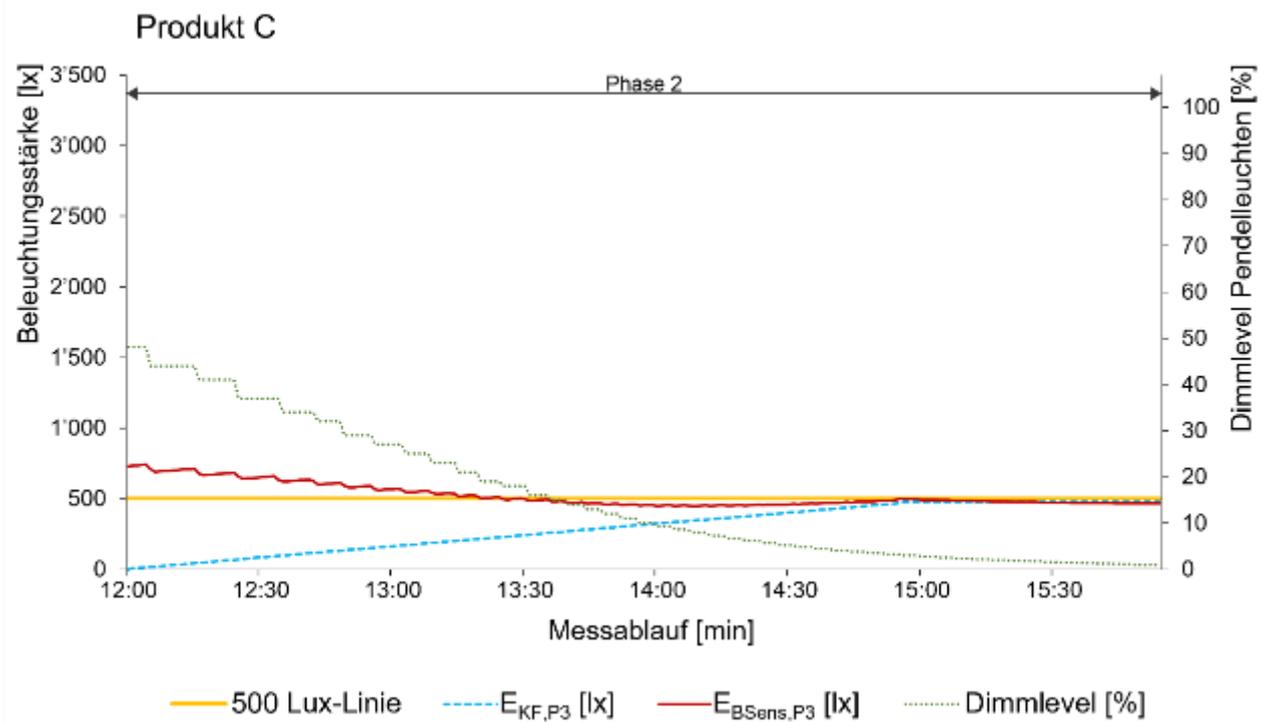


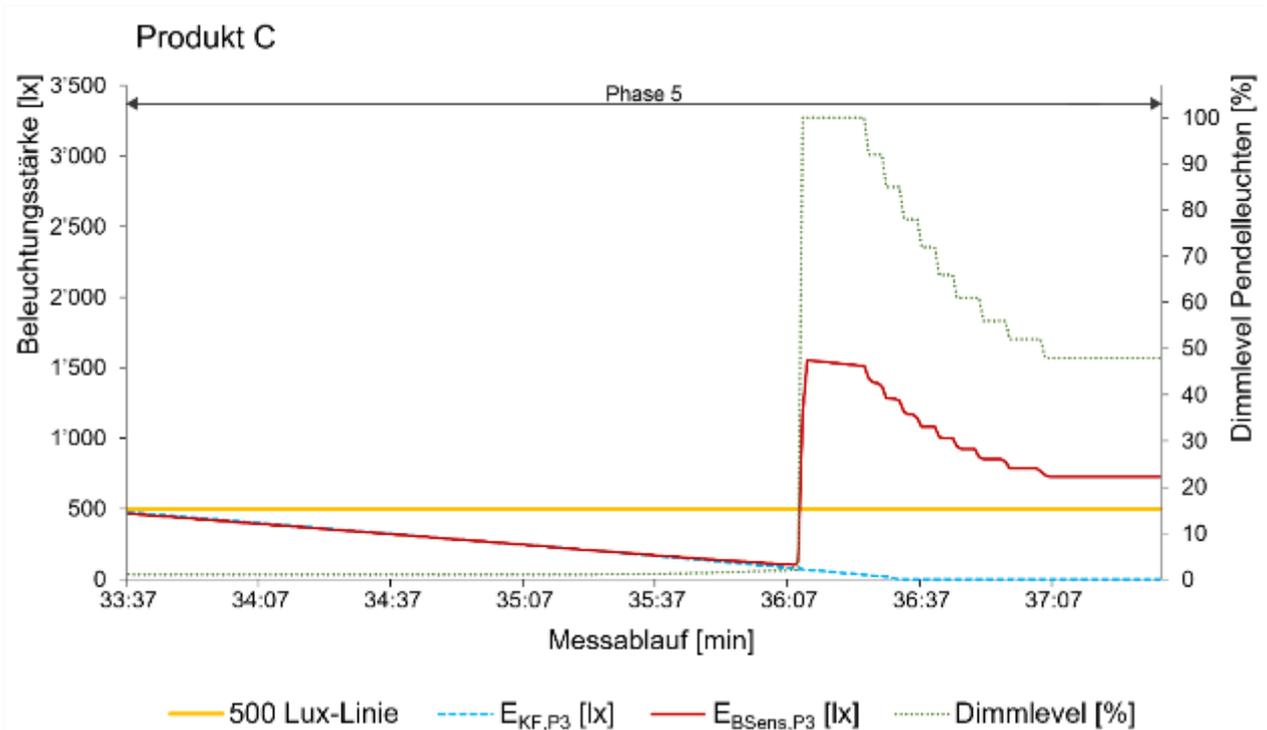
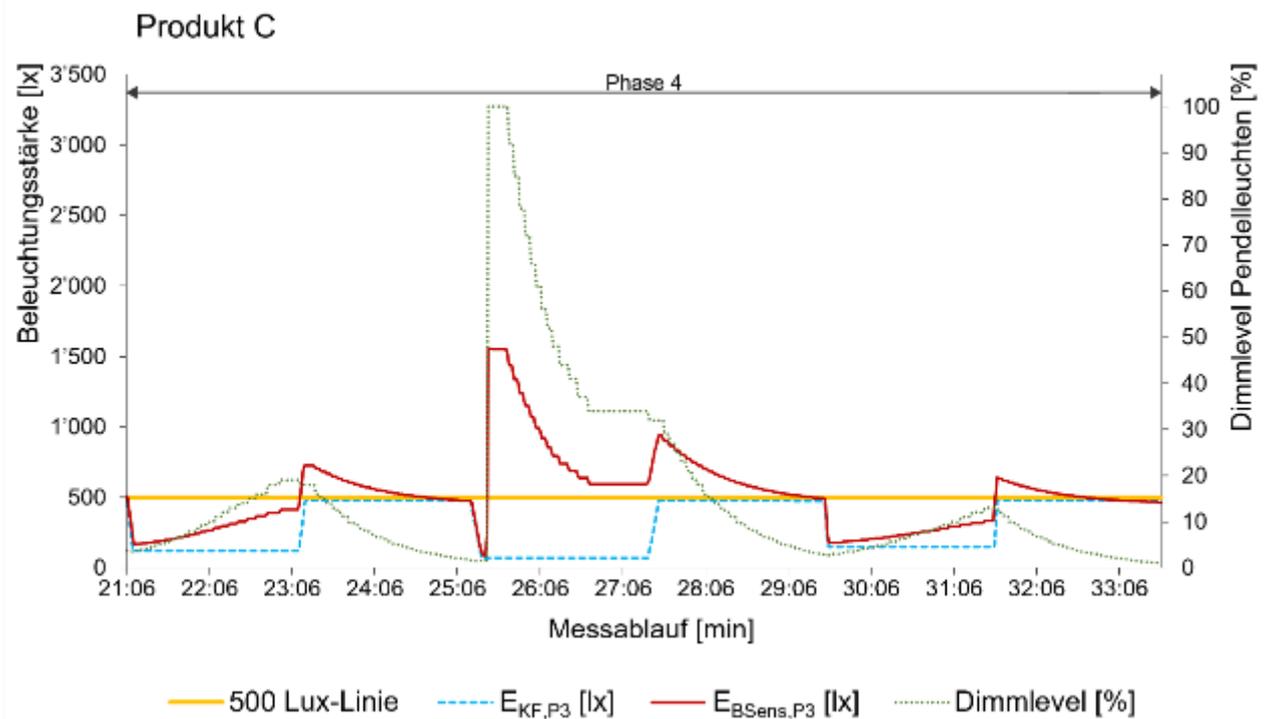




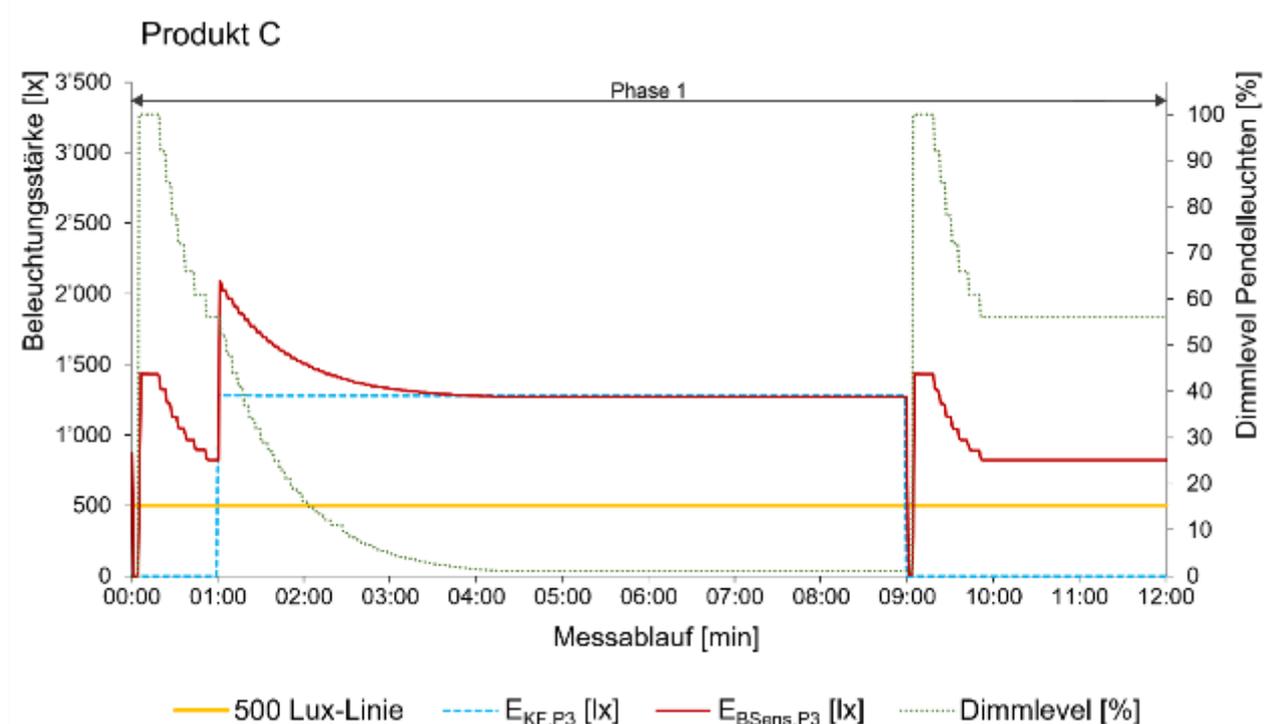
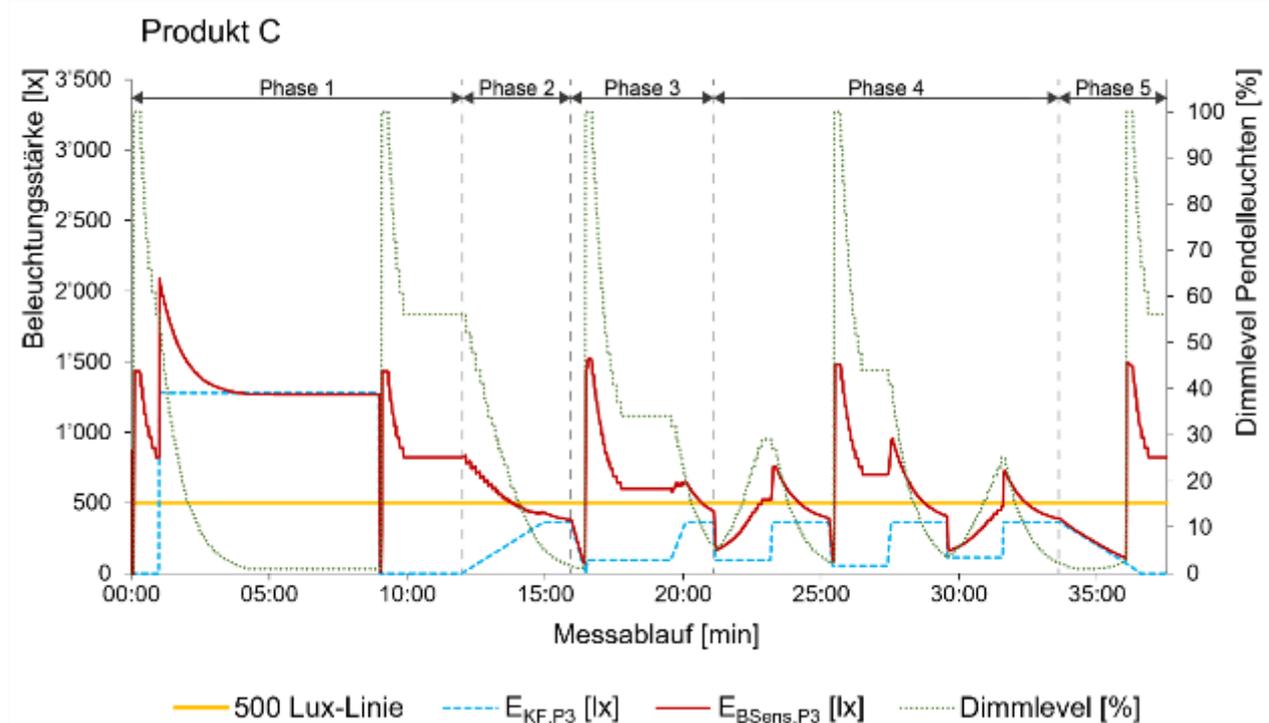
Testszenario 2

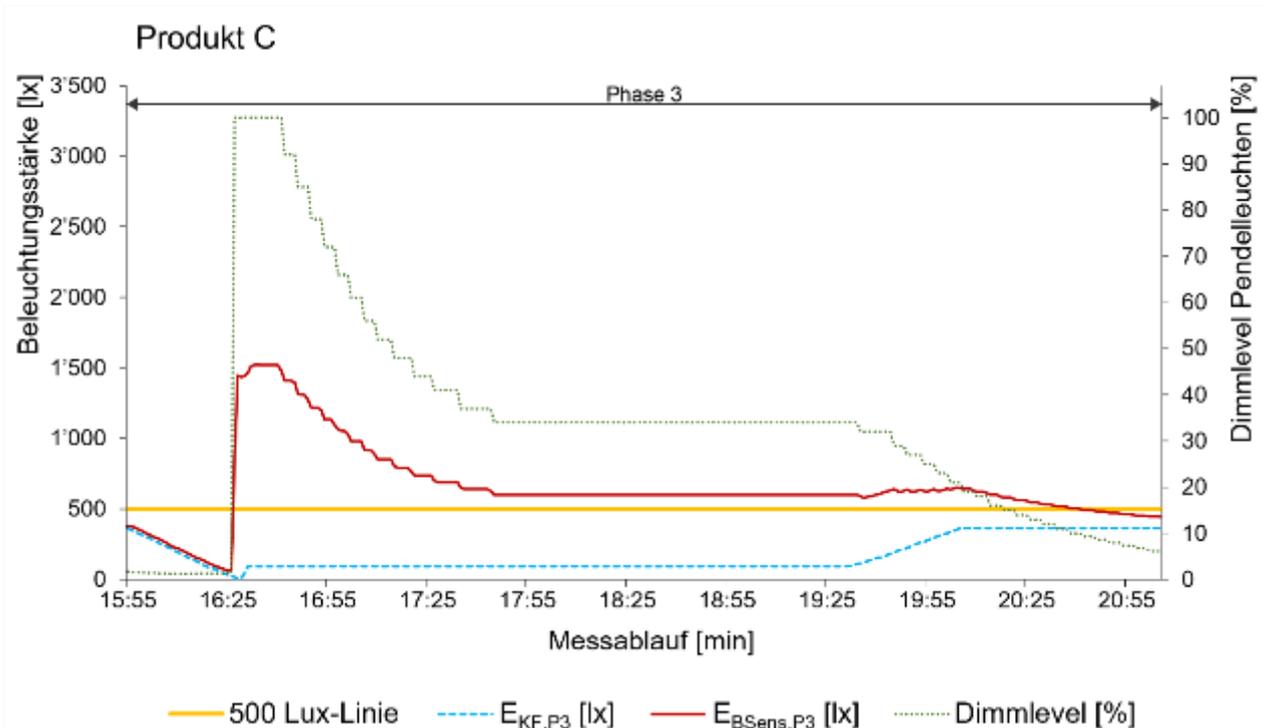
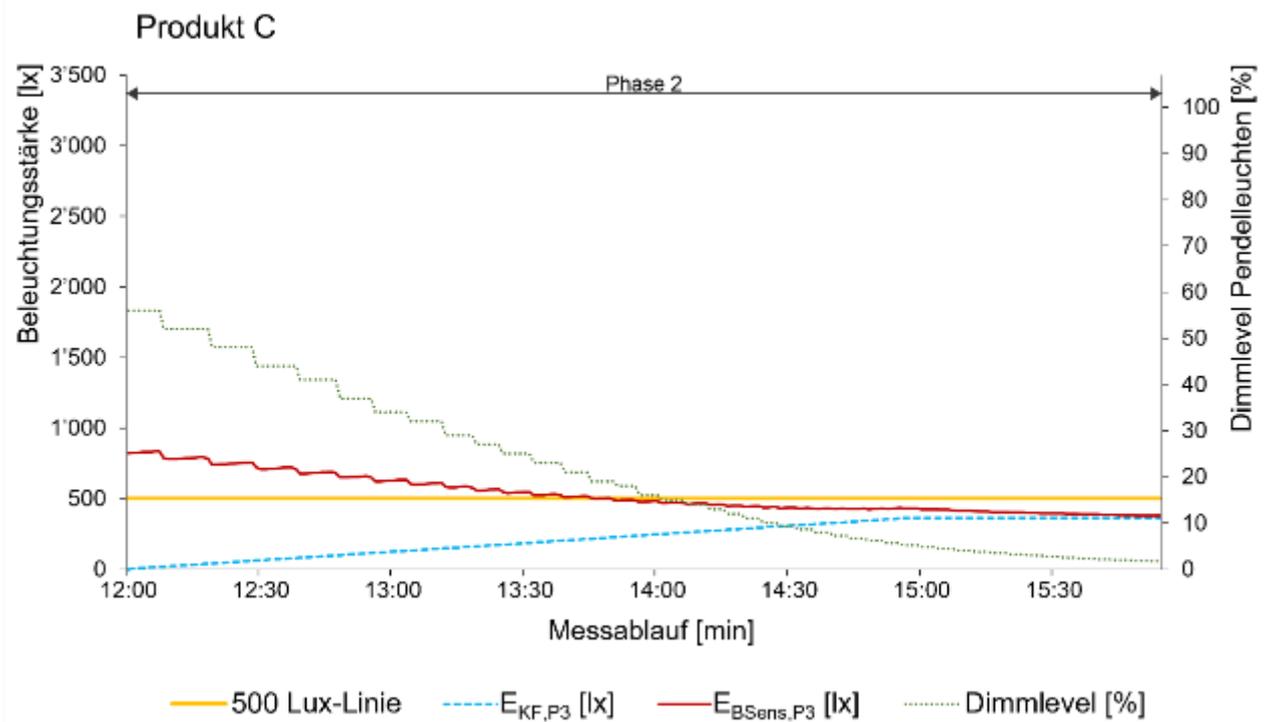


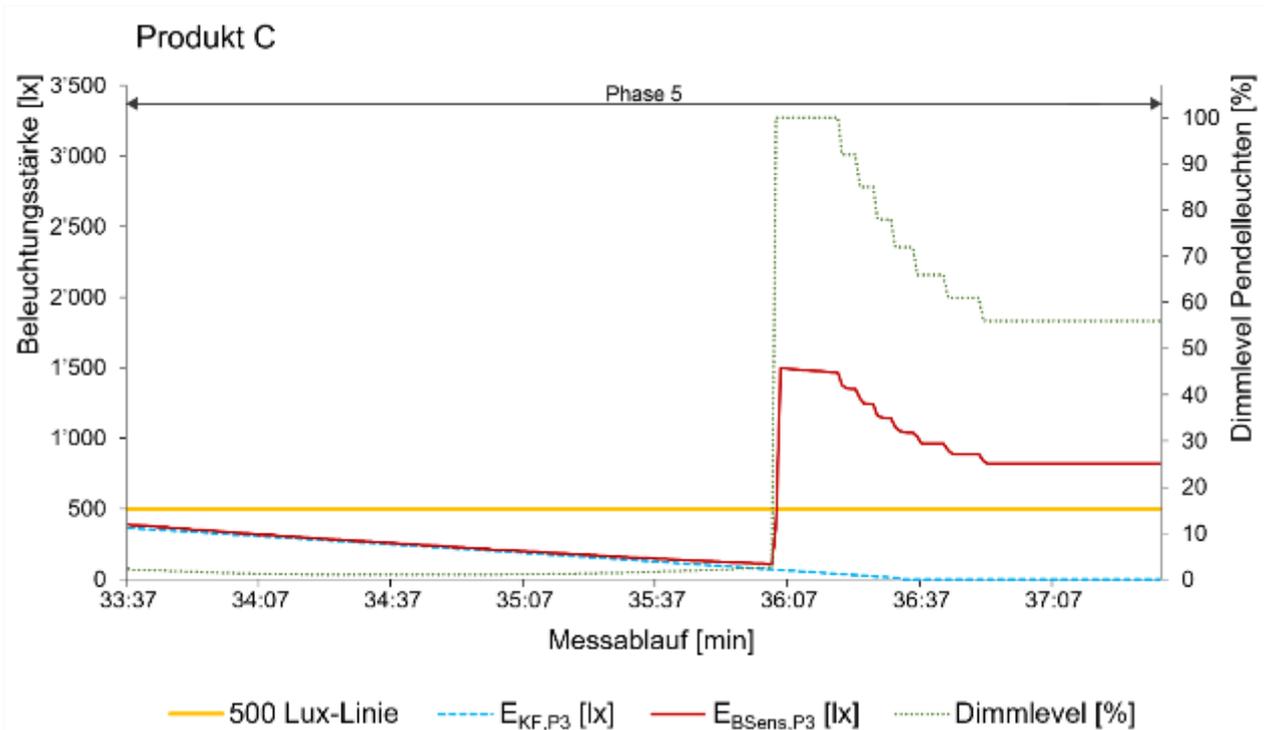
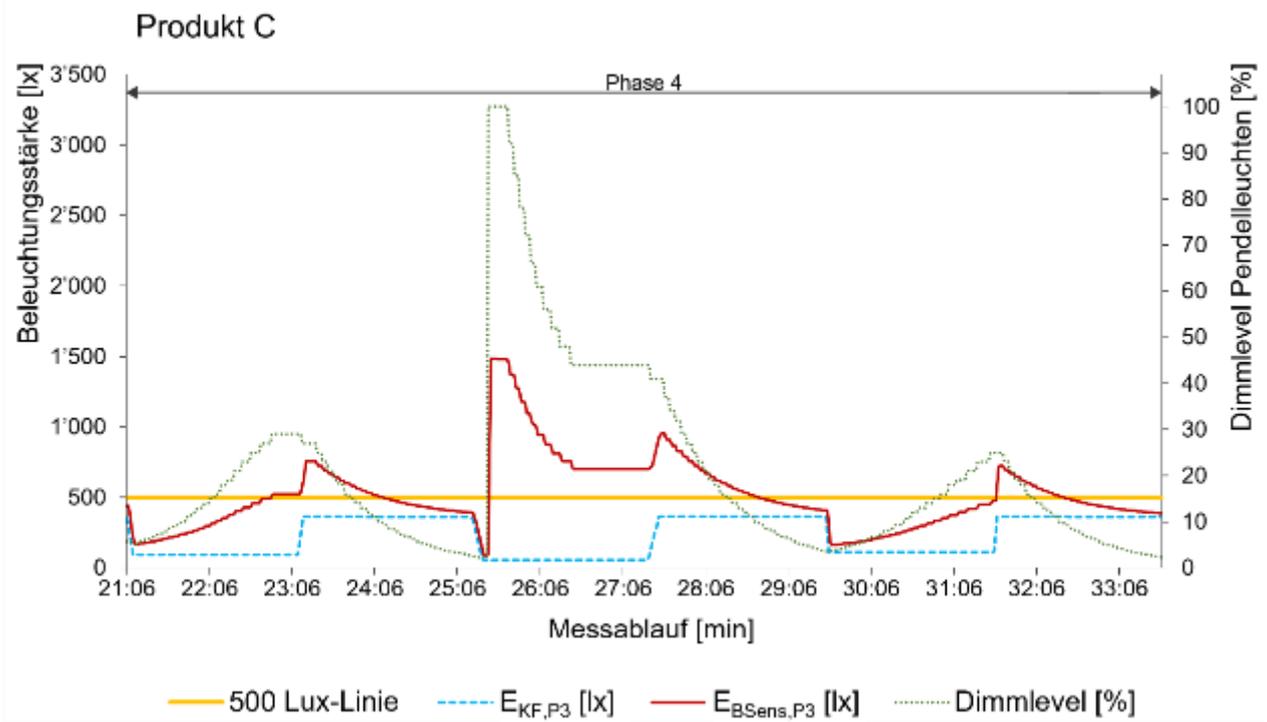




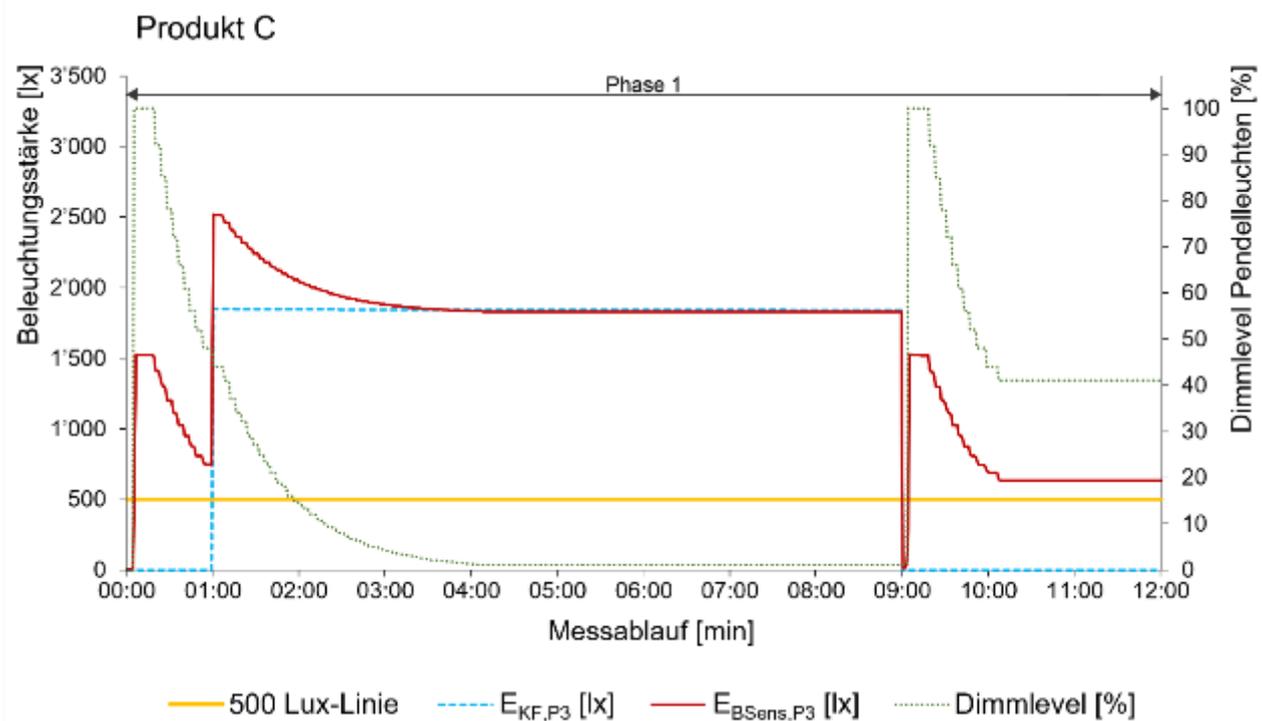
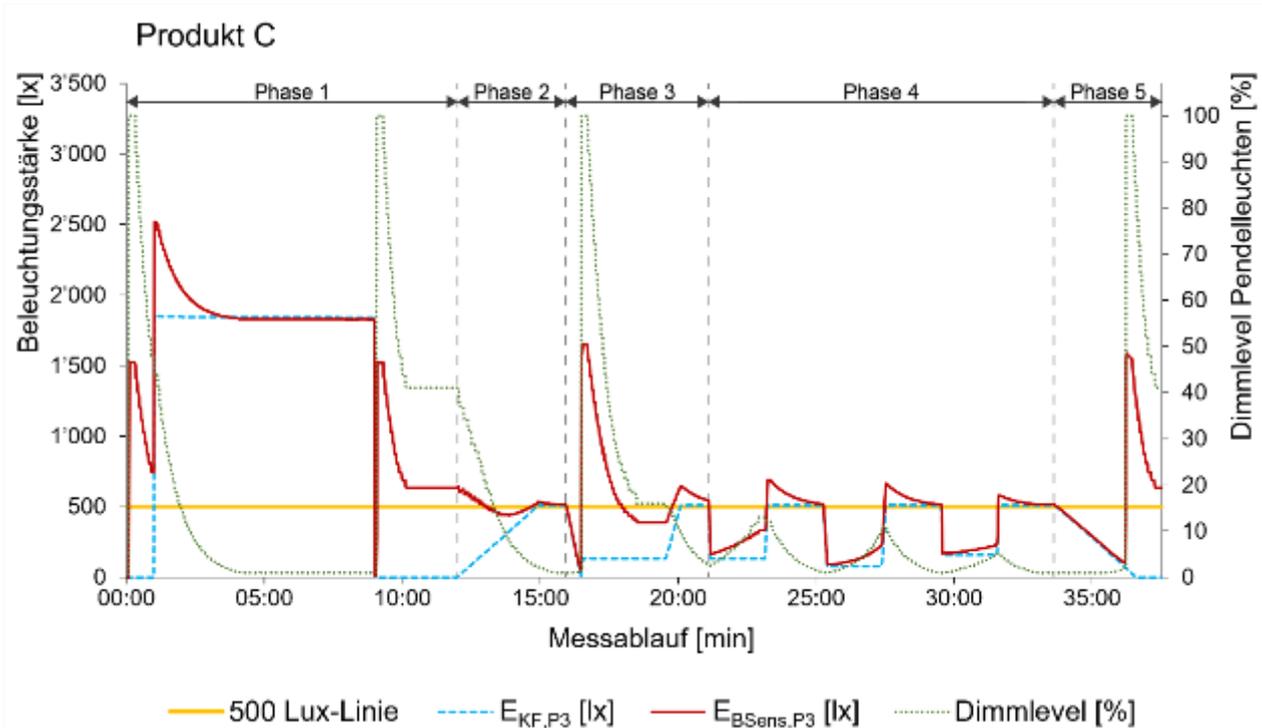
Testszenario 3

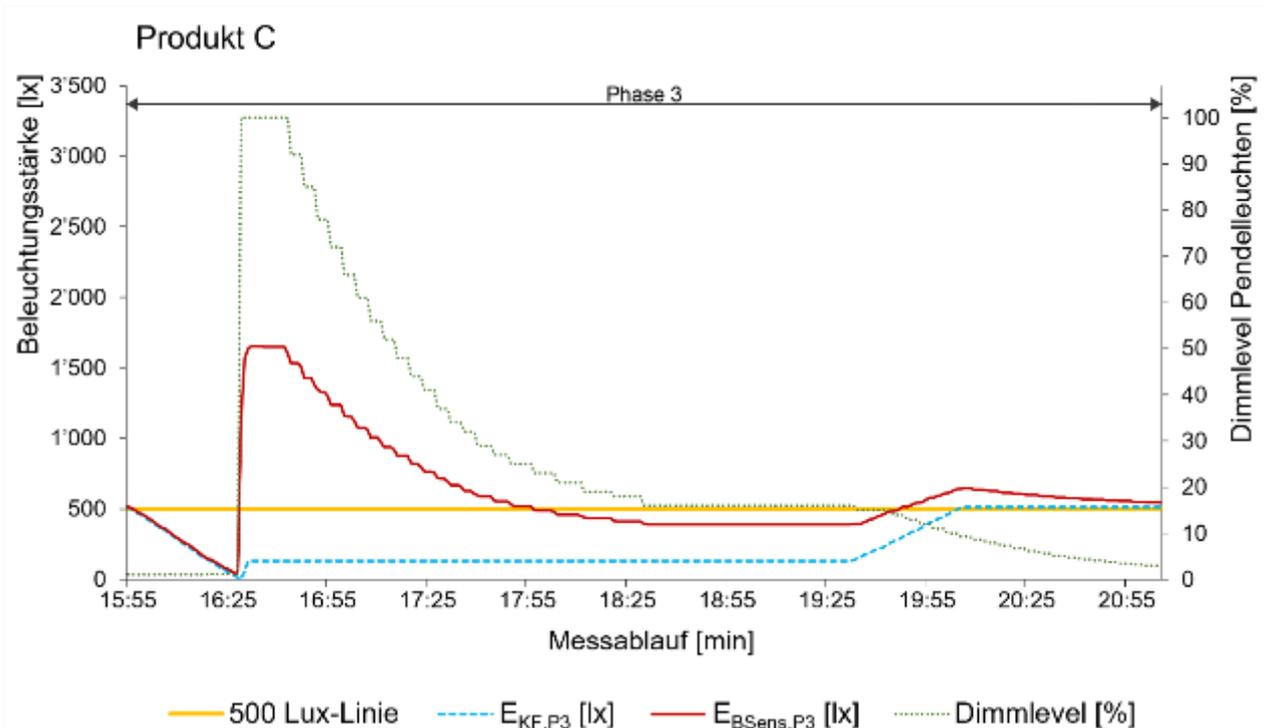
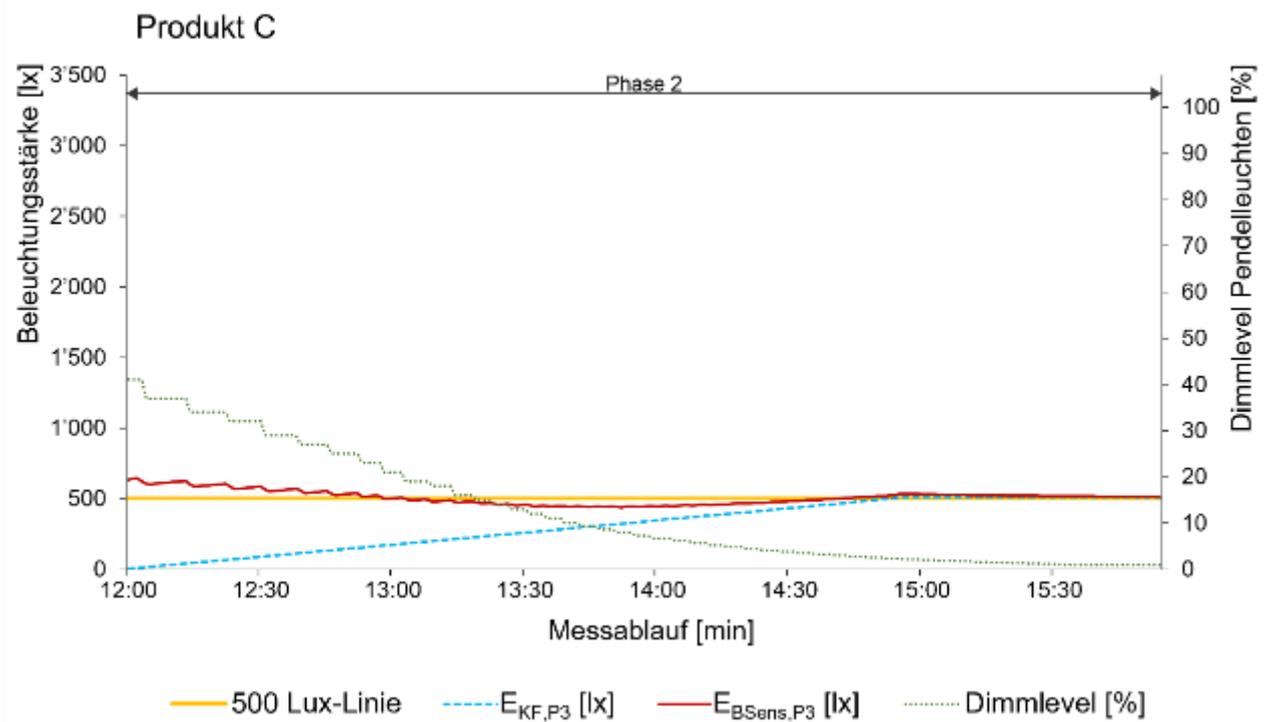


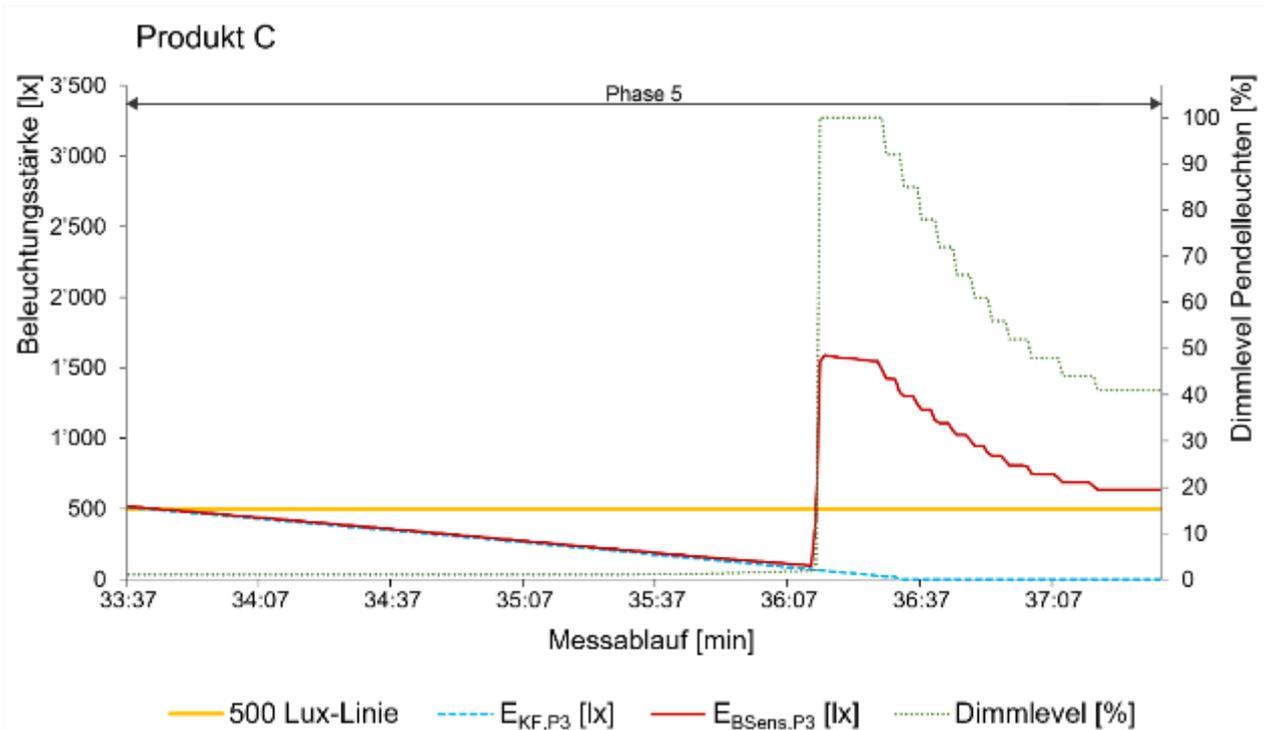
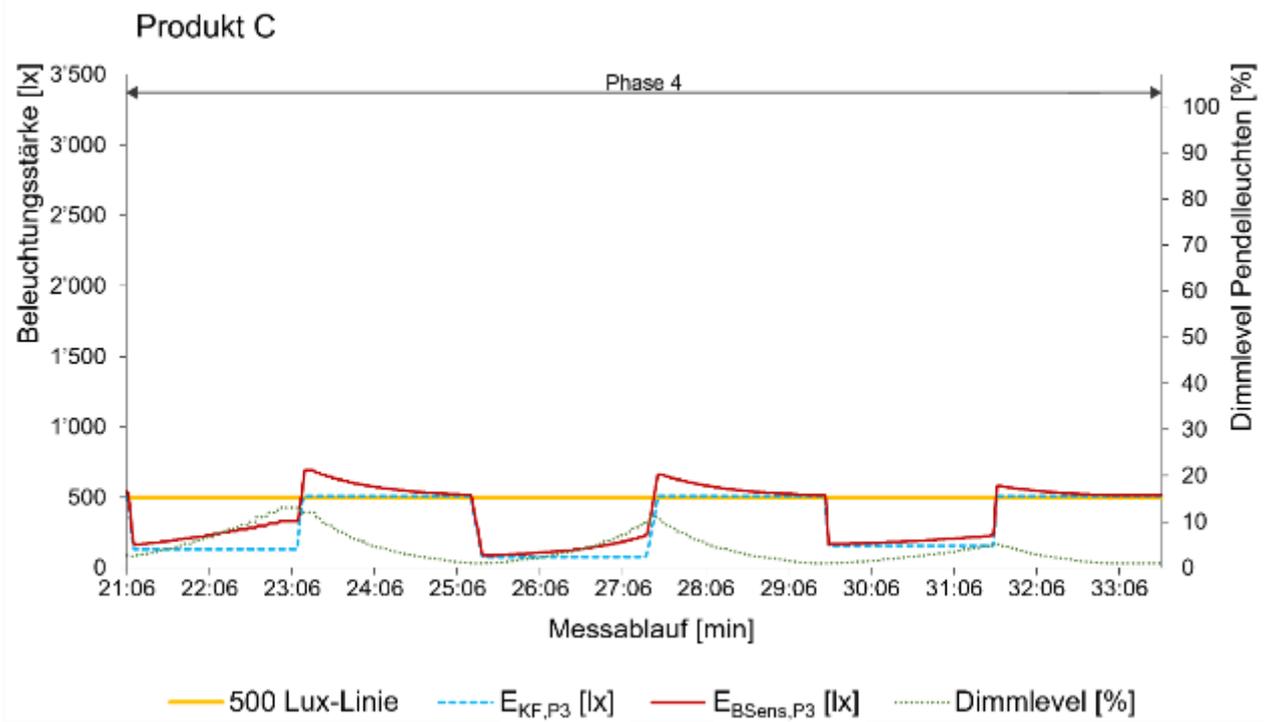




Testszenario 4

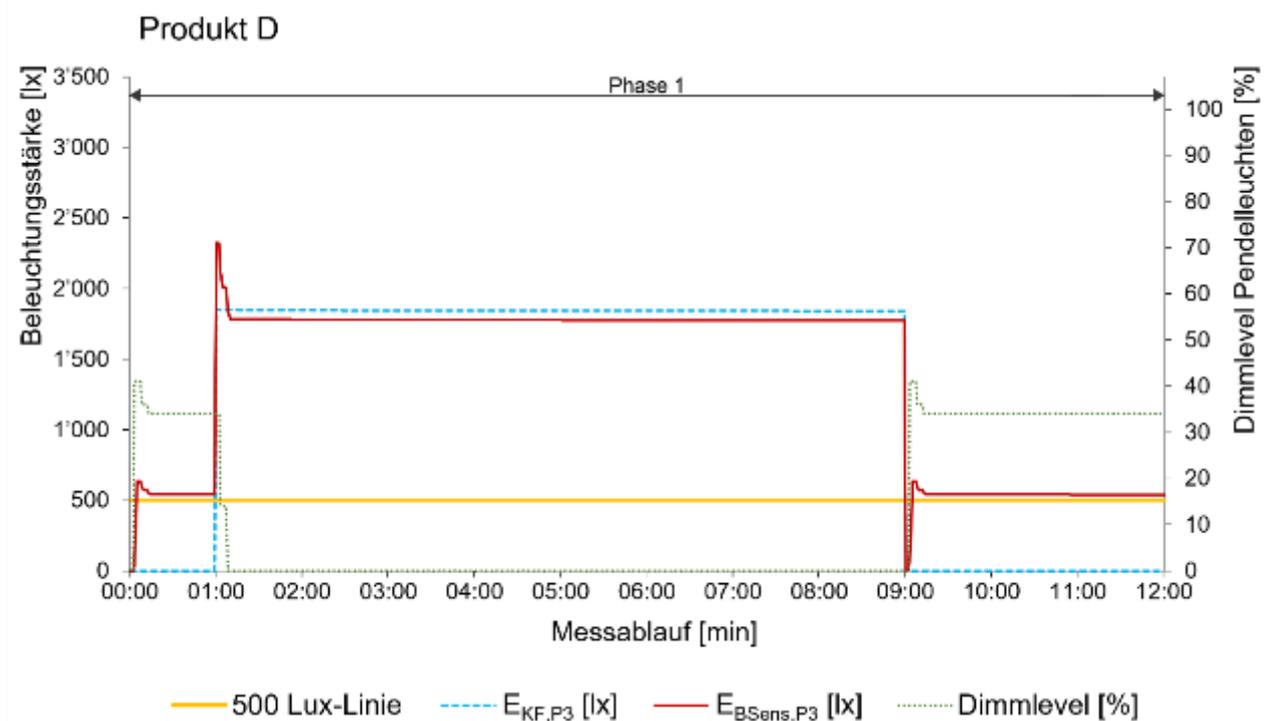
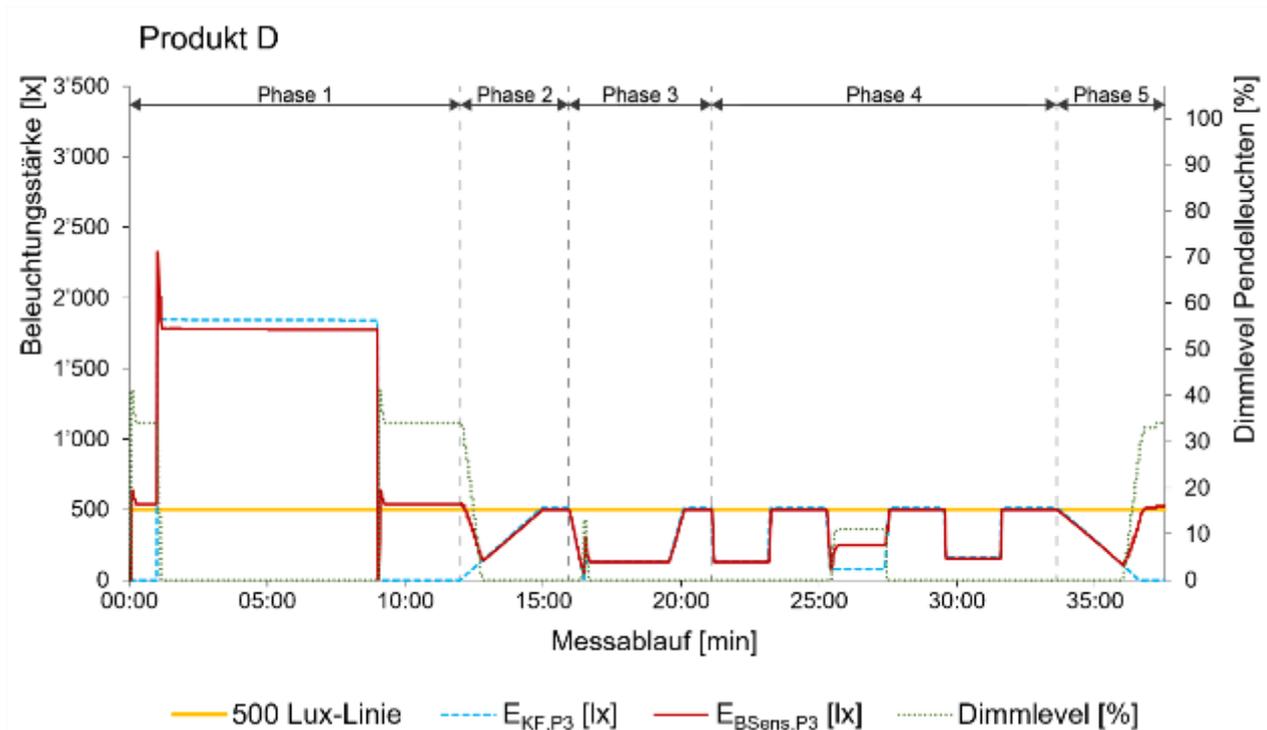


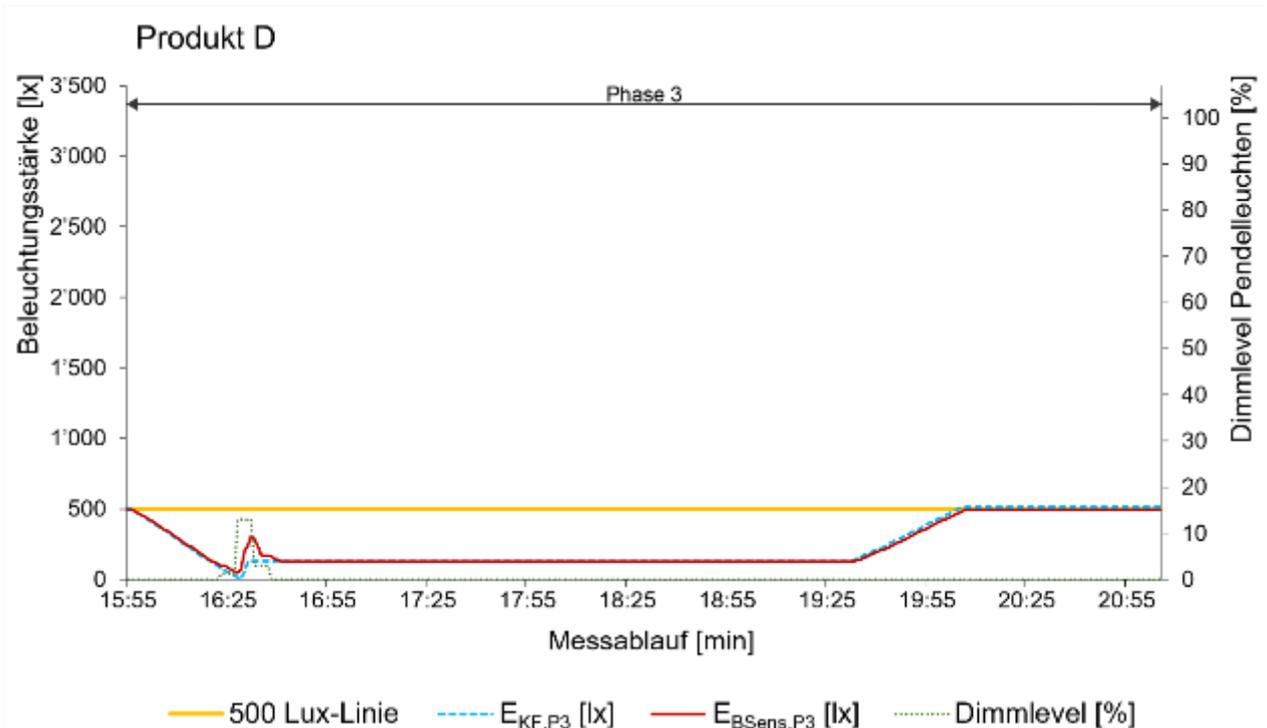
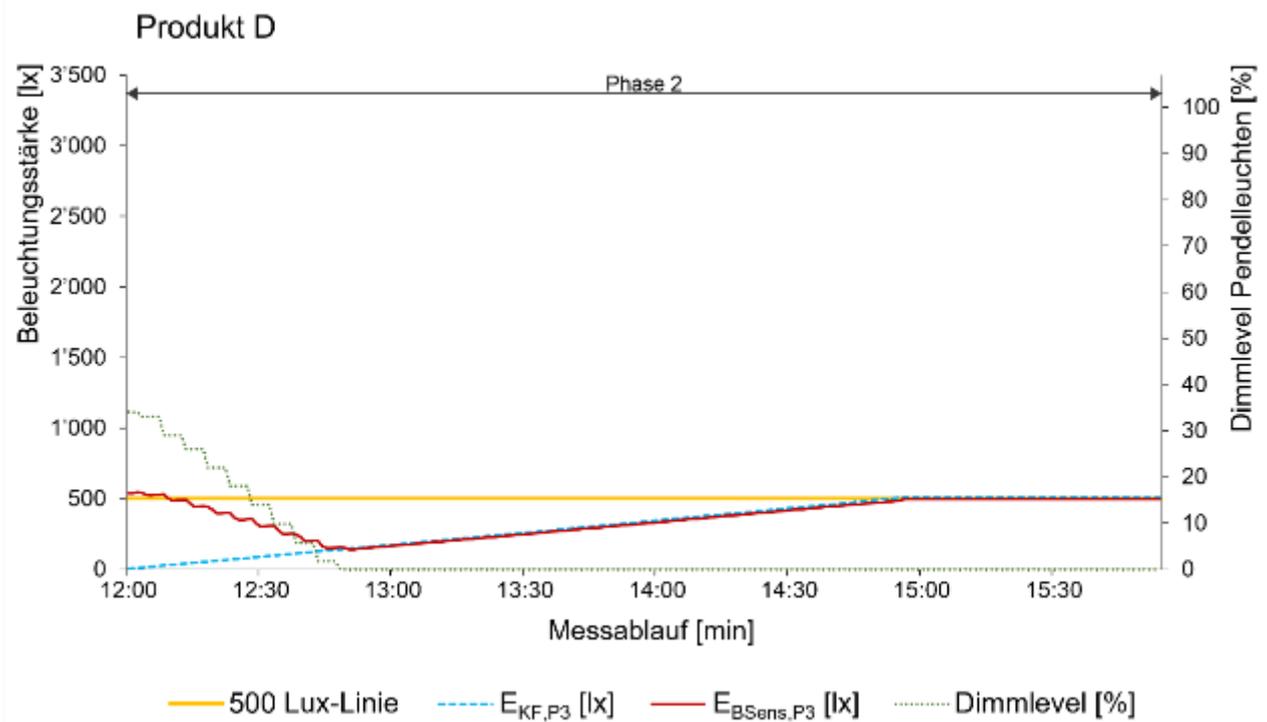


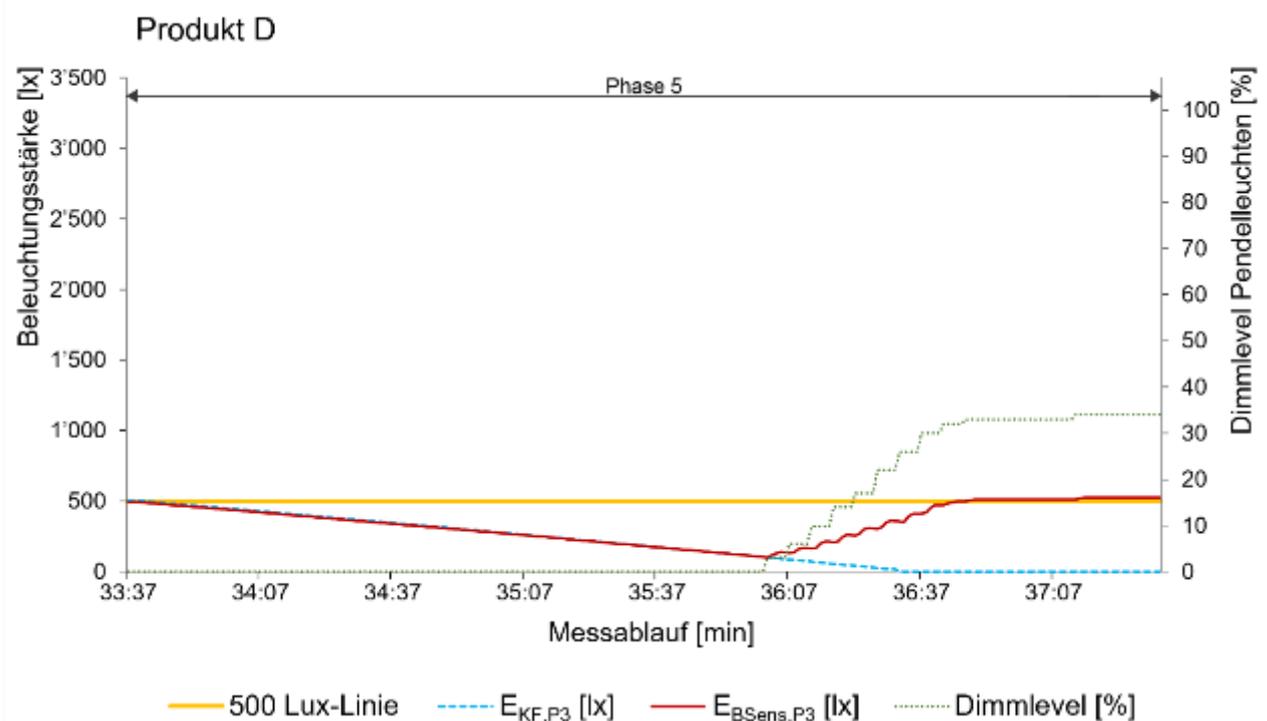
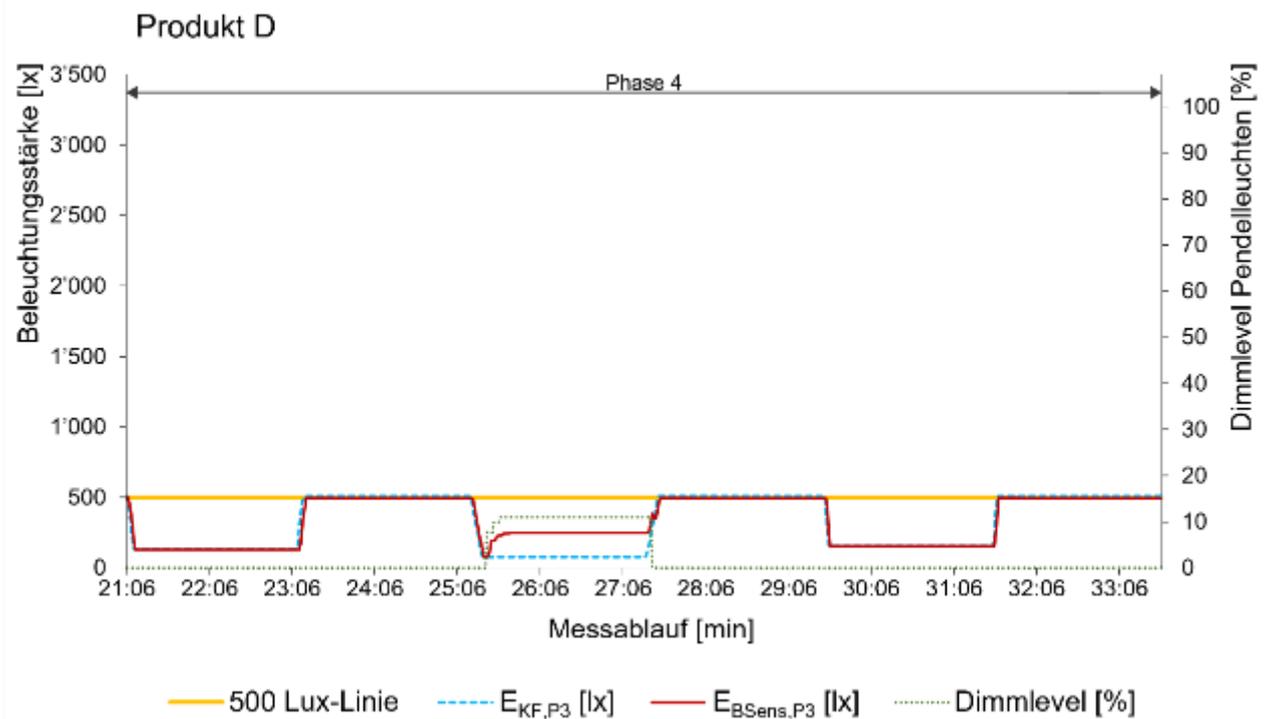


10.7 Diagramme Produkt D

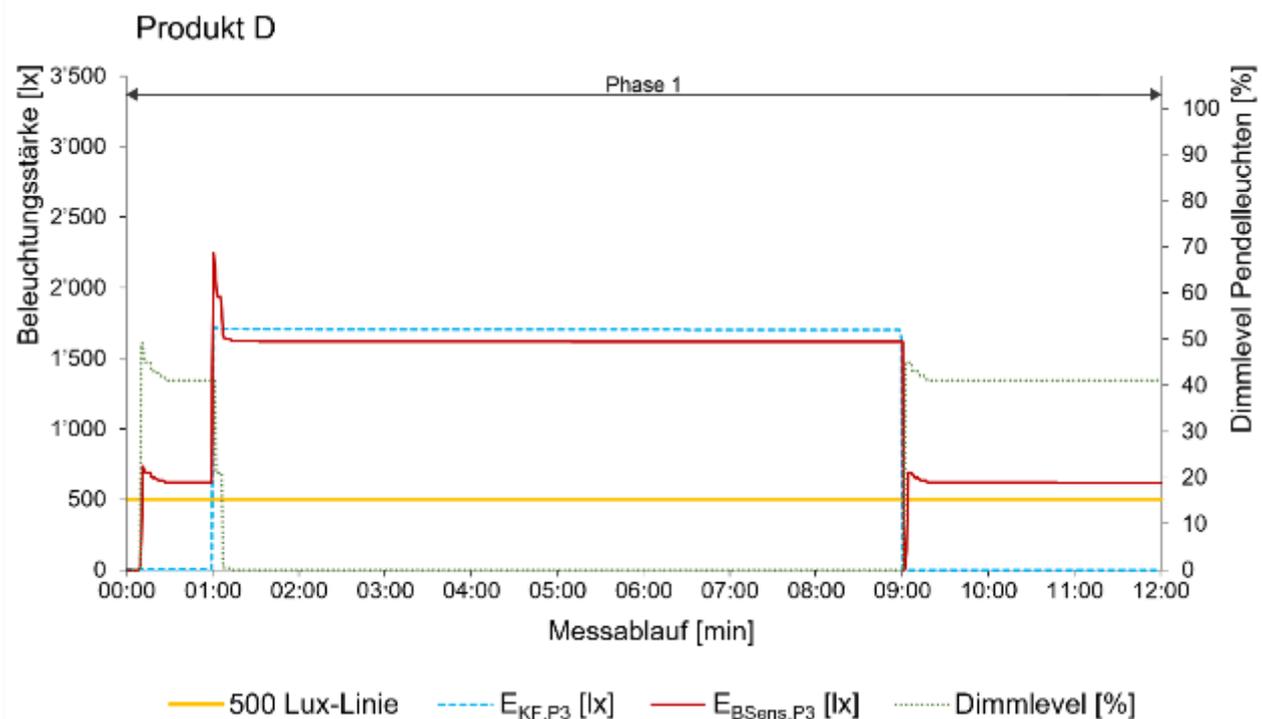
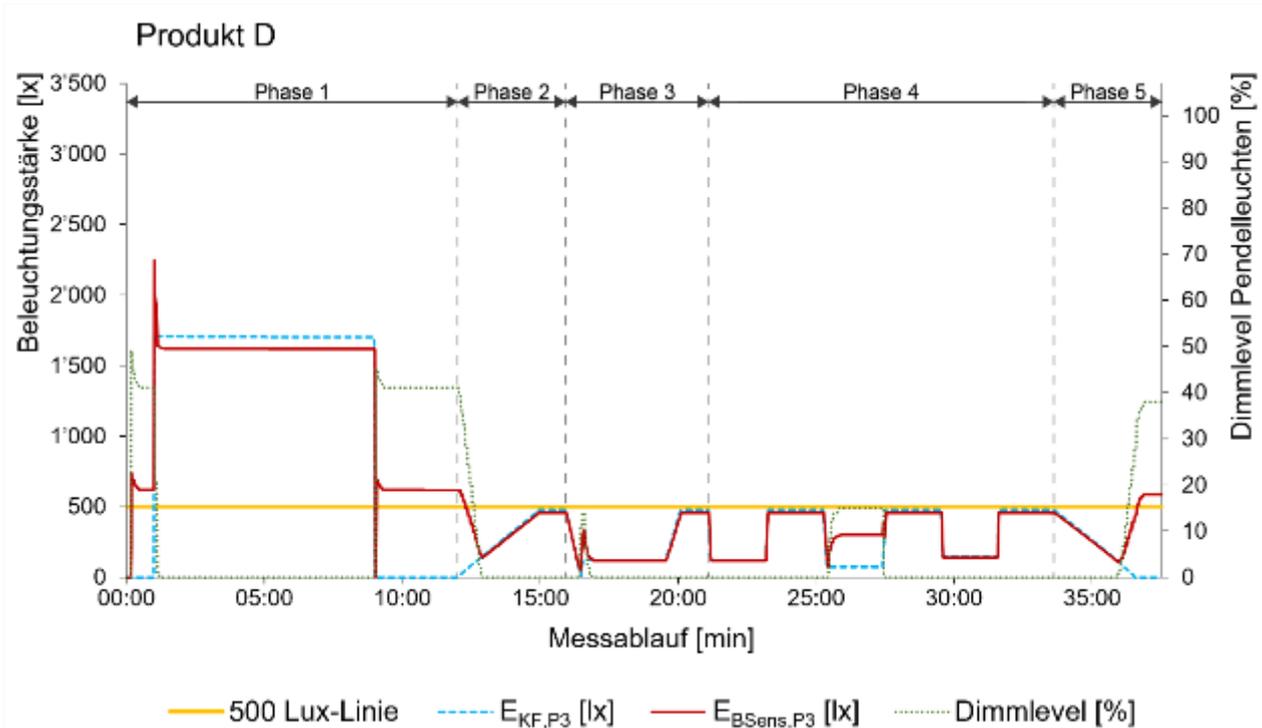
Testszenario 1

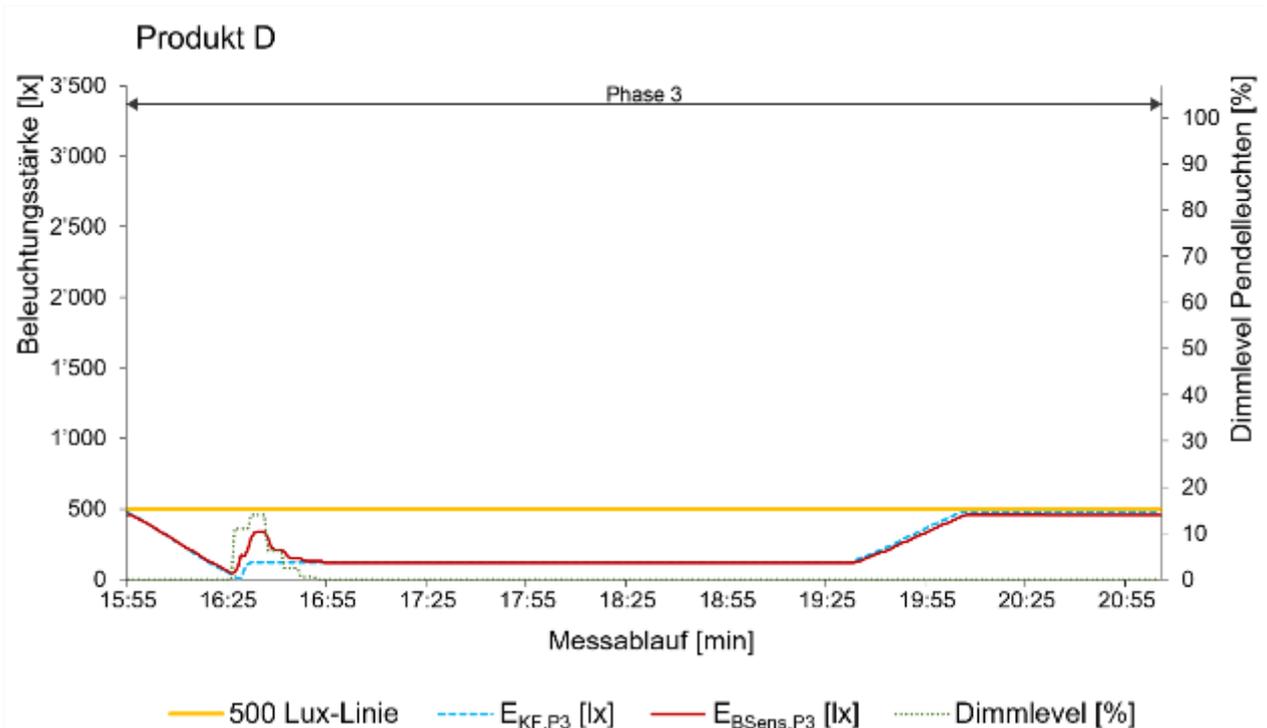
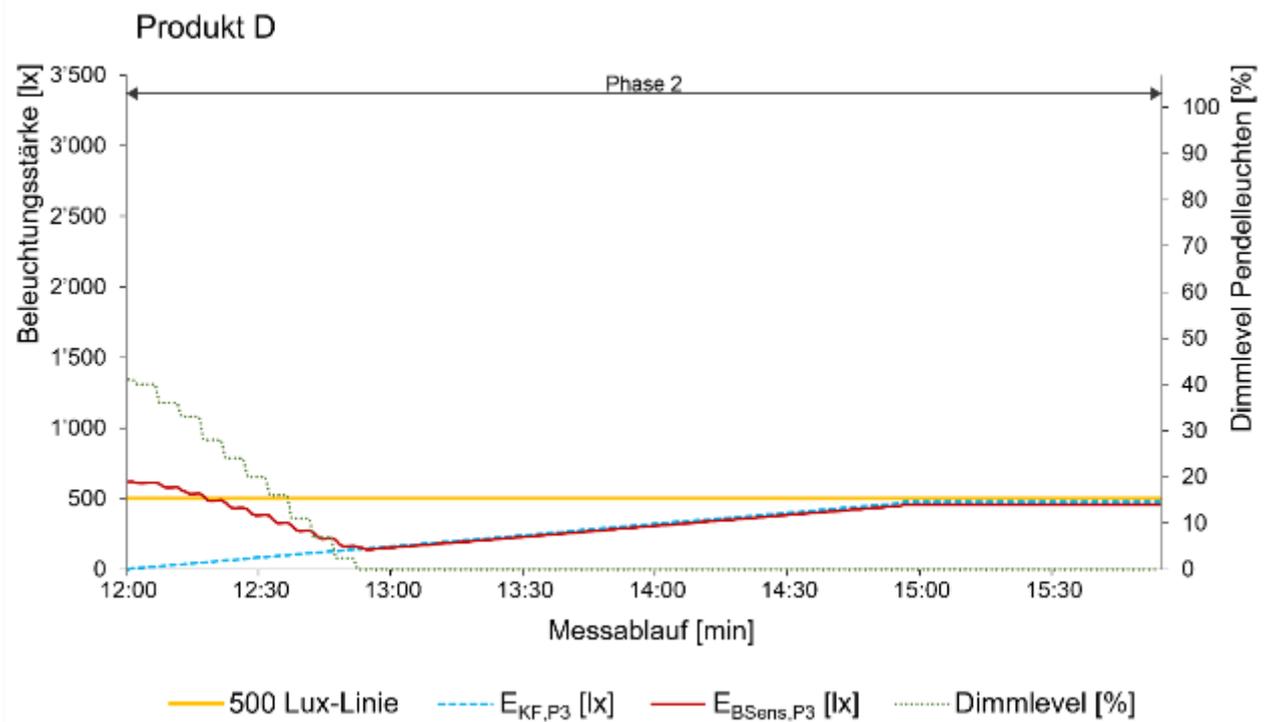


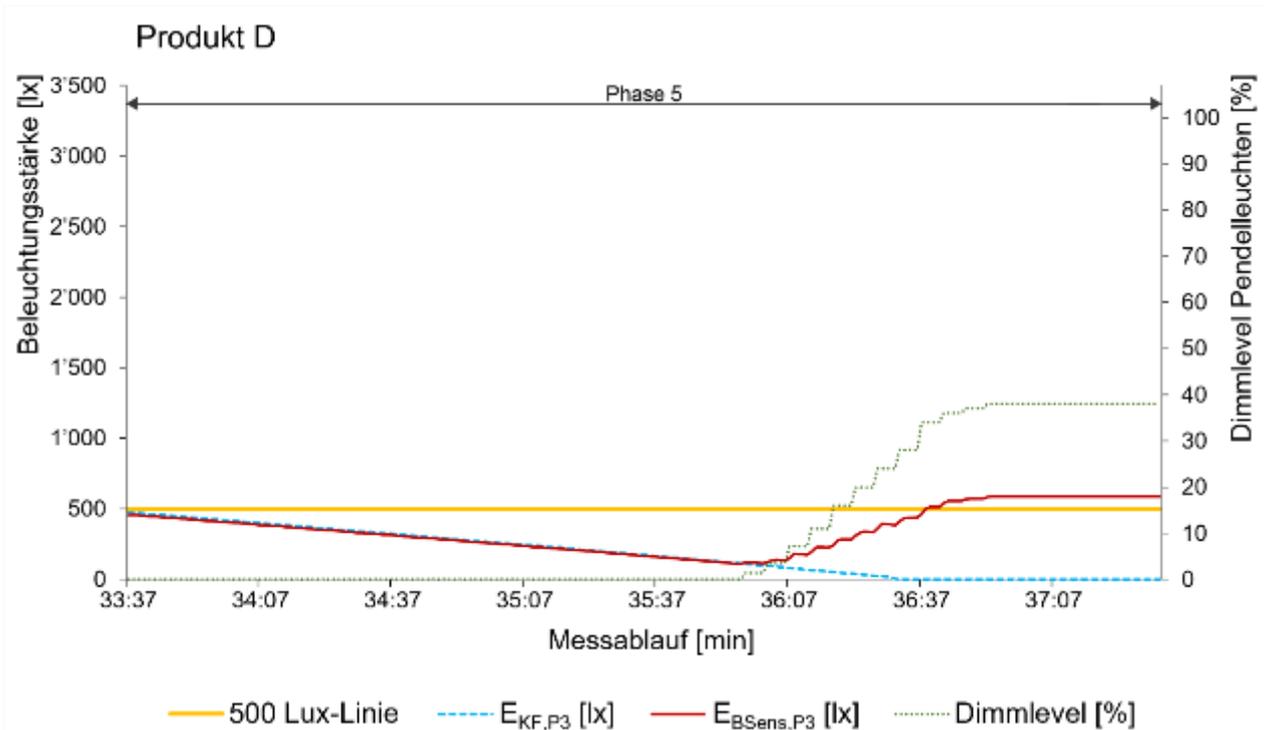
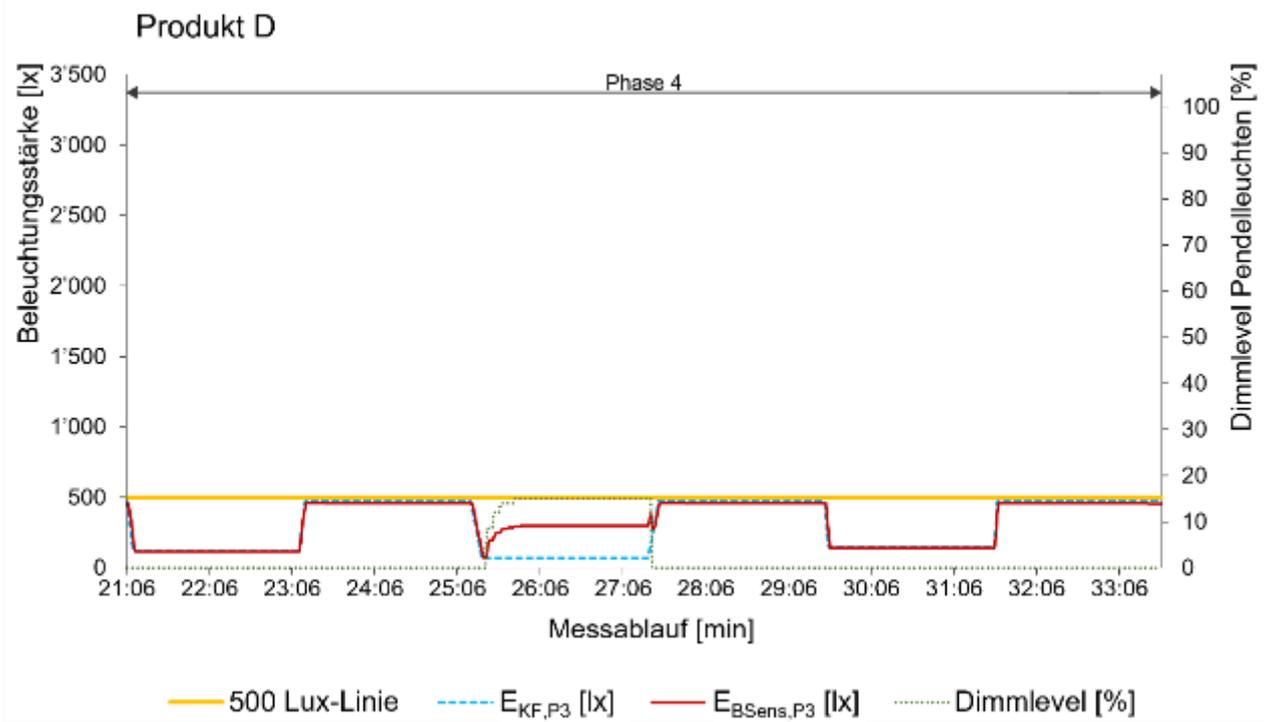




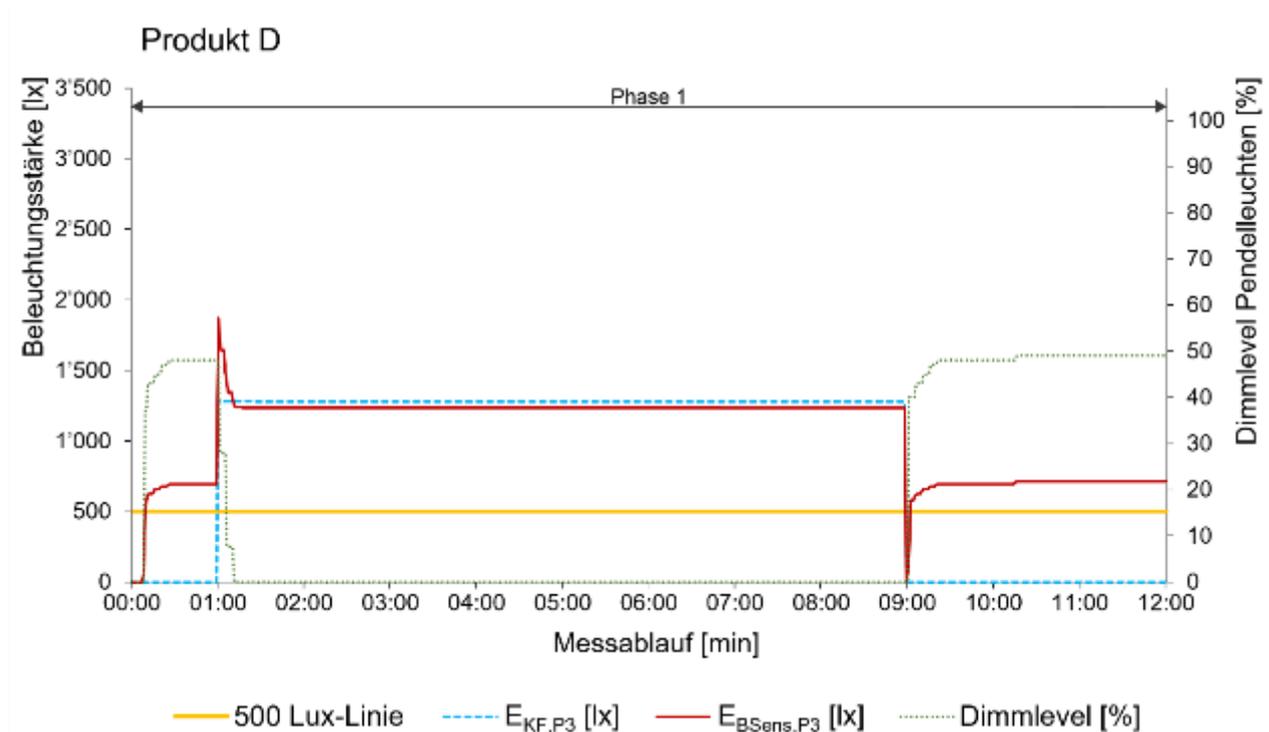
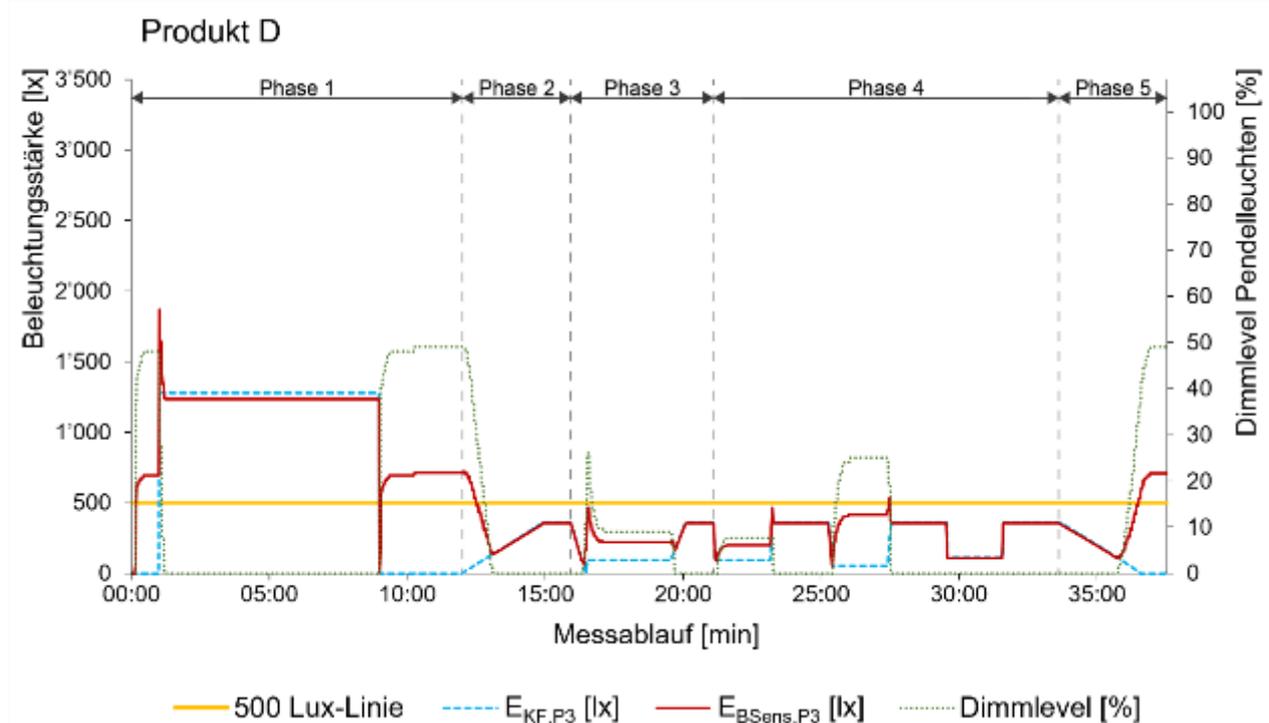
Testszenario 2

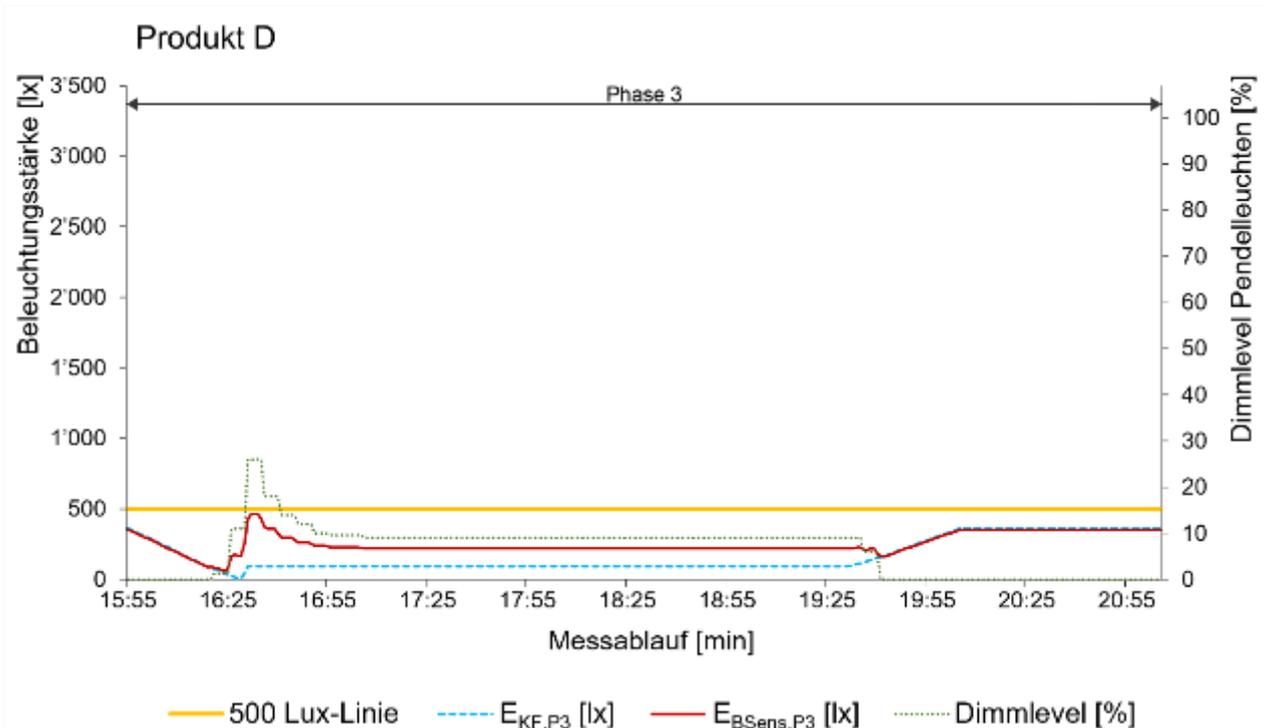
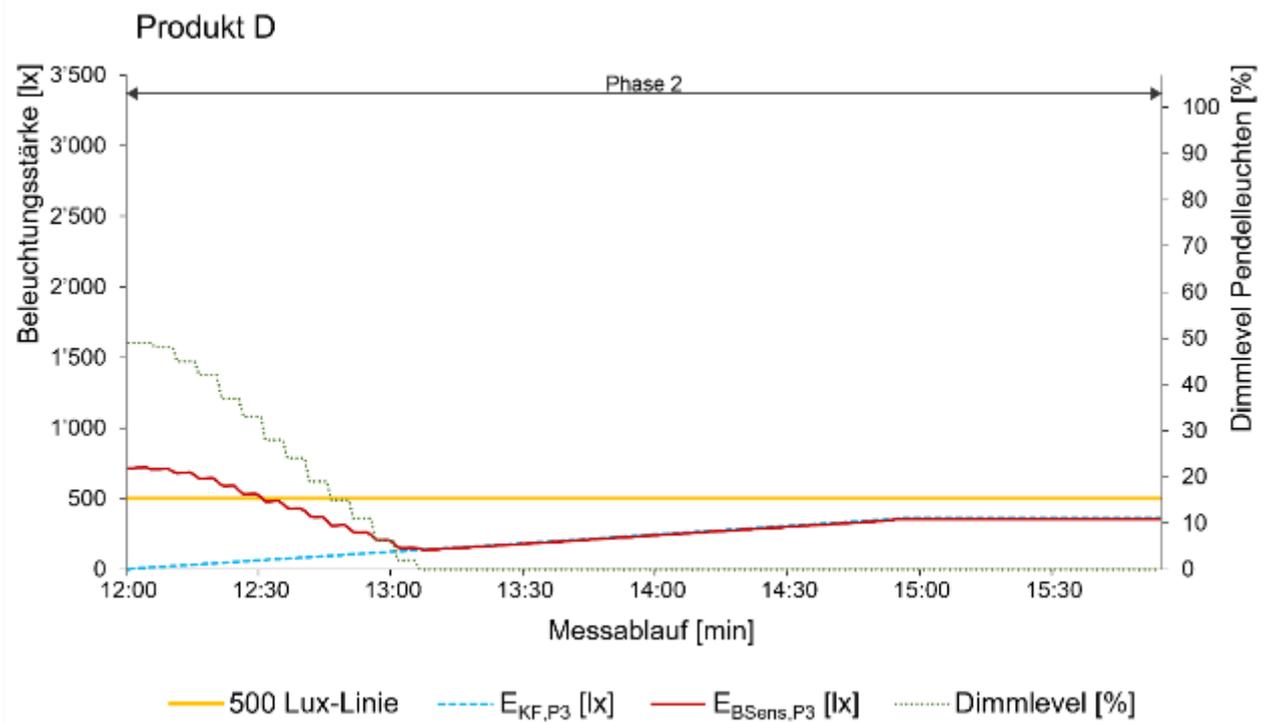


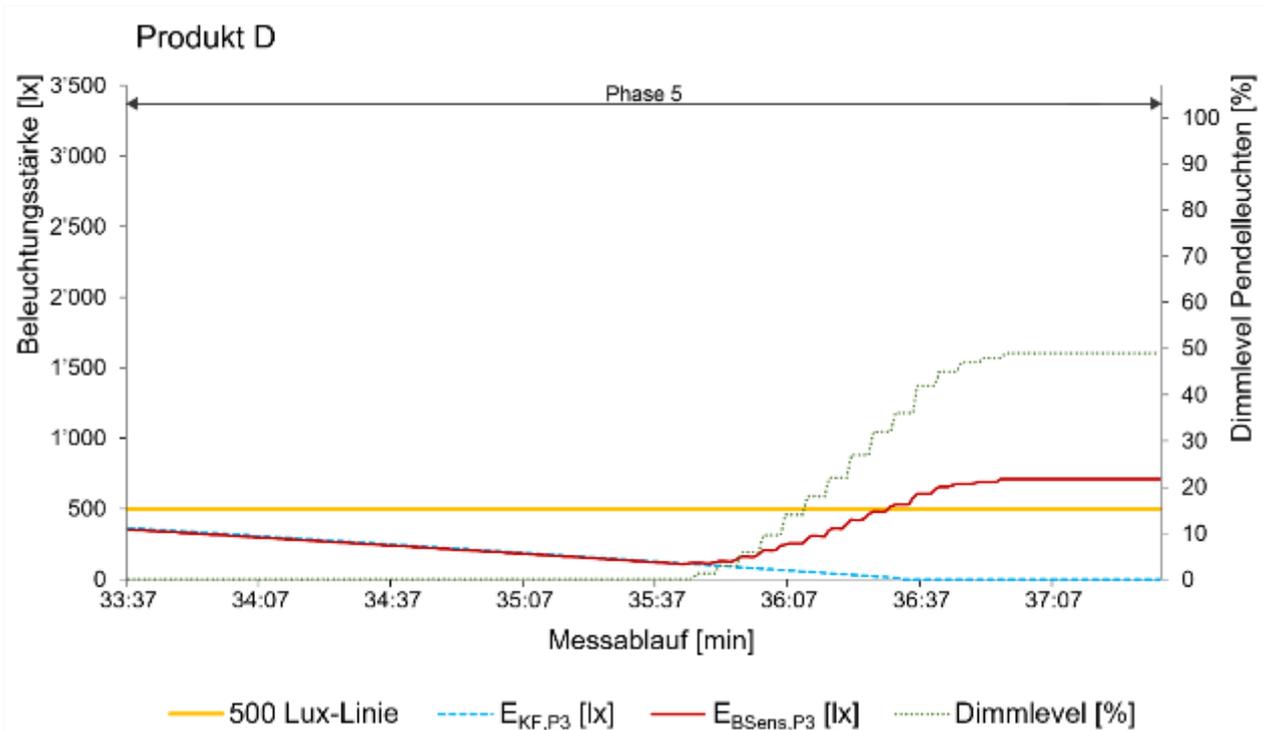
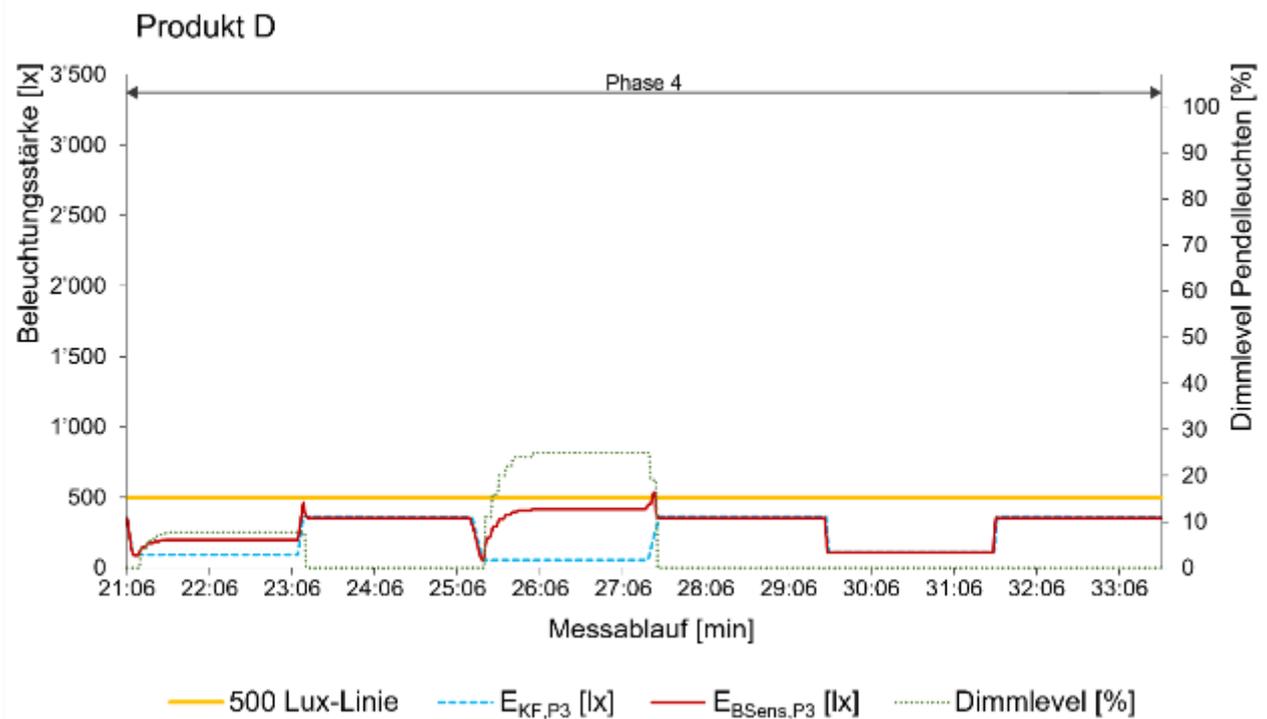




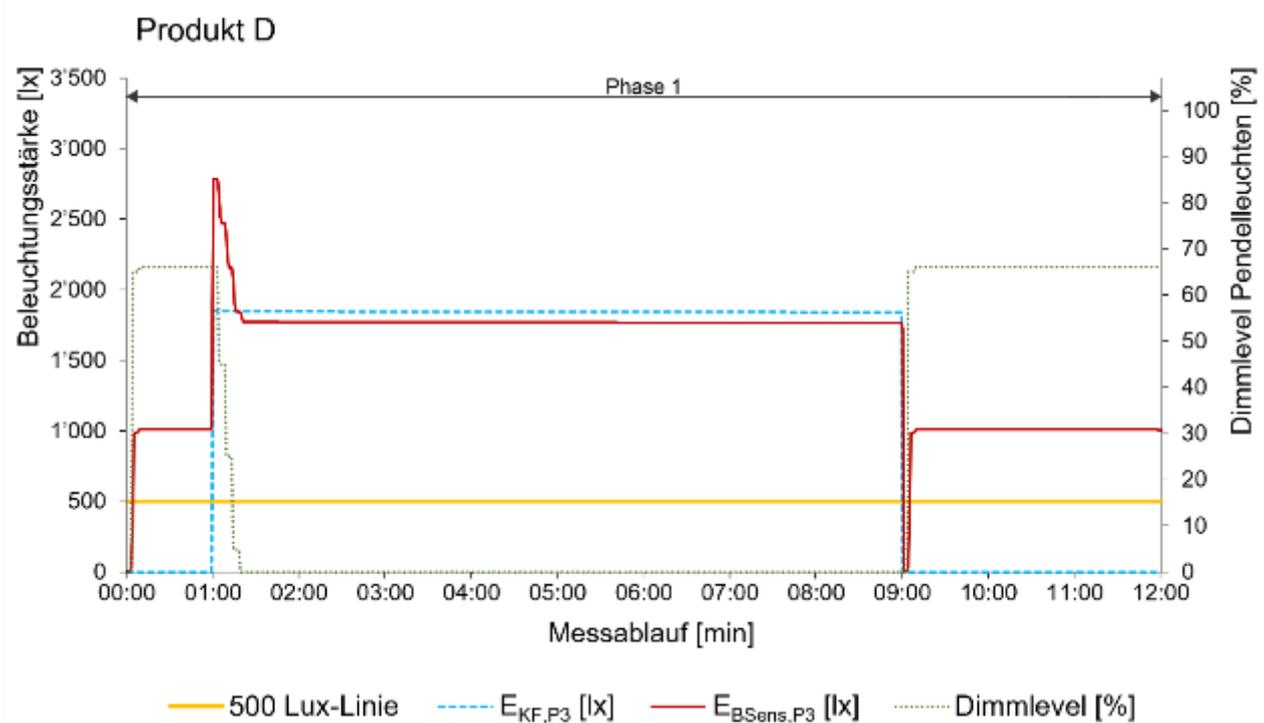
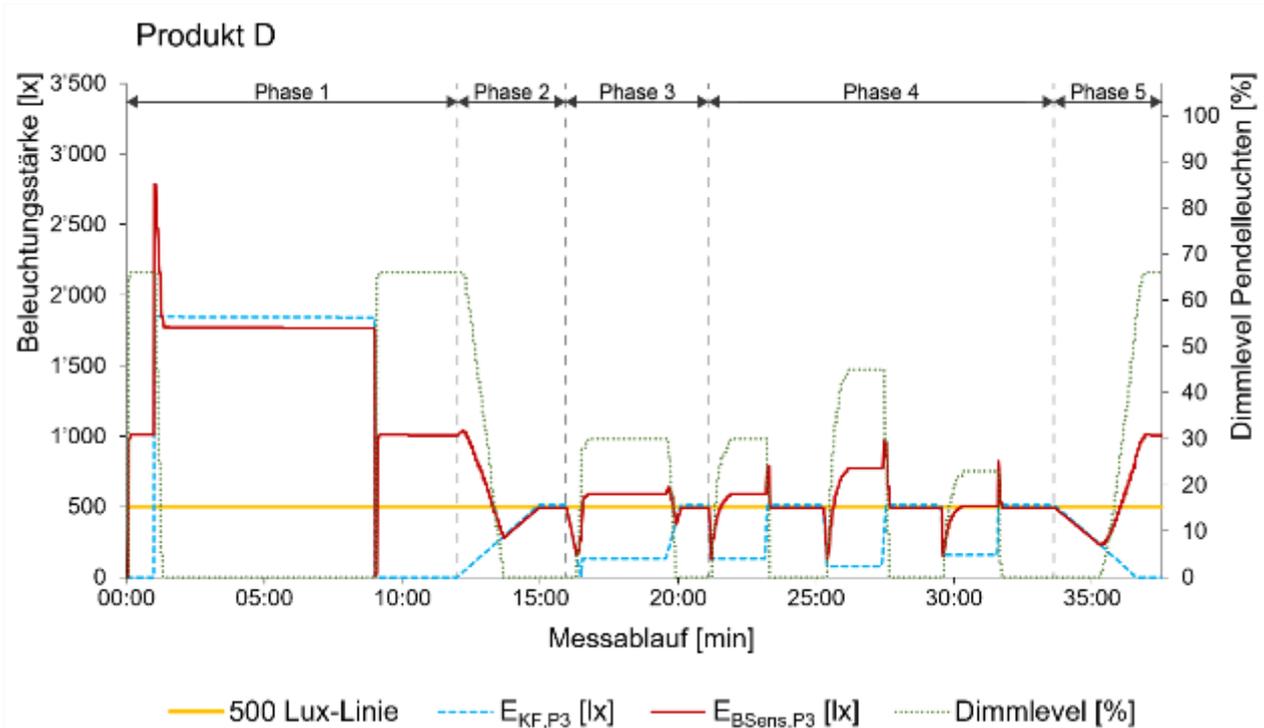
Testszenario 3

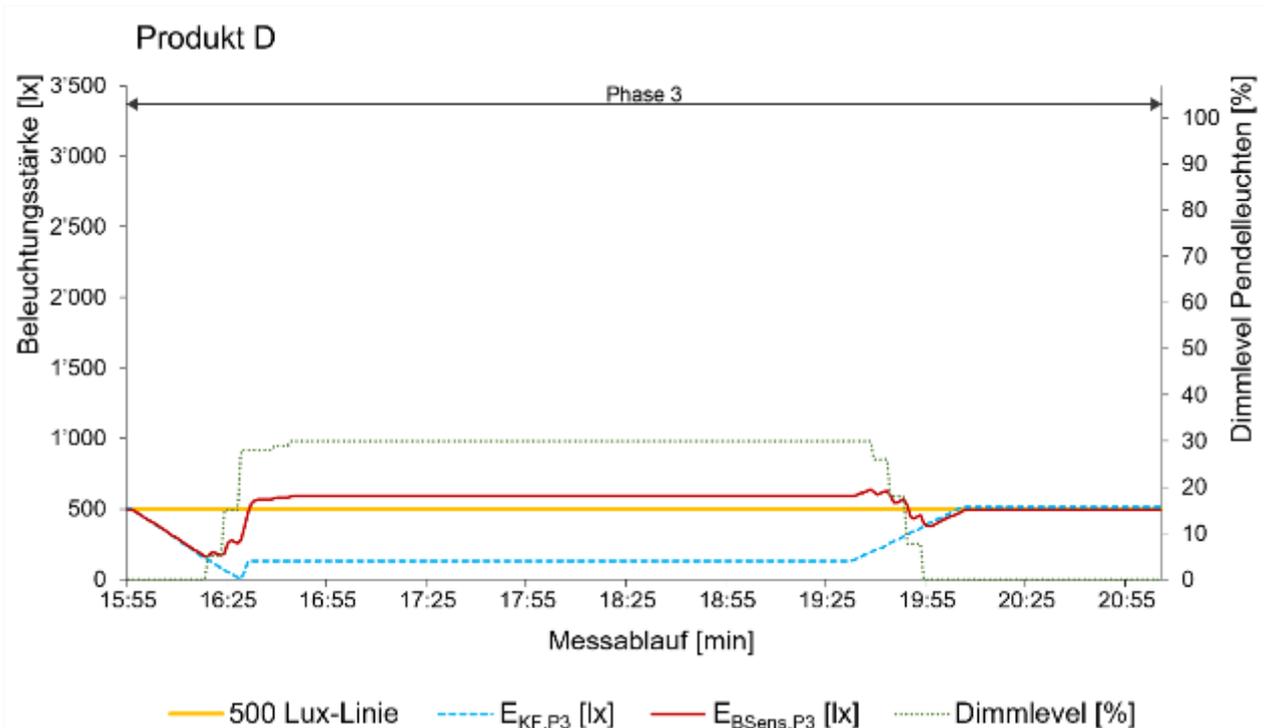
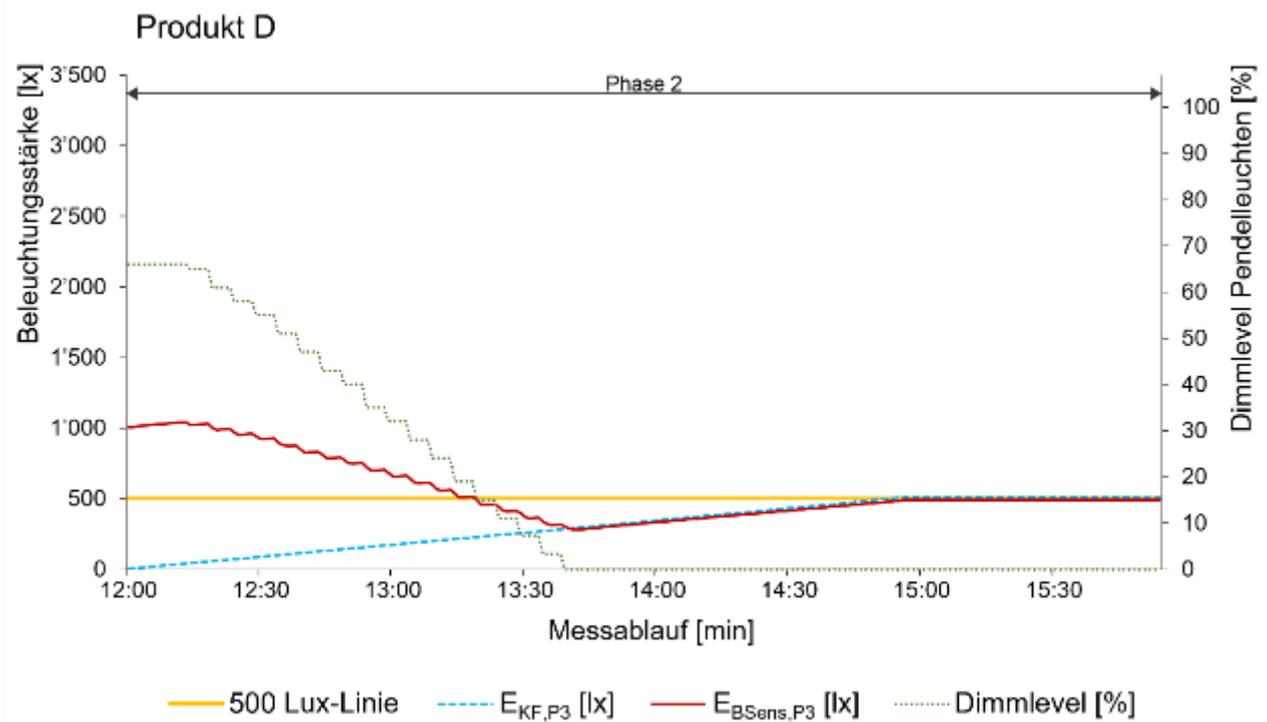


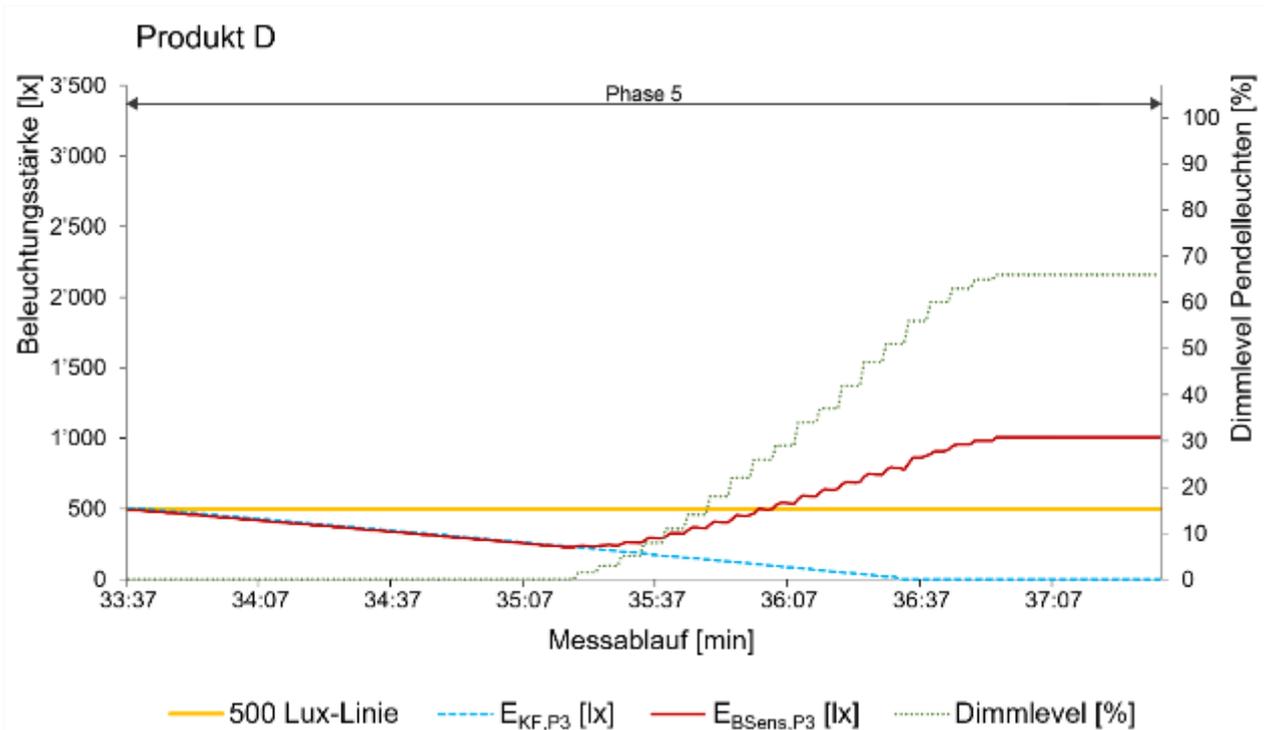
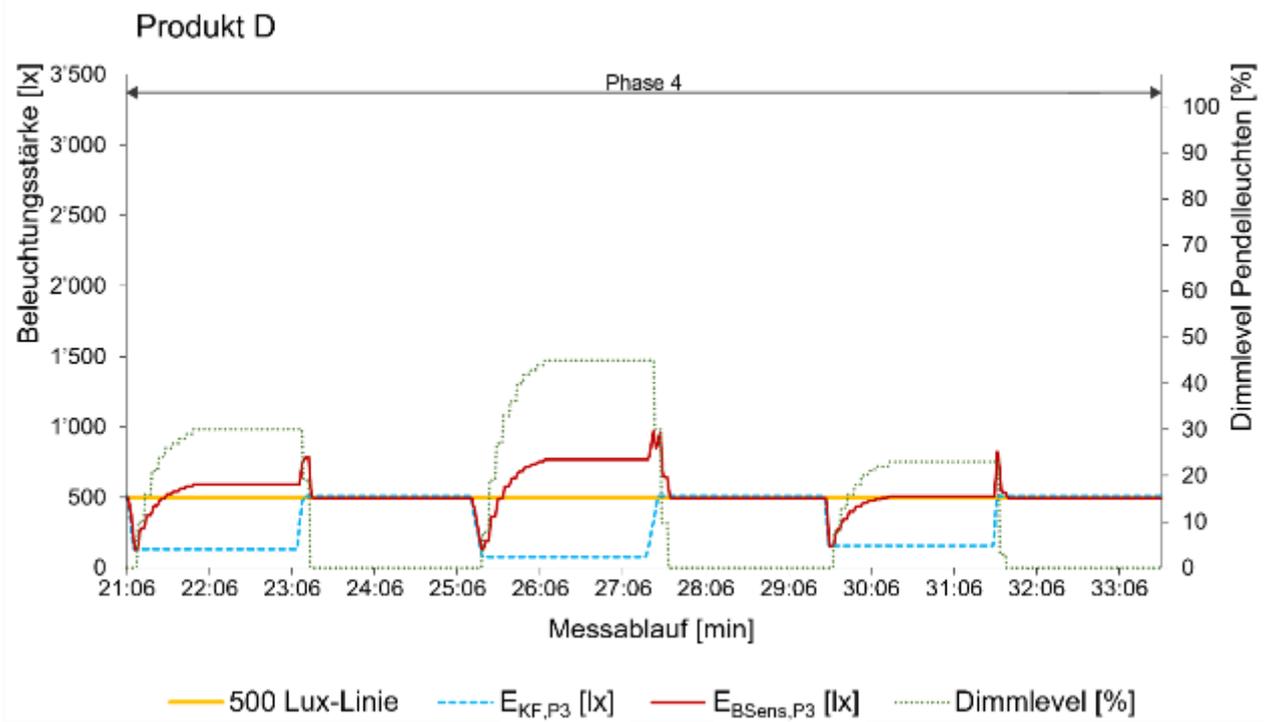




Testszenario 4

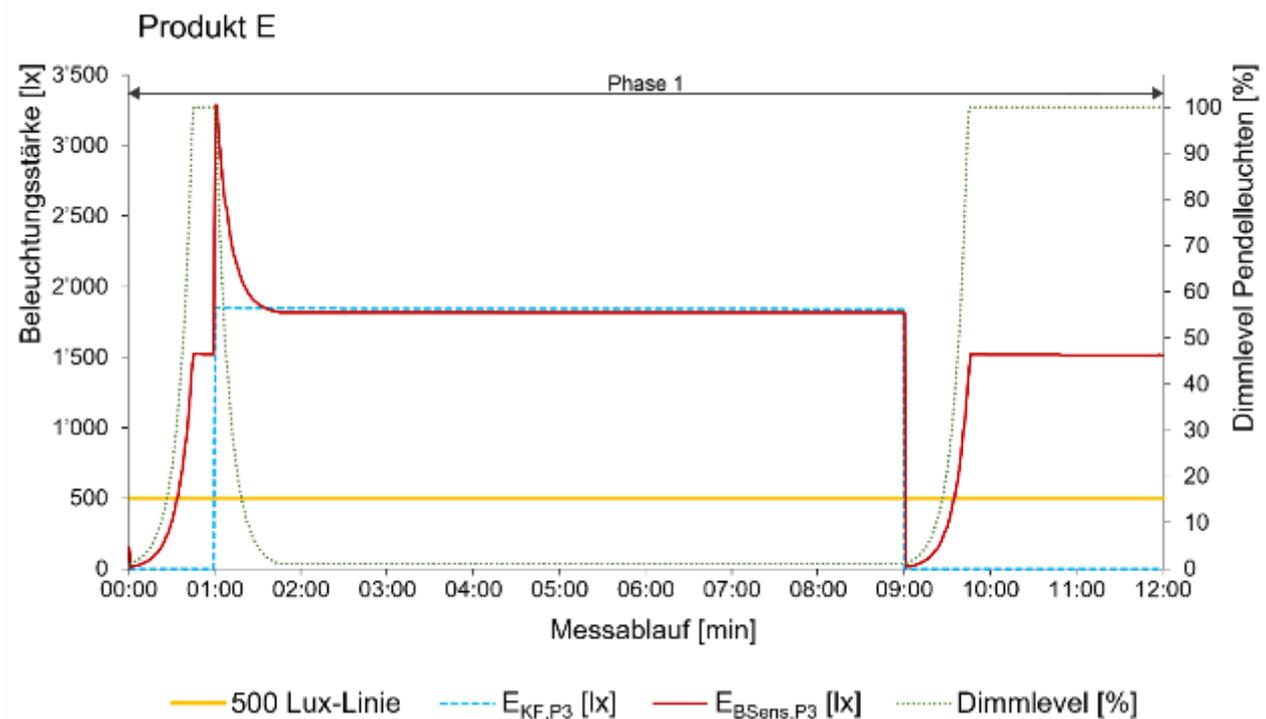
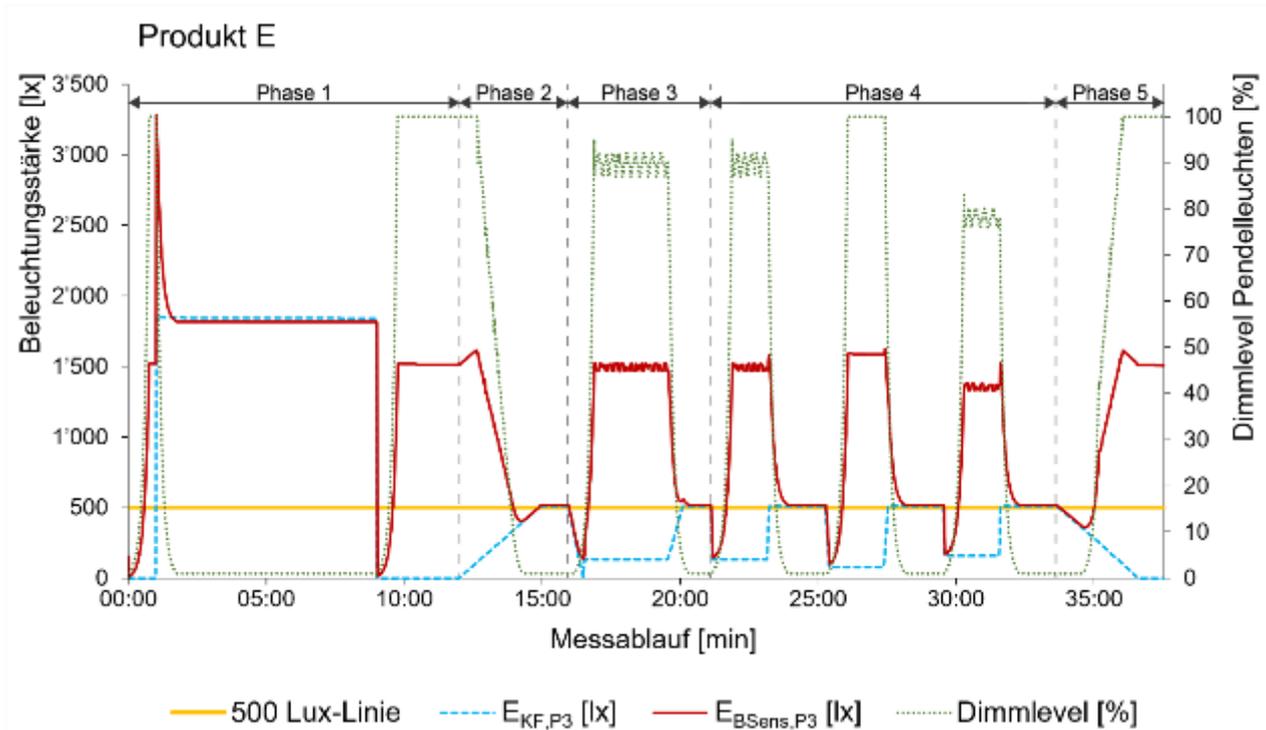


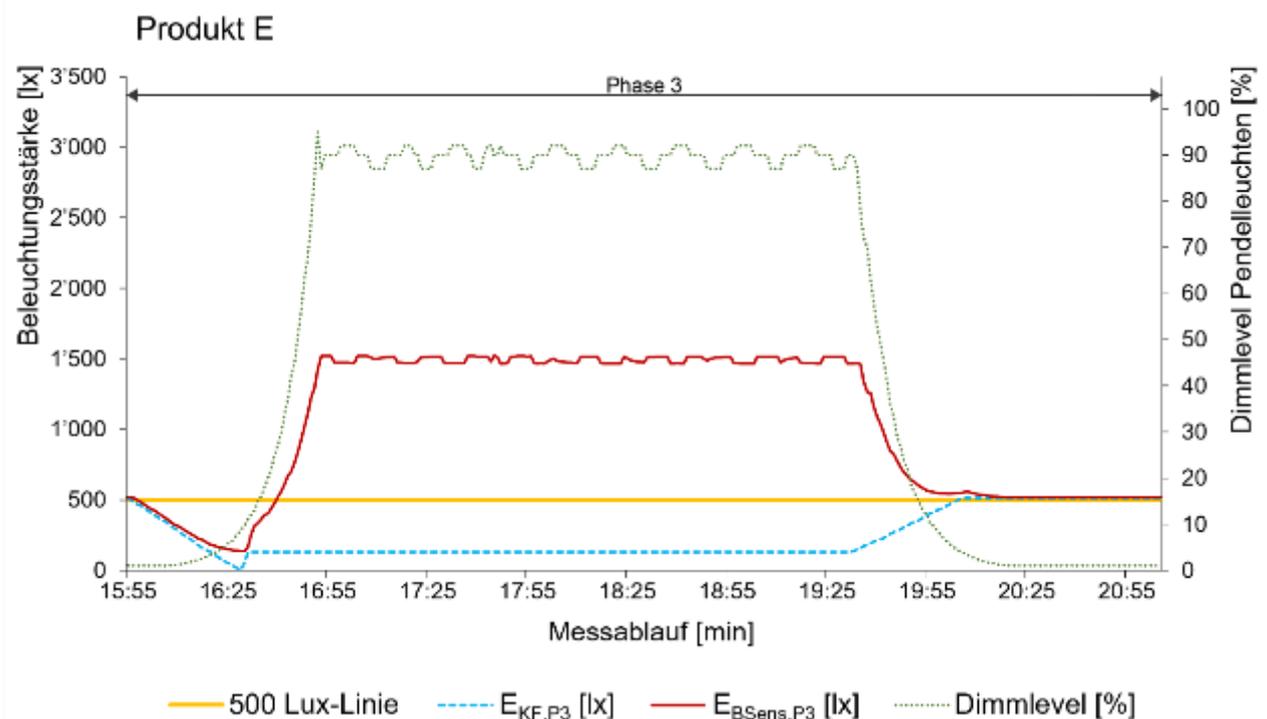
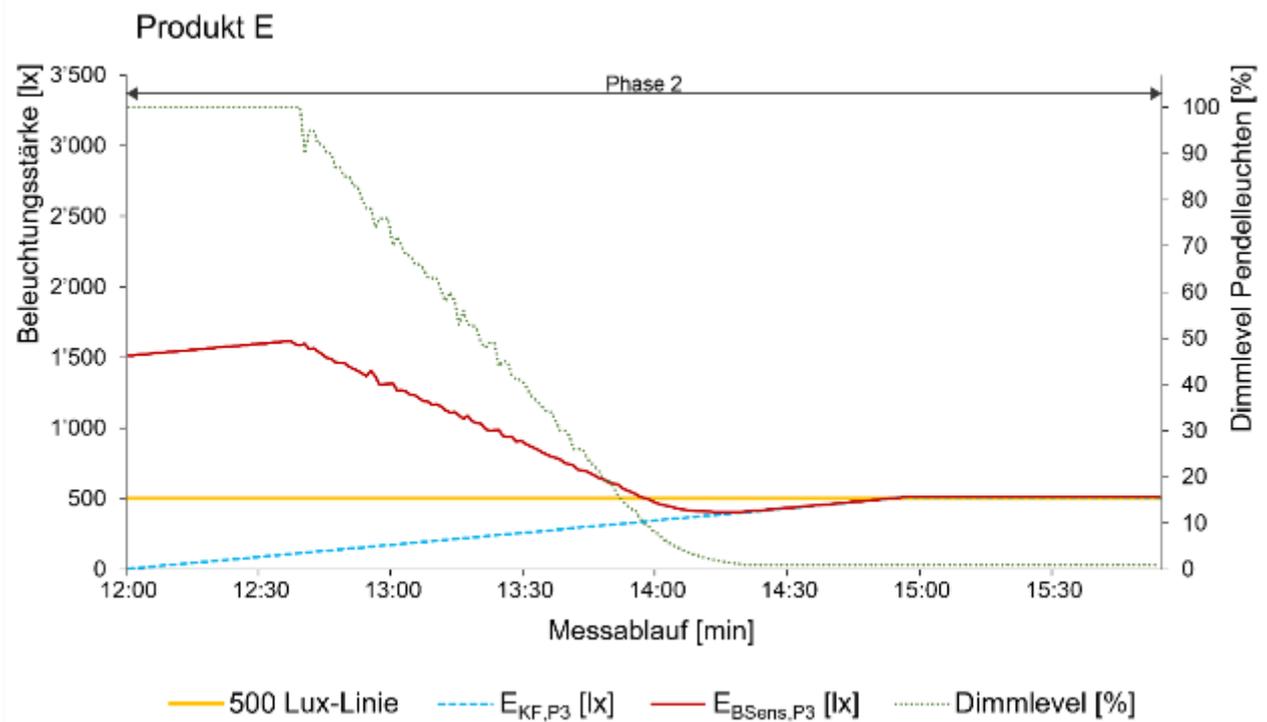


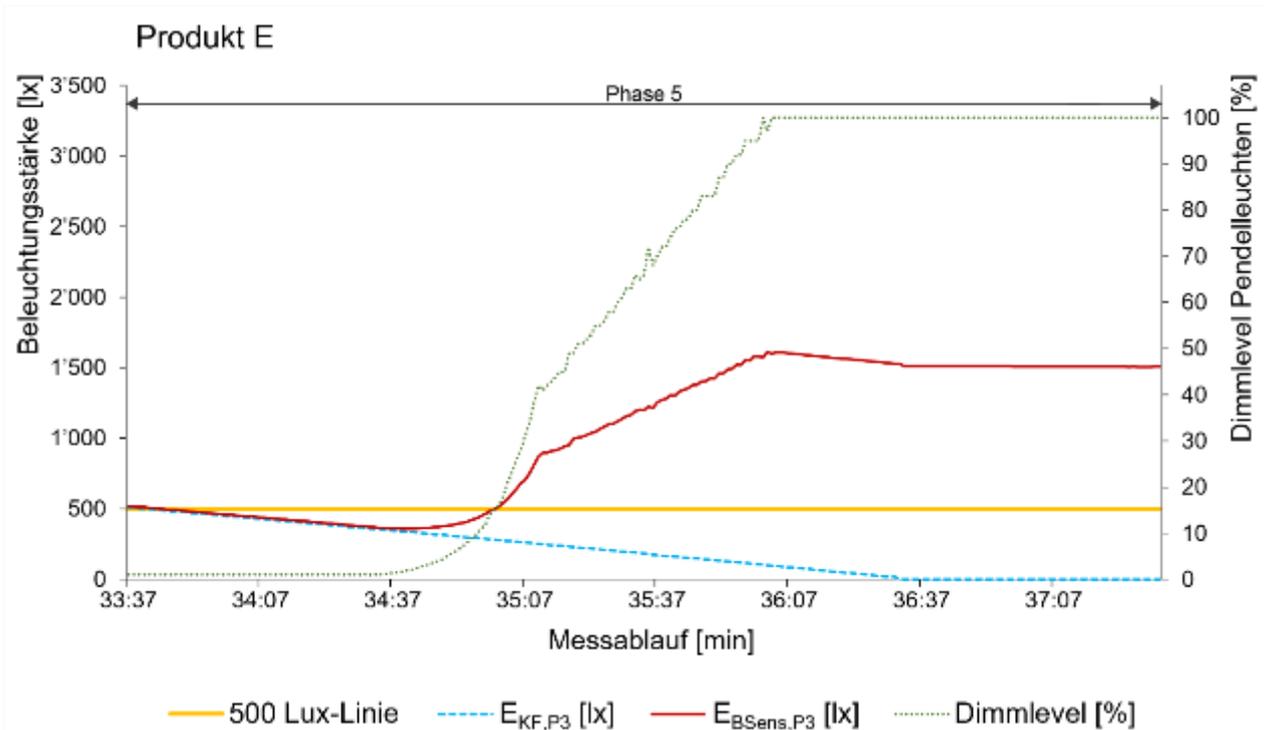
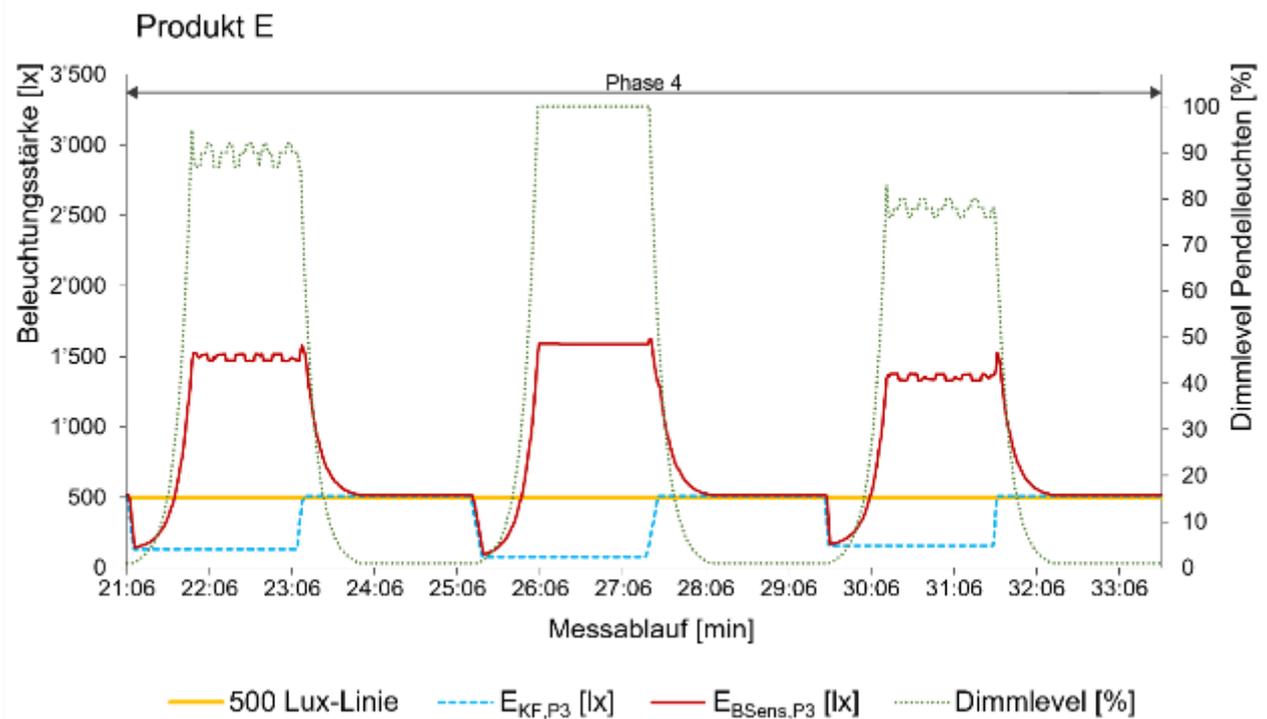


10.8 Diagramme Produkt E

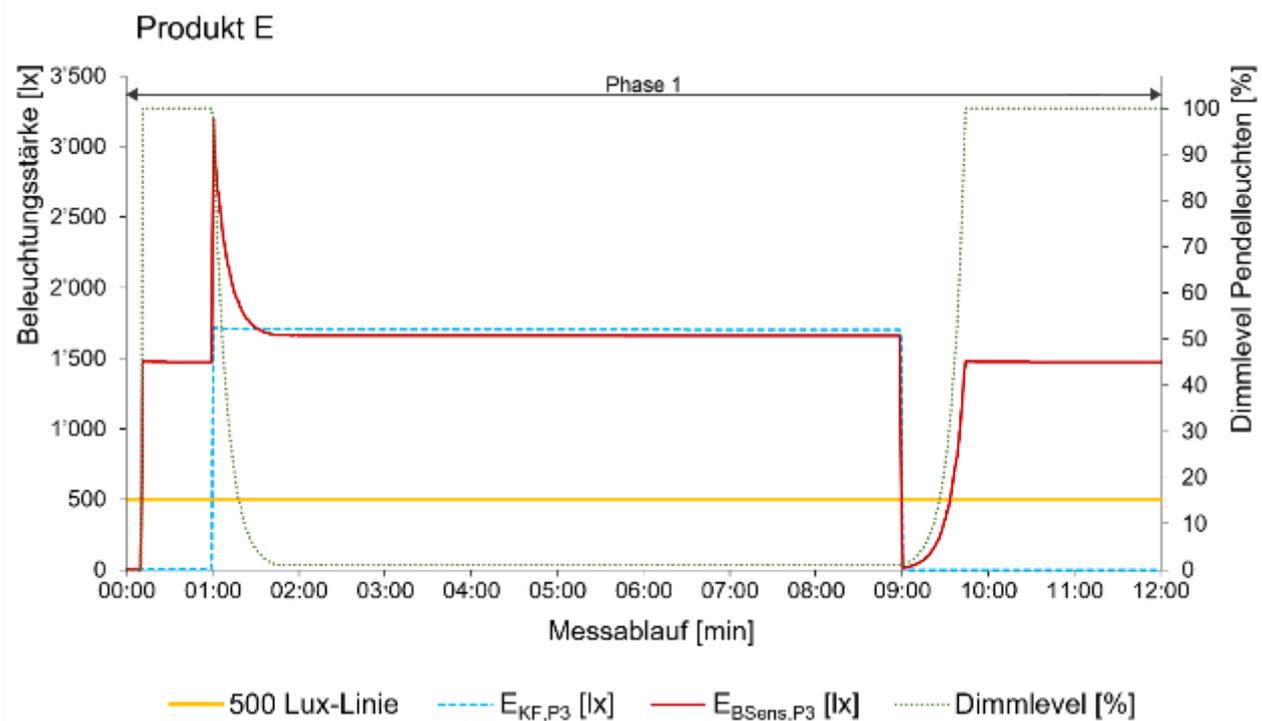
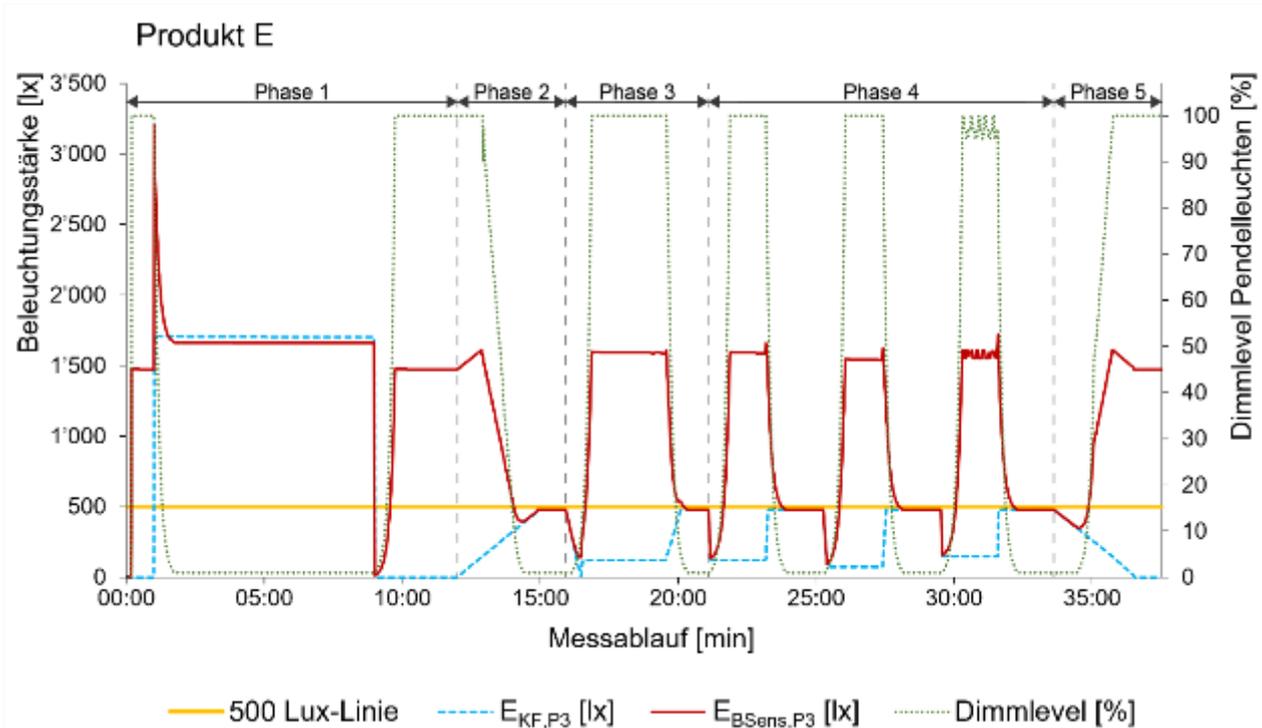
Testszenario 1

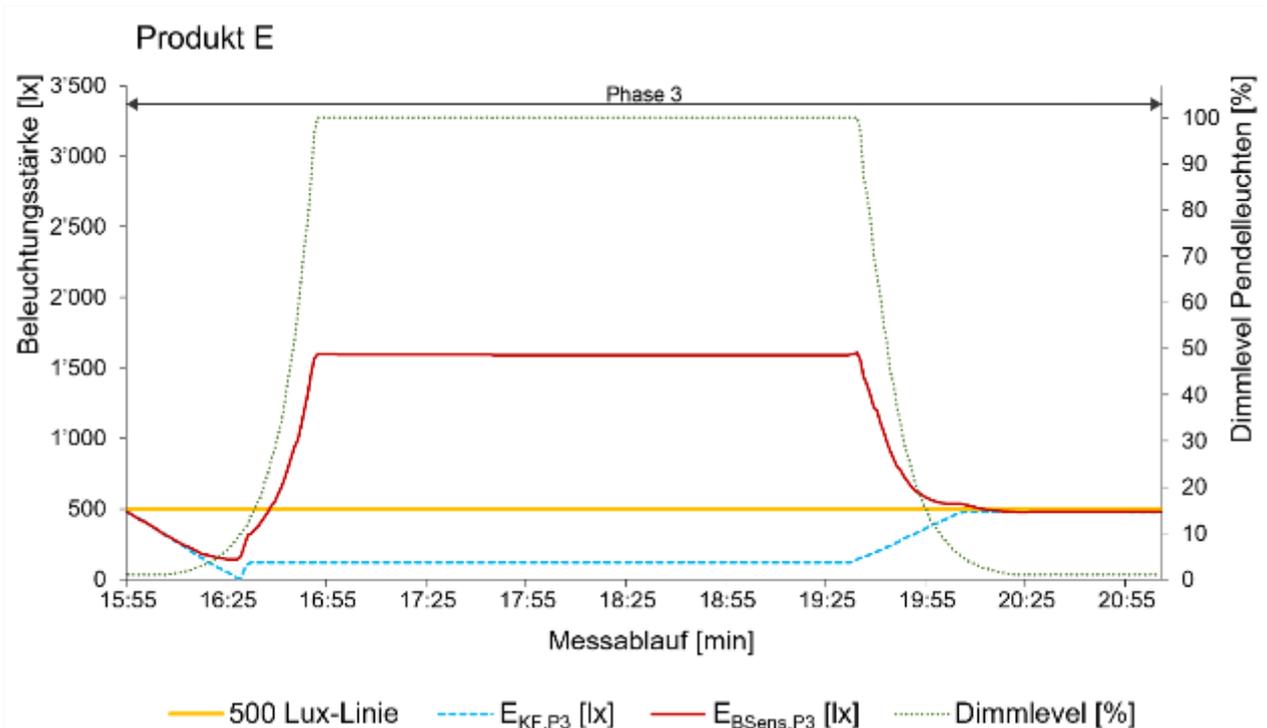
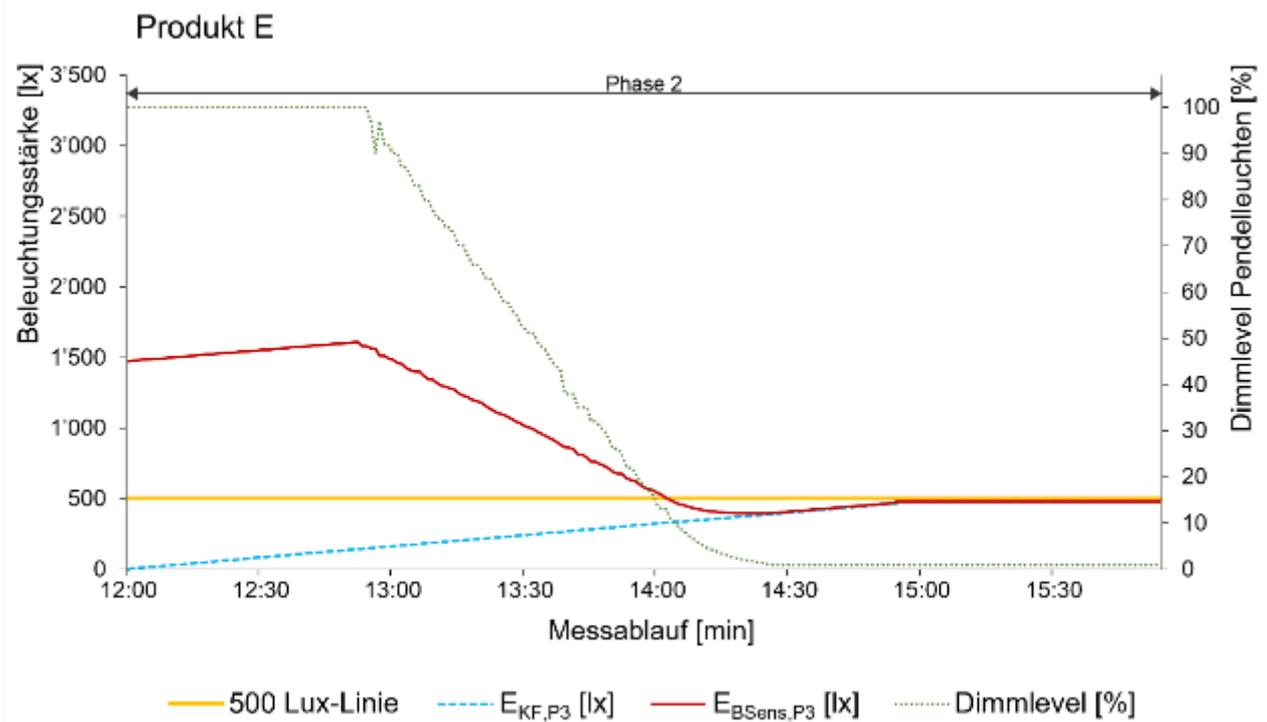


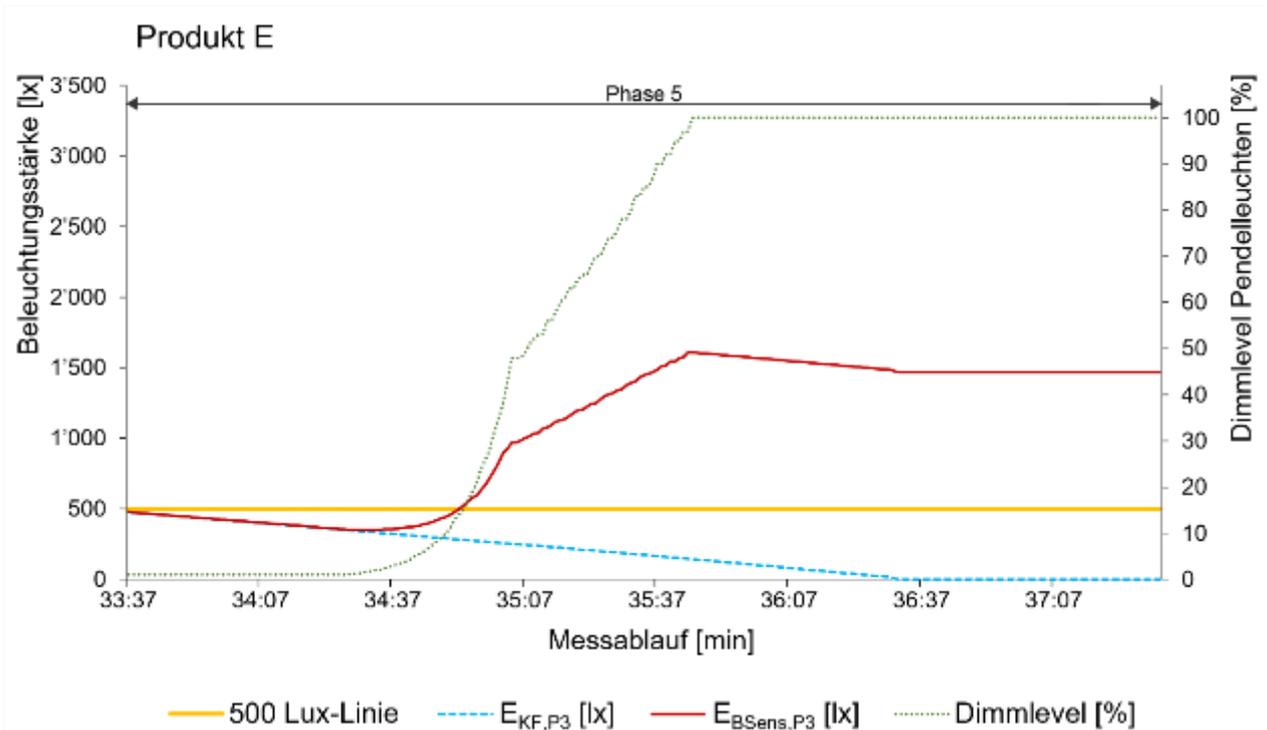
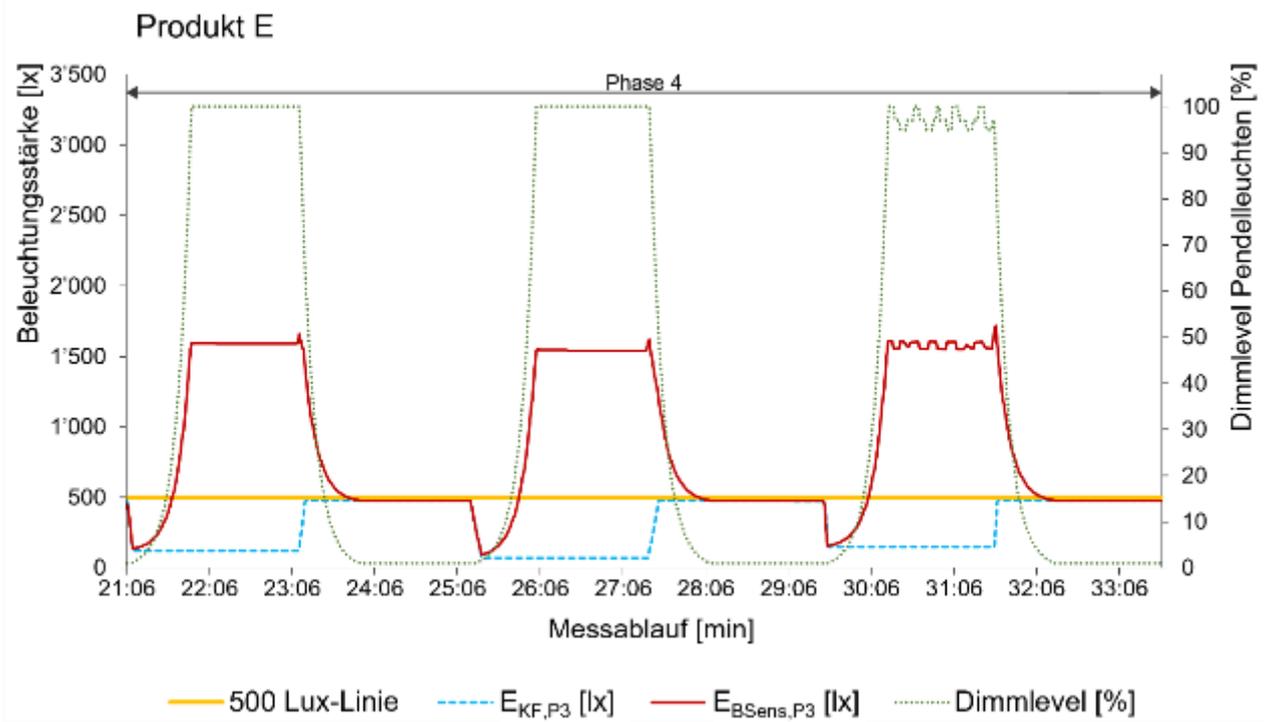




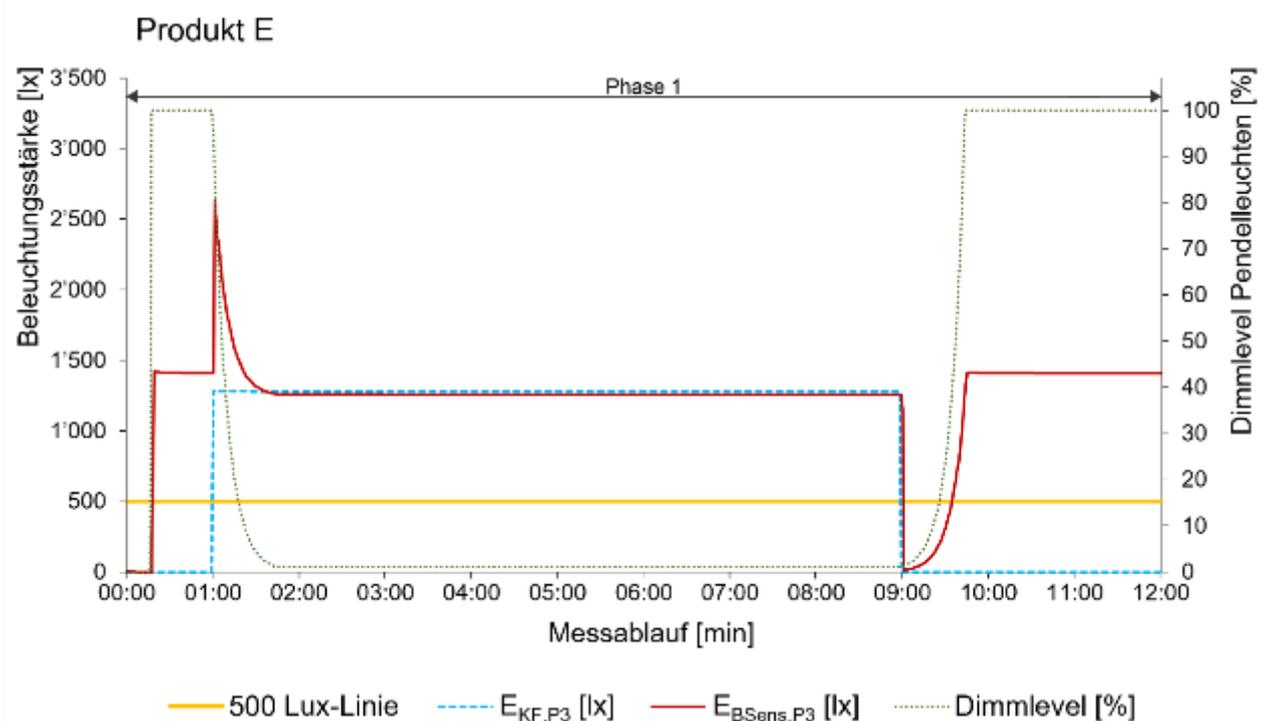
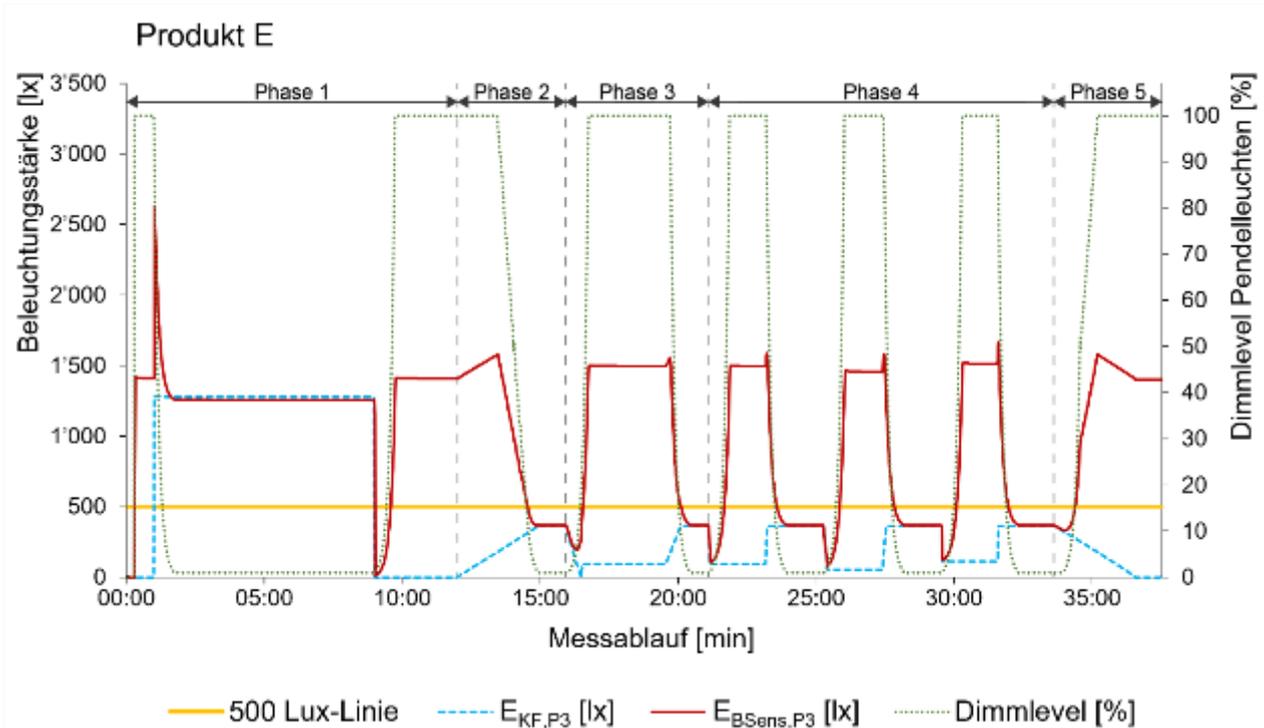
Testszenario 2

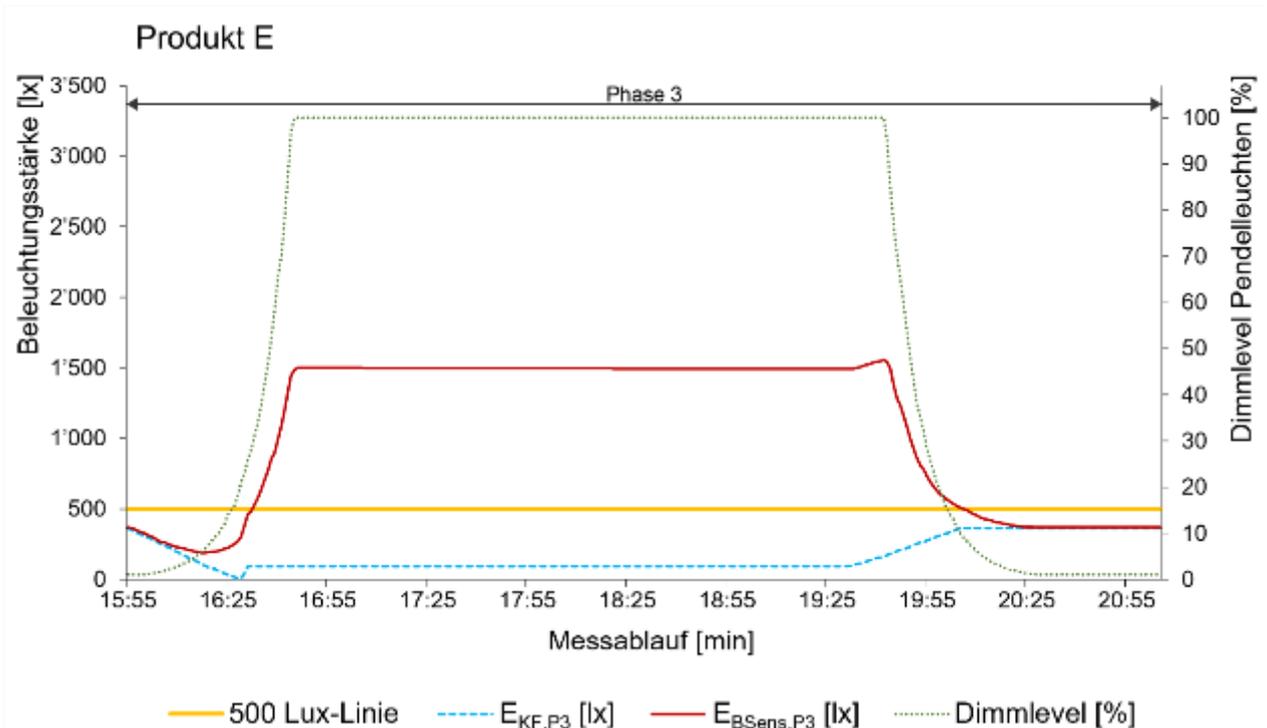
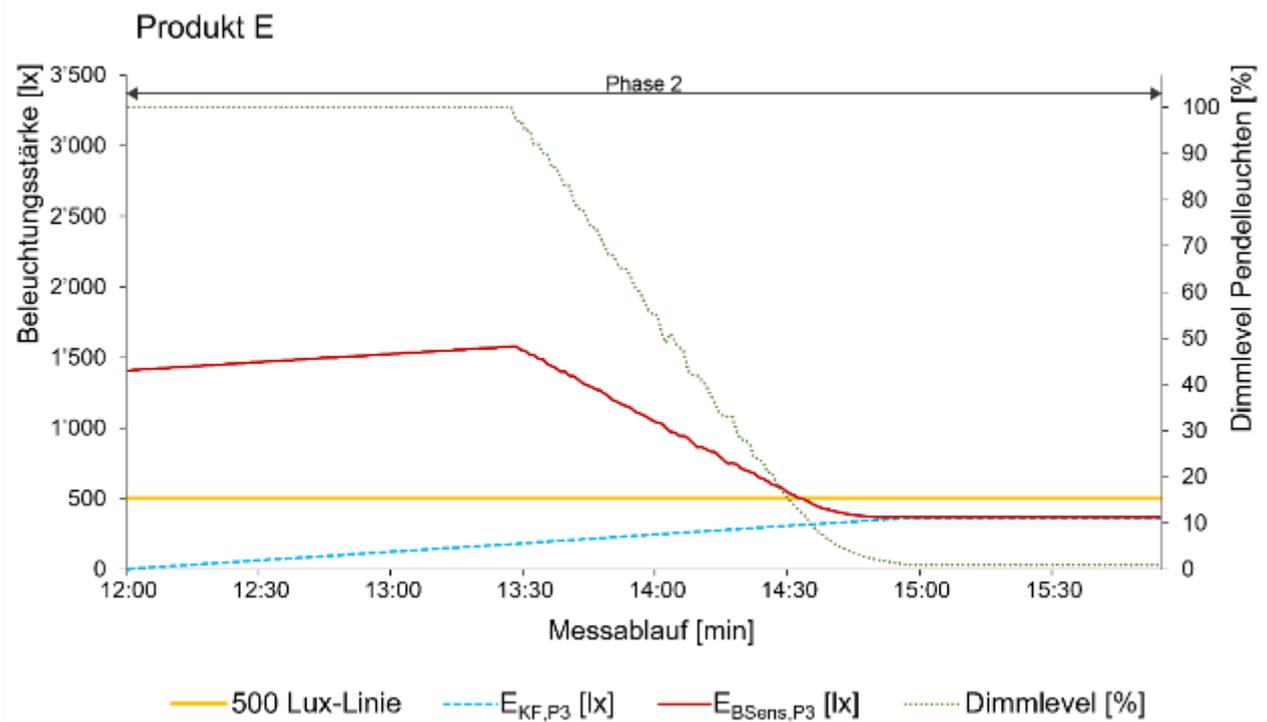


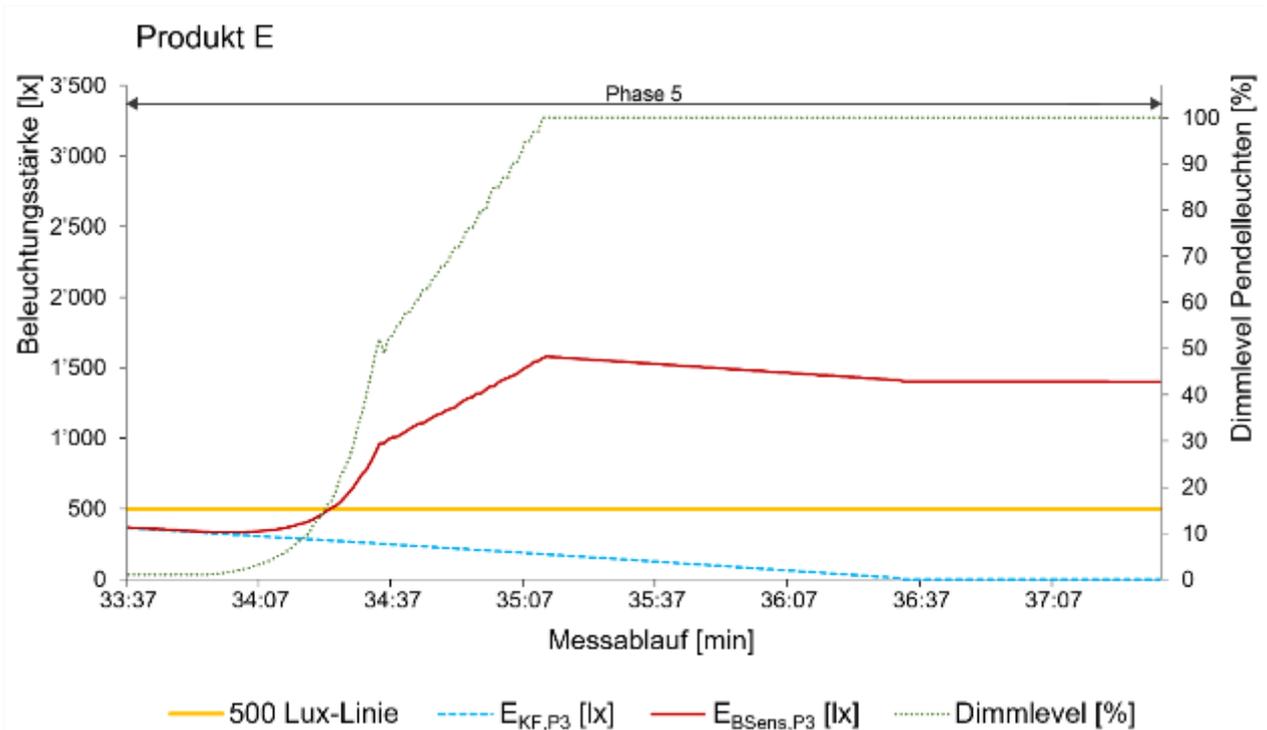
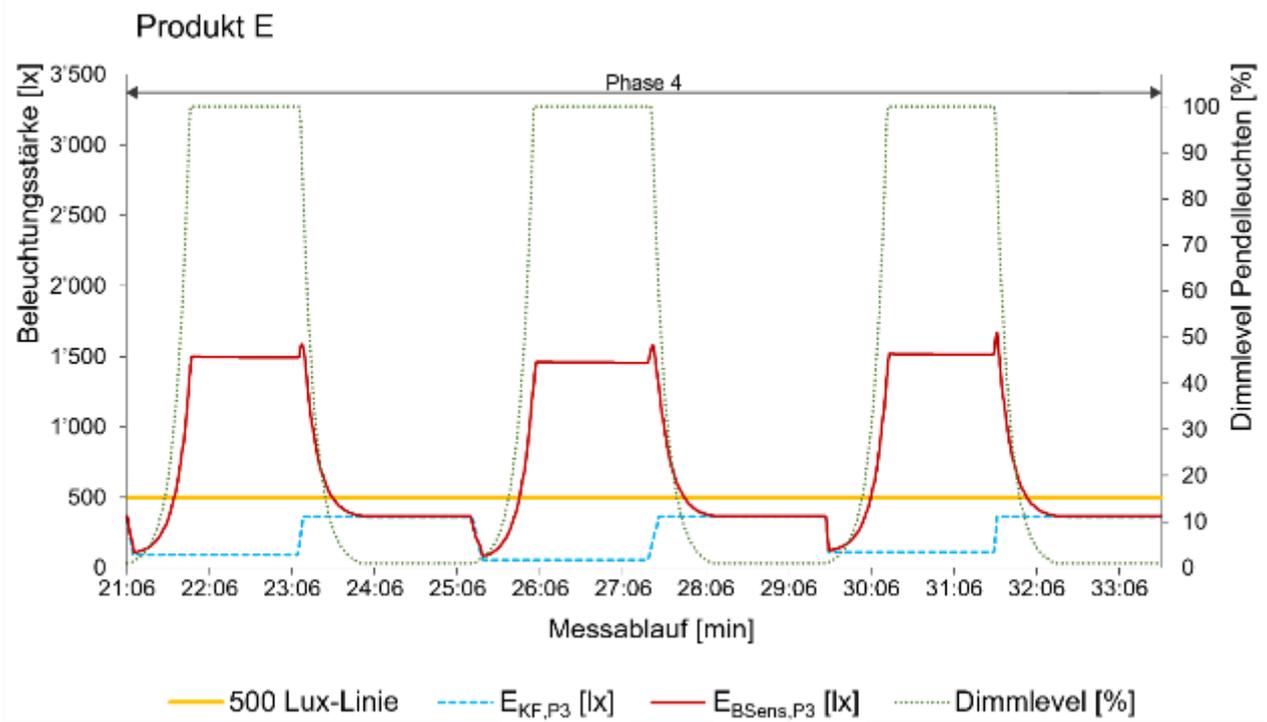




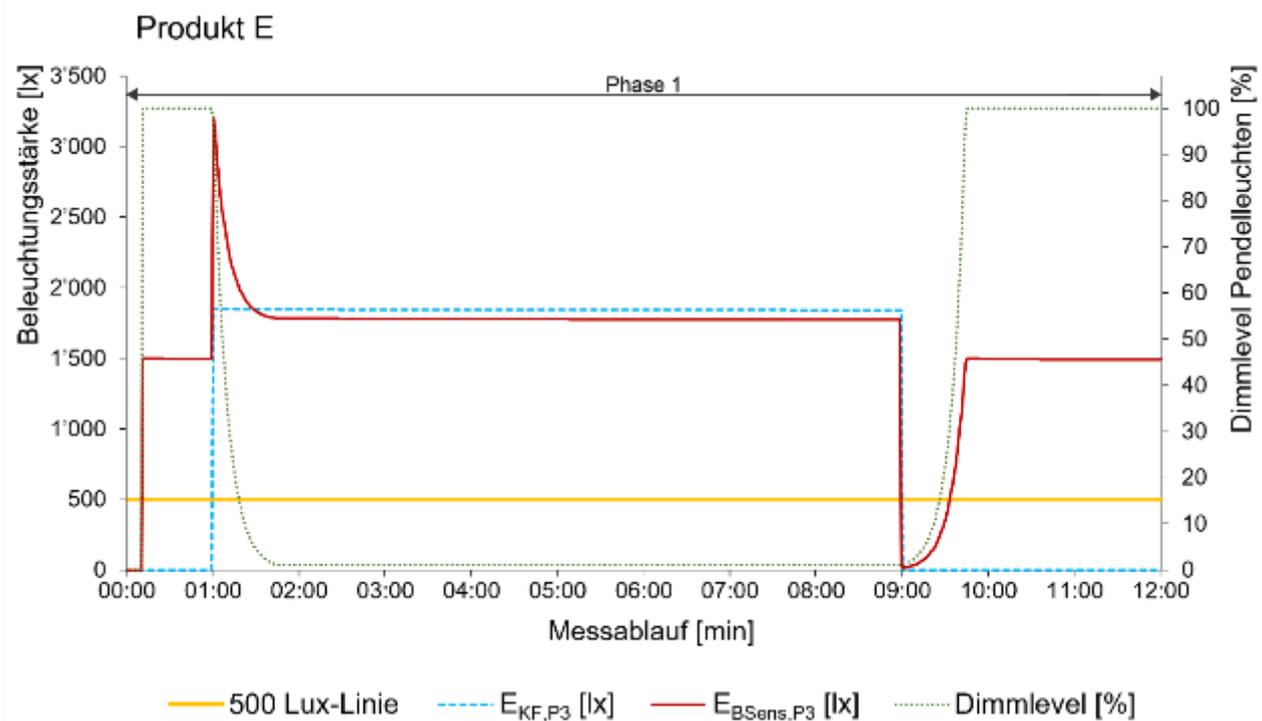
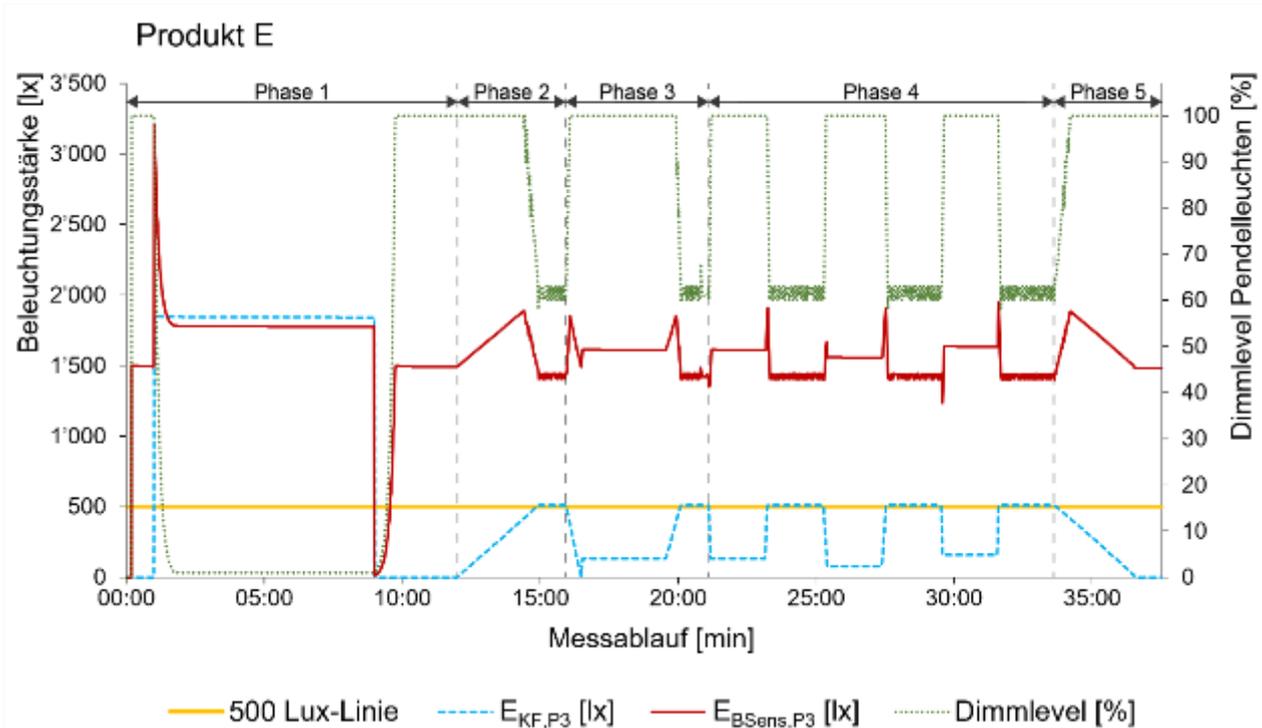
Testszenario 3

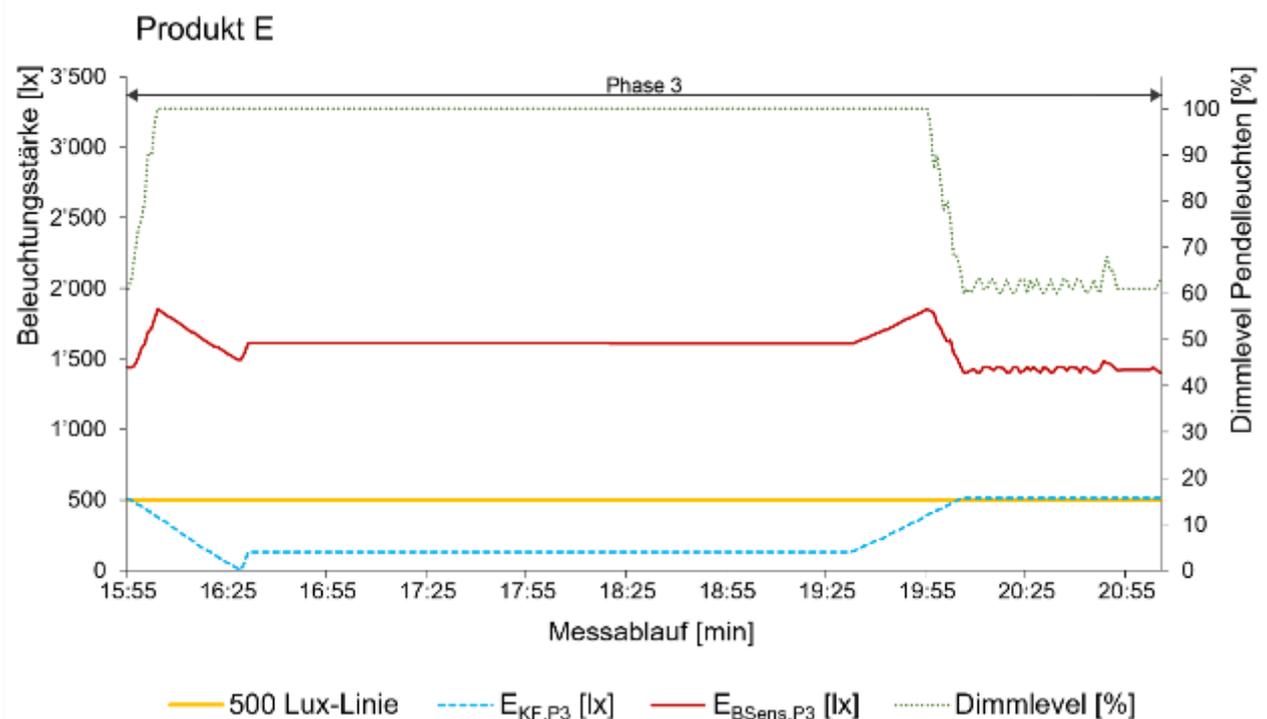
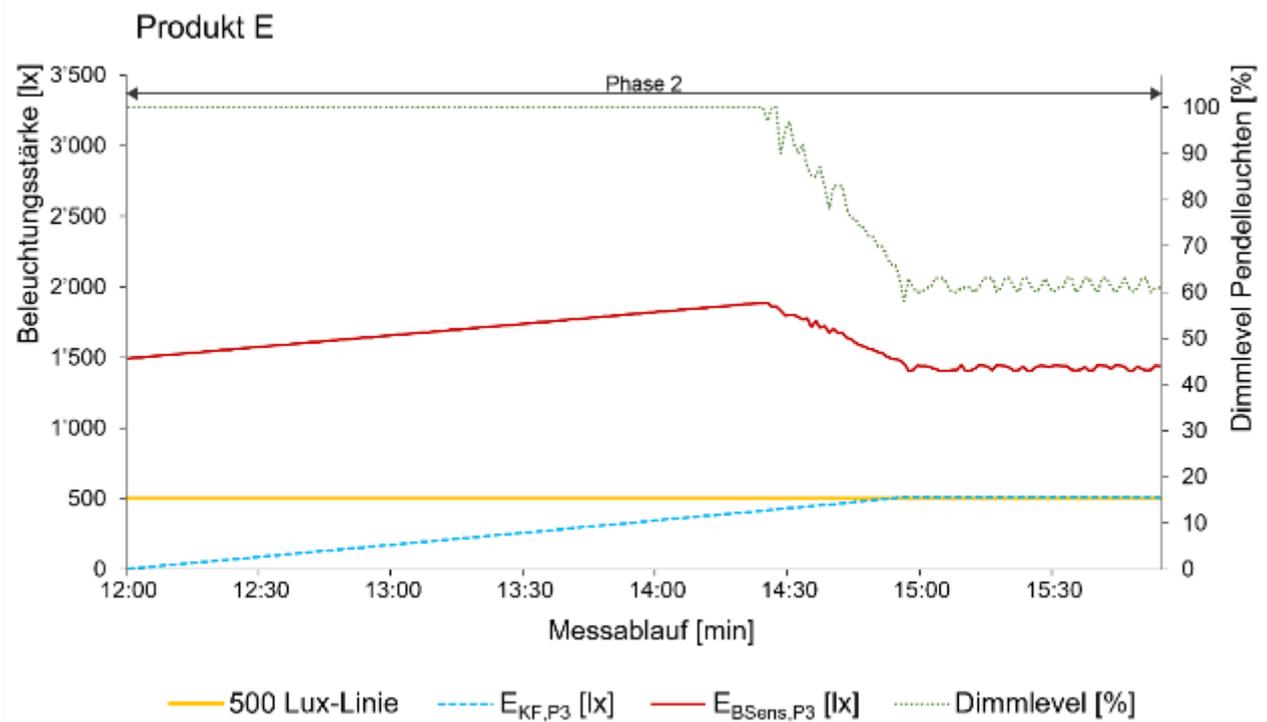


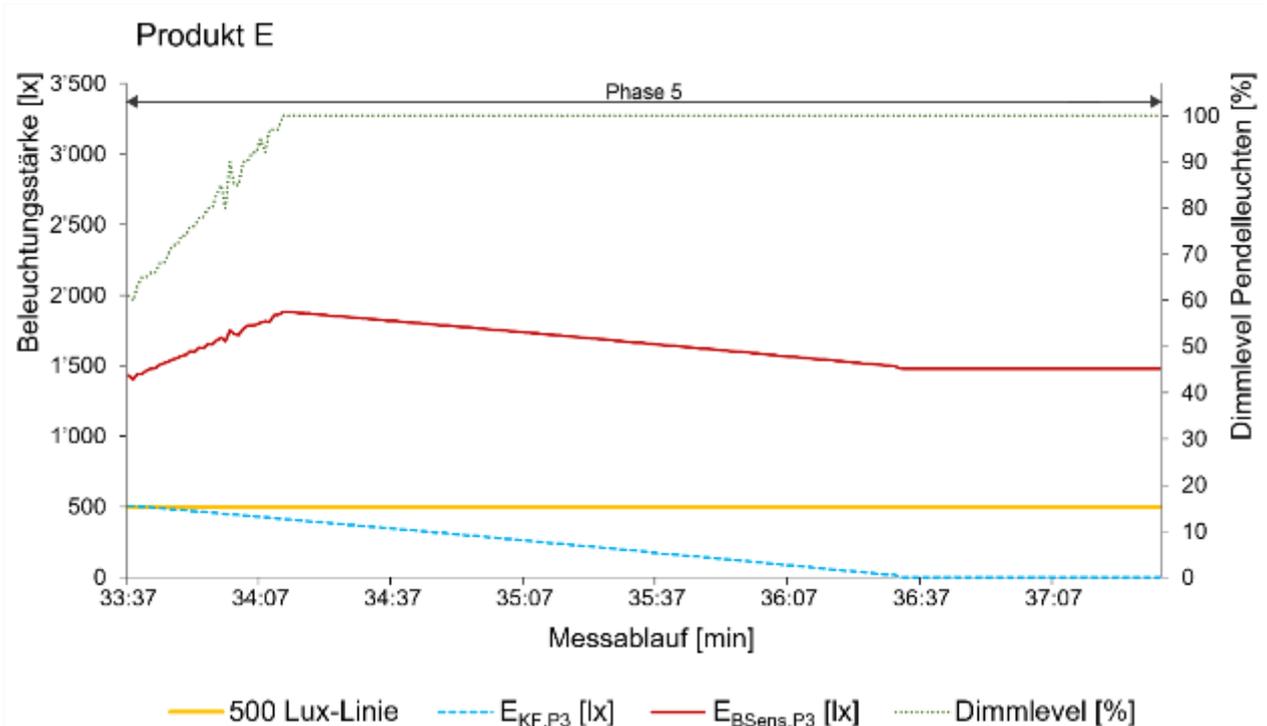
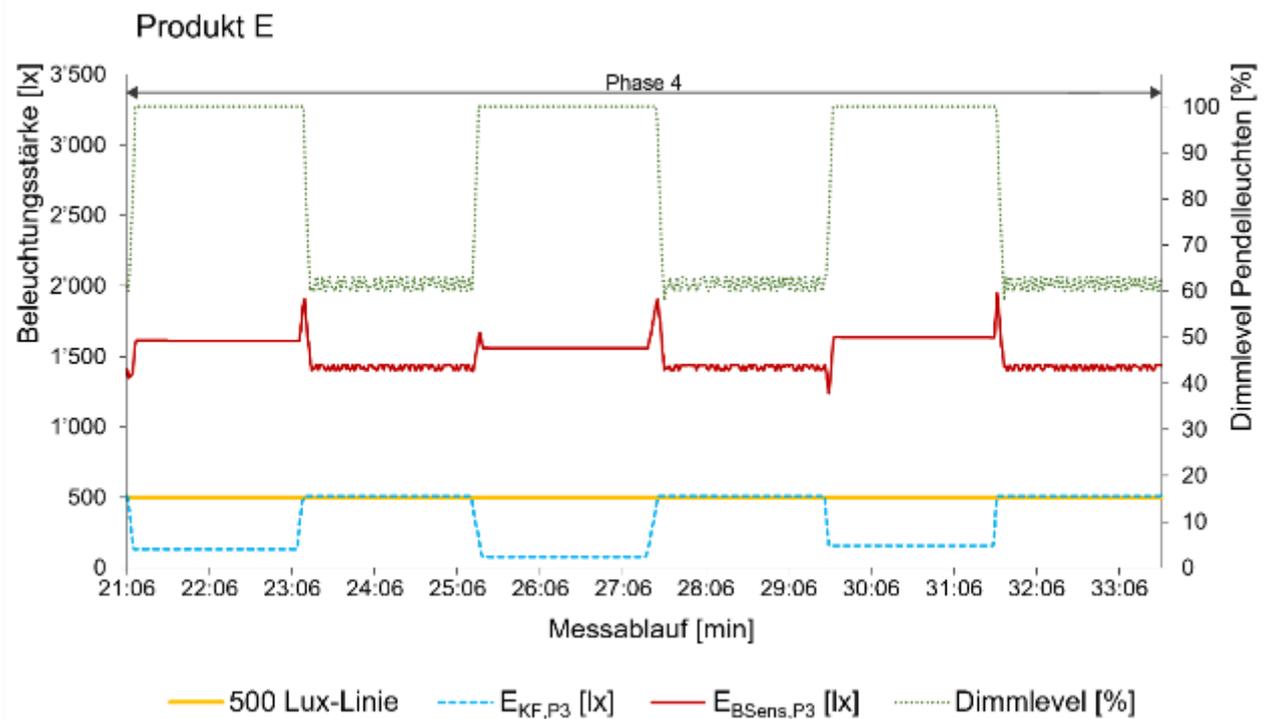




Testszenario 4

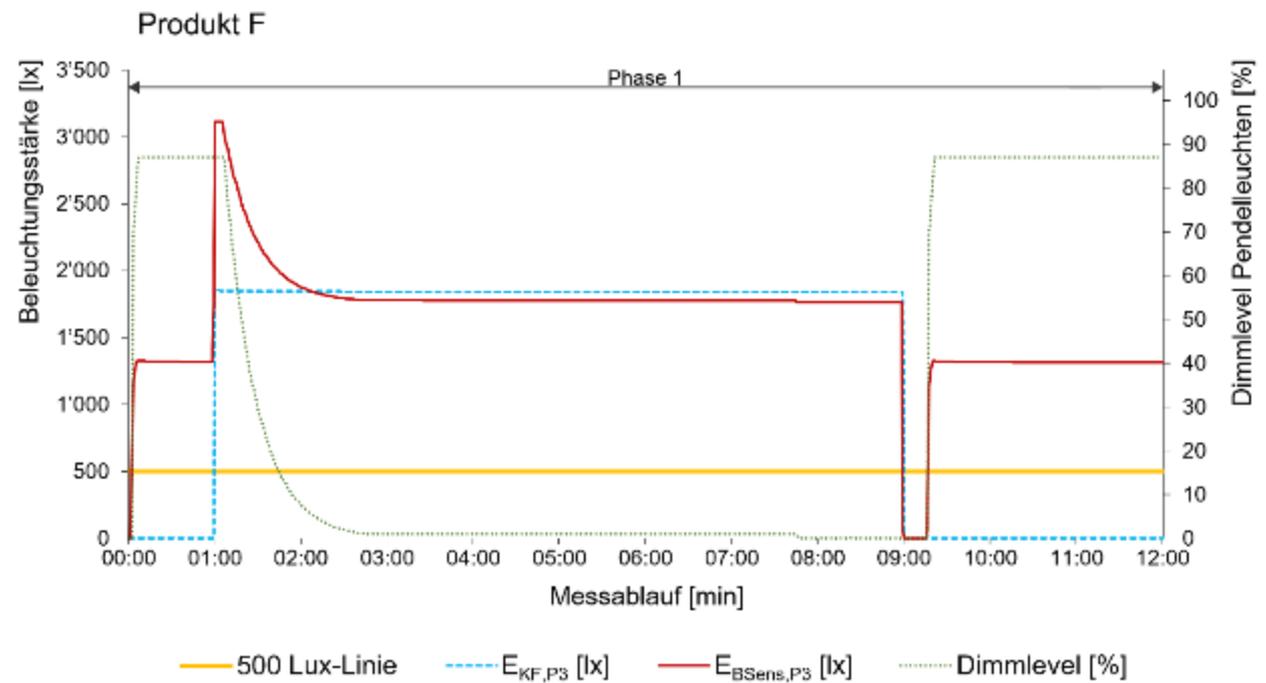
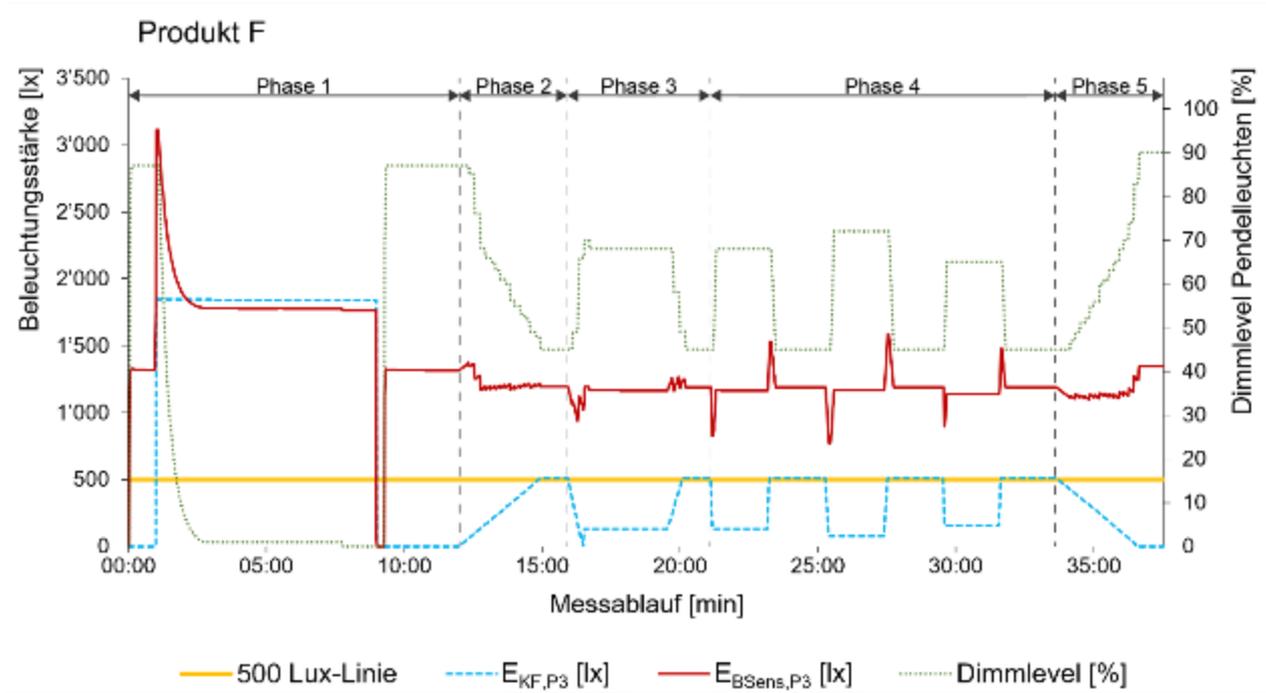


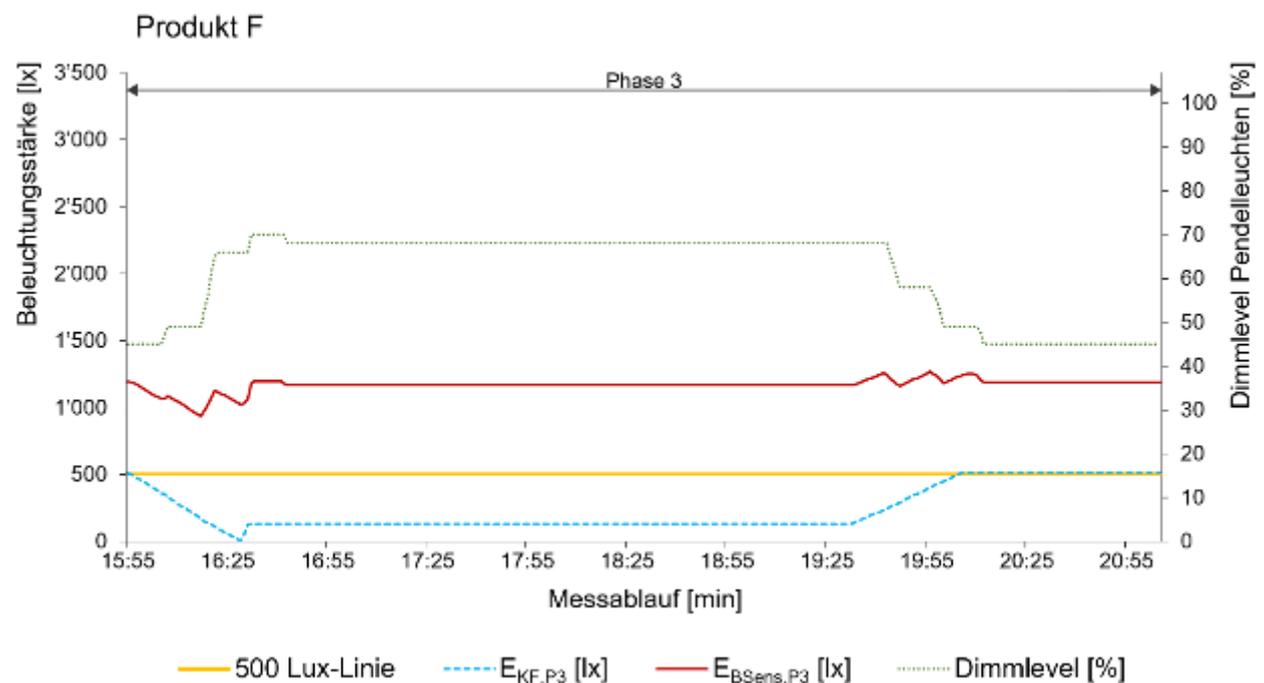
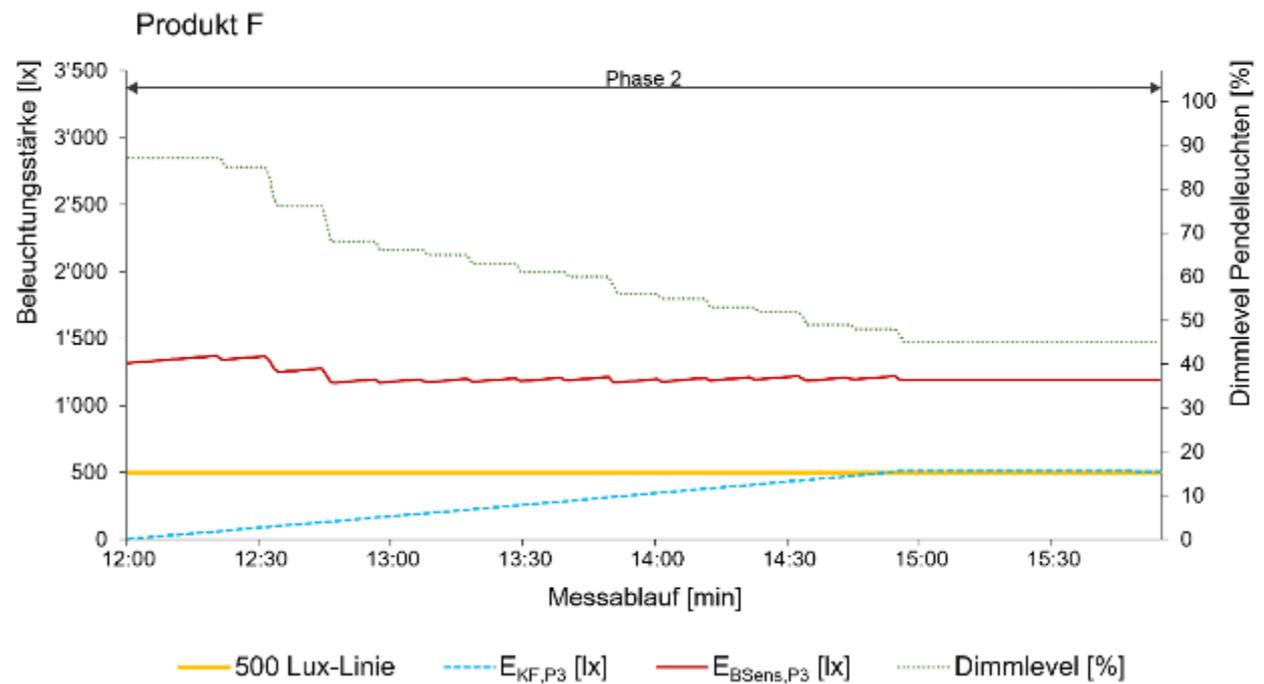


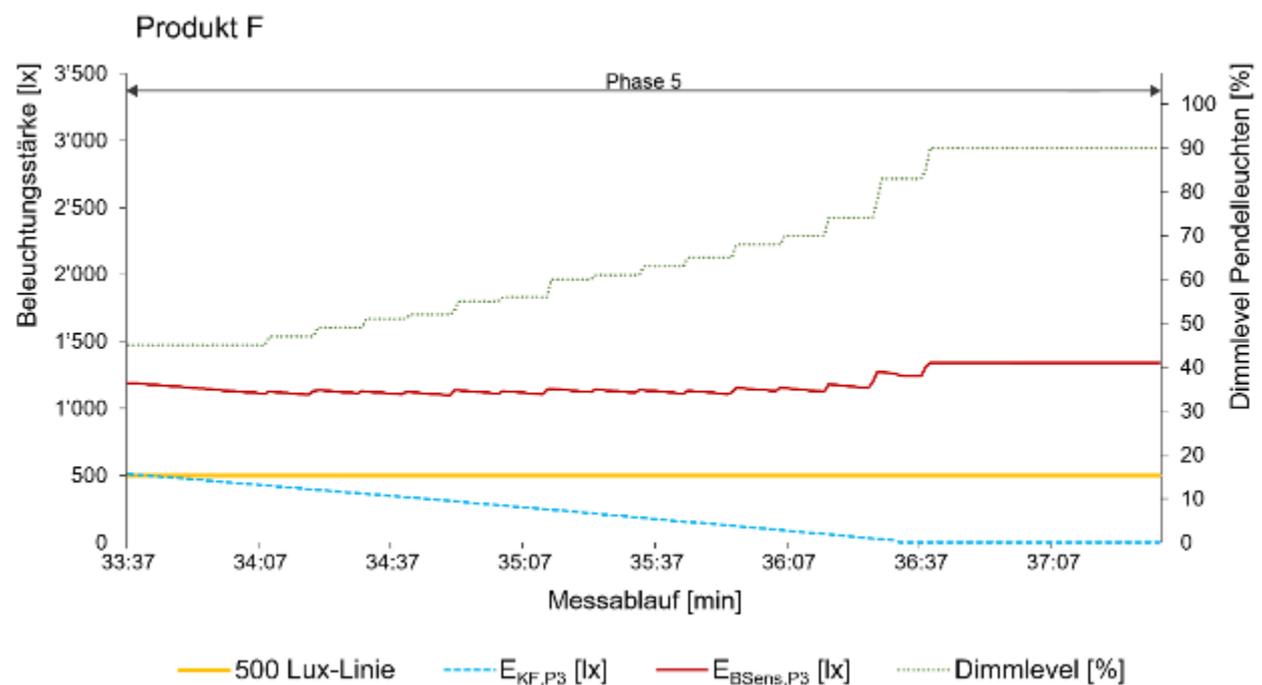
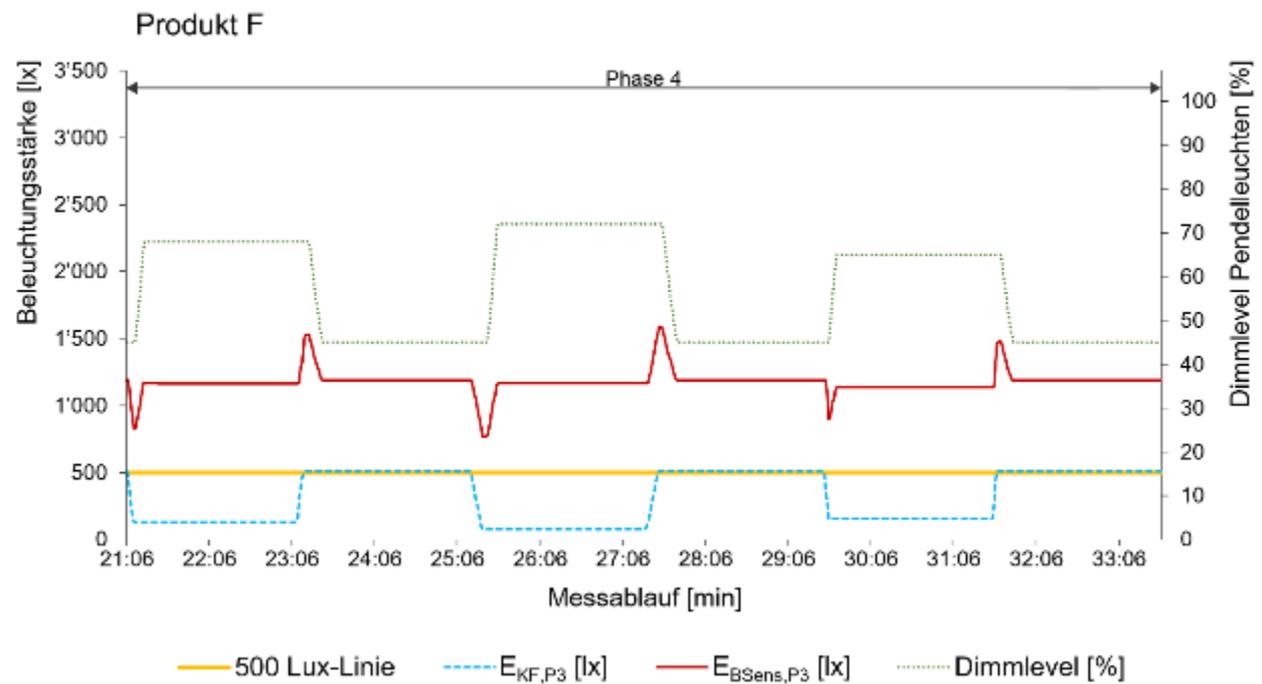


10.9 Diagramme Produkt F

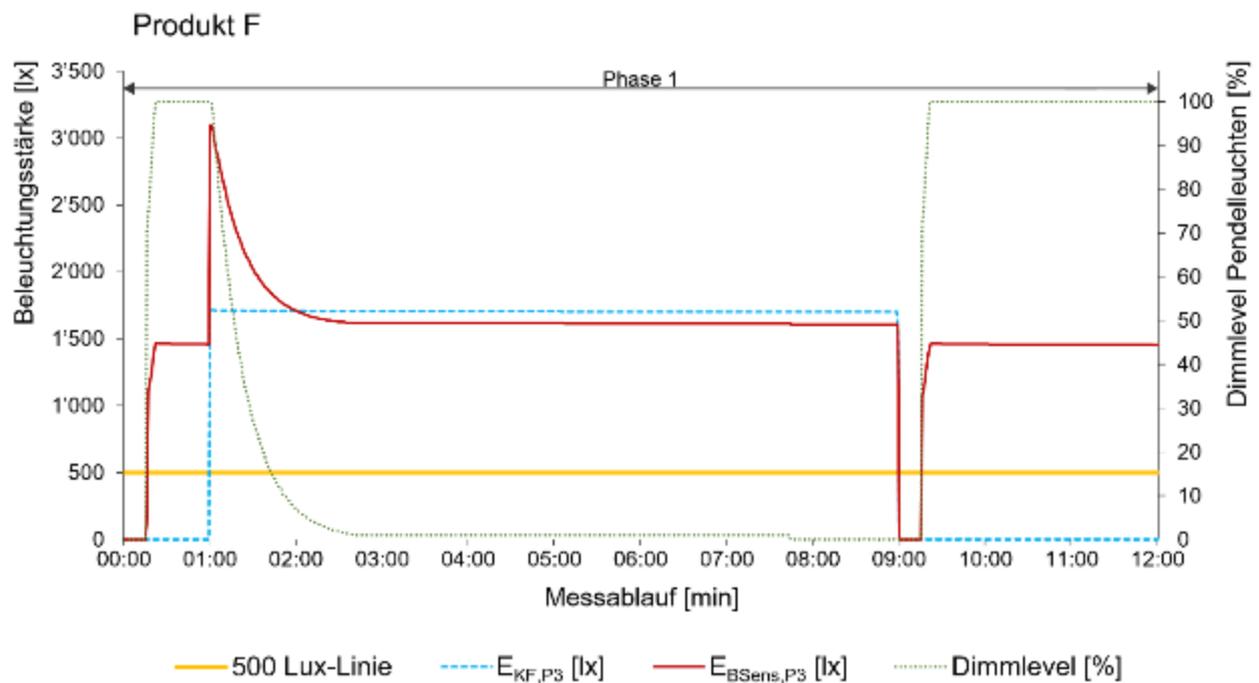
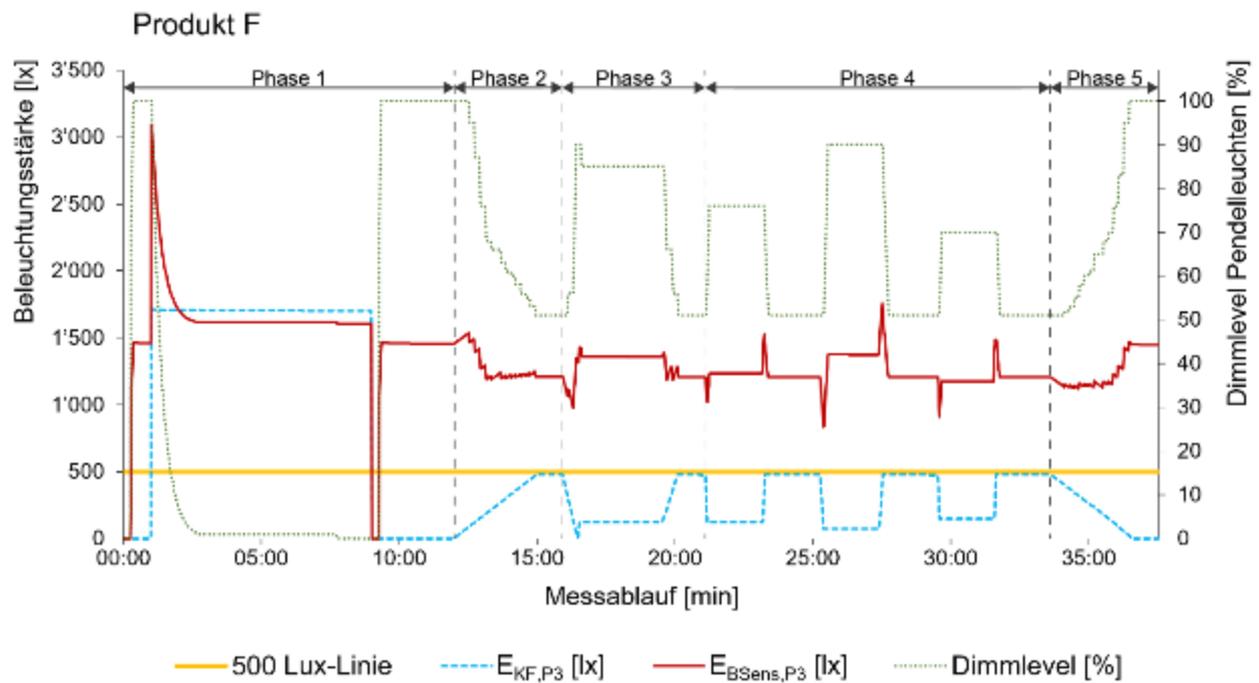
Testszenario 1

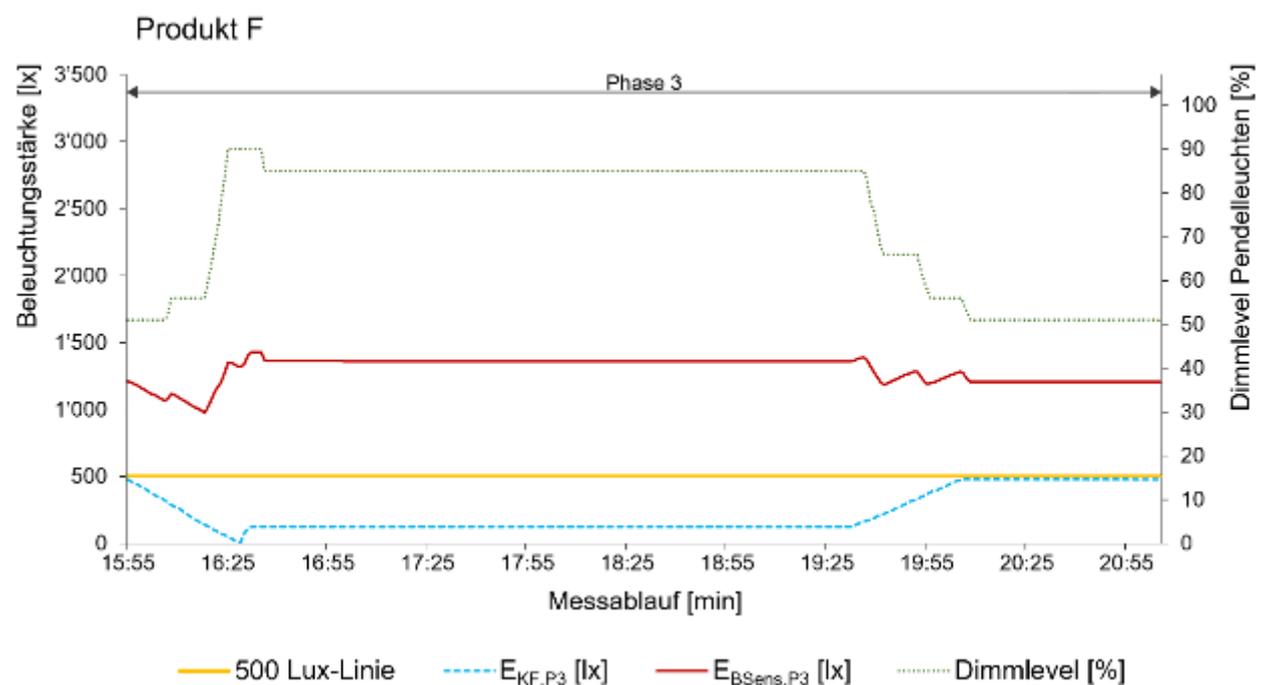
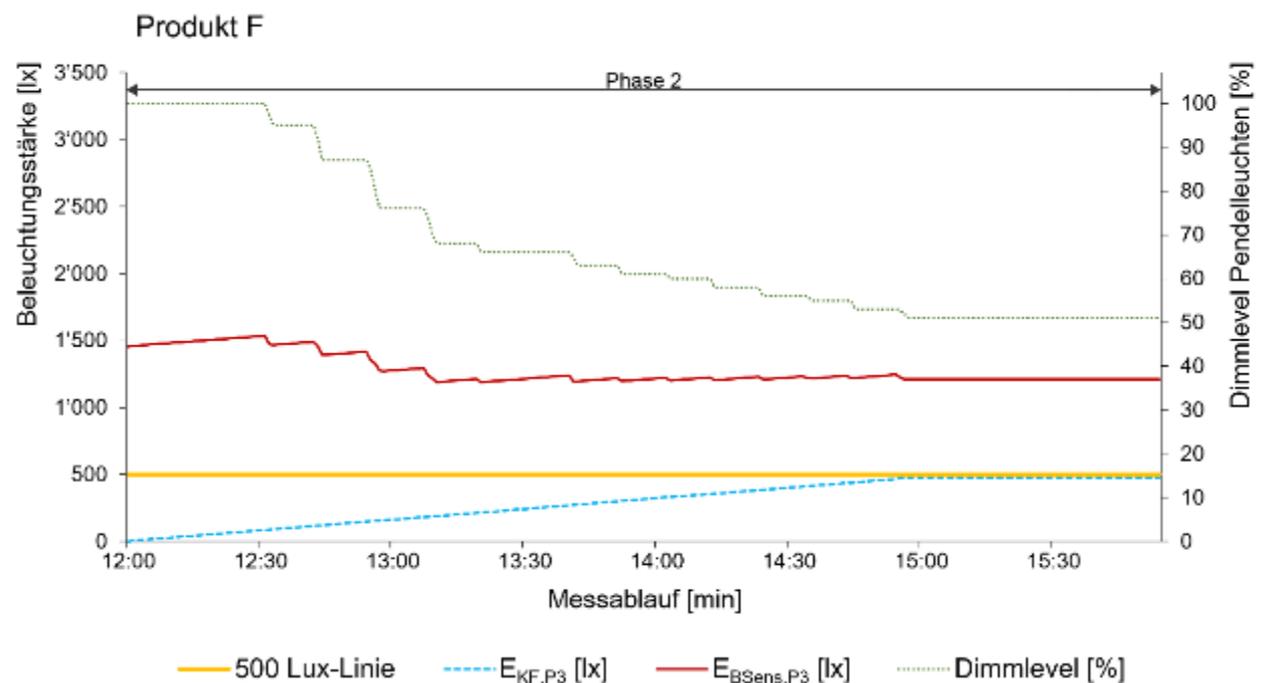


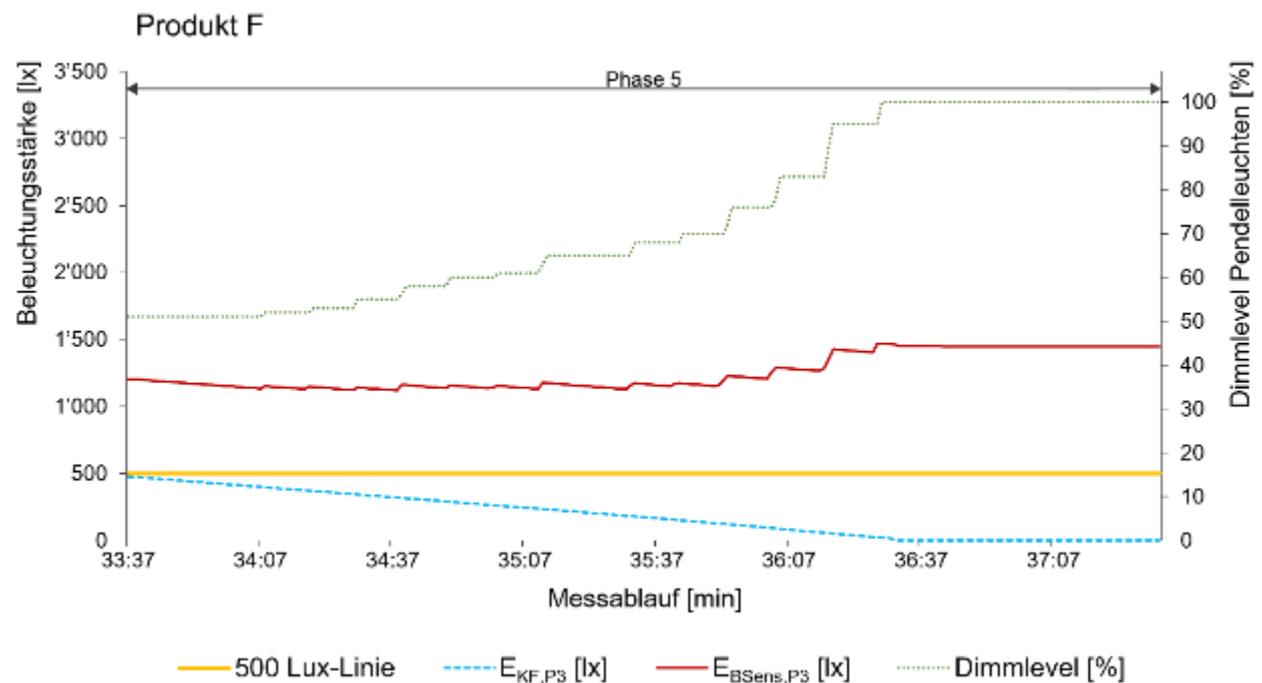
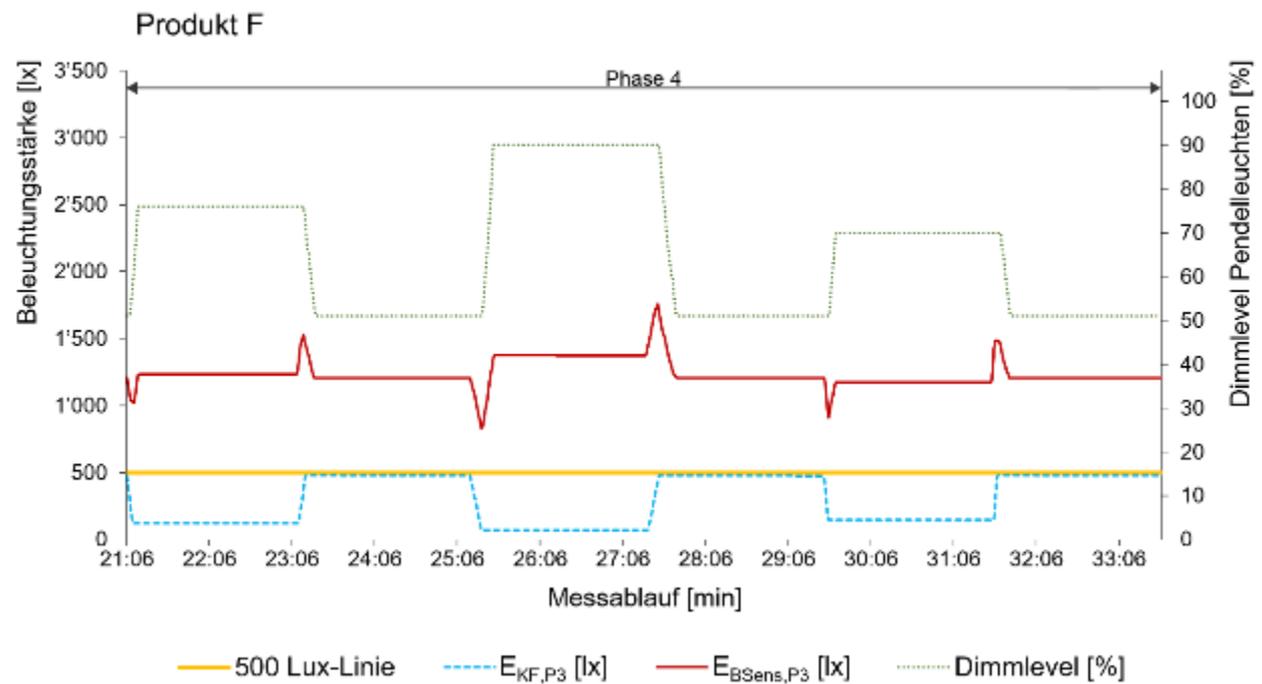




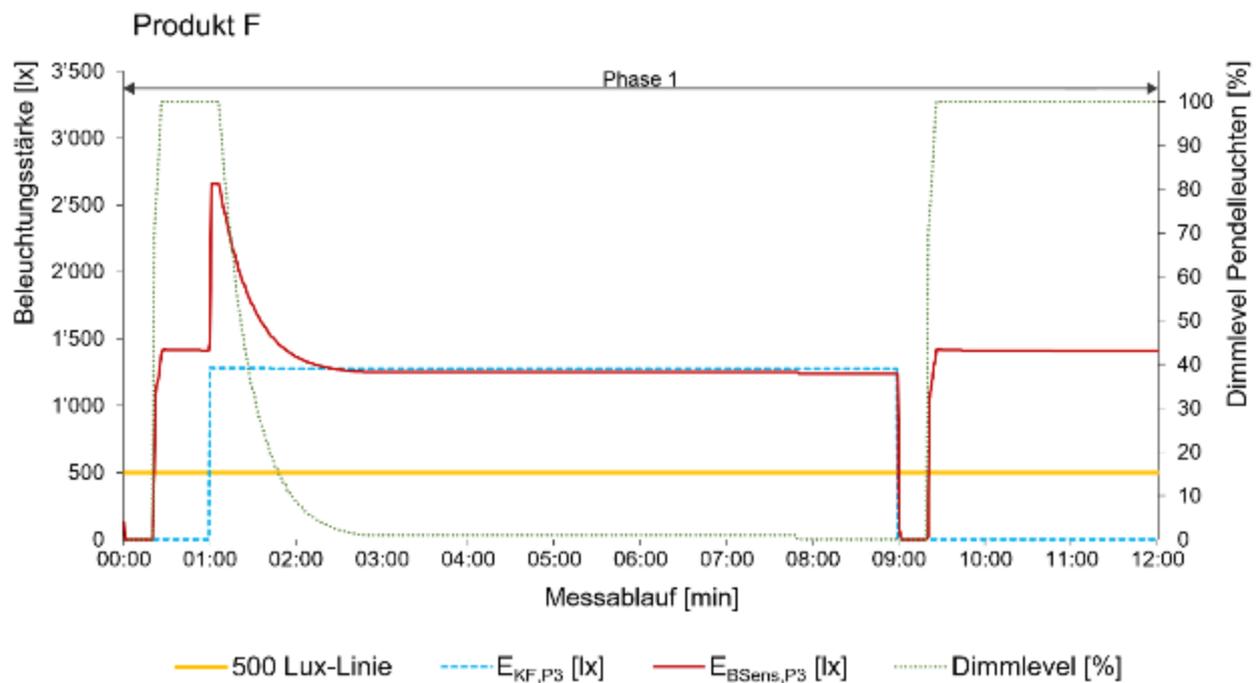
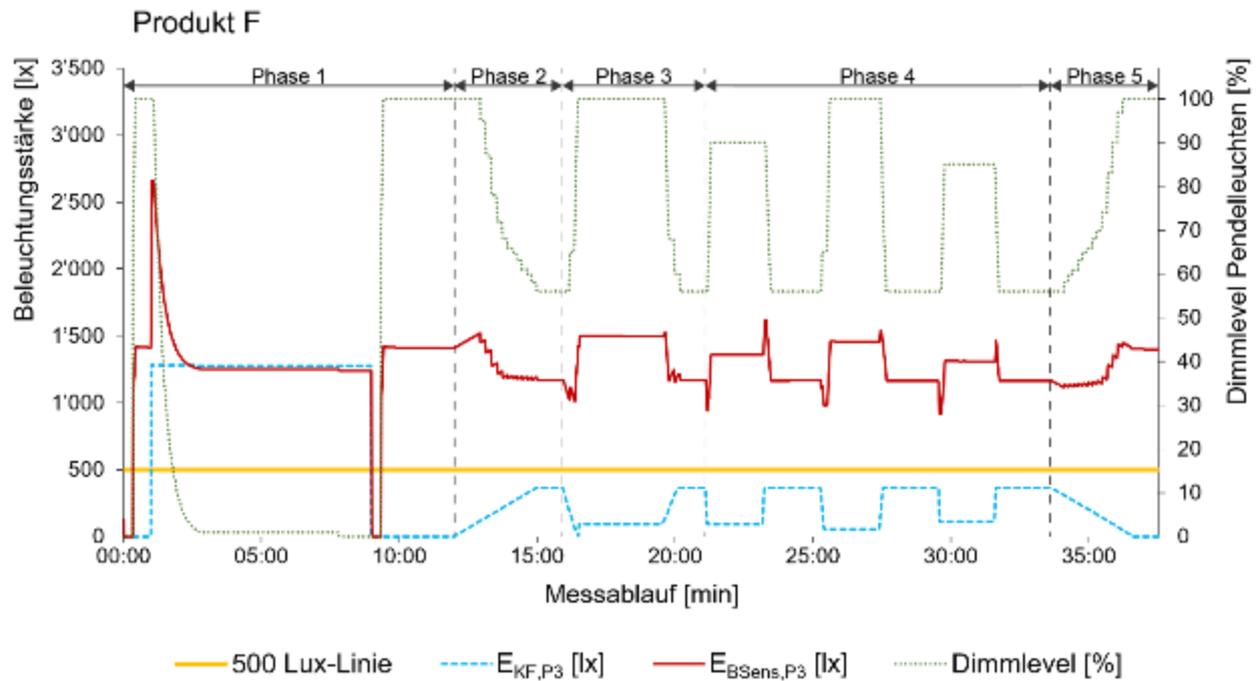
Testscenario 2

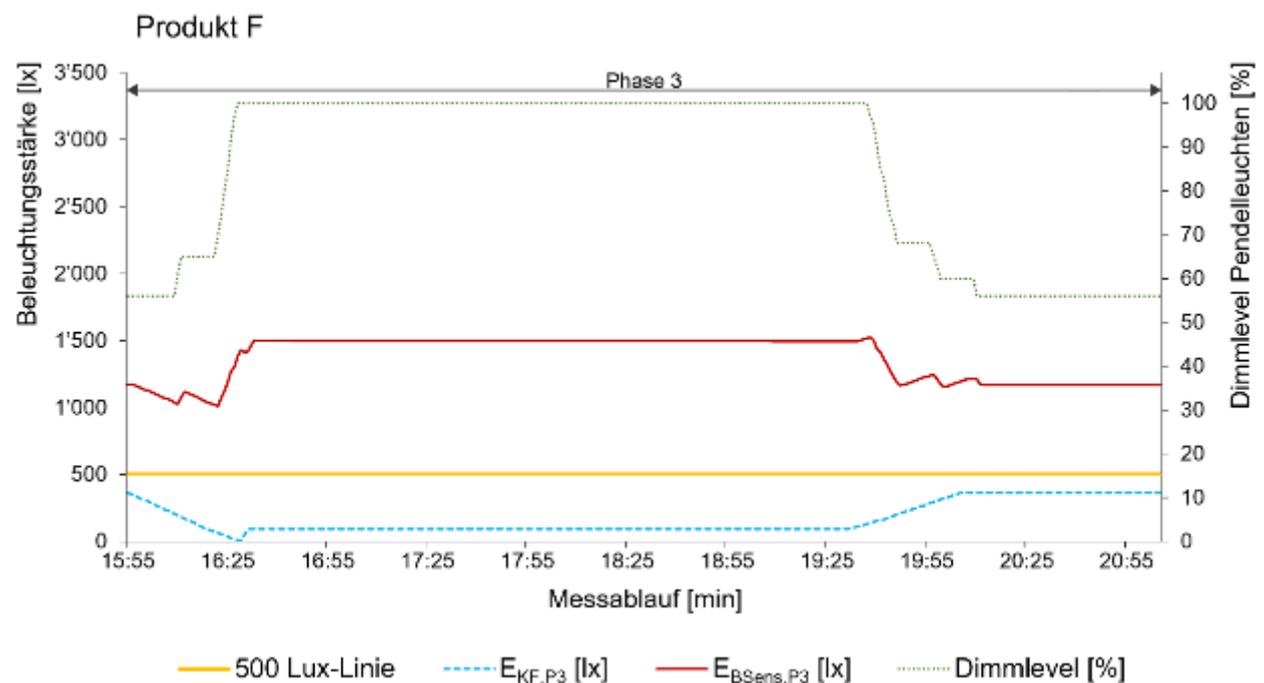
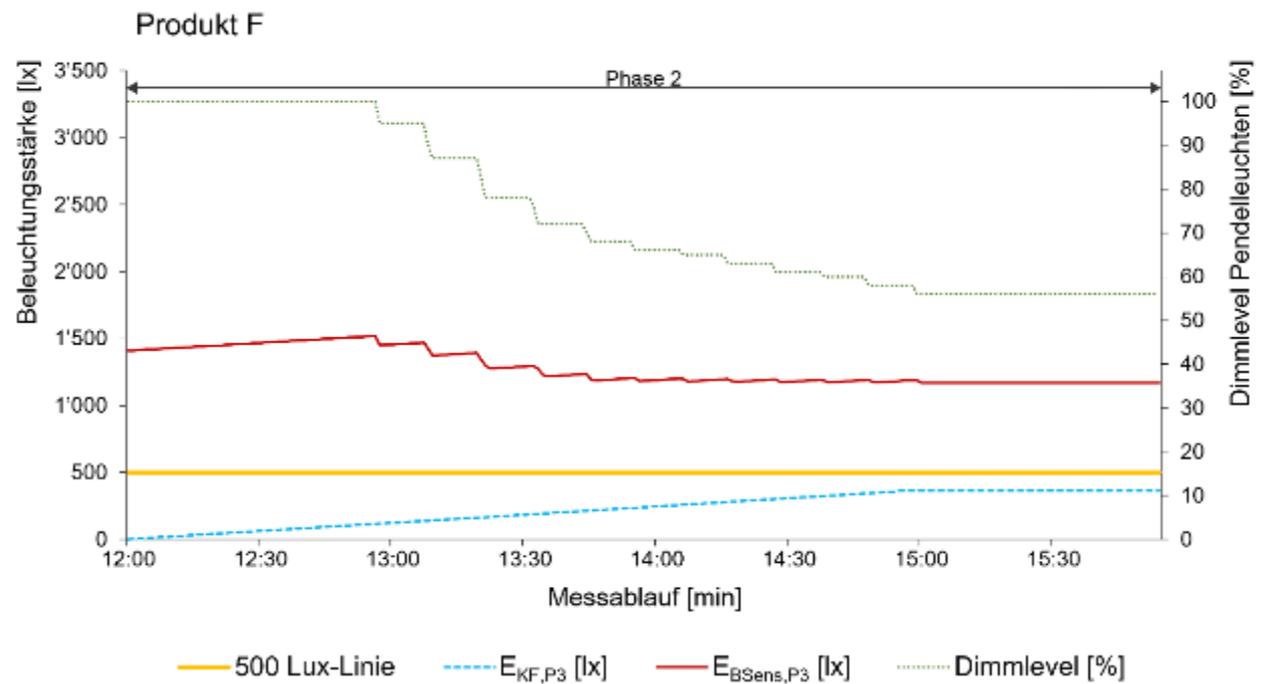


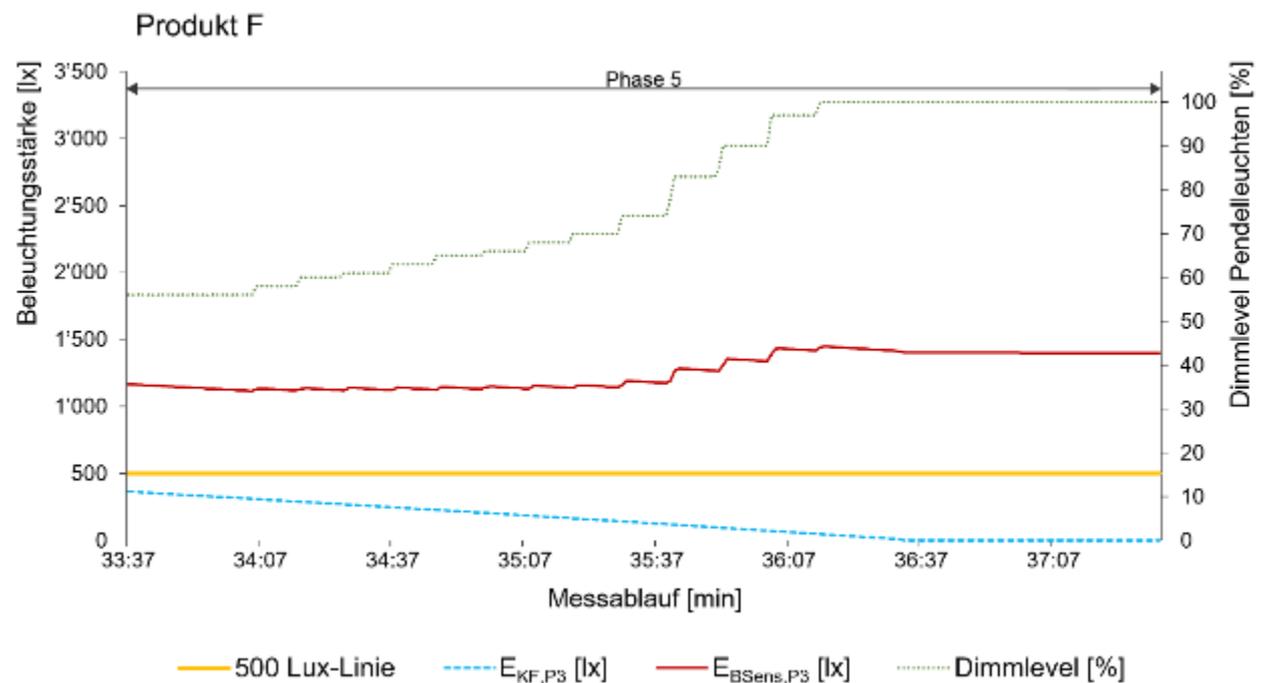
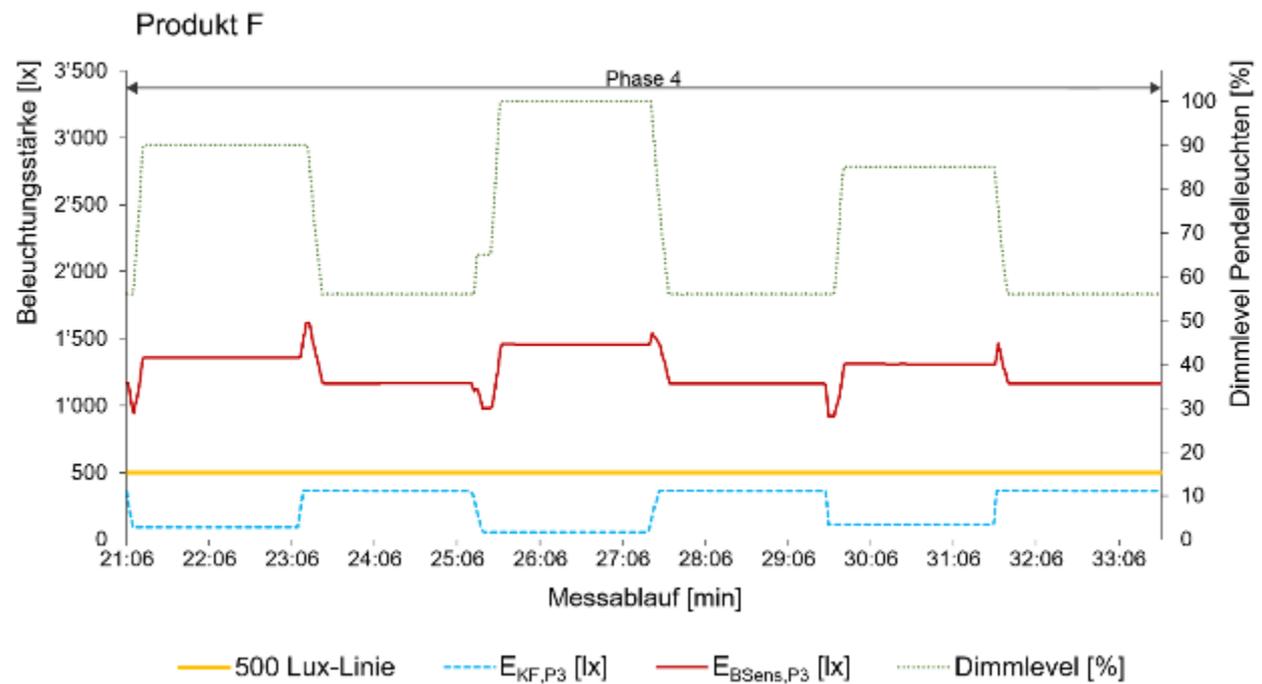




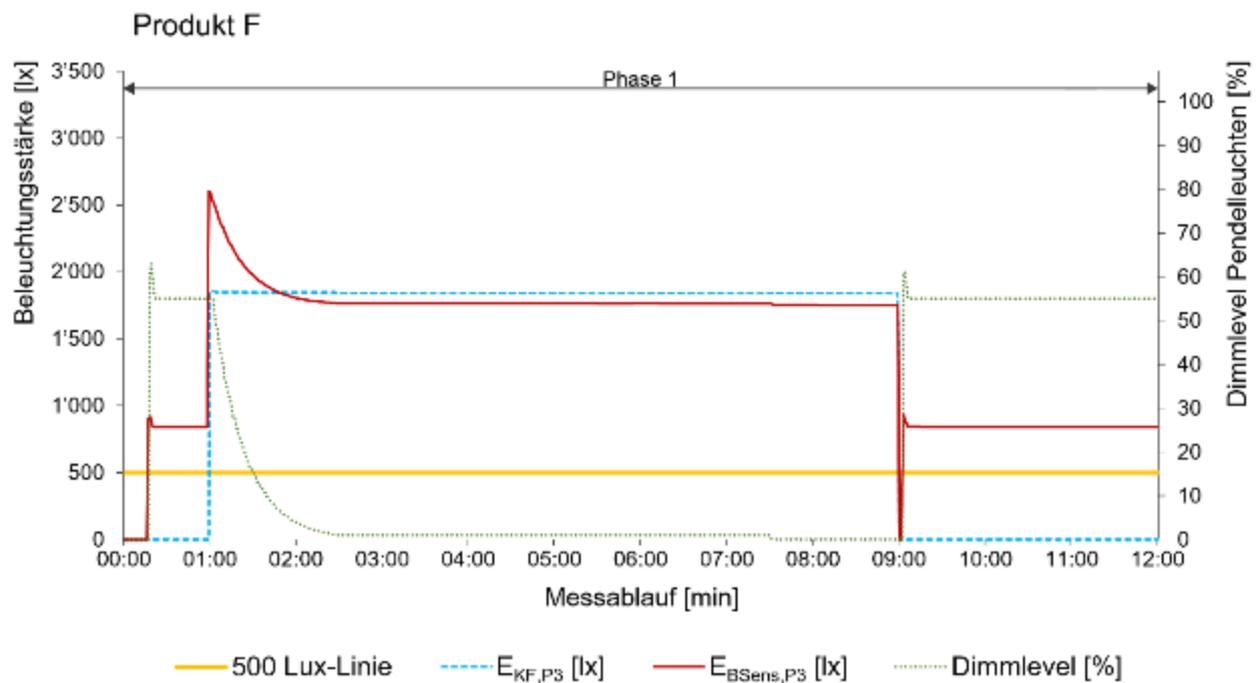
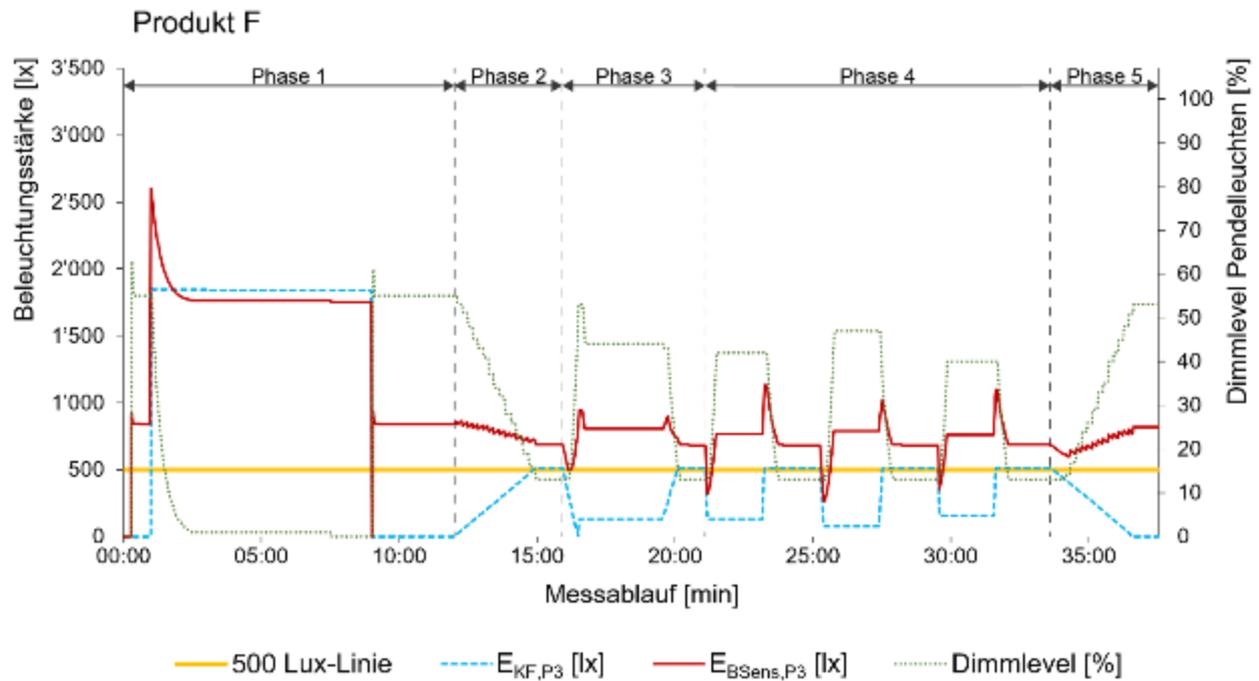
Testszenario 3

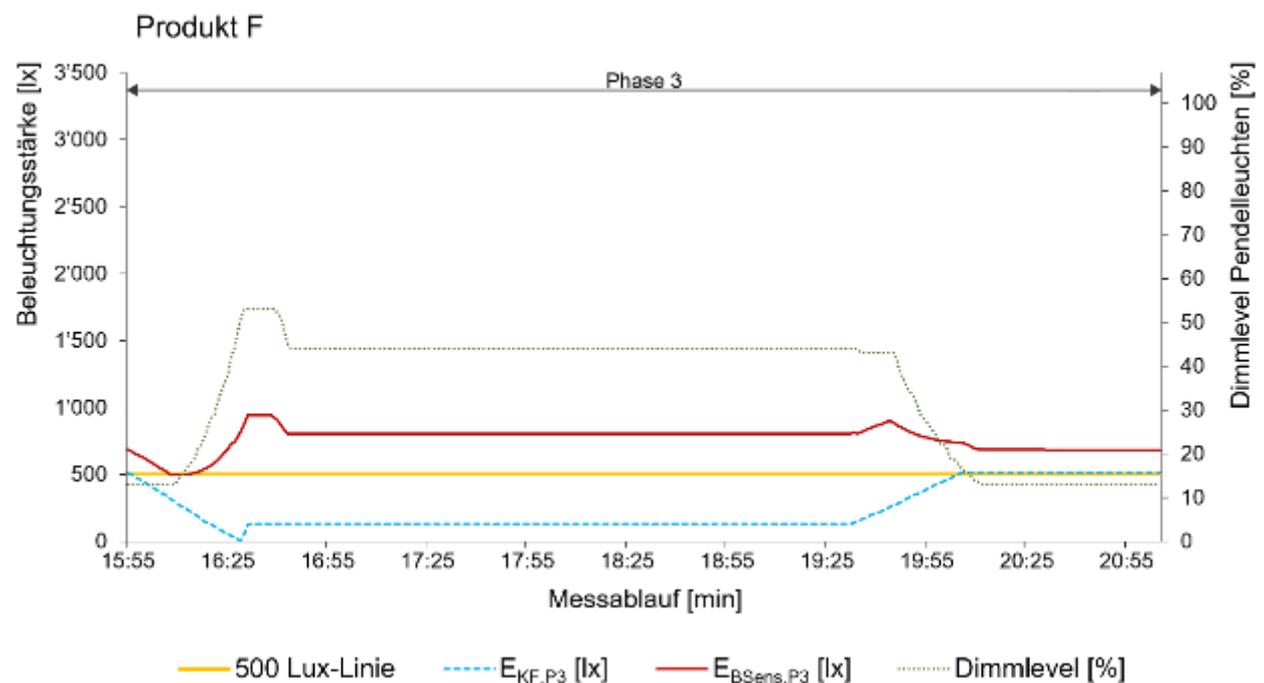
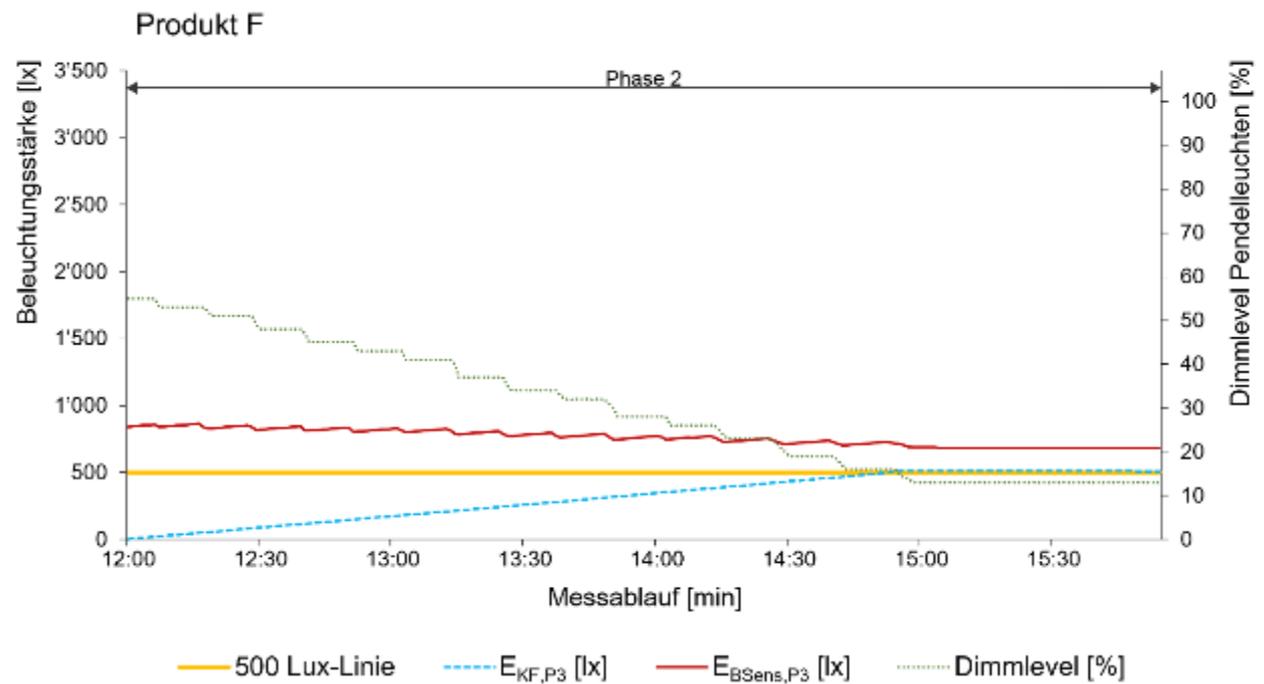


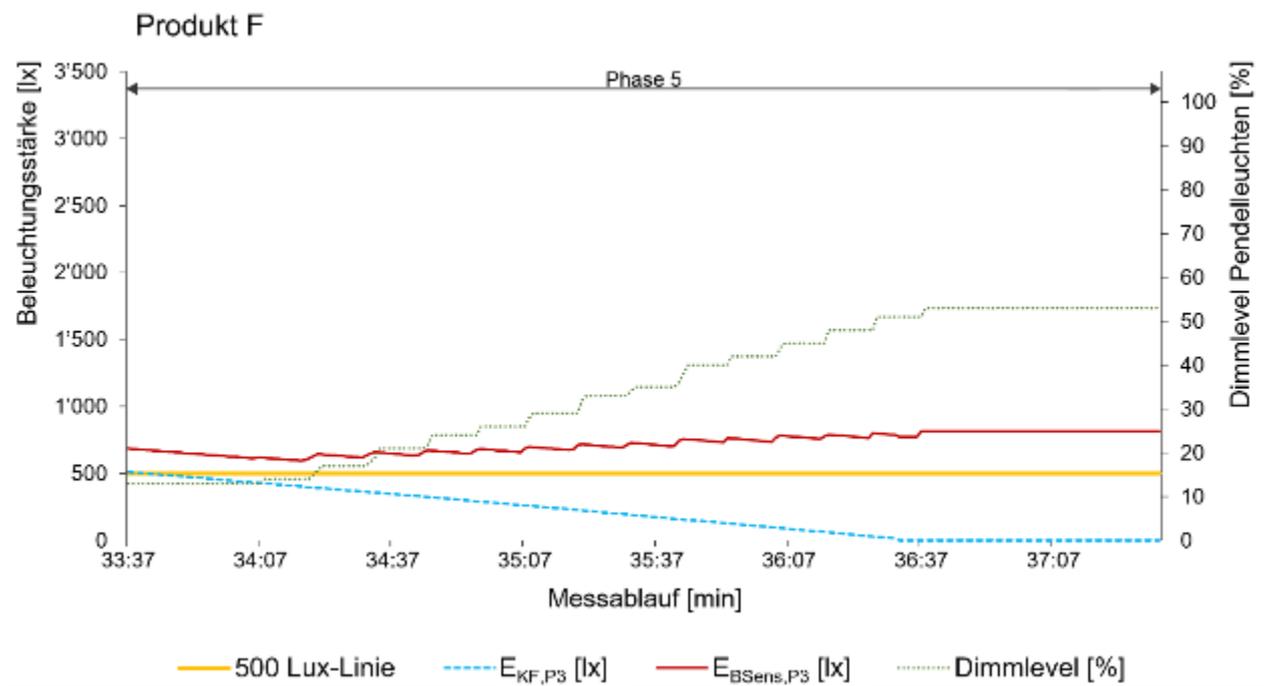
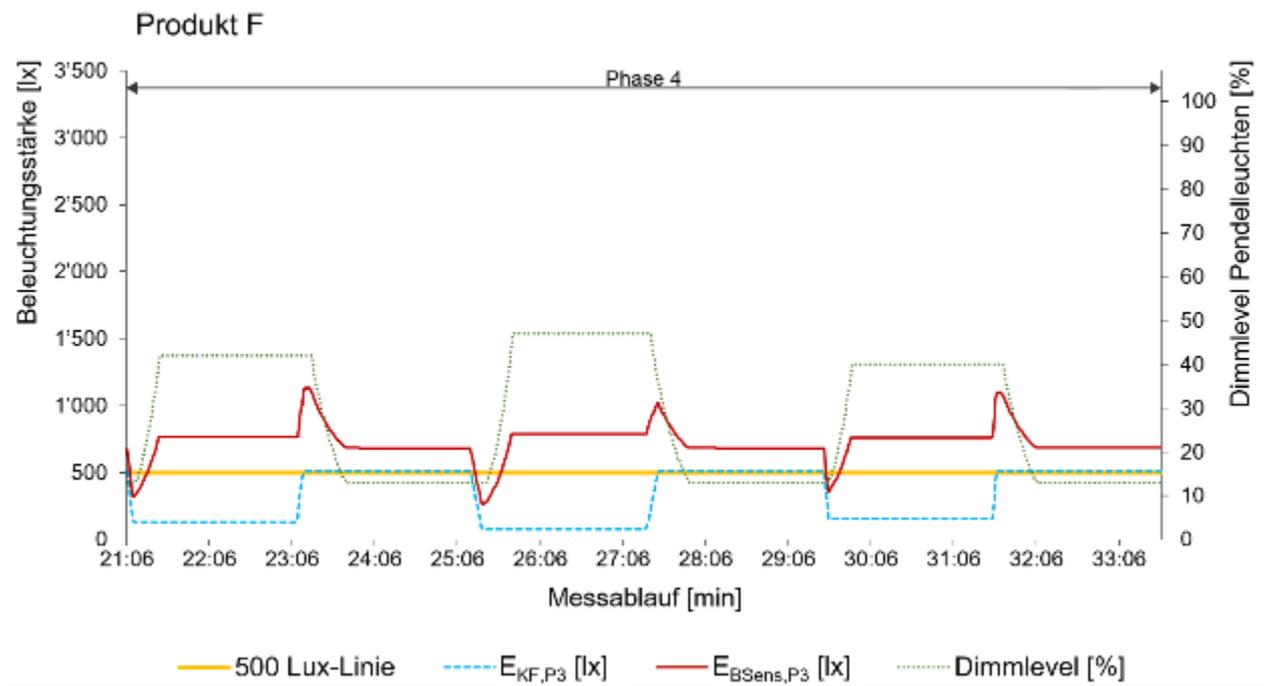




Testszenario 4





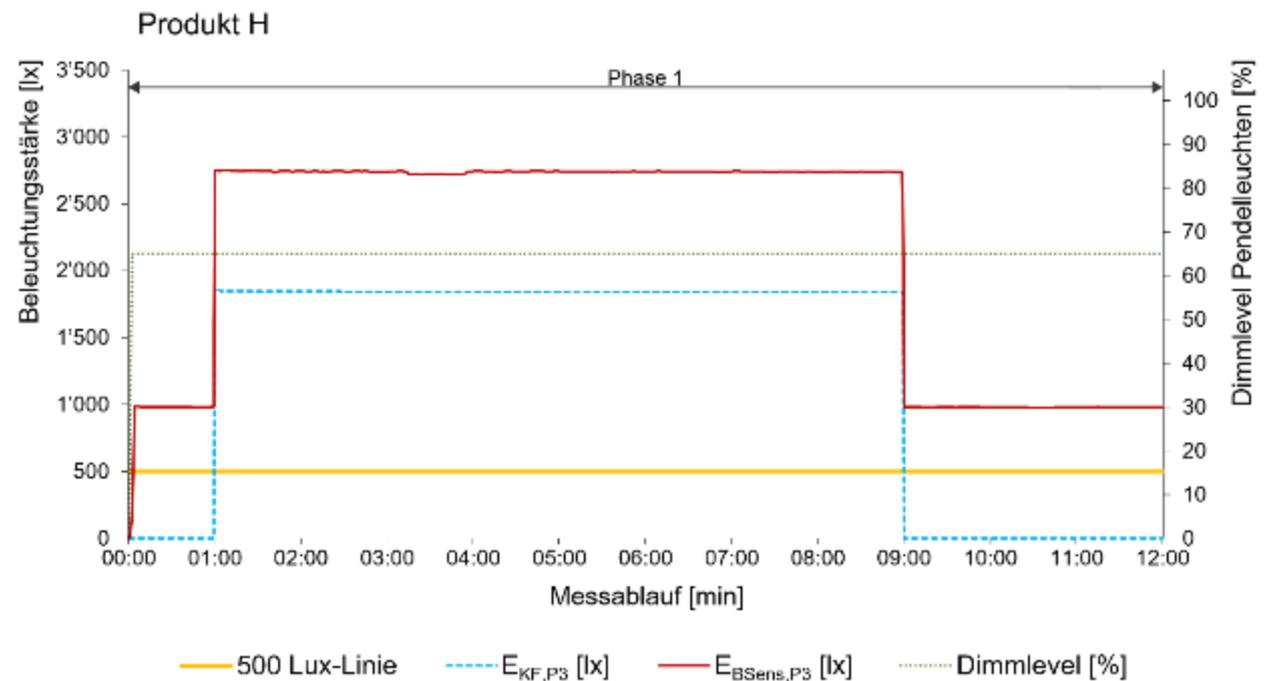
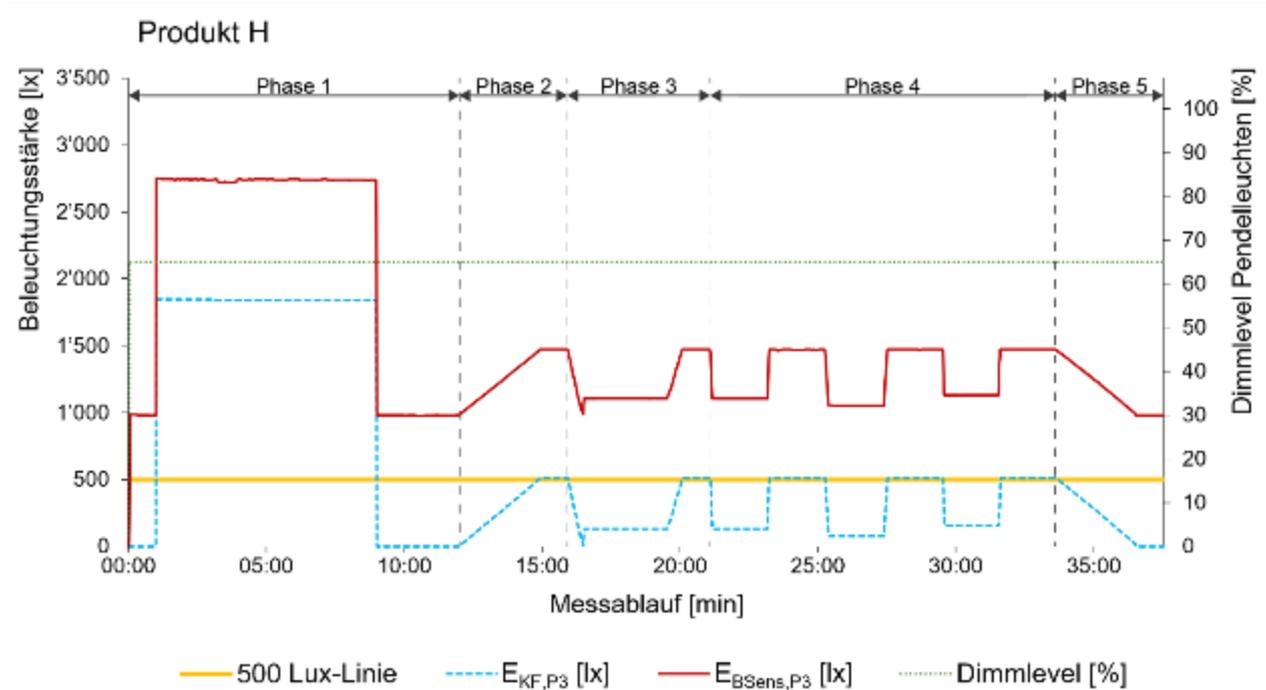


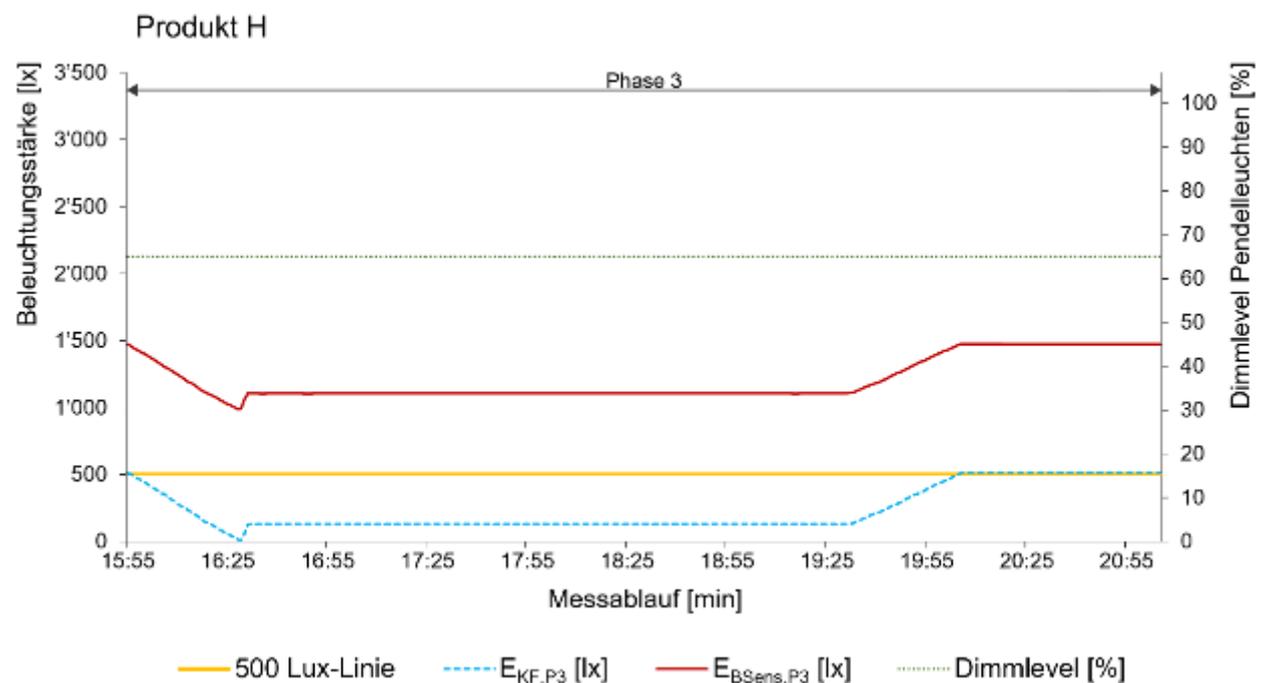
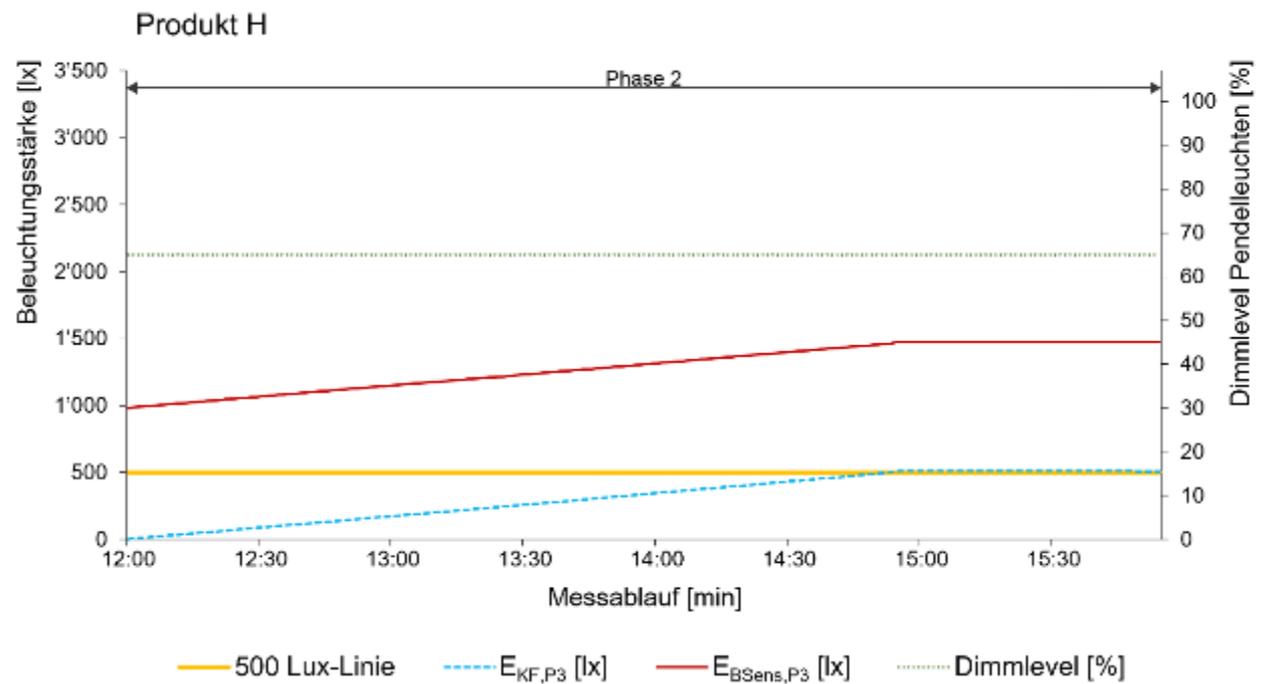
10.10 Diagramme Produkt G

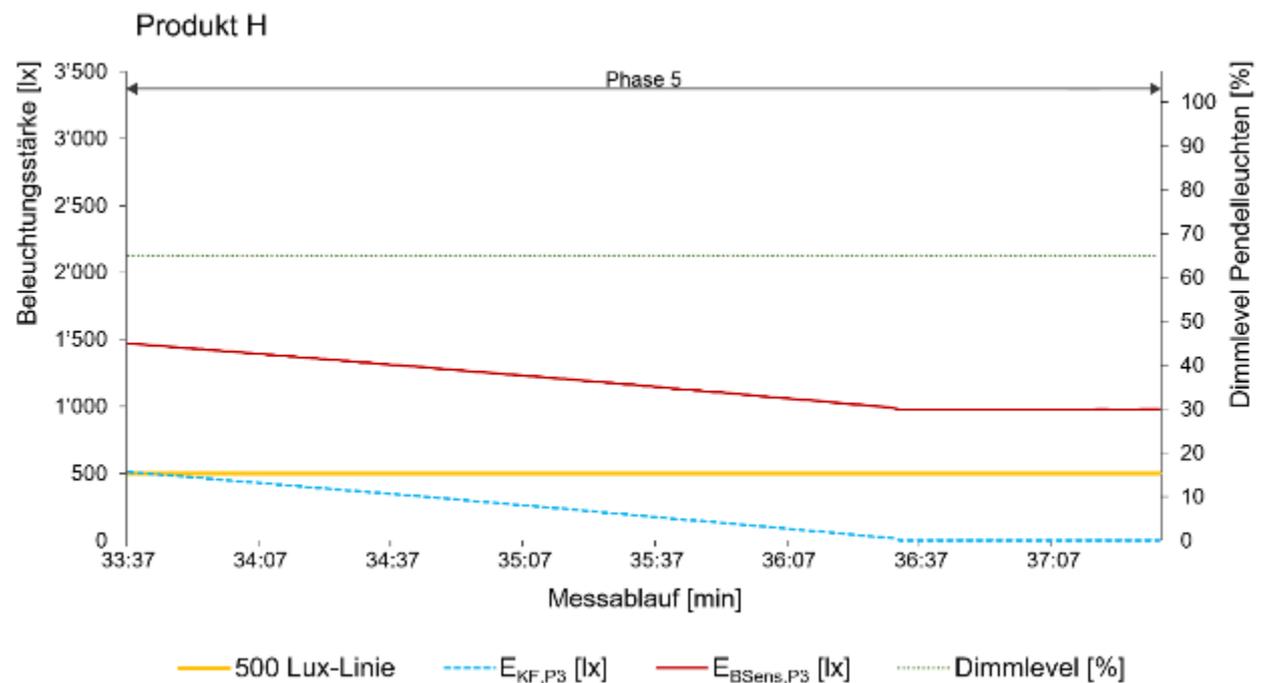
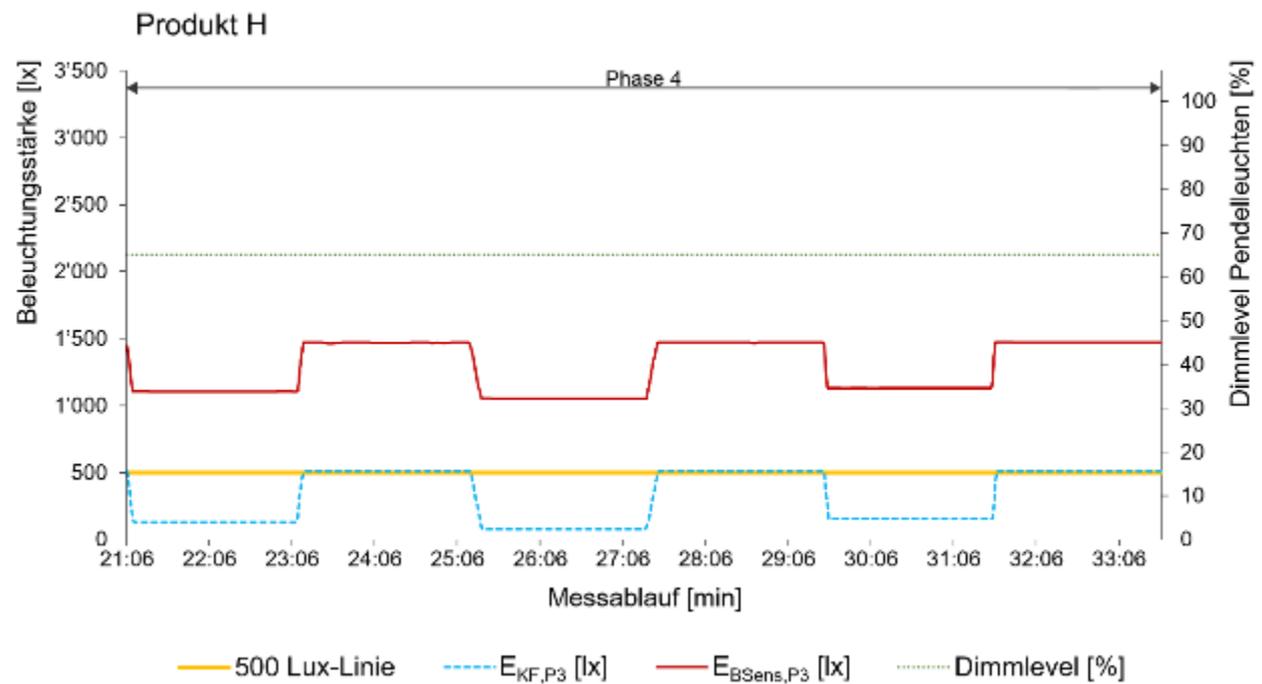
Produkt wurde nicht getestet

10.11 Diagramme Produkt H

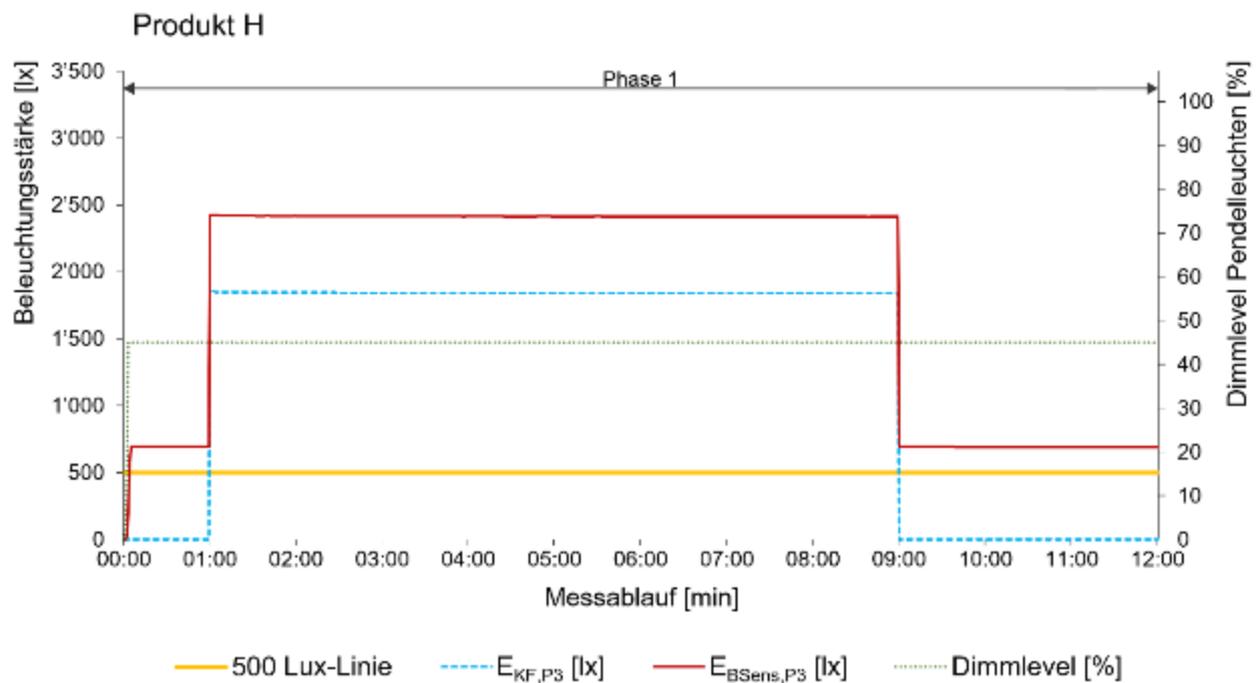
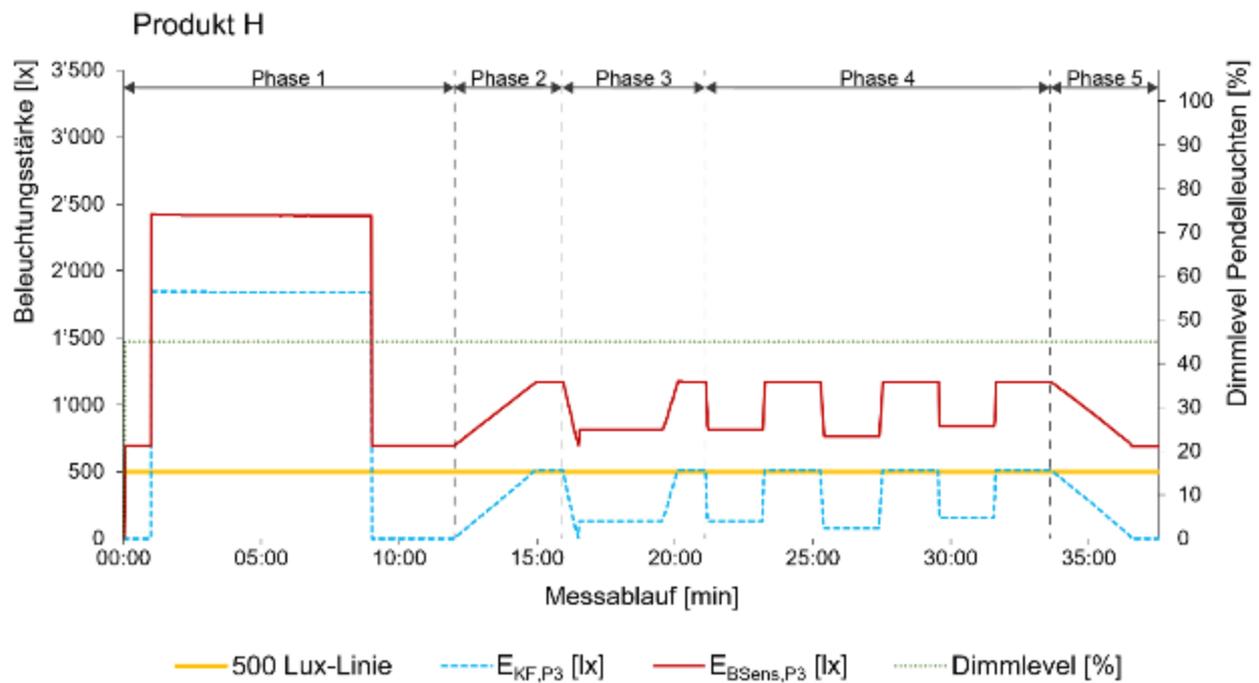
Testszenario 1

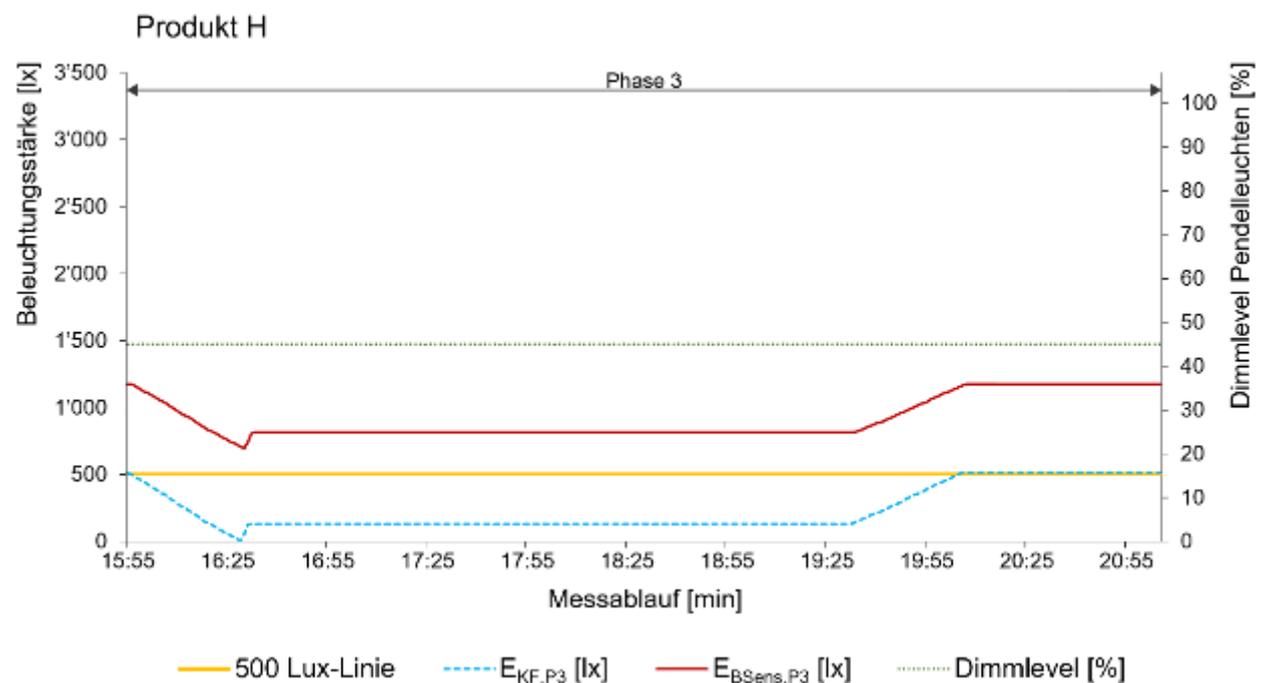
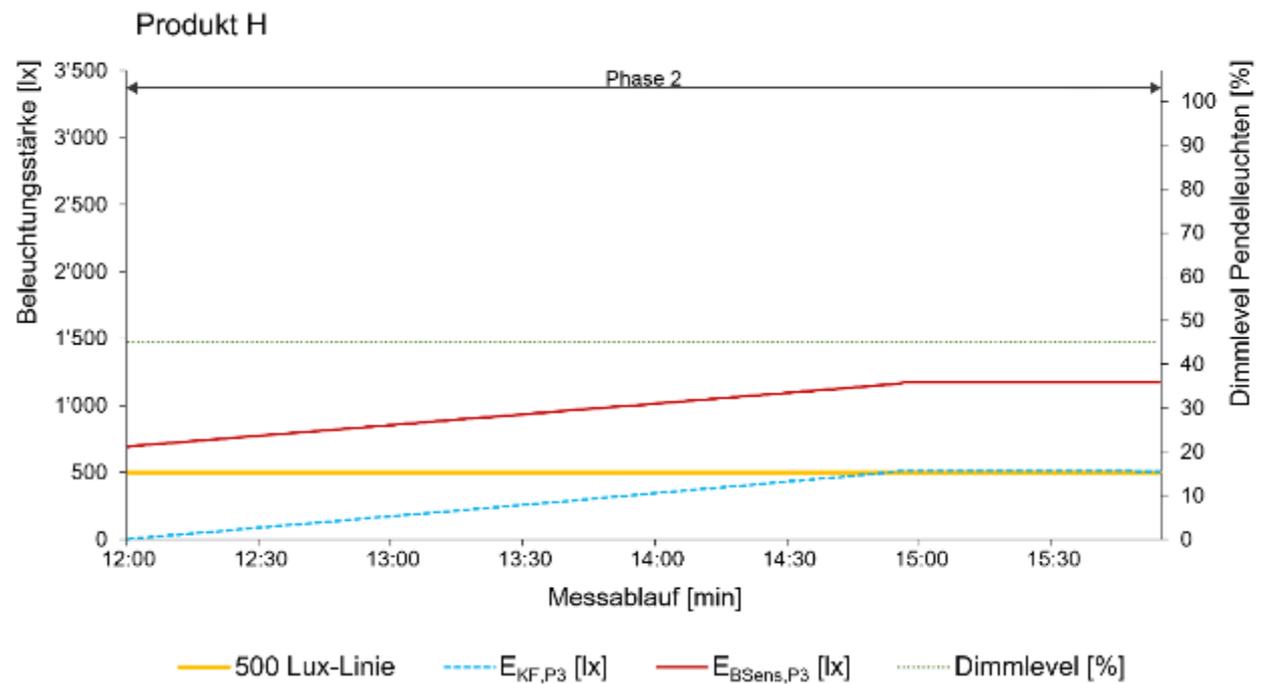


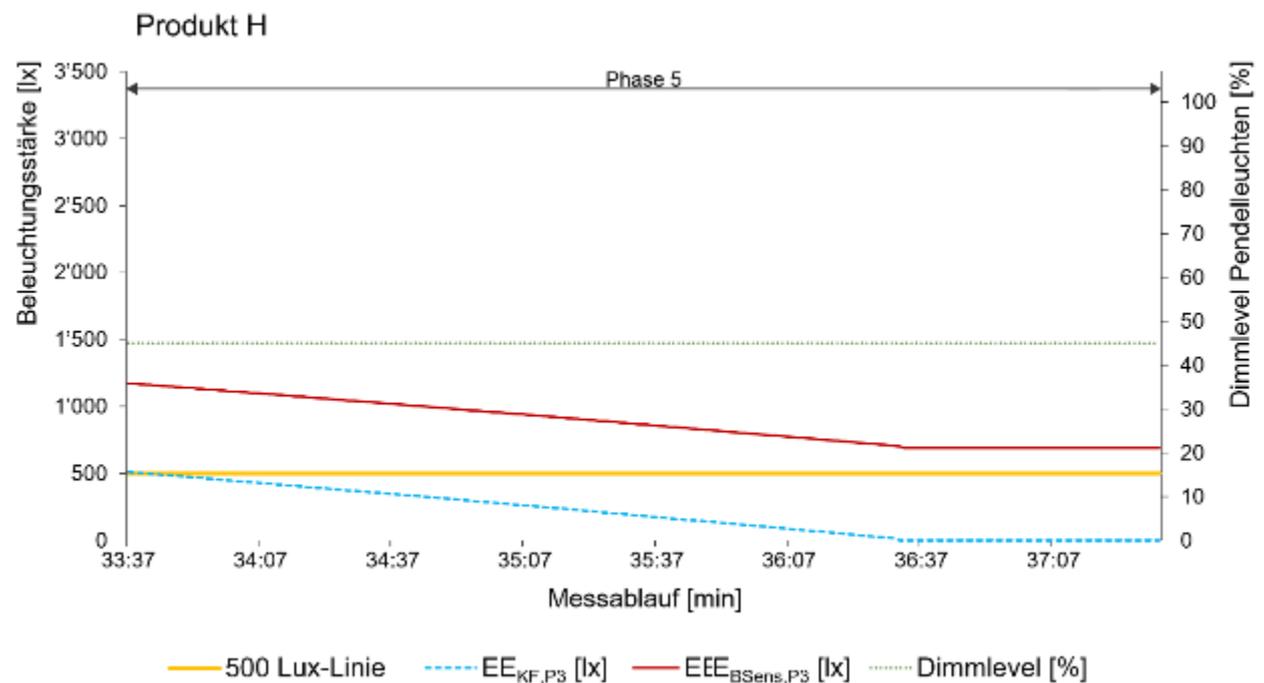
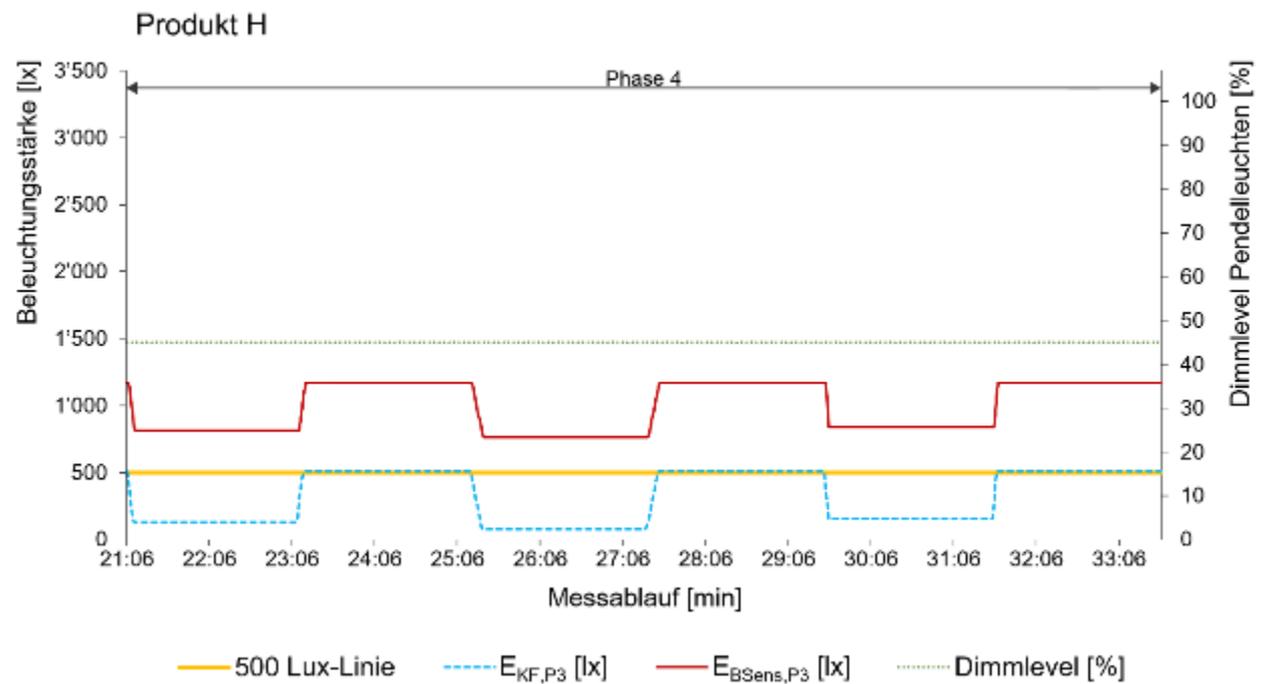




Testszenario 4







10.12 Diagramme Produkt I

Testszenario 1

